

## DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO AUTOMÁTICO DE VÓRTICES EN LA CUENCA CANARIA CON ALTÍMETROS. APLICACIÓN DEL PARÁMETRO DE OKUBO-WEISS

D. Suárez-Molina (\*) y L. García-Weil (\*\*).

(\*) *Grupo de Predicción y Vigilancia. Centro Meteorológico Territorial de Canarias (AEMET).  
C/ Historiador Fernando de Armas, 12. 35071 Las Palmas de Gran Canaria (Las Palmas) dsuarez@innm.es*  
(\*\*) *Departamento de Física. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Campus de Tafira s/n.  
35017 Las Palmas de Gran Canaria (Las Palmas).*

### RESUMEN

En este trabajo se ha aplicado, al conjunto de los datos de los altímetros para un periodo de 15 años (1993-2007), un método basado en el parámetro de Okubo-Weiss que identifica remolinos en la Cuenca Canaria y lleva a cabo su seguimiento. Para esta zona influenciada por la costa africana y los archipiélagos de Madeira, Canarias y Cabo Verde se han obtenido las propiedades estadísticas de varios parámetros de los remolinos, así como sus trayectorias. Los resultados muestran las zonas de generación y rutas de propagación de las estructuras.

### ABSTRACT

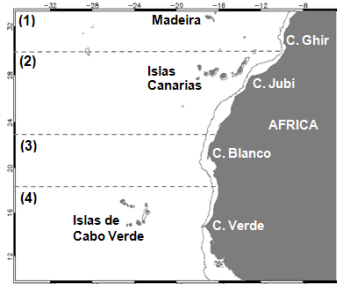
In this work a method based in the Okubo-Weiss parameter has been applied to the altimeter data set covering a fifteen year period (1993-2007). By this way it is possible to identify and track mesoscale eddies in the Canary Basin. Then, the statistics of several eddy parameters and their trajectories in the area of interest have been obtained. This area is influenced by the African coastline and the Canary, Madeira and Cape Vert Archipelagos. The results show places of eddy generation and the main propagation routes.

**Palabras clave:** teledetección del océano, altímetro, remolinos o vórtices, parámetro de Okubo-Weiss.

### INTRODUCCIÓN

Hoy en día el altímetro es una valiosa herramienta para estudiar la variabilidad mesoescalar oceánica a escala local (ej. Henson y Andrew 2008) y global (ej. Chelton *et al* 2007). Esto es así al poder combinar datos de distintos altímetros (Le Traon *et al* 2003) y por los avances en los métodos de detección de remolinos (Isern-Fontanet *et al* 2003). En este trabajo se usaron los datos del altímetro para estudiar la actividad mesoescalar en la Cuenca de Canarias (Figura 1).

Esta región contiene tres archipiélagos con características diferentes, lo que permite realizar un estudio comparativo. En cuanto al número de islas que conforman cada uno de ellos, las islas Canarias y las de Cabo Verde están formadas por siete y diez islas mientras que Madeira solo por dos. En relación a su distancia a la costa africana, las islas Canarias se encuentran bastante próximas a ésta, mientras que tanto el archipiélago de Madeira como las islas de Cabo Verde se asientan en aguas oceánicas abiertas. Es por esto que el área de estudio se subdividió en las cuatro subregiones mostradas en la Figura 1.



**Figura 1.-** Subregiones del área: Cabo Ghir (1), Canarias (2), Cabo Blanco (3) y Cabo Verde (4).

### DATOS Y MÉTODOS

Este trabajo usa una serie temporal de datos de anomalía del nivel del mar (ANM) del altímetro para el periodo 1993-2007. Estos datos, tienen una resolución de 7 días y 0,25° en latitud y longitud.

A partir de los datos de ANM se obtuvo el campo de velocidades ( $u$ ,  $v$ ) asumiendo geostrofia. Con este se calculó la vorticidad relativa ( $\omega$ ) y las componentes normal ( $s_n$ ) y tangencial ( $s_t$ ) de la deformación del flujo, a través de:

$$\omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}, \quad s_n = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}, \quad s_r = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$$

De este modo, el parámetro de Okubo-Weiss,  $W$ , se define como

$$W = s_n^2 + s_r^2 - \omega^2$$

Los remolinos oceánicos poseen una región central de alta vorticidad, donde domina la rotación, rodeada por una zona con una alta deformación. El signo de  $W$  permite detectar su núcleo, ya que allí  $W < 0$ . El umbral establecido para localizarlos con  $W$  ha sido  $-0,2\sigma_W$  donde  $\sigma_W$  es la desviación estándar de  $W$ .

Además de localizar los remolinos también se han calculado su radio ( $r_c$ ), energía cinética ( $E$ ) y amplitud ( $a$ ) o valor máximo de  $W$ . Equiparando automáticamente los remolinos calculados en cada mapa de  $W$ , se obtuvo la trayectoria de los vórtices, su duración ( $d$ ), velocidad de desplazamiento ( $V$ ) y el número de remolinos por año ( $N$ ).

Con el objeto de obtener solo información de los vórtices intensos que persisten por un cierto periodo, los datos fueron filtrados en base a la amplitud, el tamaño y la duración de las estructuras. Así son vórtices intensos aquellos cuya amplitud es superior a dos en valor absoluto, los límites de  $W$  encierran al menos cuatro píxeles de  $0,25^\circ$  y el tiempo de duración es superior a ocho semanas.

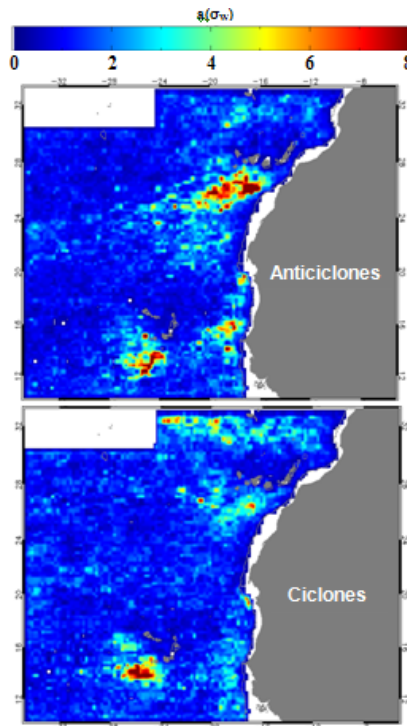
## RESULTADOS

La aplicación del método descrito a los datos del altímetro detecta 15144 anticiclones y 14522 ciclones para 1993-2007. Las propiedades estadísticas de algunos parámetros de estos vórtices se muestran en la Tabla 1, y diversos aspectos de su distribución espacial en las Figuras 2 y 3.

**Tabla 1.-** Media y desviación típica de la amplitud ( $a$ ), Energía ( $E$ ) y radio equivalente ( $r_c$ ) para los vórtices ciclónicos (+) y anticiclónicos (-).

Parámetro	Media		Desv. típica	
	-	+	-	+
$a(\sigma_W)$	1,48	1,50	2,0	1,7
$E(\text{cm}^2 \text{s}^{-2})$	28,6	29,1	38,6	34,9
$r_c(\text{km})$	77	79	61	63

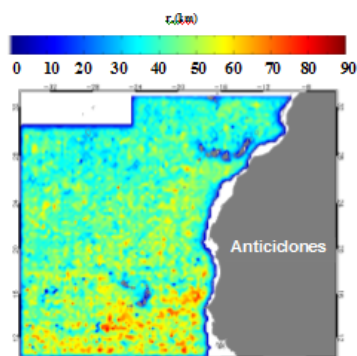
Ambos tipos de remolinos poseen características estadísticas parecidas. Los valores de la amplitud coinciden con los de un estudio realizado en el Mediterráneo (Isern-Fontanet *et al* 2006), aunque allí los remolinos son más energéticos pero de tamaño inferior.



**Figura 2.-** Distribución espacial de la amplitud de todos los vórtices para el periodo 1993-2007.

Las distribuciones espaciales de la amplitud (Figura 2) y la energía (no mostrada) tienen una buena correspondencia. Para los anticiclones los valores de amplitud más altos ( $>4$ ) se sitúan al sur de las islas Canarias y de Cabo Verde, y cerca de la costa africana en las proximidades de Cabo Verde. Al sur de Madeira y oeste de Cabo Blanco y Cabo Ghir los valores son moderados ( $>2$ ). Para los ciclones los valores más altos de la amplitud se sitúan al sur de las islas de Cabo Verde, y son menores en intensidad y extensión al sur de Canarias. En este caso se observa una franja al sur de Madeira cuyos valores disminuyen hacia el este, que podría ser la influencia del Frente de las Azores. Cerca de la costa africana hay valores moderados en las proximidades de Cabo Ghir y Cabo Verde.

La distribución espacial de los tamaños (Figura 3) ofrece un patrón distinto. Esta no parece asociarse a la intensidad de la variabilidad mesoescalar, ya que tanto anticiclones como ciclones (no mostrados) disminuyen su tamaño al incrementarse la latitud, que podría estar asociado al decrecimiento del radio de Rossby con la latitud.



**Figura 3.-** Distribución espacial de los tamaños de todos los vórtices para el periodo 1993-2007.

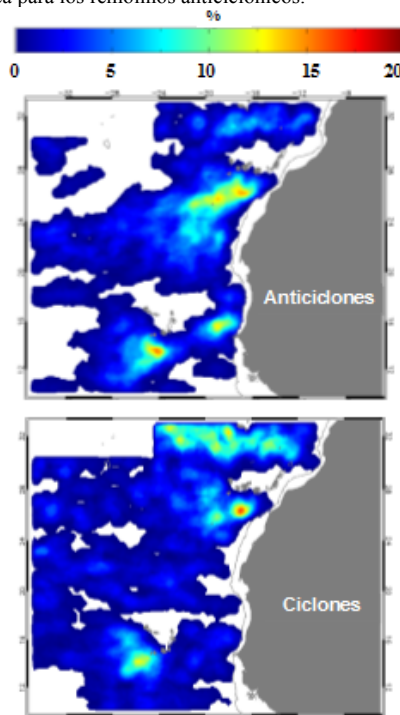
Los valores de amplitud y energía moderados y altos indican los lugares donde se encuentran los vórtices más intensos, que son los principales artífices de la variabilidad mesoescalar. Con el objetivo de seleccionar estos, se usaron los procedimientos de filtrado ya expuestos, descartando así los remolinos menos intensos y más efímeros, más afectados por el ruido y los métodos aplicados a los datos. Después de esto, el número se reduce a 294 anticiclones y 340 ciclones.

La Figura 4 representa el porcentaje del área de interés cubierto por estos remolinos intensos y muestra una gran similitud con la Figura 2, coincidiendo los valores más altos de la amplitud con los lugares con un mayor porcentaje de vórtices intensos. Se puede observar que al norte de las Islas Canarias y las islas de Cabo Verde hay una zona donde los vórtices intensos de ambos tipos no están presentes, contrastando notablemente con lo que sucede al sur de estos archipiélagos. Por otro lado, la Figura 4 revela que el área total cubierta por los remolinos ciclónicos es ligeramente superior a la que ocupan los anticiclónicos.

**Tabla 2.-** Amplitud ( $a$ ), Energía ( $E$ ), radio ( $r_c$ ), duración ( $d$ ), vórtices por año ( $N$ ) y velocidad de propagación ( $V$ ) de los ciclones (+) y anticiclones (-) intensos para toda el área de interés.

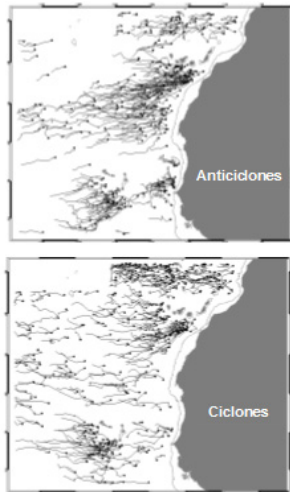
Parámetro	Media		Desv. típica	
	-	+	-	+
$a$ ( $\sigma_w$ )	6,2	5,0	4,5	2,8
$E$ ( $\text{cm}^2 \text{s}^{-2}$ )	87,9	70,8	67,5	40,3
$r_c$ (km)	63,4	62,2	12,2	12,9
$d$ (sem.)	15	14	9	7
$N$ ( $\text{año}^{-1}$ )	20	23	3	4
$V$ ( $\text{cm s}^{-1}$ )	3,5	3,3	1,8	1,9

Las propiedades de estos vórtices intensos (Tabla 2) reflejan ciertas diferencias entre ciclones y anticiclones, observándose que salvo en el número de estructuras generadas por año, el valor del resto de los parámetros es ligeramente superior en toda el área para los remolinos anticiclónicos.



**Figura 4.-** Presencia de los remolinos intensos (%) en el área de interés en el periodo 1993-2007.

En relación a la trayectoria descrita por los vórtices más intensos (Figura 5) tanto los ciclones como los anticiclones se propagan mayoritariamente hacia el oeste, aunque los primeros se desvían ligeramente al norte mientras que los segundos lo hacen hacia el sur en concordancia con lo observado en otros trabajos (Morrow *et al* 2004). También se observa que los remolinos anticiclónicos se encuentran agregados formando grupos reconocibles, entre los que destaca el constituido por los vórtices generados al sur de las islas Canarias y al oeste de Cabo Blanco. Por el contrario, las trayectorias de los vórtices ciclónicos aparecen más dispersas en el área de interés.



**Figura 5.-** Trayectoria de los vórtices más intensos para el periodo 1993-2007.

**Tabla 3.-** Similar a la tabla 2 pero por regiones.

Parámetro	Media		Desv. típica	
	-	+	-	+
<b>C. Ghir</b>				
$a(\sigma_w)$	4,5	5,6	2,4	3,1
$E(\text{cm}^2 \text{s}^{-2})$	50,5	64,3	22,7	36,6
$r_e(\text{km})$	54,1	55,4	9,2	10,5
$d(\text{sem.})$	13	17	8	10
$N(\text{año}^{-1})$	2	7	3	2
$V(\text{cm s}^{-1})$	2,6	2,5	1,6	1,6
<b>Canarias</b>				
$a(\sigma_w)$	7,2	4,5	5,5	2,2
$E(\text{cm}^2 \text{s}^{-2})$	90,7	60,0	74,2	29,3
$r_e(\text{km})$	59,9	59,9	8,6	7,7
$d(\text{sem.})$	18	13	11	6
$N(\text{año}^{-1})$	7	8	3	3
$V(\text{cm s}^{-1})$	3,5	3,2	1,5	1,7
<b>C. Blanco</b>				
$a(\sigma_w)$	4,8	4,0	2,4	1,5
$E(\text{cm}^2 \text{s}^{-2})$	70,2	64,6	32,4	24,6
$r_e(\text{km})$	65,4	69,0	9,2	11,1
$d(\text{sem.})$	15	13	6	5
$N(\text{año}^{-1})$	3	3	2	2
$V(\text{cm s}^{-1})$	3,8	4,0	1,6	1,9
<b>C. Verde</b>				
$a(\sigma_w)$	6,2	5,6	3,8	3,6
$E(\text{cm}^2 \text{s}^{-2})$	121,9	104,6	75,0	61,8
$r_e(\text{km})$	75,5	74,3	12,0	12,5
$d(\text{sem.})$	13	12	6	5
$N(\text{año}^{-1})$	5	5	2	1
$V(\text{cm s}^{-1})$	4,2	4,6	2,2	2,1

Las propiedades de los vórtices para cada una de las subregiones en que se dividió el área de interés, se muestran en la Tabla 3. Destaca que salvo para el área de Cabo Ghir que está influenciada por el Frente de las Azores, los remolinos anticiclónicos presentan los valores mayores de amplitud, energía y duración. Comparando las distintas zonas se observa que el área de Canarias presenta los remolinos anticiclónicos de mayor amplitud y duración, mientras que los ciclónicos se encuentran en Cabo Ghir. Al igual que para los tamaños, las velocidades de propagación disminuyen hacia el norte.

## CONCLUSIÓN

Este estudio ha permitido profundizar y extraer información de las características de los remolinos mesoescalares en la Cuenca de Canarias empleando el parámetro de Okubo-Weiss que ha sido aplicado a los datos del altímetro.

## BIBLIOGRAFÍA

- Chelton, D.B., Schlax, M.G., Samelson, R.M. y de Szoeke, R.A. 2007. Global observations of large oceanic eddies, *Geophysical Research Letters* 34, L15606.
- Henson, S.A. y Thomas, A.C. 2008. A census of anticyclonic eddies in the Gulf of Alaska, *Deep-Sea Research* 55, 163-176.
- Isern-Fontanet, J., García-Ladona, E. y Font, J. 2003. Identification of marine eddies from altimetric maps, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 20, 772-778.
- Isern-Fontanet, J., García-Ladona, E. y Font, J. 2006. Vortices of the Mediterranean Sea: An altimetric perspective, *Journal of Physical Oceanography* 36, 87-103.
- Le Traon, P.Y., Faugere, Y., Hernandez, F., Dorandeu, J., Mertz, F. y Ablain, M. 2003. Can we merge GEOSAT follow-on with TOPEX/Poseidon and ERS-2 for an improved description of the ocean circulation? , *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 20, 889-895.
- Morrow, R., Birol, F., Griffin, D. y Sudre, J. 2004. Divergent pathways of cyclonic and anti-cyclonic ocean eddies, *Geophysical R. Letters* 31, L24311.

## AGRADECIMIENTOS

Los productos del altímetro fueron generados por Ssalto/Duacs y distribuidos por AVISO. Este trabajo se financió por el MCEI con el proyecto INTEGCAN CGL2004 02235.