

METEOROLOGIA TROPICAL. - SU IMPORTANCIA ECONOMICA Y SUS PROBLEMAS CIENTIFICOS

Por R. P. PEARCE *

Introducción

En estos años últimos ha ido desarrollándose la idea de la importancia que tiene la meteorología tropical lo mismo en sus aplicaciones que considerada como una parte autónoma y esencial de la ciencia meteorológica. En su aspecto práctico están sus aplicaciones en campos tales como la agricultura y la administración de los recursos hídricos, con enormes beneficios potenciales en la producción de alimentos y en el desarrollo económico; el meteorólogo experimenta una demanda cada vez mayor, por parte de agrónomos e hidrólogos, no sólo de datos de observación sino también actualmente, de pronósticos de hasta varios meses de plazo. Otra exigencia práctica, muy diferente, con posibles beneficios económicos considerables, es la de los pronósticos a corto plazo del movimiento y evolución de los ciclones tropicales y del oleaje tormentoso que les acompaña. En este caso lo que se necesita son avisos seguros de estos sistemas que permitan tomar las medidas necesarias para salvar vidas y disminuir en cierta extensión los daños enormes que producen. Hay algunas regiones, como el Sureste de Asia y el Japón, en donde tales avisos podrían también ser empleados útilmente al permitir que las autoridades de aguas tomasen las medidas adecuadas para conservar la mayor cantidad posible del agua de lluvia que desprenden estos sistemas.

Tan sólo los posibles beneficios de estas aplicaciones ya justificarían el interés que despierta actualmente esta materia. Sin embargo, hay además una sólida justificación de carácter científico: ésta es la importancia del papel que desempeña la atmósfera tropical en la circulación general atmosférica del Globo. La elección de un experimento tropical (el Experimento Tropical del GARP-GATE) en el Atlántico, primer subprograma del GARP, fue dictado por la convicción de nuestro estado de relativa ignorancia sobre el comportamiento de la atmósfera tropical. Esto fue descubierto al empezar el decenio de los sesenta, como resultado de la necesidad de introducir una imitación verosímil de la atmósfera en los modelos numéricos de la circulación general. Se hizo evidente que para conseguir estos modelos es necesario poder representar de manera real en ellos las influencias mutuas entre sistemas dinámicos de dimensiones tan diferentes como los que existen en la atmósfera tropical. La convección cumuliforme juega un papel dominante en la mayoría de estos sistemas (la Zona del C. I. T., y sus perturbaciones, las ondas del este, las líneas de turbonada del Africa occidental y los ciclones tropicales) la variedad de los cuales refleja la diversidad de tipos de organización de los sistemas dominados por la convección cumuliforme en las bajas latitudes. El GATE fue pues planeado con el propósito científico central de estudiar

(*) El Profesor R. P. Pearce es el presidente del grupo de trabajo en Meteorología Tropical de la Comisión de Ciencias de la Atmósfera.

las influencias recíprocas de los sistemas de dimensiones muy variables. Hay pocas dudas de que los datos recogidos durante la fase de observación son de tal calidad y cantidad que permitirán, cuando sean analizados, aumentar considerablemente nuestros conocimientos sobre los sistemas tropicales, en especial los que aparecen en el Atlántico tropical, que llevarán a un perfeccionamiento en los métodos de realización de modelos numéricos. Estos avances también permitirán comprender mejor la circulación atmosférica global como resultado de la experimentación con modelos numéricos en los cuales estén representados de un modo realista los fenómenos de la influencia recíproca entre distintas escalas en los trópicos.

Actualmente, están ya bien avanzados los planes para el Primer Experimento Global del GARP (FGGE) previsto para 1979, durante el cual se reforzará la red global de observaciones de modo que pueda obtenerse un conjunto de datos de todo un año, de una calidad adecuada para permitir la realización de ensayos a fondo de modelos numéricos de la circulación general. El FGGE tendrá una importancia especial ya que proporcionará



Figura 1.—Huracán *Gladys*, el día 18 de septiembre de 1964. Imagen infrarroja procedente del Nimbus-1.

la mejor densidad de datos nunca lograda hasta ahora para el conjunto de la atmósfera tropical. Se aprovechará esta oportunidad para estudiar con un detalle nunca conseguido antes el monzón asiático y a la vista de la importancia científica y económica de este fenómeno, se ha creado otro subprograma del GARP, el Experimento de los Monzones, o MONEX, con el estudio del monzón como su finalidad principal; la segunda conferencia científica para redactar los planes del MONEX se celebró en Singapur en enero de 1975.

La Comisión de Ciencias de la Atmósfera (CCA), en su reunión de Versalles, en noviembre de 1973, organizó un grupo de trabajo sobre la Meteorología Tropical, para asesorar al Presidente de la CCA en la investigación de este campo y este grupo de trabajo celebró su primera reunión en Ginebra, en febrero de 1975. Este grupo se esforzó en determinar el estado actual de los conocimientos científicos en diversas zonas específicas de la meteorología tropical y bosquejó un programa factible de investigación a largo plazo de la OMM, dirigido en primer lugar hacia aquellos aspectos del problema que ofrezcan los beneficios económicos probables

más grandes. Muchos elementos de este programa están siendo ya realizados, gracias a la participación de la OMM en el GATE, el FGGE y el MONEX, pero para que los beneficios potenciales de estos subprogramas del GARP se materialicen plenamente deberá haber una participación máxima de los Servicios Meteorológicos de todos los países afectados. Es muy probable que esto se logre si estos subprogramas son considerados como una parte esencial de la estrategia total de la OMM que abarca de lleno las necesidades económicas de los países tropicales, tanto considerados en conjunto como individualmente, así como otros fines científicos más amplios.

El grupo estudió los principales elementos componentes de tal programa de investigaciones, como son: los ciclones tropicales y el oleaje tempestuoso; los monzones; la meteorología de las regiones semi-áridas, y el problema de las sequías. Estos dos últimos problemas se superponen en muchos aspectos, pero los métodos científicos aplicables (y las perspec-

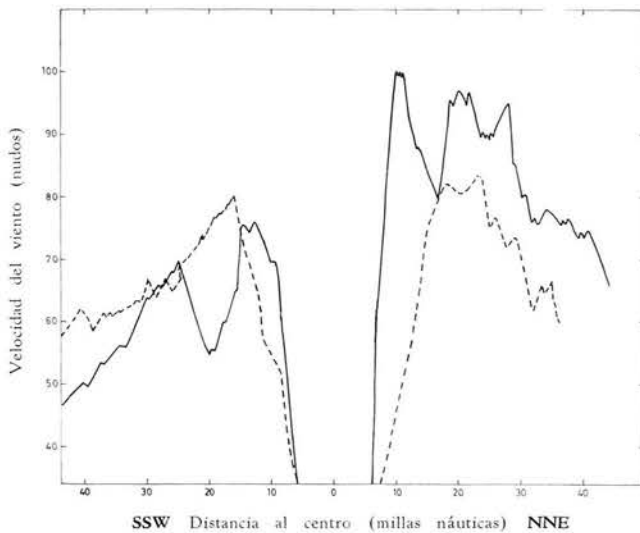


Figura 2.—Proyecto Stormfury; huracán Debbie. Experimento de modificación del 20 de agosto de 1969.

Velocidades del viento a 3660 m. (12.000 ft.):
 Antes de la primera siembra —————
 Seis horas después de la quinta siembra - - - - -

tivas de progreso) difieren considerablemente, ya que el último depende esencialmente de las tendencias climáticas a largo plazo y el anterior necesita un análisis de los sistemas meteorológicos y de la climatología local.

Este artículo, que está fundado en gran parte en el informe del grupo de trabajo, revisa brevemente cada uno de los temas mencionados desde un punto de vista científico. Pretende describir, de un modo general, la naturaleza y diversidad de los problemas científicos que plantea la atmós-

fera tropical y que deberán ser resueltos en su mayor parte si se desean obtener beneficios económicos importantes mediante la aplicación de los resultados del esfuerzo científico en este campo.

Ciclones tropicales y olas tempestuosas

Los ciclones tropicales son la más fascinadora de todas las formas de convección organizada existentes en la atmósfera terrestre. Su estructura general y su duración son bien conocidos en líneas generales, desde hace muchos años: hay una corriente de entrada a poca altura hacia el mínimo barométrico que, conservando su momento cinético, produce los vientos ciclónicos extraordinariamente violentos observados en la capa inferior; una corriente de salida anticiclónica en la troposfera superior está unida a la corriente convergente inferior por una región de movimientos ascendentes muy intensos; y el conjunto persiste gracias al desprendimiento de calor latente asociado a la convergencia de humedad en la capa superficial. En la *figura 1* se muestra una imagen infrarroja tomada desde un satélite de un ciclón maduro (*Gladys*, 1964) y en la *figura 2* se ve un corte vertical de los vientos observados (*Debbie*, 1969). Como es bien sabido y resulta ciertamente evidente en estas figuras, la estructura de los huracanes no es de ningún modo tan sencilla como la del modelo anteriormente descrito. Además de la estructura general a gran escala, existe también una estructura a menor escala, (escala media), caracterizada por las bandas nubosas espirales hacia el interior, que contienen cúmulos gigantes, y el ojo central. El sistema contiene así tres escalas principales de movimientos: los cúmulos individuales, las bandas nubosas espirales con las «calles de aire» separadas por regiones de corrientes descendentes, el ojo y la superficie total abarcada por la circulación cerrada del huracán; y todas ellas actuando entre sí de un modo muy bien organizado.

Hasta muy recientemente, todos los intentos de hacer modelos de huracanes, tanto analíticos como numéricos, se habían concentrado en la mayor de las tres escalas de movimiento y en la supuesta simetría axial. Se habían hecho, en particular, esfuerzos para reproducir los fenómenos de la capa superficial, especialmente el llamado mecanismo *CISK* que relaciona el desprendimiento de calor latente que alimenta el ciclón con la estructura de la capa superficial y la convergencia de humedad asociada. Ultimamente, sin embargo, se han desarrollado modelos numéricos más reales, totalmente trimensionales, con un retículo horizontal de 20 km de lado y con 11 capas superpuestas verticalmente y estos modelos han imitado, hasta ciertos límites, no sólo las características de las corrientes a gran escala sino también algunas características mesoescalares: el ojo, el muro del ojo y las bandas espirales de lluvia. Un ejemplo de imitación de temperatura se ofrece en la *figura 3*. Se han hecho ensayos con estos modelos recientes para estudiar su sensibilidad respecto varios parámetros; todos los resultados concuerdan en que la intensidad del fenómeno es muy sensible a las corrientes en la capa superficial (relacionadas con la temperatura de la superficie del mar) así como a la convección que se produce a escala inferior que la de los retículos.

Aunque se están haciendo progresos sustanciales, especialmente mediante estudios con modelos numéricos, aún quedan sin respuesta varias

cuestiones muy importantes referentes a estos sistemas. Entre las de mayor importancia científica están, por ejemplo:

¿Cuáles son, exactamente, los factores críticos que llevan a su formación? Aunque se originan muy frecuentemente dentro de sistemas de circulación pre-existentes, como las ondas del este o las regiones con actividades de tipo cumulonimbos, a escala media no siempre es así. De hecho, estos sistemas no originan, en absoluto, ciclones intensos. No es conocido el papel exacto que desempeñan en la génesis y desarrollo de los ciclones factores como la temperatura de la superficie marina, las ondas en la parte alta de la troposfera y la cizalladura vertical del viento.

¿Cómo están relacionadas entre sí las escalas principales del movimiento? El elevado grado de organización que se observa está siempre presente en estos sistemas, en especial la regularidad de las bandas espirales y del ojo hace pensar que estas características mesoescalares y su interacción con el ciclón a mayor escala son esenciales para su existencia; sin embargo, no hay aún una teoría, aceptada por todos, que las incluya adecuadamente en un modelo de ciclón tropical.

¿Cuál es la naturaleza de las fuerzas impuestas por los campos de vientos circundantes, de temperaturas y de humedad, en las regiones de entrada y de salida del aire?

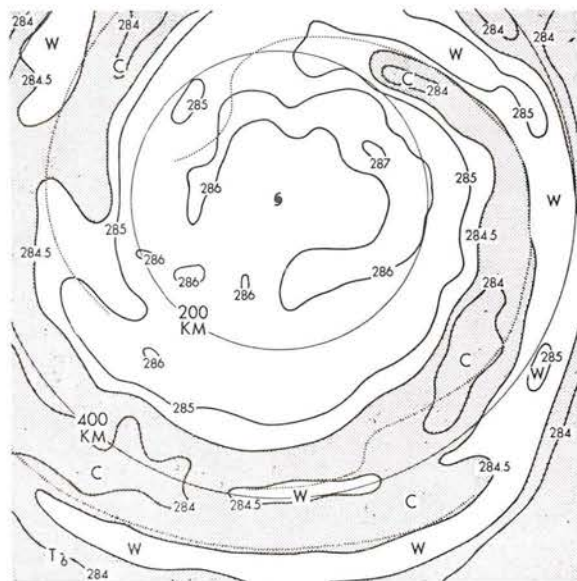


Figura 3.—Distribución de la temperatura en la troposfera media (3300 m.) obtenida en una simulación numérica tridimensional de un ciclón tropical. Las áreas sombreadas (temperaturas por debajo de 284.5°K) son primordialmente regiones de ascenso (De Kurihara y Tuleya).

Naturalmente, para las aplicaciones, el predictor necesita poder prever la intensidad y la trayectoria de una tempestad determinada. Se han ideado varios métodos empíricos o semiempíricos, y son utilizados actualmente, habiéndose conseguido diversos grados de éxito.

No es posible exagerar la importancia que para el predictor tienen las observaciones desde aviones y satélites, así como la existencia de una buena red de observatorios. Reconociendo esto, la OMM creó su proyecto de Ciclones Tropicales uno de cuyos fines principales es el de mejorar las instalaciones de observación, con objeto de conseguir mejores pronósticos y avisos anticipados en el Sureste de Asia, región del globo que más ha

sufrido en pérdidas de vidas a causa de los ciclones y las olas tempestuosas que los acompañan. Con el tiempo, se emplearán modelos numéricos tridimensionales, cuando se hayan conseguido suficientes progresos en su perfeccionamiento, en particular, en lo que concierne a la representación de las propiedades de los cumulonimbos. Estos modelos proporcionarán predicciones cuantitativas de lluvia, información que será también de valor práctico considerable lo mismo para prevenir el riesgo de las inundaciones que para planificar la administración de las aguas. Antes de que se pueda justificar operativamente el empleo de estos complicados modelos, con su exigencia de ordenadores de gran capacidad, será necesario demostrar su realismo y utilidad para resolver los problemas científicos fundamentales expuestos anteriormente. Aquí encontramos de nuevo la necesidad de tener buenos datos de observación, como valores iniciales para tales modelos, lo que es un requisito esencial si aquéllos han de ser ensayados y explotados adecuadamente.

Uno de los hechos más ambiciosos y de gran importancia potencial de los años últimos fue el intento en los EE. UU., de reducir artificialmente

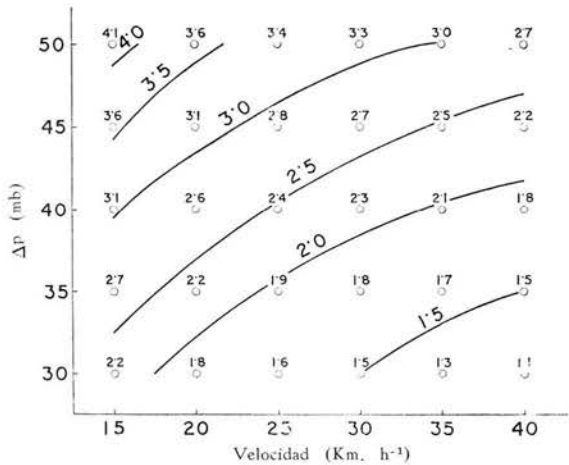


Figura 4.— La elevación calculada del nivel del mar (en m.) como función de la intensidad de una tempestad modelo (diferencia con respecto a la presión central, Δp) y de la velocidad a lo largo de un corte de suroeste a noroeste en un modelo numérico de oleaje para el Golfo de Bengala (De Das y Balasubramanyam).

la intensidad de los violentísimos vientos superficiales en las cercanías de la pared del ojo mediante la siembra de yoduro de plata (Operación Stormfury). El resultado de una de las primeras experiencias se muestra en la figura 2. Se espera que la próxima serie de experimentos se realice en el Pacífico occidental en 1977 y 1978; esto incluirá un amplio programa de acumulación de datos, incluyendo la descripción completa de los parámetros físicos de las nubes y de sus cambios a consecuencia de la siembra de núcleos y también un extenso programa paralelo de experimentos numéricos. Puede anunciarse que, completamente aparte de sus propósitos de modificación atmosférica, el programa Stormfury dará lugar a un gran aumento de nuestros conocimientos científicos acerca de los ciclones tropicales y a una comprensión más profunda de las influencias mutuas entre los diversos parámetros físicos que gobiernan su intensidad y movimientos. Si se demuestra claramente que es factible la modificación artificial de estos sistemas y que los resultados de la siembra, incluyendo

la posible modificación del camino futuro del ciclón así como de su intensidad, pueden predecirse con una precisión razonable, entonces los actuales programas de vigilancia de los ciclones tropicales y de avisos anticipados, tales como los de los E.E. UU. (incluyendo el mar Caribe) y los del Sureste de Asia, serían ampliados, sin duda, para incluir estimaciones de la posible modificación de cada tempestad y se crearían instalaciones para la práctica de la modificación artificial. Sin embargo, la clave para la realización de este programa ambicioso y de gran envergadura está en la solución de los problemas científicos que plantean estos sistemas. Hasta que no se consigan ulteriores avances de importancia a este nivel decisivo no será posible hacer una estimación suficientemente aproximada de los efectos de la modificación artificial para determinar si se justifica o no el uso práctico y repetido de la siembra.

Si se puede predecir con seguridad la intensidad y el movimiento de una tormenta tropical es posible entonces hacer estimaciones totalmente razonables del oleaje levantado por el viento en la superficie del mar. Modelos matemáticos basados generalmente en las llamadas ecuaciones de *aguas poco profundas*, han sido empleados para preparar diagramas de predicción de oleaje en determinadas líneas costeras. Un ejemplo de estos diagramas, preparado para el Golfo de Bengala, se ve en la *figura 4*. Como es de esperar, la predicción del oleaje más arbolado está relacionada con los ciclones de menor presión en el centro. Hay aún perspectivas de perfeccionamiento de estos modelos, teniendo en cuenta con más detalle factores tales como la topografía del fondo del mar, la influencia del rozamiento en el fondo, la refracción de las olas y las mareas astronómicas; las ondulaciones internas, que exigen modelos con dos o más capas superpuestas para su representación adecuada no han sido estudiados suficientemente en relación con esta clase de esfuerzo. Sin embargo, actualmente la principal causa de error en las predicciones de oleaje es debida a los errores en la predicción del ciclón, especialmente la hora y el punto exacto en que llegará a la costa.

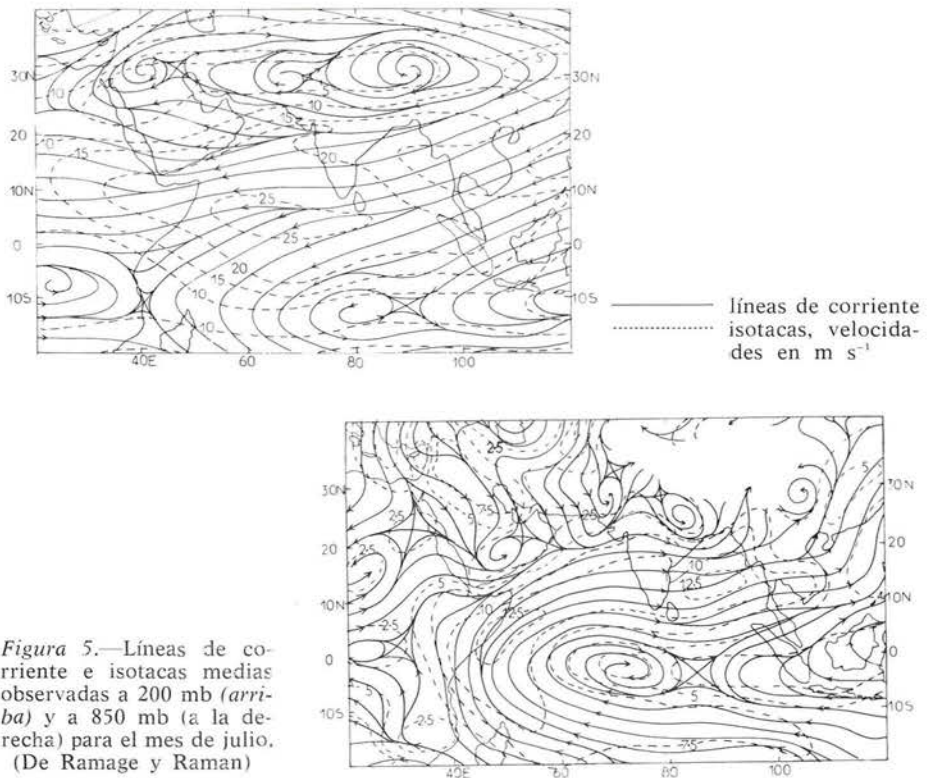
El monzón

Hace ya mucho tiempo que los meteorólogos consideran los monzones como la respuesta de la atmósfera al calentamiento y enfriamiento estacionales de las masas de tierra de Asia y Africa. Estas son, desde luego las masas terrestres conectadas entre sí, más extensas en la superficie del globo y por ello, debe esperarse que su existencia dé lugar a una gran fuerza directriz de la circulación atmosférica general, de origen térmico.

No hay ningún efecto semejante en relación con la masa terrestre del continente americano —siguiente en extensión—, lo que hace suponer que las tierras de Asia y Africa exceden de alguna dimensión crítica que permite a su fuerza térmica directora de la circulación general, determinar en gran parte la fases y amplitudes de algunas de las componentes de mayor longitud de onda de la corriente planetaria. La *figura 5*, ilustra las bien conocidas características generales del monzón de verano; una depresión térmica sobre el noroeste de la India y las zonas contiguas del Pakistán y el Cercano Oriente, sobre la cual existe una circulación anticiclónica en altura, con el chorro subtropical de poniente al norte del Himalaya y un chorro de levante entre los 10 y 15 grados de latitud norte. Hay una notable corriente a través del ecuador en las capas inferiores,

que se observa principalmente a lo largo de la costa oriental de África, característica que se refleja en la rápida corriente oceánica que va hacia el norte en esta misma región (la corriente Somalí). También existen propiedades a escala regional, en particular en las proximidades de las barreras montañosas; así por ejemplo, hay una gran variabilidad en las precipitaciones en el noroeste de la India, y sólo una variabilidad muy pequeña de año en año, en el noreste de la India. Estos hechos contrastan fuertemente con los correspondientes al monzón de invierno, que son un anticiclón frío y una profunda vaguada en altura sobre el Asia Central. La mayor parte de las lluvias invernales en Malasia e Indonesia son debidas a invasiones frías procedentes de este sistema.

Los modelos numéricos recientes de la circulación general han tenido algún éxito al imitar las principales propiedades del monzón. En los resultados obtenidos últimamente empleando el modelo del Centro Nacio-



nal de Investigación Atmosférica para las líneas de corriente, a niveles bajos y altos, y los campos de isotacas, la concordancia general con los campos observados es reconfortante, pero aún hay discrepancias; las regiones de precipitación, por ejemplo, no están muy bien imitadas.

Aún se necesita dar un paso muy grande para progresar desde la imitación de las principales características de la circulación monzónica

hasta la realización de una serie de experimentos numéricos dirigidos a la identificación de los factores físicos responsables de la variabilidad observada de los monzones de un año a otro, etapa que debe ser alcanzada necesariamente si se quieren obtener pronósticos útiles de estas variaciones. Hoy en día no sabemos, por ejemplo, hasta qué punto está determinado el comienzo y la intensidad del monzón de verano por la intensidad y la posición del máximo troposférico medio de los vientos zonales de poniente durante los meses de primavera (quizá por medio de la influencia orográfica), o hasta qué punto está influido por la temperatura de la superficie del mar en el Océano Indico, o por los efectos en el balance de radiación del albedo de la superficie y el contenido en aerosoles del aire sobre las tierras adyacentes. El programa de experimentación numérica que se está planeando actualmente en el MONEX está destinado a proporcionar la principal presentación teórica al estudio de estos problemas durante los años próximos. Al mismo tiempo se está planeando aumentar la cantidad de observaciones en toda la región, especialmente durante 1979, que es el año del FGGE, lo cual es evidentemente necesario si se quiere valorar adecuadamente la aplicabilidad a la atmósfera de los resultados de los experimentos numéricos.

La meteorología de las regiones semiáridas y el problema de las sequías

Hay algunas regiones del mundo, en particular zonas de Africa, el Cercano Oriente, América del Sur y Australia, en donde la pluviosidad

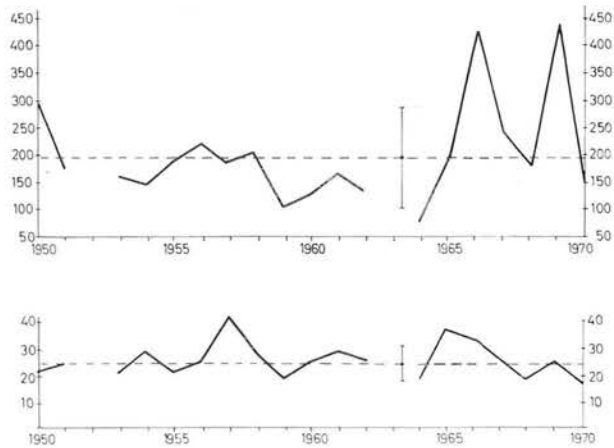


Figura 6.—La lluvia anual (en mm) de Tidjika (Mauritania), 18°30'N. 13°13'W (gráfico superior) y número de días de lluvia anuales para la misma localidad (gráfico inferior). La media viene indicada en cada gráfico por la línea horizontal de trazos (- - - -).

anual media es apenas suficiente para sostener la vida de la comunidad, y la variabilidad de estas precipitaciones es muy grande de año en año; cuando es escasa la lluvia, las consecuencias sobre la producción de los cultivos resultan catastróficas. Algunas tierras de esta categoría están influidas por los monzones y otras, en menor extensión, por los ciclones tropicales, pero la mayor parte están bajo el dominio de los anticiclones subtropicales adyacentes; las precipitaciones que se producen en ellas son muy esporádicas, frecuentemente de menos de veinticinco días al año y los sistemas que producen la lluvia son de dimensiones completamente

reducidas, frecuentemente mesoescalares. Ejemplos de éstos son las líneas de turbonada del oeste de Africa, que son responsables de virtualmente toda la lluvia que cae en la región del Sahel. La *figura 6*, muestra el número de días de lluvia por año para el período 1950-1970, observados en Tidjika, Mauritania, en donde la lluvia media anual durante estos años fue inferior a los 200 mm. La *figura 7*, muestra una fotografía infrarroja de satélite, tomada durante la fase de observaciones del GATE, con una línea de turbonada aún en tierra sobre el oeste de Africa, aproximándose a la costa y con su extremo septentrional rodeando a Mauritania. Otras zonas lluviosas, principalmente sobre el océano, están asociadas con los racimos de cúmulos y con la Zona de Convergencia Intertropical (CIT). La *figura 8*, muestra la topografía de 850 mb para seis horas después de haberse tomado la fotografía por el satélite. La CIT se identifica bien, asociada a las zonas nubosas sobre el mar, pero en tierra sobre el continente africano, la falta de observaciones hace imposible identificar los aspectos de su superficie e interpretar la información del satélite en relación con ellos.

Las condiciones atmosféricas en estas zonas son, por ello, mucho menos variables que en la mayor parte del resto del globo y la predicción diaria basada en la persistencia tiene una gran proporción de aciertos. Por otra parte, su red de observatorios es extremadamente escasa y el conocimiento de las estructuras atmosféricas que las afectan es aún muy pequeño. Se requiere un programa especial de observaciones para determinar la composición detallada de las líneas de turbonada en:

06:00 218:74 01-A 0020-1801 4X4 IR IMAGE



Figura 7.—Imagen infrarroja procedente del SMS-I tomada a las 0600 TMG del 6 de agosto de 1974 durante el Experimento Tropical del GARP en el Atlántico.

Africa y la de la CIT en las regiones terrestres afectadas por ella; los datos del GATE ayudarán sin duda, dentro de ciertos límites, pero este experimento fue realizado principalmente sobre el océano y solo durante tres meses del año y no incluía entre sus propósitos la investigación completa de los sistemas atmosféricos que afectan a las comarcas tierra adentro de Africa.

Como ya se subrayó anteriormente, desde el punto de vista de los beneficios económicos el principal requisito para estas regiones es el de pronósticos a largo plazo, para un mes o más de adelanto (aunque las predicciones exactas de lluvia con un plazo tan pequeño una semana,

serían muy valiosas). Como los sistemas reales que producen la lluvia sobre ellas son de dimensiones relativamente pequeñas y tienen una vida breve, los pronósticos a medio y largo plazo son un problema difícil y es probable que haya que basarse, para su éxito en cada comarca particular, en la existencia de correlaciones entre las distribuciones observadas de lluvia y las principales características a escala planetaria que las afecten, por ejemplo la situación e intensidad exactas del anticiclón subtropical dominante. Estas relaciones (si existen) entre la lluvia en una región dada y las propiedades de la circulación a una mayor escala, pueden descubrirse solamente con métodos climatológicos. Desgraciadamente, la red de estaciones es aún muy escasa en bastantes regiones para establecer una climatología adecuada a estos fines. Será también necesario, desde luego, usar los resultados de los modelos numéricos de la circulación general para predecir las características a mayor escala y, como en el caso de los estudios del monzón, estos modelos tendrán aún que demostrar su capacidad para interpretar sus variaciones mes por mes y estación por estación, en función de los principales factores físicos que las determinan, y entonces poder predecirlas con precisión aceptable.

El problema de las sequías, puesto a la luz por la reciente sequía desastrosa en el Sahel, que ha durado siete años, está recibiendo actualmente gran atención y fue un tema importante en la reciente Conferencia Internacional para el Estudio de las Bases Físicas del Clima y de los Modelos Climáticos, celebrada en Estocolmo en julio y agosto de 1974. El Comité Ejecutivo de la OMM ha creado recientemente un grupo de

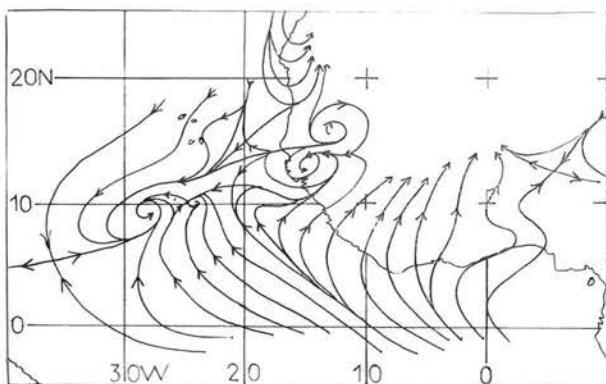


Figura 8.—Análisis de líneas de corriente en superficie a las 1200 TMG del 6 de agosto de 1974.

especialistas en Cambios Climáticos para actuar como punto central en la coordinación de las actividades en este campo y varios grupos de trabajo de la CCA están también preocupados directamente en la investigación correspondiente. Los distintos puntos tocados en la anterior exposición de la meteorología de las regiones semiáridas, tienen importancia directa en el problema de la sequía.

Otro aspecto curioso y quizá importante es el de la posibilidad de una influencia mutua bioclimática, desempeñando un papel en la persistencia de las sequías prolongadas. Se ha insinuado recientemente que el clima de las comarcas que padecen una sequía puede, en gran parte, estar determinado *localmente* por el balance de radiación, más que estar

dominado por las variaciones de la circulación global, en particular por el albedo de la superficie, que es muy sensible a la cubierta vegetal; una vegetación escasa implica un albedo mayor, una menor temperatura superficial y un enfriamiento neto intensificado, con subsidencia del aire superpuesto. Esto, como se supone, da lugar a una inhibición de la capa vegetal. Para examinar la posibilidad de tal interacción son necesarios estudios muy cuidadosos de los contenidos de calor y de vapor de agua y, de nuevo, la inadecuación de las redes de observatorios es el obstáculo principal para su realización eficaz; estos estudios serán en todo caso, efectuados con el fin de establecer la climatología a gran escala de regiones determinadas y proporcionar una comprobación útil del funcionamiento de los modelos numéricos proyectados para imitar los regímenes climáticos.

Conclusión

El propósito de este breve resumen de meteorología tropical ha sido el de presentar una corta estimación científica de aquellos campos que, a causa del posible beneficio económico que prometen, parecen justificar una concentración máxima de recursos y de investigaciones en los próximos diez a veinte años; no ha sido una elección dictada principalmente por la posibilidad de obtener soluciones satisfactorias de los problemas planteados. Debe aceptarse el hecho de que en uno o dos campos, en particular en la predicción a largo plazo, la posibilidad de éxito es probablemente muy pequeña, pero el que puedan o no obtenerse resultados útiles no se sabrá hasta que se haya hecho un esfuerzo concertado para resolver estos problemas. Como se hizo notar en la introducción, la mitad tropical de la circulación atmosférica es una componente vital de la circulación del globo, la cual no podrá ser comprendida ni imitada correctamente hasta que la circulación tropical no sea representada convenientemente con modelos numéricos, en particular, características tales como los monzones y los anticiclones subtropicales. Puede preverse que las instituciones que dispongan de instalaciones con grandes ordenadores realizarán esfuerzos considerables en estos problemas en los próximos años y que los progresos realizados en estas instituciones tendrán una importancia considerable en relación con los problemas de los monzones y de la meteorología de las regiones semiáridas. Sin embargo, para asegurar un progreso que lleve a obtener beneficios económicos a los países tropicales, será necesario que cada país individualmente, se comprometa a fondo en un programa coherente de investigación científica en los principales campos de la meteorología tropical bosquejados anteriormente, haciendo cada país sus propias contribuciones en los terrenos que les afecten más directamente. El propósito final de este artículo es el de sugerir la naturaleza de estos programas y presentar las principales líneas de acción científica según las cuales debieran estar fundados.

Agradecimiento

Gran parte del contenido de este artículo se ha tomado de las intervenciones efectuadas por el Sr. J. O. Aina, el Dr. P. K. Das, el Dr. Rodenhuis y el Dr. I. Sitnikov, miembros del Grupo de Trabajo en Meteorología Tropical, con motivo de su primera reunión, a todos los cuales el autor manifiesta su profundo agradecimiento.