

# UN PASEO POR LAS nub3s



— Rosa M. Álvarez —  
— Léster Augusto Alfonso Díaz —

Suena romántico “andar por las nubes”, pero su papel en nuestras vidas trasciende los asuntos del corazón para comprender y resolver **problemas de frontera.**

**E**l desarrollo de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) ha tenido asociado un impacto ambiental, debido al incremento del parque vehicular y al gran número de industrias. Por eso, la caracterización de contaminantes (partículas suspendidas y gases) y su interacción con los diversos componentes del sistema climático (las nubes en especial) es de gran importancia.

En este tema trabajan tres investigadores de la UACM: Léster Augusto Alfonso Díaz, José Joaquín Lizardi del Ángel y Rogelio Mendoza Pérez. En particular, participan en el proyecto de investigación, en colaboración con la UNAM, titulado: “Estudio del impacto de emisiones naturales y antropogénicas en el Valle de México”. A continuación los investigadores nos comparten algunos contenidos de su proyecto.

Los aerosoles y los gases atmosféricos son los más importantes contaminantes ambientales debido al efecto nocivo sobre la salud humana, animal y vegetal, así como el efecto adverso que ejercen en la visibilidad en zonas urbanas. Los aerosoles son los núcleos de condensación de las gotas de nubes y definen el espectro de las gotas de nubes y precipitación. A su vez, los aerosoles y los gases son procesados por las nubes alterando la distribución por tamaños si ocurre la evaporación de las gotas. Por otro lado, las reacciones en fase acuosa son generadoras de la lluvia ácida.

Por lo tanto, un estudio integral de las emisiones debe incluir la influencia de las nubes en el procesamiento químico de gases y de aerosoles. En la actualidad, el estudio de la influencia de las nubes cobra cada día mayor importancia. Efectivamente, tanto el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) como muchos compuestos orgánicos volátiles (COV) son procesados muy eficientemente en condiciones de alta humedad relativa y también dentro de las nubes.

El ácido sulfúrico es conocido como uno de los principales precursores de la lluvia ácida, pero otros ácidos orgánicos y COV como el ácido fórmico ( $\text{HCOOH}$ ) también pueden ser importantes en la acidificación de la lluvia.

Cerca del 60% de la superficie de la tierra está cubierta por nubes y, aunque éstas sólo ocupan un 7% del volumen total de la tropósfera, y la fracción de agua líquida en las mismas raramente es mayor a  $10^{-7}$ , participan en los procesos de transporte vertical, remoción, difusión, reacciones químicas y formación de nuevas especies tanto en fase gaseosa como de aerosol, lo que hace que su impacto en la química de la tropósfera sea sumamente importante. Por tanto, su inclusión en los estudios de contaminación es esencial.

Las nubes producen precipitación, un mecanismo muy eficiente para la remoción de gases y aerosoles. Finalmente, ellas constituyen un medio ideal para muchas reacciones químicas que no tienen lugar en la fase gaseosa.

Se han desarrollado modelos de química de nubes, que combinan la dinámica de la atmósfera con los procesos microfísicos que llevan a la formación de gotas y los procesos químicos en fase acuosa. Los modelos más avanzados tienen en cuenta los espectros por tamaños tanto de gotas como aerosoles (con microfísica detallada), lo que confiere una mayor exactitud a los cálculos.

No existen muchos modelos con microfísica detallada que tengan incorporados los procesos químicos. Como un antecedente importante, en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM se desarrolló un modelo de este tipo que se aplicó para la modelación del ciclo del azufre en condiciones marítimas. Una versión más desarrollada se ha utilizado para calcular la influencia de los compuestos orgánicos en el desarrollo de la precipitación, al incorporar la oxidación del for-

maldehído para crear ácido fórmico.

La importancia de la microfísica del hielo fue tempranamente reconocida en los trabajos del meteorólogo noruego Tor Bergeron (1935), quien descubrió que el crecimiento de los cristales de hielo en nubes frías a expensas de las gotas sobreenfriadas, es un mecanismo importante para el desarrollo de la precipitación. Desde aquel tiempo se han invertido muchos esfuerzos en la investigación de los mecanismos de la fase fría en nubes, aunque todavía hay una incertidumbre inmensa dada la complejidad de los procesos que intervienen.

Los procesos de fase fría dependen tanto de la sobresaturación como de la temperatura, al contrario de los procesos en nubes calientes (sin partículas de hielo) que dependen básicamente de la sobresaturación. Las geometrías de los cristales son muy diversas y su inclusión en modelos con microfísica explícita está prácticamente en sus inicios; sin embargo, está menos claro el papel de los cristales de hielo, sus agregados y las gotas congeladas, con respecto a la contaminación.

Son contadas las investigaciones donde se estudie la influencia del hielo en las concentraciones de gases y el reciclado final de aerosoles.

La modelación de la microfísica del hielo es un problema de frontera. El enfoque propuesto por los investigadores de la UACM, involucra el cálculo de la evolución de los espectros producto de las colisiones entre cristales de diferentes geometrías a partir de procesos estocásticos. Ellos han obtenido algunos avances preliminares que se han presentado en congresos y publicado en revistas tanto nacionales como internacionales, los cuales se pueden consultar en internet o poniéndose en contacto con sus autores.

**Rosa M. Álvarez G.** Profesora investigadora de la Academia de Matemáticas, UACM.

**Léster Augusto Alfonso Díaz.** Profesor investigador de la Academia de Física, UACM.



**Sobre los participantes en el proyecto:**

**Dr. Léster Augusto Alfonso Díaz**

Licenciatura y Maestría en Física Matemática, Universidad Estatal de Moscú (1990). Doctorado en Física de la Atmósfera en la UNAM. Principales líneas de investigación: modelación microfísica de nubes, y el análisis de integridad de ductos, que desarrolla en colaboración con el IPN. Profesor investigador de la UACM desde 2005. [lesterson@yahoo.com](mailto:lesterson@yahoo.com)

**Dr. José Joaquín Lizardi del Ángel**

Licenciatura en Física, Maestría y Doctorado en Ingeniería Mecánica por la UNAM. Principales líneas de investigación: dinámica de fluidos, transferencia de calor, combustión catalítica y medios porosos. Profesor investigador de la UACM desde 2005. [jlizardi@gmail.com](mailto:jlizardi@gmail.com)

**Dr. Rogelio Mendoza Pérez**

Licenciatura, Maestría y Doctorado en Física en la Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM), IPN. Área de investigación: estudio de las propiedades ópticas y eléctricas de los semiconductores, y en investigación aplicada al desarrollo tecnológico de celdas solares y prototipos fotovoltaicos. Profesor investigador de la UACM desde 2005. [kayabix@yahoo.com.mx](mailto:kayabix@yahoo.com.mx)