

La importancia del FGGE para los estudios y la predicción del clima

Por Roger L. NEWSON*

El Primer Experimento Mundial (FGGE) del Programa de Investigación de la Atmósfera Global (GARP) (o Experimento Meteorológico Mundial) fue el logro máximo del GARP, organizado conjuntamente por la OMM y por el Consejo Internacional para la Ciencia (CIUC) (conocido antes como Consejo Internacional de Uniones Científicas). La exitosa aplicación del FGGE desde el 1 de diciembre de 1978 hasta el 30 de noviembre de 1979, y los Experimentos sobre los Monzones Asiáticos (MONEX de Invierno y de Verano) y el Experimento sobre los Monzones de África Occidental (WAMEX) asociados supusieron la culminación de muchos años de esfuerzos conjuntos y de una cuidadosa planificación de cooperación internacional. Países de todo el mundo contribuyeron al FGGE y a sus componentes regionales recogiendo datos meteorológicos adicionales y montando sistemas especiales de observación. El sobresaliente producto del FGGE fue un conjunto único de datos meteorológicos mundiales, que constituyó la base y la inspiración de una investigación de gran alcance, en la que se hicieron numerosos avances en estudios de meteorología, dinámica atmosférica y el conocimiento del sistema climático de la Tierra.

La tarea principal del FGGE era obtener un conocimiento enormemente mejorado de la dinámica atmosférica que pudiera respaldar el desarrollo de modelos más realistas de predicción meteorológica, para evaluar el límite último de la predictibilidad de los sistemas meteorológicos y para diseñar un sistema compuesto óptimo de observación meteorológica para la predicción numérica del tiempo (PNT) rutinaria de las principales características de la circulación general. El progreso alcanzado en la PNT como resultado del FGGE y del establecimiento de una base conceptual y práctica firme para un sistema rentable y optimizado de observación mundial necesario para la predicción meteorológica, que explote tanto el subsistema superficial como el espacial, constituye el tema de artículos independientes de este número del Boletín. El segundo objetivo clave del FGGE era la investigación, con las limitaciones de un período de observación de un año, de los mecanismos físicos subyacentes a las fluctuaciones del clima en el intervalo temporal comprendido

entre unas pocas semanas y unos pocos años, y el desarrollo y la prueba de modelos climáticos dinámicos como paso inicial en la predicción de estas fluctuaciones. También en este campo hizo el FGGE contribuciones seminales, que han llevado posteriormente a importantes avances en la predicción del clima.

Visión mundial de la circulación general atmosférica

Ante todo, los datos recogidos durante el FGGE suministraron, por primera vez, una visión mundial de la circulación general de toda la atmósfera a lo largo de un ciclo anual. Un paso vital para lograrlo fue el desarrollo de métodos perfeccionados y más potentes para el análisis de datos meteorológicos, en particular de los tomados en horas no sinópticas. El sistema de observación compuesto del FGGE necesitaba un enfoque nuevo, ya que los sondeos de datos de satélites y de aeronaves no se obtenían a la hora fijada de las observaciones de radiosonda —hasta entonces—, la principal fuente de observaciones atmosféricas—. Por primera vez, se emplearon técnicas multidimensionales de asimilación de datos, basadas en una combinación de procesos de análisis y de predicción en los que las predicciones de los modelos de hasta unas pocas horas se actualizaban bien de manera continua bien intermitentemente con observaciones nuevas. De esta manera, la memoria de las observaciones pasadas asimiladas en el modelo se volvía tan importante (o incluso las sobrepasaba) como las entradas (de observaciones) de un estado atmosférico actualizado. A través de la estructura y la formulación del modelo, también se impusieron la consistencia dinámica y restricciones a la información del campo de viento y de masa.

La calidad, consistencia y alcance mundial del conjunto de datos del FGGE analizado de ese modo permitió numerosos estudios de diagnóstico regionales, hemisféricos y mundiales, ofreciendo una imagen más detallada y precisa de los balances de momento y energía de la circulación atmosférica de la Tierra que nunca y una descripción cualitativamente consistente de la distribución mundial de las fuentes y los sumideros de calor, cruciales para un mejor conocimiento del sistema climático. Además, se obtuvieron estimaciones de las fuentes a escala planetaria y de la transformación de la energía atmosférica, y también de las tor-

* Ex Director de Modelización Climática del Departamento Mundial de Investigación del Clima de la OMM.



En agosto de 1984 tuvo lugar en Helsinki (Finlandia) una reunión de científicos para evaluar los progresos alcanzados en el conocimiento de la circulación general de la Tierra y en la comprensión del diagnóstico del clima basándose en los resultados del FGGE.

siones de montaña y de fricción, de los intercambios interhemisféricos, de las interacciones entre distintas escalas de movimiento y de la dinámica de bloqueo. Se realizó la primera descripción detallada de la propagación de los modos mundiales de Rossby y se detectó la existencia de oscilaciones de entre 30 y 50 días en el flujo del monzón. Se constató la importancia de la parte divergente del campo de viento, sobre todo en los trópicos. En resumen, el FGGE implicó importantes avances en el conocimiento de la dinámica del sistema climático terrestre en la escala temporal comprendida entre unas pocas horas y algunas semanas.

Además, debería destacarse que el enfoque adoptado en el análisis de los datos del FGGE, el cuidado en las observaciones básicas y en su consistencia y los análisis *post factum* establecieron el paradigma de los distintos proyectos de reanálisis exhaustivos de la atmósfera en los últimos años que ahora se han vuelto tan importantes para los estudios de diagnóstico del clima.

El papel de los trópicos en el sistema climático terrestre

Antes del GARP, el conocimiento de la parte que jugaban los trópicos en la circulación general de la Tierra estaba relativamente limitado debido a la insuficiente cobertura de los datos. Por esta razón, muchas actividades del GARP se centraron en los trópicos, incluido, en particular, el Experimento Tropical del GARP en el Atlántico (GATE) de 1974, que ofreció la primera percepción exhaustiva del papel de las ondas del este en la circulación tropical, de los sistemas convectivos organizados de mesoescala y del campo de radiación tridimensional en los trópicos en relación con las nubes convectivas. A partir de ahí, el FGGE, con sus tres componentes regionales concebidas para estudiar las ca-

racterísticas específicas de la circulación tropical (los MONEX de invierno y de verano para los dos monzones estacionales asiáticos y el WAMEX para el monzón de África Occidental), puso de manifiesto la importancia de muchas características de la circulación tropical. En particular, se obtuvo un conocimiento muy mejorado de los sistemas monzónicos, con estimaciones realistas del calor diabático en los trópicos y una descripción de los procesos dinámicos y termodinámicos asociados a los monzones asiáticos y del África Occidental durante los períodos activo y de ruptura y los posibles vínculos con la circulación mundial. Las observaciones durante el MONEX de verano demostraron claramente los rápidos cambios en la circulación general a gran escala al comienzo del monzón, es decir, el establecimiento de un anticiclón troposférico tibetano en altura, y un chorro transecuatorial en los niveles bajos al este de África asociado a grandes cambios en las corrientes del Mar Arábigo y en las temperaturas superficiales. El MONEX de invierno llamó la atención sobre la interacción entre los flujos tropicales y los de latitudes medias, sobre todo los efectos de las discontinuidades frías de la velocidad del viento que penetran profundamente en los trópicos desde Asia Oriental, dando lugar a ciclogénesis y a una mayor convección en la región ecuatorial.

El papel de los océanos en el clima

Otro resultado clave de las actividades del GARP, sobre todo del FGGE, fue darse cuenta de la importancia de las interacciones entre el océano y la atmósfera para influir en la circulación general atmosférica de la Tierra y, por lo tanto, en el clima. Se puso claramente de relieve que el conocimiento de los océanos resultaba esencial para predecir a escalas temporales mayores a unos pocos días. En la práctica, el FGGE también explo-

tó redes de boyas oceánicas a la deriva, baratas y fungibles, para suministrar datos esenciales de la superficie del océano en zonas previamente vacías, y teledetección activa desde satélites para ofrecer información detallada de las características y las condiciones de la superficie del océano. Estas ideas constituyeron piedras angulares de los importantes estudios oceanográficos que exploran el papel del océano en el clima que se emprendieron con posterioridad (p. ej., el estudio de los Océanos Tropicales y la Atmósfera Mundial (TOGA) y el Experimento Mundial sobre la Circulación Oceánica (WOCE)).

Desarrollo de modelos

El FGGE y el conjunto único de datos meteorológicos mundiales obtenido favorecieron un importante progreso en la modelización de la circulación general atmosférica y en la PNT. El denso y excepcionalmente homogéneo conjunto de datos del FGGE fue una base muy valiosa para realizar comparaciones de distintos modelos y enfoques de modelización con un rápido progreso en el realismo de la representación de las características a gran escala de la circulación atmosférica. En particular, se perfeccionaron notablemente los tratamientos de los modelos de una gran cantidad de distintos procesos físicos. Muchos procesos se representaron con mayor exactitud, dando lugar a una mayor verosimilitud de las simulaciones de los modelos. Aunque se llevó a cabo sobre todo para la mejora de los modelos de PNT, hubo, igualmente, un gran beneficio para el desarrollo de, al menos, la componente atmosférica de los modelos climáticos (Éstos eran entonces, y siguen siendo a menudo, solamente versiones un tanto modificadas de los modelos utilizados para la PNT). Entre las áreas críticas para la modelización del clima en las que hubo importantes avances se encontraban la representación de la convección profunda, la interacción entre el océano y la atmósfera y los intercambios superficiales de calor, momento y humedad, y los aspectos del cálculo de la transferencia de radiación en la atmósfera (sobre todo la identificación de la fuerte emisividad de los cirros tropicales y las propiedades ópticas del vapor de agua). También se hizo un importante progreso en el tratamiento de la capa límite planetaria y en la incorporación del efecto de las montañas en el flujo atmosférico.

Conclusión

Como se puede deducir de los párrafos precedentes, el FGGE tuvo una importancia fundamental para sentar las bases de una mejor predicción del clima. Antes del FGGE la modelización del clima estaba centrada principalmente en las simulaciones atmosféricas básicas del clima existente o, en algunos casos, en simulaciones del clima cambiando las condiciones de contorno

(como cambios en los límites del hielo o en las características de la superficie) o la composición atmosférica (como variaciones en el dióxido de carbono, el ozono o los aerosoles). La predicción de anomalías específicas del clima, estacionales y anuales, a escalas temporales comprendidas desde meses a un año o más, seguía estando limitada (y de hecho hubo que esperar para obtener un progreso radical hasta la aplicación del estudio de los Océanos Tropicales y la Atmósfera Mundial del Programa Mundial de Investigación del Clima (PMIC) a finales de los años ochenta y principios de los noventa).

La contribución clave del FGGE fue ofrecer, por primera vez, una visión mundial de la circulación general atmosférica, de los importantes balances de energía y momento, de la distribución de las fuentes y los sumideros de calor, y mostrar lo que teníamos que comprender y representar con exactitud en los modelos para obtener simulaciones y predicciones realistas del clima. El FGGE subrayó el papel crucial de los trópicos en el sistema climático de la Tierra y creó un marco para comprender lo que se necesitaba para la predicción de los sistemas monzónicos de la Tierra.

237

El FGGE demostró sorprendentemente el papel de los océanos en el clima, y posteriormente se ha reconocido con claridad que no se puede hacer ninguna predicción realista del clima sin tener en cuenta los océanos y sin representarlos de la manera más real posible en los modelos climáticos. Por último, el FGGE favoreció el impulso inicial y la inspiración para el muy exitoso PMIC que siguió al FGGE en 1980. Después del FGGE estaba claro que había que representar con precisión las fuentes y los sumideros de energía que controlan el equilibrio de calor atmosférico para lograr una simulación de las condiciones naturales medias del clima y para después hacer predicciones del clima en las que poder confiar.

Por esta razón, muchos proyectos del PMIC se han dedicado a un estudio detallado de los principales procesos energéticos en la atmósfera y en el océano, y a la superficie terrestre y la interfase entre el océano y la atmósfera. El ímpetu inicial que supuso el FGGE y el exitoso resultado de los estudios posteriores del PMIC, sumados a las continuas mejoras de las tecnologías de observación, la potencia y la velocidad de los ordenadores y el progreso en la modelización del clima, ha sido la base a partir de la cual se ha aumentado en gran medida la pericia y la utilidad de la predicción del clima en los 25 años transcurridos desde el FGGE.

Aprovechando esto, el Programa Mundial del Clima en su conjunto ha procurado aplicar el creciente conocimiento del sistema climático y el advenimiento de predicciones eficaces del clima para mejorar la seguridad de los pueblos y las sociedades del mundo y

para incrementar su bienestar. Ahora se ha generalizado la aplicación de la información de las predicciones climatológicas para gestionar los recursos hídricos, la generación y el uso optimizados de energía, la construcción, el turismo y el transporte. También se ha fa-

vorecido el uso de información sectorial específica en un diálogo continuado e iterativo entre los generadores de información climatológica y la multitud de usuarios de los gobiernos, las universidades, la industria privada y los medios de comunicación.

El THORPEX: un programa mundial de investigación atmosférica para el inicio del siglo XXI

238

El éxito de la predicción numérica del tiempo representa uno de los logros científicos, tecnológicos y sociales más importantes del siglo XX. El notable incremento de la pericia de la predicción meteorológica a lo largo del último cuarto de siglo se mide normalmente en términos de resultados de la predicción numérica del tiempo, p. ej., la correlación de la anomalía de la superficie de la altura del geopotencial de 500 hPa (véase la Figura 6 de la página 226 de este número). Sin embargo, esta medida de la pericia de la predicción meteorológica varía de manera importante: entre distintos modelos de predicción; espacial y temporalmente; por el régimen meteorológico; la variable predicha, p. ej., las predicciones de precipitación son peores que la altura del geopotencial de 500 hPa. Las incertidumbres en las condiciones iniciales y en la formulación del modelo todavía contribuyen a: importantes fallos en las predicciones meteorológicas de gran impacto; el éxito limitado para ampliar el rango de predicciones buenas a la segunda semana; las pobres representaciones de las influencias tropicales en las predicciones extratropicales, y viceversa; y la inadecuada pericia para predecir el tiempo en la mesoescala, como en el caso de la precipitación. Además, las evaluaciones de la pericia de la predicción tienen que hacerse en términos de los usos para los que se aplican las predicciones meteorológicas. Estos usos implican tanto mitigar las pérdidas sociales y económicas atribuibles al tiempo como también beneficiarse de las buenas predicciones meteorológicas mediante una mayor productividad

Por Melvyn A. SHAPIRO¹ y Alan J. THORPE²

económica y el bienestar de la población. Estas consideraciones se resumen en el término "predicciones de tiempo de gran impacto".

Hay una necesidad cada vez mayor de predicciones más precisas de tiempo de gran impacto para reducir y mitigar los desastres meteorológicos. Los desastres a los que nos referimos son los impactos sociales y económicos de los riesgos meteorológicos (y no directamente los riesgos mismos). Las predicciones meteorológicas mejoradas pueden contribuir de manera importante a su reducción permitiendo a la sociedad tomar las acciones adecuadas. Las predicciones de tiempo de gran impacto se definen por su efecto sobre la sociedad y la economía. Se asocian, típicamente, a predicciones de ciclones de origen extratropical y tropical que incluyen meteorología de mesoescala y sus efectos (Figura 1). También abarcan las condiciones meteorológicas que afectan a la calidad del aire, períodos de temperatura alta o baja anómala y de sequía, y tiempo que, sin llegar a ser extremo, tiene gran impacto social o económico. Mejorar la pericia de las predicciones de tiempo de gran impacto para reducir los desastres meteorológicos es uno de los grandes desafíos científicos y sociales a los que se enfrenta la humanidad.

Las buenas predicciones meteorológicas pueden constituir un recurso importante para permitir que la actividad económica sea más productiva y eficaz. Es muy beneficioso darse cuenta con antelación de las condiciones medioambientales que afectan a negocios

1 Copresidente del Comité Internacional de Dirección Científica del THORPEX, NOAA, Boulder, Colorado, EE.UU. Correo electrónico: mshapiro@ucar.edu.

2 Copresidente del Comité Internacional de Dirección Científica del THORPEX, Universidad de Reading, Reino Unido. Correo electrónico: a.j.thorpe@rdg.ac.uk.