

## Monitoreo del Pacífico ecuatorial

Ken Takahashi, Kobi Mosquera, David Pareja, Jorge Reupo, Jonathan Aparco

Instituto Geofísico del Perú

Un pronóstico de El Niño o La Niña y fenómenos asociados solo será bueno si se puede observar adecuadamente las condiciones océano-atmósfera que son esenciales para este fenómeno. En el presente artículo se describen algunas fuentes clave de datos in situ y de sensoramiento remoto usados en el IGP para monitorizar estas condiciones.

### El arreglo de boyas TAO/TRITON

Uno de los grandes avances de los años 80 y 90 en el monitoreo de El Niño fue el establecimiento de la red o arreglo de boyas TAO/TRITON en el Pacífico ecuatorial (McPhaden et al., 1998) que permite la medición en tiempo real de los parámetros oceanográficos bajo la superficie, particularmente la temperatura del agua, que son necesarios para la identificación de las ondas Kelvin y Rossby ecuatoriales (ver Mosquera, 2014) y los vientos superficiales que excitan dichas ondas. La red TAO/TRITON consiste en casi 70 boyas ATLAS ubicadas en puntos fijos cada 15 grados de longitud y cada dos o tres grados de latitud entre 8°S y 8°N, típicamente registrando datos meteorológicos superficiales y temperatura del agua a varias profundidades hasta aproximadamente los 500 m. La red se divide en dos partes complementarias: el arreglo TAO (*Tropical Atmosphere Ocean*) en el Pacífico central-oriental, mantenido por la NOAA de los EEUU e implementado entre los años 1985 y 1994; el arreglo TRITON en el Pacífico occidental (al oeste de 165°E), mantenido por la agencia JAMSTEC de Japón e implementado aproximadamente en el año 1999<sup>1</sup>. Un aspecto importante de este sistema es la transmisión de los datos y la disponibilidad libre por la web en tiempo real a través del laboratorio PMEL de la NOAA, el cual estuvo a cargo de la implementación y operación inicial de TAO.

En el año 2005, la responsabilidad del arreglo TAO pasó de PMEL, en la rama de investigación, al Servicio Meteorológico Nacional (NWS), en la rama operativa de la NOAA (Toffelson, 2014a). En los 20 años entre 1992 y 2011, los datos diarios de la profundidad de la isoterma de 20°C, un indicador clave para monitorizar las ondas ecuatoriales, en promedio estuvieron completos al 80% (Fig. 1). Sin embargo, en el año 2012, ante recortes presupuestales en los EEUU, la NWS decidió retirar de servicio al barco que daba el mantenimiento periódico a TAO (Toffelson, 2014). El resultado fue una abrupta degradación en la provisión de datos, bajando a 68%,

49% y 42% en los años 2012, 2013 y lo que va del 2014, respectivamente (Fig. 1). El impacto, sin embargo, fue más dramático en el Pacífico oriental ecuatorial (140°W-95°W, 5°S-5°N), donde solo tres de las veinte boyas se encuentran operativas actualmente. Esto se debe en gran parte al vandalismo al que están expuestas estas boyas, particularmente cerca a las costas. Debido a que la identificación de ondas de Kelvin y Rossby requiere datos a distintas latitudes, entonces TAO actualmente no puede monitorizar adecuadamente la llegada de las ondas Kelvin en el Pacífico oriental, además de que el pobre muestreo limita la investigación científica de procesos claves para mejorar la capacidad de pronóstico de El Niño en esta región (Takahashi et al., 2014).

Completitud (%) de datos de profundidad de isoterma de 20°C

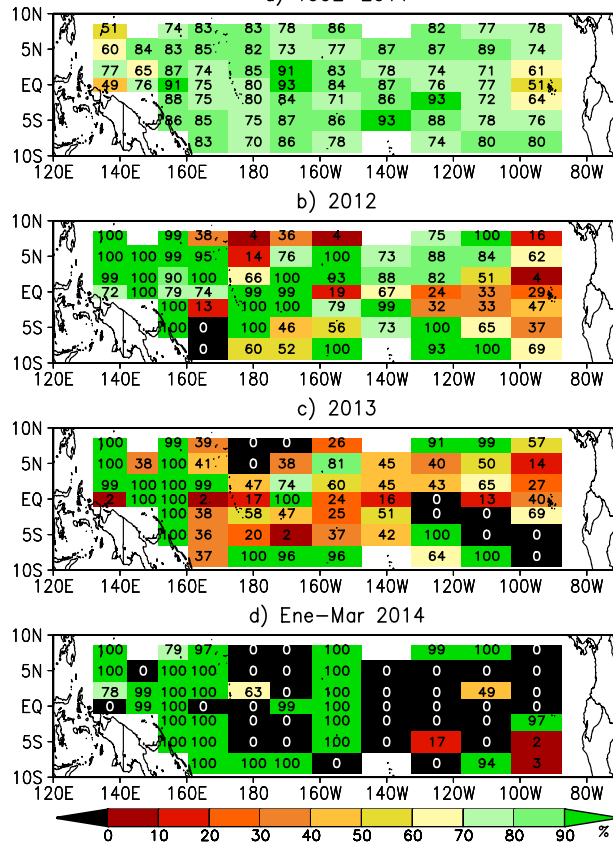


Figura 1. Porcentaje de completitud de los datos diarios de la profundidad de la isoterma de 20°C en las boyas del arreglo TAO/TRITON para diferentes periodos.

<sup>1</sup>Fuente: Laboratorio PMEL de la NOAA (<http://www.pmel.noaa.gov/tao>).

Afortunadamente, a pesar de la degradación reciente de TAO, la boya que se mantiene operativa en 95°W, 2°S registró desde marzo del 2014 una profundización de la termoclina, probablemente asociada al arribo de una onda Kelvin, similar a la observada en los años El Niño 1997 y 2002 y sustancialmente mayor a la que se dio durante El Niño de 2012 (Fig. 2). Sin embargo, el evento de 1997-98 fue de magnitud extraordinaria mientras que el del 2002 fue débil (ENFEN, 2012), lo cual se refleja en la profundización bastante mayor de la termoclina después de abril en 1997. El monitoreo en esta región es evidentemente importante para estimar cómo se desarrollarían las condiciones en el resto del presente año. Si bien la NOAA se ha comprometido a restablecer la operatividad de TAO este año, es probable que esto no sea suficientemente pronto para apoyar con los pronósticos del posible evento El Niño de este año (Tollefson, 2014b), por lo que es importante contar con fuentes complementarias de información.

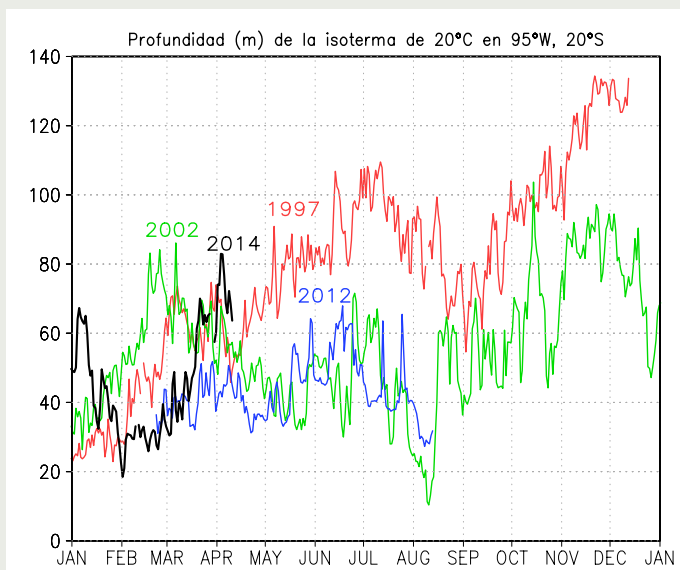


Figura 2. Datos diarios de la profundidad (m) de la isoterma de 20°C en la boya TAO en 95°W, 20°S durante los años 1997 (rojo), 2002 (verde), 2012 (azul) y 2014 (negro).

## Sistemas observacionales complementarios

Además del arreglo TAO/TRITON, existen otras fuentes de datos que complementan el sistema observacional y que permiten monitorizar algunas variables claves. En el IGP se ha iniciado el procesamiento de datos de nivel del mar producidos mediante altimetría satelital del proyecto JASON-2, así como vientos superficiales estimados mediante escaterometría satelital por el proyecto ASCAT. El nivel del mar es un proxy para la profundidad de la termoclina y permite ver la propagación de las ondas Kelvin mientras que los vientos las generan. Sin embargo, se cree que en el Pacífico oriental el nivel del mar puede no ser un indicador perfecto de las ondas Kelvin, así que

se ha iniciado el procesamiento de datos de temperatura subsuperficiales del programa de boyas derivadoras Argo.

El instrumento ASCAT (*Advanced SCATterometer*) es un dispositivo que ha estado montado en una serie de satélites del tipo polar Metop (*Meteorological Operational*) operado por EUMESAT (*European organisation for the exploitation of METeorological SATellites*), y permite obtener información global de la dirección e intensidad de los vientos superficiales sobre el océano. El producto que usa actualmente el IGP es el que entrega el IFREMER (*Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer*: [www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)) y consiste en un campo grillado diario de viento zonal y meridional, el cual fue previamente validado con datos de boyas de proyectos como TAO. La grilla tiene una resolución horizontal de 0.25° (latitud y longitud), la cual, según explica Bentamy y Fillon (2012), se obtuvo usando interpolación objetiva de la data original de ASCAT (dirección e intensidad), así como el análisis del *European Centre for Medium Weather Forecasts* (ECMWF). Los datos están disponibles desde mayo de 2007 hasta la fecha y son utilizados para forzar el modelo oceánico lineal del IGP (LOM-IGP).

El altímetro JASON-2 es la continuación científica y operativa de los altímetros TOPEX/POSEIDON y JASON-1. Estos dispositivos han permitido, en su

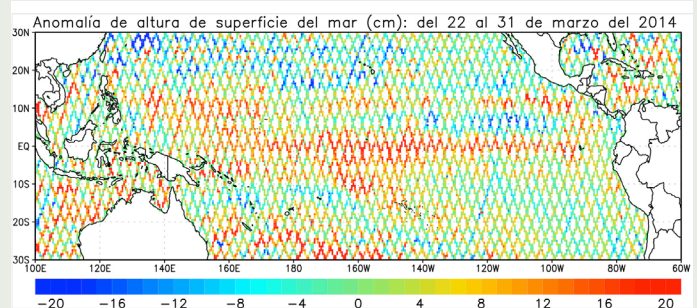


Figura 3. Compuesto de la anomalía de la altura del nivel del mar (cm) en el Pacífico tropical en el periodo que va del 22 al 31 de marzo de 2014. (Fuente de datos: JPL /NASA, Procesamiento: IGP).

conjunto, tener información de alta resolución del nivel del mar desde aproximadamente el año 1993 hasta la fecha. El altímetro en cuestión sigue la misma trayectoria de sus antecesores y vuelve a pasar por el mismo punto luego de diez días<sup>2</sup>. Si bien el IGP ya inició el procesamiento de la información binaria de tipo L2 a lo largo de la trayectoria del altímetro JASON-2 (ver Figura 3), ante la urgencia de contar con información ahora, el IGP ha implementado temporalmente un sistema operativo basado en el procesamiento de las figuras de anomalía del nivel del mar (compuesto de diez días) que distribuye la NASA diariamente en la web<sup>3</sup>. Este procedimiento permite tener

<sup>2</sup>Para mayor detalle ver el manual de usuario que se encuentra en el siguiente enlace: <ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov/allData/ostm/preview/L2/GPS-OGDR/docs/userhandbook.pdf>.

una base de datos de altura de nivel del mar utilizada para el monitoreo de la onda Kelvin que se puede apreciar en el diagrama Howmüller de la Figura 4.

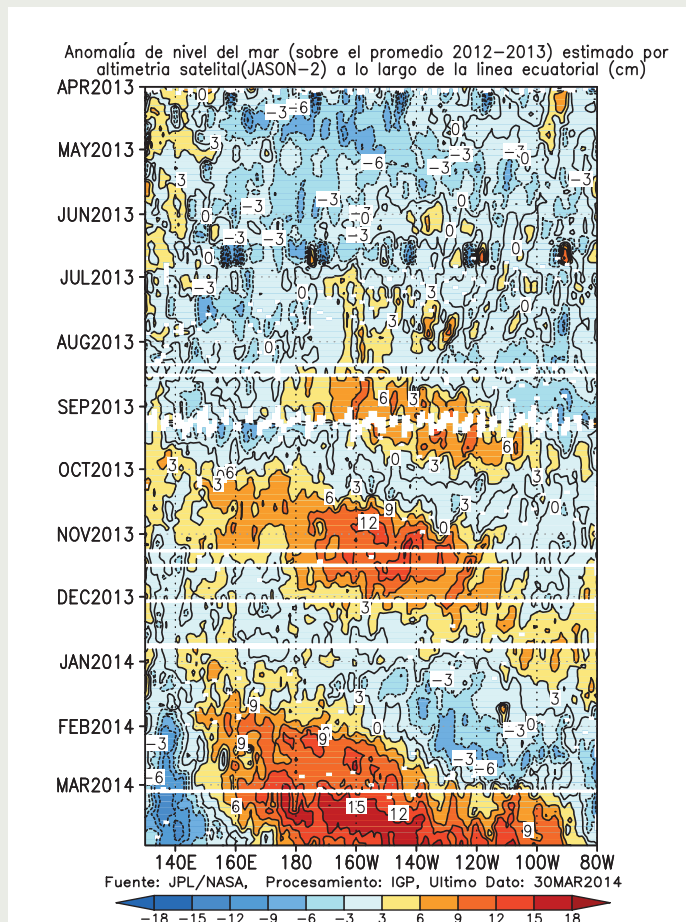
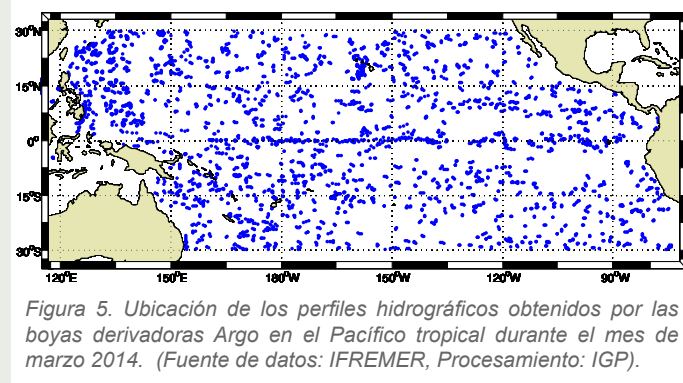


Figura 4. Diagrama Howmüller de la anomalía del nivel del mar, desde abril de 2013 a marzo de 2014, obtenida de las imágenes de JASON-2 a lo largo del Pacífico ecuatorial. Las unidades están en centímetros. (Fuente de datos: JPL/NASA, Procesamiento: IGP).

El programa Argo ha revolucionado la oceanografía ya que ha permitido tener mediciones hidrográficas frecuentes en regiones previamente muy difíciles de observar. Se basa en boyas derivadoras (no ancladas) que se desplazan libremente en las profundidades y emergen a la superficie cada diez días, durante lo cual realizan un perfil de temperatura, presión y otras variables. Al llegar a la superficie transmiten la información y luego se sumergen nuevamente. Estas boyas se lanzan al mar aproximadamente una por cada región de  $3^{\circ} \times 3^{\circ}$  y en la actualidad hay un buen número en el Pacífico ecuatorial

(Fig. 5). En el IGP se está empezando a procesar la información en tiempo real para el monitoreo de El Niño y las ondas Kelvin.



Ante la coyuntura de un posible evento El Niño el presente año y los problemas con el arreglo TAO/TRITON, los sistemas descritos anteriormente jugarán un rol clave para el monitoreo y pronóstico. En los próximos boletines se presentarán y explicarán con mayor detalle los nuevos productos desarrollados en el IGP.

## Referencias

- Bentamy, A., y D. C. Fillon, 2012: Gridded surface wind fields from Metop/ASCAT measurements, *International Journal of Remote Sensing*, Vol 33, Issue 6, <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2011.600348>.
- ENFEN, 2012: Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú, Nota Técnica ENFEN.
- McPhaden, M., A. J. Busalacchi, R. Cheney, J. R. Donguy, K. S. Gage, D. Halpern, M. Ji, P. Julian, G. Meyers, G. T. Mitchum, P. P. Niiler, J. Picaut, R. W. Reynolds, N. Smith, K. Takeuchi, 1998: The Tropical Ocean-Global Atmosphere observing system: A decade of progress, *Journal of Geophysical Research*, doi:10.1029/97JC02906.
- Mosquera, K., 2014: Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico, *Boletín mensual "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 1, No. 1, Enero, Instituto Geofísico del Perú.
- Takahashi, K., R. Martinez, A. Montecinos, B. Dewitte, D. Gutiérrez, and E. Rodríguez-Rubio, 2014: Regional applications of observations in the eastern Pacific: Western South America, TPOS 2020 Whitepaper 8a.<sup>4</sup>
- Tollefson, J., 2014a: El Niño monitoring system in failure mode, *Nature*, doi:10.1038/nature.2014.14582.
- Tollefson, J., 2014b: El Niño tests forecasters, *Nature*, doi:10.1038/508020a.

<sup>3</sup><http://sealevel.jpl.nasa.gov/science/datasources/ssha/archive/>.

<sup>4</sup>[http://ioc-unesco.org/index.php?option=com\\_oe&task=viewDocumentRecord&docID=13044](http://ioc-unesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=13044).