

y en desarrollo, se beneficiarán con esto y la eficacia de la OMM, que aspira a servir a todos los países Miembros, mejorará notablemente. El período actual ha sido de progresos seguros y realizaciones sólidas, a pesar de las graves dificultades financieras. Esperamos con confianza que estos progresos continúen en los años venideros y que el Congreso tomará las decisiones apropiadas a tal fin.

Me doy cuenta que en algunos países las restricciones financieras son una necesidad urgente, pero en el caso de la OMM lo que podríamos preguntarnos no es si los países del mundo pueden soportar los gastos para realizar los programas propuestos por la Organización, sino más bien, si dichos países pueden soportar el pasarse sin tales programas.

(M. F. TAHA)

Presidente de la OMM

## EL PRIMER EXPERIMENTO MUNDIAL DEL GARP

Por Bernard Gosset\*

Durante un año entero, que comienza el 1 de diciembre de 1978, la atmósfera terrestre y los fenómenos meteorológicos que en ella se producen van a ser observados, medidos y analizados desde estaciones meteorológicas terrestres y marinas, por barcos y aviones y, también, por los satélites meteorológicos que actualmente pueden reconocer de forma prácticamente continua toda la superficie terrestre. Este primer experimento a escala mundial, puesto en marcha después de un año entero de intensos preparativos, es la culminación de más de diez años de trabajos y estudios, emprendidos para las diferentes etapas de concepción, planificación y ejecución. La OMM tiene la responsabilidad de realizar el programa, que ha sido organizado y planeado conjuntamente por la OMM y el Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC).

¿Por qué realizar un experimento en 1979? ¿Cuáles son los objetivos y cómo esperamos alcanzarlos? ¿Qué resultados esperamos? Estas son algunas de las preguntas que se intentará contestar en los párrafos siguientes.

Como en todas las ciencias naturales, en meteorología es necesario realizar experimentos para que progresen sus estudios. Sin embargo, en el caso de la atmósfera, esta experimentación debe ser a escala mundial, por ello se necesitará una organización capaz de proporcionar datos de todo el mundo y una potencia de cálculo suficiente para asimilarlos.

### Antecedentes históricos

Aunque la aplicación de las ecuaciones de la dinámica de los fluidos a la meteorología se inició el siglo pasado por von Helmholtz en 1858 y fue desarrollada por Bjerknes y otros en la primera década del si-

---

\* El Sr. Gosset, Director Adjunto del Servicio Meteorológico francés, es Presidente del Grupo Intergubernamental para el FGGE, del Comité Ejecutivo.

glo XX, pero el descubrimiento de un nuevo enfoque del problema se debe, casi en su totalidad, a los trabajos realizados por Richardson intentando resolver las ecuaciones de la hidrodinámica, durante la Primera Guerra Mundial. Al poner en práctica la teoría aparecieron algunos problemas casi insuperables, por ejemplo: la inadecuación de los modelos, los medios más bien primitivos de cálculo y la escasez o la falta de datos de observación de la atmósfera en altitud. Estas últimas observaciones sólo alcanzaron suficiente densidad y tuvieron, por tanto, un uso operativo real en el hemisferio norte después de la Segunda Guerra Mundial.

Durante el período 1950-60 el progreso técnico y científico fue más evidente con respecto al tratamiento de los datos y, más tarde, en el campo de las observaciones desde el espacio; esto permitió a los meteorólogos desarrollar modelos de simulación y, al mismo tiempo, ampliar su campo de investigación a la escala mundial. En 1961 y 1962, sólo pocos años después del lanzamiento del primer satélite artificial por la U.R.S.S., el 4 de octubre de 1957, y la puesta en órbita del primer satélite meteorológico por los EE. UU., el 13 de octubre de 1959, la Asamblea General de las NU adoptó dos resoluciones que, dentro del marco de los usos pacíficos del espacio exterior, encomendaba a la OMM estudiar las formas de avanzar en la investigación científica de la atmósfera y de mejorar la eficiencia de las predicciones meteorológicas. El Programa de la Vigilancia Meteorológica Mundial y el Programa de Investigación Global de la Atmósfera (GARP), fueron concebidos y desarrollados en esta línea de actuación, siendo el FGGE el primer experimento que se iba a realizar a escala mundial haciendo uso de todos los sistemas últimamente desarrollados juntamente con los sistemas más convencionales.

Merece la pena recordar los principales objetivos del experimento:

- En primer lugar, comprender mejor los movimientos de la atmósfera para perfeccionar los modelos de predicción numérica a medio y largo plazo. Para ello, lo primero es que la atmósfera mundial debe observarse con suficiente precisión. Después, es necesario poder parametrizar los fenómenos de escala media de los que los modelos sólo pueden dar cuenta en forma estadística. Finalmente, tenemos que mejorar nuestro conocimiento de las interacciones entre fenómenos de diferentes escalas, acoplamiento dinámico entre los dos hemisferios, interacciones océano-atmósfera, etc.
- El segundo objetivo es determinar con cuánta antelación es posible predecir la evolución de los sistemas meteorológicos. El límite de predictibilidad depende de los propios fenómenos; por ejemplo, la posibilidad de predecir una tormenta que dura solo unas pocas horas es mucho menor que la de predecir una depresión del frente polar que se forma y evoluciona durante varios días. Pero la predictibilidad depende, asimismo, del parámetro de la red de observación, de los métodos y de las simplificaciones utilizadas en la resolución de las ecuaciones de simulación.
- El tercer objetivo es diseñar la composición óptima de un sistema de observación meteorológica para las predicciones rutinarias mediante métodos numéricos de las características a gran escala

de la circulación general. Se espera que estos trabajos llevarán a una nueva concepción de la VMM en la que las observaciones por satélite ocuparán, muy probablemente, un lugar privilegiado. Un sistema de este tipo proporcionará, con un coste mínimo, los datos mundiales necesarios para el funcionamiento operativo de los modelos atmosféricos de simulación a gran escala. El trabajo incluirá también un mayor desarrollo de métodos que permitan utilizar las observaciones realizadas a horas diferentes de las horas sinópticas, de tal forma que haya una utilización completa de los datos. Este sistema de este tipo proporcionará, con un coste mínimo, los datos necesarios. Esto requerirá el perfeccionamiento de lo que se conoce como el sistema cuatridimensional de asimilación de datos, que permitirá definir en la mejor forma posible las condiciones iniciales para los modelos antes de comenzar cualquier integración numérica.

Es innecesario decir que, aparte de los objetivos puramente meteorológicos, los resultados obtenidos del experimento tendrán un impacto importante en aquellos sectores de la economía que son sensibles a las condiciones atmosféricas.

## **Planificación**

El GARP, como se dijo anteriormente, es el resultado directo de la Resolución 1802 (XVII) adoptada por la Asamblea General de las NU el 14 de diciembre de 1962. Varios informes elaborados por la OMM y el CIUC permitieron determinar gradualmente los principales temas de la investigación atmosférica y pusieron de manifiesto la necesidad de emprender un amplio programa internacional de investigación orientado hacia la observación, la comprensión y la predicción de la circulación general en la troposfera y en la baja estratosfera. El programa así concebido se designó como Programa de Investigación Global de la Atmósfera (Global Atmospheric Research Programme (GARP)), en 1966 y fue considerado por la OMM como un programa complementario del de la Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM), al que proporcionaría una base científica. En esta época sólo se prevía un experimento mundial de 12 meses de duración, que se propuso fuera realizado en 1972.

Sin embargo, durante el verano de 1967 se organizó una conferencia en Estocolmo por el Comité de Ciencias Atmosféricas del CIUC/UIGG con el co-patrocinio de la OMM, que estableció especificaciones relativamente detalladas en cuanto a los datos necesarios para un experimento de este tipo, a las investigaciones que necesitarían realizarse antes de su puesta en marcha y a la posibilidad técnica de ejecutarlo. Quedó claro, por otra parte, que el GARP no podría consistir sólo en un único experimento a escala mundial, sino también en un programa a largo plazo con varios subprogramas, entre los cuales habría un experimento principal que se realizaría a escala mundial.

En octubre de 1977, tras la aprobación por el Quinto Congreso Meteorológico Mundial y la Asamblea General de la CIUC, se firmó un acuerdo entre los presidentes de las dos organizaciones. Este acuerdo formalizó a la vez al GARP y al Comité Consultivo de Organización del GARP (CCO), el principal organismo científico responsable del desarrollo del ambicioso programa de investigación.

En la segunda reunión, en enero de 1969, el CCO estudió un informe redactado por el grupo de trabajo del COSPAR sobre nuevas técnicas de observación mediante satélites y sobre la forma en que dichas técnicas pueden responder a las necesidades de datos de observación de todo el globo para un experimento a escala mundial. De esta manera se proyectó el Primer Experimento Mundial del GARP (First GARP Global Experiment (FGGE)) con su sistema de observaciones mundiales apoyándose en la VMM y en el subsistema de observaciones por satélite, globos a nivel constante, plataformas de observación de superficie (boyas y estaciones meteorológicas automáticas), observaciones especiales del viento en la zona tropical, dos Períodos Especiales de Observación, etc.

En 1970, después de la primera Conferencia de Planificación en Bruselas, se creó en Ginebra un pequeño grupo, el Grupo Conjunto de Planificación, para trabajar con dedicación exclusiva en los subprogramas del GARP y, especialmente, en el FGGE. Entonces empezó una nueva fase en los preparativos; se planeó la ejecución detallada del FGGE y se coordinaron las contribuciones de las distintas naciones para el establecimiento de los diferentes sistemas de observación propuestos.

En septiembre de 1972 se celebró en Ginebra una segunda conferencia de Planificación sobre el FGGE en la cual 37 Estados Miembros comunicaron su intención de participar en el experimento y dieron una idea aproximada del alcance de sus contribuciones. Entonces el experimento se programó para 1977. Entre tanto, se planeó el Experimento Tropical del GARP en el Atlántico (GARP Atlantic Tropical Experiment (GATE)) y se llevó a cabo de junio a septiembre de 1974, lo que permitió a los responsables del GARP experimentar, a una escala relativamente pequeña, los problemas inherentes a la organización y ejecución de un proyecto realizado conjuntamente por unos veinte países.

Apenas un mes después de finalizar el GATE, se celebró en Ginebra, la primera reunión del Grupo Intergubernamental del FGGE del Comité Ejecutivo, para supervisar la planificación del experimento principal que, por entonces, fue retrasado hasta 1979. El Grupo estaba formado por delegados de 10 países y representantes de los principales organismos relacionados con el FGGE y se encargó fundamentalmente de analizar las necesidades provenientes de la ejecución de los distintos componentes del experimento mundial, de establecer las bases para planificar estos componentes y de supervisar la coordinación de las contribuciones de los diferentes países participantes. Tras cuatro años de trabajo y seis sesiones ordinarias, el Grupo se había visto reforzado por algunos Miembros.\* Se redactaron los planes para los diferentes sistemas y experimentos regionales y, también, se encontró solución a algunos problemas. Al realizar sus trabajos con la guía del asesoramiento científico del CCO, el Grupo ha podido apoyarse en la Oficina de Actividades del GARP que puede decirse que ha sido el origen de todo este trabajo de planificación. Actualmente ha tomado el relevo el Centro de Operaciones que se estableció

---

\* A los diez países iniciales, Australia, Brasil, Canadá, Francia, EE. UU., Japón, Nigeria, Reino Unido, República Federal de Alemania, U.R.S.S., se unieron Arabia Saudita, Argentina, China, Finlandia, India, Irán, Noruega y Suecia. Tomando también parte en los trabajos del Grupo, ya como participantes o expertos invitados, los Presidentes de la CCA y de la CSB y representantes del CIUC, CCO COI, ESA, SCOR, ASECNA, así como representantes de los centros del MONEX y del Comité Regional del WAMEX.

en Ginebra a finales de 1977 para cooperar en los problemas de ejecución. El Grupo ha recibido también apoyo activo de numerosos comités y grupos de trabajo de las comisiones técnicas de la OMM implicadas, incluyendo la CCA y la CSB, así como de los diferentes departamentos de la Secretaría, en particular de los de la VMM. La mayor parte de este trabajo de planificación se concentró en la determinación de los componentes del experimento mundial: sistemas de observación convencionales y especiales, tratamiento de datos y sistema de archivo y experimentos regionales. Estos últimos se describen en los siguientes párrafos.

## Los componentes del experimento

Es esencial para el éxito del FGGE una red suficientemente densa de puntos de observación que permita una visión a escala mundial del movimiento y evolución de los sistemas atmosféricos. Los meteorólogos han expresado este deseo desde hace muchos años y se espera que la siguiente infraestructura lo cumpla. Incidentalmente, la fotografía de la cubierta del *Boletín de la OMM* de abril de 1976 (vol. XXV, N.º 2) nos mostraba varios componentes de los sistemas de observación.

### *El Sistema Mundial de Observación de la VMM*

Actualmente casi todos los datos meteorológicos se obtienen mediante el Sistema Mundial de Observación (SMO) de la VMM; este sistema consiste, por una parte, en una red de observaciones convencionales y, por otra, en los satélites meteorológicos. Este es, sin duda, el mejor sistema que se ha podido desarrollar hasta ahora. Sin embargo, la red de estaciones permanentes no está distribuida uniformemente y, además, dista mucho de cubrir el mundo entero. Por ejemplo, casi la mitad de las estaciones de radiosondeo están situadas en la zona comprendida entre los 30º y los 50º N, lo que representa solamente el 16 por ciento de la Tierra, mientras que la franja ecuatorial entre las latitudes 10º N y 10º S que representa el 35 por 100 de la superficie terrestre, tiene el 5 por 100 de las estaciones aerológicas. Esta es la situación aunque es bien sabido que la zona ecuatorial es particularmente importante para el estudio de la circulación general de la atmósfera. Además, grandes extensiones de los océanos, de los desiertos y de las regiones polares están también mal dotadas de estaciones de observación meteorológica.

Era evidente, por tanto, que un estudio global de la atmósfera requeriría una ampliación notable del número de observatorios del SMO. Esto se está consiguiendo mediante los sistemas de observación especiales cuya existencia se limitará a la duración del FGGE. Como para la realización del SMO propuesto hay todavía un déficit del 8 por 100 en las observaciones de superficie y de un 15 por 100 para las observaciones del aire en altitud, la primera cosa a hacer era, evidentemente, establecer un número máximo de estaciones, aunque éstas sean sólo temporales, durante el FGGE. La mayor parte de este trabajo, ya sea la apertura de nuevas estaciones o un aumento en el programa de observación en las ya existentes, se ha conseguido gracias a las contribuciones de los países donantes pertenecientes al Programa de Asistencia Voluntaria de la OMM. Además, algunos miembros han creado o puesto en funcionamiento de nuevo por una duración limitada estaciones de sondeo

del aire en altitud en localidades aisladas, tales como la isla de Bouvet y algunas islas del Pacífico y del Océano Índico.

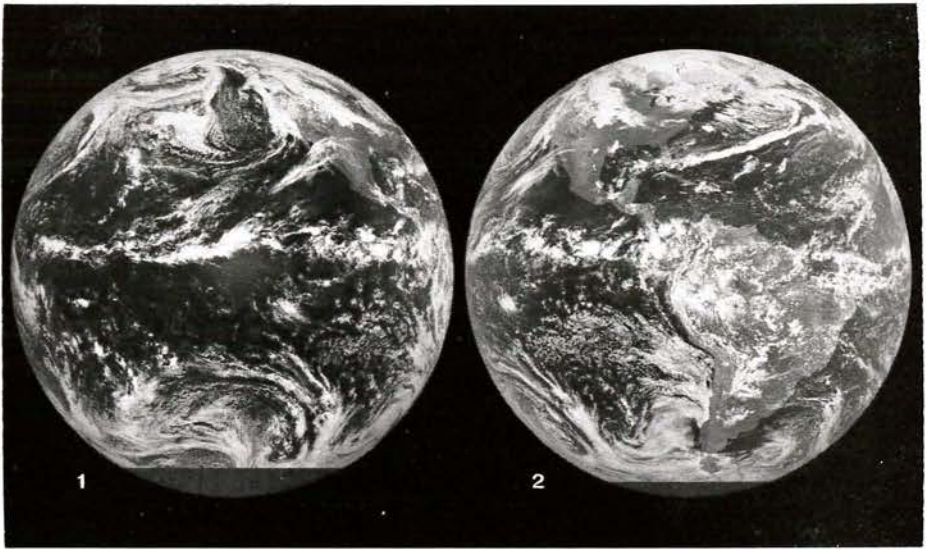
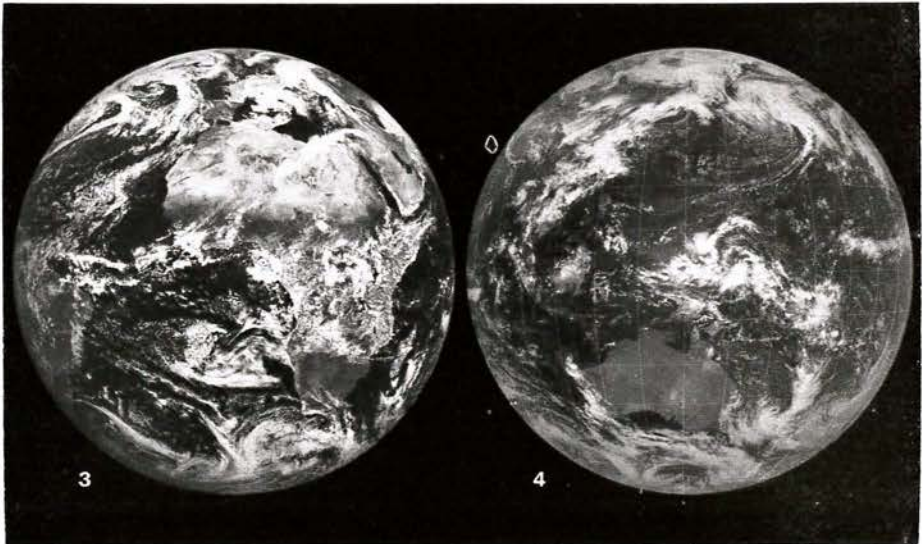


Figura 1.—Imágenes tomadas desde cuatro satélites meteorológicos geoestacionarios aproximadamente al mediodía local del 15 de abril de 1978: 1. GOES (Ceste) en  $135^{\circ}$  W; 2. GOES (Este) en  $75^{\circ}$  W; (abajo): 3. METEOSAT en  $0^{\circ}$ ; 4. GMS en  $140^{\circ}$  E. El quinto satélite geoestacionario, GOES (Océano Índico), se espera que esté situado en  $58^{\circ}$  E a comienzos de 1979 (Fotografías publicadas con autorización de la National Oceanic and Atmospheric Administration de los EE. UU. The European Space Agency and the Japan Meteorological Agency)

El subsistema de satélites meteorológicos consiste en cinco satélites geoestacionarios y cuatro satélites de órbita polar. Tres de los saté-



lites geoestacionarios los han proporcionado los EE. UU. y se denominan GOES (West), GOES East) y GOES (Indian Ocean); otro por el Japón (GMS) y otro por el Organismo Espacial Europeo (METEOSAT). Por razones no meteorológicas los satélites geoestacionarios no están situados exactamente equidistantes alrededor del Ecuador; por ejemplo, hay sólo unos sesenta grados de longitud entre el GOES (West) situado en 135° W y GOES (East) en 75° W y entre el METEOSAT en el meridiano cero y el GOES (Indian Ocean) en 58° E. En cambio, ochenta y cinco grados de longitud separan el GOES (West) del satélite meteorológico geoestacionario japonés en 140° E. No obstante, el campo de visión de cada satélite es tal que una superposición adecuada permite cubrir toda la zona tropical. Debido a su lejanía respecto a los EE. UU., el GOES (Indian Ocean) funciona en colaboración con el Organismo Espacial Europeo.

Se reciben imágenes regularmente de los satélites geoestacionarios, de la radiación terrestre y de la radiación de la atmósfera terrestre, ya en la banda del espectro visible o en la del infrarrojo (intervalo 10,5-12,5  $\mu\text{m}$ ). EL METEOSAT también proporciona imágenes en la banda 5,7-7,1  $\mu\text{m}$  que corresponde a la banda de absorción del vapor de agua (véase el *Boletín de la OMM*, Vol. XXVII, Núm. 4, pág. 309). Además de estas imágenes (que, debido a la información que proporcionan sobre la extensión y desarrollo de las masas nubosas, son de considerable interés para los servicios de predicción meteorológica) los satélites geoestacionarios permiten calcular los vientos troposféricos midiendo los desplazamientos de las nubes. Estos vectores del viento se calculan en dos o tres niveles (correspondientes a los niveles de las nubes bajas, medias y altas) con una resolución horizontal entre 200 y 300 km. De esta forma se cubre una zona de la Tierra comprendida entre 50° N y 50° S. Por este procedimiento se calculan los vientos al menos dos veces al día. Algunos sistemas de los satélites geoestacionarios proporcionan una o dos veces al día la temperatura de la superficie del mar, que es un parámetro particularmente importante para el estudio del intercambio de energía océano-atmósfera. Por último, estos satélites poseen un sistema de recogida de datos que se utilizará sobre todo en la recopilación automática de parámetros meteorológicos medidos por determinados aviones comerciales de acuerdo con el programa ASDAR, que se explicará más adelante.

Los cuatro satélites de órbita polar han sido proporcionados por los EE. UU. (TIROS-N y NOAA-A) y la U.R.S.S. (METEOR). Los satélites TIROS-N y NOAA-A son sincrónicos solares con órbitas a una altitud aproximada de 850 km. La órbita del METEOR tiene una altitud de 900 kilómetros. Además de las imágenes familiares de la distribución de la nubosidad, estos satélites proporcionan perfiles verticales de temperatura y humedad así como la temperatura en la superficie de la Tierra. Además, los satélites TIROS-N y NOAA-A poseen un equipo «Argos» facilitado por Francia, que permite la localización, de plataformas móviles del tipo de las transportadas por barcos, boyas a la deriva y globos a nivel constante, así como la adquisición de datos procedentes de todos ellos.

Por último, los satélites GOS reciben observaciones sinópticas procedentes de más de 7.000 barcos comerciales (4.600 son barcos seleccionados y 2.800 son barcos auxiliares o suplementarios) cuando estén en la mar, junto con más de mil mensajes AIREP proporcionados cada día por la

aviación comercial de acuerdo con un plan establecido por la OACI y la OMM. Estos últimos mensajes contienen información sobre viento y temperatura del aire, así como de los fenómenos meteorológicos, encontrados en el nivel del vuelo.

### *Sistemas especiales de observación*

Como ya se ha dicho, era necesario introducir algunos elementos suplementarios importantes que se conocen como sistemas especiales de observación. Debido a su alto costo algunos de estos sistemas especiales solo entrarán en funcionamiento durante los dos Períodos Especiales de Observación que son del 5 de enero al 5 de marzo y del 1 de mayo al 30 de junio de 1979. Las zonas de la Tierra más desprovistas de estaciones de observación meteorológicas son los océanos meridionales y la franja ecuatorial, y es en esta última donde se han realizado los mayores esfuerzos debido al decisivo papel que juega dicha zona en la circulación general de la atmósfera. Los sistemas especiales son:

*Barcos de Observación del Viento en la zona Tropical* (Tropical Wind Observing Ships-TWOS), una flota de más de 40 barcos, proporcionados por 19 países, distribuidos por el océano entre los 10° N y los 10° S, realizará diariamente radiosondeos para medir viento, temperatura y humedad. La mayoría de estos barcos no tienen instalado el radar sobre una plataforma estabilizada y en ellos se sigue la trayectoria del globo mediante el sistema de navegación por radio Omega para calcular el viento en altitud (véase el *Boletín de la OMM*, Vol. XXVII, Núm. 4, pág. 339). Con este propósito algunos países están utilizando el equipo que ya se utilizó en 1974 durante el GATE, sin embargo, 26 barcos tienen equipo nuevo gracias a las contribuciones del PNUD, PNUMA, Arabia Saudita, EE. UU. y Finlandia.

*Aviones de reconocimiento meteorológico*, que harán diariamente recorridos de varios millares de millas náuticas sobre las zonas tropicales de los Océanos Atlántico, Índico y Pacífico a altitudes comprendidas entre los 8.000 y los 14.000 metros. Cada media hora estos aviones sueltan una sonda con paracaídas que proporciona valores de la temperatura, la humedad y el viento durante el descenso. Los vientos se determinan, como antes, utilizando señales Omega. Los EE. UU. realizan este sistema de observación en colaboración con México y el Reino Unido.

*Globos sondas a nivel constante*, son globos que flotan en las capas altas de la troposfera tropical a una altura de unos 15 km. Los EE. UU. soltarán un total de 320 globos desde las islas Canton en el Pacífico y las islas de la Ascensión en el Océano Atlántico, 160 globos antes de cada uno de los Períodos Especiales de Observación. Siguiendo los globos (cuyas posiciones sucesivas se obtendrán por el sistema «Argos») se obtienen los valores del viento. Los sensores instalados en los globos proporcionan también los valores de la temperatura del aire que se recopilan por el sistema «Argos». Para evitar cualquier accidente con el tráfico aéreo, cada globo lleva un dispositivo de autodestrucción que se activa si pierde demasiada altitud o se aleja demasiado del Ecuador.

*Boyas a la deriva*, se están lanzando en el Océano Austral entre los 20° S y el casquete de hielo antártico. Esta operación empezó en septiembre de 1978 y para mayo de 1979 deberían estar flotando más de 300 boyas.



Dichas boyas son relativamente baratas (unos 6.000 dólares de los EE. UU. cada una) y están diseñadas para que duren unos nueve meses. Miden únicamente la presión atmosférica y la temperatura del mar. Hay seis modelos distintos, pero todas responden básicamente a la misma idea y fueron construidas en Australia, Canadá, EE. UU., Francia, Noruega y Reino Unido. Las boyas se lanzan desde barcos comerciales, barcos de guerra y, más a menudo, desde los barcos que realizan el relevo y el mantenimiento de las estaciones científicas australes y antárticas. El plan de lanzamiento de las boyas ha sido redactado por un centro especializado situado en Vancouver (Canadá). La localización de las boyas y la recogida

*Figura 2.—Boya a la deriva construida en Francia (Fotografía publicada con autorización del Servicio Meteorológico Francés)*



*Figura 3.—Lanzamiento de un globo a nivel constante desde las Islas de la Ascensión. El vehículo es arrastrado a lo largo de los raíles a la velocidad del viento en superficie para facilitar el lanzamiento (Fotografía publicada con autorización de la NOAA, EE. UU.)*

de datos se realiza, como en el caso de los globos a nivel constante, mediante el sistema «Argos». El tratamiento y la comprobación de los datos proporcionados por las boyas se realiza en el Servicio «Argos» del *Centre Nationale d'Etudes Spatiales*, en Toulouse (Francia) donde se ha establecido un centro especial para ello. La introducción en el Sistema Mundial de Telecomunicaciones (SMT) de los datos procedentes de los globos a nivel constante y de las boyas, después de haber sido tratados, se realiza por el Centro Regional de Telecomunicaciones de París.

La recogida automática de los datos procedentes de los aviones comerciales se realizará de dos formas: en forma inmediata por un sistema de retransmisión por satélite de los datos de los aviones (Aircraft Satellite Data Relay — ASDAR) y en forma diferida por el sistema de registro y adquisición de datos a bordo (Aircraft Integrated Data System — AIDS). Diecinueve grandes aviones pertenecientes a siete líneas aéreas diferentes se están equipando con el sistema ASDAR que permitirá la recogida automática de los datos meteorológicos por los satélites geoestacionarios. La mayoría de los aviones de largo recorrido llevan un equipo AIDS que registra automáticamente en una «cassette» un número considerable de parámetros meteorológicos y de navegación. Las «cassettes» se recogen después del vuelo y de ellas se extraen datos meteorológicos útiles. En De Bilt (Holanda) se ha establecido un centro especial para el tratamiento de los datos de los aviones. Por supuesto la obtención de datos es de particular importancia en aquellas rutas o fragmentos de rutas en las que la red de observaciones meteorológica es menos densa. Unos 80 aviones participan en el programa AIDS.

Por último, hay que señalar que además de la VMM/SMO y de los sistemas especiales de observación, se debe hacer uso siempre que sea posible de los datos procedentes de algunos satélites de observación tales como el Nimbus-G.

### Experimentos regionales

La complejidad de algunas interacciones y el hecho de que puedan influir en los procesos a escala mundial, aconseja la realización de subprogramas especializados para estudiar elementos concretos de la circu-



*Figura 4.—El barco de investigación polar de la U.R.S.S. Mikhail Somov  
(Fotografía publicada con autorización del Servicio Hidrometeorológico de la U.R.S.S.)*

lación general. Durante los Períodos Especiales de Observación se prestará especial atención al subprograma polar mediante el Experimento Polar (Polar Experiment-POLEX) y al subprograma del monzón mediante

el Experimento del Monzón (Monsoon Experiment-MONEX) y el Experimento del Monzón del Africa Occidental (West African Monsoon Experiment-WAMEX). Estos dos subprogramas se refieren a regiones del mundo en que se presentan valores extremos del balance energético y una pronunciada variabilidad estacional.

#### *El subprograma polar y el POLEX*

Los procesos en las regiones polares presentan problemas especiales con relación al GARP. El subprograma polar es un intento de estudiar estos problemas en el cuadro del FGGE y del subprograma de Dinámica del Clima del GARP. Los objetivos del subprograma polar son:

- Identificar y estudiar procesos de particular importancia en las regiones polares para mejorar las predicciones meteorológicas a partir de los modelos de la circulación general.
- Establecer una base para comprender el papel del hielo en la dinámica del clima mediante: (a) una parametrización de la dinámica mar-hielo y de los procesos atmosféricos y oceánicos correspondientes en los modelos climáticos, y (b) la creación de una base de información adecuada para el estudio de la influencia de los hielos del mar y de las masas polares continentales de hielo en el cambio climático.

El POLEX se realizará simultáneamente con el FGGE para proporcionar las observaciones necesarias para las investigaciones relacionadas con estos objetivos. Se pondrán en funcionamiento aparatos de medida especialmente diseñados para esta ocasión, por ejemplo, estaciones meteorológicas automáticas, barcos, boyas y balizas colocadas en los icebergs. El POLEX, además de aumentar los datos sobre las regiones polares, proporcionará elementos para calibrar los datos en superficie obtenidos por los satélites y permitirá determinar con exactitud las características de la capa de nieve y de los hielos en el mar. Será entonces posible abordar la fase principal de los estudios polares, que es el desarrollo de un modelo a gran escala que reproduzca con fidelidad la compleja superficie de separación aire-hielo-mar-nieve. El POLEX constituye, también, un primer paso hacia el estudio detallado de la influencia de los hielos del mar sobre la dinámica del clima.

#### *El subprograma del monzón, los experimentos MONEX y WAMEX*

El monzón es un fenómeno meteorológico que, a pesar de ser familiar al gran público, necesita para los meteorólogos de importantes programas de investigación tanto a causa de su influencia en la circulación general y en los procesos de las transferencias interhemisféricas como de las consecuencias, a veces trágicas, que provoca en los planos económico y social, cuando va acompañado de lluvias excesivas, turbonadas, ciclones tropicales, o sequías. Un artículo sobre el subprograma del monzón del GARP apareció en el *Boletín de la OMM*, Vol. XXVI, Núm. 3, pág. 232.

Básicamente los monzones tienen origen en la distribución de las masas continentales de Eurasia y Africa al norte del Ecuador y los océanos al sur. Sobre el Océano Indico y el sureste de Asia, el monzón presenta dos regímenes diferentes: el monzón (septentrional) de invierno, con flujo

del nordeste sobre el océano y perturbaciones al sur del Ecuador, y el monzón (septentrional) de verano con flujo del suroeste sobre el océano y perturbaciones en la India y en el sureste asiático.

En Africa, por el contrario, solo aparece un régimen monzónico. Asociado al invierno austral, afecta al Oeste y al Centro de Africa durante el

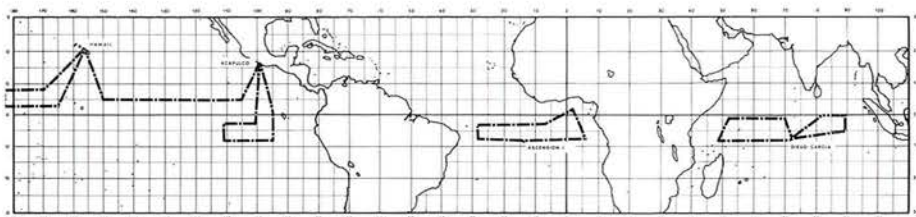


Figura 5.—Mapa que muestra las rutas típicas a seguir por los aviones meteorológicos de reconocimiento que transportan las sondas con paracaídas

verano septentrional. El flujo sureste, sopla desde el hemisferio sur, girando al suroeste después de cruzar el Ecuador, y dando lugar a perturbaciones sobre la zona saheliana.

Esta explicación muy simplificada justifica el que se hayan incluido dos experimentos monzónicos, MONEX y WAMEX, en el FGGE.

El MONEX continúa los programas de investigación realizados conjuntamente por la India y la U.R.S.S., en 1973 y 1977. Consta de dos fases:

- El MONEX de invierno en el que, durante el período del 1 de diciembre de 1978 al 5 de marzo de 1979, se realizarán análisis y estudios sobre una zona que comprende el este de la parte tropical del Océano Índico y del oeste del Océano Pacífico, así como las tierras situadas al norte de dicha zona. Se han instalado medios complementarios a los del FGGE y se ha creado un banco especial de datos. Dirige las operaciones un centro instalado en Kuala Lumpur.
- El MONEX de verano durante el cual, en el período del 1 de mayo al 31 de agosto de 1979, se realizarán análisis y estudios sobre el este de Africa, el Océano Índico (incluyendo el Mar de Arabia y el Golfo de Bengala) y las zonas continentales contiguas. También se pondrán en funcionamiento medios complementarios a los del FGGE tales como barcos, aviones, globos a nivel constante, boyas, radares y estaciones suplementarias de observación, gracias a la participación de los países de la zona del MONEX y con la ayuda considerable de otros países como los EE. UU., Francia y la U.R.S.S. Las operaciones relativas al MONEX de verano se dirigirán desde un centro instalado en Nueva Delhi.

El WAMEX, puede considerarse como una prolongación lógica del MONEX; continuará los experimentos realizados por ASECNA\* en 1972 y 1973 en la curva del río Níger y en el Experimento Tropical del GARP

\* Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar.

en el Atlántico (GATE) en 1974. Como en el caso del MONEX se definieron dos fases:

- La fase de invierno septentrional, que no supondrá ninguna modificación respecto a la red de observación del FGGE, en la que todos los estudios pertinentes se realizarán después, utilizando el conjunto de datos del FGGE.
- La fase de verano septentrional, durante la cual se pondrán en funcionamiento medios de observación complementarios a los del FGGE, proporcionados por los países de la zona del WAMEX y con la ayuda de algunos otros países, entre los que se encuentra Francia. Teniendo en cuenta los objetivos del subprograma del monzón y las características meteorológicas de Africa Occidental y Central (en particular el Sahel), se utilizarán todas las estaciones existentes así como las creadas especialmente en la realización de un programa coordinado desde el 1 de mayo hasta el 31 de agosto de 1979. A partir de las observaciones se establecerá un conjunto de datos tan completo como sea posible.

Los conjuntos especiales de datos resultantes de los MONEX y WAMEX, constituirán, junto con aquellos propios del FGGE, la base de todas las investigaciones en el siguiente decenio sobre el Sudeste de Asia y Africa, en particular, para aquellos que traten de definir los mecanismos que dan lugar al régimen del monzón y gobiernan su evolución.

### **La cadena del tratamiento de los datos**

El volumen de datos que se recogerá durante el FGGE será enorme y, a menos que se hayan planeado cuidadosamente los procedimientos de transmisión, tratamiento y archivo, existiría el riesgo de que se perdieran algunos de ellos. El sistema de tratamiento de los datos del FGGE fue tema de un artículo en el *Boletín de la OMM*, Vol. XXVII, N.º 3, pág. 246. Conviene recordar que los datos se clasifican en tres niveles:

Nivel I — datos primarios (por ejemplo, ángulos y distancias medidos por un radar al seguir la trayectoria de un globo sonda).

Nivel II — parámetros físicos (por ejemplo, los valores del viento en un sondeo del aire en altitud).

Nivel III — datos elaborados (por ejemplo, análisis de los campos de geopotencial).

y cada nivel se subdivide en:

(a) datos de utilización inmediata

(b) datos de utilización diferida.

(c) datos de utilización diferida para estudios climatológicos.

Los datos de los niveles II-a y III-a se transmiten diariamente por el SMT y se utilizan con fines operativos. En el transcurso del FGGE, los datos de utilización inmediata de los sistemas especiales de observación se añadirán en el SMT a los datos de la VMM. Los sistemas de datos II-a y III-a se elaborarán y archivarán por los tres Centros Meteorológicos Mundiales (Melbourne, Moscú y Washington).

En cuanto a los niveles II-b y III-b, se han realizado algunos acuerdos que se describen con bastante detalle en el artículo anteriormente citado del *Boletín de la OMM*.

### **Pruebas preliminares**

Sería una temeridad comenzar una empresa tan vasta y compleja como el FGGE sin asegurarse primero de que todos los sistemas componentes funcionan correctamente. Es por esto que el año precedente al del FGGE (del 1 de diciembre de 1977 al 30 de noviembre de 1978) tenía que dedicarse no sólo a la puesta a punto de los planes operativos sino, también, a la comprobación de cada uno de los sistemas de observación.

El buen funcionamiento de aparatos y equipos (boyas, sondas, ... etc.) es una responsabilidad nacional y cada país participante realizará las comprobaciones cómo y cuándo las considere necesarias. En general estas comprobaciones no presentan dificultades especiales. Por el contrario la recogida, transmisión y tratamiento de los datos procedentes de cada uno de los sistemas especiales de observación requiere la colaboración de varios países y es indispensable que los procedimientos específicos que se han establecido se prueben funcionando. Por ejemplo, las señales emitidas por una boya a la deriva tienen que ser transmitidas y tratadas de tal forma que el centro especializado adecuado tenga, dentro de un intervalo de tiempo dado, los datos correspondientes de la temperatura superficial del mar y de la presión atmosférica, así como la situación geográfica correcta.

Una vez comprobados los componentes individuales de los sistemas, es necesario verificar que en el conjunto de los datos en los niveles II-b y III-b no existen lagunas y que tienen el formato adecuado. Este tipo de comprobación general tendrá lugar al comienzo de cada uno de los Períodos Especiales de Observación, utilizando los datos de los cinco primeros días.

### **Planes de emergencia**

Dada la gran escala del experimento, así como la interdependencia y complementariedad de los distintos sistemas componentes, es preciso hacer previsiones para minimizar el efecto del fallo parcial o total de unos de ellos. El CCO y el Grupo Intergubernamental han considerado conjuntamente diferentes aspectos de este problema, tales como la fiabilidad de diversos sistemas, la existencia de medios para sustituirlos y el caso de fallos simultáneos o retrasos en la ejecución. El CCO ha estudiado también las consecuencias que podría tener para los objetivos científicos la pérdida temporal o permanente de algunos tipos de datos.

Se acudió a las medidas de emergencia en diciembre de 1977 cuando se confirmó que el satélite geoestacionario que se planeó fuera puesto en órbita sobre el Océano Indico no podría ser lanzado a tiempo para el FGGE y, de nuevo, en julio de 1978 cuando se temió que el retraso en el lanzamiento del TIROS-N crearía serios problemas en relación con las boyas a la deriva y los globos a nivel constante. En cada caso se tomaron medidas en estrecha colaboración entre cada uno de los organismos responsables para asegurar la integridad del FGGE.

### **El programa oceanográfico**

Un estudio profundo de los movimientos atmosféricos no puede tener éxito a menos que se considere la influencia de los océanos, ya que

éstos constituyen una reserva de calor para la atmósfera. Al mismo tiempo, la atmósfera influye en la superficie del mar. La interacción aire-mar es un tema de interés común para oceanógrafos y meteorólogos y algo que no podría faltar en el FGGE.

El importante despliegue de barcos en la zona ecuatorial para el FGGE, algunos de los cuales son barcos de investigación oceanográfica, constituye una magnífica oportunidad para la realización de un programa oceanográfico internacional a gran escala. La Comisión Oceanográfica Intergubernamental reconoció el valor de un programa de este tipo y, por su parte, el Comité Científico para las Investigaciones Oceánicas (SCOR) del CIUC encomendó a su Grupo de trabajo N.º 47 la tarea de preparar los planes operativos apropiados.

El programa oceanográfico del FGGE abarcará los mares situados al sur de los 20º N, con particular interés en las zonas tropicales de los Océanos Atlántico, Índico y Pacífico. El Grupo de trabajo N.º 47 del SCOR ha designado algunos subgrupos, uno para cada océano, para participar en el programa oceanográfico tropical. Las medidas que se efectúan se aplicarán principalmente a estudios de la distribución de la temperatura del mar en profundidad, a partir de la superficie (datos que interesan directamente a los meteorólogos), de las corrientes oceánicas ecuatoriales, de las variaciones en el nivel del mar, etc. ... Cada uno de los tres océanos presenta un punto de particular interés científico: el ascenso de las aguas frías cerca de las costas del Golfo de Guinea, la corriente de Somalia y el fenómeno de El Niño a lo largo de las costas del Ecuador y Perú.

En las zonas tropicales se han realizado ya numerosos programas oceanográficos con anterioridad al FGGE, sobre todo en el Atlántico, asociados con el GATE. Durante el FGGE algunos oceanógrafos no harán sino proseguir trabajos ya comenzados y que continuarán una vez que el experimento haya terminado. Pero el principal interés reside en el hecho de que la simultaneidad de las medidas realizadas por los distintos grupos participantes permitirá obtener una visión sinóptica de los fenómenos oceánicos.

### **Consecuencias del FGGE**

Si ha sido posible poner en marcha una experiencia meteorológica de la envergadura del FGGE, es no solamente porque se tenían los medios técnicos adecuados (por ejemplo, satélites, ordenadores y plataformas automáticas de observación) para la recogida y tratamiento de los datos necesarios, sino también porque los meteorólogos que han concebido y realizado el proyecto estaban convencidos de su oportunidad, habida cuenta de los recientes desarrollos de la ciencia meteorológica. Tenemos ahora muy buenas razones para pensar que es posible mejorar notablemente la calidad de las predicciones meteorológicas y aumentar su alcance y este es uno de los objetivos del GARP.

Aunque los resultados de las investigaciones que se efectúan a partir del conjunto de datos del FGGE solo se conocerán y podrán ser utilizados varios años después de la terminación del experimento, se puede asegurar que las investigaciones se orientarán hacia dicho primer objetivo. Ya en abril de 1977, el CCO había organizado una reunión en Esto-

colmo para revisar los proyectos existentes y representantes de una docena de países presentaron sus planes preliminares de investigación asociados con el FGGE.

Sin embargo, los conjuntos de datos del FGGE permitirán, igualmente, emprender estudios sobre los fundamentos físicos del clima, que es el segundo objetivo del GARP, y empezar los trabajos que se realizarán durante el próximo decenio en el marco del Programa Mundial sobre el Clima.

Los progresos que suscitará el FGGE repercutirán sobre el concepto y la efectividad de la VMM así como sobre su impacto en las economías nacionales. En particular, estos progresos deberán contribuir en gran medida a resolver los problemas sociales asociados con la producción de alimentos, los recursos hídricos y la calidad del medio ambiente. Por tanto, es nuestro deber extraer los máximos beneficios de este gran experimento cargado de promesas. No podemos sino desear a esta empresa un éxito completo.

## PROYECTO STORMFURY: ESTADO ACTUAL, PLANES FUTUROS

Por Robert C. SHEETS y Noel E. LASEUR\*

El proyecto STORMFURY es un programa científico realizado por la NOAA, creado para investigar la estructura y dinámica de los ciclones tropicales y las posibilidades de su modificación. Un artículo anterior sobre STORMFURY, contribución del Dr. R. Cecil Gentry, apareció en el *Boletín de la OMM*, Vol. XVIII, N.º. 3 (julio 1969). El programa consiste en una gama de actividades que incluyen: desarrollo de modelos matemáticos [Rosenthal y Moss (1971), Jones (1976)]; investigaciones teóricas y sobre diagnóstico y cálculos [Hawkins y Rubsom (1968)]; investigaciones experimentales de la estructura, variabilidad y dinámica de los huracanes [Sheets (1973)] y, por supuesto, las propias experiencias actuales sobre modificación de huracanes [Gentry (1970), Sheets (1973) y (1975)].

### *La hipótesis STORMFURY*

Los experimentos STORMFURY están concebidos para producir una reducción en la velocidad máxima del viento mediante una alteración en la localización de la energía liberada cerca del centro del huracán. Un ciclón tropical extrae la mayor parte de su energía del calor latente liberado durante la subversión convectiva de la atmósfera. En los niveles bajos, el aire caliente y húmedo asciende en especial desde el mar tropical hacia el centro del huracán transportando grandes cantidades de calor latente y sensible. Entre tanto, el aire que fluye hacia el huracán, absorbe algo de energía adicional desde el océano. Girando ya, lentamente, con la rotación de la tierra, antes de empezar su espiral hacia dentro, el aire gana velocidad tangencial por la conservación parcial de su momento cinético absoluto a medida que se

---

\* El Dr. Sheets es Scientific Director of the STORMFURY project en el National Hurricane and Experimental Meteorology Laboratory, Coral Gables, Florida, EE. UU. El Dr. Laseur pertenece al Department of Meteorology de la Florida State University, Tallahassee, EE. UU.