

EL EXPERIMENTO TROPICAL DEL GARP EN EL ATLANTICO

Por B. J. MASON*

El Experimento Tropical del GARP en el Atlántico (GATE), programado para julio, agosto y septiembre de 1974, continuará el primer experimento de observaciones a gran escala, del Programa de Investigación Global de la Atmósfera (GARP). Aunque concebido en su origen como un experimento principalmente meteorológico, el GATE es actualmente idóneo para incluir en él un programa de gran volumen de observaciones oceanográficas afines, en una expedición de escala y complejidad sin precedentes, que probará la capacidad de muchas naciones para trabajar conjuntamente en la acometida coordinada de un problema científico de importancia mundial. El éxito del GATE es vital para la credibilidad y el apoyo de programas internacionales a un plazo mayor, como el GARP, la Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM), el Programa Ampliado y a Largo Plazo de Investigación Oceánica (LEPOR) y el Sistema Global Integrado de Estaciones Oceánicas (SGIEO), de los cuales tanto depende el futuro de la meteorología y la oceanografía. El objeto del presente artículo es sintetizar los objetivos científicos del GATE, exponer algunas de las cuestiones fundamentales que precisan respuestas e indicar cómo aquellas pueden solucionarse a pesar de los muchos problemas y dificultades que las enmascaran.

Objetivos del GATE

Los objetivos primordiales del GATE tratan de ampliar nuestra comprensión de aquellos aspectos de la meteorología del cinturón ecuatorial que son esenciales para el correcto conocimiento de la circulación total de la atmósfera y, al mismo tiempo para la mejora del conocimiento y predicción meteorológica en los trópicos.

Teniendo en cuenta que el comportamiento de la atmósfera del cinturón ecuatorial difiere en muchos aspectos del de las latitudes medias, que las fluctuaciones en aquél están relacionadas con las variaciones de la circulación en latitudes más altas y que no pueden llegarse a preparar predicciones meteorológicas exactas en las latitudes medias para plazos superiores a siete días sin tener en cuenta las perturbaciones tropicales, el logro de estos objetivos compete e interesa a escala mundial. Más específicamente, dichos objetivos se refieren al estudio de los sistemas convectivos nubosos en el Atlántico tropical oriental y a la evaluación de su intervención en el transporte de calor y humedad desde los océanos tropicales a la circulación global. Será asimismo necesario averiguar hasta qué extensión la propiedades de comportamiento y transporte de los citados sistemas nubosos están determinados por las perturbaciones a gran escala que concurren en los trópicos, con objeto de representar los primeros en forma de parámetros observables a gran escala a introducir en los modelos numéricos de la circulación general. El experimento suministrará también datos observados a partir de los cuales se construirán y ensayarán modelos numéricos para la simulación y predicción del tiempo en los trópicos.

* El Dr. Mason es presidente de la Junta del Experimento Tropical.

También es de gran importancia científica y práctica la génesis de los ciclones tropicales, los cuales se integran frecuentemente, como sistemas de escala media, en los de escala mayor de las ondas del este tropicales y de la zona de convergencia intertropical (ZCIT). Se piensa de nuevo que la liberación de calor latente por la convección de los cúmulos es de la mayor importancia en la formación de estas intensas perturbaciones.

Estudio de las perturbaciones tropicales a gran escala

La mayor parte de las lluvias tropicales es producida por los sistemas convectivos que, indudablemente, constituyen el factor principal en el transporte vertical de calor y vapor de agua, y probablemente, de cantidad de movimiento. Las observaciones realizadas desde satélites muestran que las nubes convectivas tropicales no se distribuyen al azar, sino que tienden a estructurarse en amplios racimos organizados de 100 a 1.000 kms de ancho, asociándose al desarrollo de las perturbaciones a gran escala del campo de vientos ecuatorial, como la ZCIT y las vaguadas de las ondas troposféricas del este, que frecuentemente se originan sobre Africa (y quizá sobre el Océano Indico), conservando su identidad al cruzar el Atlántico. De hecho se han identificado al menos tres familias distintas de perturbaciones tropicales ondulatorias: las ondas del este de longitud de onda comprendida entre 2.000 y 4.000 km en la troposfera, las ondas mixtas gravitatorias y de Rossby, de 8.000 a 10.000 km de longitud de onda y una onda de Kelvin a escala planetaria en la estratosfera superior. Una de las misiones del GATE consistirá en establecer las características de estas ondas sobre el Atlántico tropical y los continentes africano y sudamericano en el cinturón comprendido entre los 10° S y los 20° N para determinar su origen, estructura, desarrollo, propagación, sus manantiales de energía, su transferencia de cantidad de movimiento y de calor y relacionar todo ello con el comportamiento de los sistemas nubosos. Las observaciones básicas de los campos de viento y de temperatura realizadas a esta amplia *escala A*, serán suministradas por redes sinópticas aerológicas, acrecentadas sobre Africa y América del Sur, y complementadas por sondeos efectuados en el Atlántico, desde buques y por los datos de viento obtenidos a partir de los movimientos de las nubes, observados desde un satélite geostacionario. Las redes proyectadas de estaciones terrestres aerológicas y de unos 15 buques designados para la *escala A*, aparecen en la *Figura 1 (a)*.

Conglomerados nubosos

Se requiere una red de observaciones mucho más fina para determinar la estructura interna de los sistemas nubosos y sus efectos en la circulación de su entorno inmediato, entre los que figuran la producción de corrientes descendentes de compensación, la convergencia de viento y de otros flujos dentro y fuera del sistema a distintos niveles, y la liberación total del calor latente. Las imágenes de nubes tomadas desde satélites, empleando mejoras de contraste para delimitar las zonas activas de convección, muestran que los sistemas están compuestos de unidades convectivas a escala media de hasta 10 km de diámetro, los cuales a su vez contienen varias células de cúmulonimbus de 1 a 10 km de diámetro,

turctura interna de los sistemas nubosos y obtener estimaciones semicuantitativas de intensidad de la precipitación, con objeto de evaluar la liberación de un sistema nuboso.

Figura 1 (a) — Estaciones aerológicas, barcos y boyas propuestos para el GATE (figura también la red actual).

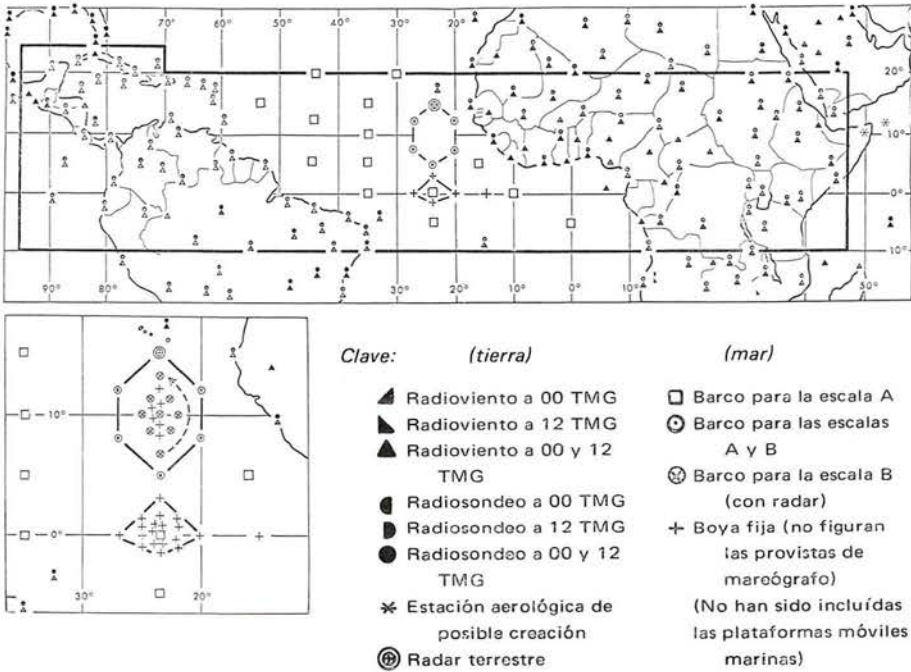


Figura 1 (b) — Area de la red a escala B y dispositivo oceanográfico ecuatorial

Debido a ello, se proyecta establecer una red especial a escala media de buques de observación, en un polígono de 1.000 × 1.000 km situado a unos 1.000 km de la costa de Africa, al oeste de Dakar, en una región en la que las fotografías obtenidas desde satélites no permiten esperar una gran frecuencia de aparición de sistemas nubosos, tal vez 20 a lo largo del proyectado período de tres meses dedicado al experimento. Dichos buques deberán ser provistos de radiosondas y de equipo para la observación del viento en altitud bien sea a base de radar o del nuevo sistema LOCATE, fundado en el sistema Omega de ayuda a la navegación con lo que se espera poder determinar el viento con una exactitud de 1-2 ms⁻¹, promediado sobre capas de 1 km de espesor. El plan exige disponer de 13 buques, espaciados entre 200 y 400 km en esta red a *escala media o B*, que podrían distribuirse como se ve en la Figura 1 (b). Varios de estos buques serán equipados con radar de bandas C o S para explorar la estructura interna de los sistemas nubosos y obtener estimaciones semicuantitativas de intensidad de la precipitación, con objeto de evaluar la liberación de calor latente.

No se logrará una total comprensión del comportamiento de los sistemas nubosos y de los transportes de calor, vapor de agua y de cantidad de movimiento originado en ellos, si no se tienen en cuenta los flujos de estas magnitudes producidos por los sistemas convectivos a escala media (*escala C*) e, incluso, por las células individuales de cúmulos y los movimientos a escala menor, *escala D*. En tanto no sea posible medir estos flujos a través del volumen completo de un sistema nuboso, podrán suministrar una valiosa indicación de la distribución y significación de los citados transportes, las medidas efectuadas sobre muestras, tomadas desde aeronaves, del campo de movimiento de estos sistemas, de sus espectros de turbulencia, temperatura, contenido en agua líquida e intensidad de precipitación. Por lo tanto, el plan requiere nueve aeronaves de gran radio de acción dotadas de instrumentos, de las cuales siete operarán en la baja y media troposfera y dos a niveles más altos (tal vez a lo largo de trayectorias de vuelo similares a las que se sugieren en la *Figura 2*).

Interacción entre los sistemas nubosos y las perturbaciones a escala mayor

Los análisis recientes de fotografías tomadas desde satélites han puesto de manifiesto que los ejes de los sistemas nubosos tienden frecuentemente a coincidir con las líneas de vaguada de las ondas tropicales y que los campos de divergencia, vorticidad relativa y velocidad vertical de los sistemas persistentes coinciden por completo con campos análogos de las ondas del este. Ello sugiere la existencia de una íntima relación entre dichos sistemas y los nubosos que actúan como áreas de lluvia de las perturbaciones ondulatorias, pero queda en pie el problema de explicar cómo los ciclos de vida de los sistemas (unos pocos días, como mucho) son mucho menores que los de las ondas (una a tres semanas). Otros sistemas nubosos, especialmente los del tipo de banda (véase *Figura 2*), se forman en la ZCIT en situaciones de pronunciada cizalladura del viento, pero de nuevo permanecen enmascaradas las relaciones e interacciones entre los sistemas, la ZCIT y las ondas, proporcionando así una importante tarea al GATE.

Mientras tanto, se ha sugerido que la convergencia producida en la capa límite de los alisios, origina movimientos verticales en ésta que, a su vez, provocan la liberación del calor latente debido a las condiciones existentes de inestabilidad. La circulación resultante se amplifica cuando la vorticidad aumenta a un ritmo determinado por las dimensiones lineales de la circulación, del parámetro de Coriolis y del gradiente de la temperatura potencial equivalente, conduciendo a la formación de una estrecha banda de convección que puede identificarse con la ZCIT a una determinada distancia óptica del Ecuador. También puede pensarse en tener en cuenta la banda de alta temperatura superficial del mar, situada a varios grados del ecuador, para producir actividad convectiva en esas latitudes, la cual, a su vez podría activar el desarrollo de ondas de la frecuencia correspondiente al parámetro de Coriolis en dicha latitud. Ello proporciona una razonable explicación de la producción de ondas del este, que pueden así reaccionar con la ZCIT, llegándose de este modo a una justificación parcial de su variabilidad observada.

Procesos de intercambio de energía

Cualquiera que sea la dinámica concreta de las perturbaciones antedichas, que debe implicar interacciones entre movimientos a escalas diferentes, su acción principal consiste en enlazar los manantiales oceánicos tropicales de calor con la circulación general a través de una serie de procesos de intercambios de energía que pueden sintetizarse del modo que sigue. La absorción y almacenamiento de energía solar en las capas superiores de los océanos tropicales se transfiere al aire en contacto con ellas, principalmente por medio del flujo turbulento del vapor de agua evaporada en la superficie del mar; el constante transporte de energía hacia

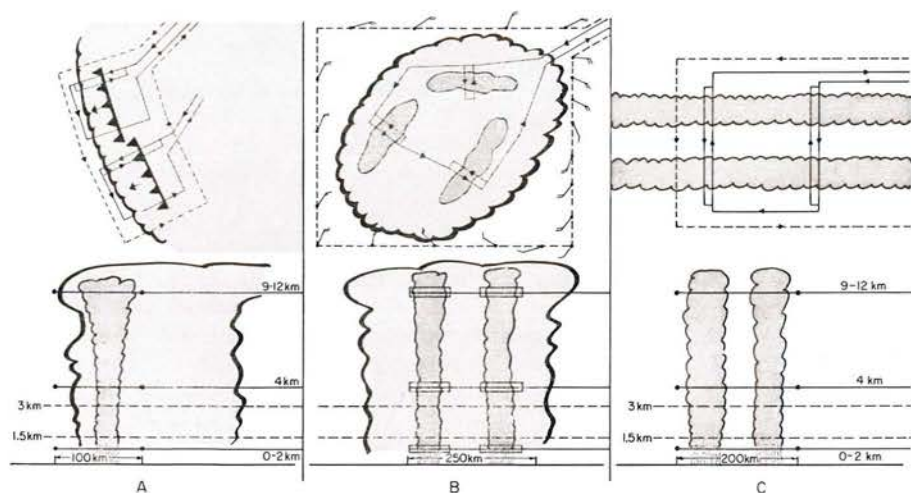


Figura 2 — Esquemas propuestos de trayectorias a seguir en vuelos efectuados a través de tres tipos de conglomerados nubosos: sistemas A = Tipo de conglomerado nuboso de línea de turbonada; B = Tipo circular casi constante; C = Tipo de conglomerado en bandas (ZCIT).

Clave:



Líneas de turbonada
Conglomerados nubosos

— Trayectorias principales con múltiples desviaciones transversales a través de estructuras a escala C (escala media)
- - - - - Trayectorias secundarias.

arriba, a través de la capa límite atmosférica por la convección de los cúmulos; la liberación del calor latente acumulado por condensación en profundos sistemas convectivos a escala media y su distribución a niveles más altos y sobre zonas más amplias en forma de sistemas nubosos con precipitaciones; el transporte hacia los polos del calor liberado por los sistemas a través de la circulación meridiana media de Hadley, las ondas de la troposfera superior y los remolinos permanentes, alimentan la circulación general.

Ello conduce en el GATE a la necesidad de patrocinar programas de investigación para determinar la convergencia en la capa límite a partir de la realización de medidas exactas del viento en la red de buques a escala B, y a la determinación de los flujos de calor, humedad y cantidad de movimiento en la capa límite, que se producen en asociación con los

sistemas nubosos, tanto cerca de la superficie por medio de buques y boyas como hasta la base de las nubes por medio de aeronaves y globosfijos.

Teniendo en cuenta que el control a largo plazo de la estructura de la atmósfera tropical y de su tendencia a desarrollar perturbaciones convectivas es activado por la divergencia del flujo de radiación, aparece como altamente deseable la obtención en el GATE de perfiles verticales de divergencias del flujo de radiación solar e infrarroja, y de los flujos ascendentes y descendentes, tanto en la superficie oceánica como en la tropopausa. Probablemente podrán efectuarse medidas adecuadas en la superficie de la Tierra desde las estaciones terrestres y de a bordo proyectadas, pero se requerirá el empleo de satélites, globos y aeronaves para las medidas a niveles superiores. Como los flujos de radiación dependerán considerablemente de la nubosidad y del contenido de vapor de la atmósfera, las citadas magnitudes deberán medirse independientemente y, preferiblemente, desde un satélite.

Modelos numéricos

En varios centros, sobre todo en los EE. UU., el Reino Unido y la URSS, se están desarrollando actualmente modelos numéricos para la simulación y predicción del comportamiento de la atmósfera tropical, con antelación a los datos que se obtendrán en el GATE. Experimentos recientes efectuados con modelos que emplean una separación de retícula de 250 km y solamente una parametrización un tanto rudimentaria de los procesos convectivos, han reproducido líneas de cizalladura con fuerte convergencia y áreas de precipitación con características similares a las de los sistemas nubosos. Estos resultados hacen presumir que con una parametrización muy mejorada de los procesos de transporte convectivos y de los que ocurren en la capa límite, que se deducirá del GATE, se podrán predecir con éxito, a partir de modelos de reticulados más finos las perturbaciones ondulatorias del campo tropical de vientos con sus sistemas nubosos asociados, además de poder tener en cuenta adecuadamente su papel en la energética de la circulación general y en la preparación de predicciones para más altas latitudes.

El experimento oceanográfico

Un grupo internacional de oceanógrafos, trabajando bajo el patrocinio del Comité Científico para las Investigaciones Oceánicas (SCOR) del CIUC, se propone aprovechar la concentración sin precedentes de buques que reunirá el GATE para llevar a cabo un programa paralelo de observaciones encaminadas a la obtención de estimaciones independientes de los flujos de calor, humedad y cantidad de movimiento que atraviesan la interfaz aire-mar, a partir de medidas realizadas en las capas mixtas superiores del océano, y para la investigación de la respuesta de éste al influjo de las perturbaciones atmosféricas que se producen a distintas escalas. En la escala A se propone la realización estudios detallados de la estructura y dinámica de la corriente fría ecuatorial, la cual puede tener una considerable importancia en la circulación atmosférica. El conjunto de

buques de la escala B investigaría la salinidad y balances de calor. La respuesta del océano a las perturbaciones de pequeña escala, tales como cúmulonimbos, aguaceros, etc., se deduciría de su influencia en las olas superficiales e internas, del gradiente vertical de las corrientes, de los frentes en la termoclina y de las propiedades de transporte en la capa perturbada.

El establecimiento de semejante programa oceanográfico, que suministraría recursos adicionales, a la vez que haría un empleo más intensivo de los ya aportados, debe ser calurosamente aceptado, ya que la integridad del experimento meteorológico no se ve seriamente comprometida. Dada la buena voluntad y cooperación de ambas partes, no hay razón por la que ambos experimentos no tengan éxito y se beneficien mutuamente.

Instalaciones y recursos disponibles

La red de estaciones de sondeos de la atmósfera superior, proyectada en los sectores terrestres del área del GATE, puede verse en la Figura 1 (a). Será preciso hacer un gran esfuerzo hacia 1974 para remediar las deficiencias que se encuentren, especialmente en las estaciones de observación de viento, pero se están llevando a cabo alentadores progresos con la ayuda del Programa de Ayuda Voluntaria de la VMM.

Es probable que la red proyectada de buques especiales de observación sea plenamente desarrollada. En el momento actual se han comprometido firmemente 19 buques con dedicación plena y tres parcialmente, si bien es muy probable que se consigan cinco más de los primeros y otros tantos de los segundos, y existe la ulterior posibilidad de lograr tres buques más con dedicación plena. Ello conducirá a obtener un posible total de 27 buques con dedicación plena y 8 con la parcial, procedentes de 12 países. Ocho de ellos estarán dotados de radar. El problema principal consistirá ahora en suministrar a todos el equipo necesario, especialmente aparatos exactos de medición del viento, y dotarles de personal científico competente.

La disponibilidad de aeronaves es algo menos satisfactoria, de manera que hasta ahora solamente están firmemente comprometidos cuatro aviones de gran radio de acción, pudiendo ser todos ellos completamente equipados como modernos laboratorios volantes. Es muy probable que en el futuro se cuente con tres aviones más de gran radio de acción y dos de autonomía media, pero incluso así será escaso el número de aviones disponibles para las tareas principales de vigilar el área de la escala B y de efectuar medidas detalladas dentro y en las proximidades de los sistemas nubosos. El principal déficit se encuentra en los aviones a reacción, de manera que solamente hay uno firmemente comprometido.

Parece estar asegurada la cobertura continua de la mayor parte del área por medio de un satélite geoestacionario, lo que es vital para el éxito de la totalidad de la empresa, mientras que la cobertura adicional será suministrada por tres o más satélites de órbita polar, dotados con dispositivos, tanto para obtener fotografías de nubes como para los sondeos de temperatura.

La mayor parte de los buques y aviones operarán teniendo a Dakar como base; el gobierno del Senegal está haciendo en ella utilizables el excelente puerto, el aeródromo y otras instalaciones.

Planificación, coordinación y administración

Por último, será preciso unificar tan grandiosos recursos en una expedición internacional estrechamente integrada y coordinada que trabaje como un solo equipo, el cual será mayor y más efectivo que la suma de sus componentes nacionales. En particular deberá asegurarse la compatibilidad y comparabilidad entre los distintos sistemas nacionales de observación, de tal modo que las diferencias de instrumentación no enmascaren las propiedades de la atmósfera que deben ser medidas. Ello sugiere la necesidad de efectuar intercomparaciones y calibraciones previas de los sistemas de observación. Será también necesaria la adopción de acuerdos sobre los procedimientos a emplear y las normas de control de calidad para la preparación, análisis y difusión de los datos. La mayor parte de este trabajo podrá efectuarse en centros nacionales, pero la evaluación, comparación y preparación finales serán de incumbencia internacional.

Los citados y otros muchos complicados problemas de planificación, administración y logística son principalmente de la responsabilidad del Grupo Internacional Científico y Administrativo (ISMG), el cual ha trabajado duramente y con éxito durante los dos últimos años en la preparación de una Propuesta de Proyecto del Experimento,* claramente detallada, y que ha sido aceptada por la Junta del Experimento Tropical como borrador para el GATE. Se requiere una planificación mucho más detallada de la cuestión, particularmente en lo que se refiere a los programas oceanográfico y de las aeronaves y a los datos que conciernen a la administración del plan, habiéndose reunido ahora en Bracknell un valioso equipo para efectuar estos trabajos. Asimismo, el ISMG tendrá un importante papel supervisor y coordinador durante la fase operativa del experimento, y será por último responsable de la preparación de los datos en una forma definitiva adecuada para su empleo por los científicos de todo el mundo.

Conclusiones

Con los datos fijados y los principales recursos ya comprometidos por los gobiernos participantes, el Experimento Tropical Atlántico está en marcha y funcionará, muy probablemente, como se ha descrito en este artículo. Los problemas científicos, técnicos, logísticos y de organización son formidables, pero el desafío es irresistible y las oportunidades inmensas. El GATE suministrará una prueba real de la capacidad y determinación de la comunidad meteorológica internacional para llevar a cabo tan amplio y complejo experimento, el cual, si tiene éxito, será, casi con seguridad, seguido por otros a escala similar, sin tener en cuenta el Primer Experimento Global del GARP el cual, a fines de 1974, estará solamente a dos años de sus comienzos.

* *Informe del GATE N.º 1* (1972), publicado por la OMM, Ginebra.