

# Aplicaciones operacionales de la altimetría

J. A. Triñanes\*, G. Goñi\*\* y J. Varela\*  
trinanes@usc.es

\* *Universidades de Santiago de Compostela (USC). Instituto de Investigaciones Tecnológicas*

\*\* *National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA)  
Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory*

## RESUMEN

En este artículo presentamos varias aplicaciones de los datos de altímetro para estudios oceánicos, clima y meteorológicos, tales como las corrientes geostroficadas y el calor potencial de ciclones tropicales.

**PALABRAS CLAVE:** variabilidad mesoescalar, dinámica oceánica, altimetría, corrientes geostroficadas, ciclones tropicales.

## ABSTRACT

This manuscript describes several applications of altimetry data for ocean, climate and weather studies, such as geostrophic currents and tropical cyclone heat potential.

**KEY WORDS:** mesoscale variability, ocean dynamics, altimetry, geostrophic currents, tropical cyclones.

## INTRODUCCIÓN

Los datos altimétricos proporcionan una información muy valiosa sobre la dinámica de la capa superior del océano, permitiendo estudiar la circulación oceánica y los efectos del océano sobre la meteorología y el clima, entre las aplicaciones más relevantes (Digby *et al.*, 1999). El principio de operación de un altímetro es muy simple. Por un lado, la altura del sensor respecto al elipsoide de referencia se calcula usando sistemas de radiofrecuencia, GPS y/o láser. Por otro lado, la señal recogida por el altímetro permite estimar la distancia entre éste y la superficie marina, midiendo el tiempo entre la emisión y recepción de pulsos, y teniendo en cuenta los efectos de la troposfera e ionosfera sobre la señal. Conociendo ambos parámetros, podemos conocer la altura de la superficie marina respecto al elipsoide (Fu *et al.*, 2001).

En este artículo mostramos 2 aplicaciones operacionales concretas: la extracción de corrientes geostroficadas y el cómputo del contenido calórico de la capa superficial oceánica.

## DATOS

Los productos derivados de datos altimétricos usan por regla general y debido a los errores en el

geoide, las anomalías en la altura de la superficie marina (*Surface Height Anomalies—SHA*), obtenidas usando una media multianual como campo de referencia. En nuestro caso, los valores de SHA a lo largo de la trazada del satélite son obtenidos en tiempo casi real por el US Naval Research Laboratory, usando los datos procedentes de la constelación de altímetros para estimar los valores de SHA, altura de ola significativa y velocidad del viento en la superficie marina. Estos datos son rutinariamente transferidos y almacenados en nuestra base de datos, siendo accesibles en el sitio web (<http://cwcaribbean.aoml.noaa.gov>) del Nodo Regional del Caribe y Golfo de Mexico de Coast-Watch (CWCGoM).

Los valores de SHA sirven de base para estimar los campos espaciales de este parámetro. Para ello y para una fecha determinada, interpolamos los datos puntuales usando el método de las correcciones sucesivas (Bratseth, 1986), tomando como base los datos de los últimos 10 días. Este algoritmo es computacionalmente muy eficiente y permite obtener campos interpolados de SHA a partir de un campo inicial de referencia, el cual es modificado de manera iterativa por las observaciones.

Los campos de SHA están disponibles en la web del nodo (Figura 1). Para facilitar el acceso y mejorar la interactividad, hemos implementado una

J. A. Triñanes, G. Goñi y J. Varela

interfaz basada en una aplicación desarrollada en Java. CWCGoM permite a los usuarios acceder a las observaciones de SHA, visualizar los pases del altímetro y los campos de altura dinámica, representar las corrientes geostroficas, superponer contornos, enmascarar profundidades, etc. Este control permite seleccionar dinámicamente la región de estudio. Los datos de SHA cubren de manera discreta un gran porcentaje de la superficie marina libre de hielo con la única limitación que imponen las órbitas polares de los satélites que portan los altímetros, las cuales impiden obtener datos en zonas situadas a partir de una determinada latitud, definida por las características orbitales de cada satélite. Este es un problema menor para estudios que no incluyan las regiones polares. Con esta salvedad, podemos afirmar, por tanto, que nuestra interfaz proporciona cobertura global.

Por defecto, la interfaz muestra los campos de SHA. Podemos superponer los contornos en saltos de 10 cm y superponer los pases de cada satélite, que se mostrarán con colores diferentes para cada uno de ellos y nos permitirá identificar las fuentes de datos y comprobar la cobertura espacial de las medidas.

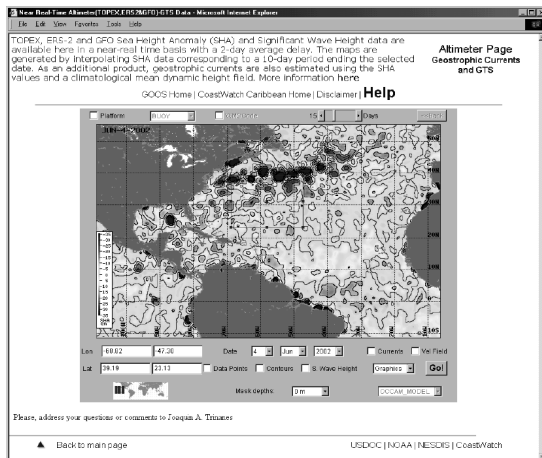


Figura 1. Interfaz de acceso a datos y productos derivados de altímetros.

## CORRIENTES GEOSTRÓFICAS

Los campos de SHA permiten estimar las anomalías en las corrientes geostroficas (CG). Por ello, si conocemos la topografía dinámica media del océano referida un nivel de referencia, siempre podemos emplear los campos de SHA para evaluar los com-

ponentes geostroficos zonales ( $u$ ) y meridionales ( $v$ ) de la corriente. Para ello, empleamos las siguientes ecuaciones:

$$u = -\frac{g}{f} \frac{dSSH}{dy}, \quad v = \frac{g}{f} \frac{dSSH}{dx}$$

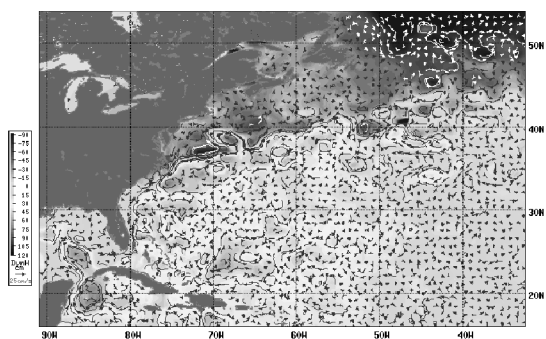
donde  $SSH$  es la altura dinámica, resultado de sumar el campo medio y SHA,  $g$  es la fuerza de la gravedad y  $f$  es la componente de Coriolis. Se parte de la suposición, que la pendiente de la altura dinámica esta relacionada directamente con el gradiente de presiones, lo cual por regla general consideramos válido excepto en un pequeño intervalo de latitudes en torno al ecuador.

Varias topografías dinámicas están disponibles. El usuario puede escoger entre 3 alturas dinámicas medias:

- LEVITUS1000m. Topografía dinámica media relativa a una profundidad de 1000 metros y con una resolución espacial de  $1^\circ$  extraída a partir de la climatología de Levitus (<http://www.nodc.noaa.gov/OC5/dyn.html>).
- Modelo OCCAM (Fox *et al.*, 2000). Este campo deriva del modelo OCCAM con vientos reales del ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). Los errores en las regiones de la corriente del Golfo y Kuroshio se corrigen usando alturas dinámicas de las climatologías Lozier y Levitus, respectivamente. La resolución espacial es de  $0.25^\circ$ .
- OCCAM\_XBT. Este campo deriva de correr el modelo OCCAM con vientos del ECMWF durante un período de 4 años (1992-1996) con asimilación de datos subsuperficiales procedentes de medidas XBT. La media representa los años 1993-95. La resolución espacial es de  $0.25^\circ$ .

Cualquiera de ellas puede ser empleada para estimar los componentes de CG. En un futuro muy próximo incluiremos la nueva versión de Rio05 (Río y Hernández, 2004), estimada usando datos de campo, campos altimétricos multianuales y un geode del proyecto GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*).

Los campos de corrientes pueden obtenerse en formato gráfico y también en forma de ficheros de datos. La interfaz permite resaltar aquellas zonas en las que la velocidad de la corriente es mayor. Sobre el campo escalar de altura dinámica, se superponen los vectores que revelan el flujo geostrofico y que siguen las líneas equipotenciales del campo (Figura 2).



**Figura 2.** Mapa de corrientes geostroficadas superpuestas sobre el campo de topografía dinámica.

Dado que tratamos con estimaciones geostroficadas mesoescalares, hemos incluido la posibilidad de enmascarar las áreas con profundidades por debajo del valor seleccionado. En este paso hemos usado como referencia Etop05.

Los campos de corrientes obtenidos usando datos altimétricos pueden contrastarse con las velocidades de boyas de deriva. De esta manera, podemos evaluar estadísticamente las diferencias entre ambos conjuntos de variables, y así determinar la magnitud de otras componentes que afectan al campo de corrientes superficial. Nuestra interfaz permite superponer las trayectorias de las boyas derivantes sobre el campo de CG. Incluimos la posibilidad de escoger un intervalo temporal entre 1 y 50 días anteriores a la fecha seleccionada.

La energía recogida por el altímetro podemos relacionarla con la velocidad del viento en la superficie marina, mientras que la forma de la señal nos permite estimar la altura de las olas o, en nuestro caso, la altura de ola significativa, definida como la media de alturas de un tercio de las olas de mayor magnitud. La US Navy estima todos estos parámetros y los integra con las medidas de SHA. Tanto los vientos como la altura de ola también están disponibles en las páginas del CWCGoM.

### Aplicaciones: un ejemplo

Las aplicaciones prácticas de los datos y productos derivados de altímetros son múltiples: pesquerías, dinámica oceánica, variabilidad climática, modelos, etc. En este apartado mencionaremos los servicios que un sistema operacional de provisión de corrientes superficiales puede prestar a la navegación deportiva.

La regata Volvo Ocean Race alrededor del mundo es uno de los mayores acontecimientos en

el mundo de la navegación a vela, sólo comparable a la Copa América. En la edición 2005-2006, NOAA/AOML y CWCGoM han estado distribuyendo datos operacionales de vientos y CG a los participantes en este evento deportivo (<http://www.noaanews.noaa.gov/stories2005/s2537.htm>, [http://www.aoml.noaa.gov/keynotes/PDF-Files/Jan-Feb\\_06.pdf](http://www.aoml.noaa.gov/keynotes/PDF-Files/Jan-Feb_06.pdf)). Para ello, hemos desarrollado una página web a través de la cual estos parámetros están siendo distribuidos para cada una de las etapas de la regata tanto en forma gráfica como en el formato de datos GRIB. De esta manera, los navegantes pueden usar esta información en sus modelos de navegación para seleccionar la ruta más conveniente durante la competición.

## CALOR POTENCIAL DE CICLONES TROPICALES

La capa superior del océano juega un papel muy importante en los procesos de reforzamiento de los ciclones tropicales. Las temperaturas superiores a 26°C son generalmente condición necesaria pero no suficiente para los fenómenos de ciclogénesis (Goñi *et al.*, 2003). Otros factores contribuyen de manera importante a estos episodios, que podemos resumir en un conjunto de condiciones atmosféricas favorables que favorecen la transferencia vertical de energía.

En los últimos años, una serie de episodios de intensificación repentina han revelado la importancia de usar datos altimétricos para explicar y pronosticar casos de reforzamiento súbito de ciclones tropicales (Shay *et al.*, 2000). Por ejemplo, la intensificación repentina de los huracanes Opal (1995), Mitch (1998) y Bret (1999) puede explicarse por el paso de estas tormentas por zonas de alto contenido calórico. Más recientemente, en el año 2003, el tifón Imbudo (Goñi y Triñanes, 2003) alcanzó la categoría de supertifón en un breve espacio de tiempo en una región en la que los valores de contenido calórico de la capa superficial oceánica eran elevados (Figura 3). Eventos similares han ocurrido en el caso de los huracanes Rita y Katrina (<http://www.aoml.noaa.gov/phod/altimetry/katrina1.pdf>) en el año 2005.

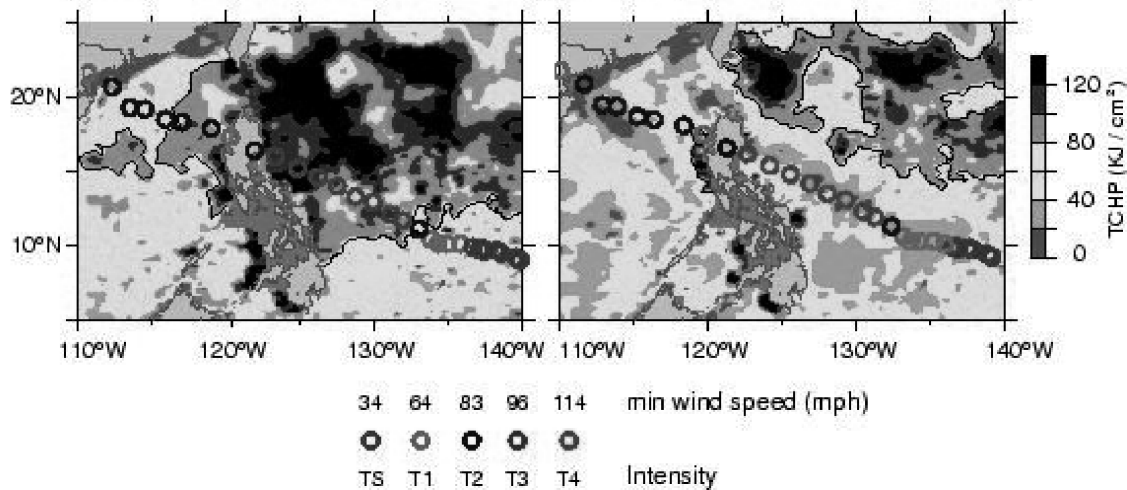
Los datos de SST procedentes de sensores que operan en el rango de infrarrojos y microondas, muchas veces no permiten identificar las estructuras térmicas subsuperficiales, como ocurre con la corriente de Lazo del Golfo de México durante meses, escondidas por una fina capa homogénea

J. A. Triñanes, G. Goñi y J. Varela

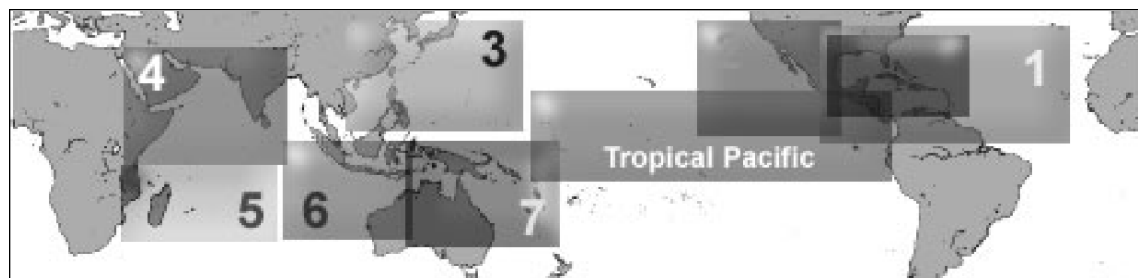
que no supone un obstáculo para los datos altimétricos, que permiten identificarlas. Así, este modelo, desarrollado por NOAA/AOML permite estimar la profundidad de la isoterma de 26° a partir de la relación existente entre la altura de la superficie marina y el campo de masa subyacente.

regiones en las que los ciclones tropicales tienen lugar (Figura 4):

- Atlántico N, Golfo de México y Caribe,
- Pacífico NE, incluyendo la costa occidental de Estados Unidos y Méjico.



**Figura 3.** Efecto del tifón Imbudo sobre los campos de TCHP entre 19 y 23 Julio del año 2003.



**Figura 4.** Regiones en las que los ciclones tropicales tienen lugar. En ellas generamos productos de mayor resolución espacial.

Es aquí donde definimos calor potencial de ciclones tropicales o TCHP (Tropical Cyclone Heat Potential) que representa la temperatura integrada verticalmente desde la superficie a la profundidad de la isoterma de 26°. Los campos de TCHP se estiman diariamente a partir de los datos de altímetros, radiómetros de microondas y climatologías. De manera experimental, este parámetro es empleado por el Joint Typhoon Center de la US Navy para sus predicciones de intensificación de tormentas tropicales.

Este producto tiene cobertura global. La interfaz web distribuye los mapas de alta resolución de las 7

- Pacífico NO, desde la línea de cambio de fecha a Asia, incluyendo el Mar de China.
- Índico N, abarcando la Bahía de Bengala y el Mar de Arabia.
- Índico SO, extendiéndose hasta Madagascar y la costa oriental del continente africano.
- Índico SE, englobando la costa occidental de Australia e Indonesia.

Incluimos también el Pacífico Central, debido al evidente interés en conocer y estudiar el contenido calórico de la capa superficial oceánica en esta región.

Los productos para cada una de las zonas, así como los mapas globales están disponibles de forma operacional en el servidor web de NOAA/AOML. CWCGoM también contribuye a la distribución de estos productos que incluyen, además de TCHP, los campos de SHA, temperatura superficial marina y la profundidad de la isoterma de 26°. Los mapas de TCHP incluyen los contornos de 50 y 100 KJ/cm<sup>2</sup>.

El usuario de la interfaz puede acceder fácilmente al archivo completo de mapas usando un buscador diseñado para realizar esta función.

## BIBLIOGRAFÍA

- BRASETH, A. M. 1986. Statistical interpolations by means of successive corrections. *Tellus Ser. A* 38: 439-447.
- DIGBY, S., ANTCZAK, T., LEBEN, R., BORN, G., BARTH, S., CHENEY, R., FOLEY, D., GOÑI, G., JACOBS, G. y SHAY, L. 1999. Altimeter Data for operational Use in the Marine Environment. *Oceans 99*, Seattle.
- FOX, A., HAINES, K., DE CUEVAS, B. y WEBB, D. 2000. Altimeter Assimilation in the OCCAM Global Model, Part II: TOPEX/POSEIDON and ERS1 Data. *J. Mar. Sys.* 26: 323-347.
- FU, L. L. y CAZENAVE, A. 2001. *Satellite altimetry and Earth sciences, A Handbook of techniques and applications*. Academic Press, International Geophysics Series, San Diego.
- GOÑI, G., BLACK, P. y TRIÑANES, J. 2003. Using satellite altimetry to identify regions of hurricane intensification. *AVISO Newsletter* May.
- GOÑI, G. y TRIÑANES, J. 2003. Ocean thermal structure monitoring could aid in the intensity forecast of tropical cyclones. *EOS Trans. AGU* 84: 573-580.
- RIO, M. H. y HERNANDEZ, F. 2004. A mean dynamic topography computed over the world ocean from altimetry, *in situ* measurements, and a geoid model. *J. Geophys. Res.* 109, C12032.
- SHAY, L. K., GOÑI, G. y BLACK, P. 2000. Effect of a Warm Ocean Ring on Hurricane Opal. *Mon. Weath. Rev.* 128: 1366-1383.
- RIO, M.-H. y F. HERNANDEZ. 2004. A mean dynamic topography computed over the world ocean from altimetry, *in situ* measurements and a geoid model. *J. Geophys. Res.* 109, C12032.
- SHAY, L. K., GOÑI, G. y BLACK, P. 2000. Effect of a Warm Ocean Ring on Hurricane Opal. *Mon. Weath. Rev.* 128: 1366-1383.