

- FLEMING, R. J., 1996: The use of commercial aircraft as platforms for environmental measurements. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 2229-2242.
- FLEMING, R. J., 2004: Summary of atmospheric water vapor information from sensors on commercial aircraft. Informe de la FAA del 8 de marzo de 2004. Disponible en Internet en www.joss.ucar.edu/wvss/.
- FLEMING, R. J., T. M. KANESHIGE y W. E. MCGOVERN, 1979a: The Global Weather Experiment I. The observational phase through the first special observing period. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 60, 649-659.
- FLEMING, R. J., T. M. KANESHIGE, W. E. MCGOVERN y T. E. BRYAN, 1979b: The Global Weather Experiment II. The second special observing period. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 60, 1316-1322.
- HUGHES, P., 1970. *A Century of Weather Service*. Gordon and Breach, 212 pp.
- JULIAN, P. R. y R. STEINBERG, 1975: Commercial aircraft as a source of automated meteorological data for GATE and DST. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 56, 243-251.
- KRISHNAMURTI, T. N., 1971: Observational study of the tropical upper tropospheric motion field during the Northern Hemisphere summer. *J. App. Meteor.*, 10, 1066-1096.
- RICKARD, G. J., R. W. LUNNON y J. TENENBAUM, 2001: The Met Office upper air winds: Prediction and verification in the context of commercial aviation data. *Meteorol. Appl.*, 8, 351-360.
- SPARKMAN, J. K., Jr., J. GIRAYTYS y G. J. SMIDT, 1981: ASDAR: A FGGE real-time data collection system. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 62, 394-400.
- STEINBERG, R., 1973: Role of commercial aircraft in global monitoring systems. *Science*, 180, 375-380.
- TENENBAUM, J., 1991: Jet stream winds: Comparisons of analyses with independent aircraft data over southwest Asia. *Wea. Forecasting*, 6, 320-336.

El legado del FGGE para el sistema de observación de los océanos

229

Por M.J. COUGHLAN*, N.R. SMITH* y J.W. ZILLMAN*

Introducción

El Experimento Meteorológico Mundial, el FGGE (Primer Experimento Mundial del GARP), era parte del Programa de Investigación de la Atmósfera Global (GARP), que tenía objetivos tanto "meteorológicos" como "climatológicos". Uno de los cuatro objetivos específicos del FGGE era "orientar el diseño de un sistema óptimo de observación y predicción meteorológicas para la predicción meteorológica operativa que empleara, de manera continua, el conocimiento técnico y científico del Experimento" (Zillman, 1977). Pero, hace sólo 25 años, con el año operativo del FGGE en marcha y con el sistema de Boyas a la Deriva del Hemisferio Sur del FGGE ya como un éxito aclamado, estaba sólo empezando a reconocerse la importancia de las observaciones oceanográficas para la predicción meteorológica operativa, todavía no se apreciaba mucho el papel central de los océanos para dar forma a los modelos del clima mundial y el concepto de oceanografía operativa estaba en pañales.

A lo largo de los 25 últimos años han cambiado muchas cosas y es obvio que puede reconstruirse el enorme progreso que se ha logrado en las observaciones del océano, a través de iniciativas como el Sistema Mundial de Observación de los Océanos (SMOO; COI,

1998), y en el conocimiento del papel de los océanos en el clima (Siedler y otros, 2001), directa o indirectamente, hasta las iniciativas que tuvieron sus comienzos en el Experimento Meteorológico Mundial y, sobre todo, en el diseño y la aplicación del Sistema de Boyas a la Deriva del Hemisferio Sur del FGGE.

Fundamento para un sistema de observación del océano del FGGE

En la planificación inicial del FGGE, a principios de la década de 1970 (Comité Mixto de Organización, 1973) empezó a verse claro que, si se quería alcanzar el objetivo de un conjunto de datos detallado y completo de todo un año sobre el estado de la atmósfera mundial, había que hacer algo muy innovador y especial para llenar los inmensos huecos de datos meteorológicos en la mayor parte del hemisferio sur oceánico. Dada la imposibilidad de abarcar una extensión oceánica tan grande con observaciones de barcos y animados por el primer éxito con boyas a la deriva experimentales que transmitían presión superficial y temperaturas a satélites que también podían determinar su situación, los planificadores del FGGE propusieron el concepto de una red completa de boyas a la deriva para los océanos del hemisferio sur comprendidos entre 20° y 65°S. No sólo podía utilizarse para suministrar una cuadrícula de observaciones de presión superficial sino también, midiendo in situ las temperaturas de la superficie del

* Oficina de Meteorología de Melbourne, Australia.

Aunque el GARP era un programa mundial de investigación atmosférica y el FGGE era un experimento meteorológico mundial, ambos han dejado un importante legado en el diseño de los sistemas mundiales de observación de los océanos cuyos beneficios en la actualidad van más allá de los dominios de la meteorología y el clima. En el momento de planificar el FGGE se pensaba, en general, que el Programa de Operaciones Oceanográficas comprendía sólo aquellas actividades que llevarían a cabo la serie de cruceros dirigidos por barcos de investigación. Sin embargo, desde una perspectiva más amplia —y sobre todo con 25 años de retrospectiva— podría considerarse que todo el programa oceanográfico abarca prácticamente todas aquellas actividades durante el FGGE que implicaban la recogida de datos en el entorno oceánico abierto. Teniendo en mente este punto de vista más amplio, todo el programa oceanográfico del FGGE incluiría, además de los cruceros de los barcos de investigación oceanográfica, el programa de Buques de Observación Voluntaria (VOS), el programa de Barcos de Observación de Vientos Tropicales (TWOS), el programa de Boyas a la Deriva y varias componentes del Programa de Satélites.

Sin embargo, este artículo reflexiona sobre la componente que se convirtió en una de las grandes historias de éxito del FGGE, el Sistema de Boyas a la Deriva, y su efecto en el diseño y el desarrollo posteriores de un sistema exhaustivo de observación de los océanos mundiales.

mar, podía afianzar los perfiles de temperatura atmosférica que suministrarían los satélites.

Planificación del sistema de boyas

Bajo la dirección global del Grupo Intergubernamental de la OMM para el FGGE, y con el consejo y el apoyo del Comité Mixto de Organización (CMO) para el GARP, de la OMM y el CIUC, se confió la planificación detallada del sistema de boyas a un Comité de Participantes de la OMM en el Sistema de Boyas a la Deriva del FGGE que incluía a representantes de Argentina, Australia, Canadá, Chile, Francia, Nueva Zelanda, Noruega y los EE.UU.

El Dr. John Garrett, de Canadá (Garrett, 1977), ofreció la dirección tanto organizativa como técnica del Comité de Participantes, pero se propusieron y, finalmente se aplicaron, varios diseños de boyas a la deriva y varios mecanismos de despliegue (de la Lande y otros, 1979).

El Grupo Intergubernamental y el Comité de Participantes fijaron un objetivo de 300 boyas operativas en los océanos del hemisferio sur comprendidos entre 20° y 65°S durante cada uno de los Periodos Especiales de Observación (enero-febrero y mayo-junio de 1979) del Año Operativo del FGGE. La característica clave del sistema era la capacidad, a través de los satélites Tiro-N y NOAA-A de los EE.UU. y del Sistema francés de Localización de Plataformas y de Recogida de Datos ARGOS, de localizar y de seguir a las boyas a la deriva en cada paso del satélite y de recoger y procesar los datos de un modo lo suficientemente rápido para incluirlos en el Sistema Mundial de Telecomunicaciones de la Vigilancia Meteorológica Mundial para el uso operativo por parte de los Servicios Meteorológicos Nacionales y de otros analistas regionales y operativos y de los centros de modelización de todo el mundo. Por primera vez, el sistema de boyas a la deriva del FGGE ofreció la posibilidad de un análisis detallado y en tiempo real

tanto de los modelos de temperatura superficial (y, limitadamente, de la subsuperficie) como de la presión atmosférica en superficie sobre todos los océanos del hemisferio sur.

Operaciones

El Programa de Boyas a la Deriva logró su objetivo de despliegue en términos del número de boyas desplegadas, con unas 368 distribuidas durante el período del FGGE, entre diciembre de 1978 y noviembre de 1979, a lo largo de todos los océanos australes comprendidos entre 20° y 65°S (Centro de Control de Datos de Boyas del FGGE, 1980). La serie era para tener una resolución media de 1 000 km y, con la mejor gestión, lograr algo entre el 70 y el 80 por ciento de cobertura, medida por la fracción de la superficie del océano pretendida dentro de los 500 km de una boya que midiera datos fiables de presión. Las razones para no poder alcanzar la cobertura total eran, generalmente, la falta de una capacidad de despliegue a un coste aceptable en las regiones más remotas y el primer fracaso de algunos despliegues críticos. Se confió mucho en el despliegue por parte de barcos de investigación y de suministro que viajaban al continente antártico y desde él y, aunque muchas de las zonas remotas se "llenaron" con el tiempo con la deriva de las boyas, no hubo manera de evitar el desarrollo de zonas relativamente bien atendidas y de una falta continua de cobertura en otras.

Precisión de los datos

Las especificaciones iniciales para la precisión de las lecturas de presión atmosférica y de temperatura de la superficie del mar eran de ± 1 hPa y de $\pm 1,0^\circ\text{C}$, respectivamente. El Comité de Participantes estableció especificaciones estrictas para garantizar que los fabricantes individuales de boyas satisficieran estos criterios de presión y temperatura, y también los de transmisión de los datos, incluido el grado de promediado para minimizar

los efectos inducidos por la acción de las olas que originaban errores de presión. Se hicieron varios intentos para comparar, con las plataformas de datos convencionales cercanas, las medidas recibidas de las boyas. En una comparación llevada a cabo por el Servicio Meteorológico de Nueva Zelanda sobre 421 observaciones de presión atmosférica de 21 boyas con distintas estaciones de referencia, la diferencia global de la presión media se estimó en alrededor de $-0,3$ hPa.

La comparación entre datos de la temperatura de la superficie del mar de las boyas y de los sensores de los barcos era un tanto problemática debido a la significativa diferencia de las técnicas de medida, incluida la profundidad a la que se medían las temperaturas y las distintas respuestas del sensor, que era un problema particular que se producía inmediatamente después del lanzamiento de una boya cuando el barco de lanzamiento y la boya estaban próximos. En total, había una tendencia de las temperaturas de las boyas a ser ligeramente superiores en unas pocas décimas de grado que las temperaturas tomadas con los sensores de entrada de los motores y con los termómetros de tipo cubeta. Investigaciones en los datos de boyas australianas sugerían también que había una variación diurna mayor en los datos remitidos de la superficie del mar que otros tipos de boyas.

Vida de las boyas

La vida de las boyas individuales variaba mucho. Además, había que tener en cuenta la vida no sólo en términos del período en el que transmitían su posición, sino también en términos de la consistencia y fiabilidad de los datos que transmitían. Desde el principio, la planificación del programa se basó en una vida esperada de unos seis meses por boya. Estas expectativas, al menos en términos de localizar de manera activa a las boyas transmisoras, se cumplieron bien, siendo el promedio en la banda oceánica comprendida entre 20° y 65° S de 196 días. El promedio para que se transmitieran al menos algunos datos fiables fue algo menor, de unos 152 días. Unas pocas fallaron muy pronto mientras que muchas siguieron transmitiendo buenos datos hasta mucho después del fin oficial del período del FGGE. Algunos tipos de boyas eran, claramente, más fiables que otros y sistemáticamente ofrecían vidas por encima de la media.

Efecto de los datos

El efecto inicial de los datos de boyas del FGGE sobre la meteorología operativa fue grande. En un estudio llevado a cabo durante el mismo período del FGGE (Gymer & LeMarshall, 1979) se estimó que los centros de bajas en latitudes altas del hemisferio sur se mostraban a menudo con una profundidad superior a 20 hPa o más de lo que hubieran sido analizados sin los datos

de boyas. Por primera vez, las fluctuaciones a menudo desconcertantes observadas en la serie normalmente escasa de observaciones de latitudes altas podían analizarse de manera coherente (Zillman, 1983) aunque había un debate importante sobre el efecto absoluto y relativo de los datos in situ y de satélite (NAS, 1985). Sin embargo, el valor real de las boyas siguió creciendo a medida que se incorporaban a los análisis exhaustivos de asimilación de datos generados por el Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo (CEPMMP) y por el Laboratorio Geofísico de Dinámica de Fluidos de la Universidad de Princeton, en los EE.UU. Estos conjuntos de datos constituyeron la espina dorsal de la investigación en predicción numérica del tiempo y del desarrollo de los modelos climatológicos durante muchos años después. Los conjuntos de datos originales del nivel IIb volvieron a ser importantes durante la década de 1990 en la generación de conjuntos de datos mundiales reanalizados por el CEPMMP, la Administración Oceánica y Atmosférica Nacional y otras instituciones.

¿Fue realmente un programa oceanográfico?

Aunque generalmente se estaba de acuerdo en que las temperaturas de la superficie del mar medidas por las boyas a la deriva fueron de gran valor para la oceanografía, también había un punto de vista mayoritario de que la ausencia de anclas flotantes en muchas de las boyas comprometió el potencial máximo del programa para la investigación oceanográfica. El objetivo de un ancla flotante, p. ej., en forma de paracaídas colgado debajo de la boya a la deriva, es sujetarla al flujo de la corriente oceánica superior y reducir así los efectos del viento en la determinación de la trayectoria lagrangiana de la boya. Por lo tanto, la presencia de un ancla flotante en una boya a la deriva aumentaba significativamente la importancia de su dato de posición para la oceanografía. Muchas de las boyas que estaban ancladas con anclas flotantes mostraban con claridad las estructuras de remolino de baja resolución que se sabía que estaban presentes en las circulaciones oceánicas. Había otro problema que hizo que se comprometiera algo más el valor directo del programa para la oceanografía. Como las boyas fabricadas en distintos países tenían distintas características físicas, los efectos del viento en la superestructura de las boyas tendía a variar de un tipo a otro, y algunas de las boyas sin anclas flotantes avanzaban más rápidamente que otras para una velocidad dada del viento (Niiler, 2001).

A pesar de estas preocupaciones sobre el beneficio directo del Programa de Boyas a la Deriva del FGGE en su conjunto para comprender la circulación oceánica en el hemisferio sur, incluso cuando el año del FGGE

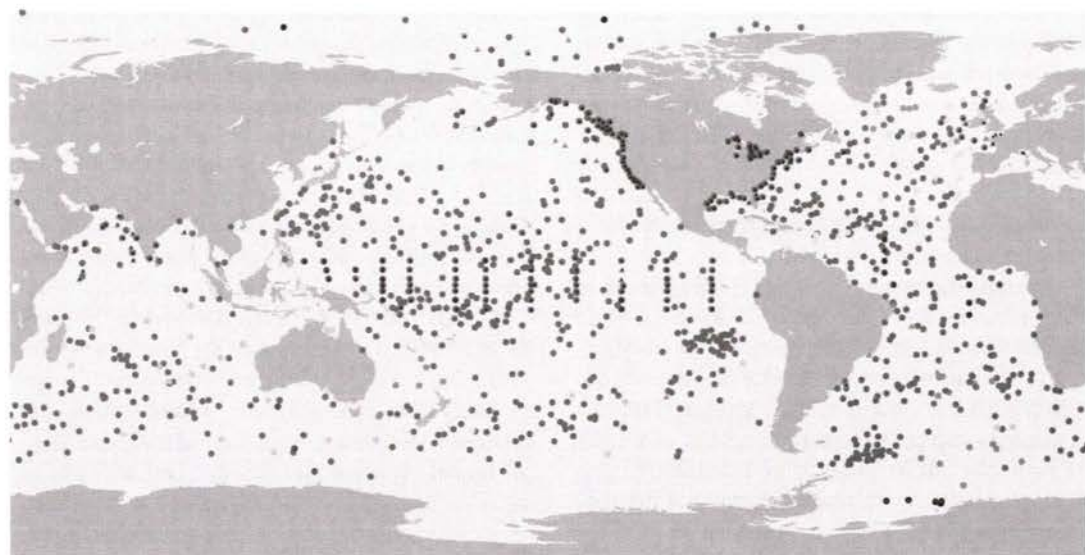


Figura 1 — Boyas de datos que transmitían vía el SMT en mayo de 2004: el primer número indica el número de boyas a la deriva (un total de 904) y el segundo número indica el número de boyas amarradas (un total de 208): Australia (26); Canadá (23, 29); India (4, 5); Nueva Zelanda (7); Reino Unido (3, 7); Brasil (1); Francia (25, 7); Irlanda (2); Noruega (12); EE.UU. (748, 132); Brasil/Francia/EE.UU. (serie amarrada PIRATA en el Atlántico ecuatorial 14); Alemania (7); Japón (3, 12); Sudáfrica (14).

estaba tocando a su fin, empezaron a hacerse recomendaciones que aumentarían de manera drástica la importancia de los programas futuros de boyas a la deriva para la oceanografía. Por ejemplo, se recomendó que en la planificación futura de redes de sistemas de boyas a la deriva deberían tenerse en cuenta los factores tanto meteorológicos como oceanográficos, que deberían realizarse comparaciones detalladas de los movimientos de boyas con y sin anclas flotantes y que en el diseño futuro de programas de boyas experimentales deberían tenerse en cuenta los programas de investigación oceanográfica (Comité de Participantes en el Sistema de Boyas a la Deriva del FGGE, 1979).

Cómo avanzar a partir de las observaciones oceánicas del FGGE

La historia ha determinado sin ninguna duda que el Programa de Boyas a la Deriva del FGGE preparó el terreno para una serie de programas operativos de medidas oceánicas in situ continuas y extensas tanto de superficie como de subsuperficie, y de una escala y tipo que hasta entonces sólo se habían llevado a cabo en la atmósfera. La Figura 1 muestra cómo en los 25 últimos años el número de boyas a la deriva se ha triplicado, prácticamente, hasta llegar a más de 900, y ahora están distribuidas mundialmente y están complementadas además por otras 200 boyas amarradas, sobre todo la serie TAO/TRITON de los EE.UU. y de Japón que abarca el océano Pacífico ecuatorial, y que se creó originariamente como parte del Experimento sobre los Océanos Tropicales y la Atmósfera Mundial (TOGA).

El TOGA fue el primer esfuerzo importante de investigación oceanográfica para explotar sistemáticamente las lecciones y el conocimiento del FGGE y de sus medidas oceánicas. Durante 1982-1983, la erupción de El Chichón introdujo desviaciones en las estimaciones por satélite de la temperatura de la superficie del mar (TSM) con el resultado de que el importante episodio de El Niño casi acabó antes de que se observara. El TOGA hizo entender que los datos oceánicos en tiempo real eran críticos para vigilar tales fluctuaciones del clima y, a partir de las lecciones del FGGE, hizo ver que haría falta una mezcla de observaciones in situ y de satélites. En el TOGA, las boyas a la deriva se desplegaron en los océanos tropicales más destacados para medir la TSM y para calibrar las medidas de satélites. También eran críticas para vigilar las corrientes superficiales (Niiler, 2001). El programa de barcos de observación voluntaria se amplió para medir la temperatura de la subsuperficie utilizando batitermógrafos fungibles (XBT) y se desplegó una red de boyas fijas amarradas (McPhaden, 1995). El TOGA aprendió las lecciones del FGGE, en términos tanto del valor de las medidas oceánicas en tiempo real como del poder de los sistemas de asimilación de datos para explotar esos datos. Los sistemas modernos de predicción estacional del clima son una manifestación de esta lección.

El Experimento Mundial sobre la Circulación Oceánica (WOCE; Siedler y otros, 2001) fue tal vez una extensión más directa del FGGE al dominio del océano, avanzando a partir de la amplia investigación del océano realizada en asociación con el FGGE y haciendo

la extensión natural a partir de la atmósfera mundial y de la predicción meteorológica al océano mundial y al clima. Ciertamente, uno de los nombres alternativos que circulaban para el WOCE era "GORP": el Experimento Mundial de Investigación de los Océanos. El legado del FGGE se explotó de numerosas maneras. Las medidas de presión superficial de boyas a la deriva y de barcos se utilizaron como una referencia de superficie para los altímetros; la TSM se utilizó como parte de la estimación del estado del océano ("foto instantánea") y para vigilar el clima; la deriva superficial se utilizó para estimar la circulación superficial; y los datos de superficie en general se utilizaron para estimar los flujos de calor hacia el océano. Taylor (1989) (y los artículos que contenía) examinó los requisitos y la suficiencia del sistema de observación de superficie del WOCE y concluyó que las boyas a la deriva eran críticas, sobre todo para el hemisferio sur. Smith (1989) recurrió directamente a la experiencia del FGGE para concluir que una boya a la deriva de superficie y una red superficial del sistema de observación voluntario serían críticas para desarrollar buenos cálculos de la tensión del viento superficial y de los flujos de superficie durante el WOCE.

Tal vez un legado más sutil del FGGE, en el WOCE y a partir de éste, sea la influencia de la tecnología desarrollada para el FGGE, sobre todo las boyas a la deriva de superficie autónomas y el sistema de posicionamiento Argos. Para seguir la circulación subsuperficial del océano, se desarrolló un flotador autónomo que utilizaba el sonido para fijar su posición en el océano, dando así estimaciones de las corrientes subsuperficiales (Davis y Zenk, 2001). En la última mitad del WOCE, se adaptó esta tecnología para que el flotador, en lugar de ir a la deriva a una profundidad sencilla, emergiera periódicamente a la superficie y obtuviera su posición a través de los satélites. Se vio que se podría hacer un buen uso de este ciclo de ascenso y descenso y empezaron a añadirse termistores a los flotadores para obtener perfiles de temperatura (Davis y Zenk, 2001). Así, a partir de la tecnología y de los métodos del FGGE y de su programa de boyas a la deriva, se obtuvo una boya a la deriva de subsuperficie y un perfilador (una "radiosonda" oceánica y una boya a la deriva combinadas) que podía medir a distancia datos de temperatura subsuperficial (y, ahora, salinidad), en tiempo real. En la actualidad conocemos esta tecnología a través de la iniciativa Argo (Roemmich y otros, 2001), una iniciativa para desplegar una serie mundial de 3 000 flotadores, que ahora es tan revolucionaria para la oceanografía como lo fue el programa de observación del FGGE para la ciencia atmosférica y para la predicción meteorológica. ¡La visión de futuro de la Misión Slocum de Henry Stommel (Stommel, 1989) se ha hecho realidad!

En 1999 se celebró una importante conferencia para determinar los requisitos de un sistema de observación de los océanos con fines climáticos y para determinar los métodos que habría que utilizar para satisfacer esos requisitos (Smith y Koblinsky, 2001). En la conferencia se alcanzó un acuerdo sobre las redes primarias, incluidas las boyas a la deriva (para TSM, presión y corrientes, entre otras cosas) y los barcos de observación voluntaria. Es interesante observar que las técnicas desarrolladas para el FGGE, pero con interesantes aplicaciones oceánicas, están siendo financiadas ahora por derecho propio como elementos del sistema de observación de los océanos, pero con utilidad para la predicción meteorológica. La sinergia y la complementariedad entre las observaciones necesarias para la predicción meteorológica y para la investigación atmosférica y las necesarias para la oceanografía y para el clima, piedra angular del enfoque del FGGE, siguen en la actualidad y son un elemento crítico en el desarrollo del Sistema Mundial de Observación de los Océanos.

Veinticinco años después, la oceanografía ha pasado de ser una disciplina dominada por la investigación a otra en la que coexisten en la actualidad la investigación y las aplicaciones operativas (constantes). Smith (2001) habló de esta evolución y observó los cambios tanto comunitarios como organizativos que han acompañado a esta evolución, incluida la creación de la Comisión Técnica Mixta sobre Oceanografía y Meteorología Marítima (CMOMM). En algunos casos, las nuevas tecnologías, como los dispersómetros de viento de superficie y las medidas de microondas de la TSM, y los modelos atmosféricos en constante mejora, han disminuido la dependencia de las boyas a la deriva de superficie y de las redes superficiales similares. Por otra parte, la demanda de muestras fiables y de gran calidad para el cambio climático y la búsqueda de una precisión mayor han impuesto una dependencia todavía mayor de las redes. Se reconoce explícitamente que la naturaleza integrada, compuesta y complementaria de las redes in situ y de satélites es un atributo poderoso que debe preservarse en el futuro.

Uno de los factores que conduce a esta demanda es la aparición de la predicción oceánica operativa. De hecho, el Experimento Mundial de Asimilación de Datos Oceánicos (GODAE) (Smith y Lefebvre, 1998; Le Traon y otros, 2001), una iniciativa para demostrar que la predicción oceánica operativa es una actividad constante factible y viable y que tiene mucho en común con el FGGE. El GODAE también surgió de la constatación de que la tecnología y la ciencia habían alcanzado un punto en el que la comunidad se dio cuenta de que ambas podían ampliarse a un sistema mundial fuerte y útil; el GODAE se basa en una cooperación y

una colaboración internacionales amplias; y el GODAE tiene el tamaño y la envergadura suficientes como para atraer la atención y una inversión constante. El GODAE se creó para emular el éxito del FGGE, incluido el fomento de las redes críticas de observación y el desarrollo de la asimilación de datos oceánicos y de los sistemas de predicción. El legado de las observaciones oceánicas del FGGE puede verse en los sistemas de observación (boyas a la deriva, barcos), en la tecnología innovadora (p. ej., Argo), en el uso de telecomunicaciones e intercambio de productos en tiempo real, en los enfoques de los modelos y de la asimilación, y en la amplia cooperación internacional. La comunidad está esperando que el GODAE tenga el mismo efecto (a partir de 2008) que el que sufrió el colectivo de predicción numérica del tiempo a partir del FGGE. Sólo se puede esperar que el ritmo de progreso desde el FGGE hasta hoy pueda seguir en los próximos 25 años.

Referencias

- COMMITTEE OF PARTICIPANTS for the FGGE Drifting Buoy System, 1979: *Critical review of the performance of the FGGE Drifting Buoy System*. OMM, Ginebra.
- DAVIS, R. E. y W. ZENK, 2001: Subsurface Lagrangian observations during the 1990s. En: *Ocean Circulation and Climate*, G. Siedler et al. (Eds.) *International Geophysics Series*, Volume 77. Academic Press, San Diego, 123-140.
- DE LA LANDE, R. S., L. B. GUYMER, R. J. MCKENZIE, P. J. R. SHAW y J. W. ZILLMAN, 1979. *Search*, 10, 3, 69-75.
- FGGE BUOY DATA CONTROL CENTRE, 1980: FGGE Drifting Buoy System-Summaries of individual buoy histories. OMM, Ginebra.
- GARRETT, J. y W. WOOD, 1977: *Buoy barometer evaluation program. Final report*. Institute of Oceanic Sciences, 9860 West Saanich Road, Sidney, BC, V8L3S2, Canadá.
- GUYMER, L. B. y J. F. LE MARSHALL, 1979: Salient features of the impact of buoy data on operational analyses. Quinta reunión del Comité de Participantes en el Sistema de Boyas a la Deriva del FGGE. OMM, Ginebra.
- INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION (ICO), 1998: *The Global Ocean Observing System Prospectus 1998*. UNESCO, París, (Publicación N.º 42 del SMOO), 168 pp.
- JOINT ORGANIZING COMMITTEE, 1973: *The First GARP Global Experiment: Objectives and plans*. ICSU/WMO GARP Publications Series No. 11, OMM, Ginebra, 107 pp.
- LE TRAON, P.-Y., M. RIENECKER, N. SMITH, P. BAHUREL, M. BELL, H. HURLBURT, P. DANDIN, M. CLANCY y C. LE PROVOST, 2001: Operational oceanography and prediction-a GODAE perspective. En: *Ocean Observations for the 21st Century*, GODAE Project Office/Bureau of Meteorology.
- MCPHADEN, M. J., 1995: The tropical atmosphere ocean array is completed. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 7, 739-74.
- MCPHADEN, M. J., A. J. BUSALACCHI, R. CHENEY, J.-R. DONGUY, K. S. GAGE, D. HALPERN, M. JI, P. JULIAN, G. MEYERS, G. T. MITCHUM, P. P. NIILER, J. PICAUT, R. W. REYNOLDS, N. SMITH y K. TAKEUCHI, 1998: The Tropical Ocean-Global Atmosphere observing system: A decade of progress. *J. Geophys. Res.*, 103(C7), 14169-14240.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE, 1985. *Proceedings of the First National Workshop on the Global Weather Experiment: Current Achievements and Future Directions*. National Academy of Science, Washington DC, 121-145.
- NIILER, P., 2001: Global ocean circulation observations, 2001. En: *Ocean Observations for the 21st Century*. GODAE Project Office/Bureau of Meteorology.
- ROEMMICH, D., O. BOEBEL, Y. DESAUBIES, H. FREELAND, K. KIM, B. KING, P.-Y. LE TRAON, R. MOLINARI, W. B. OWENS, S. RISER, U. SEND, K. TAKIECHI y S. WIJFFELS, 2001: Argo-The global array of profiling floats. En: *Ocean Observations for the 21st Century*. GODAE Project Office/Bureau of Meteorology.
- SIEDLER, G., J. CHURCH y J. GOULD (Eds.), 2001: *Ocean Circulation and Climate*. *International Geophysics Series*, Volume 77. Academic Press, San Diego, 715 pp.
- SMITH, N. R., 1989: Improved in situ measurements for initialising atmospheric forecast models. En: Report of the Working Group on In Situ Measurements for Fluxes, WCRP-23, WMO/TD No. 304, La Jolla, California, marzo, 1989.
- SMITH, N., 2001: Ocean and climate prediction-the WOCE legacy. En: *Ocean Circulation and Climate*. G. Siedler, J. Church y J. Gould (Eds.). *International Geophysics Series*, Volume 77. Academic Press, San Diego, 585-602.
- SMITH, N. y C. KOBLINSKY (Eds.), 2001: The ocean observing system for the 21st century. En: *Ocean Observations for the 21st Century*. GODAE Project Office/Bureau of Meteorology.
- STOMMEL, H., 1989: The Slocum mission. *Oceanogr.*, 3, 22-25.
- TAYLOR, P. K., 1989: WOCE surface flux determinations-a strategy for in situ measurements. Report of the Working Group on In Situ Measurements for Fluxes, WCRP-23, La Jolla, California, marzo, 1989.
- ZILLMAN, J. W., 1977: The First GARP Global Experiment. *Aust. Met Mag.* 25, 4, 175-213.
- ZILLMAN, J. W., 1983: *The impact of the Global Weather Experiment in the southern hemisphere-The Results of the Global Weather Experiment*. Conferencias presentadas en la 34.ª reunión del Comité Ejecutivo de la OMM. OMM-N.º 610.

