

CONTAMINACION ATMOSFERICA

Instituto de Meteorología de la Academia de Ciencias de Cuba

## Características del NO<sub>2</sub> y los tipos de situaciones sinópticas en 2 localidades de la Ciudad de La Habana

Inv. Osvaldo Cuesta Santos,<sup>1</sup> Dr. Herio Toledo Villa<sup>2</sup> e Inv. Julián Vidaillet Rodríguez<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Se muestra la influencia de diversos factores meteorológicos sobre el NO<sub>2</sub> troposférico en 2 localidades de la Ciudad de La Habana, analizado según los tipos de situaciones sinópticas que han afectado esta ciudad durante el período de 1986 a 1991.**

*Palabras clave:* **FACTORES METEOROLOGICOS; DIOXIDO DE NITROGENO/análisis; ATMOSFERA.**

### INTRODUCCION

La contribución del NO<sub>2</sub> al aire contaminado en las ciudades es significativo, pues concentraciones relativamente bajas pueden causar efectos nocivos sobre la salud humana, suprimen el crecimiento de la vegetación y aceleran la corrosión de los metales. Las fuentes antropogénicas de los óxidos de nitrógeno están asociadas a los procesos de combustión a altas temperaturas (termoeléctricas, refinerías de petróleo, el transporte automotor, así como al consumo doméstico de combustible).<sup>1</sup>

La relación que existe entre los valores de las concentraciones de NO<sub>2</sub> con las variables meteorológicas y las diversas masas de aire asociadas a los diferentes tipos de situaciones sinópticas, tienen gran importancia para conocer el comportamiento de este contaminante vinculado a muchos problemas actuales de la protección del medioambiente.

Los tipos de situaciones sinópticas (TSS) nos permiten asumir un criterio genético de modo tal que queden bien diferenciadas las influencias anticiclónicas oceánicas y continentales, los sistemas ciclónicos de origen tropical o extratropical, así como otras perturbaciones acompañadas de fuertes áreas de convergencias que se agrupan en atención a su procedencia y origen (Lapinel B. La circulación atmosférica y las características espaciales temporales de las lluvias en Cuba [tesis para optar por el grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas], Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, 1988), por lo tanto los TSS nos dan la clave para estudiar las características de la composición y distribución de los contaminantes en todas sus manifestaciones.

El presente trabajo aborda las características de las concentraciones del NO<sub>2</sub> troposférico, la influencia de diversas variables meteorológicas y de los TSS en 2

localidades de Ciudad de La Habana mediante el muestreo diario efectuado desde 1986 a 1991.

## MATERIAL Y METODO

El primer punto de muestreo se localiza en la periferia noreste de la Ciudad de La Habana, en la localidad de Casablanca, a unos 50 m sobre el nivel medio del mar y aproximadamente a 4 km de la costa. Esta estación pertenece al Departamento de Control de la Contaminación Atmosférica del Instituto de Meteorología de la Academia de Ciencias de Cuba. Las fuentes del N<sub>2</sub>O tienen un origen antropogénico muy marcado en el sector sur por la presencia de una zona industrial y residencial, mientras que en el semicírculo norte predomina la influencia oceánica con algunas pequeñas fuentes locales debido al transporte automotor y sectores de viviendas.

El otro punto situado en Infanta y Crucero, Centro Habana, a 3 m sobre el suelo y a 2,5 m aproximadamente de la zona de tránsito, pertenece a la Red Aire Cuba del Ministerio de Salud Pública. En el sector comprendido desde el NE al SE se localizan las principales fuentes industriales, y el resto está bajo la influencia del sector residencial y pequeñas fuentes industriales; como factor constante y de gran peso se encuentran las fuentes del transporte de vehículos.

El método empleado para la determinación del N<sub>2</sub>O en las muestras diarias fue el de los tubos de absorción (Cuesta O, González M, Castillo J, Mora E. Determinación de los óxidos de nitrógeno en la troposfera de Cuba utilizando la técnica de los tubos de absorción. I Conferencia Científica de Metrología, La Habana, 1986) y el método tradicional de Saltzman en las estaciones de Casablanca y Centro Habana respectivamente.

Los TSS, según la clasificación utilizada por *Lapinel*, se realizaron por especialistas del Departamento de Climatología del Instituto de Meteorología de la Academia de Ciencias de Cuba. De forma abreviada, se presentan a continuación:

*TSS I.* Referido a la cercana influencia del anticiclón del Atlántico y se considera que es el sistema sinóptico que con mayor frecuencia influye sobre Cuba. El viento predominante puede ser del primero o segundo cuadrante, lo que da origen a los subtipos Ia y Ib.

*TSS II.* Ocurre cuando la región central del anticiclón del Atlántico se aleja de nuestras áreas; existen 2 subtipos: IIa, flujo extendido no perturbado, y IIb que corresponde al sector de influencia de las ondas y hondonadas.

*TSS III.* Refleja una débil influencia anticiclónica o la existencia de hondonadas, vaguadas o sistemas de bajas en regiones adyacentes.

*TSS IV.* Refleja situaciones ciclónicas cercanas o sobre nuestro territorio.

*TSS V.* Incluye perturbaciones o disturbios. Existen 2 subtipos: el Va que comprende ondas y hondonadas en el flujo del este, y el Vb son extensiones meridionales de vaguadas de latitudes medias, líneas de cizalladuras entre 2 altas, bajas frías.

*TSS VI.* Refleja la influencia de las bajas extratropicales.

*TSS VII.* Se relaciona con la influencia de los frentes fríos.

*TSS VIII.* Se asocia con el anticiclón continental polar. Se consideran 3 subtipos: el VIIIa cuando el centro del anticiclón continental está en la parte central del continente, el VIIIb cuando el centro del anticiclón se encuentra al sur de los Estados Unidos y el Golfo de México, y el VIIIc cuando el anticiclón se encuentra sobre el Océano Atlántico al este de los Estados Unidos.

Para determinar la distribución de frecuencia para las concentraciones de N<sub>2</sub> empleamos la ley log-normal, la cual es ampliamente utilizada en el análisis de los datos de contaminación ambiental, pues describe de forma apropiada el comportamiento general de los contaminantes y además puede visualizarse adecuadamente en papel log-probabilístico.

Para la confección de las rosas de contaminación se emplearon las indicaciones de la Organización Meteorológica Mundial que son comúnmente utilizadas para la detección e identificación de las fuentes.<sup>2</sup>

Todos los datos utilizados se procesaron mediante el empleo de diversos paquetes de programas estadísticos en una microcomputadora personal.

## **ANALISIS DE LOS RESULTADOS**

En las 2 estaciones estudiadas las concentraciones de N<sub>2</sub> presentan una distribución log-normal; en la figura 1 se muestra la distribución de frecuencia acumulada del N<sub>2</sub>.

Casablanca por su ubicación recibe concentraciones menores comparada con la otra localidad urbana, y esto es debido fundamentalmente al régimen predominante del viento que evita el arrastre directo de las impurezas desde las fuentes cercanas, excepto cuando se produce una fuerte acumulación por la calma prolongada o la persistencia de vientos de componente sur durante la afectación de algunos sistemas meteorológicos que producen concentraciones relativamente altas comparadas con el valor medio registrado en esta estación. Alrededor del 20 % de las concentraciones está por encima de 5,0 mg/m<sup>3</sup> y el 0,4 % de los casos se encuentra por encima de la concentración máxima admisible que es de 40,0 mg/m<sup>3</sup>.

El predominio del arrastre del aire desde los sectores norte y este provoca que alrededor del 50 % de las concentraciones de N<sub>2</sub>, sean iguales o menores a 2,0 mg/m<sup>3</sup>, que es el valor promedio reportado en diversos estudios realizados en Europa y Estados Unidos en localidades remotas;<sup>3</sup> este valor también coincide con el hallado en la Florida y en Panamá que representa fuerte influencia marina,<sup>4</sup> situación ésta que se presenta en Casablanca.

En la localidad de la estación Centro Habana se presentan las concentraciones más altas dentro de la Ciudad de La Habana, donde el 3,4 % de los casos está por encima de la concentración máxima admisible y, en general, más del 95 % de las concentraciones se encuentra por encima de 5,0 mg/m<sup>3</sup>, por lo que la contribución de las fuentes industriales y del transporte se hace sentir fuertemente en esta estación.

La rosa de concentración para Casablanca muestra (figura 2) que los rumbos de componente (WNW, NW y NNW) presentan los valores de concentraciones menores, lo cual es muestra de la influencia del sector marino, el sector desde el norte hasta el ENE con concentraciones un poco mayores muestra la influencia del transporte automotor y pequeños barrios residenciales, mientras que para el rumbo este y la parte sur la influencia de las fuentes de la ciudad se refleja en los valores obtenidos de N02.

La frecuencia de ocurrencia es mayor en los rumbos E, ENE y NNE y el porcentaje de días en los cuales no se puede determinar un rumbo predominante, según los criterios de la Organización Mundial de la Salud, es definido como variable y obedece a la situación costera de nuestra ciudad que refleja, de forma marcada, durante gran parte del año el establecimiento del sistema de brisa y terral, que durante parte de la noche y primeras horas de la mañana manifiesta la brisa de tierra y arrastra las impurezas desde la ciudad hasta nuestro punto de medición. Para la estación Centro Habana la rosa de concentración (figura 3) muestra que casi todos los rumbos reciben de forma bastante uniforme las concentraciones producidas por el transporte automotor, y en los rumbos del E y ESE y del S y SSE, al no existir fuentes locales fuertes, el nivel de las concentraciones de N02 se produce por la fuente anteriormente señalada. En los rumbos desde el NNW al NE las fuentes principales del sector industrial producen un incremento de las concentraciones. El valor del rumbo SW (44,2) se debe a la presencia de una pequeña industria, pero debido a la poca frecuencia de ocurrencia de este rumbo su repercusión se minimiza.

Los valores de N02 asociados con los diferentes TSS para las estaciones de Casablanca y Centro Habana aparecen en las tablas 1 y 2. Los valores de N02 asociados con los 3 primeros TSS se relacionan con la influencia del anticiclón del Atlántico. En Casablanca estos TSS presentan una tendencia a incrementar los valores del N02 según disminuye la influencia del anticiclón del Atlántico, motivado por una mayor incidencia marina. Para Centro Habana por su posición con respecto a las fuentes industriales de la ciudad, el TSS I, con mayor influencia anticiclónica, provoca un efecto contrario, o sea, las concentraciones aumentan y según disminuye la influencia anticiclónica, al disminuir el transporte de contaminantes desde la zona industrial con fuentes de emisión relativamente altas, por la disminución de la fuerza del viento se produce la disminución de las concentraciones de N02.

El TSS IV que responde a las situaciones ciclónicas es el que presenta las concentraciones menores, lo cual se corresponde por sus características de fuerte dispersión y limpieza por el arrastre de impurezas por la lluvia.

El TSS V presenta en Casablanca el segundo mayor valor promedio dentro de los TSS y en Centro Habana el mayor, todo esto debido sobre todo al aporte tropical (pues más del 90 % de su ocurrencia es en el verano), que presenta como característica un aumento de la actividad biológica de los suelos causado por una mayor humedad y temperatura de éstos y también por la disminución de la fuerza del viento y el incremento de la actividad eléctrica típica en los meses del período lluvioso.<sup>5</sup>

Otra causa fundamental en las altas concentraciones en este TSS es la pre-sencia de inversiones de temperatura después de la ocurrencia de las turbonadas que provocan una acumulación de contaminantes sobre la ciudad en las capas bajas de la atmósfera (Cuesta O, Sánchez P, Nieto L. Incidencia de algunos factores geográficos y

meteorológicos en la contaminación atmosférica en la Ciudad de La Habana. II Jornada Nacional por el Día Mundial del Medio Ambiente, Bayamo, 1984).

El TSS VI que caracteriza la presencia de bajas extratropicales, presenta en la estación Casablanca los mayores valores de N<sub>2</sub> debido al arrastre de los contaminantes desde la ciudad motivado por la dirección de los vientos que provocan este TSS. Para Centro Habana ocurre un efecto contrario, los vientos de región sur algo fuertes provocan una disminución de las concentraciones de N<sub>2</sub> y su causa se debe a la no existencia de fuentes fuertes en esa dirección, así como a la dispersión provocada por el incremento de la fuerza del viento.

En los TSS VII y VIII las concentraciones están por debajo del valor medio durante el período estudiado; entre las posibles causas de la disminución de las concentraciones en estos sistemas tenemos el aumento de la dispersión debido al incremento en la velocidad del viento y a su procedencia de región norte, lo cual en Casablanca conlleva a la ausencia de fuentes industriales y a una influencia oceánica, mientras que Centro Habana tendrá solamente la influencia del sector de viviendas y el transporte automotor.

Se encontraron algunas diferencias de interés al estudiar la división en subtipos de los TSS. El TSS IIa (flujo no perturbado) en ambas estaciones presenta mayores concentraciones de N<sub>2</sub> al compararla con el TSS IIb, el cual representa el sector de divergencia de ondas y hondonadas, pues esta situación provoca cielo despejado con el consecuente aumento de la radiación global y de la fuerza del viento, condiciones éstas que favorecen la destrucción fotoquímica de los óxidos de nitrógeno y una mayor dispersión respectivamente.

En los subtipos referentes al anticiclón migratorio continental, en la estación Centro Habana existe una diferencia significativa entre los valores medios de las concentraciones de N<sub>2</sub> cuando el anticiclón se encuentra sobre el continente (16,2 mg/m<sup>3</sup>) y cuando se traslada y modifica sobre el Océano Atlántico al este de los Estados Unidos (26,7 mg/m<sup>3</sup>), valores intermedios ocurren en la masa anticiclónica sobre el Golfo de México (21,4 mg/m<sup>3</sup>). Las características de las concentraciones en estos subtipos se deben a múltiples factores; la masa fría polar sobre el continente provoca en nuestra localidad de estudio un incremento en la dispersión de contaminantes debido al incremento de la fuerza del viento y de su rumbo de región norte en el cual no existen fuentes industriales potentes. Además, debemos tener en cuenta que aumenta la actividad fotoquímica debido a la abundante presencia de ozono en esta masa de aire y de cielo despejado, lo cual provoca la destrucción acelerada del N<sub>2</sub>.

La presencia del subtipo VIIIb (anticiclón en el Golfo de México) se caracteriza por una disminución de la fuerza del viento y un giro del rumbo más al este. Mientras el subtipo VIIIc (anticiclón sobre el Atlántico) continúa disminuyendo la fuerza del viento y el rumbo este es más marcado, lo cual provoca un aumento paulatino en las concentraciones de N<sub>2</sub>, por la menor dispersión y la influencia de fuentes industriales de consideración en este rumbo del viento. En Casablanca esta diferencia no es muy marcada.

Las concentraciones de N<sub>2</sub> en los TSS de origen tropical y extratropical aparecen también en las tablas anteriormente mencionadas; las de origen tropical presentan

concentraciones más altas y también mayor variabilidad diaria. Esta característica propia de los meses de verano ya ha sido reportada en otros países.<sup>3</sup> Esta diferencia es más significativa en Centro Habana al compararla con la otra estación estudiada.

El TSS VIII (anticiclón continental) es el que presenta mayor promedio de ocurrencia entre todos, asociado a él ocurre en nuestra ciudad el mayor número de casos de atención de asmáticos en los cuerpos de guardia de los hospitales (Toledo H. Estudio de la factibilidad para pronosticar los incrementos de las consultas por asma bronquial y por infecciones respiratorias agudas [tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Médicas], La Habana, 1992), por lo tanto se debe profundizar el estudio de las variables meteorológicas y los contaminantes vinculados a este TSS.

## **CONCLUSIONES**

Alrededor del 50 % de los valores de las concentraciones de N02 registradas en Casablanca se puede catalogar como propio de una localidad sin influencia antropogénica. La estación Centro Habana siempre refleja la influencia de la ciudad.

La concentración máxima admisible es superada en el 0,4 y 3,4 % en las estaciones de Casablanca y Centro Habana respectivamente.

Las rosas de contaminación reflejan los valores de las concentraciones según los sectores de influencia de origen industrial y marino en ambas estaciones. Los subtipos de los TSS II y VIII presentan diferencias notables en las concentraciones de N02 que responden a las características de comportamiento de las variables meteorológicas en cada uno de ellos.

El TSS IV que responde a las situaciones ciclónicas se caracteriza por los menores valores de N02 en ambas estaciones.

En Casablanca el TSS VI (bajas extratropicales) posee las mayores concentraciones mientras que para Centro Habana el que presenta el mayor valor promedio de N02 es el TSS V (perturbaciones o disturbios).

Los TSS de origen tropical tienen los valores de concentraciones promedios más altos y con mayor variabilidad que los hallados en los TSS de origen extratropical.

<sup>1</sup> Investigador Auxiliar. Instituto de Meteorología de la Academia de Ciencias de Cuba.

<sup>2</sup> Especialista de II Grado en Higiene y en Administración y Organización de Salud. Facultad de Ciencias Médicas "General Calixto García".

<sup>3</sup> Investigador Agregado. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

1. Logan F. Nitrogen oxidos in the troposphere: global and regional budgets. J Geophys Res 1983;88(c15):10785-807.
2. World Heart Organization. Analysing and interpreting air monitoring data GEMS (Global Enviromental Monitoring System) Genova : WHO, 1980: Offset Publication; No.51.

3. Cuesta O. Insidencia de factores meteorológicos y geográficos en el NO<sub>2</sub> troposférico en una localidad rural. Rev Cubana Meteorol (en prensa).
4. Martín A, Barner F. Sulfur dioxide, oxides of nitrogen and ozone measured continuously for two years at rural site. Atmos Environ 1981;15:567-76.

Recibido: 13 de enero de 1995. Aprobado: 16 de marzo de 1995.

Inv. *Oswaldo Cuesta Santos*. Instituto de Meteorología de la Academia de Ciencias de Cuba. Ciudad de La Habana, Cuba.