

## Monitoreo de la onda Kelvin en la costa peruana usando datos de altimetría satelital

David Pareja, M.Sc<sup>1</sup>; Kobi Mosquera, Dr.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Instituto Geofísico del Perú

Es conocido que cuando se presenta el evento El Niño costero, las regiones norte y centro del Perú son las más afectadas social y económicamente debido a las fuertes precipitaciones que se producen como consecuencia del incremento de la Temperatura Superficial del Mar (TSM). Uno de los mecanismos que provoca el cambio de la TSM a lo largo de la costa peruana es la “advección” horizontal y vertical de la temperatura como consecuencia del paso de la onda Kelvin ecuatorial. Como se sabe, su monitorización en el Perú se realiza principalmente por medio de la información de los mareógrafos que se encuentran ubicados a lo largo de la costa peruana, pero no es la única manera de hacerlo. Por esta razón, el objetivo del presente documento es mostrar una forma alternativa de monitorizar estas ondas por medio del uso de información de altimetría satelital de la serie de satélites JASON. A diferencia de otros productos grillados que pueden existir en la web, en este trabajo se usará la información que existe a lo largo de los *tracks* del satélite que cruzan la costa peruana y, lo más importante, que se encuentran disponibles en tiempo real. Se espera que estos resultados contribuyan al análisis de la dinámica y termodinámica del Pacífico Ecuatorial y nuestra costa.

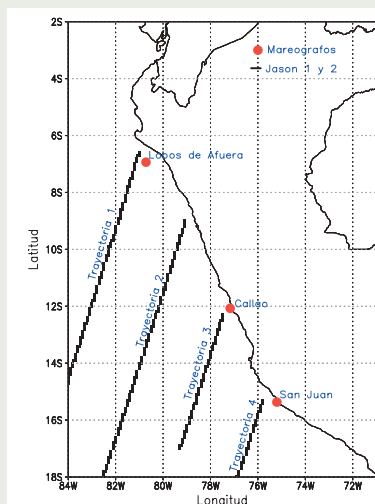


Figura 1. Trayectorias del satélite (líneas rectas de color negro) que cruzan la costa peruana. Los círculos de color rojo indican la posición de los mareógrafos más cercanos al extremo superior de las trayectorias que se encuentran en la base de datos del Centro del Nivel del Mar de la Universidad de Hawaii (<http://uhslc.soest.hawaii.edu/>).

La información del nivel medio del mar (NMM) que se utilizó en el presente trabajo se obtuvo de dos fuentes de datos: 1) los satélites JASON-1 y JASON-2, para el periodo 2002-2015; y 2) tres estaciones mareográficas de la costa peruana obtenidas del *Sea Level Center* de la Universidad de Hawaii (<http://uhslc.soest.hawaii.edu/>). El procesamiento al que fueron sometidos los datos de los satélites JASON es descrito en Mosquera et al. (2014b). Los datos de las estaciones mareográficas fueron: Lobos de Afuera, Callao

y San Juan. Estas estaciones fueron seleccionadas por su cercanía a las trayectorias de los satélites. Para ambas bases de datos, las anomalías se calcularon con una climatología que abarca el periodo 2002-2014.

Las trayectorias de JASON que se consideraron para el monitoreo del NMM fueron cuatro (T1, T2, T3 y T4) y se muestran en la Figura 1. En esta se han graficado las tres posiciones de los mareógrafos cercanos al extremo de tres trayectorias (T1, T3 y T4) con círculos de color rojo. La información de los mareógrafos se utilizó para correlacionarla con cada punto que conforma tres de los cuatro *tracks* (T1, T3 y T4), cuyos resultados mostraron que solo los extremos de cada *track*, ubicados a partir de los 50 km, tienen una variabilidad aproximada a la de los mareógrafos, con correlaciones que van de 0.5 a 0.7, lo cual es coherente, ya que son los puntos más cercanos a la costa. Hay que aclarar que existe información más próxima a la costa, pero esta se encuentra, de alguna manera, “contaminada” por la topografía costera, por lo que estos datos no son confiables (Cipollini et al., 2013).

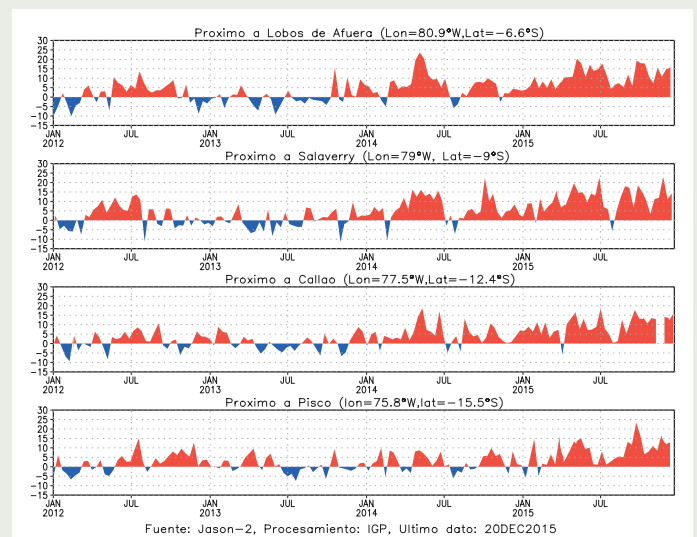


Figura 2. Series de tiempo de la anomalía del nivel medio del mar obtenidas de los cuatro *tracks* del satélite que cruzan la costa peruana: (primer panel) S1, (segundo panel) S2, (tercer panel) S3 y (cuarto panel) S4.

Para generar las series de tiempo de la anomalía del NMM que son mostradas en la Figura 2, se utilizó el promedio de la información que conforma cada *track* y que tiene mayor correlación con los datos de las estaciones mareográficas más cercanas. Para el caso de la T2 (Figura 1) se usó el mismo número de puntos que se obtuvo en T1, ya que no se cuenta con una estación mareográfica próxima a ella. A estas series las llamaremos S1, S2, S3 y S4. En la Figura 2 se puede observar que las anomalías del NMM han presentado valores positivos a partir del año 2014. El

resultado es coherente debido a que en los últimos años en nuestra región se han presentado eventos El Niño costero, tanto en el año 2014 como en 2015/2016, de magnitud moderada y fuerte, respectivamente. Sin embargo, a pesar de este valor promedio por encima de lo normal desde el año 2014, se puede apreciar una variabilidad de mayor frecuencia en esta información que puede ser consecuencia de la onda Kelvin ecuatorial.

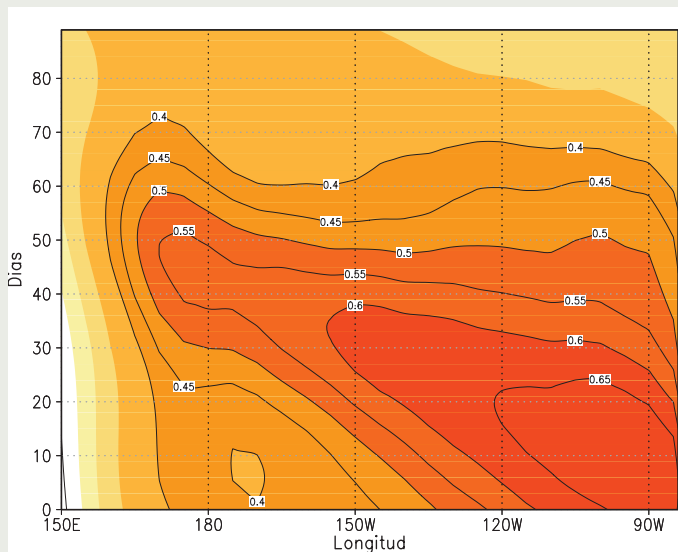


Figura 3. Correlación con retraso de la anomalía del nivel del mar (JASON) de la serie T1 y la señal de la onda Kelvin en el nivel del mar a lo largo del Pacífico Ecuatorial (obtenida de JASON) que va desde 150°E hasta 85°W (en colores).

Para comprobar la conexión entre la variabilidad de alta frecuencia a lo largo de la costa peruana y la onda Kelvin ecuatorial, se procedió a realizar una correlación con retraso entre la serie de tiempo S1 (la que está frente a la estación mareográfica Lobos de Afuera) y la señal de la onda Kelvin en el nivel del mar obtenida también de JASON (ver detalles de este producto en Aparco et al., 2015). Los resultados de las correlaciones se pueden apreciar en la Figura 3, donde se observa que los valores de correlación por encima de 0.5 están en casi todo el Pacífico Ecuatorial. Este dato sugiere que la señal de la onda Kelvin ecuatorial en el nivel del mar estaría siendo “observada” en la serie de tiempo S1, a pesar de no estar muy cerca de la costa.

Esta nueva base de datos no solo contribuirá a monitorizar la variabilidad del NMM, sino que también podrá ser combinada con otras fuentes de datos para hacer un mejor análisis, como se observa en la Figura 4. En esta se puede ver un nuevo producto que combina la información de vientos calculados del satélite ASCAT (primera columna), profundidad de la termoclina obtenida de las boyas TAO (segunda columna) y flotadores ARGO (tercera columna), anomalía del nivel del mar de JASON (cuarta columna) y S1 (quinta columna). El periodo considerado va del 01 de enero de 2015 al 23

de febrero de 2016, cuando se desarrolló el evento El Niño 2015/2016. Los paneles superiores muestran el promedio de las anomalías de todo el periodo arriba indicado, lo cual representa el evento El Niño; en la parte inferior, los gráficos longitud – tiempo serían las anomalías intraestacionales. Estas variaciones en los gráficos Howmøller pertenecen a las ondas Kelvin ecuatoriales intraestacionales, las cuales han estado presentes en todo el evento El Niño 2015/2016. En el caso de la serie de tiempo (Figura 4e), su variabilidad coincide con el paso de la onda Kelvin cálida que proviene del Pacífico Ecuatorial. Con las otras series de tiempo de los tracks ubicados más al sur, no se han obtenido buenos resultados. Frente a esto, se requiere aplicar técnicas que permitan “recuperar” la información que está mas cercana a la costa y, de esta manera, contar con datos más precisos que contribuyan al diagnóstico y pronóstico, básicamente, de la TSM a lo largo de la costa peruana.

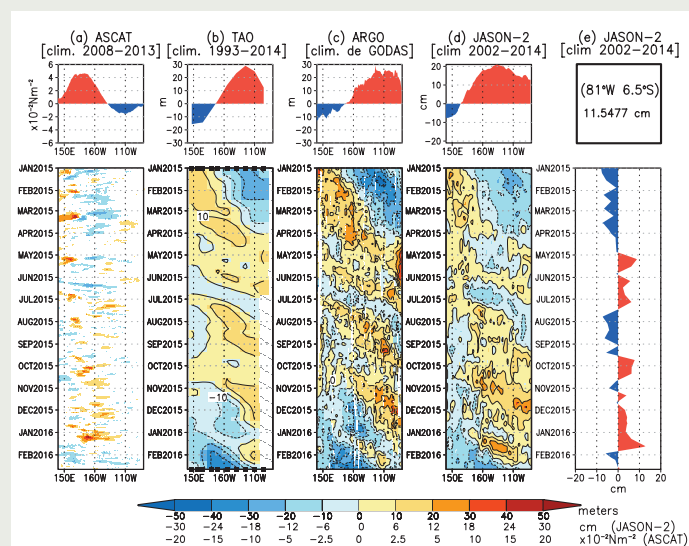


Figura 4. Gráficos de las anomalías: (a) del esfuerzo de vientos de ASCAT; (b) de la profundidad de la termoclina de TAO y de (c) ARGO; y (d) y (e) del nivel del mar de JASON. Los paneles superiores indican el promedio de la anomalía entre el 01 de enero de 2015 y el 20 de febrero de 2016 para cada una de las variables. Los paneles de abajo muestran gráficos longitud – tiempo (a excepción de (e)) que son el residuo de retirar el promedio de la anomalía (paneles superiores) a las anomalías.

## Referencias

Aparco, J., D. Pareja, y K. Mosquera, 2015: Proyección de las anomalías del nivel del mar sobre las ondas oceánicas ecuatoriales largas, Boletín Técnico “Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño”, 2, 1, 9-10, Instituto Geofísico del Perú.

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”, 1, 4. 8-9, Instituto Geofísico del Perú.

Cipollini, P., R. Scarrot, and H. Snaith, 2013: Product Data Handbook: Coastal Altimetry., D180A\_HB\_SL1, 1.