

# GARP. - SIMULACION DE LOS SISTEMAS DE OBSERVACION

Por T. NITTA

*A la vista de los resultados de los experimentos numéricos que simulan el sistema de observación propuesto, se considera la optimización del equilibrio entre las necesidades de datos del Primer Experimento Global del GARP (PEGG) y la utilización eficiente de los recursos limitados. Se explican la idea básica y el método de los experimentos de simulación de los sistemas de observación (ESSO) y se presenta un análisis de los experimentos recientes.*

## *Introducción*

Uno de los objetivos principales del PEGG es desarrollar, probar y emplear métodos más potentes para introducir adecuadamente las observaciones meteorológicas en los modelos numéricos globales, en particular las observaciones que no sean sincrónicas. Para conseguirlo, se necesita construir conjuntos de datos globales. Estos conjuntos de datos servirán para alcanzar varios objetivos esenciales: suministrar condiciones iniciales y de comprobación de los experimentos planificados para extender la predicción a plazo medio (desde unos pocos días a unas pocas semanas) y a largo plazo (desde unas pocas semanas a varios meses); definir los elementos necesarios de un sistema operativo de observación global con una valoración fidedigna de las consecuencias de las distintas posibilidades en la predicción; probar sistemáticamente nuestros conocimientos de dinámica atmosférica a través de las hipótesis de parametrización, como consecuencia de los resultados de los cálculos y, finalmente, determinar la estructura, variabilidad, energética y mecanismos de transporte de la circulación general para el año particular en que se realice el PEGG y, de este modo, proporcionar la base de los estudios de la acción recíproca entre, por ejemplo, la estratosfera y la troposfera, la atmósfera y el océano, las regiones tropicales y no tropicales y las circulaciones hemisféricas. Además estos conjuntos de datos (y otros adicionales) suministrarán la información esencial para llegar a cumplir el segundo objetivo del GARP de comprender la base física del clima.

Para alcanzar tales objetivos, el sistema de observación del PEGG está proyectado para proporcionar observaciones sin precedentes, tanto por el número de variables medidas como por la cobertura mundial que se alcanzará. Este sistema constará del sistema de observación básica de la VMM y de los sistemas especiales de observación del PEGG. Las necesidades referentes a las observaciones del PEGG se han definido en *El Primer Experimento Global del GARP. Objetivos y planes* (Serie de Publicaciones del GARP, N.º 11).

Debido a las dificultades técnicas y a los gastos que el desarrollo y mantenimiento de nueve estaciones lleva consigo, es necesario averiguar, con la mayor exactitud posible, la red mínima que produciría resultados aceptables en el PEGG. El diseño de redes óptimas de estaciones de observación aerológica para la VMM fue revisado ampliamente por Alaka, Gandin, Lewis y Mashkovich (1967). Describen dos aproximaciones prin-

cipales para determinar racionalmente los requisitos de una red aerológica y para mejorar la red existente: la aproximación estadística y la dinámica.

Recientemente, sin embargo, los estudios de simulación que utilizan modelos numéricos han jugado un papel importante y creciente en la planificación de los sistemas de observación del PEGG. Estos tipos de experimentos se denominan generalmente *experimentos de simulación de los sistemas de observación* (ESSO) y se han aplicado específicamente para planificar los sistemas de observación especiales del PEGG.

Los estudios de simulación dirigidos a investigar la capacidad de un sistema de observación se desarrollan en una secuencia determinada. Primeramente se crea una historia artificial de la atmósfera mediante la integración numérica de un modelo matemático complicado y utilizando condiciones iniciales ideales. Los datos simulados se obtienen a partir de los valores de temperatura, viento y presión de la evolución histórica mediante la adición de variaciones al azar; estas variaciones al azar representan errores simulados en los datos que se produzcan en el sistema de observación que estudiamos. Entonces se repite la integración numérica, que originó la mencionada evolución histórica, utilizando un modelo poco elaborado pero reemplazando las variables meteorológicas por los datos simulados en los lugares y a las horas correspondientes al supuesto esquema de las observaciones.

El objetivo general del estudio de simulación de los sistemas de observación consiste en investigar la manera en que la precisión en la determinación de los estados atmosféricos globales depende de los límites de error, espaciado y frecuencia de las observaciones, de los tipos de variables que se midan y de otras propiedades del sistema propuesto. En los estudios del PEGG, ciertos campos de investigación han recibido atención especial debido a estar relacionados con los aspectos más innovadores y menos probados del sistema de observación del PEGG. Tales campos comprenden: la asimilación de datos en cuatro dimensiones y los esquemas de análisis destinados particularmente a utilizar los datos no sinópticos de los satélites, la eficacia relativa de los distintos sistemas propuestos para calcular el viento en los trópicos, y la importancia de las medidas en los niveles de referencia, así como a determinación del nivel de referencia óptimo.

#### *El sistema de observación del PEGG*

No cabe duda de que una técnica de observación única no es suficiente para cubrir las necesidades de observaciones y que se necesita un sistema de observación global complejo. Los elementos de tal sistema son básicamente de tres clases: el sistema de observación global de la VMM (GOS) que se espera esté en funcionamiento para el PEGG, subsistemas especiales para cubrir los huecos críticos del sistema de observación operativo y otros subsistemas potenciales para obtener datos especiales.

El GOS comprende subsistemas terrestres y especiales. El subsistema terrestre incluye estaciones superficiales y de sondeo, navíos y aviones comerciales, etc., etc. El subsistema terrestre con dos o más satélites proporcionará, en general, los campos globales de temperatura y humedad

con excepción de las zonas de nubosidad persistente. El subsistema espacial consiste en satélites de órbita polar y cinco satélites geoestacionarios; proporcionará una cobertura completa de las regiones tropicales y subtropicales y permitirá obtener los vientos en dos niveles mediante el empleo de secuencias de imágenes de nubes.

Los subsistemas especiales para cubrir los huecos críticos del sistema de observación operativo (especialmente durante los dos períodos especiales de observación) incluyen: medios para obtener perfiles de viento en el cinturón ecuatorial (globos portadores y navíos), un sistema especial de observación en el hemisferio sur (globos de nivel constante y boyas) y el sistema especial automático de observación en avión. Otros subsistemas potenciales para datos especiales incluyen satélites experimentales (por ejemplo, el Nimbus-3).

### *El diseño de una red óptima*

*Los métodos estadísticos.* Los ESSO pueden realizarse usando métodos estadísticos y dinámicos. La planificación de redes de estaciones en zonas nacionales o regionales se ha efectuado mediante métodos estadísticos. Conociendo las funciones estructurales de una zona que posee una red densa es posible calcular, suponiendo que las funciones son homogéneas, una red óptima dado un error de interpolación mínimo. (Para una información más detallada, ver Alaka, Gandin, Lewis y Mashkovich, 1967).

*Método dinámico.* Sin embargo, el método estadístico puede únicamente dar una primera e imperfecta estimación de una red optimizada para predecir el estado de la atmósfera a escala mundial y, en consecuencia, los métodos dinámicos son útiles por varias razones. Primeramente, las observaciones estarán distribuidas irregularmente en el espacio. Por consiguiente, debemos poder determinar el estado de la atmósfera incluso en zonas donde los datos son muy dispersos y donde las técnicas estadísticas no pueden darnos ninguna información. En segundo lugar, la interpolación en el tiempo se realiza mejor mediante las ecuaciones dinámicas (modelo de predicción). Finalmente, el método dinámico origina una coherencia entre los distintos parámetros y entre las distintas regiones, que es extremadamente difícil de obtener mediante los métodos estadísticos. Los ESSO deberán efectuarse preferentemente mediante los modelos más verosímiles de que se disponga.

### *El método dinámico del ESSO*

El método dinámico del ESSO es el tema principal de este artículo y por consiguiente, en lo sucesivo, el término ESSO se usará en tal sentido.

El ESSO necesita el establecimiento de un modelo *fiel* (MF) de integración que emplee los modelos más verosímiles de que se disponga, y del que puedan obtenerse *seudo-observaciones*, que incluyan los errores probables de las distantes medidas (ver figura 1). Este procedimiento corresponde a utilizar las observaciones reales sinópticas y no sinópticas del sistema especial de observación.

Las *seudo-observaciones*, representando los datos de los distintos sistemas de observación posibles, se introducen después en un segundo modelo, menos complicado que el primero, durante un proceso de asimilación simulado (actualización de los datos). En este sentido, el segundo modelo se llama *modelo de asimilación* (MA). En otras palabras, los valores previstos en un punto particular de la malla por el MA se reemplazan por los datos *seudo-observados* en ese punto. Este procedimiento es la réplica de la asimilación y predicción por los modelos operativos del PEGG. La eficacia de cada sistema de observación se juzgará por la proximidad entre el análisis resultante proporcionado por el MA y la integración del MF.



Figura 1.—Relación entre el PEGG y el ESSO.

### Reseña histórica

Al mirar los estudios pasados y presentes de los ESSO, aparecen tres fases. La fase I es el período de los experimentos gemelos, la fase II es el período de experimentos de simulación más real, mientras que la fase III es el período durante el cual se puede probar la asimilación de datos en el PEGG. En la fase I, el modelo usado para obtener las *seudo-observaciones* es idéntico al usado para la asimilación (MF = MA). En este contexto, podemos designar el procedimiento como el experimento gemelo. Se han realizado muchos experimentos en varios centros pero son muy idealistas y dan en consecuencia resultados demasiado optimistas a causa de la mera utilización de la asimilación de datos de 4 dimensiones. Debido a la naturaleza de los conjuntos de datos artificiales o de control que forman la base de estos experimentos, los modelos utilizados para las asimilaciones son capaces de producir predicciones extremadamente buenas de los datos de control, mucho mejores de lo que cabe esperar que se obtenga con los modelos operativos futuros. La fase II es el período de experimentos de simulación más reales. En respuesta a la petición del Comité Conjunto de Organización (CCO), se han realizado recientemente experimentos de simulación de sistemas de observación más reales, examinando las necesidades de datos del PEGG, tanto en la Oficina Meteorológica del Reino Unido como en el Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas (NCAR) de los EE. UU. Los conjuntos de datos de control para estos experimentos fueron obtenidos por los modelos más avanzados disponibles en cada institución. Partiendo de condiciones ideales

iniciales, tales como una atmósfera estacionaria isoterma, o utilizando la climatología, se han efectuado integraciones numéricas en el tiempo durante varias decenas de días, usando en la simulación una declinación fija del Sol y las temperaturas superficiales del mar correspondientes al mes de julio. Los ESSO se efectuaron con distintos modelos y utilizando una menor resolución espacial y unos procesos físicos menos complicados. Por consiguiente, se tiene:

MF = (malla fina) + (física complicada)

MA = (malla menos fina) + (física menos complicada)

Estas diferencias se introdujeron para simular fuentes de error mayores en los modelos operativos. Los experimentos se diseñaron para estudiar la importancia relativa de los sistemas de observación especiales planificados para el PEGG, teniendo en cuenta los errores de observación más realista para el sistema de observación espacial (Bengtsson y Morel, 1974).

Ahora que el conjunto de datos básicos completo de todo el globo terrestre y el conjunto de datos del ETGA estarán pronto disponibles, la fase III está próxima a comenzar. En esta fase, los ESSO pueden usarse para ensayar el procedimiento de asimilación de datos del PEGG, mediante la utilización de datos reales en la entrada. En este sentido podemos designar la situación actual como fase III, en cuyo caso el MF (que ya no es en adelante el modelo ni la atmósfera modelo, aunque se usa cuando conviene) y el MA se expresan respectivamente como el conjunto de datos básicos previo al PEGG o conjunto de datos del ETGA y el modelo casi operativo que se necesita en el PEGG.

Partiendo de la secuencia histórica de un conjunto de datos, pueden producirse observaciones ficticias para ser introducidas en el MA. Estas observaciones ficticias corresponden a las que se obtienen mediante los sistemas de observación especiales. Las observaciones ficticias deberán obtenerse, en este caso, mediante procedimientos más realistas que en los experimentos precedentes. Por ejemplo, los vientos obtenidos del movimiento de las nubes, tal como es suministrado por los satélites geostacionarios, lo serán a partir de la distribución estadística del conglomerado nuboso. Los datos que se obtengan de los globos portadores y de los globos a nivel constante se deducirán de la situación de los globos a la deriva en la corriente predominante.

#### *Resultados recientes del ESSO*

Los resultados de la fase II de los ESSO en la Oficina Meteorológica del Reino Unido y en el NCAR pueden resumirse como sigue:

*Oficina Meteorológica del Reino Unido.*—El MF consistía en un modelo de circulación general de 5 niveles con una malla de 330 km y comprendía esquemas complicados para incluir efectos de radiación, convección, intercambios superficiales (de calor, humedad y otros) y topografía real. Por otra parte, el MA consistía en el mismo modelo de cálculo que el MF a excepción del tamaño de la malla, que era aproximadamente de 500 km, y el uso de esquemas menos complicados para los procesos físicos (se empleó una topografía suavizada).

Se usaron y compararon dos métodos de actualización de datos. Uno consistía en la simple inclusión de los datos y el otro en su análisis objetivo con una interpolación óptima. En el primer caso, todas las observaciones simuladas correspondían a puntos de la red ya que, antes de su utilización, la historia precedente del MF se interpolaba sobre la red del MA. De esta forma, era posible introducir una observación directamente en el modelo, tan pronto como se hiciese. Utilizando el análisis objetivo con interpolación óptima, en lugar de la inclusión simple y directa de las observaciones simuladas, se puede aplicar un esquema de análisis que emplea interpolación óptima para hacer el mejor uso de las *seudo-observaciones*, y también reducir el impacto producido por la inclusión de datos desde fuera del procedimiento de asimilación.

Se han efectuado experimentos para el GOS (sistema de observación básico) y, luego, para el mismo sistema ampliado por cada uno de los sistemas de observación especiales.

NCAR.—El MF era un modelo de circulación general de 6 niveles que utilizaba un tamaño de malla de  $2.5^\circ$ , tanto en longitud como en latitud. Para expresar los modelos físicos en el MF se emplearon esquemas similares a los de la Oficina Meteorológica del Reino Unido.

Estos esquemas se adoptaron también para los procesos físicos en el MA que es, por consiguiente, el mismo que el MF excepto por tener un tamaño de la malla distinto:  $5^\circ$  en latitud y longitud. En cuanto a la actualización de los datos, se utilizó únicamente la inclusión simple.

Respecto al método de actualización, el uso del *análisis objetivo con interpolación óptima* produce los mejores resultados. Esto significa que la combinación del método estadístico y el dinámico hace posible la mejora del método de asimilación de datos en cuatro dimensiones. En general, la información adicional de los sistemas de observación especiales influyen en la zona y el nivel en que se ha introducido.

En lo referente a las estadísticas generales, la mejora obtenida utilizando los datos suplementarios de sondeos de viento en los trópicos es más bien pequeña. Sin embargo, la representación sinóptica regional de un campo meteorológico mejora mediante la inclusión de las observaciones de viento adicionales. El sistema de globos de nivel constante en el hemisferio sur mejora el valor medio vertical del viento, respecto al obtenido con sólo los datos básicos del PEGG en la zona comprendida entre  $25^\circ\text{S}$  a  $90^\circ\text{S}$ , y reduce significativamente los errores cuadráticos medios de la presión y temperatura en superficie.

La red poco densa (1000 km de espaciado) de boyas (con observaciones más frecuentes que cada 12 horas) entre  $20^\circ\text{S}$  y  $65^\circ\text{S}$  reduce los errores en el campo de presiones en superficie y también reduce ligeramente los errores en el campo de vientos. Sin embargo, la red densa (500 km de espaciado) de boyas (con observaciones menos frecuentes que cada 12 horas) entre  $50^\circ\text{S}$  y  $65^\circ\text{S}$  no produce parecidas mejoras.

### Conclusiones

Los ESSO de que se tienen noticias hasta el momento se han realizado mediante modelos de circulación general. Los experimentos han

sido muy idealizados; se ha supuesto que se dispone en los nudos de la malla del modelo de los datos iniciales, los cuales poseen un error al azar homogéneo. Por tanto, los resultados de los ESSO son más o menos dependientes del modelo.

A pesar de estas deficiencias, se ha obtenido información muy valiosa de los ESSO; la necesidad de observaciones de viento adicionales en los trópicos es un ejemplo.

Los ESSO no han finalizado todavía y se espera que en el futuro se realice una labor ingente utilizando datos verdaderos que harán más reales los experimentos de simulación. Se espera, además que el impacto de las nuevas técnicas, por ejemplo, la obtención de datos de temperatura directamente de la información de radiancia suministrada por los satélites, sea un nuevo aspecto de los ESSO.

#### REFERENCIAS

- ALAKA, M. A., GANDIN, L. S., LEWIS, F. y MASHKOVICH, S. A. (1967): *Design of optimum networks for aerological observing stations*, (Diseño de redes óptimas de estaciones de observación aerológicas). Informe de Planificación núm. 21 de la Vigilancia Meteorológica Mundial. OMM. 58 páginas.
- BENGTSSON, L. (1975): *4-Dimensional assimilation of meteorological observations*, (Asimilación en 4 dimensiones de observaciones meteorológicas). Serie de Publicaciones del GARP núm. 15 OMM-CIUC. 76 páginas
- BENGTSSON, L. y MOREL, P. (1974): *The performance of space observing systems for the First GARP Global Experiment*, (La realización de los sistemas de observación espaciales para el Primer Experimento Global del GARP). Informe núm. 6 del Grupo de Trabajo del GARP sobre Experimentación Numérica. OMM-CIUC. 31 páginas.
- COMITÉ CONJUNTO DE ORGANIZACIÓN OMM-CIUC (1973): *The First GARP Global Experiment Objectives and Plans*, (El Primer Experimento Global del GARP, Objetivos y Planes). Serie de Publicaciones del GARP. núm. 11, 107 páginas.

## LA INFLUENCIA DE LA TECNOLOGIA DEL ESPACIO EXTERIOR EN EL DESARROLLO DE LA METEOROLOGIA Y DE LOS SERVICIOS METEOROLOGICOS

Por A. W. JOHNSON \*

Hace unos quince años, el 1 de abril de 1960, el satélite TIROS-I fue lanzado desde Cabo Cañaveral en Florida. Mediante equipos de televisión se obtuvieron fotografías de la Tierra. Los meteorólogos se encontraban en el umbral de una nueva era. Se disponía de observaciones de la atmósfera desde un lugar privilegiado: el espacio. Era posible presentar los sistemas del tiempo completo con una claridad sin precedentes. A los pocos días los nuevos datos se utilizaron para describir el tiempo de manera rutinaria. Todo ello se convirtió en el catalizador del programa que se conoce ahora como la Vigilancia Meteorológica Mundial.

(\*) Este artículo se basa en la conferencia que el Sr. Johnson del Servicio Nacional de Satélites, para Estudio del Medio Ambiente (EE. UU.) pronunció en el Séptimo Congreso Meteorológico Mundial.