

Análisis combinado de datos de satélite de sensores pasivos y activos en el seguimiento de los remolinos generados en las Islas Canarias

L. García-Weil*, A. Tejera*, J. Cárdenes*, L. Maroto**, J. Pérez-Marrero** y A. Luque-Sölheim***
Igarcia@dfis.ulpgc.es

* Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC).
Dpto. de Física. 35017 Las Palmas de Gran Canaria

** Instituto Canario de Ciencias Marías (ICCM), apartado 56. 35200 Telde. Gran Canaria
Apdo. 56. 35200 Telde. Gran Canaria

*** Universidad de les Illes Balears (UIB). Dpto. Física. Grupo de Meteorología. 07122 Palma de Mallorca

RESUMEN

A través del análisis de datos de satélite procedentes del sensor AVHRR y de los altímetros ERS-2 y T/P se analizan algunos aspectos relacionados con la generación y evolución de los remolinos ciclónicos y anticiclónicos que se forman al incidir la Corriente de Canarias sobre el Archipiélago Canario. De este estudio se concluye que si bien los remolinos ciclónicos se generan más frecuentemente que sus homólogos anticiclónicos, son estos últimos los que alcanzan tiempos de vida y tamaños mayores, desempeñando un papel relevante en la actividad mesoescalar observada al sur de las Islas Canarias.

PALABRAS CLAVE: remolinos, actividad mesoescalar, AVHRR (Advance Very High Resolution Radiometer), ERS (European Remote-Sensing Satellite), T/P (TOPEX/POSEIDON) ciclón, anticiclón, Islas Canarias.

ABSTRACT

Some aspects related to the generation and evolution of cyclonic and anticyclonic eddies, created by the incident flow of the Canary Current colliding with the Canary archipelago, are analysed through the combination of satellite data coming from the AVHRR sensor and the ERS-2 and T/P altimeters. In spite of cyclonic eddies are generated more frequently than anticyclonic ones, it is shown that anticyclonic vortices have higher sizes and longer lifetimes than cyclonic ones, playing an important role in the mesoscale activity observed south of the Canary Islands.

KEY WORDS: eddies, mesoscale activity, AVHRR (Advance Very High Resolution Radiometer), ERS (European Remote-Sensing Satellite), T/P (TOPEX/POSEIDON), cyclone, anticyclone, Canary Islands.

INTRODUCCIÓN

La dinámica oceanográfica de las aguas situadas al sur del archipiélago canario muestra una elevada variabilidad, que en parte viene dada por la propia presencia del archipiélago, que actúa ejerciendo de obstáculo a las corrientes y vientos dominantes. Esto da lugar a la presencia de remolinos de carácter ciclónico y anticiclónico de origen insular, que pueden extenderse en la zona de transición costera interaccionando con las estructuras mesoescales típicas de un margen costero oriental.

El importante papel ejercido por estos vórtices se revela en los primeros estudios (Aristegui *et al.*,

1994). Estos tienen limitaciones en la cobertura espacial y temporal de sus observaciones, que no suelen ser de más de un mes y estar localizadas, quedando distintos aspectos por conocer.

El empleo de los datos de teledetección en este área ofrece una buena equivalencia entre estas medidas y las obtenidas con dispositivos de medida *in-situ*, validando su uso (Tejera *et al.*, 2002). La utilización de largas series de datos de satélite permite conocer la evolución y eventual destino de estas estructuras mesoescales (García-Weil *et al.*, 2003; Pingree y García-Soto, 2004).

En este trabajo se usan datos de sensores remotos pasivos (AVHRR) y activos (altímetros T/P y ERS-2) para llevar a cabo un análisis conjunto de los

remolinos generados por las Islas Canarias. Las escenas del sensor AVHRR reúnen los requerimientos espaciales y temporales necesarios para estudiar estos remolinos oceánicos, pero ciertos procesos atmosféricos (nubes y aerosoles) y oceánicos (gradientes térmicos débiles) limitan su eficacia. Por otro lado, los datos del altímetro tienen una menor resolución espacial y temporal pero no se ven afectados por los fenómenos mencionados.

METODOLOGÍA

Se emplearon un promedio de 4 escenas AVHRR diarias correspondientes al año 1998 y primeros meses de 1999. Los datos se procesaron a temperatura de brillo del canal 4 y de la superficie del mar (TSM), enmascarando las nubes. Después de realizar la corrección geométrica, las imágenes se representaron en proyección Mercator. Posteriormente se generaron secuencias de imágenes empleando todas las escenas disponibles. También se determinó el tamaño y la posición de los remolinos ajustando una elipse a los frentes de temperatura, para lo cual se asumió que los vórtices tienen forma de secciones cónicas cerradas.

También se usaron mapas de las anomalías del nivel del mar (ANM) de los años 1998 a 2000, procedentes de los altímetros ERS-2 y T/P. Estas fueron producidas por Collecte Localization Satellites (CLS), a través del sistema de procesamiento SSALTO/DUACS. Estos mapas incluyen las correcciones habituales (perturbaciones ambientales, influencia del oleaje y las mareas, el efecto barométrico invertido, etc.), y las ANM son generadas substrayendo un valor medio de 7 años de la altura del nivel del mar y filtrando los datos para eliminar errores en las medidas (SSALTO/DUACS, 2004). Después se construyen los mapas de ANM cada 7 días sobre una retícula de $1/3^\circ \times 1/3^\circ$ combinando datos del ERS-2 y T/P, usando un método de análisis objetivo mejorado que tiene en cuenta el error de longitud de onda larga. A partir de estos mapas también se obtuvo información acerca del tamaño y posición de los remolinos, ajustando una elipse al contorno cerrado más externo de ANM de los remolinos. En este caso se obtuvo además información acerca de la intensidad de los remolinos como la diferencia entre el valor de ANM máximo (anticiclón) o mínimo (ciclón) de los mismos y aquel de su contorno cerrado más externo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Generación de remolinos

En la Figura 1 se muestran los lugares usuales de generación de los remolinos tal como se observan en las imágenes del sensor AVHRR para el año 1998. Por otro lado en la Tabla 1 se exhiben el número de remolinos identificados de cada tipo agrupados semestralmente.

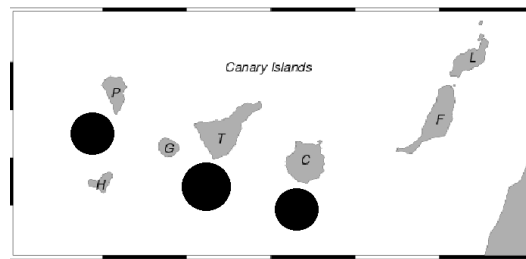


Figura 1. Lugar de generación de los remolinos. Los círculos en blanco simbolizan a vórtices ciclónicos y aquellos en negro a anticiclónicos.

El número de remolinos identificados con esta metodología es posiblemente inferior al realmente existente, debido a problemas inherentes a los datos AVHRR. Aun así, a pesar de estas limitaciones se pueden extraer algunas consecuencias del análisis de esta tabla:

	Primer semestre	Segundo semestre	Total
Ciclón	7	18	25
Anticiclón	4	6	10
Total	11	24	35

Tabla 1. Número de remolinos generados clasificados por tipo y época de aparición.

- Los remolinos se generan durante todo el año, coincidiendo con observaciones anteriores basadas en datos discontinuos (Aristegui *et al.*, 1997). Esto indica que la intensidad de los mecanismos involucrados en su formación es suficiente a lo largo del año.
- Durante el primer semestre del año el número de remolinos generados es claramente menor al segundo. Esto podría estar relacionado con el carácter estacional del viento y las corrientes en esta área.

Análisis combinado de datos de satélite para el seguimiento de los remolinos generados en las Islas Canarias

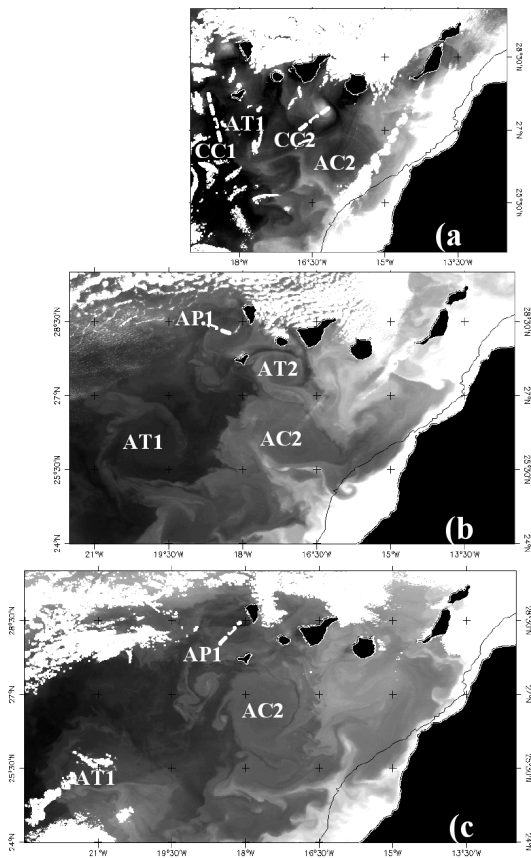


Figura 2. Escenas de temperatura de brillo de la banda 4 del AVHRR para las fechas a) 19 de agosto de 1998, b) 24 de octubre de 1998 y c) 19 de noviembre de 1998.

- Comparando el número de remolinos ciclónicos y anticiclónicos generados, resulta que los primeros son más abundantes que los segundos
- La observación de aquellos remolinos que pudieron ser identificados desde sus inicios hasta que logran desprenderse en las escenas AVHRR, indican que en promedio tardan alrededor de dos semanas en llevar a cabo este proceso. Una excepción a esta tónica la exhibió un remolino anticiclónico observado al suroeste de la isla de la Palma el 16 de septiembre de 1998. Las imágenes de satélite, como la que se muestra en la Figura 2, indicaron que esta característica, denominada AP1, tenía un diámetro de 80 km y fue retenida en la misma posición hasta el final de noviembre (más de 70 días). Después se desplazó rápidamente hacia el oeste a una velocidad media cercana a 6.5 cm s^{-1} (promedio de 17 días), siendo observado por última vez el 26 de diciembre.

Evolución de los remolinos desprendidos del archipiélago

De todos los remolinos generados en el área de interés, solamente unos pocos, que aparecen recogidos en la Tabla 2, pudieron ser identificados en los datos de satélite durante un periodo superior a dos meses. La primera letra usada para el nombre de estos vórtices indica su carácter ciclónico (C) o anticiclónico (A), mientras que la segunda hace referencia a su lugar de generación (Gran Canaria (C), Tenerife (T), La Palma (P) o el afloramiento costero africano (A).

Nombre	1ª observación	Tiempo observación (días)
CC1	8.4.98	105
CC2	3.7.98	61
AC1	20.3.98	228
AC2	26.6.98	474 (572)
AT1	26.7.98	311 (528)
AP1	16.9.98	112

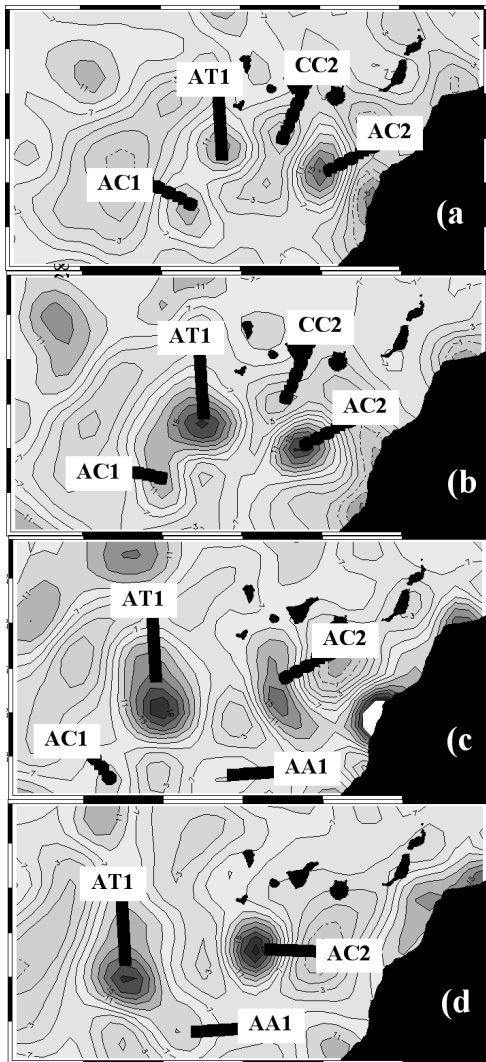
Tabla 2. Vórtices de larga duración. Los datos entre paréntesis indican el tiempo de observación de los remolinos si se incluye el periodo en que estos pudieron ser identificados en los mapas de ANM, pero la diferencia de ANM de los remolinos mostró valores inferiores a los 3 cm.

Estos remolinos de largo periodo presentan las siguientes características significativas:

- Casi todos ellos se formaron el segundo semestre del año (entre junio y octubre) coincidiendo con el periodo de mayor generación de remolinos como se comentó en el apartado anterior. Sin embargo, como contraste a la abundancia de los vórtices ciclónicos en los estadios iniciales, para tiempos prolongados parecen proliferar más los vórtices de tipo anticiclónico.
- Los remolinos ciclónicos de larga duración presentan por lo general menores tamaños (50-80 km) que sus homólogos anticiclónicos (100-200 km). En la Figuras 2 y 3 se pueden comparar los tamaños relativos de estos vórtices.
- Una vez que se desprenden los remolinos se desplazan por lo general hacia el suroeste, como indican sus trayectorias deducidas a partir de la observación de los datos de satélite. En la Figura 4 se muestran aquellas descritas por los de mayor duración AC2 y AT1, según las observaciones realizadas con los datos del sensor AVHRR (en negro) y los de los altímetros (en gris), que concuerdan bastante bien.

L. García-Weil, A. Tejera, J. Cárdenas, L. Maroto, J. Pérez-Marrero y A. Luque-Sölheim

- Al igual que ocurre con los tamaños, las trayectorias y periodos de observación en que los remolinos ciclónicos pueden ser identificados en los datos de satélite, suelen ser de menor tamaño y duración que las de sus equivalentes anticiclónicos.



*Figura 3. Mapas de anomalías del nivel del mar de a) 2 de septiembre de 1998, b) 23 de septiembre de 1998, c) 28 de octubre de 1998 y d) 18 de noviembre de 1998.

- El desplazamiento de los remolinos ciclónicos se ve influenciado no solo por la advección producida por la Corriente de Canarias, sino también por la interacción con los vórtices anticiclónicos mayores.

En caso de encuentro de dos remolinos de intensidad y sentido de rotación distintos, el más débil que suele tener carácter ciclónico (Figura 2a y 3a) es conducido alrededor del más intenso curvándose su trayectoria (imagen no mostrada).

- El desplazamiento de los remolinos anticiclónicos también se ve afectado por otros factores aparte de la advección producida por la Corriente de Canarias. Así, cerca de su lugar de generación el movimiento de los anticiclones se ve condicionado por la presencia simultánea de otros anticiclones y la proximidad de la costa africana, con indicios que indican que los vórtices anticiclónicos disminuyen su marcha al acercarse a ella, como ocurrió con AC2. Una vez alejados de su lugar de formación, los anticiclones se desplazan hacia el oeste posiblemente bajo la influencia combinada de la Corriente de Canarias y la deriva al oeste que produce el efecto beta, recorriendo en promedio alrededor de 100 km al mes (Figura 4).
- El mayor tamaño y tiempo de permanencia de los remolinos anticiclónicos hace que su encuentro sea más probable que el de los remolinos ciclónicos. La colisión de dos anticiclones puede dar lugar a su fusión. Durante su permanencia al sur del archipiélago canario y antes de

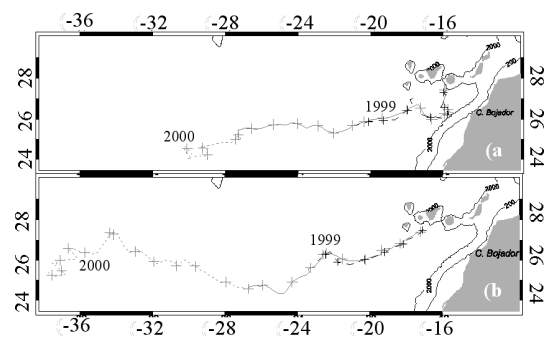


Figura 4. Trayectorias descritas por los remolinos anticiclónicos a) AC2 (primera observación el 26 de junio de 1998) y b) AT1 (primera observación el 26 de julio de 1998). Las cruces indican su posición a principios de cada mes. La línea en negro es la trayectoria obtenida a partir de los datos AVHRR, y la línea gris a partir de los del altímetro. En su parte final la línea gris se muestra punteada para indicar que aunque los vórtices pudieron ser identificados de forma coherente, los valores de las diferencias de ANM son inferiores a 3 cm.

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

comenzar su desplazamiento al oeste, AC2 y AT1 interaccionaron con otros remolinos anticiclónicos. El remolino AC2 experimentó una fusión total con AT2 (Figuras 2b, 2c, 3c y 3d), mientras que AT1 se fusionó de modo parcial con AC1 y AA1 (Figura 3a, 3b y 3c). Después de estas colisiones los remolinos AC2 y AT1 aparecen reforzados (Figura 5).

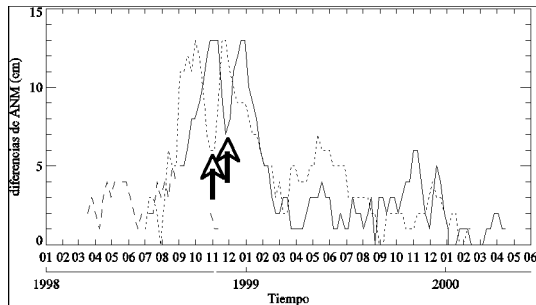


Figura 5. Diferencias de ANM entre el valor central y el borde más externo de los vórtices AC2 (línea continua), AT1 (línea punteada) y AC1 (línea a trazos). Las flechas marcan el inicio del encuentro de AC2 y AT1 con otros remolinos anticiclónicos y el subsiguiente aumento de su intensidad.

CONCLUSIONES

Aunque los datos utilizados en este estudio han sido limitados, ilustran sin embargo el importante papel ejercido por los remolinos generados por las islas en la intensa actividad mesoescalar que se detecta al suroeste del Archipiélago Canario. El análisis llevado a cabo ha revelado diferencias en cuanto al papel ejercido por los remolinos anticiclónicos y sus homólogos ciclónicos. Por otro lado este trabajo pone de manifiesto la complementariedad existente entre los sensores remotos pasivos y activos en relación al análisis de las características de las estructuras oceanográficas descritas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a AVISO por permitirnos usar los datos de altímetro y a Seas-Canarias y el CREPAD por el suministro de las imágenes AVHRR. Los productos del altímetro fueron generados por Ssalto/Duacs como parte del proyecto Environment and Climate EU Enact project (EVK2-CT2001-00117) y distribuido por AVISO, con el apoyo del CNES. Este trabajo ha sido financiado por el MEC a través del proyecto INTEGCAN (CGL2004-02235/CLI).

BIBLIOGRAFÍA

- ARÍSTEGUI, J., SANGRÁ, P., HERNÁNDEZ-LEÓN, S., CANTÓN, M., HERNÁNDEZ-GUERRA, A. y KERLING, J. L. 1994. Island-induced eddies in the Canary Islands. *Deep Sea Res. Part I* 41: 1509-1525.
- GARCÍA-WEIL, L., LUQUE-SÖLLHEIM, A., TEJERA-CRUZ, A., BERGASA-LÓPEZ, O. 2003. Long lived anticyclonic eddies generated in Canary Islands during 1998 as observed by infrared and altimeter satellite data. *IEEE 2003 International Geoscience Remote Sensing Symposium* 5: 3398-3400.
- PINGREE, R. D. y GARCÍA-SOTO, C. 2004. Annual westward propagating anomalies near 26°N and eddy generation south of the Canary Islands: Remote Sensing (altimeter/ SeaWiFS) and *in situ* measurements. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 84: 1105-1115.
- SSALTO/DUACS. 2004. Ssalto/Duacs User Handbook: (M)SLA and (M)ADT Near-Real Time and Delayed Time Products. SALP-MU-P-EA-21065-CLS.
- TEJERA, A., GARCÍA-WEIL, L., HEYWOOD, K. J. y CANTÓN-GARBÍN, M. 2002. Observations of oceanic mesoscale features and variability in the Canary Islands area from ERS1 altimeter data, satellite infrared imagery and hydrographic measurements. *Int. J. Rem. Sens.* 23: 4897-4916.