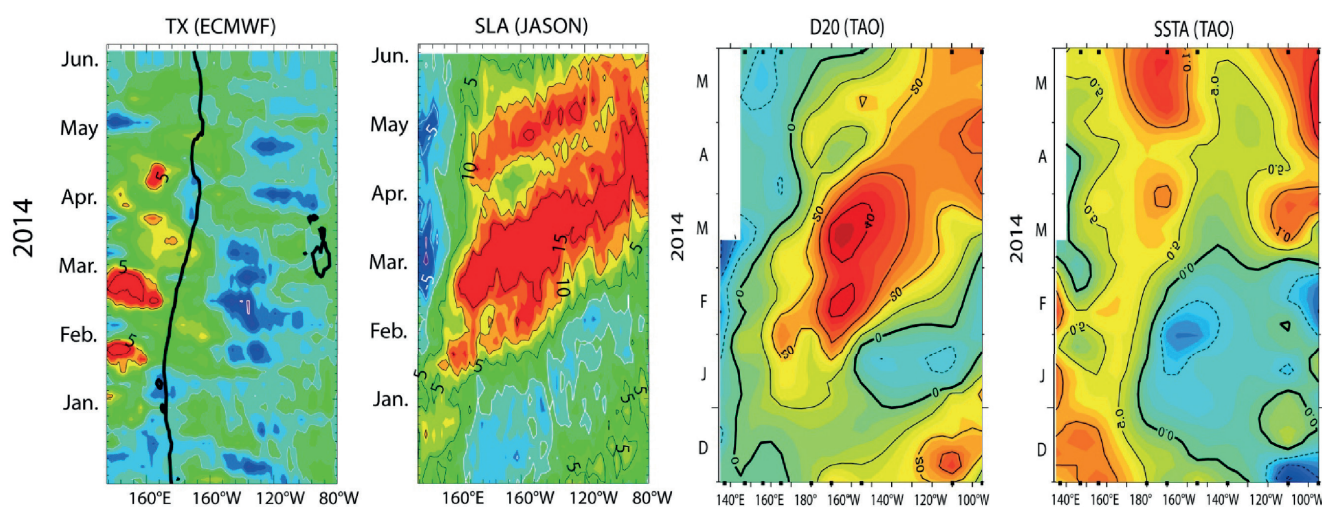


Programa Presupuestal por Resultados N° 68 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. Producto: “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”

“Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”

Boletín Técnico

Evolución inicial de El Niño 2014 a lo largo del ecuador



¿Por qué El Niño 2014 no creció en el Pacífico Central?

A pesar que mucha atención se ha concentrado en el actual evento El Niño (2015-2016), la comunidad científica aún está haciendo esfuerzos para entender por qué el evento El Niño 2014 no se desarrolló como se había previsto. En enero y febrero de 2014, dos fuertes pulsos de viento del oeste ecuatoriales sucesivos en el extremo occidental del Pacífico alarmaron a la comunidad mundial por su semejanza con lo observado al inicio de El Niño extraordinario 1997-1998 (Figura 1), lo cual llevó a varios a pensar que un evento similar se desarrollaría (McPhaden, 2015). Los vientos del oeste ecuatoriales son condiciones importantes para el desarrollo de El Niño, ya que fuerzan ondas Kelvin cálidas que pueden incrementar la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Pacífico Oriental, ya sea por advección o transporte zonal de las aguas de la piscina caliente hacia el este o por advección vertical de aguas subsuperficiales más cálidas debido a la profundización de la termoclina (Mosquera, 2014), aunque esto no es siempre suficiente para que se origine El Niño. Si el calentamiento es suficientemente intenso en la fría región oriental, esto podría activar el proceso de amplificación de Bjerknes e impulsar el desarrollo de El Niño fuerte o extraordinario (Takahashi and Dewitte, 2015). Otra condición favorable, pero tampoco suficiente



Boris Dewitte, Dr.

Investigador Científico del
Laboratoire d'Etudes en Géophysique
et Océanographie Spatiales

Doctor en Oceanografía Física de la Université Paul Sabatier, Toulouse, Francia, e Ingeniero en mecánica de fluido de la Escuela Nacional de Aeronáutica y Espacio (Supaero). Desde el año 1999 es investigador científico del Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (LEGOS), donde se desempeña como especialista en oceanografía física y dinámica tropical. Forma parte de varios comités científicos internacionales, incluyendo el Scientific Steering Group del programa Climate Variability (CLIVAR). Es autor y revisor de diversos artículos científicos de revistas indexadas internacionales y recientemente su investigación está enfocada en la interacción océano-atmósfera en el Pacífico sur-este y cómo el cambio climático afecta la circulación oceánica y el ciclo hidrológico en la costa.

para que se produzca un evento El Niño, es la acumulación del contenido de calor en el océano Pacífico Ecuatorial, como se dio en el año 2014 (Figura 2 de McPhaden, 2015).

Al final, contra las expectativas de varios, el evento El Niño 2014 fue el más débil que se haya observado en los últimos 60 años en el Pacífico Central según el promedio de la TSM (noviembre-enero) en la región Niño 3.4 (Figura 3a de McPhaden, 2015). Este Fenómeno El Niño podría ser considerado como el evento más incómodo para la comunidad científica ya que, a pesar de casi

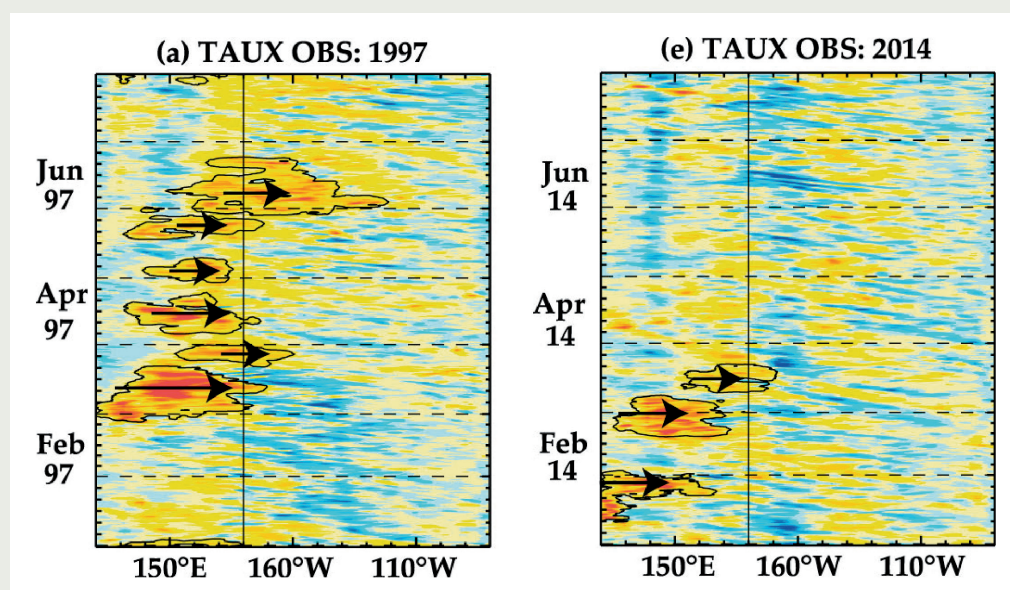


Figura 1: Anomalías del esfuerzo del viento zonal a lo largo del ecuador en los datos NCEP2 (adaptado de Menkes et al., 2014).

¿Por qué El Niño 2014 no creció en el Pacífico Central?

Dewitte B., Mosquera K., Takahashi K.

Kobi Mosquera-Vásquez, Dr.
Investigador Científico del
Instituto Geofísico del Perú



Doctor en Oceanografía Física de la Universidad Paul Sabatier de Francia, Magíster en Física – Mención Geofísica y Físico de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Actualmente es investigador científico superior de la Sudirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrosfera del Instituto Geofísico del Perú (IGP) y es representante alterno del IGP en el Comité Técnico para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). En la actualidad se dedica al estudio de las ondas Kelvin oceánicas y su impacto en la dinámica y termodinámica del Pacífico Ecuatorial. Para esto utiliza información in situ, satelital y modelos numéricos simples.

30 años de investigación intensa sobre El Niño, esta falló en predecir su magnitud en el Pacífico Central con un alto grado de error¹. Por otro lado, hay que resaltar que este evento mostró su gran complejidad, ya que no pudo ser interpretado en base a las actuales teorías del ENSO (Dewitte et al., 2014). Todo esto conlleva a considerar que aún es necesario realizar investigación básica en este tema.

Diversidad de Procesos

Hasta el momento, existen algunos estudios que tratan de explicar por qué El Niño 2014 no se desarrolló como el de 1997-1998. Menkes et al. (2014) propusieron que los pulsos de viento entre enero y abril no tuvieron tanta intensidad y duración como los de inicios de 1997 y no pudieron desplazar sustancialmente el borde de la “piscina caliente” del Pacífico Occidental hacia el este, lo cual sí se dio en 1997. Además, entre abril y julio de 2014 no hubieron nuevos pulsos de viento, los cuales, en el evento de 1997, fueron cruciales para empujar, aún más hacia el este, el borde de la piscina caliente. Este rol de los pulsos de viento fue evaluado por Menkes et al. (2014) mediante experimentos con un modelo numérico oceánico forzado por vientos superficiales que, si bien fueron cuidadosamente

diseñados, tuvieron la importante limitación de usar un modelo solamente oceánico y no acoplado océano-atmósfera, por lo cual debieron asumir que los vientos son independientes de las condiciones oceánicas. En la realidad, la anomalía de la TSM inducida por los pulsos de viento del 2014 podría haber generado aún más pulsos de viento (retroalimentación de Bjerknes) tal como sucede normalmente en el desarrollo de un evento El Niño, pero esto no ocurrió en el 2014 y no es claro por qué.

Otra propuesta es que el intenso pulso de viento del este, que se dio en junio de 2014 en el Pacífico Oriental, fue responsable de la interrupción del desarrollo de El Niño de ese año, generando una onda Kelvin fría que produjo enfriamiento en el Pacífico Ecuatorial y suprimió la retroalimentación de Bjerknes que hubiera hecho crecer este evento (Hu y Fedorov, 2015; Min et al., 2015). En el estudio de Hu y Fedorov (2015), estos sustentaron su argumento con experimentos con un modelo acoplado océano-atmósfera en el que la imposición del viento intenso del este observado en junio anuló la probabilidad de desarrollo de El Niño fuerte o extraordinario. Si bien este estudio consideró la interacción océano-atmósfera, una limitación importante es que se asume que el pulso de viento es independiente de El Niño. Sin embargo se sabe que los forzantes estocásticos asociados a los pulsos de viento tanto del este como del oeste pueden depender de El Niño y La Niña (Gebbie and Tziperman, 2009; Levine y Jin, 2015). En este caso, no es claro qué factores produjeron el fuerte pulso del este, aunque ambos estudios (Hu y Fedorov, 2015; Min et al., 2015) coinciden en que su ocurrencia podría haber sido favorecida por las condiciones en promedio frías en el Pacífico Sudeste en la década reciente.

Otra hipótesis que es explorada en este artículo está basada en resultados recientes que muestran que la onda Kelvin ecuatorial intraestacional parece disipar su energía en el extremo este (alrededor de 120°W), debido al proceso de dispersión de las ondas al propagarse a través del fuerte gradiente zonal de densidad en dicha zona (Mosquera et

¹Se nota que el Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) en el Perú correctamente predijo la ocurrencia de El Niño costero en el 2014 y, en mayo 2014, descartó la posibilidad de El Niño extraordinario (ENFEN, 2014b; Takahashi, 2014; Takahashi y Mosquera, 2015).

al., 2014). Este proceso puede ser importante ya que podría afectar la eficacia de las ondas para “gatillar” El Niño. La inspección de las condiciones oceánicas a lo largo de la línea ecuatorial en enero–mayo 2014 sugiere que la onda Kelvin cálida generada por los pulsos de viento del oeste de enero-febrero fue disipada en su camino hacia el Pacífico Oriental. Específicamente, la señal de la onda Kelvin, visible en la anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C (aproximadamente en el centro de la termoclina), presentó una importante disminución de su amplitud en 120°W en abril (Figura 2c) la cual también se observa en el nivel del mar (Figura 2b), aunque menos marcada que en las anomalías de la profundidad de la termoclina. Esta disminución coincide con un debilitamiento de las anomalías de la TSM (Figura 2d), por lo que quizás el calentamiento superficial en el Pacífico Oriental no habría sido suficientemente grande para activar la retroalimentación de Bjerknes y llevarnos a un desarrollo de El Niño fuerte. Hay que resaltar que, a pesar de la reducida TSM en 120°W, a lo largo de la costa peruana la TSM se incrementó lo suficiente para que el ENFEN declarara condiciones El Niño costero (Takahashi y Mosquera, 2015).



Ken Takahashi Guevara, Ph. D.
Investigador Científico del
Instituto Geofísico del Perú

Ph. D. en Ciencias Atmosféricas de la University of Washington, Seattle, EE.UU. y Físico de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Actualmente es investigador científico en el Instituto Geofísico del Perú, donde está a cargo de la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera, y representa al IGP en el Comité Técnico del ENFEN. Recientemente su investigación está enfocada en entender las condiciones que favorecen la ocurrencia de eventos El Niño extremos, los procesos de interacción entre el océano y atmósfera, identificar la variabilidad a escala decadal en el Pacífico sureste.

Disipación de las ondas Kelvin

Para verificar si las ondas Kelvin cálidas iniciadas en febrero y marzo de 2014 pudieron ser objeto de disipación en 120°W, se realizaron experimentos de sensibilidad con un modelo oceánico de

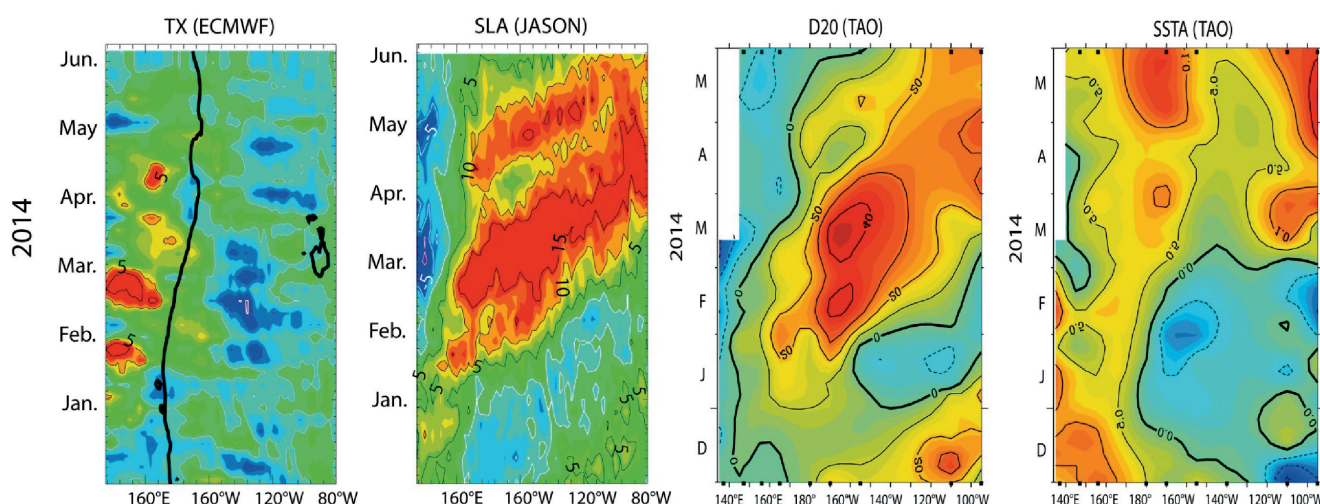


Figura 2: Anomalías a) del esfuerzo del viento zonal (fuente: ECMWF), b) del nivel del mar (fuente: JASON2), c) de la profundidad de la termoclina (isoterma de 20°C, fuente: TAO) y d) de la temperatura superficial del mar (fuente: TAO). Datos promedio entre 2°S y 2°N. La línea negra en grueso en a) es la isoterma de 28°C.

¿Por qué El Niño 2014 no creció en el Pacífico Central?

Dewitte B., Mosquera K., Takahashi K.

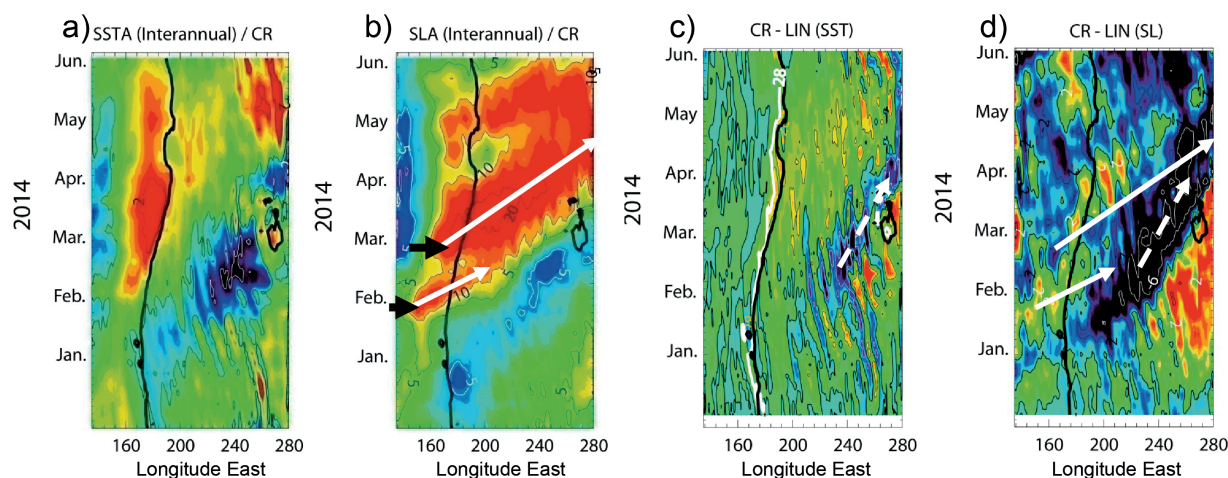


Figura 3: Anomalías a, c) de la temperatura superficial del mar y b, d) del nivel del mar para el experimento CR (a, b) y para la diferencia entre el experimento CR y LIN (c, d). Las flechas negras en b) representan los pulsos de viento. Las flechas blancas en grueso en b) y d) representan las ondas Kelvin, mientras que las flechas blancas en c) y d) representan el efecto de la advección.

circulación general (ROMS) en una configuración del Pacífico Tropical con una resolución horizontal de 0.25° . El modelo fue forzado con esfuerzo de viento y flujos de calor diarios de ECMWF sobre el periodo 2000-2015. Para asegurar que las variables del modelo se encontraran bien balanceadas, previo a los experimentos se hizo una corrida de “spin-up” de tres años repitiendo las condiciones oceánicas y atmosféricas del año 2000. Como condiciones de frontera oceánicas, el modelo usó las salidas de un modelo oceánico global (MERCATOR; ver Mosquera-Vásquez et al., 2014) capaz de simular la variabilidad interanual e intraestacional del nivel del mar con una correlación de 0.90 (0.65) en promedio en la franja ecuatorial del Pacífico (2°S - 2°N) para anomalías interanuales (intraestacionales) en el periodo 2000-2014. El modelo también logra simular el estado promedio de la profundidad de la termoclina, la cual es un factor importante en los experimentos de sensibilidad ya que la distribución de la densidad está determinada principalmente por la temperatura. Por lo tanto, la inclinación observada en la termoclina es responsable del fuerte gradiente zonal de densidad alrededor de 120°W que puede producir la dispersión de las ondas Kelvin.

Los dos experimentos realizados consistieron en: 1) uno de control (CR) y 2) otro (LIN) en que la advección en la ecuación de *momentum* (términos no-lineales de la forma $u \partial v / \partial x$) es desactivada

en diciembre de 2013, justo antes de que las ondas Kelvin sean generadas. Comparando los dos experimentos, se deduce que, en el primero, la advección no-lineal produjo dispersión de las ondas Kelvin a través de dispersión modal (Mosquera et al., 2014), mientras que en los experimentos sin advección de *momentum*, la onda Kelvin mostró una propagación más eficiente hacia el este (Figura 3d). En CR, siguiendo los pulsos de viento, el modelo simuló calentamiento en mayo tanto en el borde de la “piscina caliente” como en el Pacífico Oriental (Figura 3a), lo cual es consistente con las observaciones (Figura 2d). Una onda Kelvin cálida de pequeña amplitud fue generada por los pulsos de viento de enero, mientras que en febrero los pulsos de viento dieron origen a una onda Kelvin muy energética que se propagó hacia el extremo oriental, aunque su amplitud se redujo en su camino (Figura 3b). La corrida CR presenta condiciones más frías que la corrida LIN a mediados de febrero cerca de 120°W y esta frialdad relativa se fue desplazando hacia el este hasta alcanzar la costa sudamericana a inicios de abril. Esta aparente propagación hacia el este tuvo una velocidad inferior a la de una onda Kelvin del primer modo baroclínico (Figure 3c). Estas diferencias en la TSM están asociadas a diferencias también negativas en el nivel del mar de aproximadamente 6 cm (Figura 3d). Los resultados indican que la advección de *momentum* debilitó la onda Kelvin cálida y redujo el calentamiento de la superficie oceánica.

Discusión y Conclusiones

La falta de crecimiento de El Niño en el Pacífico Central en el año 2014 sorprendió a varios en la comunidad científica. Entender los mecanismos asociados es importante para mejorar nuestra capacidad para predecir futuros eventos, pero esto no es siempre sencillo de hacer. Los estudios publicados hasta el momento se han concentrado en la componente atmosférica, tanto en la falta de pulsos vientos del oeste como en el fuerte pulso de viento del este. Nosotros estamos explorando la posibilidad de que los mecanismos oceánicos hayan jugado también un rol importante. Los experimentos de sensibilidad realizados en este trabajo son consistentes con la idea de que las ondas Kelvin cálidas generadas en enero y febrero de 2014 fueron atenuadas, por lo cual no produjeron un calentamiento superficial significativo en la zona ecuatorial que hubiera dado inicio a la interacción con la atmósfera y ayudado al crecimiento de El Niño. Esta hipótesis podría ser probada usando un modelo acoplado en el cual también se considere el uso, o no, de los términos de advección de la ecuación de *momentum*. La diversidad de procesos involucrados para explicar por qué El Niño 2014 no se desarrolló como un evento de magnitud moderada o fuerte, a pesar de las condiciones favorables aparentes, indica que necesitamos ir más allá del modelo conceptual del “oscilador carga -descarga” (Dewitte et al., 2014) para comprender y predecir El Niño y que el contenido de calor oceánico no puede ser usado confiablemente como un índice predictor. Por eso, se necesitan más estudios teóricos que incluyan procesos no-lineales tanto en el océano como en la atmósfera, así como la estacionalidad de la retroalimentación de Bjerknes. Además, se ha notado que la actividad de las Ondas de Inestabilidad Tropical (TIW, por sus siglas en inglés) fue anormalmente intensa entre febrero y marzo de 2014 y podría haber degradado la termoclina, provocando que las ondas Kelvin cálidas se hayan disipado más rápidamente que lo usual. Esto será examinado usando un modelo con una resolución suficientemente alta para representar correctamente la actividad de las TIW.

Más recientemente, El Niño 2015-2016 también nos dio sorpresas. Si bien el calentamiento fue

bastante intenso en el Pacífico Central, lo cual fue bien pronosticado, este fue solo moderado en la costa sudamericana durante el verano. Posiblemente, mecanismos similares a los propuestos para el 2014 también habrían sido relevantes para el evento reciente, por lo que será interesante realizar comparaciones entre los diferentes eventos. Además, es probable que la recarga de contenido de calor y el calentamiento superficial generados en el 2014, aun cuando no llegaran a calificar como El Niño en el Pacífico Central, hayan servido de preconditionantes para El Niño 2015-2016. Es muy importante entender bien este tipo de eventos y sus mecanismos para mejorar nuestra capacidad de predicción.

Referencias

- Dewitte, B., K. Takahashi, K. Mosquera, 2014: Teorías simples de El Niño-Oscilación Sur: más allá del oscilador carga-descarga, Boletín Técnico “Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño”, 1, 8, 4-8, Instituto Geofísico del Perú.
- ENFEN, 2014: No se espera un evento El Niño extraordinario en la costa peruana en los próximos meses, Comunicado Oficial ENFEN 07-2014, 20 de mayo de 2014.
- Gebbie, G., E. Tziperman, 2009: Predictability of SST-Modulated Westerly Wind Bursts, *Journal of Climate*, doi:10.1175/2009JCLI2516.1.
- Hu, S. and A. V. Fedorov, 2016: An exceptional easterly wind burst stalling El Niño of 2014, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, doi:10.1073/pnas.1514182113.
- Levine, A. F. Z., F.-F. Jin, 2015: A simple approach to quantifying the noise-ENSO interaction. Part I: deducing the state-dependency of the windstress forcing using monthly mean data, *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-015-2748-1.
- McPhaden, M. J., 2015: Playing hide and seek with El Niño, *Nature Climate Change*, 5, 791–795, doi:10.1038/nclimate2775.
- Menkes, C. E., M. Lengaigne, J. Vialard, M. Puy, P. Marchesiello, S. Cravatte, and G. Cambon, 2014: About the role of westerly wind events in the possible development of an El Niño in 2014, *Geophysical Research Letters*, 41, 6476–6483, doi:10.1002/2014GL061186.
- Min, Q., J. Su, R. Zhang, X. Rong, 2015: What hindered the El Niño pattern in 2014?, *Geophysical Research Letters*, doi:10.1002/2015GL064899.
- Mosquera, K., 2014: Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico, Boletín Técnico “Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño”, 1, 1, 4-7, Instituto Geofísico del Perú.
- Mosquera-Vásquez, K., B. Dewitte, and S. Illig, 2014: The Central Pacific El Niño Intraseasonal Kelvin wave, *Journal of Geophysical Research*, doi:10.1002/2014JC010044.
- Takahashi, K., 2014: ¿Por qué parece muy improbable El Niño extraordinario este año? Boletín Técnico “Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño”, 1, 6, 8-9, Instituto Geofísico del Perú.
- Takahashi, K. y B. Dewitte, 2015: Física de El Niño extraordinario, Boletín Técnico “Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño”, 2, 4, 4-8, Instituto Geofísico del Perú.
- Takahashi, K., y K. Mosquera, 2015: El Niño 2014, el Comité ENFEN y los medios, Boletín Técnico “Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño”, 2, 2, 9-10, Instituto Geofísico del Perú.