

y de estudios exhaustivos, con el fin de dotar a la comunidad meteorológica de la ayuda necesaria para que puedan resolver los problemas que les plantea el desarrollo de hoy y el de mañana. Ellas merecen que por parte de los Miembros y del Congreso, se les preste una completa y positiva consideración.

A. NYBERG

PARTICIPACION SOVIETICA

EN EL PROGRAMA DE INVESTIGACION GLOBAL DE LA ATMOSFERA

Por E. K. FEDOROV *

El carácter global de los fenómenos atmosféricos exige una cooperación internacional en su investigación. Debido a ésto, además de a otras razones, fue creada la Organización Meteorológica Internacional hace casi un siglo por los Servicios Meteorológicos nacionales entonces existentes. El primer programa internacional de investigación geofísica se llevó a cabo durante el primer Año Polar Internacional (1882-83). Siguieron sucesivos programas de investigación durante el segundo Año Polar Internacional (1932-33), el Año Geofísico Internacional (1957-58) y los Años Internacionales del Sol en calma (1964-65).

Durante las últimas décadas el proyecto tecnológico ha necesitado más completa y exacta información sobre el medio y, en consecuencia, ha abierto nuevas posibilidades para su obtención. Actualmente está en ejecución un nuevo programa que implica un grado de cooperación más alto entre los Servicios Meteorológicos —la Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM)—, y, al mismo tiempo, se está desarrollando a amplia escala internacional un Programa de Investigación Global de la Atmósfera (GARP).

El GARP difiere de las investigaciones geofísicas internacionales anteriores, en que ha sido ideado para resolver determinados problemas específicos. Su objetivo básico consiste en averiguar aquellas características del mecanismo de los fenómenos atmosféricos globales que deben ser tenidos en cuenta para el desarrollo de métodos de predicción del tiempo a largo plazo y para la modificación de los fenómenos atmosféricos a gran escala. El Comité Conjunto de Organización del GARP (CCO), constituido por eminentes científicos de diversos países, bajo la presidencia del profesor B. Bolin (Suecia), fue creado conjuntamente por el Comité Ejecutivo de la OMM y por el Consejo Internacional de Uniones Científicas. Su Oficina Conjunta de Planificación, dirigida por el profesor R. V. García (Argentina), con la ayuda de muchos especialistas cualificados, ha elaborado propuestas durante los dos

(*) Este artículo está basado en un artículo publicado por el Académico Fedorov, Director del Servicio Hidrometeorológico de la U. R. S. S. en *Meteorologia i gidrologia* (N.º 7, julio 1970, págs. 3-14).

últimos años para la ejecución del GARP. Los principales aspectos de este programa son los llamados *experimento tropical y global*.

El presente artículo contiene algunos comentarios sobre la naturaleza y objetivos del GARP, que corresponden en general a las propuestas de los científicos soviéticos, tal como se resumieron por el Comité Nacional Soviético del GARP, y que fueron ampliamente aprobadas para ulterior consideración por la Conferencia de Planificación del GARP (Bruselas, marzo de 1970).

En la opinión del autor se pueden distinguir los cuatro apartados siguientes en el GARP:

- A. Desarrollo y comprobación de nuevos métodos de cálculo numérico del estado de la atmósfera.
- B. Desarrollo y comprobación de nuevos métodos para obtener información del estado de la atmósfera y de su superficie subyacente.
- C. Investigación de procesos clave en la atmósfera y de su interacción con la superficie subyacente, obteniendo datos cuantitativos de dichos procesos.
- D. Investigación de posibles modificaciones del tiempo y del clima a meso y macro escalas.

Consideremos cada uno de estos apartados.

Desarrollo de métodos de cálculo numérico del estado de la atmósfera

Los científicos soviéticos está llevando a cabo investigaciones a gran escala en este sentido, y han preparado un detallado plan de trabajo para el apartado A, al que conciernen los principales proyectos de la investigación:

los fenómenos a gran escala, modelos numéricos de la circulación general de la atmósfera y predicción del tiempo a largo plazo;

las condiciones de contorno;

las variaciones no lineales a gran escala de la atmósfera, naturales y forzadas;

el ciclo del agua y los problemas relacionados con la predicción a largo plazo de la nubosidad y precipitación;

las posibilidades de extender el período de validez de las predicciones hidrodinámicas del tiempo a largo plazo, teniendo en cuenta el carácter global de los procesos atmosféricos, incluidos los de la zona tropical;

las posibilidades de extender el plazo de validez de las precipitaciones hidrodinámicas del tiempo mediante el empleo de los resultados de la investigación de la interacción atmósfera-oceano, así como de las corrientes oceánicas;

los modelos hidrodinámicos y estadísticos de la circulación general atmosférica y de la predicción meteorológica a largo plazo;

el desarrollo y comprobación de una teoría hidrodinámica de los climas; los métodos de modificación climática.

Para obtener una solución matemática de estos problemas será necesario el desarrollo de modelos numéricos muy exactos de la circulación general atmosférica, la aplicación de nuevos métodos de integración de determinadas ecuaciones y la resolución de otros varios problemas matemáticos.

El trabajo del apartado A del programa se realiza y se realizará, en varios países, sobre todo en los principales centros meteorológicos dotados de grandes ordenadores electrónicos. Dicho trabajo se considera en todas partes como la base teórica fundamental para la realización de cualquier investigación en meteorología y se habría desarrollado incluso sin necesidad de ningún programa internacional.

Su inclusión en el GARP hace posible la unificación de esfuerzos de gran número de científicos que trabajaron en este campo durante las pasadas décadas en muchos países, evitando así innecesarias duplicaciones de esfuerzos y suministrando una razonable distribución de las tareas. Básicamente, ello puede lograrse a través de una discusión conjunta de los resultados obtenidos y de los planes para las tareas futuras. Por otro lado es importante, sobre todo al nivel de la cooperación internacional, coordinar las conclusiones deducidas de esas investigaciones teóricas, calcular las necesidades de nueva información y realizar algunas operaciones (llamadas *experimentos*), con este objeto. Tales operaciones sólo pueden ser llevadas a cabo, en general, por medio de la más amplia y estrecha cooperación internacional.

En nuestra opinión, las propuestas de los científicos soviéticos, brevemente descritas más arriba, así como la gran cantidad de material contenido en los informes del CCO, hacen posible proyectar un plan sólido y concreto para este apartado del programa.

Desarrollo de nuevos medios para obtener información

En este apartado del GARP los principales propósitos del CCO son: mejora de los sistemas meteorológicos espaciales, incluyendo satélites orbitales y geoestacionarios, mejora de las técnicas de medida de la distribución vertical en la atmósfera de la temperatura y la humedad y aumento del poder de resolución y sensibilidad de los instrumentos de medida. Otros programas sugeridos se refieren a globos a la deriva que transmiten información a satélites meteorológicos y al desarrollo de una red de estaciones automáticas oceánicas y buques meteorológicos.

En la Unión Soviética se realizan importantes trabajos para el desarrollo y comprobación experimental de diversos métodos nuevos de adquisición de datos. Prestamos especial atención al desarrollo de nuevos medios para sondeos remotos de la atmósfera y para medidas efectuadas desde diversas plataformas móviles. Consideramos que los satélites meteorológicos son los principales medios de obtener información de los fenómenos atmosféricos a escala global.

En la actualidad, el sistema espacial meteorológico *Meteor* está operando en la Unión Soviética con dos satélites de órbita polar que transmiten información consistente en imágenes televisadas de la capa nubosa en la parte ilumi-

nada de la Tierra, imágenes en infrarrojo en su parte no iluminada y amplia información de la radiación atmosférica y terrestre en varias longitudes de onda.

El sistema *Meteor* será mejorado y, cuando se implante el GARP, podrá transmitir probablemente perfiles verticales de temperatura y, tal vez, de humedad. También hay en estudio planes para el lanzamiento de satélites experimentales de vida relativamente corta, equipados para la medida de diversas características de la atmósfera y de su capa subyacente, como en la serie del Cosmos.

El centro meteorológico mundial de Moscú, así como los centros soviéticos regionales de Novosibirsk, Tashkent y Khabarovsk, están listos para tomar parte activa en el análisis y distribución de datos de todos los satélites meteorológicos soviéticos y extranjeros.

Las estaciones oceánicas automáticas, instaladas sobre boyas a la deriva o fondeadas, revestirán gran importancia en la obtención de datos de amplias zonas oceánicas. La impresión del autor es que los especialistas subestiman en la actualidad el valor de este sistema por comparación con las nuevas posibilidades de las medidas hechas desde los satélites. Yo creo que, independientemente de cualquier perfeccionamiento de los sistemas espaciales, las medidas de las características de las aguas oceánicas hechas por medio de estaciones oceánicas —barcos o boyas automáticas—, requeridas para el cálculo de los procesos atmosféricos, serán todavía necesarias por mucho tiempo, incluso en aguas relativamente poco profundas. En todo caso, las estaciones oceánicas son necesarias para comprobación y calibrado de las medidas hechas por los satélites. El número de tales estaciones dependerá, naturalmente, de las posibilidades de los sistemas espaciales, pero difícilmente podrá ser menor de 20 a 30 buques meteorológicos y de 100 a 300 boyas automáticas para cubrir las vastas extensiones oceánicas.

En la Unión Soviética se están fabricando boyas equipadas con instrumentos automáticos para medidas meteorológicas e hidrológicas y pronto será posible establecer, en unión de otros países, un sistema global de estas estaciones.

Nuestros primeros barcos meteorológicos están situados en diversos lugares de los océanos. Los buques meteorológicos soviéticos son navíos grandes y bien equipados con todo el instrumental necesario para medidas atmosféricas, incluyendo cohetes para sondeos a gran altitud y para un amplio campo de medidas hidrológicas a través de toda la profundidad del océano. Estos barcos se estacionan y operan de acuerdo con el programa soviético de investigación. Sin embargo, si desearan cooperar también otros países, entonces se podrían equipar muchos más buques meteorológicos para trabajar conjuntamente durante el tiempo establecido para las observaciones básicas del GARP.

No es necesario decir que los científicos soviéticos llevarán a cabo todo el trabajo necesario para el GARP dentro del territorio de la Unión Soviética. Se instalarán estaciones suplementarias de radiosondas, radares meteorológicos y estaciones automáticas en regiones remotas y poco pobladas de la Unión Soviética, así como en la Antártida y en el Océano Artico.

Los científicos soviéticos no se proponen en el futuro tomar parte en el programa de lanzamientos de globos a la deriva, ya que ven con algún excep-

ticismo la posibilidad de su empleo a gran escala, debido al obvio peligro que suponen para la aviación.

Estudio de determinados fenómenos “clave” atmosféricos

En nuestra opinión, es de la mayor importancia la investigación de algunos fenómenos *clave* que constituyen eslabones decisivos en los principales procesos atmosféricos del globo.

En los apartados previos del GARP hemos tratado del desarrollo y aplicación experimental de los métodos de cálculo y observación, con vistas a su adopción en un período posterior en las prácticas rutinarias del servicio meteorológico. En este apartado nos ocupamos de la investigación de los mecanismos físicos de determinados fenómenos específicos durante un período dado, con objeto de llegar a una teoría cuantitativa y proyectar las apropiadas técnicas de cálculo. Estas técnicas podrían ser usadas entonces en la predicción meteorológica a largo plazo, en la construcción de un modelo numérico de la circulación atmosférica y en la formulación de una teoría del clima.

El experimento tropical.—El programa de estudios propuesto por el CCO bajo este epígrafe nos parece un ejemplo de este tipo de investigaciones. Los fenómenos atmosféricos debidos a la interacción océano/atmósfera en latitudes tropicales son de gran interés. Los científicos soviéticos estiman que el principal objetivo del experimento tropical es la obtención de datos cuantitativos para la determinación de la transferencia de calor y humedad desde la atmósfera oceánica en las regiones tropicales y el estudio de sus principales características, tales como la formación de huracanes y ciclones tropicales.

Se estudiarán también las leyes que rigen la interacción de las circulaciones entre los hemisferios boreal y austral y las relaciones entre los sistemas nubosos de la zona tropical y los procesos tropicales a gran escala. Además de la obtención de determinados datos cuantitativos de la interacción océano-atmósfera, es posible que, como resultado de la operación, se desarrollen nuevos métodos de análisis y predicción de la nubosidad y de los campos de presión y de viento en la zona tropical.

El experimento polar.—En las regiones comprendidas entre las latitudes 50° y 70° se registra un importante proceso de intercambio de calor y humedad entre las latitudes medias y el Artico. Sabido es que dicho proceso juega un papel importante en la caracterización del tiempo durante largos períodos sobre la totalidad del hemisferio norte. Proponemos, por lo tanto, iniciar estudios conducentes a la determinación de datos cuantitativos de la transferencia de calor y humedad desde los océanos Atlántico y Pacífico al Artico y también desde el Atlántico al continente europeo.

En este programa se incluirá la construcción de modelos hidrodinámicos de las circulaciones de la atmósfera y del océano, teniendo en cuenta su interacción con la superficie helada y la simulación matemática de los fenómenos peculiares de las regiones polares. A la vez comprobaremos, teniendo en cuenta los modelos matemáticos, las posibles consecuencias de la puesta en marcha de los proyectos existentes para influir sobre el hielo ártico. Se ha planeado la investigación de la interacción atmósfera-océano en el Artico, en presencia de una capa de hielo continua o parcial y bajo las condiciones

de una superficie oceánica subyacente muy perturbada. Las mediciones se harían en condiciones naturales mediante cruceros de varios buques de investigación en la parte septentrional de los océanos Atlántico y Pacífico, y mediante el establecimiento de boyas-estaciones y el reforzamiento, por un plazo determinado, del sistema completo de adquisición de datos de la atmósfera y de los hielos en el Artico. Serán usados con este fin observatorios de investigación, estaciones costeras, estaciones automáticas a la deriva y satélites artificiales.

Tierra-atmósfera.—Los científicos soviéticos se proponen obtener información del intercambio de energía y humedad entre la superficie terrestre y la atmósfera de algunas regiones características de la Tierra. Se han dado detalles de esta propuesta en el número anterior del *Boletín* (Vol. XIX, N.º 4, pág. 217).

Estratosfera.—Los científicos soviéticos se proponen realizar un programa para el estudio de la periodicidad casi bienal de la circulación estratosférica ecuatorial y la determinación de sus relaciones con los fenómenos de las latitudes extratropicales. Serán estudiados los siguientes problemas:

- (a) la relación entre el ciclo casi bienal y la circulación estratosférica y troposférica en las latitudes intertropicales;
- (b) la interacción de los tipos a gran escala de circulación atmosférica y oceánica en relación con la periodicidad casi bienal;
- (c) las condiciones de penetración de la zona de los vientos del oeste desde la mesosfera hasta la alta estratosfera, que producen un nuevo ciclo casi bienal en la estratosfera ecuatorial;
- (d) la posibilidad de construcción de un modelo numérico del ciclo casi bienal.

La solución de estos problemas facilitaría el empleo de la periodicidad casi bienal y sus relaciones con la circulación general de la atmósfera para predicciones extraordinarias del tiempo y de ésta a muy largo plazo (seis meses a un año).

Se organizarán para este programa observaciones especiales (simultáneas inclusive), en particular sondeos de la alta atmósfera con radiosondas y cohetes, a lo largo de perfiles meridianos, desde buques de investigación situados en los Océanos Atlántico, Indico y Pacífico. También se emplearán los resultados de los radiosondeos rutinarios. En nuestra opinión, la parte principal de este programa consistirá en el lanzamiento simultáneo de sensores meteorológicos a bordo de cohetes a lo largo de un meridiano. Los científicos soviéticos, junto con sus colegas franceses e indios, efectuarían sondeos análogos entre los meridianos 60° y 80° E, desde el sur de la Tierra de Francisco José hasta Molodeznaya, en la Antártida, con puntos intermedios en la región Volgogrado, la parte meridional del Indostán, la isla Kerguelen y uno de los buques meteorológicos soviéticos situados en el Océano Indico. Creemos que sería lógico efectuar simultáneamente sondeos análogos en el hemisferio opuesto del Globo, a lo largo del meridiano que atraviesa Norte y Sudamérica.

Las propuestas citadas fueron sometidas a la conferencia de Bruselas y adoptadas para ulterior consideración por el CCO.

Modificación de fenómenos meteorológicos

En opinión de los científicos soviéticos deberían organizarse, dentro de la estructura del GARP, estudios especiales de la modificación de los fenómenos atmosféricos, principalmente a escala local y regional. Se trata de un problema que ha adquirido recientemente particular significación debido a la creciente influencia de diversos tipos de actividad humana, como son la producción de calor industrial, la irrigación y la corrección de las tierras y la contaminación atmosférica y del agua. A causa de su influencia sobre el medio, aparece el riesgo de perturbar el equilibrio existente entre los fenómenos naturales. Además, los experimentos de modificación de fenómenos meteorológicos locales han demostrado la posibilidad práctica de modificar sustancialmente los procesos a gran escala con medios relativamente pequeños, aprovechando los equilibrios inestables naturales. Es posible encontrar principios apropiados de control para procesos más amplios. Finalmente, debemos tener en cuenta el enorme crecimiento de la producción de energía por la sociedad humana; en las próximas décadas será posible (y probablemente necesaria), la aplicación directa de la energía para modificar determinados procesos meteorológicos.

Hasta ahora, los trabajos realizados para modificar el clima se han llevado a cabo en forma enteramente local en muchos países. Los resultados son bien conocidos. A la vez, no faltan sugerencias (algunas basadas en sólidos principios, y otras meramente fantásticas), de posibles modificaciones del clima en determinadas regiones de nuestro planeta o en la totalidad de él. En nuestra opinión, ha llegado el momento de organizar una cooperación internacional dentro del GARP.

Dentro de pocos años será posible comenzar junto con la formulación de una teoría del clima, una seria investigación teórica sobre la posibilidad de modificar algunos rasgos climáticos, a escala regional o planetaria. Deberá prestarse especial atención al posible papel de las distintas modificaciones involuntarias, sobre todo, la contaminación atmosférica. Se estudiarán las distintas propuestas posibles de modificación del clima, al menos aquellas que presenten algún fundamento científico.

En el proceso del análisis teórico aparecerá inevitablemente la necesidad de efectuar observaciones o *experimentos* (en el verdadero sentido de la palabra), especiales, los cuales podrían ser incluidos en alguno de los subprogramas del GARP.

Finalmente, sería natural llevar a cabo conjuntamente experimentos de modificación de fenómenos a escala media, como los huracanes tropicales, ampliando así los estudios que ya se han efectuado en los Estados Unidos.

La propuesta de incluir los estudios de modificación del clima en el GARP y, en particular, la investigación del papel de la contaminación atmosférica, fue bien recibida en la conferencia de Bruselas.

Disposiciones materiales y administración del programa

En mi opinión, el estudio de estos problemas implica la disposición básica de que todo el trabajo es y será realizado por instituciones y servicios gubernamentales (y, en algunos países, no gubernamentales), de investigación del país interesado. Asimismo, éstos facilitarán los fondos necesarios. Debido a esta razón, creo que a las organizaciones internacionales (OMM y CIUC), deberían corresponder principalmente las nuevas propuestas del GARP y las discusiones científicas de dichas propuestas, determinando así la participación de los países Miembros en las operaciones y el apoyo que deben prestar los participantes a la organización del trabajo. El modo más útil de prestar dicha ayuda, consistiría en la organización de reuniones de expertos hasta que la administración de las operaciones pudiera quedar en manos de los participantes, quienes establecerían un grupo directivo con este objeto. Me parecen prematuras las propuestas del CCO para el nombramiento de directores científicos y otros administradores de las operaciones del GARP. La organización y administración de éstas dependerá del carácter de cada una de ellas y, por lo tanto, difícilmente puede fijarse un procedimiento general tipo.

El modo de participación de los países en el GARP reviste considerable importancia. La forma principal de participación consistiría, como es natural, en la asignación de recursos materiales sustanciales, como son, por ejemplo, los servicios suministrados por sistemas de satélites, buques, boyas automáticas y estaciones terrestres, aviones, investigación teórica y análisis de datos en laboratorios provistos de grandes calculadores. Sin embargo, no muchos países pueden ofrecer este tipo de aportación. No obstante, aceptaríamos toda clase de participación y, para muchos países, ésta podría tomar la forma de una pequeña aportación económica, que sería útil para la organización de reuniones.

Los países que estén dispuestos a llevar a cabo operaciones del GARP dentro de su territorio, o aquéllos que se encuentren en las proximidades de la zona operativa, podrían efectuar su aportación responsabilizándose de las observaciones adicionales efectuadas en su propio territorio y prestando ayuda a los participantes extranjeros, ofreciendo, por ejemplo, instalaciones de puertos y aeropuertos a los barcos y aviones. Un ejemplo de la citada cooperación científica internacional es la plataforma internacional de lanzamiento de cohetes meteorológicos situada en Thumba (India), en la que las autoridades indias no sólo proporcionan los servicios de sus especialistas, sino que llevan a cabo también gran parte de los trabajos de instalación.

Debería prestarse la máxima atención la rápido tratamiento primario y análisis de los datos obtenidos, sobre todo puesto que el GARP se ha planeado de manera que pueda variarse una operación determinada a la luz de los resultados obtenidos. Es natural que los planes de los programas se basen en el empleo de los ordenadores, pero no nos parece necesario ni realista planificar la creación de grandes centros calculadores únicamente para la ejecución del GARP. Casi todos los países han prestado últimamente gran atención al establecimiento de centros meteorológicos provistos de ordenadores, dentro de la estructura de la VMM. En nuestra opinión, los centros mundiales, regionales y nacionales establecidos para la VMM, así como el sistema

mundial de telecomunicación, deberían asumir la responsabilidad principal en el tratamiento y análisis del material del GARP.

A lo largo de las deliberaciones de la conferencia de Bruselas se hizo evidente que los puntos de vista arriba expresados fueron compartidos por otros participantes del GARP.

Conclusión

Los comentarios que anteceden se refieren a la ejecución del GARP. Se ha efectuado ya una considerable cantidad de trabajo para el que han facilitado crédito la OMM, CIUC y CCO. Lo que importa ahora es poner en marcha estos planes. En el estado actual de interacción de la sociedad humana y su medio natural, cuando están siendo empleados gran parte de todos los recursos naturales utilizables en nuestro planeta y cuando la modificación voluntaria e involuntaria del medio natural puede compararse con la escala de los fenómenos naturales, una cooperación internacional, tal como se ha planeado en esta investigación de procesos atmosféricos globales, ha llegado a ser de absoluta necesidad.

AMPLIACION DEL EDIFICIO DE LA OMM

La ampliación del edificio de la sede de la OMM, descrita en el anterior número del *Boletín* (págs. 322-323), fue inaugurada oficialmente el 8 de octubre de 1970 en una ceremonia celebrada conjuntamente con la apertura de la vigésima segunda reunión del Comité Ejecutivo (véase pág. 17).

A la ceremonia asistieron eminentes personalidades representando al Consejo Federal suizo, a las autoridades de Ginebra, a las de las Naciones Unidas y de sus organismos especializados y a los miembros del cuerpo diplomático. El Secretario General de la OMM, Sr. D. A. Davies se refirió, en su discurso de bienvenida, a la ampliación del edificio como signo de progreso en la ejecución de las metas y propósitos de la OMM y del creciente reconocimiento de la importancia de la meteorología. Opinó que el perfeccionamiento de los equipos serviría para asegurar nuevos progresos en las muchas aplicaciones esenciales de la meteorología en todo el mundo.

El Director General de la Oficina de las Naciones Unidas en Ginebra, Sr. V. Winspeare Guicciardi transmitió un mensaje del Secretario General de las Naciones Unidas, U Thant, en el cual puso de relieve los diversos campos en los que la OMM y las Naciones Unidas habían unido sus esfuerzos. Se mencionó la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano que se celebrará en Estocolmo en 1972, un campo en el que la OMM había «empezado ya a desempeñar un papel muy importante».

El Sr. Jean Babel, presidente del Consejo del Estado de Ginebra, habló en nombre de las autoridades de Ginebra. Se refirió a la OMM como una