

Algunos países Miembros de la OMM, han llevado a cabo expediciones a la Antártida desde que se conoció el fenómeno. Una de ellas, realizada por los EE.UU., hizo observaciones desde la tierra y mediante sondas transportadas por globos. Durante el último invierno y principio de la primavera del año 1987 en el hemisferio sur, se efectuaron observaciones coordinadas utilizando instrumentos en tierra y sondeos con globos, aeronaves y satélites. Tomaron parte Argentina, Canadá, Chile, Costa Rica, Ecuador, EE.UU., Francia, Nueva Zelanda, Panamá, Perú y Reino Unido. También contribuyó la Asociación de Industriales Químicos.

Mediante las medidas tomadas por medio del espectrometro para el trazado de mapas del ozono total (TOMS), a bordo de la nave espacial de la NASA Nimbus-7, además de los datos obtenidos mediante sondas de ozono transportadas por globo y aeronaves (uno volando a altitudes entre los 12 y 19 km y el otro a 11 km), se deduce que la cantidad de ozono total durante la primavera de 1987 fue la más baja jamás observada en latitudes más al sur de 60° S; fue un 15 % inferior a la registrada como más baja anteriormente, en 1985.

Aunque los análisis hechos hasta ahora son sólo preliminares, el peso de la evidencia observada sugiere claramente que pueden afectar a la capa de ozono tanto factores meteorológicos como agentes químicos (el cloro principalmente). Los procesos meteorológicos se combinarían para producir las condiciones particulares que favorecen las reacciones químicas que destruyen el ozono de la estratosfera. Parece claro, además, que se pueden excluir como factor causal las variaciones en la actividad solar y de los rayos cósmicos.

Se está desarrollando un trabajo intenso para procurar la aclaración de ciertas cuestiones aún sin contestación y se espera tomar una posición más fundamentada en el curso de 1988.

## REFERENCIAS

<sup>1</sup> FARMAN, J.C., GARDINER, B.G. y SHANKLIN, J. D. (1985): Large losses of total ozone in antarctica reveal ClO<sub>x</sub>/NO<sub>x</sub> interaction; *Nature* **315** págs. 207-210.

<sup>2</sup> OMM (1981): *The stratosphere 1981, theory and measurements*. Global Ozone Research and Monitoring Project Report N° 11.

<sup>3</sup> STOLARSKI, R.S. *et al.* (1986): Nimbus-7 satellite measurements of the springtime Antarctic ozone decrease. *Nature* **322** págs. 808-811.

<sup>4</sup> *Geophysical Research Letters* **13** (12).

# EL PROYECTO DEL OCEANO TROPICAL Y LA ATMOSFERA MUNDIAL

## Introducción

Quizá la prueba más notable y coherente de la variabilidad inter-anual de la atmósfera mundial es la Oscilación del Sur, un ciclo irregular de la configuración de la presión en superficie, del viento y de la precipitación en el cinturón intertropical, que es especialmente marcada en el océano Indico y en el océano Pacífico sur. El Índice de la Oscilación del Sur (IOS) representa la presión en superficie en Tahití menos la de Darwin (*Boletín de la OMM* **32** (4) pp. 340-346; **34** (1) pp. 48-49). Un IOS positivo, cuando la presión es alta sobre el Pacífico occidental y baja en la región de Australia/Indonesia mantiene los alisios predominantes del este. No obstante, en un ciclo de período entre tres y siete años esta configuración se invierte, hay un IOS negativo, con la presión subiendo sobre el Pacífico oriental y los vientos del este se debilitan y aún se vuelven vientos del oeste. La Oscilación del Sur

está muy relacionada con las anomalías de la temperatura de la superficie del mar (TSM) y el IOS negativo está acompañado de un calentamiento del océano Pacífico oriental, una profundización de la termoclina y la supresión de los afloramientos fríos, agua rica en nutrientes, a lo largo de la costa suramericana, fenómeno ya conocido como *El Niño*.

Esta conexión ha llevado recientemente a los científicos a referir tales sucesos como manifestaciones de la Oscilación del Sur/El Niño (OSEN). Los episodios de la OSEN están relacionados con anomalías estacionales de temperatura sobre América del Norte continental durante la estación siguiente. Una bajada del IOS tiende a preceder épocas monzónicas secas en la India durante una estación o más y hay pruebas de que el IOS está también conectado con anomalías de la TSM en el océano Atlántico. Además, las anomalías de la TSM en el Atlántico extratropical han sido asociadas con las sequías en el nordeste del Brasil y en la región del Sahel, de Africa y con regímenes fríos del este en invierno en Europa occidental. El episodio de la OSEN en 1982/83, el más grande hasta ahora en este siglo, tuvo consecuencias de magnitud catastrófica para la población y la economía de varios pequeños países suramericanos, ya que la desaparición de la influencia estabilizadora del aire frío sobre las normalmente frías aguas costeras, produjo cambios drásticos en la distribución de las precipitaciones.

Una explicación convincente de la conexión entre la Oscilación del Sur y *El Niño* fue dada por primera vez por el Profesor Klaus Wyrtki, de la Universidad de Hawaii. Los alisios del este mantienen una termoclina\* relativamente profunda en el Pacífico occidental (200 a 300 metros) comparada con la relativamente somera (50 m) a lo largo del Ecuador, de modo que, normalmente, hay una enorme balsa de agua superficial a 27-30° C en el oeste, mientras que la TSM en el este es sólo de 20-26° C. Wyrtki suponía que, si los alisios del este disminuían o se invertían de dirección, el océano respondería mediante un “vertido” interno de agua caliente del oeste a este, que se manifiesta como una onda de Kelvin ecuatorial. Esto llevaría a un ahondamiento de la termoclina en el Pacífico oriental con un aumento de uno a tres grados en la temperatura de la capa de mezcla sobre una gran superficie. La onda de Kelvin es una onda lineal que mueve las isotermas del océano hacia arriba y abajo y se propaga hacia el este con una velocidad de 200 a 400 km al día, extendiéndose hasta unos 1.000 km de norte a sur y con la máxima amplitud en el ecuador. De acuerdo con la teoría de Wyrtki, cuando la onda encuentra la costa suramericana se amonтона y baja la termoclina a lo largo de la costa, después se propaga hacia los polos. A mediados de los 1970 no se les había ocurrido a los oceanógrafos que estudiaban los mares a lo largo del ecuador que serían importantes para su investigación las medidas de los campos de viento en el Pacífico occidental. No obstante los experimentos de campo, los estudios teóricos y las simulaciones con los modelos oceánicos han indicado que la onda de Kelvin es el enlace entre la Oscilación del Sur y *El Niño* y han abierto la posibilidad de predecir el comienzo de *El Niño* quizá con tres meses de anticipación. Pero persiste la intrigante pregunta: ¿qué dispara la Oscilación del Sur?

Debido a la acumulación de pruebas de que las anomalías de la circulación atmosférica mundial a escalas cronológicas de algunos meses, a varios años, están relacionadas con las anomalías de la TSM de los océanos tropicales –y que estas relaciones pueden predecirse– el 1 de enero de 1985 (*Boletín de la OMM* 33 (2) pp. 160-62) se inició el programa sobre el Océano tropical y la Atmósfera mundial (TOGA). Se espera que haya al menos

---

\* La termoclina es la superficie que separa la capa superior caliente de agua (la “capa de mezcla”) de las capas frías más hondas.

uno o dos episodios OSEN en la vida de diez años prevista para el TOGA, siguiendo a la serie de intensos episodios de 1972/73, 1976/77 y 1982/83\*.

## **Objetivos del TOGA**

Teniendo en cuenta los progresos realizados desde que empezó el TOGA, los objetivos originales se han concentrado en dos propósitos científicos principales a diferentes escalas cronológicas:

*Propósito I.* – Desarrollar una capacidad operativa para predecir dinámicamente la evolución del sistema acoplado océano tropical-atmósfera, empezando con la situación actual (predicción de promedios cronológicos de las anomalías con varios meses de adelanto).

*Propósito II.* – Estudiar la predictibilidad de las variaciones climáticas del sistema océano tropical-atmósfera mundial a escalas cronológicas de uno a varios años y comprender los procesos y mecanismos que subyacen en esta variabilidad.

El propósito II es de naturaleza exploratoria y será dirigido en gran parte a estudios diagnósticos, de modo que se determine qué procesos físicos controlan la evolución a largo plazo de las fluctuaciones climáticas tales como la sucesión de ciclos OSEN y la secuencia de años lluviosos y secos en el Sahel.

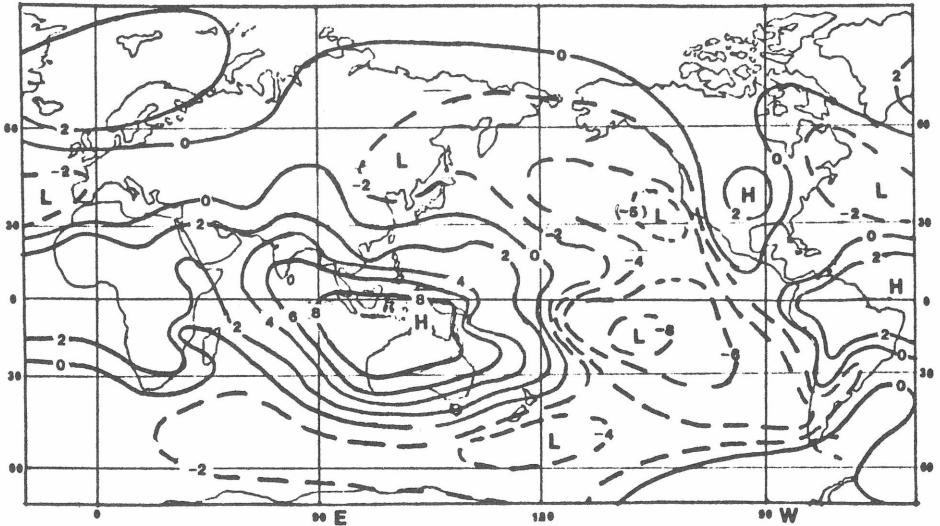
Animados por la comprensión obtenida mediante modelos acoplados, océano tropical-atmósfera (especialmente en el Pacífico), los científicos continúan activamente un plan de acción detallado para el Propósito I. Con nuevas medidas del nivel del mar, de la tensión del viento, de la TSM y los flujos de radiación, disponibles gracias a los satélites, junto con el rápido progreso esperado en el desarrollo de modelos acoplados océano-atmósfera, hay razones para tener un cauto optimismo de que el objetivo del Propósito II será conseguido en el transcurso del TOGA.

## **Sistemas de observación del TOGA**

Establecida en su forma más sencilla, la configuración de la TSM determina la distribución de la convección atmosférica sobre el océano y, por lo tanto, la situación de los principales manantiales de calor y humedad que arrastra la circulación atmosférica. A su vez los vientos modulan las capas superiores de los océanos y así determinan en gran parte la distribución de la TSM, completando de este modo el ciclo interactivo. Una tarea esencial del TOGA es investigar la naturaleza de estas interacciones y reproducirlas con modelos adecuados. Dichos modelos deben incorporar adecuadamente los procesos físicos (especialmente aquéllos que actúan en la superficie de separación océano-atmósfera) y para ello será necesario un programa especial de observaciones marinas durante la duración del TOGA.

---

\* De hecho se ha iniciado un nuevo episodio OSEN en el Pacífico durante el verano de 1986 del hemisferio Norte, aunque las primeras etapas de su evolución fueron erráticas. Este episodio de 1986/87 no ha tenido las mismas dimensiones que el de 1982/83 pero estuvo conectado con un invierno cálido y lluvioso en el sureste de los EE.UU. y con una desaparición parcial del monzón en las partes occidental, central y septentrional del subcontinente indio. En el momento de redactar este artículo (noviembre de 1987) hay signos de que se está terminando. En virtud del programa TOGA este último episodio ha sido controlado más de cerca que los anteriores, en especial en lo que se refiere a las observaciones oceanográficas. La probabilidad de que se habrán producido dos episodios OSEN controlados por TOGA antes de que termine su duración prevista de diez años es así muy grande.



Coefficientes de correlación ( $\times 10$ ) de la presión media anual al nivel del mar con la de Darwin (Australia). Nótese la alta correlación negativa entre Darwin y Tahití que llevó a la elección de estas estaciones como indicadores del Índice de Oscilación del Sur. *Trenberth (1976)*.

Para los datos atmosféricos, el TOGA se apoya en las redes existentes de estaciones de superficie y de sondeos de la VMM y en el sistema básico de dos satélites meteorológicos de órbita polar y cinco geoestacionarios. Pero además, el TOGA necesita satélites perfeccionados seguidores de nubes para la medida de los vientos y sondeos de vientos en altura en los trópicos y más y mejores observaciones de meteorología marina procedentes de los buques de observación voluntaria y de las boyas a la deriva.

Para los datos oceánicos el TOGA está llevando a un aumento de la oceanografía operativa basado en nuevos desarrollos del Sistema mundial de observación del nivel del mar (GLOSS) de la COI y del SGISSO, ya que la variación en la configuración térmica y de las corrientes se refleja en las variaciones del nivel del mar, que se superponen al ciclo de las mareas, de período mucho más corto.

Se ha progresado útilmente al suplementar la VMM con el despliegue de boyas a la deriva en los océanos del sur (unas 150 hasta ahora) e instalando equipos de observación automática en varias islas cercanas al Ecuador en el Pacífico. Los sistemas de observación de los océanos dependen del uso de una combinación de técnicas viejas y nuevas, basadas en dispositivos de medida *in situ* y de telemida mediante satélites. El progreso en las medidas de los océanos ha sido asombroso especialmente en el Pacífico.

El Centro TOGA para el Nivel del mar en la Universidad de Hawaii, ha establecido una red de observaciones en el Pacífico funcionando en el marco del GLOSS, que aprovecha virtualmente todas las islas situadas convenientemente. Se espera aumentar notablemente la red existente en el Atlántico con mareógrafos que pueden ser proporcionados por países donantes y se situarán en siete puntos de la costa africana.

Iniciativas energicas realizadas por grupos científicos en varios países, apoyadas por fondos nacionales o multinacionales, han llevado a un notable progreso en la ejecución del

programa TOGA de sondeos con batitermógrafos desechables (XBT) desde buques mercantes y otros "buques ocasionales" en los océanos Atlántico y Pacífico dentro del marco del SGISO. En el Pacífico el sistema propuesto por el TOGA está casi completo. En el Atlántico todas las líneas de XBT, diseñadas por el TOGA, están ahora servidas al menos una vez al mes y están complementadas por observaciones hechas según el programa "Sections" (véase el *Boletín de la OMM* 36 (3) p. 173).

Los medidores de corriente de subsuperficial anclados, desplegados por los EE.UU., proporcionan una información valiosísima sobre las anomalías de la circulación oceánica. El estudio de los datos de temperatura recogidos con cadenas de termistores anclados, y con medidores de corriente anclados, equipados con termistores, revela detalles de la compleja dinámica del océano próximo al ecuador que no podrían ser percibidos solamente con datos de los XBT y las boyas a la deriva. Australia, Chile, China, EE.UU., Francia, Japón y Perú han unido sus esfuerzos para ampliar estas cadenas de equipos anclados. Otro desarrollo atractivo es el proyecto de los EE.UU. para desplegar en el Pacífico tropical 100 boyas a la deriva equipadas con cadenas de termistores.

En ausencia de medidas directas de los flujos de superficie tendrá que ponerse la confianza en las cantidades deducidas de las variables atmosféricas y de la superficie analizadas en los centros operativos de predicción numérica del tiempo. Un desarrollo importante reciente ha sido el acuerdo del CEPMPM de actuar como centro de análisis de Nivel III-a (datos procesados en tiempo real) para el PMIC y de archivar los campos derivados de los flujos superficiales, junto con todas las demás variables atmosféricas adecuadas.

### **Modelos acoplados océano-atmósfera**

Se está haciendo un progreso notable en el desarrollo de modelos acoplados océano-atmósfera para los trópicos, que se usan en modo operativo con una base de tiempo cuasi-real. Como ejemplo de éstos, los oceanógrafos del Centro de análisis del clima del Centro Meteorológico Nacional en Washington D.C., emplean un superordenador CYBER 205 para pasar un modelo dinámico de la circulación en el Pacífico tropical cada mes. Las simulaciones numéricas han demostrado ya una pericia considerable en la descripción de gran parte de la variabilidad de la parte superior del océano observada entre 1985 y 1987. Las variaciones estacionales del nivel del mar en un gran número de islas y estaciones costeras fueron reproducidas con precisión cuando el modelo fue modulado con los vientos medios mensuales reales. Cotidianamente se producen simulaciones en tiempo casi real empleando las tensiones del viento medio mensual calculadas con los datos de la superficie marina disponibles en el SMT. Las comparaciones de los resultados del modelo con los datos *in situ* muestran ya una buena concordancia. Las discrepancias son más evidentes en las capas próximas a la superficie, en donde quedan problemas asociados a la física de la capa de mezcla, siendo las grandes incertidumbres los flujos en superficie de calor y de cantidad de movimiento y la subestimación de las fluctuaciones de mayor frecuencia, filtradas por los campos moduladores medios mensuales. Los experimentos hechos para asimilar los datos de TSM y de XBT y corregir algunos de estos problemas han dado resultados alentadores.

Una prueba crítica y mucho más importante que la reproducción de las variaciones del nivel del mar y de la circulación oceánica será la de reproducir correctamente las temperaturas del mar en superficie y cerca de la superficie y sus variaciones. Para esto los modelos tendrán que producir capas de mezcla y termoclinas realísticas, así como los cambios en su espesor asociados al cambio de las tensiones del viento y los cambios estacionales de la insolación. Un problema importante será el proporcionar campos moduladores atmosféricos con precisión suficiente. Esto subraya la necesidad del TOGA de apoyar mutuamente los progresos en las observaciones, en la modelización y en el estudio de procesos. De ningún modo se avanzará si alguno de estos tres componentes queda gravemente retrasado.

## Organización

Resulta evidente para el lector que el TOGA no es solamente un programa meteorológico u oceanográfico, sino un programa meteorológico y oceanográfico combinado. Sirve de catalizador para reunir personas y equipos de científicos de ambas disciplinas en una colaboración internacional. Muchos países lo han encontrado útil para crear un mecanismo formal de coordinación de sus actividades del TOGA nacionales y proporcionar puntos de contacto con organismos internacionales del TOGA adecuados y con otras comunidades científicas nacionales.

La necesidad de una cooperación internacional se refleja en la organización del TOGA, que es un componente del Programa mundial de investigación climática. Se realiza con la ayuda conjunta de la OMM, la COI y el CIUC (especialmente su Comité Científico de Investigación oceánica). La estrategia científica se planea por un Grupo científico directivo del TOGA internacional, establecido por el Comité científico mixto OMM/CIUC y el Comité SCOR/COI de cambios climáticos y el océano. El grupo también define las prioridades científicas de ejecución del TOGA (*Boletín de la OMM* 37 (1) pág. 5).

Finalmente, ha sido establecida la Oficina del Proyecto internacional del TOGA (ITPO) para apoyar los planes futuros del programa TOGA, así como para la coordinación internacional de actividades que contribuyan a su ejecución. Las funciones de la ITPO, como un componente del Grupo Mixto de Planificación del PMIC, se han situado en la sede de la OMM en Ginebra (*Boletín de la OMM* 37 (1) p. 44).

## Junta intergubernamental del TOGA

La Junta intergubernamental del TOGA (ITB) fue constituida como un foro para las consultas entre los representantes de los gobiernos de los países participantes y para facilitar la coordinación de los recursos nacionales disponibles para el TOGA. La inscripción inicial en la Junta fue tomada de una lista de países que ya trabajaban activamente en la ejecución del TOGA, a saber, Australia, Brasil, China, EE.UU., Francia, India, Indonesia, Japón, Mauricio, Nueva Zelanda, Perú, Reino Unido y URSS.

En la primera reunión de la Junta, que se celebró en Ginebra del 2 al 6 de noviembre de 1987, estuvieron presentes representantes de 11 de estos 14 países. Se eligió presidente al Dr. A.D. Moura (Brasil) hasta que se termine la segunda reunión, que se propone celebrar en octubre de 1988. Después de dos breves charlas del presidente del Grupo científico director, Dr. Peter Webster, y del director de la ITPO, la junta adoptó un plan de actuación para tratar de las deficiencias más notables de los sistemas de observación del TOGA, enfocado sobre la dispersión de datos oceánicos de la región del océano Indico y la necesidad de mejorar los datos de viento en los trópicos. Los problemas relativos al manejo de los datos y los recursos para el desarrollo del modelo TOGA se dejan para ser abordados en futuras reuniones de la junta.

## Conclusión

El programa TOGA puede ser realizado con nuevas inversiones más pequeñas, construyéndose sobre los sistemas meteorológicos y oceanográficos existentes y con mecanismos que ya sirven a la comunidad internacional. Sin embargo, el incremento de recursos es esencial si el programa ha de tener éxito y da a todas las naciones la oportunidad de hacer una contribución significativa a esta singular empresa mundial.

J. M.

## REFERENCIA

TRENBERTH, K.E. (1976): Spatial and temporal variations of the Southern Oscillation. *Quart. J. Royal Meteor. Soc.* **102** págs. 639/653.

# SOFTWARE DE APOYO A LAS APLICACIONES, LA INVESTIGACION Y LA ENSEÑANZA (SHARE)

## UN PROGRAMA METEOROLOGICO DE LA OMM PARA LOS PAISES EN DESARROLLO

Por William G. SCHRAMM<sup>1</sup>  
y D. NEIL ALLEN<sup>2</sup>

### *Introducción*

La naturaleza mundial de la meteorología y la necesidad universal de información meteorológica ha conducido a unas relaciones de trabajo muy estrechas entre los servicios meteorológicos del mundo, simbolizadas por la Vigilancia Meteorológica Mundial. Sin embargo, el grado en que los distintos servicios nacionales se hallan en situación de conseguir beneficios de la Vigilancia Meteorológica Mundial, varía mucho de un país a otro y es función del Programa de Cooperación Técnica de la OMM en su asistencia a los países en desarrollo para crear una infraestructura adecuada en sus servicios meteorológicos nacionales.

En 1987, la OMM inició un nuevo programa conocido como SHARE, de Software de apoyo a las aplicaciones, la investigación y la enseñanza. El SHARE suministrará a los países en desarrollo software de ordenador para permitirles recibir, procesar y difundir datos meteorológicos.

La OMM tiene un contrato con el Instituto de Cooperación para la Investigación de la Atmósfera (CIRA) de Fort Collins (EE.UU.) (que forma parte de la Universidad del Estado de Colorado), para que el CIRA desarrolle los programas para el manejo de datos y su representación para el SHARE y sirva como organización anfitriona para la visita del personal de los países en desarrollo que participen en el desarrollo del software y que reciban formación profesional en el uso de los productos SHARE.

### *Los antecedentes de las actividades de la OMM*

En 1982 la OMM se encaró a un dilema. Tres países (Brasil, China y Turquía) habían solicitado proyectos de asistencia técnica para la automatización de las telecomunicaciones en sus respectivos centros nacionales de Brasilia, Beijing y Ankara. Desgraciadamente, la OMM era en principio incapaz de responder a estas peticiones. Los sistemas de telecomunicaciones por ordenador que había en el mercado eran demasiado costosos.

<sup>1</sup> Departamento de Cooperación Técnica de la OMM.

<sup>2</sup> Instituto de Cooperación para la Investigación de la Atmósfera, Universidad del Estado de Colorado, EE.UU.