

Determinación de la concentración de gases en la estación de monitoreo INHEM Centro Habana (Cuba)

DETERMINATION OF THE CONCENTRATION OF GASES IN THE INHEM CENTRO HABANA MONITORING STATION

Miriam MARTÍNEZ VARONA, Enrique MOLINA ESQUIVEL, Mileydis GUZMÁN VILA, Adisbel PÉREZ CABRERA, Ariadna FERNÁNDEZ AROCHA.

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

RESUMEN

Introducción: Numerosos estudios realizados en el ámbito mundial han demostrado que las emisiones de contaminantes que provienen de los vehículos tienen una influencia nociva y profunda sobre la calidad del aire en las grandes ciudades. *Objetivos:* Determinar el comportamiento de los gases en la estación de monitoreo INHEM. *Material y métodos:* se realizó un estudio longitudinal descriptivo del comportamiento de las concentraciones diarias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de dióxido de azufre (SO_2), dióxido de azufre por el método acidométrico (SO_2ac) y dióxido de nitrógeno (NO_2), en el período de enero del 2013 a diciembre del 2014. Las bases de datos fueron confeccionadas en EXCEL y procesadas mediante SPSS 11.5. El análisis estadístico incluyó valores de tendencia central, porcentajes de trasgresión de las concentraciones máximas admisibles (CMA) y valores máximos. Se evaluó la correlación entre contaminantes mediante el coeficiente Rho de Spearman. *Resultados:* Las concentraciones medias diarias de SO_2 , SO_2ac y NO_2 resultaron inferiores a las CMA, todos los contaminantes mostraron una distribución no normal y se aplicó el test de correlación Rho de Spearman y se observaron correlaciones fuertes entre SO_2 y SO_2ac en 2013 y 2014 y entre SO_2 y NO_2 en 2014.

Palabras clave: Contaminación atmosférica, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre.

INTRODUCCIÓN

Los contaminantes en la atmósfera se expanden más que en la superficie de la tierra, por eso son muy peligrosos, ya que afectan a más personas aunque en menor medida. La abundancia de estos contaminantes en el último cuarto de siglo ha saltado la alarma por la preocupación de los problemas medioambientales como el agujero de la capa de ozono estratosférica, el smog fotoquímico de las ciudades, la lluvia ácida y el efecto invernadero, posible causante del cambio climático.¹

Numerosos estudios realizados en el ámbito mundial han demostrado que las emisiones de contami-

nantes que provienen de los vehículos tienen una influencia nociva y profunda sobre la calidad del aire en las grandes ciudades (en promedio 80% de las emisiones totales) deteriorando de manera considerable la salud humana, contribuyendo de manera importante al calentamiento global, a la destrucción de la capa de ozono y al incremento de la lluvia ácida. Ello explica el por qué de programas e investigaciones tecnológicas y energéticas más eficientes, más limpias, asociados con el parque automotor, o a estudiar procesos de reformulación de los combustibles.²

Al conocer el deterioro progresivo de la calidad del aire provocado por la urbanización, el desarrollo industrial y la utilización de los vehículos, iniciando

la década de los 90, nuestro país al igual que la mayoría de los países se ha interesado en realizar estudios e investigaciones para conocer la calidad del aire y poder tomar acciones.

El dióxido de azufre (SO₂) es higroscópico, es decir, cuando está en la atmósfera reacciona con la humedad y forma aerosoles de ácido sulfúrico y sulfuroso que luego forman parte de la llamada lluvia ácida al igual que el dióxido de nitrógeno (NO₂). El SO₂ se ha asociado a problemas de asma y bronquitis crónica, aumentando la morbilidad y mortalidad en personas mayores y niños.³

El azufre es un veneno altamente nocivo para la salud de las personas, aunque podemos ser más resistentes que otras criaturas que cohabitan con nosotros en esta región. Por ejemplo, el nivel de 0,3 µg por metro cúbico de aire es un valor que implica potencial riesgo para la salud humana, pero para los árboles, un valor de 0,2 µg ya es muy grave. Por lo mismo, tanto los óxidos de azufre (SO_x) como el ácido sulfúrico (H₂SO₄) están relacionados con el daño y la destrucción de la vegetación, deterioro de los suelos, materiales de construcción y cursos de agua.⁴

Los óxidos de nitrógeno (NO_x), son contaminantes emitidos por el tráfico, las instalaciones de combustión, tales como plantas de producción de energía, y las industrias. Los óxidos de nitrógeno también son liberados por los cultivos en el sector de la agricultura.⁵ Se forma como subproducto en los procesos de combustión a altas temperaturas, como en los vehículos motorizados y las plantas eléctricas. Por ello es un contaminante frecuente en zonas urbanas.⁶

La medición de los contaminantes sirve para varias funciones tales como: Provee un criterio cuantitativo sobre si los estándares de calidad del aire se están superando o logrando y en qué grado. La medición es necesaria para determinar si algunos cambios nocivos en los niveles de contaminación están ocurriendo como resultado de las actividades del hombre. Sirve para determinar el cumplimiento de las normas de calidad del aire.

Objetivo: Determinar el comportamiento de los gases en la estación de monitoreo INHEM.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio longitudinal descriptivo, cuyo universo de estudio estuvo constituido por las determinaciones diarias de contaminantes del aire obtenidas en la estación de monitoreo Centro Habana, ubicada en el Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. El período de estudio fue de Enero del 2013 - Diciembre del 2014, incluyó los siguientes contaminantes: dióxido de azufre (SO₂), dióxido de azufre por el método acidométrico y dióxido de nitrógeno (NO₂).

El muestreo se realizó según las normas establecidas para el monitoreo manual de 24 horas⁷,

así como su posterior análisis en el laboratorio. Las técnicas analíticas empleadas fueron: Dióxido de azufre: método colorimétrico con el empleo de la pararosanilina, según la norma UNE 77234,^{8,9} Determinación dióxido de azufre: método acidométrico según OMS no 24. Selección de procedimientos para medir la contaminación del aire. Ginebra 1976.¹⁰ Dióxido de nitrógeno: Método de arsenito de sodio modificado.¹¹ En todos los casos los valores de concentración de los contaminantes se expresaron en µg/m³.

Se evaluó el comportamiento diario de los contaminantes estratificado por los días de la semana y por meses. Los datos primarios fueron procesados mediante MS Excel 2000 y posteriormente procesados mediante el sistema SPSS 11.5.

El análisis estadístico incluyó el cálculo de los valores de tendencia central y el porcentaje de trasgresión de la norma para cada contaminante.

Se tomó como concentración máxima admisible (CMA) para el SO₂ por el método de la pararosanilina 45 µg/m³, para el NO₂ se tomó como CMA 40 µg/m³ y para el SO₂ ac 50 µg/m³ de acuerdo a la NC 1020: 2014 Calidad del aire - contaminantes - concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables.¹¹

Se empleó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para evaluar la normalidad de la distribución de las concentraciones de los contaminantes estudiados.

Con vistas a evaluar la relación entre los contaminantes estudiados se empleó el coeficiente de correlación Rho de Spearman, dada la distribución asimétrica de los mismos.

Se procedió a calcular el índice de calidad del aire (ICA), que es un indicador global de la calidad del aire en un momento determinado o día y en una estación de medida en concreto. El ICA se ha de interpretar como un indicador orientativo de la calidad del aire enfocado al público en general.

Tabla 1. Clasificación según el Índice de Calidad del Aire (ICA).

Índice	Categoría
0 - 79	Buena
80 - 99	Aceptable
100 - 199	Deficiente
200 - 299	Mala
300 - 499	Pésima
≥ 500	Crítica

El índice de Calidad del Aire (ICA) se clasificó para cada contaminante según norma¹², como se define en la Tabla 1 y se calculó a través de la expresión:¹²

$$ICA = \frac{\text{Concentración de contaminante}}{\text{CMA}} \times 100$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se observa que en el 2013 para el SO₂ y el SO_{2 ac.} tanto la media aritmética como el valor de máximo resultaron inferiores a las CMA correspondientes establecidas por la norma cubana.¹²

En el caso del NO₂ la media no supera las CMA sin embargo se observan valores máximos que superaron en más de 1 vez los de referencia para NO₂. En el caso de trasgresión de la norma solamente el NO₂ la transgrede en un 6 %.

En la Tabla 3 se observa que en el 2014 los valores de la media y la mediana para el SO₂, el SO_{2 ac.} y NO₂ resultaron inferiores a las CMA correspondientes establecidos por la norma cubana¹². Sin embargo se

sobre la mortalidad sean atribuibles específicamente a la exposición a largo plazo al NO₂.¹³

Al aplicar el test de Kolmogorov-Smirnov para evaluar la normalidad, se apreció que los contaminantes estudiados, SO₂, SO_{2 ac.} y NO₂ la significación fue menor que 0.05, por lo tanto rechazamos la hipótesis nula, es decir ninguno de los contaminantes mostró una distribución normal tanto en el 2013 como en el 2014. Por ello se procedió a realizar métodos estadísticos no paramétricos en todo el estudio; para la matriz de correlación entre dichos contaminantes se empleó del coeficiente de correlación (Rho) de Spearman.

Tal como muestran las Tabla 4 y 5, se analizaron la significación y posteriormente la correlación y la mayor correlación en el período 2013 se observó entre SO₂, SO_{2 ac.}, esto es lógico ya que son producto de la misma fuente de contaminación, no así entre el NO₂ y el SO₂, lo cual se asocia a que la mayor fuente

de contaminación en esta zona es provocada por el transporte automotor, debido a la ubicación de la estación en una avenida muy transitada. Sin embargo en el período 2014 se aprecia una correlación moderada entre los tres contaminantes gaseosos estudiados. Lo anterior se interpreta como una relación relativamente baja pero significativa, entre la tendencia a la variación de los contaminantes gaseosos de modo que, en alguna medida, los mismos se encuentran interrelacionados, bien en su emisión, su dispersión o por ambos factores.

En las figuras 1 y 2 se describe el comportamiento de estos contaminantes por días de la semana, en los 2 años estudiados llama la atención que los fines de semana no se aprecia una disminución tan marcada de las concentraciones como en estudios anteriores realizados, aunque debemos señalar que en el estudio realizado en el período 2009 al 2011,^{14,15} el comportamiento fue similar a este para el SO₂, no obstante, se observa una ligera disminución de la concentración de los gases estudiados los fines de semana. En los estudios anteriores lo asociamos a la disminución del tránsito automotor y las actividades industriales en el territorio cercano del punto de muestreo. El resto de los días de la semana las concentraciones de los contaminantes no mostraron grandes diferencias. Esto

Tabla 2. Valores resúmenes y porcentajes de trasgresión de las CMA. Período 2013.

Contaminante	Concentraciones (µg/m ³)				CMA (µg/m ³)	Porcentaje superior a la CMA
	Media	Mediana	Mínimo	Máximo		
SO ₂	9.35	7.80	0.8	27.3	45	-----
SO _{2 ac.}	9.14	7.60	0.8	27.3	50	----
NO ₂	22.96	22.10	2.9	64.0	40	6.0

Tabla 3. Valores resúmenes y porcentajes de trasgresión de las CMA. Período 2014.

Contaminante	Concentraciones (µg/m ³)				CMA (µg/m ³)	Porcentaje superior a la CMA
	Media	Mediana	Mínimo	Máximo		
SO ₂	15.54	11.60	1.2	86.9	45	3.4
SO _{2 ac.}	15.09	11.10	1.6	85.1	50	3.1
NO ₂	26.45	24.80	.6	61.2	40	12.7

obtuvieron valores máximos muy superiores a lo establecidos en la norma cubana para los tres gases estudiados en este período. En este caso los tres gases transgreden la norma pero en un porcentaje muy bajo. Estudios realizados sobre poblaciones humanas indican que la exposición a largo plazo al NO₂, puede provocar una disminución de la función pulmonar y aumentar el riesgo de aparición de síntomas respiratorios como bronquitis aguda, tos y flema, especialmente en los niños. Aunque algunos estudios establecen una relación entre exposición al NO₂ y mortalidad, las pruebas existentes siguen siendo insuficientes para concluir que los efectos

obtuvieron valores máximos muy superiores a lo establecidos en la norma cubana para los tres gases estudiados en este período. En este caso los tres gases transgreden la norma pero en un porcentaje muy bajo. Estudios realizados sobre poblaciones humanas indican que la exposición a largo plazo al NO₂, puede provocar una disminución de la función pulmonar y aumentar el riesgo de aparición de síntomas respiratorios como bronquitis aguda, tos y flema, especialmente en los niños. Aunque algunos estudios establecen una relación entre exposición al NO₂ y mortalidad, las pruebas existentes siguen siendo insuficientes para concluir que los efectos

Tabla 4. Correlación entre los contaminantes. 2013

Contaminantes	SO ₂	SO _{2ac}	NO ₂
SO ₂	R =1 Sig. 0.0	R=,959(**) Sig. 0.0	R=,-062 Sig. 288
SO _{2ac}	R=,959(**) Sig. 0.0	R=1 Sig. 0.0	R=-062 Sig. 278

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

Tabla 5. Correlación entre los contaminantes. 2014

Contaminantes	SO ₂	SO _{2ac}	NO ₂
SO ₂	R =1 Sig. 0.0	R=,241(**) Sig. 0.0	R=,253 (**) Sig. 0.00
SO _{2ac}	R=,241(**) Sig. 0.0	R=1 Sig. 0.0	R=,171(**) Sig. 0.03

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

Figura 1. Comportamiento de los tres gases estudiados por días de la semana. 2013.

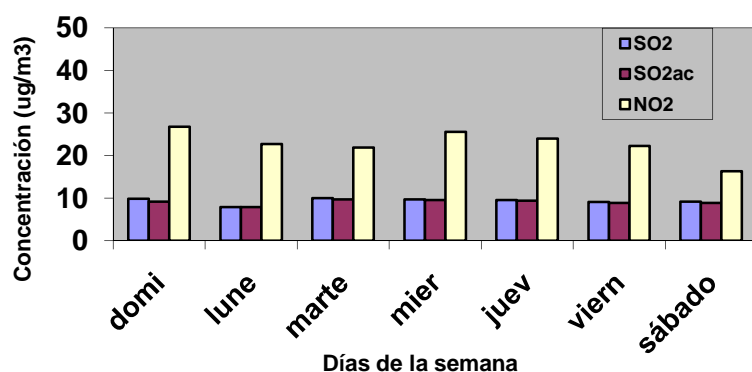
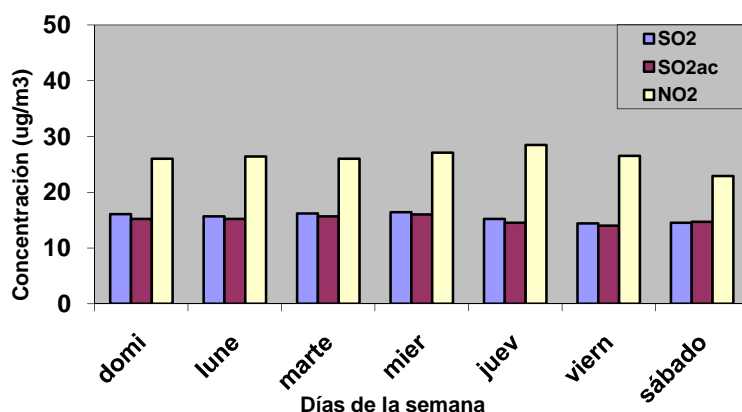


Figura 2. Comportamiento de los tres gases estudiados por días de la semana. 2014.



coincide con los estudios de Celis y Rööslí,^{16,17} 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.¹⁸

En las Figuras 3 y 4, se describe el comportamiento de las medias de los contaminantes en estudio por cada mes. En el período del 2013 en el caso del NO₂ se aprecia un aumento en el mes de febrero y en el mes de diciembre, que coincide con la época de invierno en el país. Para el SO₂ el incremento ocurrió en los meses de mayo, septiembre, octubre y noviembre, mientras que se veía un disminución en diciembre. En el caso del SO₂ se aprecian picos en los meses de julio y octubre en el 2014, mientras que el NO₂ se aprecia un pico en febrero y luego a partir de julio una tendencia a incrementarse en el resto de los meses sin diferencia de la época del año. Una de las fuentes que más genera los contaminantes primarios son las fuentes móviles que son esencialmente los vehículos que circulan por la ciudad, a partir de los combustibles que se usan para su movilización. Esto se comporta de forma similar a los estudios realizados en los últimos años, en los que los contaminantes no se comportan bajo un patrón estacionario normal.^{14,15}

Al determinar el Índice de calidad del Aire (ICA), en los tres gases estudiados la mayoría de los días estuvieron en el rango de 0 - 79,9,¹² lo que se reporta como buena porque no sobrepasa el 79 % del valor de la CMA prescrito en la NC1020:2014. Se plantea como supuesta protección de toda la población (aunque no puede asegurarse que no sobrepase el umbral de respuesta de efectos adversos en individuos aislados). No obstante, para los tres gases se obtuvieron valores entre 100 - 199, lo cual se considera deficiente.

El índice de calidad del aire (AQI, por sus siglas en inglés) es una herramienta usada por la Environmental Protection Agency (EPA por sus siglas en inglés) y otras agencias para proveerle al

Figura 3. Comportamiento de de los tres gases estudiados enero 2013-diciembre 2013. Medias anuales.

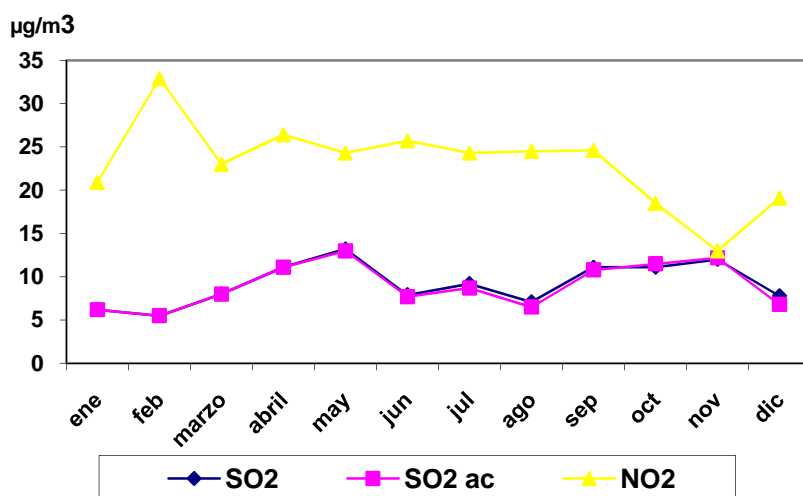


Figura 4. Comportamiento de de los tres gases estudiados enero 2014-diciembre 2014. Medias anuales.

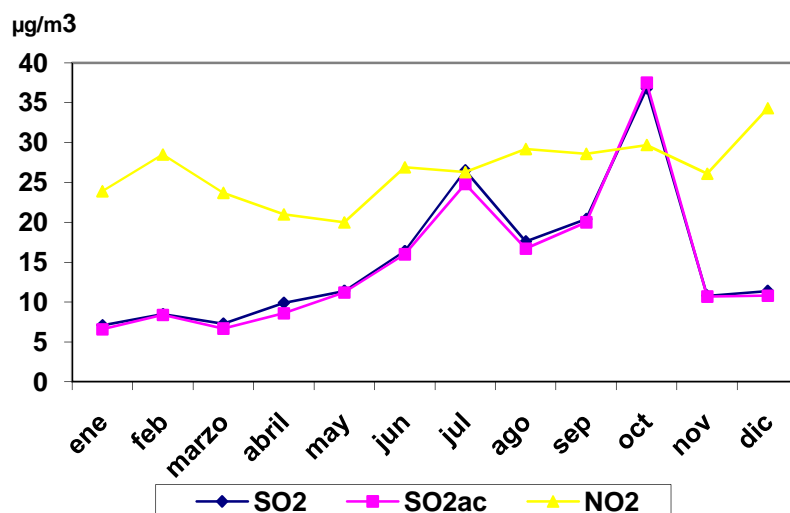


Tabla 6. Resultados del ICA. Número de muestras analizadas en todo el período.

Contaminante	Categoría			
	Buena	Aceptable	Deficiente	Mala
SO ₂	558	0	10	0
SO ₂ AC	561	0	10	0
NO ₂	408	0	44	0

público información oportuna y fácil de comprender sobre la calidad del aire local. También indica si los niveles de polución son perjudiciales a la salud.¹⁹

Al revisar la literatura para comparar nuestros resultados, encontramos que en México el Índice

Metropolitano de Calidad del Aire, es diferente al nuestro, los rango son menores²⁰. Cuando el índice se encuentra entre 0 y 50, la calidad del aire se considera *bueno*; *regular* cuando el índice se encuentra entre 51 y 100 ; *mala* cuando se encuentra entre 101 y 150; *muy mala* entre 151 y 200 y *extremadamente mala* cuando el valor del índice es mayor a 201.

CONCLUSIONES

- Los indicadores de tendencia central de los contaminantes evaluados resultaron inferiores a las concentraciones máximas admisibles establecidas en el país para promedios diarios.
- No se observó una disminución marcada los fines de semana en ninguno de los contaminantes estudiados.
- Se observó una fuerte correlación entre el SO₂ y el SO₂ acidométrico en el período 2013, y entre el SO₂ y el NO₂ en el período 2014.
- Ninguno de los contaminantes mostró un comportamiento estacional definido.
- Según los valores del ICA la calidad del aire cercana a la estación del INHEM es buena, aunque existen días que se consideran deficiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Rojas N, Galvis B. Relación entre PM_{2.5} y PM₁₀ en la ciudad de Bogotá. Revista de Ingeniería, Universidad de Los Andes [Internet]. Nov. 2005 [citado 26 ene. 2015]; (22):54–60. Disponible en: <https://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/rev22art6.pdf>
2. Determinación de la contaminación ambiental debida al porcentaje de evaporación en las gasolinas colombianas términos de referencia [Internet]. [citado 14 ene. 2015] Disponible en: http://www.upme.gov.co/terminos/062_DeterminacionContaminacionAmbiental.pdf.
3. Qué daño causa el Dióxido de Azufre al ser humano y al medio ambiente? Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes sitio

- web del Ministerio del Medio Ambiente del gobierno de Chile [Internet]. [cited 2015 ene. 22] Disponible en: <http://www.mma.gob.cl/retc/1279/article-43789.html>.
4. El portal sanitario de la Región de Murcia .Materia particulada (PM₁₀ y PM_{2,5}) [Internet]. [cited 2015 ene. 22] Disponible en: <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180331&idsec>
 5. Colaboradores de Wikipedia. Dióxido de nitrógeno [Internet]. Wikipedia, La enciclopedia libre; 2015 ene 22, 10:37 UTC [cited 2015 ene. 29]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_nitr%C3%B3geno.
 6. FAQ del aire Lenntech. [Internet]. [cited 2015 ene. 22]. Disponible en :<http://www.lenntech.es/faq-aire.htm>
 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. Norma UNE 77234 1998. Calidad del aire. Determinación de la concentración máxima de dióxido de azufre. Método del tetracloro-mercuriito (TCM)/pararosanilina
 9. NC-93-02-216 Determinación dióxido de azufre por colorimetría.
 10. Determinación dióxido de azufre método ácido métrico OMS no 24. Selección de procedimientos para medir la contaminación del aire. Ginebra 1976.
 11. CETESB .Método de referencia para determinar dióxido de nitrógeno en atmósfera Brasil, 2001
 12. NC 111: 2004 calidad del aire—reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos.
 13. NC1020: 2014 Calidad del aire - contaminantes - concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables.
 14. GreenFacts Contaminación del Aire Dióxido de Nitrógeno [Internet]. [cited 2015 ene. 22]. Disponible en: <http://www.greenfacts.org/es/dioxido-nitrogeno>.
 15. Martínez Varona M, Maldonado G, Molina Esquivel E, Fernández Arocha A. Concentraciones diarias de contaminantes del aire en La Habana (Cuba). *Hig. Sanid. Ambient.* [Internet]. 2011[citado 26 ene. 2015]; 11:786-92. Disponible en: [http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc5154246108197_Hig.Sanid.Ambient.11.786-792.\(2011\).pdf](http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc5154246108197_Hig.Sanid.Ambient.11.786-792.(2011).pdf)
 16. Celis JH, Morales PJ. Estudio de la contaminación del aire urbano en una ciudad intermedia El caso de Chillán (Chile). *Atenea* [Internet]. 1 semestre 2007[citado 26 ene. 2015];(495):165-82. Disponible en: www.scielo.cl/pdf/atenea/n495/art10.pdf
 17. Rössli M, Theis G, Künzli N, Staehelin J, Mathys P, Oglesby L, et al. Temporal and spatial variation of the chemical composition of PM 10 at urban and rural sites in the Basel area, Switzerland. *Atmos. Environ.* [Internet]. 2001[cited 2015, 26 Jan.]; 35(21): 3701-13. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231000005112>
 18. Martínez Varona M, Molina Esquivel E, Fernández Arocha A. Comportamiento de contaminantes atmosféricos en una zona de Ciudad de La Habana en el periodo 2005-2009. *Higiene y Sanidad Ambiental* 2010; 10: 645-649.
 19. ATSDR. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. El aire. El índice de calidad del aire. [Internet]. [actualizada 28 de junio de 2007 citado 28 ene. 2015]. Disponible en: http://www.atsdr.cdc.gov/es/general/aire/calidad_aire.html
 20. Colaboradores de Wikipedia. Índice Metropolitano de la Calidad del Aire [Internet]. Wikipedia, La enciclopedia libre; 2015 ene 29, 10:37 UTC [cited 2015 ene. 29]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%8Dndice_Metropolitano_de_la_Calidad_del_Aire&oldid=79844131