

Una vez más, acompañaron al otoño temperaturas excepcionalmente altas sobre el norte y el centro de Siberia. Las temperaturas medias estacionales fueron las más altas medidas en Turukhansk y en Tura, en la provincia de Krasnoyarsk, siendo la temperatura media mensual de noviembre más de diez grados por encima de lo normal.

Antártico

Las temperaturas del verano y el otoño (de diciembre de 1982 a mayo de 1983), fueron cercanas a lo normal sobre el continente. El invierno (de junio a agosto), tendió a ser menos frío de lo normal, particularmente sobre la península antártica, en donde la temperatura media estacional en Faraday (Argentine Islands), fue de $-3,7^{\circ}\text{C}$, la más alta desde que comenzaron las observaciones en 1947. Anomalías positivas de entre los cuatro y los seis grados persistieron hasta finales del invierno en esta región. Sin embargo, en el Polo Sur, julio de 1983 igualó al mes más frío anterior desde que comenzaron las observaciones en 1957, y la base de la URSS en Vostok tuvo su julio más frío desde que comenzaron las observaciones en 1958. En realidad, la temperatura media de Vostok en julio, de $-73,8^{\circ}\text{C}$, es la media mensual más baja registrada en cualquier parte del mundo. En contraste, las temperaturas sobre las zonas orientales del continente fueron de dos a cinco grados por encima de lo normal en septiembre, estableciendo nuevos récords las estaciones de Mirnyy de la URSS y la estación australiana de Casey. Octubre y noviembre fueron fríos, con una desviación negativa de cuatro grados en el Polo Sur, y un nuevo récord de temperatura media baja en octubre, de $-14,9^{\circ}\text{C}$, se registró en Casey. Tres estaciones informaron de su noviembre más frío, entre ellas otra vez Vostok, con una temperatura media mensual de $-45,5^{\circ}\text{C}$.

EL EXPERIMENTO TROPICAL DEL GARP EN EL ATLANTICO (GATE)

(JUNIO - SEPTIEMBRE de 1984)

*Por E.I. TOLSTIKOV y
Y.V. VAKALIUK*

Ahora se ha llegado al décimo aniversario de El Experimento Tropical del GARP en el Atlántico (GATE), que constituyó el primero de los experimentos a escala total con cargo al Programa de Investigación Mundial de la Atmósfera. Por ello, ya ha transcurrido el suficiente período de tiempo para que podamos echar la vista atrás y contemplar al GATE como una entidad, y apreciar, a la vista de los logros subsiguientes, hasta qué punto han sido alcanzados sus objetivos científicos.

El GATE se concibió como un ejercicio preliminar necesario con vistas al fundamental Experimento Meteorológico Mundial, o, como posteriormente se designó, al Primer Experimento Mundial del GARP (FGGE).

En términos generales, los objetivos primordiales del GATE consistían en ampliar nuestros conocimientos sobre aquellos aspectos de la meteorología de la franja ecuatorial que resultan esenciales para un conocimiento adecuado de la circulación atmosférica en su conjunto y, simultáneamente, perfeccionar el conocimiento y la predicción del tiempo en los trópicos. Más específicamente, el GATE se concibió para estudiar la estructura y la evolución de los sistemas nubosos convectivos en el Atlántico tropical oriental, así como evaluar el papel que juegan en el transporte de calor y de humedad desde los océanos tropicales hasta el interior de la circulación atmosférica mundial. En

consecuencia, el último objetivo era la creación de modelos numéricos perfeccionados de la circulación, teniendo en cuenta los procesos a escala relativamente pequeña que tienen lugar en los trópicos.

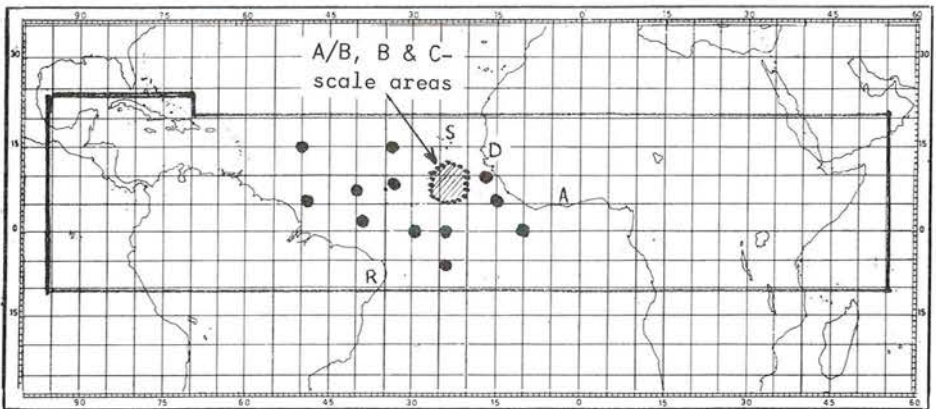
Con el fin de diseñar un sistema de observación adecuado, se decidió considerar los procesos atmosféricos en la forma en que tienen lugar en cuatro escalas:

- Escala A - (escala de onda planetaria) 1.000-10.000 km,
- Escala B - (escala sinóptica o de conglomerados de nubes) 100-1.000 km,
- Escala C - (convección a mesoescala), 10-100 km,
- Escala D - (escala de convección de cúmulus aislados) 1-10 km.

Las actividades científicas se dividieron en cinco subprogramas, cada uno de los cuales estaba dedicado, respectivamente, a los fenómenos a escala sinóptica, radiación, oceanografía, convección y a la capa límite.

La fase de campo

Se estableció un sistema de observación muy complejo, el cual comprendía una red muy ampliada de la VMM y varios tipos de sistemas especiales de observación. Participaron en el experimento unos 70 países; durante varios períodos de tiempo diez Miembros enviaron un total de 39 buques al Atlántico (incluyendo 13 buques soviéticos), cinco Miembros enviaron 13 aviones de reconocimiento convenientemente equipados y que establecieron su base en Dakar; además, se utilizaron dos satélites meteorológicos, uno geostacionario y otro de órbita polar.



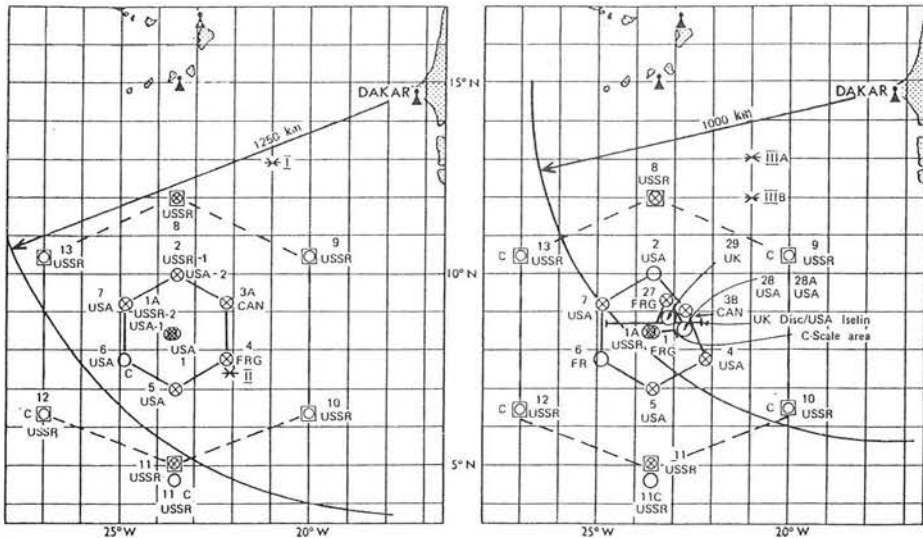
La zona total del Gate y las posiciones de los buques de escala A en la Fase II del experimento.

El sistema de observación se muestra en el diagrama adjunto:

- (a) El dispositivo de la escala-A abarcó la totalidad de la zona del GATE extendiéndose, aproximadamente, desde 95°W hasta los 55°E, y entre las latitudes 20°N y 10°S; éste se pensó para estudiar los procesos atmosféricos a escala sinóptica, y estaba formado en tierra por estaciones meteorológicas y aerológicas de la VMM, y en el mar por buques del GATE.

- (b) El dispositivo de las escalas-A/B cubrió un área hexagonal aproximadamente de 775 km. a lo largo del Atlántico oriental, centrada en el punto $8^{\circ}30'N, 23^{\circ}30'W$; se pensó para el estudio de los fenómenos de las escalas A y B y estaba formado por un grupo de buques, boyas y secciones hidrográficas.
- (c) El dispositivo de la escala-B también era hexagonal y se encontraba centrado en el mismo punto que el de la escala A/B, aunque transversalmente sólo tenía unos 285 km. Se pensó para estudiar los fenómenos de las escalas B y C, y estaba formado por buques y boyas, conjuntamente con aviones de investigación, así como por imágenes de alta resolución procedentes del satélite geostacionario.
- (d) El dispositivo de la escala-C era un triángulo de aproximadamente 95 km. de lado con un vértice en el centro de los hexágonos. Se pensó para estudiar los procesos de escalas C y D (interacciones aire-mar a pequeña escala); este dispositivo lo constituían seis buques además de boyas, aviones e imágenes en alta resolución procedentes del satélite geostacionario.

Para las observaciones destinadas a estudiar el sistema de las corrientes oceánicas en la zona ecuatorial, la red de observaciones oceanográficas estaba constituida por cuatro buques estacionarios y por otros ocho navíos móviles, así como por un sistema de boyas automáticas. La red para el estudio de la influencia de los procesos de las escalas B, C y D sobre la estructura de la capa de mezcla de los océanos (e, inversamente, para estudiar la influencia del océano sobre los procesos atmosféricos), consistió en seis



Las redes de escalas A/B y B en las fases I y II del GATE (izquierda), y en la Fase III con el despliegue de escala C (derecha).

Símbolos:

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| ⊗ Buque radar, escala B | ○ Buque, escala B |
| ⊗ Buque radar, escala A/B | ⊗ Buque, escala A/B |
| C Buque de comunicaciones | ✕ Punto de intercomparación |
| 📡 Estación radiosonda/radioviento | → Buque oceanográfico ambulante |

buques estacionarios y en otros cuatro móviles, así como en las boyas automáticas y en los aviones de investigación.

El conjunto del experimento se dividió en tres fases. Fase I: 26 de junio al 16 de julio; Fase II: 28 de julio al 16 de agosto; Fase III: 30 de agosto al 19 de septiembre. Antes y después de cada fase se organizaron intercomparaciones.

El programa de observación llevado a cabo en una determinada plataforma dependió principalmente de la escala del dispositivo a la cual pertenecía la plataforma. Para cada dispositivo, el programa consistió en una serie de observaciones normalizadas (obligatorias para todas las plataformas en dicho dispositivo), junto con observaciones especializadas que eran llevadas a cabo por buques individuales.

En el dispositivo de la escala - A/B cada fase estaba dividida en períodos de observación intensivos y no intensivos; los períodos intensivos duraban tres días, alternándose con períodos no intensivos de dos días.

Las observaciones realizadas por la URSS en el dispositivo de la escala-B incluyen sondeos de la capa límite atmosférica utilizando globos unidos a su base mediante cables, observaciones detalladas de las nubes mediante radar, observaciones pluviométricas y del oleaje, así como medidas de la capa de mezcla oceánica y de las corrientes próximas al punto central del dispositivo. Además, se realizaron medidas espectrométricas de la transparencia atmosférica, conjuntamente con medidas de la radiación realizadas desde aviones.

Dos aviones soviéticos Illyushin-18 tomaron parte en el GATE; el primero se utilizó principalmente para el estudio de las nubes y la convección, mientras que el segundo se empleó para medidas de la radiación. Dado que el estudio de la convección era una de las principales misiones de las operaciones aéreas, participaron en esta labor la mayoría de las aeronaves procedentes de los demás países.

Para cumplir los objetivos científicos del GATE con los limitados recursos económicos disponibles, resultó necesario vigilar la evolución de los sistemas meteorológicos en la zona con objeto de poder seleccionar diariamente la programación óptima de las misiones de investigación de los aviones, designar los períodos de observación intensiva, así como someter a una constante vigilancia las condiciones para las operaciones. Estas operaciones fueron dirigidas directamente desde el Centro de Vigilancia de Operaciones del GATE (GOCC), en Dakar.

La ceremonia oficial de inauguración del GATE tuvo lugar el 23 de julio de 1974 en la sede del GOCC, con la asistencia de Su Excelencia Léopold Senghor, Presidente de la República de Senegal. El director del Grupo internacional de gestión científica (ISMG), Dr. J.P. Kuettner, se hizo cargo del GOCC; el Dr. Y.V. Tarbeev fue el director de operaciones; mientras que el Sr. R.F. Long desempeñó el cargo de director adjunto con el fin de colaborar en las funciones de apoyo y en las cuestiones administrativas. Cada país participante nombró a su coordinador nacional; en el caso de la URSS, éste fue el Profesor M.A. Petrossiants que estuvo a bordo del buque insignia *Professor Zubov*. Inmediatamente antes del GATE había habido un experimento preparatorio nacional soviético, el TROPEX-72, el cual facilitó una valiosísima experiencia y garantizó la máxima eficacia potencial de los buques de investigación soviéticos. Indudablemente, también contribuyó a los resultados satisfactorios del GATE.

En general, todos los países participantes cumplieron sus cometidos y los buques ocuparon sus posiciones según lo previsto. Hubo algunos problemas con el sistema "navaid" de diseño reciente para determinar los vientos y que fue utilizado por la mayoría de los buques; a causa de las señales muy débiles recibidas en los trópicos procedentes de las estaciones de transmisión Omega, así como averías en otros sistemas de marcasiones VLF. Afortunadamente, los buques soviéticos equipados con el sistema "Meteor" pudieron facilitar datos aerológicos muy concordantes y fiables. Por ello, se decidió que para la segunda y tercera fases, el buque soviético *Professor Vize* se situara en el centro del hexágono de la escala-A/B. También hubo una cierta redistribución de los buques en el dispositivo de la escala-A; el *Volna* fue desplazado mucho más cerca del área de la escala-A/B (ello estaba científicamente justificado, ya que mejoraba la configuración de la red para el estudio de la ZCIT). Igualmente, otros dos buques fueron cambiados de posición para ayudar a rellenar la laguna existente entre la costa africana y el área de la escala-A/B. Durante la Fase III, la concentración fue sobre la escala-C, con navíos hidrográficos y otros buques equipados para realizar estudios detallados de las capas límites atmosférica y oceanográfica.

Algunos resultados científicos

Durante la realización del experimento, se han celebrado numerosas conferencias, en las cuales se han discutido una amplia gama de temas relacionados con el GATE. Se han publicado más de un millar de artículos científicos. La investigación continuó en los años que siguieron al experimento, y la culminación tuvo lugar en septiembre de 1980 con la Conferencia internacional sobre los resultados científicos del GATE, cele-



Preparativos para efectuar una observación oceanográfica, empleando botellas Nansen, en uno de los buques de la URSS durante el GATE.

(Fotografía: Servicio Hidrometeorológico de la URSS).

brada en Kiev (URSS). Las ponencias presentadas a la conferencia sirvieron como base para una monografía sobre el GATE editada en parte por un destacado científico soviético especializado en el campo de la meteorología tropical (GARP Publications Series No. 25, Abril de 1982).

En lo referente al estado medio de la atmósfera a gran escala, se ha realizado un análisis objetivo de los campos de presión y de temperatura desde la superficie hasta los 200 hPa, y se ha estimado la precipitación sobre una gran parte del área de la escala-A a partir de los datos de los satélites y de los radares. Esto ha facilitado una información climatológica útil para el Atlántico tropical y África occidental durante el verano del hemisferio norte. Se han logrado progresos en el conocimiento de las ondas ecuatoriales del este, incluyendo su estructura, así como la convección asociada y los campos de precipitación. Se encontró que las ondas del este con una longitud de onda de unos 2.500 km. y un período de 3,5 días eran la principal característica de los procesos a escala sinóptica. La estructura detallada de las ondas se investigó basándose en los cálculos del balance energético en la escala-A/B durante la Fase III.

El GATE proporcionó una excelente oportunidad para la evaluación de los conceptos teóricos y del comportamiento de los diversos modelos de la circulación atmosférica que tratan con ondas ecuatoriales, el desarrollo y la posición de la ZCIT y la formación de ciclones tropicales. El análisis objetivo de los datos del GATE resulta de indudable valor para un estudio más profundo de la circulación tropical y su relación mutua con los sistemas atmosféricos extratropicales. Los modelos de predicción del tiempo regional para los trópicos demostraron ser capaces de reproducir numerosas características de la atmósfera tropical, especialmente en lo que se refiere a las predicciones a corto plazo de la precipitación.

Se ha conseguido un considerable progreso en el estudio de la ZCIT, su estructura media, y los casos de su intensificación y debilitamiento (*Boletín de la OMM* 29 (1) págs. 34-39). Claramente, la convección en la ZCIT depende del signo y de la intensidad del movimiento vertical a gran escala que tiene lugar en la capa 500-300 hPa. Cuando hay una intensa convección en la ZCIT, prácticamente toda la humedad presente en una columna de aire se condensa y cae en forma de precipitación, de manera que la mayor parte del calor latente de condensación se transforma en calor sensible y subsiguientemente es transportado a latitudes subtropicales.

Las observaciones continuas de la precipitación mediante radares sobre la mayor parte de la zona de la escala-B, combinadas con las observaciones de aviones y satélites, revelan numerosas e interesantes características de la convección. Quizás la más sorprendente fue un desarrollo casi explosivo (aproximadamente en seis horas) de aglomeraciones de nubes muy extensas. Una de las aglomeraciones de nubes fue vigilada durante su paso a través de la zona de la escala-B y posteriormente se desarrolló convirtiéndose en el ciclón tropical *Alma*. Los estudios del diagnóstico de la convección de cumulus utilizando las observaciones de radar del GATE resultaron importantes para mejorar nuestros conocimientos de cómo la convección cambia la estructura termodinámica del medio ambiente a gran escala. Se demostró que el proceso de condensación evita una intensificación de los vórtices ciclónicos en los niveles bajos, debido a una convergencia a gran escala. Las aglomeraciones de nubes en la ZCIT y la precipitación se ven gobernadas por procesos de una escala mayor, cuando la convergencia se encuentra aproximadamente seis horas por delante del principio de la actividad convectiva.

A partir de las medidas del flujo turbulento del calor sensible y del calor latente bajo diferentes situaciones meteorológicas durante el GATE, resulta posible proponer el mecanismo de los cambios en la ZCIT, así como la configuración de los alisios. Dichos flujos son una buena base para perfeccionar la parametrización de los procesos interactivos entre el océano y la atmósfera tropical. Muy probablemente, el flujo calorífico próximo a la superficie oceánica esté en gran parte determinado por desplazamientos a escala relativamente pequeña, mientras que el vapor de agua se transfiere por procesos convectivos a una escala mayor. El coeficiente de transporte calorífico para el calor latente es mucho menor que para el calor sensible.

Las medidas realizadas desde aviones, combinadas con la información sobre el balance de diversos componentes, han aumentado considerablemente nuestros conocimientos sobre la capa límite tropical, tanto cuando no está perturbada como cuando lo está por convección. La convección activa conduce a una especie de emborronamiento del límite superior de la capa límite, y los cumulus que se forman en estas condiciones modifican considerablemente las propiedades termodinámicas del aire que se encuentra debajo de la nube y de sus capas inferiores. Resultan necesarias varias horas para que la capa límite vuelva a su estado normal, no perturbado. Incidentalmente, los resultados de las investigaciones del GATE sobre la capa límite resultaron subsiguientemente de una gran utilidad para analizar el flujo del aire sobre el mar de Arabia en distintas etapas de la circulación del monzón de verano durante el Experimento Meteorológico Mundial.

Los perfiles verticales de radiación en los trópicos mostraron cómo influye sobre el balance de radiación de la atmósfera la variabilidad horizontal de la nubosidad, la cual origina gradientes horizontales en la divergencia diaria media del flujo de radiación. Por otra parte, se encontraron grandes diferencias diurnas entre regiones despejadas y nubosas, cuando las diferencias horizontales eran mayores en la dirección meridional que en la dirección zonal.

El componente oceanográfico

Aunque el objetivo fundamental del GATE era estudiar procesos meteorológicos, resultaba natural aprovechar la oportunidad para realizar un amplio y completo programa oceanográfico. Las observaciones en la superficie de la capa de mezcla del océano se realizaron rigurosamente de acuerdo con una frecuencia prescrita.

Los estudios oceanográficos se enfocaron hacia las temperaturas en la capa de mezcla y hacia los procesos que determinan la redistribución del calor, así como hacia la turbulencia en las capas altas en las proximidades de la ZCIT y de la contracorriente ecuatorial (la corriente Lomonosov). Se encontró que la amplitud de las fluctuaciones de la temperatura de la superficie del mar aumenta con el período de las fluctuaciones. El paso de líneas de turbonada y de aglomeraciones de nubes sobre la zona de la escala B y C no hizo variar la temperatura de la superficie en más de medio grado Celsius, lo cual también era el límite de fluctuaciones de tres y de cuatro días. Sin embargo, sobre períodos de 14 y de 30 días la amplitud podía alcanzar varios grados.

Al conocerse ya los resultados preliminares, se pudo demostrar claramente que los buques de investigación soviéticos y las boyas fijas habían supuesto una contribución útil al subprograma oceanográfico.

Conclusión

El valor fundamental del GATE es que ha proporcionado unas series muy completas de observaciones que han servido para ayudar a describir con detalle los procesos a diversas escalas tanto en la atmósfera como en el océano, lo que a su vez permite un mayor conocimiento sobre su interacción y, finalmente, ha servido para poder integrar procesos a todas las escalas en la elaboración de los modelos numéricos.

A partir de los datos del GATE se han deducido nuevos hechos que amplían nuestro concepto de los procesos físicos en los trópicos, se han añadido nuevos detalles a hechos ya conocidos, y fueron confirmadas o desechadas diversas hipótesis. Por supuesto, permanecen sin respuesta numerosas cuestiones fundamentales sobre la meteorología tropical, como por ejemplo el mecanismo mediante el cual se mantienen las ondas atmosféricas ecuatoriales, el papel de la convección de los cumulus a este respecto, los casos ocasionales en que los huracanes tropicales se forman en asociación con estas ondas o con otras perturbaciones débiles, así como una amplia gama de cuestiones relacionadas con la dinámica atmosférica. No obstante, los datos del GATE aún serán extremadamente útiles para futuras investigaciones, en especial cuando se combinen con las series de datos del Experimento Meteorológico Mundial.

Se demostró, de manera convincente, que un grupo de buques juntos y coordinados pueden producir una información más útil que un número de buques diez veces mayor haciendo observaciones en forma sucesiva. Posteriormente, esto se ha tenido en cuenta en el Experimento Meteorológico Mundial.

El GATE fue el primero de una serie de experimentos a gran escala del GARP, en el cual varios países contribuyeron conjuntamente a la instalación de un sistema estructuralmente complejo de observaciones durante un período cronológico limitado. Su éxito ha requerido una planificación meticulosa y un firme compromiso por parte de cada uno de los países participantes. Realmente, ha sido una empresa científica arriesgada como nunca se había emprendido con anterioridad. La notable y estrecha colaboración en un espíritu de colaboración mutua supone un gran estímulo para los futuros proyectos del GARP. En conjunto, el GATE ha sido una fusión de intereses científicos, de buena voluntad y de cooperación, que ha tenido un gran éxito. En definitiva, un triunfo de la ciencia y de las buenas relaciones.

CIENT AÑOS DE PREDICCIONES DEL TIEMPO EN JAPON

(Remitido por el Representante permanente de Japón ante la OMM)

El 1 de junio de 1884, el Observatorio Meteorológico de Tokio, predecesor de la Agencia Meteorológica de Japón, publicó, por primera vez, predicciones del tiempo para el público japonés en general. El Observatorio se había instalado en 1875 y había comenzado a realizar observaciones meteorológicas rutinarias, tres veces al día, bajo la supervisión de un inglés, el Sr. H.B. Joyner.

En el año anterior, 1883, las autoridades postales de Japón habían acordado transmitir por telégrafo gratuitamente los mensajes meteorológicos una vez al día. Esto abrió la puerta para una concentración más rápida de los datos y permitió que se pre-