

Concentraciones diarias de contaminantes del aire en La Habana (Cuba)

DAILY CHANGES OF AIR POLLUTANT LEVELS IN HAVANA (CUBA)

Miriam MARTÍNEZ VARONA, Geominia MALDONADO, Enrique MOLINA ESQUIVEL y Ariadna FERNÁNDEZ

Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Infanta 1158 e/ Llinás y Clavel. Código postal 10300. Ciudad de La Habana. Cuba. Teléfonos: 8705531 al 34. Correo-e: mmartinez@sinha.sld.cu

RESUMEN

La contaminación del aire es considerada por la Organización Mundial de la Salud como una de las prioridades mundiales más importantes en salud pública. Según un reciente estudio, la contaminación del aire es responsable del 1,4% de todas las muertes en el mundo. La mitad de este impacto es debido a las emisiones de los vehículos a motor. Se realizó el estudio de la contaminación atmosférica en la estación de monitoreo del Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM), mediante un estudio descriptivo del comportamiento de las concentraciones diarias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), partículas en suspensión totales (PST) y amoníaco (NH_3) durante el periodo de Enero 2009 a Abril de 2011, para este último año se incluyó hollín. 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. Las concentraciones medias diarias de todos los contaminantes resultaron inferiores a las CMA, se observó una correlación débil entre el NO_2 y el NH_3 y las PST.

Palabras clave: Contaminación atmosférica, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, partículas en suspensión.

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista energético, las ciudades consumen 1.000 veces más energía que un área equivalente de tipo rural (Bettini, 1986). El calor y los contaminantes hacen que el clima de las ciudades sea muy distinto al de los campos vecinos. Ambos se originan por la combustión de los hidrocarburos para el transporte y la calefacción. Sus intensidades dependen de la geografía urbana, aumentando cuando las calles son estrechas respecto del tamaño de los edificios o cuando existen problemas de circulación vehicular. Una buena planificación de la ciudad puede conseguir un ahorro de energía, y por ende generar menos contaminantes.¹

Se sabe que la contaminación aérea por material particulado afecta severamente la salud de las personas (Aldape *et al.*, 1991; Belmar, 1993; Dockery *et al.*, 1993; Sánchez y Morel, 1995; Müller, 1999). De

hecho, tal como lo señalan las investigaciones, esta contaminación en las ciudades está ligada directamente a las actividades antropogénicas, donde se conjugan el transporte vehicular, la actividad industrial, el movimiento de las personas, los espacios con poca ventilación, y el microclima característico de la urbe.²

En Latinoamérica hay pocos estudios sobre contaminación por aerosoles atmosféricos, aunque los resultados permiten concluir que los problemas son los mismos que se observan en los países desarrollados (Romieu and Borja-Aburto, 1997). Sin embargo, la determinación de los aerosoles es cara y laboriosa, y los resultados no son aplicables a otras ciudades.³

En los últimos años, un número importante de estudios realizados en distintas ciudades han encontrado que, aún por debajo de los niveles de calidad del aire considerados como seguros, los incrementos de la contaminación atmosférica se asocian con efectos nocivos sobre la salud, lo que ha llevado a la

puesta en marcha de un conjunto de políticas en los países occidentales encaminadas a la reducción de forma drástica de los niveles de inmisión. Tal es el caso de la Unión Europea con la Directiva 1999/30/CE, que impone recortes importantes a los niveles límite de las concentraciones de contaminantes en el aire en un horizonte temporal de adaptación.⁴

La contaminación del aire es considerada por la Organización Mundial de la Salud como una de las prioridades mundiales más importantes en salud pública. Según un reciente estudio,⁵ la contaminación del aire es responsable del 1,4% de todas las muertes en el mundo. La mitad de este impacto es debido a las emisiones de los vehículos a motor.⁶

Para conocer los efectos que produce la contaminación atmosférica en la salud humana se utilizan en el ámbito de la investigación científica los estudios ecológicos de series temporales. En ellos, se analizan y relacionan las variaciones en el tiempo de la exposición a los contaminantes y algún indicador de salud en una población (número de defunciones, ingresos hospitalarios, etc.). Una de las ventajas de estos estudios es que al analizar la misma población en diferentes periodos de tiempo (día a día, generalmente) muchas de aquellas variables que pueden actuar como factores de confusión a escala individual (tabaquismo, edad, género, ocupación, etc.) se mantienen estables en la misma población y pierden su potencial distorsionante

Destacan en este terreno diversos estudios multicéntricos, que utilizan criterios de análisis estandarizados para evaluar los efectos en salud de la contaminación atmosférica, como el APHEA en Europa.⁷ En España se han publicado recientemente diversos estudios realizados en las principales ciudades, como Madrid,⁸ Barcelona,⁹ o Valencia.¹⁰ También en nuestro país existen dos estudios de carácter multicéntrico en 16 ciudades (que suman 10 millones de habitantes) que analizan los efectos de la contaminación atmosférica fundamentalmente sobre la mortalidad (proyecto EMECAM) y sobre la morbilidad (proyecto EMECAS). Todos estos trabajos muestran la existencia de una asociación estadísticamente significativa entre los indicadores de contaminación atmosférica y la salud.

Además, la contaminación atmosférica tiene repercusión sobre otro tipo de patologías. El asma es quizá la más importante, con un incremento en sus niveles de incidencia en los últimos años, pero otras enfermedades como reacciones alérgicas, bronquitis e infecciones respiratorias también han experimentado un notable aumento.

Sin embargo, no toda la población está expuesta a este impacto en su salud en las mismas condiciones: personas mayores y niños presentan mayor vulnerabilidad a los contaminantes atmosféricos. Comparando los niños con los adultos, desde el punto de vista de la dosis recibida, los niños respiran más rápido (su frecuencia respiratoria es mayor) y juegan al aire

libre más a menudo, siendo, por su menor peso, mayor su exposición a los contaminantes por unidad de masa. Por otro lado, debido a su constante estado de desarrollo y crecimiento, fisiológicamente su sistema inmunológico y sus órganos están aún inmaduros. Asimismo, la irritación y la inflamación producida por los contaminantes obstruyen con más nocividad sus vías respiratorias, pues son más estrechas. Según estimaciones de la OMS, 5 millones de niños mueren cada año de enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica.¹¹

Dentro de los contaminantes del aire emitidos por vehículos que mayor impacto tienen en el ambiente, y que están siendo evaluados por el Programa de Monitoreo del Aire en Centroamérica en asocio con Swisscontact, están los siguientes: Dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, material particulado, ozono y plomo.¹²

Dióxido de nitrógeno (NO₂): La principal fuente de emisiones de dióxido de nitrógeno es los procesos de combustión tanto de fuentes móviles como estacionarias. Es considerado uno de los principales precursores de la precipitación ácida en las zonas urbanas e industrializadas. Las emisiones provenientes de vehículos y otras fuentes producen una variedad de efectos adversos en la salud y el ambiente. Se ha recomendado 100 µg/m³ como media aritmética anual.

Dióxido de azufre (SO₂): El dióxido de azufre es un gas muy soluble que reacciona con el agua para formar ácido sulfuroso. La principal fuente es la combustión de materiales fósiles, que al ser quemados se libera el dióxido de azufre. Los efectos de los óxidos de azufre se manifiestan en presencia de material particulado.

Material particulado (TPS, PM₁₀ y PM_{2,5}): El material particulado en la atmósfera representa una compleja mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas que tienen su origen en las emisiones naturales y artificiales en el medio, y su impacto en éste está directamente relacionado con la composición química del material particulado. Puede ser encontrado en el aire ambiental, polvo, humos y otros aerosoles. Fuentes directas de PS son la combustión de materiales fósiles para la generación de energía, calefacción y transporte, la construcción y las actividades industriales, la erosión de suelos, los incendios forestales, las erupciones volcánicas y el polen. Las PS pueden aparecer como aerosoles secundarios producto de las transformaciones de contaminantes gaseosos emitidos por fuentes de combustión (por ejemplo, plantas energéticas y automóviles), fuentes naturales como los incendios forestales resultado de la condensación de elementos volátiles y de ciertas especies en la atmósfera. De acuerdo a la masa y la composición, estas se dividen en dos principales grupos: partículas mayores de 2,5 µm y partículas menores de 2,5 µm. La composición química de estas últimas consiste en gran parte en sulfatos, que contienen una gran cantidad de iones H⁺, de ahí su

Tabla 1. Valores resúmenes y porcentajes de trasgresión de las concentraciones máximas admisibles (CMA) para las medias diarias SO₂, NO₂, amoníaco y PST. Centro Habana, Enero 2009- Diciembre 2010.

Contaminante	Media (µg/m ³)	Percentiles (p)				Máximo	Porcentaje que supera la CMA (%)
		25	50	75	95		
SO ₂	1,4124	0,570	1,530	1,53	1,700	32,70	0
NO ₂	15,8380	0,0132	12,70	25,20	48,260	120,3	15,5
PST	41,0825	29,70	41,40	47,2	76,520	150,0	1.9
NH ₃	7,5471	1,40	5,900	10,600	21,440	54,10	0

acidez y que sean de gran interés en relación con la salud. Ellas son producto de la combustión, de la condensación de sustancias orgánicas, de vapores metálicos, etcétera. El otro tipo de partículas (mayores de 2,5 µm) por lo general se encuentran en materiales de la corteza terrestre, así como en el polvo de los caminos y las emisiones de industrias y automóviles. Las partículas varían en términos de composición, morfología, parámetros ópticos y características eléctricas (carga, resistencia). Las partículas no esféricas son clasificadas en términos de su diámetro aerodinámico y primariamente se depositan en el bajo tracto respiratorio, aunque no sólo.¹

El objetivo de este estudio fue determinar la contaminación por dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, amoníaco y partículas en suspensión totales del aire respirable en la atmósfera de la zona de La Habana donde se encuentra ubicada la estación de monitoreo del Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM).

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio descriptivo longitudinal 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 INHEM, durante el periodo comprendido entre enero 2009 y diciembre del 2011; e incluyó los siguientes contaminantes: dióxido de azufre (SO₂), partículas totales en suspensión (PST), dióxido de nitrógeno (NO₂) y amoníaco (NH₃).

El muestreo se realizó según las normas establecidas para el monitoreo en el manual de 24 horas,¹³ así como su posterior análisis en el laboratorio. Las técnicas analíticas empleadas fueron: el método colorimétrico con el empleo de la pararosanilina, según la norma UNE 77234,¹⁴ para el dióxido de azufre; el método gravimétrico de bajo volumen, según la norma UNE 81599,¹⁵ para las partículas totales en suspensión; el método de arsenito de sodio modificado,¹⁶ para el dióxido de nitrógeno; y para el amoníaco se utilizó el método de determinación del amoníaco

disuelto en la solución utilizada para la absorción del SO₂.¹⁷ En todos los casos los valores de concentración de los contaminantes se expresaron en µg/m³.

Se evaluó el comportamiento de los contaminantes evaluados según día de la semana y año.

Las bases de datos fueron confeccionadas en Microsoft Office Excel 2003 y procesadas mediante SPSS versión 15.0.

El análisis estadístico incluyó el cálculo de los valores de tendencia central (media aritmética, mediana y percentiles 25, 75 y 95).

Se tomó como CMA para el SO₂ 50 µg/m³, el NO₂ 40µg/m³, para el hollín 30 µg/m³ y para amoníaco 200 µg/m³ de acuerdo a la NC 39:1999 (Calidad del aire. Requisitos higiénico-sanitarios).¹⁸ Esta norma establece la CMA para las PST de acuerdo al porcentaje de dióxido de silicio (SiO₂) presente, se adoptó el valor de 100 µg/m³, correspondiente a polvos con un contenido de SiO₂ de hasta 50% por coincidir con la normativa establecida por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos,¹⁹ México,²⁰ y Brasil.²¹

Los valores perdidos fueron sustituidos por la media de la serie de datos y los ceros por los límites de detección de las técnicas analíticas para cada

Tabla 2. Coeficiente de correlación (rho) de Spearman entre contaminantes. Estación de monitoreo. Centro Habana. SO₂, NO₂, NH₃ y PST. Centro Habana, Enero 2009- Diciembre 2010.

Contaminante	SO ₂	NO ₂	PST	NH ₃
SO ₂	----	0,407	0,993	0,262
NO ₂	0,407	-----	0,002**	0,000**
PST	0,993	0,002**	----	0,557

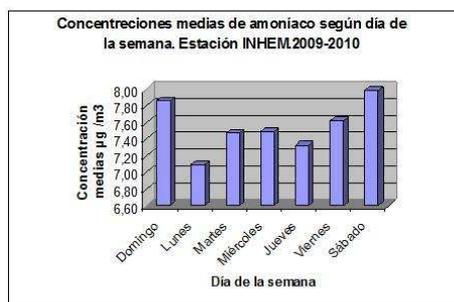
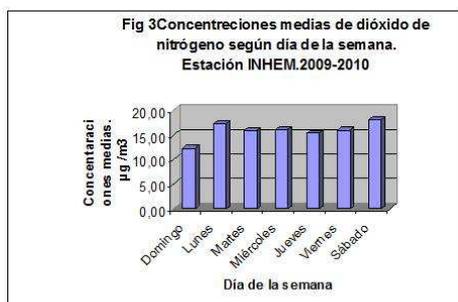
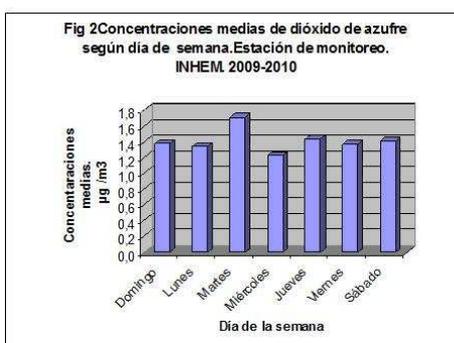
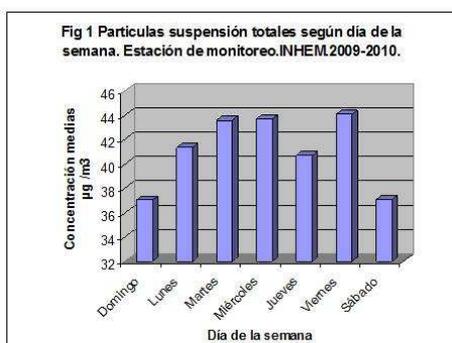
** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

contaminante.

Se empleó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para evaluar la normalidad de la distribución de las

concentraciones de los contaminantes estudiados. Se realizó comparación de medias mediante la prueba de U de Mann Whitney para comparar las diferencias entre los años, y Kruskal Wallis para comparar las concentraciones medias de los contaminantes entre los días de la semana de cada año. Se evaluó la correlación entre contaminantes evaluados mediante el coeficiente Rho de Spearman.

Esto coincide con los resultados obtenidos en el periodo 2005-2008 que se obtuvieron valores máximos de 287 y 187 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PST y NO_2 respectivamente. Resultan las concentraciones de SO_2 sumamente bajas, salvo en líneas aisladas, estos resultados se corresponden con la mantenida disminución del flujo vehicular y el cierre de fuentes industriales que por diferentes razones han tenido lugar en este territorio en los últimos años.



Al aplicar el test de Kolmogorov-Smirnov para evaluar la normalidad, se apreció que para todos los contaminantes la significación fue menor que 0.05, por lo tanto rechazamos la hipótesis nula, es decir ninguno de los contaminantes mostró una distribución normal. Por ello se procedió a realizar métodos estadísticos no paramétricos en todo el estudio, para evaluar la matriz de correlación entre dichos contaminantes se empleó

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se analizan los valores de tendencia central de todo el período en estudio Enero 2009-Diciembre 2010, se observa que ningún contaminante supera la norma cubana, tanto para la media aritmética y el percentil 95 resultaron inferiores a las CMA correspondientes establecidos por la norma cubana.¹⁸ Si embargo se aprecian valores máximos para NO_2 superando la norma 3 veces y PST superiores a lo establecido en la norma cubana.

del coeficiente de correlación (rho) de Spearman.

La Tabla 2, muestra el análisis de correlación entre los contaminantes y se aprecia una correlación débil entre el NO_2 , el NH_3 y las PST, no así con el SO_2 . Lo anterior se interpreta como una relación relativamente baja pero significativa, entre la tendencia a la variación de los contaminantes gaseosos, y con las PST de modo que, en alguna medida, los mismos se encuentran interrelacionados, bien en su emisión, su dispersión o por ambos factores. Las correlaciones resultaron significativas entre NO_2 , NH_3 y PST.

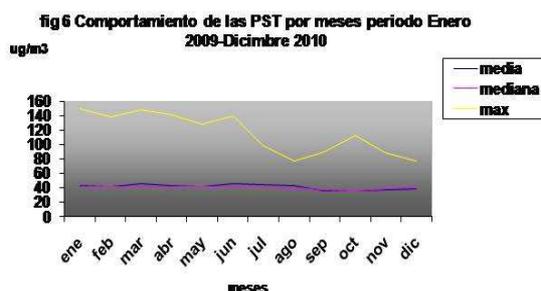
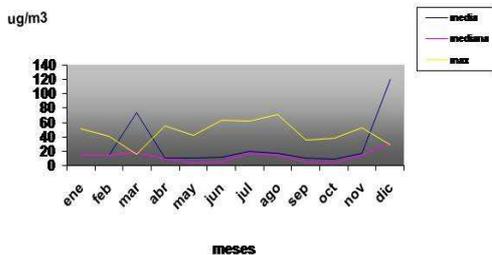


Fig 7 Comportamiento del NO₂ por meses periodo Enero 2009 diciembre 2010



En las figuras 1, 2, 3 y 4 se describe el comportamiento de estos contaminantes por días de la semana, en todos los casos no se comportan de igual forma, existe una disminución de la concentración de PST y NO₂ los fines de semana, posiblemente vinculada a la disminución del tránsito automotor y las actividades industriales en el territorio cercano y a barlovento del punto de muestreo. Sin embargo el SO₂ y el NH₃ se comportaron de una forma irregular, sin una disminución de las concentraciones medias diarias los fines de semana, en el caso del SO₂ las concentraciones resultaron extremadamente bajas salvo en excepciones, muy cercanas al límite de detección del método. En el caso del amoniaco su variación irregular puede corresponderse con su origen en otro tipo de fuente como serian escapes accidentales de este compuesto de la empresa Suchel o la ejecución de procesos los fines de semana. El resto de los días de la semana las concentraciones de los contaminantes no mostraron grandes diferencias. Esto coincide con los estudios de Celis,²² y Rööslí,²³ los cuales plantearon lo siguiente: La concentración media del PM₁₀ en los días laborales (lunes a

Fig 8 Comportamiento del Amoniaco por meses Periodo Enero 2009-Diciembre 2010



viernes) fue un 40% mayor que durante los fines de semana (sábado y domingo) en la ciudad de Chillán, reflejando la influencia de la actividad antrópica, como el tráfico, las faenas de construcción y los procesos industriales, los que generalmente son mayores en los días hábiles. Esto es similar a lo encontrado por Rööslí et al. (2001), quienes determinaron un 54% de incremento del PM₁₀ en los días de trabajo respecto de los fines de semana. Probablemente, el tráfico de la ciudad contribuye fuertemente a esta variación, a través del levantamiento de polvo de las calles y la eliminación de partículas por el escape de los motores de combustión.

En las Figuras 5, 6, 7 y 8, se describe el comportamiento de las medias de los contaminantes en estudio por cada mes. En el caso de PST y SO₂ al analizar las medias y mediana no se aprecia ninguna variación de estos contaminantes durante todo el periodo de estudio, al ver el comportamiento de los máximos en el caso del SO₂ se aprecian picos en los meses de abril, mayo, junio y julio y luego en diciembre una tendencia a incrementarse. Con relación al NO₂ y NH₃ se observa un ligero incremento en los meses de invierno en tanto, se mantienen de forma estable el resto de los meses y en diciembre tienen una tendencia al incremento. Una de las fuentes que más genera los contaminantes primarios en este territorio es el transporte vehicular automotor que utilizan gasolina diesel como combustible.

Al analizar el periodo de Enero a Abril del 2011 para apreciar el comportamiento de estos contaminantes en estos primeros cuatro meses del año, la media de ningún contaminante supera las CMA, sin embargo en el caso del NO₂ en el P₉₅ ya supera los valores de CMA.

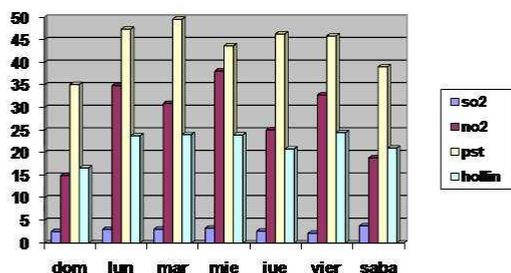
En la figuras 8 se describe el comportamiento de estos contaminantes por días de la semana en periodo del Enero-Abril 2011 todos los cuales se comportan de igual forma, se aprecia una disminución de la concentración de los contaminantes los fines de semana, comportándose de forma lógica según estudios anteriores en la propia estación de monitoreo y bibliografía.

Investigaciones realizadas a nivel mundial reportan asociaciones entre concentraciones de contaminantes y afectaciones en la salud, especialmente, en centros urbanos densamente poblados. En un reporte sobre contaminación del aire y salud en América Latina y el Caribe (CEPIS, 2005), se establece una asociación entre morbilidad y mortalidad con el deterioro de la calidad el aire en los principales centros urbanos. Para Río de Janeiro (Brasil) se ha observado que un aumento de 10 µg/m³ en la concentración de PM₁₀ conlleva un incremento de 1.84% en la admisión hospitalaria por causas respiratorias; en Ciudad de México el mismo incremento en el material particulado correspondió a un cambio de 1.83% en la mortalidad diaria por todas las causas y todas las edades; para Santiago (Chile) este cambio es del 0.75% y para Sao Paulo Brasil) del 0.09%.²⁴

Respirar partículas finas del aire urbano elevaría el riesgo de sufrir un paro cardíaco fatal, según indicó una revisión de más de 8 mil eventos cardíacos ocurridos en Nueva York: "A medida que aumentaban los niveles de materia particulada en el aire, crecía la cantidad de paros cardíacos", dijo a Reuters Health el doctor Robert Silverman, del Centro Médico Judío de Long Island.²⁵

La contaminación del aire está plenamente vinculada al incremento de las afecciones de las vías respiratorias y enfermedades cardiovasculares, un estudio realizado por el doctor Gilaad G. Kaplan, de

Fig. 9 Concentraciones de PST, NO₂, SO₂ y Hollín por días de la semana. Centro Habana, Enero 2011-Abril 2011.



la Universidad de Calgary en Alberta plantea: el aire sucio que respiramos puede causar *apendicitis*. Los autores de este estudio publicado en la *Canadian Medical Association Journal* encontraron que los casos de *apendicitis* tienden a subir cuando el aire está más sucio.²⁶

CONCLUSIONES

Las medidas de tendencia central de las concentraciones diarias de PST, SO₂, NO₂ y NH₃, resultaron inferiores a los límites reglamentados por las concentraciones y máximos admisibles correspondientes.

El NO₂ y el hollín presentaron los mayores porcentajes de transgresión de la CMA en el año actual.

La generalidad de los contaminantes presentó mayores concentraciones los días laborables de la semana, con excepción del amoníaco.

Las correlaciones entre las concentraciones diarias de los contaminantes entre sí, resultaron débiles.

BIBLIOGRAFÍA

1. C. Linares, J. Díaz y C. López (Centro Universitario de Salud Pública, UAM), J.C. Montero (Delegación Provincial de Sanidad de Toledo. Junta de Castilla-La Mancha) y R. García-Herrera (Facultad de Ciencias Físicas, UCM).
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. 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.
4. Atkinson RW et al. "Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results from APHEA 2 project. *Air Pollution and Health: a European Approach*". *Am J Respir Crit Care Med*, 164: 1860-66, 2001.
5. Cohen A.J, et al. "Mortality impacts of Urban Air Pollution". En: EZZAT M, et al. (ed). *Compara-*

6. Künzli N, et al. *Lancet*, 356: 795-801, 2000.
7. Katsouyanni, K. et al. "Short-term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiological time-series data. The APHEA project: background, objectives, design", *European Respiratory Journal* 8, 1030-1038, 1995.
8. Díaz J. et al. "Modelling of air pollution and its relationship with mortality and morbidity in Madrid, Spain". *Int Arch Occup Environ Health* 72:366-376, 1999.
9. Sunyer J. "Urban air pollution and chronic obstructive pulmonary disease: a review". *Eur Respir J*, 17: 1024-33, 2001.
10. Ballester, F. et al. "Contaminación atmosférica por partículas y salud en Valencia 1994-1996". *Gac Sanit.*; 16(6):464-79, 2002.
11. Disponible en: <http://www.who.int/archives/inf-pr-...>
12. 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.*
13. World Health Organization. United Nations Environment programme. *GEMS/Air Methodology Reviews : Quality Assurance in urban air quality monitoring. WHO/UNEP. 1994 v.1*
14. Norma UNE 77234 1998. Calidad del aire. Determinación de la concentración máxima de dióxido de azufre. Método del tetracloromercurito (TCM)/pararosanilina.
15. Norma UNE81599 1996. Calidad del aire. Método gravimétrico. Determinación de material particulado (fracción inhalable y respirable) en aire.
16. CETESB. Método de referencia para determinar dióxido de nitrógeno en atmósfera. Brasil, 2001.
17. Organización mundial de la Salud. Selección de procedimientos para medir la contaminación del aire. Ginebra. 1976.
18. Norma cubana 39:1999. Calidad del aire. Requisitos higiénico-sanitarios. Oficina Nacional de normalización. 1999.
19. EPA's Science Advisory Board. The EPA's particulate Matter (PM). Health effects research centers program. *Report issued*. Jan 2002.
20. Secretaría 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.
21. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Qualidade do Ar no Estado de Sao Paulo. Sao Paulo: CETESB; 1999.*
22. Celis J H. y José Morales P. Estudio de la contaminación del aire urbano en una ciudad

- intermedia: El caso de Chillán (Chile) *Atenea* N° 495– I Sem. 2007: 165-182
23. Rösli, M.; G. Theis, N. Künzli, J. Staehelin, P. Mathys, L. Oglesby, M. Camenzind and Ch. Braun-Fahrländer. 2001. "Temporal and spatial variation of the chemical composition of PM10 at urban and rural sites in the Basel area, Switzerland". *Atmos. Environ.* 35: 3701-3713.
24. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=466&conID=606>
25. Disponible en: <http://www.infobae.com/notas/53749>
26. Disponible en: <http://www.noticiassalud.com/3878/la-contaminacion-del-aire-puede-causar-apendicitis-segun-estudios.html>