

Flotadores Argo para el cálculo de la anomalía de la profundidad de la termoclina ecuatorial (aplicación operacional)

Jonathan Aparco, Kobi Mosquera y Ken Takahashi
Instituto Geofísico del Perú

Las ondas Kelvin ecuatoriales son las posibles precursoras de un evento El Niño, ya sea en el Pacífico ecuatorial o en la costa del Perú. Estas se desplazan lentamente de oeste a este con una velocidad aproximada de 9.4 km h⁻¹ (Mosquera et al., 2014), lo cual nos permite anticipar su llegada. Para su detección se necesitan dos tipos de observaciones oceanográficas: 1) el nivel del mar, y 2) la temperatura subsuperficial para determinar la profundidad de la termoclina¹ (típicamente identificada con la isoterma de 20°C).

La actual crisis de las boyas del proyecto TAO/TRITON en el Pacífico ecuatorial dificulta el monitoreo de la termoclina (Takahashi et al., 2014a, Takahashi et al., 2014b). Una alternativa para compensar esta falta de información son las boyas derivadoras del proyecto multinacional Argo² (Roemmich et al., 2009), iniciado en el año 1999 con proyectos regionales en el Océano Índico para luego extenderse al océano global en el año 2004 en donde alcanzó, en el año 2007, los 3000 instrumentos funcionando simultáneamente. Las boyas Argo son flotadores autónomos, no están fijos en un punto sino que flotan libremente a una profundidad de 1000m, y cada diez días realizan perfiles de temperatura, salinidad y circulación entre la superficie y más de 1500m de profundidad, los cuales son transmitidos en tiempo real y puestos a disposición libre por internet. Esta información es utilizada no solo para la investigación sino también para aplicaciones operativas como el monitoreo, la asimilación de datos y la inicialización de modelos numéricos para el pronóstico.

En el presente artículo se describe la metodología empleada en el Instituto Geofísico del Perú (IGP) para la generación de productos en tiempo real que muestran las variaciones en el tiempo y el espacio de la anomalía de la profundidad de la termoclina ecuatorial en base a los perfiles de temperatura de los flotadores Argo. Esto complementa los datos de nivel del

mar satelital (Mosquera et al., 2014) para el monitoreo de las ondas Kelvin ecuatoriales.

Los datos Argo en tiempo real se pueden acceder libremente a través del proyecto CORIOLIS (<ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/argo>) y del *Global Ocean Data Assimilation Experiment* (GODAE: <ftp://usgodae.org/pub/outgoing/argo>). Es importante indicar que estas bases de datos son redundantes y sirven de respaldo mutuo. El IGP recoge esta información diariamente.

Para crear un diagrama longitud *versus* tiempo (Hovmöller) de anomalías de la isoterma de 20°C, se utiliza la siguiente metodología:

1. Se seleccionan los perfiles de temperatura entre la latitud 2°S y 2°N del Océano Pacífico y se calcula la profundidad de la isoterma de 20°C de cada uno.
2. A la profundidad de la isoterma de 20°C de cada perfil se le resta la climatología (1980-2009) obtenida de los datos del *reanalysis* de GODAS (*Global Ocean Data Assimilation System*, Behringer y Xue, 2004), la cual es interpolada bilinealmente en el espacio y mediante series de armónicos en el tiempo para cada perfil (ver Figura 1).



Figura 1. Serie de tiempo del número de perfiles por mes, desde 1999 (inicio del proyecto ARGO) hasta el 2014. Durante el mes de febrero de 2014 el proyecto Argo colocó más boyas sobre el Pacífico ecuatorial (Figura 2a), esto explica la gran cantidad de perfiles para el 2014 (de enero a mayo).

¹Capa oceánica que separa, en forma relativamente abrupta, el agua fría profunda y el agua más cálida cercana a la superficie.

²<http://www.argo.ucsd.edu/>.

Flotadores Argo para el cálculo de la anomalía de la profundidad de la termoclina ecuatorial (aplicación operacional)

Aparco J., Mosquera K. y Takahashi K.

3. La anomalía calculada en el paso anterior se coloca en una malla (longitud *versus* tiempo) con una resolución de un grado en la longitud y un día en el eje temporal mediante la técnica del “vecino cercano”. Para mejorar la visualización de los resultados, se copia el valor de cada grilla a sus ocho vecinos en tiempo y longitud. Los resultados se ven en la Figura 2a.

4. Luego se aplica una media corrida de 11 días, lo que permite completar la información faltante entre el periodo de diez días (ver Figura 2b).

5. Finalmente, se aplica un filtro espacio-temporal con una matriz de convolución a_{ij} ($i=j=1, 2$ y 3) donde: $a_{1,1}=a_{3,1}=a_{1,3}=a_{3,3}=0.3$; $a_{1,2}=a_{2,1}=a_{2,3}=a_{3,2}=0.5$; y $a_{2,2}=1$. Este filtro se aplica dos veces para eliminar el ruido de pequeña escala en el tiempo y el espacio (ver Figura 2c).

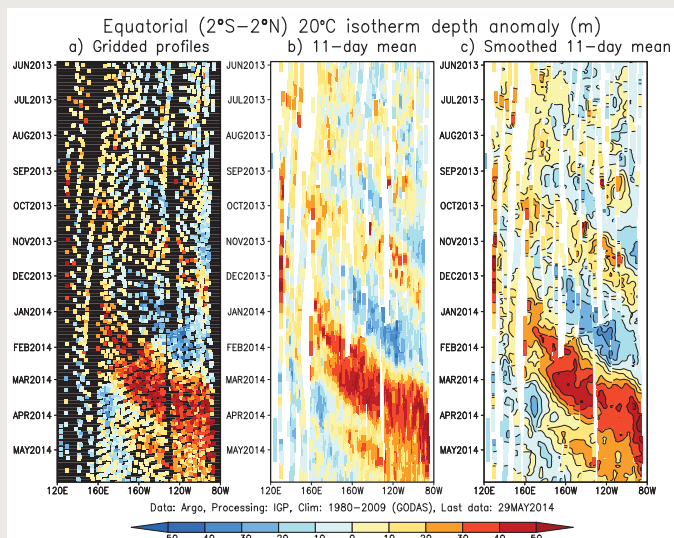


Figura 2. Diagramas longitud– tiempo de la anomalía de la profundidad de la termoclina obtenida de la diferencia entre la información de los flotadores ARGO y la climatología de reanalysis de GODAS. Cada panel representa información: (a) grillada, (b) con un promedio cada once días y (c) con un filtro espacio-tiempo. Las franjas de colores cálidos con inclinación hacia abajo y derecha corresponden a ondas Kelvin cálidas.

Otra manera de visualizar la información de Argo es por medio de series de tiempo, las cuales fueron calculadas promediando la información de la Figura 2a en diferentes rangos de longitud y con una media móvil de cinco días (Figura 3). Esto nos da otra manera de ver las variaciones de la profundidad de la termoclina en seis secciones del Pacífico ecuatorial.

Las Figuras 2 y 3 son dos productos derivados de los flotadores Argo que son actualizados regularmente en la página web del IGP y, en el otoño del año 2014, han sido de mucha utilidad para el monitoreo de tres ondas Kelvin cálidas. Estas figuras permiten el diagnóstico de las ondas Kelvin y, conociendo su velocidad, hacer un pronóstico de

su arribo a la costa (Mosquera et al., 2014). Asimismo, este procedimiento nos permite tener una base de datos que será de utilidad para investigaciones futuras. Queda pendiente la generación de un producto longitud *versus* profundidad que permitirá ver el impacto de la onda Kelvin en toda la columna de agua.

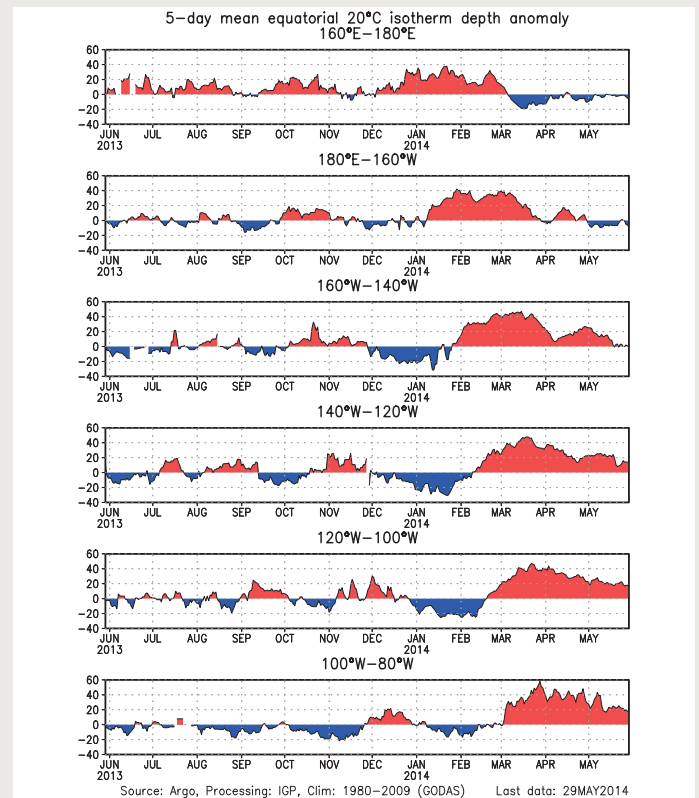


Figura 3. Series de tiempo de la anomalía de la profundidad (m) de la termoclina ecuatorial ($2^{\circ}\text{S}-2^{\circ}\text{N}$) promediada sobre seis sectores del Pacífico ecuatorial de 20 grados de longitud y con una media móvil de cinco días. La serie superior (inferior) pertenece al extremo oeste (este).

Referencias

Behringer, D. W., and Y. Xue, 2004: Evaluation of the global ocean data assimilation system at NCEP: The Pacific Ocean, Eighth Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for Atmosphere, Oceans, and Land Surface, AMS 84th Annual Meeting, Washington State Convention and Trade Center, Seattle, Washington, 11-15.

Mosquera, K., D. Pareja y K. Takahashi, 2014: Altimetría Satelital para el monitoreo de la onda Kelvin ecuatorial en el Océano Pacífico, Boletín Técnico “Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño”, Vol. 1, Nº 4, Abril, Instituto Geofísico del Perú.

Roemmich, D., G.C. Johnson, S. Riser, R. Davis, J. Gilson, W.B. Owens, S.L. Garzoli, C. Schmidt, and M. Ignaszewski, 2009: The Argo Program: Observing the global ocean with profiling floats, *Oceanography* 22(2):34–43, doi:10.5670/oceanog.2009.36.

Takahashi, K., R. Martínez, A. Montecinos, B. Dewitte, D. Gutiérrez, and E. Rodríguez-Rubio, 2014a: Regional applications of observations in the eastern Pacific: Western South America, TPOS 2020 Whitepaper 8a.

Takahashi, K., K. Mosquera, D. Pareja, J. Reupo y J. Aparco, 2014b: Monitoreo del Pacífico Ecuatorial, Boletín Técnico “Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño”, Vol. 1, Nº 3, Marzo, Instituto Geofísico del Perú.