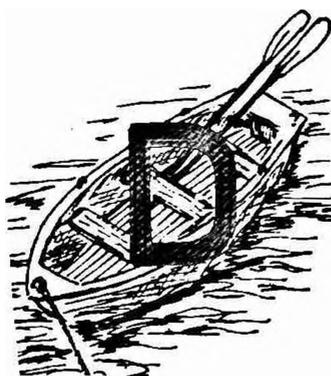


LAS TEMPERATURAS OCEANICAS: ¿PRECURSORAS DE LOS CAMBIOS DE CLIMA?

Por
Tim P. BARNETT

“La variación de humedad y temperatura en la Tierra depende en gran parte de las posiciones de las corrientes oceánicas, y se piensa que cuando conozcamos las leyes de estas últimas, con la ayuda de la Meteorología, podremos decir a los agricultores a cientos de millas de distancia del mar si tendrán una cantidad anormal de lluvia durante el próximo verano, o si el invierno será frío y sin lluvia, y gracias a estos pronósticos podrán hacer siembras adecuadas a las circunstancias o abastecerse de una mayor cantidad de alimento para su ganado”.

Tte. John E. Pillsbury, del “Gulf Stream”,
1891



ESPUES DE casi 90 años, oceanógrafos y meteorólogos están a punto de comprobar las proféticas obser-

vaciones de Pillsbury. Los descubrimientos científicos de los últimos decenios, más algunos hechos físicos muy evidentes, dan esperanzas de que el mejor conocimiento de las propiedades del océano, especialmente la temperatura de su superficie, pueda usarse para pronosticar con varios meses o incluso años de anticipación las variaciones de ciertos aspectos climáticos de la Tierra.

Sabemos que la atmósfera está en contacto con los océanos sobre el 72 por ciento de la superficie del globo y si es sensible a las condiciones de sus capas inferiores, debe reaccionar y reflejar tal vez los cambios oceánicos que se sabe ocurren. Esto se debe a que la atmósfera es

esencialmente una gran máquina calórica. En cualquier momento la cantidad de calor acumulado en una columna vertical de aire que se eleva desde la superficie de la Tierra hasta los confines del espacio es aproximadamente igual al calor contenido en una columna equivalente de agua de mar, extendiéndose desde la superficie del océano hasta una profundidad de sólo 3 metros. Así, es el océano el que acumula la mayor parte de la energía radiante del Sol para entregarla posteriormente a la atmósfera, produciendo con ello gran parte del sustento necesario para mantener el sistema atmosférico. Sabemos que el mar, debido a su mayor densidad y su alta capacidad calórica, cambia en forma más bien lenta con respecto a la atmósfera. Por eso muchos científicos creen que sería posible pronosticar la conducta oceánica futura y deducir de ella los consiguientes cambios atmosféricos.

Por supuesto, hay más de un punto de vista respecto al rol de los mares en el sistema climático. Algunos científicos afirman que el océano actúa como un filtro de paso lento sobre las fluctuaciones de alta frecuencia del campo atmosférico. Esto, junto con la noción de que es una importante fuente de energía, indica que sólo es una influencia estabilizadora en el clima

global, no presentándose en este caso como iniciador del cambio climático. Puede agregarse que, sin esta fuente de realimentación negativa entre el océano y la atmósfera, el clima del planeta Tierra podría ser altamente inestable.

Si el mar puede iniciar el cambio climático, entonces algunas de sus variables, tales como las anomalías de la temperatura del agua,

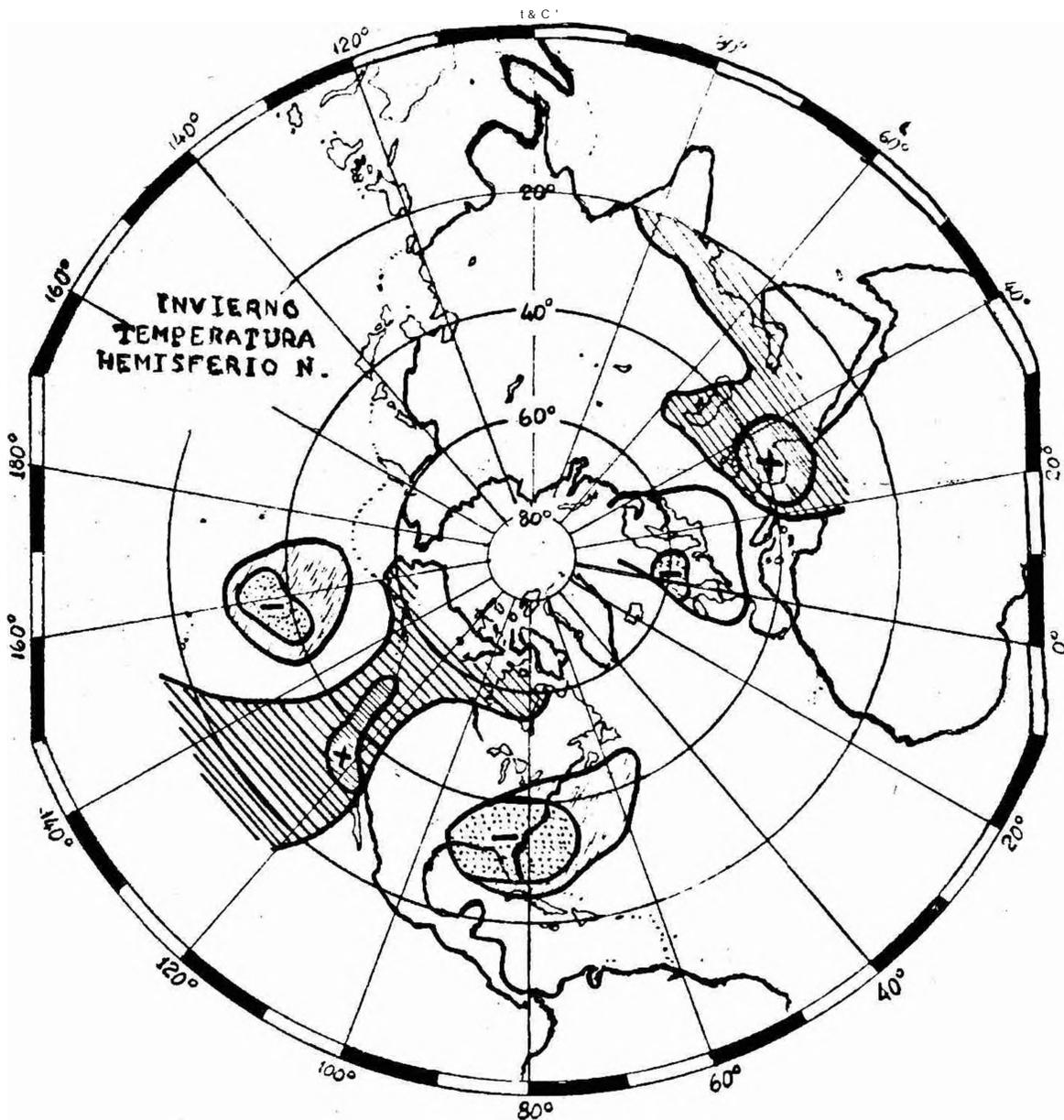


Figura 1.

Temperatura invernal en el Hemisferio Norte. Las regiones marcadas con puntos y líneas muestran las áreas donde hay mayor correlación en variabilidad de temperatura. Las regiones indicadas con el signo mas (+) serán calientes, mientras que las regiones indicadas con el signo menos (-) serán frías. El patrón de variabilidad explica el 1 % de la variación en el campo de temperatura hemisférica.

deberían ser efectivas para pronosticar las propiedades atmosféricas. Aunque la verificación de esta hipótesis no prueba el rol del océano como iniciador del cambio climático, constituiría un poderoso caso circunstancial para llegar a esa conclusión. Por otra parte, si ninguna de las variables oceánicas puede actuar como efectivo pronosticador atmosférico, entonces podríamos llegar a la conclusión de que el océano es como un esclavo de la atmósfera, que se limita a seguir sus dictados.

Covariabilidad de las características océano-atmósfera

Es importante establecer que las variaciones en las propiedades del océano, tales como la temperatura de la superficie del mar (SST), están relacionadas con cambios similares en el campo atmosférico. Aunque podrían darse numerosos ejemplos de relaciones coherentes entre océano y atmósfera, con unos pocos bastará.

En la figura (1) se muestra un análisis del componente principal del campo de temperatura de superficie en el Hemisferio Norte. Este método de análisis definió las formas normales de variación de una serie de datos de 454 estaciones dispersas sobre áreas terrestres y oceánicas entre los grados 15 y 70 Norte durante el período comprendido entre 1950 y 1977. Estas modalidades, al ser desplegadas en forma de mapa (figura 1), muestran las regiones del hemisferio donde las variaciones de temperatura son coherentes. Por ejemplo, durante el invierno, las temperaturas del océano en una vasta región del Pacífico Central, como también las temperaturas del aire sobre Norteamérica noroccidental, y sudoriental, varían al unísono. Esta covariabilidad está relacionada con fluctuaciones en la temperatura del aire en Europa y el Medio Oriente. El análisis da también un sentido de la fase de variación. La figura 1, por ejemplo, muestra que cuando el agua en el Pacífico Central es más fría que lo normal, las temperaturas del aire sobre Estados Unidos sudoriental y el norte de Europa son más frías que lo usual. Asimismo, las temperaturas a lo largo de la costa occidental de América del Norte y en la región oriental media del Mediterráneo

son más calientes que lo normal. (*). De este modo los cambios en la temperatura del océano coinciden con cambios en las temperaturas del aire sobre los continentes del Hemisferio Norte.

En la figura 2 tenemos otra demostración de la estrecha relación entre los cambios en la temperatura del océano y los del campo atmosférico. En este caso, los índices históricos de anomalías de presión atmosférica y anomalías de la temperatura del océano en el Pacífico Norte se usan para construir un modelo de regresión mediante el cual los campos de anomalía de la temperatura de la superficie del mar (SST) pueden convertirse directamente en anomalías a la altura de los 700 metros. La figura (2) muestra un ejemplo típico de la capacidad del modelo para especificar el carácter de la atmósfera inmediatamente encima de una anomalía de temperatura de la superficie del océano, únicamente a partir de datos de la temperatura de su superficie. El modelo de regresión puede construirse a la inversa. Es decir, si uno conoce la anomalía atmosférica, también es posible especificar la naturaleza del campo de anomalía de la temperatura de la superficie del mar. Nuevamente se hace evidente la relación simultánea entre las fluctuaciones oceánicas y atmosféricas.

El estrecho acoplamiento entre océano y atmósfera no se limita a estos ejemplos de las latitudes medias. Sin lugar a dudas, algunas de las interacciones océano-atmósfera más intensas ocurren en las regiones tropicales, particularmente en el Pacífico tropical. Mucha gente ha oído hablar del fenómeno llamado El Niño, que generalmente tiene relación con un calentamiento de las aguas del Océano Pacífico en la costa de América del Sur y la consiguiente disminución de las poblaciones locales de anchoveta. Ahora sabemos que el fenómeno del Niño es solamente una parte de una interacción aire/mar en gran escala que ocurre a través de todo el Pacífico occidental y probablemente, en alguna medida, por todo el Hemisferio Sur con posible conexión con el Hemisferio Norte. Durante estas interacciones aire/mar en gran escala en las regiones tropicales, las aguas de la superficie se calientan considerablemente no sólo a lo largo de la costa de América del Sur, sino a lo largo del ecuador hasta la línea de cambio de

(*) De hecho, éste es el patrón de temperaturas que ha predominado durante los dos últimos inviernos.

INVIERNO 1976-77
700 mb. y SST

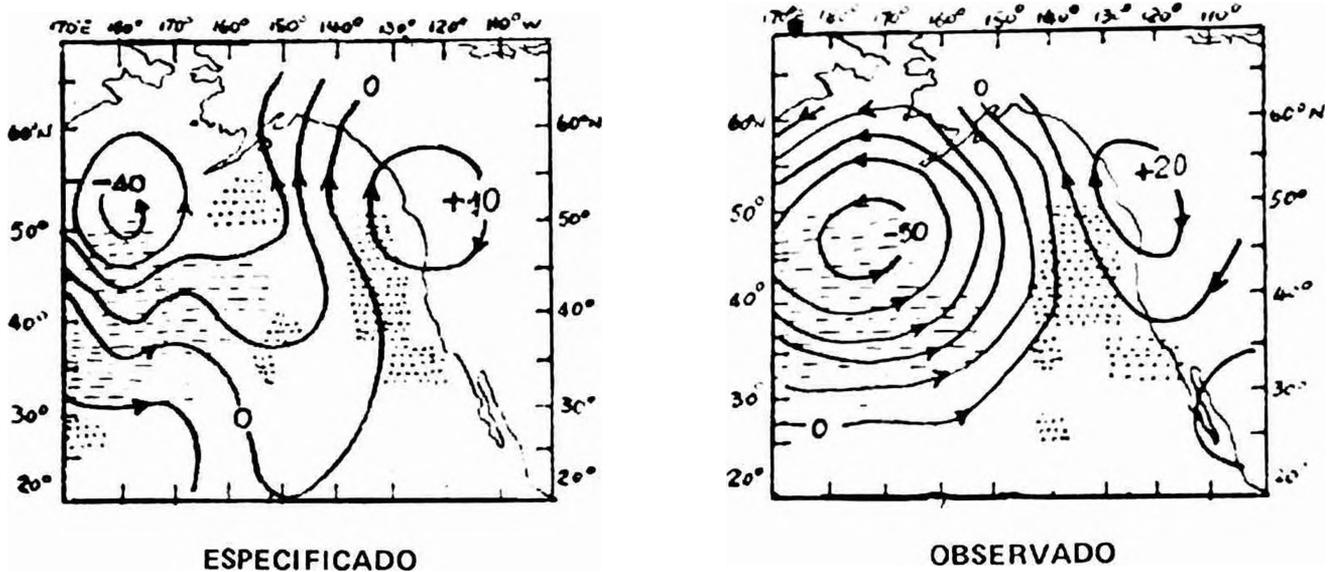


Figura 2.

Especificación de campos de anomalía de altura de 700 milibares a partir de anomalías de temperatura (signos - y +) en comparación con observaciones. Se pueden usar los datos de 700 mb. para hacer una especificación simultánea del campo de temperatura de la superficie del mar (SST) (según Namias y Bom, 1972).

fecha, una cuarta parte del recorrido alrededor de la Tierra.

Los cambios de temperatura son del orden de los 2 a los 4 grados Celsius, lo que es inesperadamente grande para lo que normalmente se considera una tranquila región tropical. Acompañando estos cambios en la temperatura del agua hay cambios masivos en el declive oriente-occidente del nivel del mar a través de toda la cuenca del Pacífico. Estas dos características oceanográficas acompañan igualmente a los cambios masivos en la distribución de la caída de lluvias en el Pacífico tropical. Algunas regiones normalmente secas experimentan lluvias excepcionalmente intensas y viceversa. Las fluctuaciones oceánicas también tienen una estrecha relación con los grandes cambios en todo el campo de los vientos alisios. En casos extremos, el campo completo resulta afectado en sus 50 millones de kilómetros cuadrados. Un cuidadoso examen numérico de estas fluctuaciones muestra una imagen compleja de acción y reacción dentro del sistema océano-atmósfera en esta región. Aunque todavía no hay

un conocimiento completo de estas interacciones, evidentemente el océano y la atmósfera ecuatorial están estrechamente vinculados.

Mecanismos de acoplamiento

Hemos visto que entre atmósfera y océano existe una gran reciprocidad y algo se sabe de los procesos físicos en cuestión. El océano afecta a la atmósfera principalmente mediante intercambio de calor entre sol-aire-mar. Tanto el calor sensible como latente es emitido a la atmósfera, aunque el último generalmente en mayor cantidad. Durante el invierno se producen potentes superficies de captación de calor por la atmósfera frente a los márgenes orientales de los continentes del Hemisferio Norte, cuando el aire frío y seco se encuentra repentinamente con un océano relativamente cálido. Además del intercambio de calor aire/mar, el océano puede tener otra influencia levemente más sutil sobre la cantidad de calor de la atmósfera. Cada año, las altas latitudes irradian más energía hacia el espacio que la que reciben. Es-

te déficit es compensado por un traspaso de calor-tanto en la atmósfera como en el océano-desde las regiones tropicales abundantemente abastecidas, manteniéndose con ello un clima estable. Cerca de las latitudes 20° a 30°, aproximadamente la mitad del flujo de calor hacia el norte ocurre en los océanos. Presumiblemente, la variación en potencia y distribución de las corrientes oceánicas podría afectar esta transferencia de calor de los trópicos hacia las latitudes medias e influir así en el sistema climático.

A su vez, la atmósfera afecta directamente al océano, principalmente a través de la transferencia de impulso en la capa límite inferior. No está del todo claro cómo se traspasa realmente el impulso al océano, pero puede afectar a la cantidad de calor que hay en él a través de diferentes mecanismos conocidos; por ejemplo, los sistemas de corrientes oceánicas movidas por impulso. Estos movimientos, al oponerse a una gradiente de temperatura en el océano pueden conducir a una transferencia de calor y a un cambio en las temperaturas del océano. Tenemos otro ejemplo en que la rapidez con que el océano cede realmente calor a la atmósfera (ya sea mediante el flujo de calor sensible o latente) es aproximadamente proporcional a la velocidad del viento propiamente tal.

La física relacionada con el intercambio de calor aire/mar a grandes escalas es complicada, ya que ambos medios están unidos en una forma casi simbiótica. Cuando cada uno de los procesos físicos es investigado en detalle, surgen nuevas dificultades, ya que no se conocen a fondo la mecánica y formulación real de los procesos. Actualmente, esta comunidad científica está tratando de perfeccionar sus conocimientos de los principales mecanismos responsables del acoplamiento oceano/atmósfera en gran escala y poder evaluarlos así con mayor precisión.

¿Existe la posibilidad de hacer Pronósticos?

La pregunta crucial es: ¿Pueden usarse las anomalías de la temperatura del océano para pronosticar las características del campo atmosférico? Una respuesta positiva sugeriría, pero sin demostrarlo, que el océano desempeña un eficaz rol en la determinación del cambio de clima. Desgraciadamente no existe una respuesta clara, aunque varios estudios relativamente

recientes permiten esperar una limitada pronósticabilidad a partir de consideraciones oceánicas. Tenemos un ejemplo de esto en los trabajos de Jérôme Namias, del Instituto Scripps de Oceanografía. Usando las anomalías de la temperatura de la superficie del mar observadas en el Pacífico durante una determinada estación, Namias proyecta el campo de anomalía que se espera que experimente la temperatura de la superficie del mar durante la siguiente estación. Usando las especificaciones técnicas antes mencionadas, se convierte entonces el futuro campo de temperatura de la superficie del mar en un pronóstico del campo de anomalía subyacente de 700 milibares de altura. Empleando correlaciones opuestas, el patrón de anomalía es empleado luego para estimar los patrones de los flujos atmosféricos, como por ejemplo los que se espera que ocurran "corriente abajo" sobre América del Norte. Esta es, básicamente, la idea de las "teleconexiones" donde los eventos de una parte de la atmósfera comunican su existencia e inducen fluctuaciones en otras partes de la misma. En este caso, las distribuciones de anomalía de presión sobre el Pacífico están relacionadas con las que se espera que ocurran en América del Norte. Se hace así un pronóstico del patrón de presión sobre el continente, con una estación de adelanto.

A partir del patrón de presión es posible deducir y computar objetivamente las características generales de distribución de temperatura y precipitación sobre la masa terrestre. Se emplean índices atmosféricos adicionales para decidir el pronóstico para las subregiones del continente. La figura 3 es un ejemplo del pronóstico de Namias para el crudo invierno de 1976/1977.

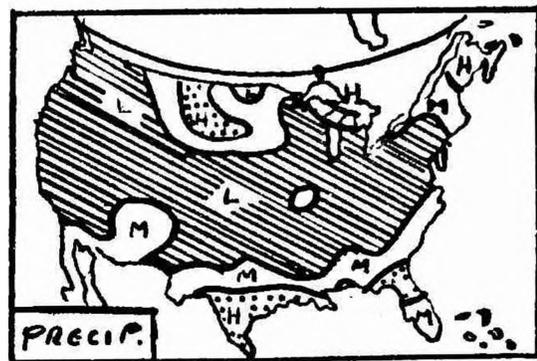
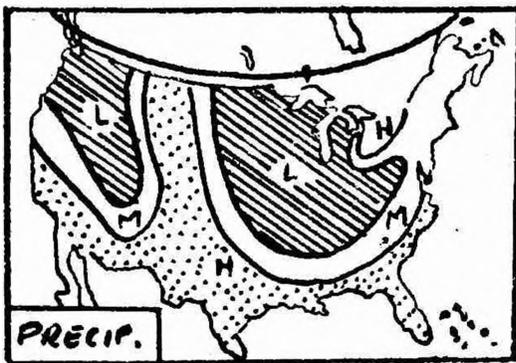
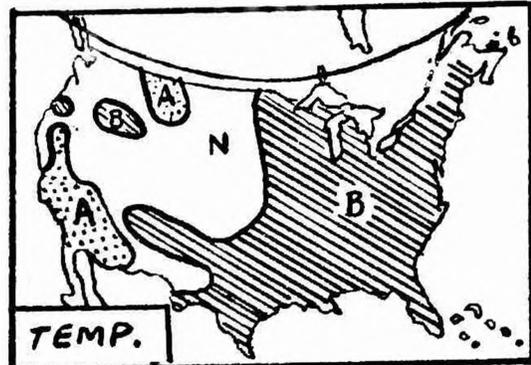
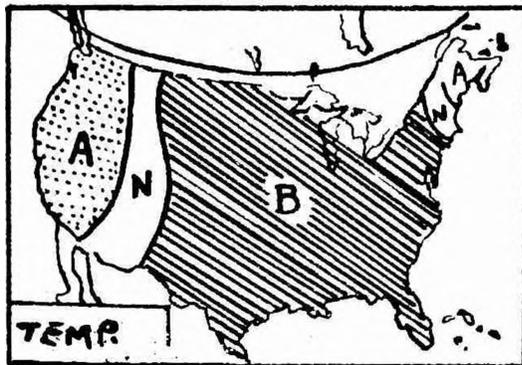
El pronóstico es notable, pues en los cinco años precedentes hubo una distribución exactamente opuesta de temperatura anómala sobre Estados Unidos. Así, la interrupción del régimen caliente de la costa oriental estuvo bien pronosticada. (Fig. 3).

Aunque el promedio de aciertos en los pronósticos de Namias de estos últimos cinco años es definitivamente superior a lo que podría esperarse en forma casual—lo cual sugiere que el método tiene cierta validez—aún está lejos de ser totalmente confiable.

Otro método de pronóstico es el de las selecciones análogas (Barnett y Preisendorfer, 1978). Supongamos que uno desea hacer un

Pronosticada para el
invierno (diciembre,
enero, febrero) 1976—77

Observada invierno
(diciembre, enero,
febrero) 1976—77



Completado Dic. 1o#1976
a partir de datos finali-
zando Nov. 25,1976.

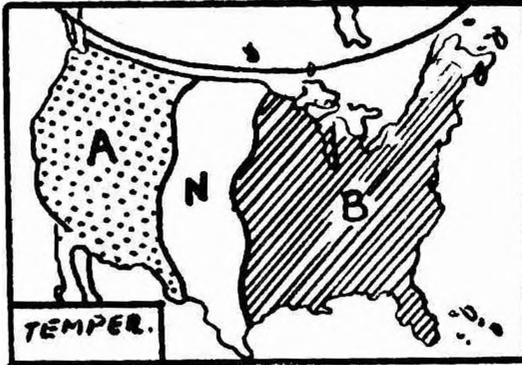
Figura 3.

Temperatura y precipitación observadas y pronosticadas para el invierno 1976—77. Las letras A, N y B se refieren a temperaturas "sobre lo normal", "normal" y "bajo lo normal", etc. (según Namias, 1978).

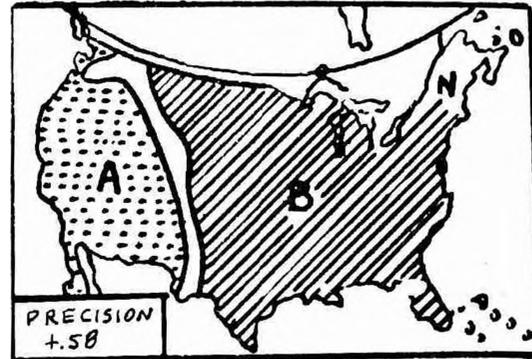
pronóstico para el invierno. La idea es encontrar en los antecedentes históricos un otoño anterior que se asemeje mucho al otoño actual. Para pronosticar entonces el invierno, se supondría que la naturaleza se repite; por ejemplo, se pronosticaría que el invierno pasado va a repetirse. Estos simples conceptos han sido incorporados en un complejo formulismo matemático de modo que el estado actual del clima es comparado con los anteriores. Un elemento clave para definir el estado del clima es la distribución de las anomalías de la temperatura de superficie en los océanos del Hemisferio Norte. Las reglas para efectuar selecciones análogas se aplican totalmente por computador, sin intervención humana. Los pronósticos de la tempe-

ratura del aire, basados en procesamientos de los últimos 24 años, han resultado muy acertados para pronosticar el verano con una, dos y hasta cuatro estaciones de anticipación en gran parte del país. También sirven para pronosticar el invierno, especialmente los inviernos crudos, con una estación de anticipación. Por ejemplo, los rigurosos inviernos de 1976-77 y 1977—78 (figura 4.) fueron pronosticados mediante métodos análogos. Tanto la intuición como los estudios estadísticos demuestran que mientras más sean los datos básicos históricos de los cuales uno puede sacar analogías, mejor será el pronóstico. Lamentablemente, sólo hay una cantidad reducida de verificaciones climáticas en los datos históricos básicos y esto puede limitar fi-

Pronosticada. Invierno
1978



Observada. Invierno
1978



ANALOGIA MULTI-CAMPO

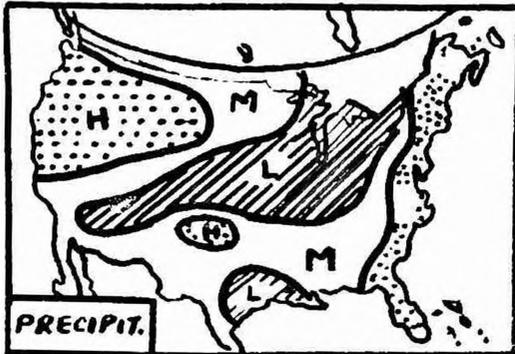


Figura 4.

Los patrones de temperatura y precipitación pronosticadas y observadas para el invierno 1978—79 computadas por métodos análogos. Una precipitación de "O" sería equivalente a un pronóstico hecho al azar, mientras L sería un pronóstico perfecto.

nalmente el método. Actualmente estamos evaluando si los escasos datos básicos nos permitirán determinar hasta qué punto la capacidad de pronóstico observada se debe solamente a predictores oceánicos.

Otra forma de pronosticar el clima es la teoría de pronóstico lineal, que se llama también análisis multivariado, o análisis de regresión, y ha sido usado varias veces para intentar el pronóstico del clima. En uno de estos casos, R.E. Davis (1978) pudo demostrar que la temperatura de la superficie del mar en el Golfo de Alaska podía usarse para pronosticar que las consiguientes anomalías de presión a nivel del mar en la estación precedente eran un buen pronosticador de las presiones en las estaciones posteriores. No está bien claro cuál de los dos está actuando como una fuente independiente de pronóstico, si es que alguno de ellos lo hace.

De modo que aunque ambos son valiosos, el estudio no ayuda mucho a determinar si la temperatura de la superficie del mar es por sí misma un predictor "casual".

R.P. Harnack y H.E. Landsberg (1978) han desarrollado un pronóstico de tipo regresivo en que emplean una gran variedad de predictores, incluyendo las variables de temperatura de la superficie del mar para pronosticar las anomalías de la temperatura del aire en la parte oriental de Estados Unidos. Los resultados indican que los pronosticadores tienen cierta efectividad porque han podido tomar en cuenta una razonable cantidad de casos de anomalías de temperatura en diversas categorías. Lamentablemente, los "tests" de importancia estadística que emplean tienen muchos problemas que hacen que los resultados, aunque alentadores, difícilmente sean inequívocos.

Finalmente, un método que puede intentarse en el futuro próximo para pronosticar mensual o estacionalmente las tendencias del tiempo es la aplicación de los enormes modelos de circulación general (GCMs) de la atmósfera. A la fecha, estos modelos computarizados han simulado solamente el cambio de clima, aunque se usan para pronosticar el tiempo con una anticipación de uno a cinco días. En las simulaciones de clima, una determinada distribución de anomalía de la temperatura de la superficie del mar se inserta en el modelo para ver si la atmósfera tiene diferentes promedios de propiedades que en un caso en que no existiera, por ejemplo, tal anomalía. Como es de suponer, estas simulaciones requieren un gran trabajo de computación, bastante caro, de modo que no se han hecho muchos, y los resultados de los efectuados son contradictorios a veces. Hay un caso por lo menos en que dos grupos diferentes de científicos analizaron el mismo conjunto de datos de computación y sacaron conclusiones opuestas respecto a la importancia de las anomalías de la temperatura de la superficie del mar en las altitudes medias sobre atmósfera. Pasará un buen tiempo antes que los modelos de circulación general puedan actuar como pronosticadores efectivos de las fluctuaciones de clima a corto plazo.

Necesidades futuras

En vista de los ejemplos citados, es imposible aún dar una respuesta definitiva a la pregunta original: ¿Pueden usarse las variables oceánicas para pronosticar las fluctuaciones de clima a corto plazo? Sin embargo, los resultados obtenidos hasta la fecha son alentadores. En los próximos años veremos que se harán grandes esfuerzos por extenderlos.

Obviamente, hay una gran cantidad de trabajo minucioso que hacer para materializar la conjetura del teniente Pillsburv. Gran parte de este trabajo requiere el perfeccionamiento de las estadísticas y modelos dinámicos actuales que sólo se logrará cuando lleguemos a conocer más afondo los mecanismos causantes del estrecho acoplamiento entre los océanos y la atmósfera. La situación actual es que tenemos muchas hipótesis que podrían describir esta acción recíproca y por lo tanto abrir paso a modelos más sofisticados. Se está haciendo un gran trabajo de investigación experimental en todo el mundo para probar estas hipótesis. Asimismo, se está prestando gran atención al análisis de los datos existentes y a las técnicas estadísticas que ofrecen grandes esperanzas para el pronóstico del clima a corto plazo. Es una gran oportunidad para trabajar en el campo de la investigación y pronóstico del clima.

De "Oceanus"
Traducción del Capitán de Corbeta
Onofre Torres Colvin

