

DetECCIÓN DE REMOLINOS DE MESOESCALA EMPLEANDO ANOMALÍAS DEL NIVEL DEL MAR DE LOS PRODUCTOS DE SSALTO/DUACS

*Fernando Campos
Instituto Geofísico del Perú*

INTRODUCCIÓN

Los remolinos de mesoescala son estructuras coherentes lagrangianas, cuasi-circulares e intrínsecas presentes en todas las cuencas oceánicas (Stammer et al., 1997 y Stammer et al., 1998). Estas estructuras pueden tener tamaños de 250 km de radio en la horizontal y 1000 m de profundidad. El tiempo de vida de estas estructuras varía desde algunos días hasta incluso ser considerados permanentes. La importancia de su estudio radica en el transporte de propiedades tanto físicas (temperatura, salinidad, vorticidad, etc.) como biogeoquímicas (oxígeno, nitratos, clorofila, etc.) desde las regiones donde se han formado, principalmente en las zonas costeras, hacia mar adentro. Esta característica permite la lenta mezcla de las masas de aguas oceánicas (Chelton et al., 2011). Además, se sabe que los mecanismos de generación de estas estructuras son muy variados, factores como la intensidad de los vientos (Pares-Sierra et al., 1993), la cercanía a las costas (Batteen, 1997), la variabilidad interanual (Zamudio et al., 2001), entre otros (Willet et al., 2006).

Las principales propiedades de estos remolinos se conocen debido al uso de diversos algoritmos de detección y seguimiento aplicados tanto a datos observacionales (Chaigneau et al., 2008; Chelton et al., 2011) como a resultados de modelos numéricos

(Merchesiello et al., 2003; Kurian et al., 2011). Si bien la gran mayoría de estos métodos han mostrado buenos resultados; es necesario resaltar que, los basados en las propiedades geométricas de las líneas de corrientes (Chaigneau et al., 2008) o de las anomalías del nivel del mar (ANM, Chelton et al., 2011) han mostrado mejores resultados comparados con los que emplean las propiedades físicas como por ejemplo el parámetro de Okubo Weiss (Okubo, 1970; Weiss, 1991). Con esta consideración, en Campos (2018) se elaboró un algoritmo basado en las propiedades geométricas de las líneas de corrientes el cual permitió detectar remolinos de mesoescala en un modelo numérico para la región norte del Pacífico. Una modificación a este algoritmo, permitió la detección de remolinos en el campo de las ANM tomados de datos satelitales.

A continuación se muestran los resultados obtenidos al emplear la base de datos satelitales SSALTO/DUACS y el algoritmo de detección de remolinos modificado para la región de Perú.

DATOS Y METODOLOGÍA

Los datos de las ANM fueron extraídos de la base de datos de Copernicus (<http://marine.copernicus.eu/>) la cual engloba todas las misiones satelitales hasta el momento realizadas y homogenizadas respecto a una

misión de referencia la cual actualmente es Jason 3. Esta base de datos cubre desde 1993 hasta la actualidad con datos diarios, resolución espacial de $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ y con referencia al período climatológico 1993-2012. Posteriormente, se procedió a filtrar la variabilidad de mayor escala. Para ello se siguió la metodología empleada en Chaigneau et al. (2008) y Chelton et al. (2011) los cuales emplean un filtro lanczos de paso bajo (Thomson & Emery, 2014) lo que permitió producir una cuadrícula con solamente la variabilidad de mesoescala. Finalmente, para la detección de los remolinos de mesoescala en el campo de la ANM se realizó una modificación al algoritmo elaborado en Campos (2018) el cual se resume de la siguiente forma:

1. Se obtiene una cantidad fija de contornos de las ANM, en este caso se tomó contornos que van de -0.4 a 0.4 m con incrementos de 0.001 m.
2. Del paso anterior, se mantienen los contornos que son cerrados y que tengan una longitud de arco comprendida entre 160 y 1600 km, las cuales representan a remolinos con radios entre 25 y 250 km.
3. De los contornos que quedaron, se debe mantener los que son convexos. Para analizar la convexidad de los contornos se crean dos vectores (r_1 y r_2) que recorrerán todos los puntos pertenecientes al contorno. Para un punto perteneciente al contorno se crea el vector $r_1 = [\text{lon}(i) - \text{lon}(i-1); \text{lat}(i) - \text{lat}(i-1)]$ y el vector $r_2 = [\text{lon}(i+1) - \text{lon}(i); \text{lat}(i+1) - \text{lat}(i)]$. El producto vectorial

de ambos vectores resulta en un vector ortogonal (S) a los dos anteriores con valor positivo o negativo (en caso extremo cero). Al emplear este método en cada punto perteneciente al contorno se obtiene los valores de S para cada punto. Si todos los S tienen la misma dirección se ha encontrado un polígono convexo. Para ser considerado contorno de un remolino, el 95 % de los valores del producto vectorial deben ser positivos o negativos (se le asigna un porcentaje de error al método).

4. Los contornos que cumplieron con las condiciones anteriores se agrupan en zonas donde cada una de ellas representa un remolino (ciclónico o anticiclónico). De los contornos aglomerados en una determinada zona, el que tenga mayor área va a representar el borde de un remolino. Los demás contornos son eliminados por el algoritmo.
5. Para analizar el tipo de remolino detectado por el método, es decir si es ciclónico o anticiclónico, se analizan los valores del contorno de la ANM los cuales pueden tomar valores positivos (remolinos ciclónicos) o valores negativos (remolinos anticiclónicos). Esto último, va a depender del hemisferio en el cual se está realizando el análisis.

RESULTADOS

La figura 1 representa los resultados obtenidos mediante el método de detección de remolinos para el 5 de mayo

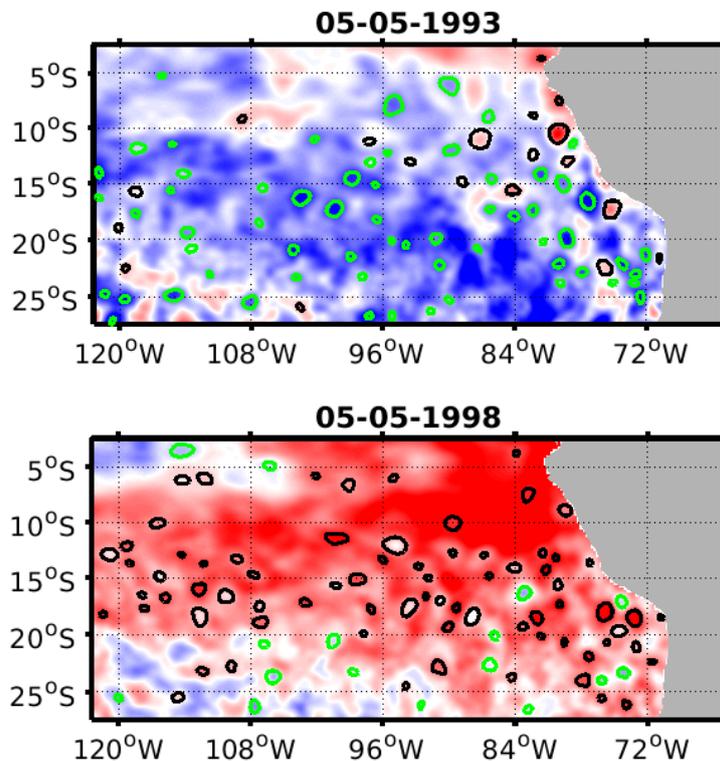


Figura 1. Campo de las ANM previamente filtradas la variabilidad de gran escala. Los contornos verdes y negros representan a los remolinos anticiclónicos y ciclónicos detectados por el algoritmo de Campos (2015) modificado para emplear datos de satélite.

de 1993 (figura superior) y 1998 (figura inferior). Estos resultados muestran diferencias notables en la cantidad de remolinos ciclónicos y anticiclónicos detectados. Asimismo, en 1993 hubo una mayor cantidad de remolinos anticiclónicos detectados (62 anticiclones y 19 ciclones) mientras que en 1998 la mayor cantidad fue de remolinos ciclónicos detectados (16 anticiclones y 74 ciclones). Esto indica que la actividad de El Niño tiene fuerte influencia en la producción de remolinos principalmente de sentido ciclónico. Este resultado contrasta con lo visto en Chaigneau et al., (2008) para las costas de Perú y Zamudio et al., (2001) en la zona del Pacífico norte. Sin embargo, es necesario realizar un análisis de las trayectorias de estos remolinos detectados para ver regiones donde tengan un tiempo de vida más largo, un mayor tamaño u otras propiedades interesantes para posteriores trabajos.

REFERENCIAS

- Batteen, M. L. (1997). Wind-forced modeling studies of currents, meanders, and eddies in the California Current system. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 102(C1), 985-1010.
- Campos, F. E. (2018). Propiedades de los remolinos de mesoescala al sur de Baja California: un análisis numérico (tesis de maestría). CICESE, Ensenada-Baja California, México.
- Chaigneau, A., Gizolme, A., & Grados, C. (2008). Mesoscale eddies off Peru in altimeter records: Identification algorithms and eddy spatio-temporal patterns. *Progress in Oceanography*, 79(2-4), 106-119.
- Chelton, D. B., Schlax, M. G., & Samelson, R. M. (2011). Global observations of nonlinear mesoscale eddies. *Progress in Oceanography*, 91(2), 167-216.
- Kurian, J., Colas, F., Capet, X., McWilliams, J. C., & Chelton, D. B. (2011). Eddy properties in the California current system. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(C8).
- Marchesiello, P., McWilliams, J. C., & Shchepetkin, A. (2003). Equilibrium structure and dynamics of the California Current System. *Journal of physical Oceanography*, 33(4), 753-783.
- Okubo, A. (1970). Horizontal dispersion of floatable particles in the vicinity of velocity singularities such as convergences. In *Deep sea research and oceanographic abstracts* (Vol. 17, No. 3, pp. 445-454). Elsevier.
- Pares-Sierra, A., White, W. B., & Tai, C. K. (1993). Wind-driven coastal generation of annual mesoscale eddy activity in the California Current. *Journal of Physical Oceanography*, 23(6), 1110-1121.
- Stammer, D. 1997. Global characteristics of ocean variability estimated from regional TOPEX/POSEIDON altimeter measurements. *Journal of Physical Oceanography* 27:1,743–1,769.
- Stammer, D. 1998. On eddy characteristics, eddy transports, and mean flow properties. *Journal of Physical Oceanography* 28:727–739.
- Thomson, R. E., & Emery, W. J. (2014). *Data analysis methods in physical oceanography*. Newnes.
- Weiss, J. (1991). The dynamics of enstrophy transfer in two-dimensional hydrodynamics. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 48(2-3), 273-294.
- Willett, C. S., Leben, R. R., & Lavín, M. F. (2006). Eddies and tropical instability waves in the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2-4), 218-238.
- Zamudio, L., Leonardi, A. P., Meyers, S. D., & O'Brien, J. J. (2001). ENSO and eddies on the southwest coast of Mexico. *Geophysical Research Letters*, 28(1), 13-16.