

# REPERCUSIONES ECOLÓGICAS DE LOS COMPUESTOS DEL NITROGENO ATMOSFERICO EN CUBA

**Autores:** Osvaldo A. Cuesta Santos  
María L. González González  
Paulo Ortiz Bultó  
Arnaldo Collazo Aranda

Instituto de Meteorología

## Resumen:

*El muestreo del NO<sub>2</sub> y del Nitrato y el Amonio en los aerosoles y en la lluvia se realizó en cinco estaciones ubicadas a lo largo de la Isla de Cuba durante el período de 1986 al 1991. También se estudio la deposición y tendencia del NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub> + NO) y el NH<sub>3</sub> durante 1990 al 1996. La deposición total de estos compuestos oscila desde 0,48 a 2,91 g-N.m<sup>2</sup>.año<sup>-1</sup>. El peso de la deposición depende de las características de nuestro clima tropical lluvioso. Algunos de estos compuestos del N presentan tendencia al aumento de sus concentraciones.*

## Introducción

Actualmente se ha demostrado que la deposición ácida representa un grave problema ambiental, la presencia de los compuestos oxidados del nitrógeno, fundamentalmente los óxidos de nitrógeno, ácido nítrico y nitratos, se hace cada vez más evidente en los ecosistemas terrestres y acuáticos. En este proceso los iones hidrógenos desplazan a los iones metálicos necesarios para la fertilidad de los suelos, la nutrición y el metabolismo de las plantas. La deposición ácida tiene el poder potencial, según su intensidad, de interrumpir el ciclo mineral sobre el cual descansa en parte la producción agrícola y forestal, esta también provoca la aparición de manchas necroticas en las hojas y el follaje de la vegetación, afectando su actividad fotosintética y su crecimiento (Cuesta, 1995).

La deposición ácida acelera la corrosión de la mayoría de los materiales utilizados en la construcción de edificios (UNESCO, 1985; Graedel and Mc Gill, 1986; Cuesta 1992) y pueden dañar gra-

vemente monumentos antiguos, edificios históricos, esculturas y objetos culturales (Rodhe y Herrera, 1988; Cuesta et al., 1993).

En las regiones de las latitudes medias donde la emisión antropogénica domina los ciclos de sustancias como el nitrógeno y el azufre, la deposición seca y húmeda son de importancia comparable. Cerca de las fuentes donde las concentraciones de contaminantes son altas, la deposición seca es relativamente más importante; pero la deposición húmeda cobra progresivamente importancia al alejarse de la fuente (W.M.O., 1982).

El conocimiento del ciclo atmosférico del nitrógeno tiene una gran importancia por el papel que desempeñan los diferentes compuestos que lo conforman sobre la química y contaminación atmosférica. Estos contaminantes tienen la capacidad de afectar la salud humana, diversos ecosistemas terrestres y acuáticos y al clima.

El presente trabajo aborda las características de la deposición de los principales compuestos del nitrógeno atmosférico como son el

dióxido de nitrógeno, y el nitrato y el amonio presente en los aerosoles y en la lluvia desde 1986 hasta 1991 en varias estaciones a lo largo de la Isla de Cuba. También se aborda la deposición y la tendencia de las concentraciones del NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub> + NO) y del NH<sub>3</sub> en el período de 1990 al 1996 y las posibles repercusiones ecológicas que sobre el medio ambiente pueden provocar.

## Materiales y Métodos

Se tomaron los datos de las Estaciones Principales de la Red de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica del Centro de Investigaciones del Medio Ambiente Atmosférico (CIMAA) del Instituto de Meteorología del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, la cual se guía en lo fundamental por las metodologías recomendadas por la Organización Meteorológica Mundial para el muestreo y análisis químico de estos compuestos a escala regional. De las estaciones estudiadas tres tienen características rurales: La Palma, Colón y Falla y dos tienen cierta influencia urbana: Casablanca y Santiago de Cuba.

Para el cálculo de los flujos de la deposición seca y húmeda del nitrógeno atmosférico, se procedió a la conversión de las concentraciones expresadas en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de cada compuesto; y para hallar las concentraciones en la lluvia (expresadas en  $\text{mg}/\text{l}$ ) también se realizó esta conversión.

Para los flujos de deposición seca, dada las deficiencias reconocidas para los métodos de muestreo existente se procedieron a su cálculo mediante la velocidad de deposición (Garland, 1979; Meszaros, 1981; W.M.O., 1991a) y las concentraciones obtenidas del muestreo. Mientras para los flujos de la deposición húmeda se utilizan concentraciones medias pesadas para cada año (a partir de las muestras sumarias mensuales) y la cantidad de lluvia. En ambas los flujos de deposición se expresan en  $\text{g-N.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$ .

## Discusión de los resultados

Los valores de la deposición total (seca y húmeda) de los principales compuestos del nitrógeno en las diversas estaciones estudiadas aparecen reflejados en la Figura 1 para el período de 1986 al 1991. Para la estación colón la deposición, expresada en  $\text{g-N.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$  presenta los valores más altos, siendo el amonio en la lluvia el de mayor aporte. La potencia de las fuentes naturales emisoras de este compuesto y la gran cantidad de precipitación producto de la ubicación geográfica de esta estación en el centro del país y por ser esta una zona agropecuaria justifican las elevadas concentraciones del ion amonio. La producción agropecuaria es reconocida como la mayor fuente de amoníaco atmosférico en Europa y contribuye con la mitad de las emisiones de  $\text{NH}_3$  a escala global (Sommer and Hutchings, 1995). La deposición del amonio es alta también en Casablanca,

pero su fuente principal es de origen antropogenico, provocado por la influencia de la ciudad.

gunos tipos de plásticos y de materiales metálicos utilizados en atmósferas interiores.

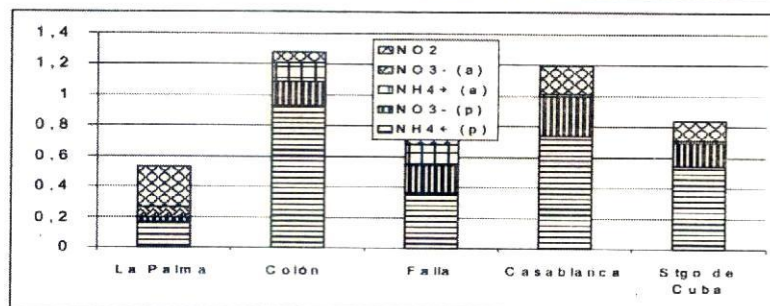


Figura 1. Deposición total (seca y húmeda) de los principales compuestos del nitrógeno (1986-1991). Los valores se expresan en  $\text{g-N.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$

En general los resultados de la deposición anual obtenidos son similares a los reportados en gran parte de Europa (NN. UU., 1991), donde los valores oscilan entre 1 y 3  $\text{g-N.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$ . Con excepción de los centros urbanos e industriales donde la deposición en Europa es significativamente mayor. Los valores en las estaciones estudiadas oscilan desde el mínimo de 0,48  $\text{g-N.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$  registrado en Santiago de Cuba en 1990, un año muy seco en la región oriental hasta un valor máximo de 2,91  $\text{g-N.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$  en 1989 en Casablanca donde las concentraciones de nitrato y amonio en la lluvia fueron significativamente altas (Cuesta et. al., 1995). Este máximo también coincide con la marcha creciente de la economía cubana hasta 1989 y la generación creciente de contaminantes asumida a la industria y el transporte.

Una de las repercusiones ecológicas más marcadas de la deposición en estas dos estaciones con influencia antropica es el aumento de la corrosión atmosférica. Esta provoca el deterioro de la piedra caliza y la arenisca, materiales que forman parte de edificios, esculturas y monumentos de gran valor cultural. También la deposición ácida provoca el deterioro de vitrales, papel y cuero y al-

En base global, aproximadamente el 50% de las especies de nitrógeno emitidas hacia la atmósfera son depositadas sobre la superficie de la tierra por las precipitaciones (W.M.O., 1991b). La importancia relativa de la remoción seca y húmeda, por ejemplo de los compuestos de nitrógeno y azufre dependen de muchos factores como son el clima y las características de las superficies, por ejemplo en áreas tropicales húmedas donde las lluvias intensas son de mucha frecuencia, la remoción húmeda es relativamente más importante que la remoción seca. Por otro lado en las áreas desérticas de poca lluvia la remoción húmeda es insignificante (Garland, 1979; W.M.O., 1982).

Se estima que el 60% de las formas oxidadas del nitrógeno ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NO}_x$ ) entran a los océanos por deposición húmeda de nitrato y ácido nítrico, el mayor flujo de aire - mar de nitrógeno oxidado se ha señalado que ocurre en el Atlántico Norte, reflejando el impacto de fuentes antropicas de América del Norte, Europa y Africa (W.M.O., 1991c), mientras que las formas reducidas de nitrógeno (principalmente  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NH}_3$ ) contribuyen cerca del 40% del flujo total de N a los océanos desde la atmósfera (Galbally y Johansson, 1989).

El estudio posterior de la deposición del  $\text{NH}_3$  y  $\text{NO}$  durante el período de 1990 al 1996, nos permite valorar mejor el peso de los compuestos gaseosos del N. De acuerdo con los valores obtenidos (Figuras 2 y 3), los compuestos oxidados del nitrógeno representan alrededor del 30% en Cuba, siendo mayor en las estaciones con influencia antropogénica (Casablanca y Santiago de Cuba). Mientras que la deposición seca en general de los compuestos del nitrógeno representará casi la mitad del total. Estos valores reflejan el gran peso que tiene la deposición del amoníaco en nuestras condiciones tropicales. Además es conocido que el amoníaco a corto plazo neutraliza la acidez de la atmósfera, pero en los últimos tiempos se ha demostrado que a mediano y largo plazo puede producir la acidificación de los suelos y las aguas (Galoway, 1995).

Según la deposición de las especies oxidadas las localidades donde se encuentran las estaciones de Casablanca y Santiago de Cuba son las que mayor impacto sufrirá por la acidificación de sus suelos, hecho atribuido a la actividad humana. Pero la región de Santiago de Cuba puede ser mucho más afectada pues sus suelos se clasifican como de acidez fuerte (pH 4,6 - 5,0), siendo más sensibles a la deposición ácida.

La deposición ácida puede causar diversos efectos sobre los suelos, si este está sujeto a la deposición ácida, la neutralización ocurre a través de la disolución de los minerales de carbonato y silicato. En este proceso los iones  $\text{H}^+$  son consumidos y los iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$  son liberados y la disolución de minerales básicos ejercen una acción buffer contra los cambios de pH. Si la acidificación del suelo continua, una sucesiva disminución del pH del suelo y del agua del suelo deberá ocurrir. La afectación estará acor-

de a la geología del lugar y de la carga de la deposición de los contaminantes acidificantes.

La Palma entre las estaciones rurales es la que recibe la mayor contribución de nitrato vía la lluvia, atribuyéndose al posible traslado desde las fuentes del continente a través de las especies del nitrógeno que funcionan como reservorios del mismo (Cuesta, 1995). Esta estación es representativa de los ecosistemas boscosos del occidente de Cuba y en la actualidad recibe la mayor cantidad de depósitos ácidos. Esta región por su tipo de suelo, clasificado como de acidez muy fuerte (pH 4,1 - 4,5), será muy sensible a la deposición ácida, esto puede estar causando efectos nocivos sobre la productividad de los suelos, afectando el crecimiento de los árboles en las zonas boscosas y la productividad de algunos otros cultivos. Las zonas boscosas son capaces de recibir hasta 5 o 6 veces mayor deposición seca (gases y aerosoles) por la mayor velocidad de deposición que los mismos generan (Loblach and Erisman, 1992), lo cual hace esta región ecológicamente más sensible.

Por otro lado las estaciones de Colón y Falla presentan una tendencia al aumento de las concentraciones de los compuestos oxidados del nitrógeno (Cuesta et al., 1995), lo cual de continuar puede afectar a los cultivos sensibles a la acidez como son el frijol y el tomate. Por otro lado la caña de azúcar es también sensible a la deposición ácida y estas zonas son intensamente explotadas con este cultivo, lo cual puede ir incidiendo paulatinamente en la pérdida de los rendimientos según se depositen estos contaminantes. Estas dos estaciones rurales están influenciadas por la quema de la biomasa con fines de energía y es posible que el cambio en el uso de la tierra y la aplicación de fertilizantes también influya en el incremento de la deposición de estos elementos.

Otra de las repercusiones ecológicas que puede provocar la deposición de los compuestos oxi-

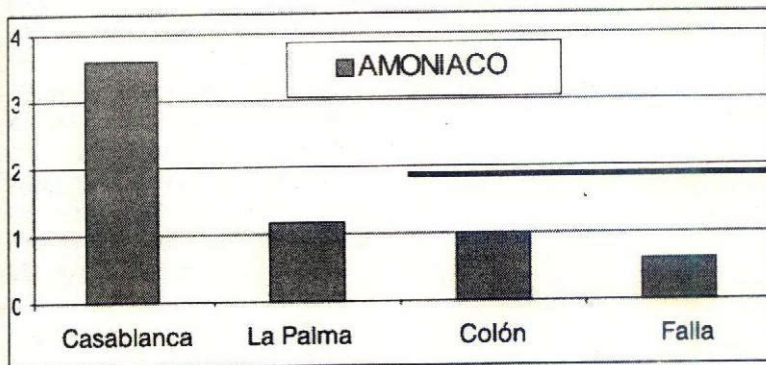


Figura 2. Deposition annual of ammonia during 1990 to 1996.

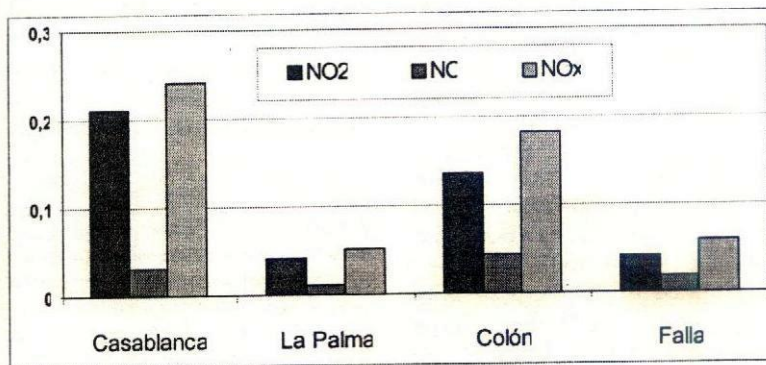


Figura 3. Deposition annual of the nitrogen oxides during 1990 to 1996.

dados del nitrógeno es la acidificación de las aguas superficiales (embalses y lagos). Esto provoca la disminución del ion bicarbonato y el incremento de las concentraciones del nitrato, lo cual produce un incremento de las concentraciones de algunos metales en las mismas. Los metales como el aluminio, cadmio, zinc, plomo y el mercurio son muy tóxicos y pueden ser ingeridos por las diversas formas de vida acuática a través de las cadenas alimentarias, llegando incluso, por esta vía al hombre. Pero en los ecosistemas acuáticos puede producir la esterilidad de algunas especies de peces y de algunos tipos de algas.

Los estudios de los efectos producidos por la deposición ácida deben realizarse de forma integrada y armónica entre los diversos especialistas relacionados con la protección del medio ambiente y los recursos naturales, pues es la única forma de preservar el equilibrio ecológico y la biodiversidad que requiere nuestro planeta.

## Conclusiones

Los efectos potenciales nocivos producto de la deposición ácida pueden estar incidiendo en alguna medida en nuestros ecosistemas acuáticos y terrestres, en la corrosión de los materiales y en la salud humana, por lo tanto un sistema de monitoreo integrado debe imponerse para conocer y poder mitigar sus efectos, por lo tanto el incremento de las concentraciones de algunos de estos compuestos debe ser vigilado por las repercusiones ecológicas que tienen para nuestra región. En Cuba los valores de la deposición total de los principales compuestos del nitrógeno oscilan desde 0,48 a 2,91 g-N.m<sup>-2</sup>.año<sup>-1</sup>. La deposición húmeda del nitrógeno representa algo más de la mitad de la deposición total, el NH<sub>3</sub> tiene un gran peso en la deposición seca y el peso de ambas deposiciones depende de las características de nuestro clima tropical lluvioso, mientras que las formas re-

ducidas del nitrógeno aportan aproximadamente el 70% del total lo cual esta más acorde a la potencia de las fuentes naturales acorde con nuestras características tropicales.

## Reconocimiento

Queremos expresar nuestro agradecimiento a Ivonne Suarez Rousseaux, por el trabajo realizado en el procesamiento de la información necesaria para este trabajo. Así como a todos los trabajadores de la Red de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica del Instituto de Meteorología.

## Referencias Bibliográficas

- Cuesta, O. (1992): Características de las concentraciones del NO<sub>2</sub> en Cuba y su relación con la corrosión atmosférica. Revista CENIC, Ciencias Químicas, Vol. 23 No. 1 - 2 - 3, 55 - 58pp., CENIC, La Habana.
- Cuesta, O. (1995): Caracterización de las concentraciones de los principales compuestos del nitrógeno atmosférico en Cuba y su relación con los tipos de situaciones sinópticas. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geográficas, La Habana, pp. 104.
- Cuesta, O.; A. Rodríguez; M. González y O. Alvarez (1993): Casco Histórico de La Habana. Contaminación atmosférica por nitrógeno. Presentado evento CENCREM, La Habana.
- Cuesta, O.; Gonzalez, M; and Ortiz, P.(1995): Deposition and atmospheric nitrogen concentrations trend in Cuba. Presentado en Acid Reign'95, Gotemburg, Suecia.
- Galbally, I.E. and Johansson, C. (1989): A model relating laboratory measurements of rates of nitric oxide production and field measurements of nitric oxide emission from soils. J. Geophys. Res.; 94:6473 - 6480.
- Galoway, J. (1995): Acid deposition: Perspectives in time and space, Water, Air and Soil Pollution, 1, 15-24.

Graedel, Y. E.; Mc Gill, R. (1986): degradation of materials in the atmosphere. Environ. Sci. Technol. 20 (11), 1093 - 1100.

Garland, J. A. (1979): Dry depositions of gaseous pollutants. W.M.O. No. 538 pp 95 - 103.

Loblab, G. And Erisman, J. (1992): Critical loads for nitrogen. A workshop report, in Lokeberg, Sweden.

Meszaros, E. (1981): Atmospheric chemistry. Fundamental aspect. Ed. Akademiai Kiado, Budapest, 201 pp.

NN.UU. (1991): Assesment of long range transboundary air pollution. Air pollution studies No. 7. New York.

Pons, D. H. (1988): Política energética, política económica y desarrollo. Editora Política, La Habana, 103 pp.

Rodhe, H.; Herrera, R. (1988): Acidification in tropical countries. SCOPE 36, J. Wiley and Sons, Great Britain, 405 pp.

Sommer, S.G., and N. Hutchings. (1995): Techniques and strategies for the reduction of ammonia emission from agriculture. Water, Air and Soil Pollution, 1, 237-248.

W.M.O. (1982): Tropospheric chemistry and air pollution. Technical Note No. 176 WMO. No. 583.

W.M.O. (1991a): Integrated background monitoring of environmental pollution in mid latitude Eurasia. GAW No. 72 WMO/TON, 434.

W.M.O. (1991b): Meeting of experts on the role of clouds in the chemistry, transport, transformation and deposition of pollutants. WMO Report No. 17 WMO No. 448 (GEMS).

W.M.O. (1991c): The global atmosphere watch: Atmospheric pollution and the seas. Fact sheet No. 8.

**Abstract:** The NO<sub>2</sub> nitrate and ammonia sampling in aerosols and rainfall was carried out at five stations located along the Cuban Island, from 1986 to 1991. Also, NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub> + NO) and NH<sub>3</sub> depositions and trends was studied from 1990 to 1996. The total deposition of these compounds varies from 0,48 to 2.91 g-N.m<sup>-2</sup>.year<sup>-1</sup>. The weight of deposition depends on our tropical rainy climate features. Some of N compounds have some trend to increasing its concentrations.