

# Las **nubes** la **vida** y el **mar**

**E**n investigación, muchos aspectos de la naturaleza requieren un enfoque interdisciplinario para entender el funcionamiento de procesos claves para nuestro planeta. La relación nubes-vida-mar constituye un excelente ejemplo. El hecho de que las algas participen en el ciclo del sulfuro era conocido por los biólogos, al igual que el intercambio de otros elementos —oxígeno, nitrógeno y bióxido de carbono— con la atmósfera por medio de procesos como la fotosíntesis o la fijación de nitrógeno. Los físicos sabían que en la formación de nubes se requiere, además de vapor de agua, partículas microscópicas que

proporcionen una superficie sólida para facilitar que se aglutinen en ella pequeñas gotas y den origen a una nube. Estos elementos, presentes en la atmósfera como aerosoles o partículas de tamaño submicrónico, se conocen como núcleos de condensación de nubes. Finalmente, los químicos tenían el conocimiento sobre la formación de aerosoles de manera espontánea a partir de transformaciones químicas y fotoquímicas en la atmósfera y de compuestos orgánicos e inorgánicos provenientes del mar, donde la oxidación de compuestos sulfurados juega un papel importante.

y José Dagoberto Hernández Acevedo



Sin embargo, no fue hasta 1972, en un trabajo realizado por J. Lovelock, R.-J. Maggs y R.-A. Rasmussen, cuando todos estos conocimientos comenzaron a analizarse de manera conjunta e interdisciplinaria. En ese trabajo los autores llaman la atención sobre el dimetilsulfuro, o sulfuro de dimetilo (DMS), y sugieren que representa el enlace agua-aire en el ciclo del sulfuro. En 1987, con la hipótesis de Bates y sus colaboradores, se intensificó notoriamente la discusión y los proyectos de investigación relacionados con el tema. En ella se planteaban las interacciones del fitoplancton oceánico, el sulfuro atmosférico, las nubes y el albedo como mecanismos de regulación del clima.

### Fitoplancton y dimetilsulfuro

El plancton, particularmente el fitoplancton, constituye la base de una intrincada red trófica que sostiene la vida en los mares y participa, a distintas escalas, en una serie de procesos biogeoquímicos centrales en la relación océano-atmósfera. Por ubicarse en la superficie de todos los cuerpos de agua, la primera relación del plancton es con la óptica marina, ya que al igual que los compuestos inorgánicos disueltos en el agua, estos organismos absorben, reflejan y dispersan la luz que proviene del sol.

Compuesto básicamente por diversas poblaciones de microalgas y bacterias fotosintéticas que habitan la capa iluminada de todos los mares, el fitoplancton constituye el eje biológico del flujo de energía en el ecosistema marino. Mediante la capacidad de sus pigmentos para atrapar la radiación solar y transformarla en energía química

—particularmente la clorofila—, libera oxígeno y otros compuestos, captura bióxido de carbono, utiliza nutrientes disponibles en el agua, participa en el reciclaje de diversos elementos, y presenta, gracias a su gran diversidad y cortos ciclos de vida, rápidas respuestas a las variables ambientales de la atmósfera y la columna de agua.

El dimetilsulfuro, principal fuente de sulfuro reducido en la tropósfera, es un gas muy volátil presente en suficiente cantidad como para significar una contribución importante al sulfuro atmosférico. En el océano es producido por el rompimiento enzimático del dimetilsulfopropionato o propionato de dimetilsulfonio (DMSP) contenido en el fitoplancton, principalmente en los coccolitofóridos y algunas especies de diatomeas y dinoflagelados. Algunos estudios sugieren que el pastoreo del fitoplancton por el zooplancton puede ser la principal ruta por la cual el DMSP es transformado en dimetilsulfuro, aunque también los procesos microbianos de descomposición pueden ser importantes.

El sulfuro de dimetilo es liberado a la atmósfera, donde reacciona formando aerosoles sulfatados que se encuentran en toda la interfase agua-aire. Las partículas de este aerosol biogénico juegan un importante papel en el balance global de radiación, directamente a través de la dispersión de la radiación solar e indirectamente como núcleos de condensación de nubes en la atmósfera marina. En la figura 1 se muestra esquemáticamente la compleja red de procesos de producción, transformación y utilización de los núcleos del dimetilsulfuro a partir del agua de mar superficial.

La fotosíntesis es el proceso central en el funcionamiento del fitoplancton desde el punto de vista ecofisiológico, ya que libera oxígeno al medio y consume bióxido de carbono por medio de un sistema pigmentario que incluye clorofilas *a*, *b* y *c*, carotenoides y ficobiliproteínas. La clorofila *a* es el pigmento principal y común en todos los fotoautótrofos productores de oxígeno, por lo que es ampliamente utilizada como una forma de cuantificar la biomasa algal.

Sin embargo, la relación clorofila-biomasa varía en respuesta a cambios en irradianza, disponibilidad de nutrientes y temperatura. Paralelamente, la concentración de clorofila y su relación con otros pigmentos proporciona información sobre la composición taxonómica de una muestra, y es un indicador de alteraciones en las comunidades algales que pueden repercutir en otras poblaciones marinas, incluyendo varias pesquerías importantes.

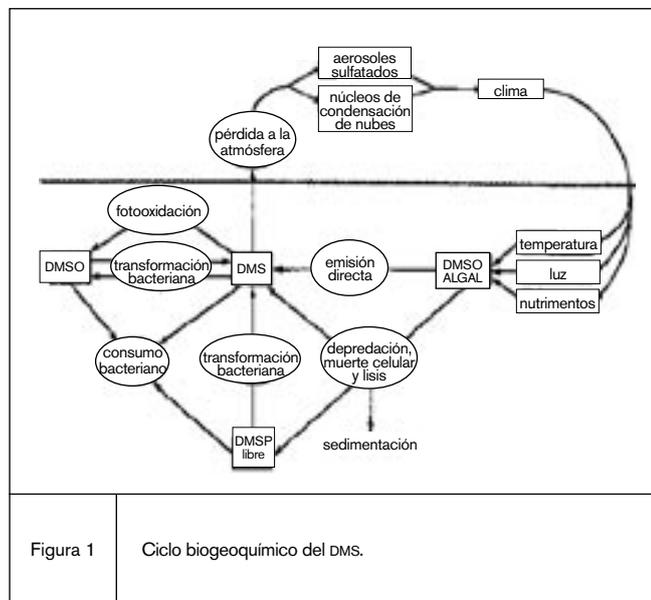


Figura 1 Ciclo biogeoquímico del DMS.



Por otro lado, la presencia de propionato de dimetilsulfonio libre en el agua de mar y el reducido tamaño de los principales grupos algales que lo producen, explica que las correlaciones con la concentración de clorofila no sean necesariamente altas.

Ésta es la relación entre el fitoplancton —la vida— produciendo un compuesto sulfurado en el mar que se libera a la atmósfera como aerosol, interfiriendo con la dispersión de luz y formando núcleos de condensación de nubes, las cuales son elementos importantes del clima. Al impe-

dir el paso de una parte de la radiación solar, una mayor formación de nubes se ha postulado como un posible mecanismo de amortiguamiento del calentamiento global.

#### **Los estudios en mares mexicanos**

Las emisiones de dimetilsulfuro del Pacífico tropical son una significativa fuente de sulfuro en la atmósfera y contribuyen al aumento de partículas en la capa marina límite. El más amplio estudio que se ha llevado a cabo en esta



zona fue realizado por el Laboratorio Ambiental Marino del Pacífico de la National Oceanic and Atmospheric Administration que realizó registros en el Pacífico —principalmente en la franja ecuatorial— durante 15 años, a partir de 1982. Más reciente, en un esfuerzo internacional, se realizó un estudio de la distribución global del sulfuro de dimetilo.

En el primer estudio, las concentraciones reportadas varían considerablemente por cuestiones metodológicas más que ambientales. Bates y sus colaboradores consideraron que las enormes variaciones ambientales interanuales asociadas con El Niño (1982-1983, 1986-1987 y 1990-1995) no parecían tener mucho efecto sobre la concentración de dimetilsulfuro en las aguas oceánicas. En quince años de estudio sólo se reportan dos mediciones ubicadas en el Pacífico mexicano, a la altura de Manzanillo, Colima, en mayo de 1983 y en febrero de 1989.

Por su parte, el Laboratorio de Ecofisiología del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, a finales de la década de los noventa inició el estudio de la interacción atmósfera-biófera en sistemas acuáticos, investigando las emisiones y capturas de gases biogénicos en las comunidades de fitoplancton, las concentraciones de dimetilsulfuro y propionato de dimetilsulfonio en agua y atmósfera marinas, así como su comportamiento en relación con eventos climáticos.

En 1997, ante la ocurrencia del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur, se presentó la oportunidad de realizar campañas oceanográficas a bordo de *El Puma* con el objeto de estudiar la dinámica de las comunidades fitopláncticas en cuanto a composición y concentraciones de clorofila *a*, *b* y *c*, además de iniciar la evaluación en campo de técnicas de detección de dimetilsulfuro y propionato de dimetilsulfonio en la columna de agua.

En general, las alteraciones periódicas que ocurren en el Océano Pacífico como consecuencia de El Niño-Oscilación del Sur se han descrito como altas temperaturas superficiales del mar, bajas concentraciones de nutrientes y de clorofila, reducidas tasas de productividad primaria, cambios en la especiación fitoplánctica e incrementos en la lluvia. Muchos autores han señalado al fitoplancton como responsable de los cambios en los patrones de pesca observados durante el fenómeno de El Niño, ya sea por su disminución, cambio en la composición específica de las poblaciones o por el crecimiento excesivo de algunas especies oportunistas que resultan tóxicas para sus depredadores, generalmente peces y moluscos. Tam-

bién se ha relacionado la disminución de las microalgas en el Pacífico ecuatorial con la muerte de aves y mamíferos marinos que se alimentan de ellas.

Los estudios realizados por el Laboratorio de Ecofisiología del Centro de Ciencias de la Atmósfera en el Pacífico mexicano muestran una correlación entre la abundancia relativa de clorofila y de dimetilsulfuro mayor que la descrita por otros autores. Por su ubicación en la capa superior del océano, sobre el fitoplancton actúan los dos mecanismos que transmiten los efectos físicos y biológicos de El Niño: las ondas costeras y las teleconexiones atmosféricas. Sin embargo, para identificar la dinámica de sus interacciones y el papel real o potencial que juega en el sistema climático se requieren periodos mucho más largos de observación, incluyendo condiciones en donde se presenta y no El Niño. Por otro lado, las concentraciones de dimetilsulfuro detectadas, si bien confirman la tendencia a ser mayores en zonas más cálidas y en aguas con menos nutrientes, no necesariamente corresponden a la cantidad que puede ser liberada a la atmósfera, pues en

ese proceso intervienen otras poblaciones de la comunidad —zooplancton y bacterias, por ejemplo— que no fueron evaluadas en el estudio. La medición simultánea de DMS-DMSP en agua y aire, cerca de la superficie del mar, además de un estudio más detallado sobre la composición y comportamiento de las comunidades pláncicas, permitirá avanzar hacia la detección de otros mecanismos de interacción relacionados con la variabilidad climática.

Procedentes de los distintos compartimentos en que, para su estudio, suele dividirse a la Tierra —atmósfera, biosfera, hidrosfera, litosfera—, las interacciones nubes-vida-mar constituyen un fascinante tema de investigación que abarca disciplinas como la física de nubes, la microfísica, la meteorología, la química atmosférica y marina, la ficología, la planctología y la ecofisiología. Éste es un campo abierto que cada vez requiere más científicos dispuestos al reto de un trabajo interdisciplinario profundo y una visión holística de los procesos de intercambio en la naturaleza. 



**Amparo Martínez Arroyo**

**Ana Elisa Peña del Valle Isla**

**José Dagoberto Hernández Acevedo**

Centro de Ciencias de la Atmósfera,

Universidad Nacional Autónoma de México.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bates, T. S., R. P. Kiene, G. V. Wolfe, P. A. Matrai, F. P. Chavez, K. R. Buck, R. W. Blomquist y R. L. Cuhel. 1994. "The cycling of sulfur in surface seawater of the northeast Pacific", en *J. Geophys. Res.*, vol. 99, núm. C4, pp. 7-835-7-843.

Bates, T. S., J. D. Cline, R. H. Gammon, y S. R. Kelly Hansen. 1987. "Regional and seasonal variations in the flux of oceanic dimethylsulfide to the atmosphere", en *J. Geophys. Res.*, vol. 92, núm. C-3, pp. 2-930-2-938.

Bates, T. S. y P. K. Quinn. 1997. "Dimethylsulfide (DMS) in the equatorial Pacific Ocean (1982 to 1996): Evidence of a climate feedback?", en *Geophys. Res. Lett.*, vol. 24, núm. 8, pp. 861-864.

Charlson, R. J., J. E. Lovelock, M. O. Andreae y S. G. Warren. 1987. "Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud albedo and climate", en *Nature*, núm. 326, pp. 655-661.

Lovelock, J. E., R. J. Maggs y R. A. Rasmussen. 1972. "Atmospheric dimethylsulphide and the natural sulphur cycle", en *Nature*, núm. 237, pp. 452-3.

Malin, G., S. Turner y P. Liss. 1992. "Sulfur: the plankton / climate connection", en *J. Phycol.*, núm. 28, pp. 590-597.

#### FIGURAS

1. Modificada de Malin, G. *et al.*, 1992.

#### IMÁGENES

Sebastião Salgado, P. 71: Galicia, España, 1988; Pp. 73-75: pesca de atún, Sicilia, Italia, 1991.