



# Comprender las nubes para anticipar el clima futuro

por Sandrine Bony<sup>1</sup>, Bjorn Stevens<sup>2</sup> y David Carlson<sup>3</sup>

- <sup>1</sup> Universidad Pierre y Marie Curie
- <sup>2</sup> Instituto Max Planck de Meteorología
- <sup>3</sup> Director del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC)

Jacques Descloitres,  
Equipo MODIS de respuesta rápida, NASAGSFC



*La humanidad siente una fascinación instintiva por las nubes. Las comunidades meteorológica e hidrológica han llegado a comprender tras décadas de observación e investigación que los procesos nubosos, desde la microfísica de la nucleación inicial a las supertormentas visibles desde los satélites, proporcionan información fundamental para la predicción meteorológica y, en particular, para la de la precipitación. Mirar las nubes desde un punto de vista climático presenta nuevos y difíciles interrogantes que cuestionan nuestras premisas generales sobre el modo en el que funciona realmente nuestra húmeda y nubosa atmósfera.*

*Las nubes son uno de los principales moduladores del calor en la atmósfera, controlando muchos otros aspectos del sistema climático. Por ello, el reto de "Las nubes, la circulación y la sensibilidad climática" es uno de los siete grandes retos del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC), los cuales constituyen áreas de importancia en la investigación, modelización, análisis y observaciones científicas para el PMIC y sus proyectos asociados en la próxima década.*

## Las nubes y los patrones de circulación a gran escala

Las imágenes de satélite visibles e infrarrojas de nuestro planeta casi siempre muestran las nubes alineadas y distribuidas a lo largo de las grandes espirales y remolinos de la circulación atmosférica. La animación de las sucesivas imágenes estáticas de nubes puede documentar con claridad estos movimientos circulatorios. Sin embargo, ¿qué ocurre si los procesos de formación de nubes y los sistemas nubosos, en lugar de utilizarse como resultados e indicadores de las circulaciones a gran escala, influyen realmente en estas o, incluso, las determinan?

Sabemos que las nubes experimentan procesos de condensación y evaporación e interactúan con las radiaciones solar e infrarroja al tiempo que pasan por sus ciclos individuales de formación, maduración y disipación. Además, sabemos que en el seno de los sistemas nubosos se forman corrientes mesoescalares ascendentes y descendentes, y que cabe esperar que estos procesos termodinámicos y dinámicos afecten al transporte de calor, humedad y cantidad de movimiento, estimulando la aparición de ondas y turbulencias, y perturbando las condiciones locales mientras modifican el estado atmosférico a gran escala. A través de estos efectos locales y remotos, las nubes afectan a la estabilidad estática de la atmósfera, a la cizalladura del viento y a los gradientes de temperatura meridianos.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos suponer que las nubes repercuten en la estructura, la localización y la intensidad de perturbaciones a pequeña escala, por ejemplo ciclones tropicales y extratropicales, y en características más amplias a escala hemisférica como las corrientes en chorro a latitudes medias. Para comprender el impacto a nivel regional y mundial de un clima más cálido y húmedo, deberíamos mejorar nuestra capacidad

para describir e interpretar la relación causa-efecto existente entre las nubes y la circulación. Las fortalezas y las limitaciones de nuestra comprensión actual de esa relación pueden ilustrarse al examinar cuatro áreas distintas.

### Reto 1: Convección y sensibilidad climática

La sensibilidad de nuestro clima –es decir, cuánto se incrementará la temperatura como respuesta al aumento de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera– continúa siendo, tanto intelectual como económicamente, una de las mayores preocupaciones de la investigación climática. Un estudio reciente ha dividido los factores que controlan la sensibilidad climática en dos grupos: por un lado, los que son conocidos y fiables y, por otro, aquellos que son menos comprendidos y que corresponden, en su mayor parte, a retroalimentaciones de nubes. Aunque ya se han explicado algunos aspectos de estas retroalimentaciones, por ejemplo los que están relacionados con la extensión vertical de las grandes nubes o con las nubes en la capa límite sobre el océano, hay un asunto mucho más crítico que continúa siendo un misterio: la relación de las nubes con la convección en los climas presente y futuro. Está claro que nuestra incertidumbre en relación con las retroalimentaciones nubosas se debe en gran medida al rudimentario tratamiento que se hace actualmente de la mezcla debida a la convección en los diferentes modelos. La comunidad científica necesita acercarse al problema de la convección de una forma sistemática, utilizando a la vez unas mejores observaciones y una estructura de modelos integrales y centrados en la convección, con el fin de lograr unas condiciones marítimas inalterables y unas mediciones a distancia del vapor de agua en la baja troposfera. La comunidad, al centrarse en el tema de la convección y dada su importante relación con las

**El progreso hacia la comprensión de la relación entre las nubes, la circulación y la sensibilidad climática supone un criterio fundamental para determinar nuestra capacidad de anticipar el clima futuro.**

retroalimentaciones nubosas y la sensibilidad climática, logrará un sustancial progreso y un impacto significativo.

## **Reto 2: Trayectorias de tormentas**

Aunque se sabe que, conforme se mueven, las nubes situadas en el seno de las trayectorias de los sistemas tormentosos influyen en los gradientes de temperatura que dieron lugar, en un principio, a las tormentas, solo estamos empezando a comprender la infinidad de formas en que las nubes se asocian con las trayectorias de estos sistemas. La escala relativamente grande de las trayectorias de las tormentas hace que estas sean especialmente susceptibles a los enfoques de modelización jerárquica que se usan a escalas de resolución de nubes y global. Estos enfoques pueden ayudarnos a comprender cómo los procesos húmedos a lo largo de los sistemas frontales, las interacciones con las circulaciones oceánicas, y los efectos radiativos de las nubes influyen, colectiva e interactivamente, en el desarrollo de las tormentas y en la estructura de sus trayectorias.

A medida que estos modelos y nuestra comprensión se desarrollen, es más probable que aumente el uso de las reconstrucciones y los modelos paleoclimáticos para, por ejemplo, evaluar cómo los cambios en las trayectorias de las tormentas pudieron haber afectado en el pasado al ciclo hidrológico en su conjunto. Un mejor entendimiento de las dinámicas de las trayectorias de las tormentas en el pasado y actualmente mejorará nuestra capacidad para predecir los futuros cambios.

## **Reto 3: Cinturones tropicales de lluvia**

El forzamiento climático que conduce a cambios en la intensidad, la anchura o la localización de los cinturones

tropicales de lluvia casi con total seguridad conlleva retroalimentaciones de nubes. En una compleja interacción del forzamiento y la retroalimentación, los procesos nubosos localizados provocan cambios en la circulación a nivel hemisférico y planetario, los cuales a su vez afectan a la localización e intensidad de los cinturones de lluvia. Por ejemplo, las circulaciones mesoescalares inducidas por la convección parecen afectar a la extensión con que penetran los monzones hacia los polos, mientras que las circulaciones a escala planetaria pueden hacer que la influencia de los cinturones de lluvia se extienda a remotas localizaciones extratropicales. Mediante una combinación similar de procesos termodinámicos locales y procesos dinámicos a gran escala, las fuentes de calor situadas a altas latitudes pueden conllevar desplazamientos de los cinturones tropicales de lluvia a través de grandes distancias.

En los actuales modelos climáticos, un déficit en la nubosidad sobre el océano Antártico calienta el hemisferio sur al completo, lo que ocasiona una precipitación excesiva en el trópico meridional y da lugar a una zona de convergencia intertropical demasiado fuerte en ese hemisferio. Factores similares relacionados con las nubes ayudan a explicar por qué el enfriamiento en un hemisferio debido a los aerosoles o al crecimiento de la capa de hielo empuja a los cinturones tropicales de lluvia hacia el hemisferio opuesto. La modelización correcta de estos procesos nubosos y de sus conexiones con la circulación nos permitirá no solo comprender los cambios del pasado en la posición e intensidad de los cinturones de lluvia, sino que también nos permitirá predecir los que se producirán en el futuro; modelización "correcta" que en este caso exigirá la aplicación coordinada de una jerarquía de modelos con los que trabajar a través de hipótesis específicas guiadas por sólidas evidencias de los cambios del pasado.

## Reto 4: Agregación

Sabemos que las nubes y los procesos convectivos que las inician tienden a agruparse y organizarse, y que dicha organización puede jugar un papel en la dinámica del sistema climático. Simulaciones idealizadas llevadas a cabo recientemente han puesto de manifiesto que la convección puede agregarse de forma espontánea incluso con la ausencia de causas externas, lo que da origen al concepto de "autoagregación". Las simulaciones a escalas capaces de resolver nubes sugieren que las situaciones de autoagregación podrían aumentar con la temperatura, mientras que las simulaciones con modelos y la evidencia observacional ponen de relieve que una mayor agregación conduce a una atmósfera más clara y seca, esto es, a una mayor eficacia del calor radiante en el espacio. Así pues, la agregación convectiva podría retroalimentar cambios climáticos forzados por otras influencias y contribuir a que se produzcan variaciones en los episodios extremos.

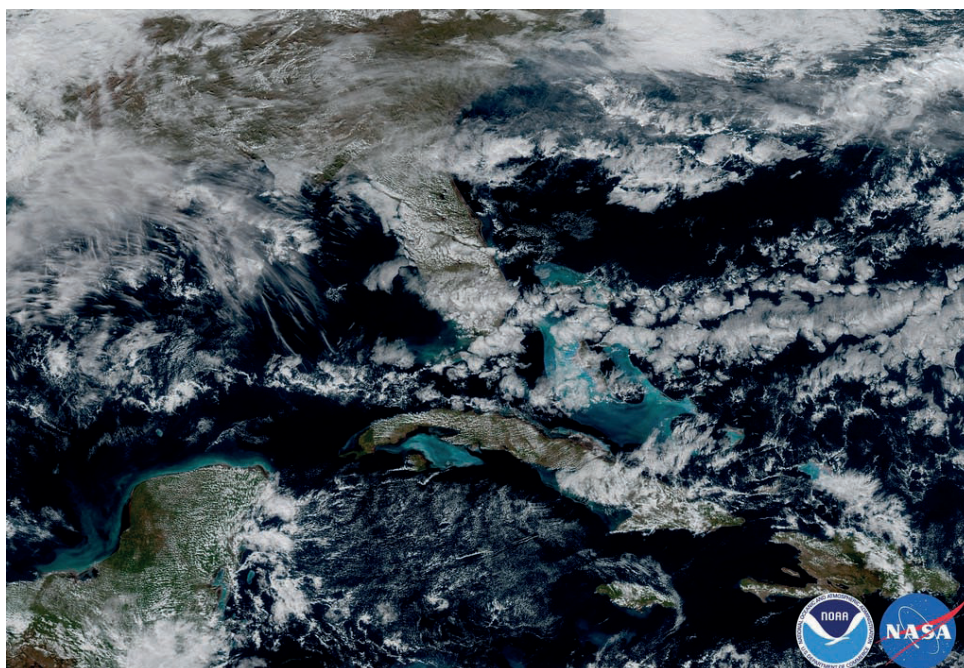
La presencia de una organización en escalas que van desde las decenas a los cientos de kilómetros revela la probabilidad de impactos generalizados, incluido el vínculo anteriormente citado entre las retroalimentaciones de nubes y los cinturones tropicales de lluvia. Conforme van progresando las capacidades de comprensión y modelización, cabe esperar que haya simulaciones innovadoras que estudien los procesos de agregación en los modelos de gran escala junto con los procesos de

desagregación en los modelos de pequeña escala. Para evaluar la forma en que la agregación convectiva afecta al clima, será necesario contar con una serie de herramientas y enfoques.

## Las nubes, la convección y la circulación, otra vez

Como estos cuatro puntos demuestran, las nubes no solo actúan como indicadores de una atmósfera turbulenta, también son un ejemplo de procesos que pueden controlar de forma activa la circulación y el clima. Cada ejemplo se enfrenta a una relación estrecha y compleja que hay entre las nubes, la convección y la circulación a gran escala, en la que las nubes y la convección desempeñan un papel determinante.

Dada la fuerte dependencia de los patrones y extremos climáticos a nivel regional con la circulación a gran escala, es importante que la investigación climática intente comprender tanto el modo en el que las nubes y la convección afectan a la dinámica atmosférica como la forma en que estos efectos cambiarán a medida que la troposfera sea más cálida y húmeda, la estratosfera se enfríe y la criosfera se reduzca. El progreso hacia la comprensión de la relación entre las nubes, la circulación y la sensibilidad climática supone un criterio fundamental para determinar nuestra capacidad de anticipar el clima futuro.



*Esta reciente imagen diurna de la región del Caribe muestra la enorme variedad de tipos de nubes y patrones organizativos que hay sobre el océano y la tierra.*