La conexión Océano-Atmósfera*

La atmósfera y el océano interaccionan en un número de formas complejas y estas interacciones son la influencia más importante en el clima de la tierra. La transferencia de energía entre estos dos cuerpos ayuda a determinar las condiciones climáticas no sólo sobre los océanos, sino también sobre las masas terrestres.

El clima del mundo está cambiando. Sin embargo todavía no se conoce en que dirección, aunque se ha establecido que la era actual es uno de los períodos más cálidos de los últimos millones de años. ¿Continuará esta condición o caerán las temperaturas iniciando un retorno a condiciones climáticas más frías y más "normales"?

Estas son las preguntas principales para la climatología moderna, un campo extremadamente complejo debido a los muchos factores que influyen el clima de la tierra. Los científicos están incentivados en la búsqueda de respuestas, debido a los recientes avances en la ciencia y tecnología. Ahora, por primera vez, pueden explorar en profundidad la influencia más importante en el clima mundial: la interacción entre los océanos y la atmósfera. Estos cuerpos están en contacto sobre el 70% de la superficie de la tierra. Los cambios en uno, causarán probablemente cambios en el otro. Si esto es así se hace importante preguntar, ¿cuál es la conexión entre el océano y el clima mundial?

Primero de todo, es evidente que cuando dos sustancias de diferente temperatura están en contacto, habrá un flujo de calor de la sustancia más caliente a la más fría. Esto se llama un flujo de calor sensible, debido a que los efectos pueden ser directamente sentidos o medidos: el cuerpo más caliente se enfría y el cuerpo más frío se calienta. Esta es una de las formas en que el océano y la atmósfera intercambian energía calorífica.

Este flujo de calor es mucho más eficiente en transferir calor del océano a la atmósfera que en la dirección opuesta. La razón para esto involucra cambios de densidad, gravedad, y convección. El calentamiento y el enfriamiento producen cambios en las densidades tanto del aire como del agua. Mientras más calientes están,

son menos densos. Estos cambios pueden iniciar movimientos verticales, llamados corrientes de convección, que son causados por la gravedad; los fluidos más livianos se elevan y los más pesados se hunden. Desde que la transferencia de calor entre el océano y la atmósfera ocurre a través de su superficie mutua, sólo el límite superior de océano y el límite inferior de la atmósfera son involucrados. De modo que los dos medios reaccionan diferentemente a los intercambios de calor.

Cuando el agua del océano en la superficie está más caliente que el aire sobre ella, el calor es conducido hacia arriba. Conforme este proceso continúa la temperatura del aire aumenta, el aire se hace menos denso y se eleva alejándose de la superficie del océano, hasta que su densidad iguale la del aire que lo rodea. Inversamente, el agua caliente de la superficie se ha enfriado debido a su pérdida de calor; al hacerse más densa, se hunde. El aire que se elevó es reemplazado por aire más denso y más frío y el agua superficial es reemplazada por agua más caliente y liviana.

Este proceso convectivo se convierte en una efectiva máquina de calor, trayendo un suministro continuo de calor en el agua océanica junto a un suministro continuo de aire refrigerante. Mientras mayor la diferencia en temperatura, más eficiente es esta máquina.

La eficiencia de transferencia de calor sin embargo se reduce mucho cuando la atmósfera es más caliente que la superficie del océano. En este caso, el calor es transferido del aire al agua hasta que la superficie del aire y del agua están a la misma temperatura; entonces se detiene. Ahora la capa superficial del océano está caliente y menos densa que las aguas debajo de ella, de manera que no ocurrirá hundimiento del agua superficial. En adición, la capa inferior de la atmosfera está más fría y más densa que el aire encima de ella y por lo tanto este aire no se elevará. Desde que no hay una fuente continua de calor o refrigerante, la máquina térmica se detiene.

El océano puede por lo tanto, transferir considerable calor a la atmósfera más efectivamente que la atmósfera transferir calor al océano. Una corriente oceánica caliente puede tener mayor efecto en el clima de un área de alta latitud (por ejemplo, la corriente del golfo afectando a la Gran Bretaña), que una corriente fría sobre el clima de una área de baja latitud (tal como la corriente de California sobre Baja California, México).

La temperatura del océano se resiste al cambio

La transferencia de calor sensible es marcada por otro fenómeno asimétrico. Aunque cada caloría de calor perdida o ganada por el océano debe ser igualada por una caloría ganada o perdida por la atmósfera, los cambios de temperatura del aire y del agua no son iguales. Requiere aproximadamente cuatro veces más calor causar igual aumento de temperatura en el agua que en el aire. El agua tiene también mucho mejor capacidad de almacenamiento de calor

que el aire; hay tanto calor almacenado en los diez pies superiores del océano como en toda la atmósfera entre la superficie del mar y el espacio exterior.

La temperatura del océano, por lo tanto, cambia mucho más lentamente que la de la atmósfera y el clima de las áreas terrestres, que son influencias por el océano, es más moderada que aquellas que no lo son. En la máquina del clima, el océano juega así un rol estabilizador; deben añadirse o quitarse grandes cantidades de calor del océano antes que ocurra un cambio de temperatura.

Calor latente de evaporación

Hay otro importante mecanismo de transferencia de calor entre el océano y la atmósfera. A diferencia de la transferencia de calor sensible, este mecanismo, llamado calor latente, o transferencia de calor de evaporación, no puede ser medido directamente. Es similar, sin embargo, al proceso de calor sensible en que es mucho más eficiente en extraer calor del océano, que en devolverle al océano desde la atmósfera. Cuando el agua se evapora de la superficie del mar, se pierde energía del agua del océano en forma de calor latente y la superficie del mar se enfría. El agua evaporada conteniendo el calor latente permanece en la atmósfera en la forma de vapor, hasta que se condensa para formar niebla o precipitación. Este retorno al estado líquido desde el estado de vapor está acompañado por la liberación del calor latente, el cual usualmente calienta la atmósfera. Sólo cuando el vapor de agua se condensa sobre la superficie del océano puede esta energía ser devuelta directamente al mar. Esto rara vez ocurre. Así es que, en general, el proceso de calor latente enfría el océano y calienta la atmósfera.

En el ciclo de calor latente, grandes cantidades de agua son extraídas del océano, transportadas por los vientos, y depositadas en otras áreas del océano o sobre tierra. Esta agua eventualmente retorna al océano por la descarga de los ríos.

Desde que la salinidad del agua océanica en cualquier lugar particular no cambia drásticamente con el tiempo, debe haber un flujo oceánico para compensar la remoción o adición de agua causada por la evaporación y precipitación. Así, a través del proceso de calor latente, no sólo la atmósfera gana calor sino también se generan corrientes océanicas.

Las tormentas obtienen mucha de su energía del calor sensible y latente transferido a la atmósfera desde el océano. Debido a esto, las tormentas severas como los huracanes tienden a desplazarse sobre áreas oceánicas con altas temperaturas superficiales. El trayecto de estas tormentas, por lo tanto, puede ser predicho analizando la temperatura superficial del mar.

Energía solar y del viento

Evidentemente, el flujo de energía no puede ser consistentemente del océano a la atmosfera sin algún proceso de reemplazo. La energía es por lo tanto, suministrada a los océanos por dos fuentes principales: el sol y los vientos.

El sol es finalmente la fuente de energía para la tierra. Calienta la superficie de la tierra, impulsa vientos y corrientes y nutre los procesos vitales del planeta a través de la fotosíntesis. La radiación solar que calienta el océano pasa a través de la atmósfera de la tierra y es absorbida en los pocos metros superiores del agua del océano. Este proceso de absorción transforma la energía radiante en calor, que calienta la superficie del mar.

Los vientos aceleran las aguas superficiales, creando olas y corrientes. Basado estrictamente en las unidades de energía transferidas, este proceso mecánico es disminuido por los otros procesos. Sin embargo, los vientos juegan un rol importante en la conexión océano –clima, generando corrientes que transportan aguas frías y calientes. Estas corrientes ayudan en la redistribución global del calor desde el Ecuador (que recibe más radiación solar) hacia los polos (que reciben poco), proporcionando así una fuente de calor y energía para la atmósfera en altas latitudes.

Hay un elemento adicional que complica el juego de interacciones entre océano y atmósfera. Ese elemento es el hielo marino. El hielo marino aísla la atmósfera del océano en cierto número de formas. Evita la transferencia de calor sensible, permitiendo que la atmósfera en las regiones polares permanezca a una temperatura que está 50 grados C. más baja que la del océano subyacente, aun cuando las dos pueden estar separadas sólo por 5' a 10' de hielo. El hielo también bloquea la transferencia de calor latente al eliminar la evaporación. También debido a que es de color más claro que el agua del océano, el hielo refleja la radiación solar y evita que sea absorbida por el agua. En adición, aunque los vientos mueven el hielo, lo cual a su vez genera un flujo de agua debajo del hielo, éste es un proceso más débil que cuando los vientos actúan directamente sobre el agua.

Por lo tanto, en el control total del clima mundial, el océano afecta a la atmósfera a través de la transferencia de calor sensible y latente y la atmósfera afecta al océano por la transferencia de movimiento. Pero para resolver los problemas específicos planteados por los climatólogos, esta generalización es demasiado simple. Por ejemplo, las áreas donde es máximo el intercambio de calor, no coinciden con las áreas de máximo intercambio de energía del viento. Gran parte del intercambio del calor latente por evaporación ocurre en las corrientes cálidas a lo largo de la margen occidental de los océanos en el Hemisferio Norte y bajo los vientos alisios en el Hemisferio Sur. Sin embargo, la mayor precipitación, ocurre en las zonas ecuatoriales y latitudes medias. En adición, los vientos impulsan las corrientes océanicas principalmente en bandas angostas del este al oeste. El resultado de estos diversos procesos produce una redistribución de calor y sal dentro de los océanos; las fuerzas de redistribución también deben ser incluidas en un estudio completo de cambios climáticos.

Avances tecnológicos

La existencia de estos procesos se ha conocido por muchos años pero sus efectos integrados han desafiado al

estudio hasta recientemente, cuando los avances en ciencia y tecnología se hicieron disponibles. Por ejemplo, los satélites de observación océanica pueden ahora recolectar inmensas cantidades de datos que hubiera sido imposible o al menos económicamente inaccesible usando métodos tradicionales. La temperatura superficial del mar, velocidad del viento, nubosidad y aún humedad pueden ser observados remotamente por instrumentos llevados en satélites transportados por satélite.

Otro avance reciente es la construcción de historia climática de largo tiempo. Los científicos han estado registrando variables meteorológicas durante algunos cientos de años. Sin embargo sólo recientemente han empezado a tomar medidas de largo plazo de variables oceanográficas. Los paleoclimatólogos han desarrollado ahora técnicas para inferir las temperaturas en eras pasadas, proporcionado así largos registros de climas pasados que son necesarios para la investigación. Muestras cilindrícas de sedimento taladradas del fondo del océano están siendo analizadas para determinar que animales vivían en cada período de tiempo. Conociendo las condiciones climáticas necesarias para su supervivencia, puede hacerse un estimado de la temperatura reinante en ese tiempo. El análisis de los anillos de árbol y muestras de hielo glacial también están ayudando a construir registros climáticos.

Predicción de climas futuros

El tercer importante elemento en esta investigación son las computadoras. Las cantidades de datos de que se dispone actualmente serían sobrecogedoras sin la moderna técnica de almacenaje, recuperación y análisis del computador. La tecnología de cómputo también permite a los investigadores simular condiciones climáticas y ver que efecto puede tener una variación en uno de los factores climáticos. La mejora de esta tecnología puede hacer realidad algún día la exacta predicción de climas futuros.

Para estudiar el clima de la tierra en detalle, todos estos procesos deben ser considerados juntos, y también con procesos que están fuera del sistema océano-atmósfera. Los datos sobre la historia climática de la tierra están haciéndose disponibles actualmente. Las técnicas necesarias para recolectar datos a una escala global han sido desarrolladas y las herramientas requeridas para análisis de datos ya existen. Está empezando una nueva era en investigación climática y la conexión océano-clima pronto será mejor entendida.

* De *Sea Frontiers.* Traducción del Valm. (r) Ricardo Zevallos Newton.