

Variabilidad de la Corriente Circumpolar Antártica a partir de datos de altimetría

M. Arias, J. J. Alonso, J. Gómez-Enri, P. Villares y M. Catalán
m.ariasballe@alum.uca.es

*Universidad de Cádiz (UCA). Facultad de Ciencias del Mar y Ciencias Ambientales CASEM.
Polígono del Río San Pedro s/n. Puerto Real. 11510 Cádiz*

RESUMEN

Se presenta una primera aproximación al análisis de la variabilidad de la Corriente Circumpolar Antártica utilizando datos de altimetría del Topex/Poseidon. Se ha calculado la varianza interanual en la región situada entre los paralelos 45 y 65°S. En el análisis de la distribución espacial de la varianza, que se considera como indicador de la presencia de vórtices antárticos, se han encontrado relaciones entre vórtices y accidentes submarinos así como evidencias de la influencia de las oscilaciones de El Niño y La Niña sobre la intensidad de tales fenómenos.

PALABRAS CLAVE: Corraiente Circumpolar Antártica, altimetría, TOPEX/Poseidon.

ABSTRACT

A first approach on the temporal variability of the Antarctic Circumpolar Current (ACC) is presented from the analysis of the TOPEX/Poseidon altimeter data. The interannual variance is computed between the 45 and 65°S of latitude. The spatial analysis of the variance of the ACC leads to the conclusion that the areas of high variance are located where the marine topography presents accidents. Some relationships between the variability of the ACC and El Niño and La Niña are pointed out.

KEY WORDS: Antarctic Circumpolar Current, altimetry, TOPEX/Poseidon.

INTRODUCCIÓN

Una de las aplicaciones más interesantes de la altimetría es el estudio de la evolución temporal de la anomalía de la superficie de elevación (*sea level anomaly*, SLA). La SLA se define como la altura de la superficie del mar sobre la superficie de nivel medio del mar una vez que se ha eliminado las señales dinámicas debidas a las mareas y a las variaciones de la presión atmosférica. Una de las posibilidades es transformar las variaciones espaciales de la SLA en gradientes de presión, para así calcular las velocidades geostroficas asociadas a tales gradientes. En Pujol y Larnicol (2005) se presenta un estudio riguroso de la energía cinética asociada a los vórtices en el Mar Mediterráneo empleando tales velocidades. Larnicol *et al.* (2002) utilizaron la raíz cuadrática media de la SLA para la identificación de las zonas de mayor variabilidad en el Mar Mediterráneo utilizando datos del Topex/Poseidon y de ERS-1/2.

En las zonas polares, los flujos de energía asociada a los vórtices están relacionados con la regula-

ción del clima (Morrow *et al.*, 2003). La formación de los vórtices de la Corriente Circumpolar Antártica (ACC) es el mecanismo principal de transporte de masas de agua frías hacia latitudes más bajas, que al absorber calor de la atmósfera y de las masas de agua circundantes, implica un control de la temperatura de las regiones inferiores de la atmósfera (Menard *et al.*, 1995).

Este trabajo es una primera aproximación al estudio de la actividad de los vórtices asociados a la ACC utilizando los datos de altimetría procedentes de diez años del Topex/Poseidon. La actividad de los vórtices introduce variaciones en la SLA medida a lo largo de las trazas del satélite que observadas en el tiempo, permiten identificar las zonas de generación de los vórtices, así como los momentos de mayor actividad.

Los autores utilizan para tal fin la varianza interanual de la SLA, localizando las zonas y tiempos en los que los vórtices parecen más intensos. Adicionalmente se apuntan algunas de las posibles causas de tal actividad, que son objeto de estudios futuros, enmarcados dentro de la actividad del Año Polar Internacional.

DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS Y METODOLOGÍA

Se han empleado datos de altimetría procedentes de la misión Topex/Poseidon. El periodo seleccionado comprende desde diciembre de 1992 hasta diciembre de 2002, considerando las trazas de cada ciclo repetitivo de diez días. Los datos fueron filtrados siguiendo las recomendaciones de AVISO (1996), y a cada medida se le aplicaron las correcciones instrumentales, atmosféricas (troposférica seca, húmeda, y por el contenido de electrones de la ionosfera), el efecto de barómetro invertido, y el sesgo por el estado del mar (AVISO 1998).

Para la determinación de la SLA se eliminaron las variaciones introducidas por la marea elástica del océano, la marea terrestre, y la deformación de la corteza terrestre.

Los valores de la SLA se calcularon mediante la expresión:

$$SLA = H_Alt - H_MSS \quad (1)$$

donde H_Alt es la altura del satélite sobre el elipsoide de referencia una vez aplicadas todas las correcciones, y H_MSS el nivel medio de la superficie del mar sobre el elipsoide de referencia evaluado en el punto de medida, tomados del OSUMSS95 (AVISO, 1998). Asimismo, los datos fueron sometidos a un control de calidad para eliminar los picos espúreos.

Para la determinación de los valores de la varianza se creó una malla cuadrada de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ que se aplicó a la zona de estudio. La varianza se calculó utilizando los datos de SLA que correspondían a cada celda. Para el cálculo de la varianza interanual se utilizaron los datos en intervalos regulares de doce meses. La determinación de la varianza se realizó mediante el cómputo del valor medio de todas las medidas de SLA incluidas en cada celda para el intervalo de tiempo contemplado, determinando luego la desviación cuadrática media de las medidas con respecto a dicho valor.

La utilización de la varianza en lugar de la desviación estándar aplicada por Larnicol *et al.* (2002) se explica por dos razones. La primera es que permite resaltar más la variabilidad de las zonas que son dinámicamente más activas respecto de aquellas que no lo son. La segunda es que está relacionada directamente con el contenido de energía de la señal sometida a estudio (Emery y Thomson, 1998), de modo que es

posible asemejar que las zonas de mayor variación presentan mayores niveles de energía.

Los datos de la topografía marina han sido obtenidos empleando la base ETOPO2. En la Figura 1 se presenta la batimetría sobre la que fluye la ACC.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comentario de los resultados se ha hecho en dos partes. En primer lugar la distribución espacial de la variabilidad de la SLA, y en segundo la variabilidad temporal.

Se han comparado los resultados obtenidos con el trabajo de Stammer y Wunsch (1999), en el que se determinó la formación de vórtices utilizando datos del Topex/Poseidon y estimando la energía contenida en los vórtices o EKE (*eddy kinetic energy*) a escala global. No obstante utilizaron cuatro años de datos únicamente, lo que para el estudio de la variabilidad interanual es escaso y justifica el análisis decadal.

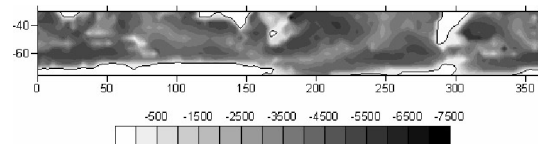


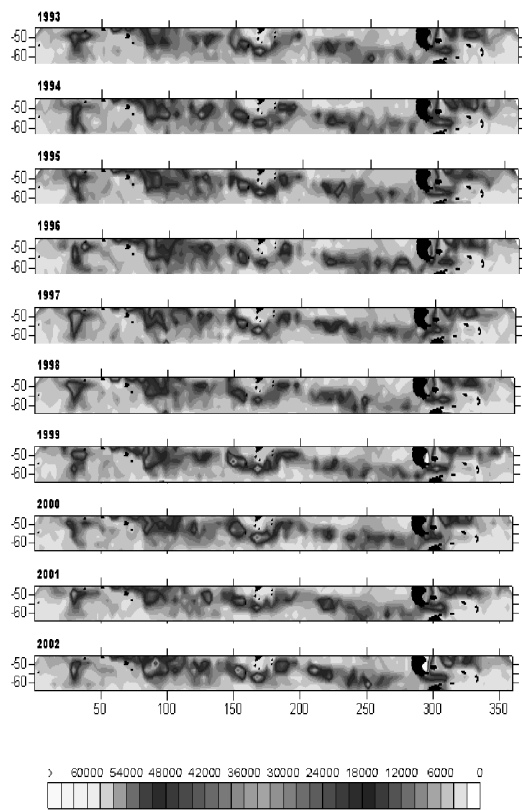
Figura 1. Batimetría y línea de costa de la región entre los 35° y los 70° de latitud. Las profundidades están expresadas en metros.

La Figura 2 muestra la variabilidad interanual de la ACC, expresada en términos de varianza de la SLA. Para el estudio de la distribución espacial, se ha recurrido a la comparación con los datos de batimetría del fondo marino (Figura 1).

En todas las figuras se observan varias regiones donde la variabilidad es significativamente superior al resto, que serán detalladas y discutidas a continuación.

Para efectuar el estudio de la variabilidad temporal se han empleado los datos de ocurrencia del El Niño obtenidos del Centro de Predicción del Clima (*Climate Prediction Center*) de NOAA (*National Oceanographic and Atmospheric Agency*). La evolución anual del índice de El Niño se presenta en la Figura 3. Los años con anomalías superiores a $+0.5^\circ\text{C}$ se consideran como afectados por El Niño, y aquellos con anomalías inferiores a -0.5°C como afectados por La Niña (Trenberth, 1997).

M. Arias, J. J. Alonso, J. Gómez-Enri, P. Villares y M. Catalán



*Figura 2. Mapas de la varianza interanual de la SLA registrada en una malla cuadrada de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, en mm^2 .

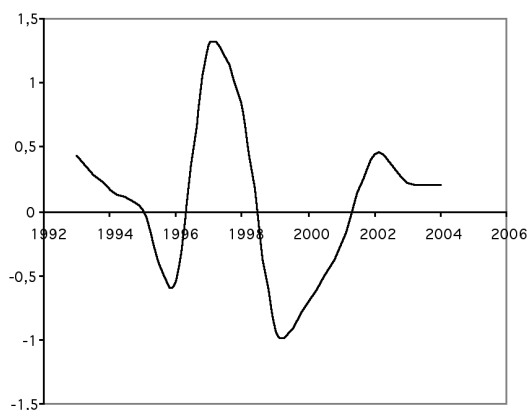


Figura 3. Valor promedio de anomalía de la temperatura por los índices climáticos Niño 1+2, Niño 3, Niño 4, Niño 3+4. El eje x es la anomalía expresada en grados Celsius, y el eje y el periodo de tiempo comprendido entre los años 1993 y 2004.

Plataforma Argentina

Es la zona donde la variabilidad adquiere sus valores máximos. La ACC circula en dirección Este y uno de sus pasos obligados es el Estrecho de Drake. La presencia de las Islas Malvinas fuerza a la corriente a desplazarse más hacia el norte para volver hacia el sur y continuar su trayecto, pero cuando se aproxima a este punto, la ACC choca contra el talud de la plataforma argentina justo después de atravesar el estrecho (Figura 1). De la interacción de la ACC con la plataforma deben surgir numerosos vórtices y fenómenos transitorios (Laricol *et al* 2002), que originan la variabilidad medida, y que luego se trasladan a latitudes más meridionales. Previsiblemente cuanto más intensa sea la ACC es de esperar que la variabilidad aumente en la región.

En este caso, las condiciones geográficas provocan que la ACC sufra un estrechamiento con el consiguiente aumento de energía cinética (Figura 2).

Los años de mayor intensidad se corresponden a 1996, 1999, y 2002 (Figuras 2 y 3). Los dos primeros se corresponden a etapas propias de La Niña, pero en el año 2002 se da una situación más cercana a la de El Niño, si bien es cierto que en 2000 y 2001 también se produjo el fenómeno de La Niña, aunque el año más intenso fue 1999, con una anomalía promedio de -1°C . Por tal circunstancia es difícil establecer si la intensificación de la variabilidad en tales años se debe a una conexión de este tipo.

Límite Neozelandés

Cuando la ACC se aproxima a la región sur de Nueva Zelanda, entre los 150° y los 180°E (Figura 1), se enfrenta a profundidades reducidas inferiores a los 500 m. La ACC gira al sur, bordeando este límite, pero induciendo la aparición de una variabilidad significativa. Las estructuras generadas se deslizan hacia el Este, impulsadas por la propia ACC (Figura 2).

La variabilidad en esta zona tiene un comportamiento similar a lo que ocurre en las inmediaciones del Estrecho de Drake (Figuras 2 y 3). Se detectan magnificaciones en los años de La Niña, con el repunte, de origen desconocido, del año 2002. Sin embargo, parece que sólo cuando La Niña es más

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color

intensa (1999-2000) es cuando se produce una intensificación significativa. La Niña de 1996 parece no poseer influencia, y la del 2001 tampoco. La del 2001 es muy débil.

Cordillera Kerguelen

La presencia de las Islas Kerguelen (entre los 70° 75°E) y su cordillera submarina homónima suponen una restricción para la corriente (Figura 1). De la interacción con estos límites geográficos surge la variabilidad observable en la Figura 2. Las estructuras de variabilidad surgen justo después del obstáculo, propagándose hacia el Este con la ACC (Figura 2). La aparición de variabilidad a causa de fenómenos parecidos ha sido documentada por Stewart *et al.* (1996) que analizaron la formación de giros como consecuencia de la interacción de la ACC con la cordillera submarina del Pacífico Este.

En esta región la variabilidad tiene una respuesta pareja a lo señalado para la plataforma argentina. Los años en los que se produce La Niña es cuando se produce la intensificación. En el año 2002, próximo a un estado de El Niño, también se produce la intensificación como en casos anteriores (Figuras 2 y 3).

Cabo Verde

Al sur del Cabo Verde, entre los 20° y los 25°E (Figura 1), aparece una zona de variabilidad intensa (Figura 2). En este caso podría explicarse, más que por una cuestión de límites geográficos, como el resultado del choque con la corriente de las Aghulas, que se desplaza por el Canal de Mozambique hacia el sur hasta penetrar en la ACC. Estas estructuras fueron detectadas por Aken *et al.* (2003) combinando altimetría y medidas *in situ*, por Lutjeharms *et al.* (2003) mediante datos *in situ*, y por Gouretski y Danilov (1993) empleando medidas del GeoSat para la caracterización de anillos cálidos dentro de la ACC. El flujo de la ACC provoca el redireccionamiento de la corriente de Aghulas, cambiando de una trayectoria suroeste a una sureste, fenómenos con energía más que suficiente como para liberar vórtices y otros giros de menor entidad, que por la inercia de la corriente de las Aghulas se desplazan hacia el continente antártico, perdiendo intensidad en el proceso.

Los resultados muestran que es en 1997 y 1998 cuando la variabilidad es mayor. Comparando con los índices de anomalía de temperatura, esos años coinciden con los dos en los que el fenómeno de El

Niño fue más intenso, con una anomalía superior a +2°C. Tal circunstancia puede deberse a una posible intensificación de la corriente de Aghulas como consecuencia de El Niño. Somayajulu *et al.* (2003) reflejan en su trabajo cómo las SLAs detectadas en el Golfo de Bengala se hacen más positivas cuando tiene lugar El Niño, circunstancia que puede producir un incremento en el transporte de agua desde el Índico hacia la ACC. Aunque hay otros años, dentro del intervalo temporal estudiado en los que se produce El Niño, la variabilidad no parece modificarse significativamente cuando el fenómeno es de baja intensidad. Este comportamiento podría deberse a que El Niño, aunque tiene influencia global, tiene lugar en la cuenca del Océano Pacífico, por lo que es esperable que tenga una mayor influencia en las zonas más próximas, afectando en menor grado a las regiones más alejadas, y sólo cuando la magnitud del fenómeno es grande.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado a través del proyecto CGL2004-01473/CLI y del PAI de la Junta de Andalucía RNM337.

BIBLIOGRAFÍA

- AVISO. 1996. Aviso Handbook for Merged Topex/Poseidon Products, AVI-NT-02-101-CN, Edition 3.0.
- AVISO. 1998. Aviso Handbook SLA, AVI-NT-011-312-CN, Edition 3.1.
- AKEN, H. M., VELDHOFEN, A. K., VETH, C., RUITJER, W. P. M., LEEUWEB, P. J., DRIJFHOUT, S. S., WHITTLE, C. P. y ROUAULT, M. (2003). Observations of a young Agulhas ring, Astrid, during MARE in March 2000. *Deep-Sea Res. Part II* 50: 167-195.
- EMERY, W. J. y THOMSON, R. E. 1997. *Data Analysis methods in Physical Oceanography*. Pergamon. pp. 404-500.
- GOURETSKI, V., y DANILOV, A. I. 1994. Characteristics of warm rings in the African sector of the Antarctic Circumpolar Current. *Deep-Sea Res. Part I* 41 (8): 1131-1157.
- LARNICOL, G., AYOUB, N. y LE TRAON, P. Y. 2002. Major changes in Mediterranean Sea level variability from 7 years of TOPEX/Poseidon and ERS-1/2 data. *J. Mar. Sys.* 33-34: 63-89.

M. Arias, J. J. Alonso, J. Gómez-Enri, P. Villares y M. Catalán

- LUTJEHARMS, J. R. E., BOEBELI, O. y ROSSBY, H. T. 2003. Agulhas cyclones. *Deep-Sea Res. Part II* 50: 13-34.
- MENARD, Y., LEFEBVRE, M. y ESCUDIER, P. M. 1995. Ocean and Climate: A quantitative answer, TOPEX/Poseidon. *Acta Astron.* 37: 293-299.
- MORROW, R., BRUT, A., y CHAIGNEAU, A. 2003. Seasonal and interannual variations of the upper ocean energetics between Tasmania and Antarctica. *Deep-Sea Res. Part I* 50: 339-356.
- PUJOL, M. -I. y LARNICOL, G. 2005. Mediterranean sea eddy kinetic energy variability from 11 years of altimetric data. *J. Mar. Sys.* 58: 121-142.
- SOMAYAJULU, Y. K., MURTY, V. S. N. y SARMA, Y. V. B. 2003. Seasonal and inter-annual variability of surface circulation in the Bay of Bengal from TOPEX/Poseidon altimetry. *Deep-Sea Research Part II* 50: 867-880.
- STAMMER, D. y WUNSCH, C. 1999. Temporal changes in eddy energy of the oceans. *Deep-Sea Res. Part II* 46: 77-108.
- STEWART, R. H., SHUM, C. K., TAPLEY, B. y JI, L. 1996. Statistics of geostrophic turbulence in the southern ocean from satellite altimetry and numerical models. *Physica D.* 98: 599-613.
- TRENBERTH, K. E. 1997. The Definition of El Niño. *Bull. Am. Meteor. Soc.* 78: 2771-2777.