

ALGUNOS INDICES DE LA CONTAMINACION REGIONAL DEL AIRE EN CUBA

Por C.M. LÓPEZ CABRERA *

Introducción

Los datos provenientes de la vigilancia de la contaminación general del aire revisten gran importancia para las investigaciones de los vínculos entre las variaciones de la composición atmosférica y el cambio climático, así como la evaluación de otros problemas medioambientales de repercusión mundial, regional o local. A diferencia de las latitudes templadas, en las regiones tropicales y subtropicales es reconocido que existen serias limitaciones de la base de datos en química atmosférica que permitan la preparación de estimados cuantitativos de los ciclos regionales biogeoquímicos de elementos de interés tales como el azufre y el nitrógeno, entre otros.

Desde la segunda mitad del decenio de los 70, el Instituto de Meteorología de la Academia de Ciencias de Cuba opera una red de vigilancia de la Contaminación General del Aire que sigue el programa y metodología de la Red BAPMoN de la Organización Meteorológica Mundial, componente importante del sistema VAM. El programa de vigilancia ejecutado ha tenido gran extensión en relación con la composición química de la lluvia y en años más recientes se incluyeron los aerosoles y los principales gases contaminantes.

La mayoría de las estaciones de esta red está ubicada en condiciones rurales a suficiente distancia de fuentes locales de contaminación y unas pocas en sitios urbanos y suburbanos con el objetivo de obtener contrastes con las primeras. Ninguna de las estaciones está ubicada en sitios tan remotos que satisfagan completamente los requisitos para las estaciones mundiales, por lo que se

considera que la información recopilada se asocia más con la proveniente de las estaciones regionales. En este reporte se utilizan datos obtenidos en la red cubana durante el decenio 1981-1990. En lo fundamental se analiza información de química de la lluvia obtenida sobre la base de la vigilancia mensual que excluye depósito seco para que resulte representativo del nivel regional.

Indice de contaminación del aire

Dada la importancia que reviste la contaminación del aire para la salud humana, los criterios de calidad del aire son establecidos fundamentalmente para su aplicación en los asentamientos humanos. Estos criterios, por lo general dirigidos al "nivel de impacto", no resultan útiles para su aplicación en los niveles de contaminación regional y mundial, por cuanto no reflejarían los posibles problemas de la calidad del aire o no están diseñados para incluir importantes componentes de los programas de monitoreo en esas escalas como es el caso de la composición química de las precipitaciones.

Sin embargo, para muchas aplicaciones de los datos de la composición química del aire en zonas alejadas de los centros urbanos e industriales, así como para las propias actividades de vigilancia de la contaminación, resulta conveniente establecer criterios que permitan evaluar los niveles de concentración que reflejan las estaciones de vigilancia y, por otro lado, detectar cuáles de éstas presentan mejores condiciones para vigilar los niveles de fondo regional o mundial. Estos criterios facilitan también la comprensión de este tipo

* Jefe del Departamento de Control de la Contaminación Atmosférica. Instituto de Meteorología. Cuba.

de información ofrecida por los servicios meteorológicos a usuarios no especializados en química y contaminación atmosféricas y asimismo, además de a las medidas, pueden aplicarse a las salidas de los modelos de dispersión de contaminantes.

Los índices de contaminación del aire son modelos simples que transforman valores o parámetros relativos a la contaminación del aire en números simples adimensionales de fácil comprensión para el público (Szepesi, D.J., 1989). Estos índices, como característica general, incluyen solamente aquellos contaminantes para los cuales existe normas de concentraciones admisibles o criterios de episodios por lo que normalmente están referidos al "nivel de impacto". Se conoce un número importante de índices propuestos o aplicados en ciudades de diferentes países (Goroshko y Zaitsev, 1974; Thom y Ott, 1976; Berliand, 1979) y otros cuyos criterios fueron analizados por el autor (López Cabrera, C.M., 1990) en su propuesta de un índice simple y una clasificación para evaluar el nivel y grado de contaminación del aire en estaciones de vigilancia independientemente de su categoría (local, regional o global). El índice IL tiene las siguientes características principales:

$$IL = \frac{C \cdot B}{A} \quad (1)$$

donde:

IL – Índice de contaminación del aire (adimensional)

C – Concentración medida (gases, aerosoles o composición química de las precipitaciones)

A – Valor de concentración límite superior del intervalo donde cae el valor C

B – Valor del intervalo correspondiente para A

Notas:

- 1) Para los casos en que C coincide con el límite superior de un intervalo se tomará éste como valor A.
- 2) Para concentraciones mayores que las indicadas en el intervalo B-5 (contaminantes 1-7) y el intervalo B-4 (contaminantes 8-13) se tomarán los límites superiores de esos intervalos como valor A.
- 3) Para aquellos contaminantes que no tienen

norma de concentración máxima admisible, la clasificación llega al nivel de impacto, pero no clasifica a este último en grados.

En la Tabla 1 se presentan los criterios de clasificación del nivel y grado de contaminación del aire utilizando el índice IL. En la Tabla 2 se precisan los criterios complementarios para la selección de los parámetros A y B de la ecuación 1 para un grupo de elementos que normalmente se consideran buenos indicadores de la contaminación de origen antropogénico. Para la selección de los criterios de clasificación señalados en la Tablas 1 y 2 se siguieron consideraciones diferentes para el nivel de impacto y para los niveles de fondo (regional y mundial). Para el primer caso se asumen los criterios establecidos en las normas cubanas para la evaluación de la alteración de la calidad del aire en los asentamientos humanos (NC 93-02-104 de 1986 y NC 93-02-202 de 1987). Estas normas definen las condiciones higiénicas del aire mediante las concentraciones máximas admisibles (C_{ma}) de las sustancias contaminantes teniendo en cuenta los posibles efectos aditivos, el tiempo promedio de las concentraciones y su peligrosidad y también el establecimiento de grados de contaminación sobre la base de la concentración normalizada K.

$$K = \frac{C}{C_{ma}} \quad (2)$$

donde:

C – Concentración real definida para un tiempo promedio dado.

C_{ma} – Concentración máxima admisible diaria.

Para los niveles de fondo mundial y regional no hay normas de C_{ma} y aún persisten grandes incertidumbres en los métodos de estimación de efectos e impactos debido a que los procesos mediante los cuales éstos se producen resultan muy complejos. Por estos motivos los intervalos seleccionados en la Tabla 2 para estos niveles no se vinculan fundamentalmente con los efectos potenciales sino con los valores de concentración más frecuentemente observados y sus dispersiones, lo que le otorga a esta sección del índice carácter comparativo.

Tabla 1
Criterios para clasificación del nivel y grado de la contaminación del aire usando el índice IL

Valor de IL	Nivel	Grado
0,0 - 0,5	Mundial de fondo	-
0,51 - 1,0	regional	liger
1,1 - 2,0	regional	moderado
2,1 - 3,0	regional	alto
3,1 - 4,0	regional	extremo
> 4,0	impacto	véase debajo

Contaminante	Impacto			
	Ligero	Moderado	Alto	Extremo
O ₃	4,1 - 33,3	33,4 - 60,0	60,1 - 108,0	> 108,0
NO _x , HS	4,1 - 40,0	40,1 - 119,0	119,1 - 350,0	> 350,0
SO ₂ , NO	4,1 - 40,0	40,1 - 160,0	160,1 - 640,0	> 640,0
Polvo en suspensión	4,1 - 34,0	34,1 - 138,0	138,1 - 552,0	> 552,0
NH ₃	4,1 - 71,0	71,1 - 347,0	347,1 - 1.710,0	> 1.710,0

Tabla 2
Determinación de los parámetros A y B para el índice IL

Contaminante	B					
	0,5	1	2	3	4	5
Gases ($\mu\text{g m}^{-3}$)						
1 SO ₂	0-3,0	3,1- 5,0	5,1-10,0	10,1-15,0	15,1-20,0	20,1-25,0
2 H _S	0-1,0	1,1- 1,6	1,7- 2,2	2,3- 2,8	2,9- 3,4	3,5- 4,0
3 NO ₂	0-3,0	3,1- 6,0	6,1- 9,8	9,9-13,2	13,3-16,6	16,7-20,0
4 NO	0-4,0	4,1- 7,9	8,0-15,0	15,1-20,0	20,1-25,0	25,1-30,0
5 NH ₃	0-6,0	6,1-11,7	11,8-23,0	23,1-34,1	34,2-45,4	45,5-56,7
6 O ₃	0-3,0	3,1- 6,0	6,1- 9,0	9,1-12,0	12,1-15,0	15,1-18,0
Aerosoles ($\mu\text{g m}^{-3}$)						
7 PS	0-9,0	9,1-17,8	17,9-35,2	35,3-52,5	52,6-69,8	69,9-87,0
8 SO ₄ ²⁻	0-1,5	1,6- 3,0	3,1- 5,0	5,1- 7,0	7,1- 9,0	a
9 NO ₃ ⁻	0-0,4	0,41- 0,8	0,8- 1,2	1,21-1,6	1,61- 2,0	a
Lluvia (mg l⁻¹)						
10 SO ₄ ²⁻ S	0-0,4	0,5-0,9	1,0-1,9	2,0-2,9	3,0-3,9	a
11 SO ₄ ²⁻ S(exceso)	0-0,2	0,3-0,5	0,6-1,1	1,2-1,7	1,8-2,3	a
12 NO ₃ ⁻ -N	0-0,6	0,07-0,13	0,14-0,27	0,28-0,41	0,42-0,55	a
13 NH ₄ ⁺ -N	0-0,10	0,11-0,21	0,22-0,43	0,44-0,65	0,66-0,87	a

NOTAS: Gases y aerosoles: Promedios diarios.

Lluvia: muestras sumarias mensuales o promedios anuales (medias volumétricas).

a): no poseen norma de Cma para el nivel de impacto y no se clasifica en grados. Para concentraciones superiores a las de las columnas B-5 o B-4, se toman los valores de A y B de éstas para el cálculo del índice.

Como es conocido, el nivel de fondo regional no mantiene una uniformidad espacial, pues las contribuciones sobre éste de factores naturales y antropogénicos cambian considerablemente en dependencia de las condiciones fisiogeográficas y la distribución de las fuentes y sumideros de los contaminantes específicos. Para un mismo sitio puede asumirse prácticamente constante con ciertas variaciones estacionales e

interanuales. Los valores mínimos se observan sobre los océanos y el continente antártico y son cercanos a las concentraciones atmosféricas naturales (Rovinsky et al, 1987).

Las características enumeradas anteriormente aconsejaron la conveniencia de introducir cuatro grados de contaminación en el nivel de fondo regional similares a los indicados para el nivel de impacto y mantener una sola denominación para el de fondo

mundial (vinculado a los valores mínimos y estables de concentración observados en zonas remotas del planeta).

La selección de los intervalos de concentración señalados en la Tabla 2 requirió de una extensa revisión de los reportes de datos de vigilancia de la contaminación del aire, entre otros los de la Red BAPMoN de la OMM, la serie sobre la vigilancia de la contaminación de fondo del medio ambiente publicada por el CEH de la URSS en la segunda mitad de los años 80, el informe sobre acidificación en países tropicales (SCOPE 36) y otros muchos informes y artículos publicados en las revistas especializadas o presentados en eventos científicos.

Comportamiento del nivel y grado de contaminación general del aire a través de algunos elementos de interés en la composición de la lluvia

Por su importancia, sobre todo por su vínculo con la lluvia ácida, la vigilancia de los compuestos de azufre y nitrógeno recibe desde hace años una atención especial. A continuación se exponen algunos ejemplos de resultados obtenidos en Cuba aplicando el índice IL a datos de concentraciones de SO_4^{2-} –S; SO_4^{2-} –S (exceso); NO_3^- –N y NH_4^+ –N en la lluvia para el decenio 1981-1990 en ocho estaciones de la red de vigilancia citada.

Estos resultados fueron analizados en mayor extensión y detalle por el autor (López Cabrera, C.M., 1991), donde se incluye también el análisis de las razones SO_4^{2-} –S (exceso)/ SO_4^{2-} (total) y NO_3^- –N/ NH_4^+ –N. Este último índice no reflejó la existencia de zonas afectadas ni potenciales.

Para el SO_4^{2-} –S, al principio del decenio predominaba el "nivel regional ligero de contaminación" e incluso se manifestaban niveles de fondo mundial. Posteriormente, se observa un aumento del grado de contaminación hasta el año 1989 a partir del cual se hace manifiesto un descenso del grado en varias estaciones.

Para el NO_3^- –N, lo primero que resalta en la curva es la mayor homogeneidad de los grados de contaminación para este compuesto, tanto espacial como cronológicamente al compararla con la curva del sulfato (total o exceso). Se observa también la marcha señalada para el sulfato desde valores "mundial" de fondo o "ligero" al

comienzo del decenio hasta mayoritariamente moderados en el período 1984-1989 y un descenso hacia el "grado ligero" en el año 1990.

Para el SO_4^{2-} –S las mayores frecuencias de los niveles "mundial de fondo" y "regional ligero" se observaron en La Palma y Palo Seco, mientras que la máxima frecuencia del nivel "regional extremo" y nivel de "impacto" se obtuvo en la estación de Santiago de las Vegas. Estos resultados concuerdan con la ubicación de las estaciones y su distancia a las fuentes de contaminación.

Para el NO_3^- –N y otros elementos, la situación es similar a la anterior para los casos de los niveles "mundial de fondo" y "regional ligero", apareciendo las estaciones de La Palma y Palo Seco con las mayores frecuencias, lo que les otorga, a partir de este criterio, las mejores condiciones para la vigilancia regional o mundial.

Para el SO_4^{2-} –S (exceso), como era de esperar de acuerdo con su ubicación, las mayores frecuencias de nivel "regional extremo" y nivel de "impacto" se detectaron en la estación Casablanca (estación suburbana e influida por las emisiones de la ciudad de La Habana).

Conclusiones.

La aplicación de un índice para la clasificación del nivel y grado de la contaminación del aire facilita, por un lado, la comprensión de la información sistemática que ofrecen los servicios meteorológicos, sobre todo a usuarios no especializados y, por otro, permite evaluar con facilidad las posibilidades de las estaciones para acometer programas de vigilancia mundial o regional.

En Cuba, la preparación del índice IL y su aplicación, entre otros, a elementos de interés de la composición química de la lluvia en el decenio 1981-1990 permitió verificar que los mayores grados de contaminación para el nivel regional se presentaron con el azufre, aunque la frecuencia de casos extremos o impacto es baja. Para el nitrógeno se observó menor grado de contaminación y mayor homogeneidad espacial de los valores del índice, lo que puede estar motivado por la menor dispersión de las fuentes y sumideros para este elemento o por su mayor tiempo de residencia atmosférica.

De las estaciones evaluadas, La Palma y

Palo Seco resultaron las que mejor reflejaron en el decenio el nivel mundial y regional de fondo.

Referencias

- BERLYAND, M. E., 1979: *Methodological Directives for Forecasting Air Pollution over Cities* (in Russian). GIDROMETEOIZDAT, Leningrad, 78 pp.
- CEN, 1986: *Reglas para la Vigilancia de la Calidad del Aire*. NC - 93 - 02 - 104, La Habana, Cuba.
- CEN, 1987: *Requisitos Higiénico-Sanitarios: Cma, Alturas Mínimas de Expulsión y Zonas de Protección Sanitaria*. NC - 93 - 02 - 202, La Habana, Cuba.
- GOROSHO, B.B. and A.S. ZAITSEV, 1974: Some characteristics of contaminant concentration distribution over a territory. In: *Air Pollution and Atmospheric Diffusion*, 2, IPST.
- LOPEZ CABRERA, C.M., 1990: *Criterios para la Evaluación del Nivel y Grado de la Contaminación del Aire*. Seminario taller CONTAT-90, Academia de Ciencias de Cuba.
- LOPEZ CABRERA, C.M., 1991: *Algunos Resultados sobre la Evaluación del Nivel Regional de la Contaminación del Aire en Cuba*. Taller nacional "Cambios climáticos y sus consecuencias", Academia de Ciencias de Cuba.
- RODHE, H. and R. HERRERA, 1988: *Acidification in Tropical Countries*. SCOPE 36. John Wiley and Sons Ltd., Chichester, England.
- ROVINSKY, F. Ya and G.B. WIERNSMA, 1987: *Procedure and Methods for Integrating Global Background Monitoring of Environmental Pollution*. WMO-TD. No. 178. GEMS Information Series, 5.
- SZEPESI, D.J., 1989: *Compendium of Regulatory Air Quality Simulation Models*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 516 pp.
- THOM, G.C. and W.R. OTT, 1976: A proposed uniform air pollution index. *Atmos. Environment*, 10, 261-264.

DESASTRE POR ALUD DE NIEVE EN EL SUDESTE DE TURQUÍA EN EL INVIERNO DE 1992

Por Ibrahim GÜRER¹ y Ayhan SAYIN²

Introducción

El subclima de Turquía, localizado en la franja climática templada del mundo, tiene grandes variaciones a consecuencia de su topografía. Hay cordilleras a lo largo del Mar Negro y de las costas mediterráneas, altas montañas en la parte oriental y sudoriental del país y empinadas colinas. En consecuencia, las fuertes nevadas durante el invierno dan lugar a riesgo de aludes, que se dan en las laderas de los valles desnudos de la región tanto en la cara norte como en la cara sur. Mueren unas

40 personas cada año en los aludes y se causan grandes daños a las propiedades (Gürer, 1987), si bien en el invierno de 1992 murieron 284 personas.

Un alud se desencadena por los efectos tanto de las fuerzas internas como externas, su peligrosidad aumenta continuamente con la acumulación de nieve y alcanza su clímax cuando comienza la estación de la fusión de las nieves. El deshielo intermitente de primavera da lugar a un empaquetamiento de la nieve que contiene capas de diferentes densidades; esto aumenta la resistencia de la cubierta de nieve y

¹ Universidad Hacettepe, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Geológica, Beytepe, Ankara, Turquía.

² Servicio Meteorológico Estatal Turco, Kalaba, Ankara, Turquía.