



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú - IGP



Programa Presupuestal por Resultados N° 068
"Reducción de vulnerabilidad y atención de
emergencias por desastres".
Producto: "Estudios para la estimación
del riesgo de desastres"

BOLETÍN TÉCNICO

GENERACIÓN DE INFORMACIÓN Y MONITOREO DEL FENÓMENO EL NIÑO

EL NIÑO 2015:

Un evento no tan extremo

VOL. 5 N° 2 FEBRERO 2018

Contenido

3 - 4

Introducción

5 - 8

Artículo de Divulgación Científica

9 - 11

Avances Científicos

12 - 16

Resumen del Informe Técnico

17 - 19

Comunicado Oficial ENFEN

Créditos

Programa Presupuestal N° 068 "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres".
Producto: "Estudios para la estimación del riesgo de desastres".
Actividad: "Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño".

Fabiola Muñoz
Ministra del Ambiente

Hernando Tavera
Presidente Ejecutivo IGP

Danny Scipión
Director Científico IGP

Yamina Silva
Directora de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

Kobi Mosquera
Responsable de la elaboración del Boletín
El Niño - IGP

Equipo científico: Kobi Mosquera, Jorge Reupo, Berlín Segura, André Galdós

Edición: Katherine Morón
Diseño y Diagramación: Luis Miguel Ybañez

Carátula: Andina

Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169 Mayorazgo
IV Etapa - Ate
Teléfono (511) 3172300

Impreso por:
INVERSIONES IAKOB S.A.C.
Telf. (051-1) 2963911
Dirección: Av. Iquitos 1481 – La Victoria

Lima, Mayo de 2018

Hecho el Depósito Legal en la
Biblioteca Nacional del Perú N° 2014-02860

Introducción

El Programa Presupuestal por Resultados (PPR) es una estrategia de gestión pública que vincula la asignación de recursos a productos y resultados medibles a favor de la población. Dichos resultados se vienen implementando progresivamente a través de los programas presupuestales, las acciones de seguimiento del desempeño sobre la base de indicadores, las evaluaciones y los incentivos a la gestión, entre otros instrumentos que determina el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) a través de la Dirección General de Presupuesto Público, en colaboración con las demás entidades del Estado.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) viene participando en el Programa Presupuestal por Resultados 068: "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres". A partir del año 2014, algunas de las instituciones integrantes de la Comisión Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) participan en este PPR con el producto denominado "Estudios para la estimación del riesgo de desastres", que consiste en la entrega en forma oportuna de información científica sobre el monitoreo y pronóstico de este evento natural oceáno-atmosférico, mediante informes técnicos mensuales, que permitan la toma de decisiones a autoridades a nivel nacional y regional.

A este producto, el IGP contribuye con la actividad "Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño", la cual incluye la síntesis y evaluación de los pronósticos de modelos climáticos internacionales, el desarrollo y validación de nuevos modelos de pronóstico, así como el desarrollo de estudios científicos que fortalecerá en forma continua la capacidad para este fin.

El presente Boletín tiene como objetivo difundir conocimientos científicos, avances científicos y noticias relacionadas a este tema, con la finalidad de mantener informados a los usuarios y proporcionarles las herramientas para un uso óptimo de la información presentada. Además, comparte una versión resumida del Informe Técnico que el IGP elabora mensualmente para cumplir con los compromisos asumidos en el marco del PPR 068. Dicho Informe contiene información actualizada operativamente y proporcionada por el IGP como insumo para que el ENFEN genere en forma colegiada la evaluación final que será diseminada a los usuarios. Se advierte que, en caso de discrepancias, el Informe Técnico del ENFEN prevalecerá.

Los resultados de esta actividad están disponibles en: <http://intranet.igp.gob.pe/productonino/>



El Instituto Geofísico del Perú es una institución pública al servicio del país, adscrito al Ministerio del Ambiente, que genera, utiliza y transfiere conocimientos e información científica y tecnológica en el campo de la geofísica y ciencias afines, forma parte de la comunidad científica internacional y contribuye a la gestión del ambiente geofísico con énfasis en la prevención y mitigación de desastres naturales y de origen antrópico.

En el marco de la Comisión Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), el IGP rutinariamente aporta información experta sobre modelos y pronósticos relacionados con El Niño y fenómenos asociados.



ENFEN

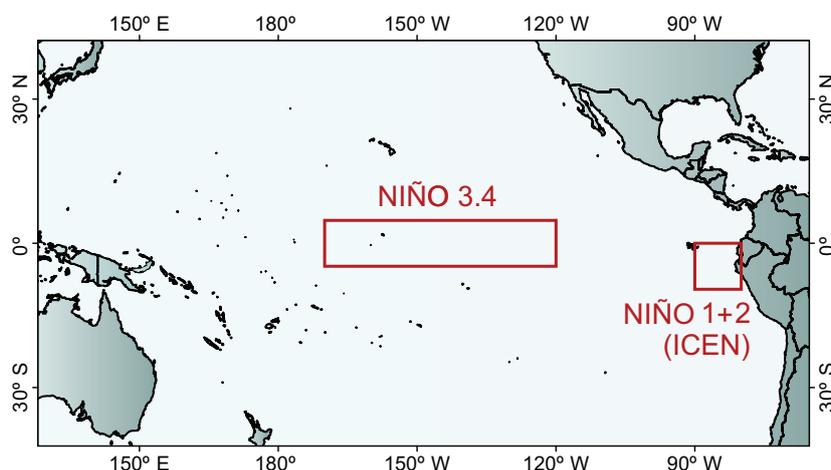
La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformada por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA, INDECI y CENEPRED, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

Esta Comisión es de naturaleza permanente, depende del Ministerio de la Producción y tiene por objeto la emisión de informes técnicos de evaluación y pronóstico de las condiciones atmosféricas, oceanográficas, biológico-pesqueras, ecológico marinas e hidrológicas que permitan mejorar el conocimiento del Fenómeno "El Niño" para una eficiente y eficaz gestión de riesgos (Decreto Supremo N° 007-2017-PRODUCE).

Para este fin, el ENFEN realiza el pronóstico, monitoreo y estudio continuo de las anomalías del océano y la atmósfera del mar peruano y a nivel global, a través de la elaboración de estudios y análisis científicos basados en la información proveniente de diversas redes de observación y modelos de variables oceanográficas, meteorológicas, hidrológicas y biológico-pesqueras. También, emite mensualmente pronunciamientos que son preparados colegiadamente, acopiando la mejor información científica disponible y de competencia de cada institución respecto de su sector y genera la información técnica para su difusión a los usuarios.

Además, un objetivo central del ENFEN es estudiar el Fenómeno El Niño, con el fin de lograr una mejor comprensión del mismo, poder predecirlo y determinar sus probables consecuencias, lo cual se desarrolla mediante la investigación científica.

El ENFEN es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados



El mapa muestra las dos regiones que definen los principales índices de temperatura superficial del mar utilizadas para monitorizar El Niño y La Niña. La región Niño 1+2 (90°-80°W, 10°S-0°), en la que se basa el Índice Costero El Niño (ICEN), se relaciona con impactos en la costa peruana, mientras que la región Niño 3.4 (5°S-5°N, 170°W-120°W) se asocia a impactos remotos en todo el mundo, incluyendo los Andes y Amazonía peruana.

El Niño 2015: Un evento no tan extremo



Boris Dewitte,
Ph.D.
INVESTIGADOR EN EL
CENTRO DE ESTUDIOS
AVANZADOS EN ZONAS
ÁRIDAS (CEAZA)

Ph. D. en oceanografía física de la Universidad de Toulouse, Francia. Actualmente es investigador en el Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA). Es autor de numerosos artículos publicados en revistas internacionales y recientemente su investigación está enfocada en la dinámica oceánica regional a lo largo de la costa de Perú y Chile.



Emilio Concha
ASISTENTE DE INVESTIGACIÓN
DEL CEAZA



Dr. Kobi Mosquera
INVESTIGADOR CIENTÍFICO DEL
INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

El evento El Niño 2015 sorprendió a la comunidad científica, ya que un año antes (2014) se esperaba el desarrollo de un evento El Niño extremo a raíz de la presencia de dos pulsos de viento fuertes del oeste que se dieron en el verano Austral, los cuales tuvieron características similares a los que se dieron en el año 1997 cuando se dio uno de los dos eventos El Niño extremos (Menkes et al., 2014). Adicionalmente, el contenido de calor se había incrementado a inicios del año 2014, lo que también fue propicio para el desarrollo de un evento extremo. Sin embargo, fue solo hasta el invierno Austral de 2015 que la NOAA declaró que un evento El Niño de magnitud fuerte se estaba desarrollando (L'Heureux et al., 2017). Esto llevó a considerar que la evolución de El Niño durante el año 2014 se había retrasado como consecuencia de la presencia de pulsos de viento del este, al este de 120°W y en junio de 2014 (Levine and McPhaden, 2016; Hu and Fedorov, 2016; Dewitte et al., 2016). El Niño 2015 también fue particular en sus impactos, ya que si bien tuvo efectos notables en regiones remotas por medio de las ya conocidas teleconexiones atmosféricas (e.g. Stuecker et al., 2015), este no produjo lluvias intensas en la región norte del Perú (Sanabria et al., 2017). En efecto, este evento se diferenció de los otros dos El Niño extremos (el de 1982 y 1997) en términos de su evolución estacional y patrón espacial, tal como se ilustran en la Figura 1. En esta última se muestra la evolución conjunta de los índices E y C, definidos por Takahashi et al. (2011),

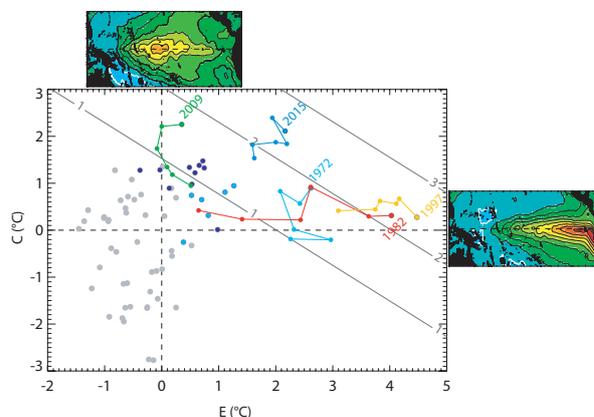


Figura 1. Índices E vs. C para el mes de diciembre. Estos índices representan gran parte de la variabilidad del índice NIÑO1+2 (90°W-80°W; 0°-10°S) y NIÑO4 (160°E-150°W; 5°S-5°N), respectivamente, ya que su regresión en los índices E y C nos da índices aproximados (NIÑO1+2approx and NIÑO4approx) que contienen el 90 y 93% de varianza explicada de los índices originales sobre el periodo 1950 – 2016, donde NIÑO1+2 aprox=0.93E+0.23C and NIÑO4 aprox=0.13E+0.47C. Puntos en colores corresponden a los años que se desarrolló El Niño. La evolución de cinco eventos El Niño (1972, 1982, 1997, 2009 y 2015), durante julio y diciembre, se resaltan con distintos colores. El punto etiquetado con un año corresponde al mes de diciembre para ese año en particular. Los puntos celestes corresponden a los eventos El Niño (1951, 1953, 1957, 1963, 1965, 1969 y 1972) usados para el compuesto de “El Niño canónico” de Rasmusen y Carpenter (1982). Las líneas oblicuas grises corresponden a las isolinias del índice aproximado NIÑO 3.4 (NIÑO3.4 aprox=0.47E+0.67C). El índice NIÑO 3.4 para los cuatro eventos El Niño (1972, 1982, 1997, and 2015) es cercano a 2°C. El patrón espacial asociado a cada índice (E y C) se ubica en su respectivo eje. La data es obtenida del HadISST v1.1. (Rayner et al., 2003). Esta imagen ha sido modificada de Dewitte y Takahashi (2017).

entre los meses de julio y diciembre para cuatro eventos El Niño: 2009, 1982, 1997 y 2015. Esta figura muestra claramente qué tanto los eventos El Niño de 1982 y el de 1997 se desarrollaron a lo largo del índice E produciendo un calentamiento extremo en la costa peruana, región donde el patrón espacial E tiene una mayor intensidad. Sin embargo, El Niño 2015, a pesar de tener valores similares a los eventos anteriores en la región Niño 3.4, evolucionó de una manera distinta a los otros eventos extremos, es decir, en vez de seguir la dirección del eje E , lo hizo a lo largo de una dirección localizada entre los ejes E y C (aproximadamente a 45° entre ambos ejes), alcanzado en diciembre la mitad del valor de E que se obtuvo en los años 1982 y 1997. Por lo tanto, El Niño 2015 frente a la costa peruana no fue tan fuerte como los eventos El Niño de 1997 y 1982, por lo que no pudo ser clasificado como extremo, aunque basado en el índice Niño 3.4, este podría ser considerado tan fuerte como El Niño 1982 y El Niño 1997. Esta característica ha desafiado la comprensión de la dinámica a gran escala de El Niño fuerte, ya que los pocos eventos extremos observados de El Niño parecen tener grandes diferencias en términos de sus mecanismos dinámicos (Hong et al., 2014; An y Kim, 2017) y termodinámicos (Paek et al., 2017). Cabe destacar que El Niño 2015 se desarrolló, en comparación a El Niño 1997, dentro de un estado promedio más cálido, el que correspondería a una transición entre la fase negativa y la fase positiva del PDO.

En este trabajo se busca entender por qué El Niño 2015 no se desarrolló como un evento extremo en la región del Pacífico Oriental Ecuatorial. Asimismo, se documenta la actividad y características de las ondas Kelvin en el Pacífico ecuatorial, así como el esfuerzo de viento en el extremo oriental durante el evento El Niño 2015. Dewitte y Takahashi (2017) mostraron que El Niño del Pacífico Oriental (EP El Niño, por sus siglas en inglés) tiende a amortiguarse por el desarrollo de un modo de acoplamiento aire – mar a lo largo de la costa peruana. Este modo, a través de los vientos del este en el extremo oriental, contrarresta el crecimiento de las anomalías cálidas de la TSM durante la fase de desarrollo de un evento El Niño. Aquí se evalúa la presencia de este proceso durante El Niño 2015 para ver si puede explicar por qué las anomalías de TSM difícilmente alcanzaron el umbral convectivo, contrariamente a lo que sucedió en eventos El Niño extremos anteriores (L'Heureux et al., 2017).

Como primer paso se presenta la evolución de las ondas Kelvin y Rossby (primer modo meridional) en la banda ecuatorial durante los eventos El Niño 1997 y 2015 (Figura 2), en esta figura se ha tomado en cuenta un año anterior para ver las condiciones previas al evento. La estimación de las ondas ecuatoriales largas usa como fuente de datos el *Reanalysis* de MERCATOR que previamente fue validado con observaciones y, además, comparado con otros *reanalysis* (Dewitte et al., 2017). El método para derivar los coeficientes de las ondas ecuatoriales largas es similar al utilizado por Mosquera et al. (2014), empleando una versión previa del producto MERCATOR. La Figura 1 muestra que, aunque ambos se caracterizan por una actividad significativa de las ondas Kelvin de

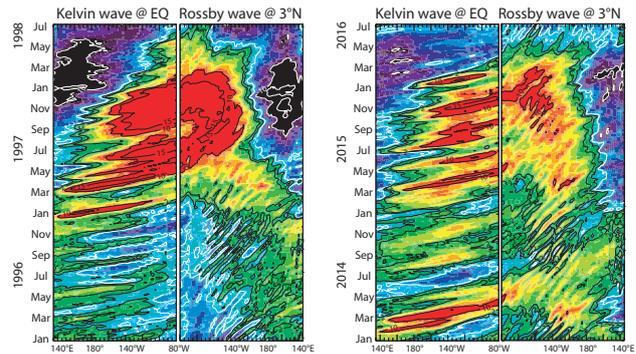


Figura 2. Evolución de las ondas Kelvin (a lo largo de la línea ecuatorial) y el primer modo meridional de la onda Rossby (en 3°N) durante El Niño 1997 (izquierda) y 2017 (derecha). Las unidades están en cm (es decir, es la contribución al nivel del mar). La información se obtuvo del *reanalysis* de MERCATOR. El eje horizontal de la figura de la señal de la onda Rossby está invertido para resaltar la reflexión en la frontera este.

hundimiento, los dos eventos El Niño son distintos en varios aspectos. La similitud es mayormente en la fase de desarrollo inicial del evento, es decir durante el verano y otoño Austral de 1997 y 2015, la que se caracteriza por pulsos de ondas Kelvin de hundimiento originadas en el extremo occidental y que se propagan hacia la región oriental. Hay que hacer notar que las ondas Kelvin durante El Niño 1997, en comparación con las del El Niño 2015, tienen una mayor amplitud y, adicionalmente, se observa la presencia de un pulso en diciembre de 1996 que no existe en el año 2014. Desde inicios del mes de julio de los años 1997 y 2015, los dos eventos empiezan a diferenciarse drásticamente en términos de las características de la onda Kelvin. Durante El Niño 1997, la amplitud y la persistencia de las ondas Kelvin se incrementa produciendo una onda Kelvin interanual como resultado de una interacción entre el océano y la atmósfera, mientras que durante El Niño 2015, solo estuvieron presentes ondas Kelvin intraestacionales. Curiosamente, estas ondas de Kelvin intraestacionales no se reflejan como ondas de Rossby ecuatoriales, excepto tal vez por aquella que alcanzó la costa ecuatoriana entre noviembre y diciembre de 2015, por lo que se sugiere que la mayoría de las ondas Kelvin quedaron atrapadas a lo largo de la costa, tal como lo indica la teoría (Clarke y Shi, 1991). Por otro lado, durante el desarrollo del evento El Niño 1997, se puede observar claramente la presencia de una onda Rossby de hundimiento en el extremo oriental en julio de 1997. En general, la actividad de la onda Rossby durante los dos eventos, también es diferente. Para el evento El Niño 2015 es posible que se haya dado una reflexión parcial de las ondas Kelvin intraestacionales como ondas Rossby intraestacionales debido a su inclinación de la termoclina (alrededor de 120°W), tal como se muestra en Mosquera et al. (2014).

Enfocándose en el evento El Niño 2015, también se observa que las ondas Kelvin de hundimiento alcanzan el continente americano entre julio y setiembre pero con una magnitud reducida luego de cruzar la posición de 120°W . En este artículo se argumenta que la reducción estaría asociada a la presencia de vientos del este, que estuvieron presentes a lo largo del ecuador desde julio

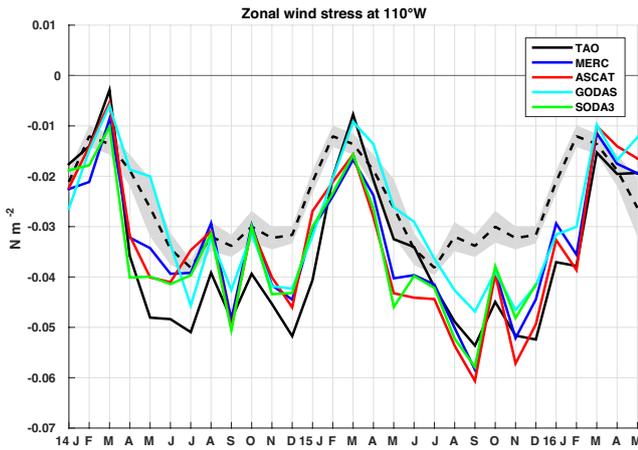


Figura 3. Evolución del esfuerzo de viento zonal en 110°W a lo largo de la línea ecuatorial entre enero de 2015 y mayo de 2016 para datos de TAO (línea de color negra), ERAInterim (línea de color azul), ASCAT (línea de color roja) y SODA (versión 3, línea de color verde). La media climatológica es calculada sobre el periodo 2008-2014 y se muestra en líneas cortadas con su respectiva dispersión en grises. Las unidades son Nm^{-2} .

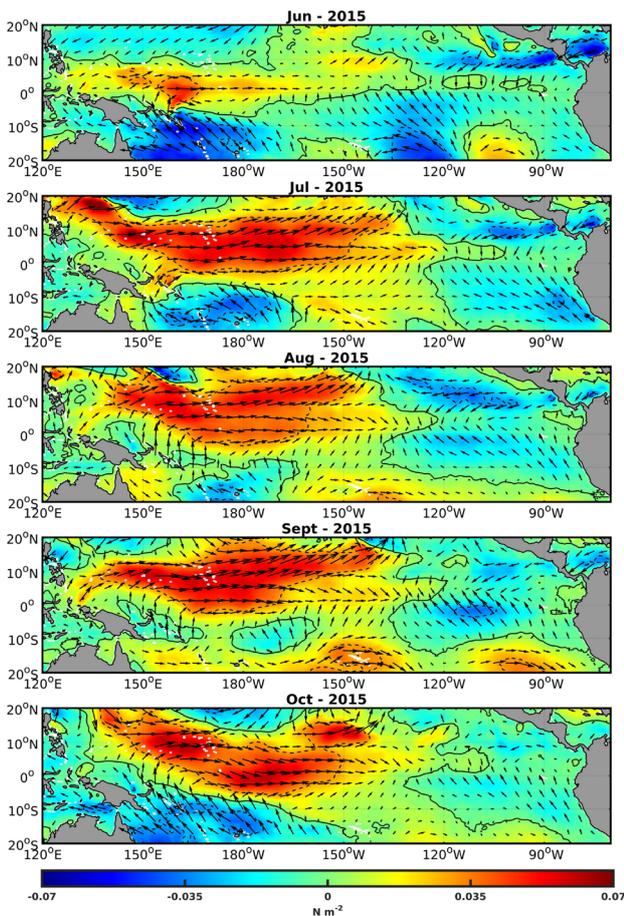


Figura 4. Anomalías de esfuerzo de viento zonal mensual (la amplitud en colores) desde junio a octubre de 2015, calculadas del periodo base 2008-2014. Las unidades son Nm^{-2} . La información es obtenida del producto ASCAT. Las flechas indican la amplitud y dirección del vector esfuerzo de viento.

de 2015. Esto se observa en la Figura 3, la cual muestra, por medio de distintos productos, la evolución del esfuerzo del viento zonal en 110°W y en 0°, posición más oriental que cuenta con información *in situ* del proyecto TAO durante el periodo que va de enero de 2014 a mayo de 2016. En esta figura se aprecia que las anomalías negativas del viento del este tienen una máxima intensidad en setiembre de 2015 y que estarían asociadas a la intensificación de los vientos alisios a lo largo de la costa peruana desde junio de 2015 (Figura 4).

Para verificar esta interpretación, un modelo oceánico lineal fue usado en dos distintas configuraciones de forzante zonal del viento. La primera simulación (CR) usó los vientos reales, mientras que en la segunda (EXP) se removió, entre junio y noviembre de 2015, el efecto de los vientos del este localizados al este de 120°W. El objetivo de EXP fue observar el impacto de los vientos del Este sobre las ondas Kelvin en la región oriental. La Figura 5 muestra el resultado de las simulaciones con el modelo oceánico lineal. En el panel de la izquierda se observa que con CR, usando vientos reales, las ondas Kelvin; formadas en el Pacífico Occidental y central (alrededor de 180°) en mayo, julio y agosto de 2015; son disipadas significativamente, mientras que en la EXP dichas ondas habrían alcanzado el extremo oriental con casi la misma intensidad con la que se formó. La disminución de la intensidad de las ondas Kelvin en el extremo oriental del Pacífico asociada a los vientos del Este alcanzó una amplitud de 5cm en agosto de 2015, el cual no tuvo el potencial de amplificar la anomalía de la TSM en dicha región por medio de la advección vertical. Esto podría explicar por qué El Niño 2015 no se desarrolló en la región oriental como un evento El Niño comparable al de 1997. El Niño 2015 tuvo, en esencia, un desarrollo típico de un evento El Niño EP de magnitud moderada, similar al Niño de 1972, que involucró una interacción océano-atmósfera a lo largo de la costa peruana que actuó como una retroalimentación negativa (Dewitte and Takahashi, 2017).

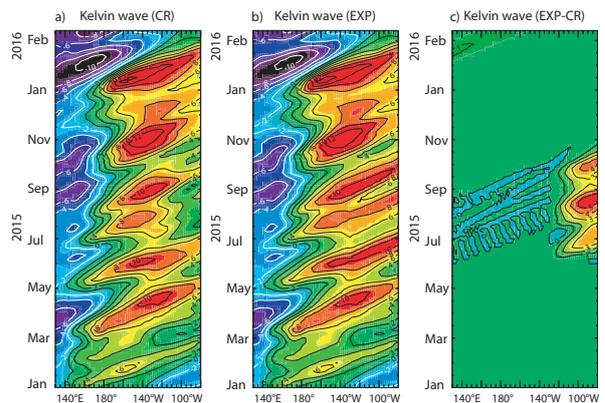


Figura 5. Contribución de la onda Kelvin al nivel del mar (cm) a lo largo del ecuador para: (a) la Simulación de Control (SC), (b) un experimento (EXP) para el cual el esfuerzo de viento zonal es cancelado al este de 120°W entre junio y octubre de 2015 (ver detalles en el texto) y (c) la diferencia entre las simulaciones SC y EXP. La simulación es realizada por un modelo lineal similar a Dewitte (2000), el cual es forzado con anomalías de esfuerzo de viento del producto ERAInterim sobre el periodo 1992-2016. La climatología es calculada para el periodo 1992-2014. Los parámetros del modelo son obtenidos de la descomposición modal del reanalysis de Mercator.

Es necesario mencionar que durante El Niño 2015 se mostró la importancia de la capacidad regional para pronosticar los impactos de los eventos El Niño. En mayo de 2015, la NOAA declaró que un evento El Niño estaba en desarrollo y que podía tener magnitudes similares a la de El Niño 1997 (L'Heureux et al., 2017). La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) también anunció el desarrollo de un evento El Niño fuerte. Sin embargo, a partir de septiembre de 2015, ENFEN pudo establecer que este evento El Niño no era tan fuerte como El Niño de 1997 en el Pacífico ecuatorial oriental, basado en particular en el Índice Costero El Niño (ICEN; ENFEN, 2012). Esta evaluación de las condiciones oceánicas regionales contribuyó a reajustar las medidas preventivas y ayudó a los tomadores de decisiones a gestionar de manera óptima los riesgos para proteger a las personas e infraestructuras.

REFERENCIAS

- An, S.-I., and J.-W, Kim. (2017). Role of nonlinear ocean dynamic response to wind on the asymmetrical transition of El Niño and La Niña, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 393–400, doi:10.1002/2016GL071971.
- Clarke, A. J., and C. Shi. (1991). Critical frequencies at ocean boundaries, *J. Geophys. Res.*, 96, 10,731–10,738.
- Dewitte, B., E, Concha., K, Mosquera., M, Ramos., C, Bricaud and G, Garric, 2017. GLORYS2v4 in the equatorial Pacific: Validation, impact of assimilation and the 2015/16 El Niño event (Poster) Journées Scientifiques LEFE/GMMC 2017; 20, 21, 22 juin 2017, Brest, France.
- Dewitte, B., K, Mosquera y K, Takahashi. 2016. ¿Por qué El Niño 2014 no creció en el Pacífico central?, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Instituto Geofísico del Perú, Enero, 3, 1.
- Dewitte, B. and K, Takahashi. 2017. Diversity of moderate El Niño events evolution: role of air-sea interactions in the eastern tropical Pacific. *Climate Dynamics*, <https://doi.org/10.1007/s00382-017-4051-9>.
- Dewitte, B. 2000. Sensitivity of an intermediate coupled ocean-atmosphere model of the tropical Pacific to its oceanic vertical structure. *J. Climate*, 13, 2363–2388.
- ENFEN, 2012. Definición Operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú, Nota Técnica ENFEN.
- Hong, L.C., Ho L, Jin FF (2014). A southern hemisphere booster of super El Niño. *Geophys Res Lett.* <https://doi.org/10.1002/2014GL059370>.
- Hu, S. and Fedorov, A.V. 2016. An exceptional easterly wind burst stalling El Niño of 2014. *PNAS*, doi: 10.1073/pnas.1514182113.
- Levine, A. F. Z., & M. J. McPhaden. 2016. How the July 2014 easterly wind burst gave the 2015–2016 El Niño a head start. *Geophysical Research Letters*, 43, 6503–6510. <https://doi.org/10.1002/2016GL069204>
- L'Heureux, M. L., Takahashi, K., Watkins, A. B., Barnston, A., Becker, E. J., Di Liberto, T. E., Gamble, F., Gottschalck, J., Halpert, M. S., Huang, B., Mosquera-Vásquez and K., Wittenberg, A. 2016. Observing and predicting the 2015-16 El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* doi: 10.1175/BAMS-D-16-0009.1
- 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(18), 6476–6483.
- 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.
- Paek, H., J.-Y. Yu, and C, Qian. (2017). Why were the 2015/2016 and 1997/1998 extreme El Niños different?, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi:10.1002/2016GL071515.
- Rasmuson, E. and T, Carpenter. 1982. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Weather Rev.*, 110: 354–384.
- Sanabria, J., L. Bourrel, B. Dewitte, F. Frappart, P. Rau, S. Olimpio and D, Labat. 2017. Rainfall along the coast of Peru during Strong El Niño events, *J. of International Climatology*, DOI: 10.1002/joc.5292.
- Stuecker, M. F., C. M. Bitz, and K. C, Armour. 2017. Conditions leading to the unprecedented low Antarctic sea ice extent during the 2016 austral spring season, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1002/2017GL074691
- K, Takahashi., A. Montecinos., K, Goubanova and B, Dewitte. 2011. ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L10704, doi:10.1029/2011GL047364.

Modelado de las lluvias en el verano de 2008

Bryam Orihuela y Kobi Mosquera
 Instituto Geofísico del Perú

INTRODUCCIÓN

Durante los meses de febrero y marzo de 2008 se dieron lluvias bastante intensas en la región de los Andes noroccidentales del Perú. Estas causaron la recarga de los ríos que desembocan en las ciudades de la costa norte del Perú causando gran preocupación. Lo más inusual de este evento es que se generó durante un verano, según el ICEN (Índice Costero El Niño), con condiciones neutras frente a la costa peruana y, por otro lado, un evento La Niña del Pacífico Central según el ONI (*Oceanic Niño Index*). En general, el enfriamiento del océano Pacífico de este evento era más intenso en el Pacífico central, pero hasta el mes de enero se extendía (con menos intensidad) hasta muy cerca de nuestras costas (Figura 1a). En un contexto como este, normalmente no se esperarían precipitaciones en la zona (e.g. Lavado y Espinoza, 2014). Lo que caracterizó ese evento fue que en el mes de febrero, la temperatura superficial del mar (TSM) frente a la costa norte del Perú tuvo un calentamiento anómalo (Figura 1b) que muy probablemente contribuyó a que se desencadene el evento.

En el presente artículo se mostrará el avance de un trabajo que se está llevando a cabo para entender el mecanismo físico detrás de estas lluvias. Para ello, se usará un modelo atmosférico global al cual se le prescribirán diferentes patrones de TSM. Todo esto con el propósito final de estar más informados ante la posible ocurrencia de un evento similar.

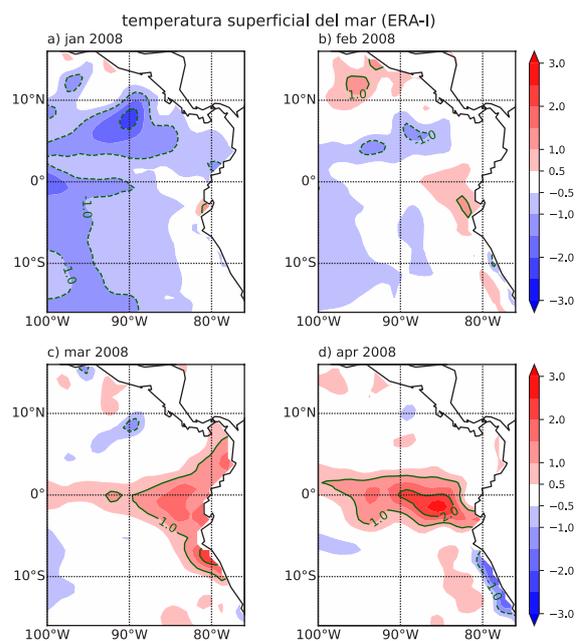


Figura 1. Datos de ERA Interim. Anomalías de la temperatura superficial del mar [°C] para (a) Enero, (b) Febrero, (c) Marzo y (d) Abril de 2008. Climatología 1988-2008.

MODELO, DATOS Y SIMULACIONES

El modelo atmosférico global a utilizar es el OpenIFS (cycle 40r1). El OpenIFS (Carver y Vana, 2017) es una versión exportable del modelo IFS (Integrated Forecast System) para su uso en instituciones académicas y de investigación. IFS fue desarrollado por el centro Europeo de Predicciones Meteorológicas a Mediano Plazo (ECMWF por sus siglas en inglés) en colaboración

con Météo-France. El OpenIFS e IFS son muy similares pero la principal diferencia es que OpenIFS no cuenta con sistema de asimilación de datos. Es importante mencionar que para representar las variables espacialmente, este modelo usa un método espectral basado en armónicos esféricos truncados en un número de onda en particular. En este caso el modelo fue corrido con un truncamiento de 'T255' que equivale aproximadamente a 80 km de resolución espacial.

Como referencia para observar, a gran escala, lo que ocurrió durante ese periodo se utilizaron los datos del reanalysis ERA Interim o ERA-I (Dee et al., 2011) que si bien no son datos puramente observados, tienen una buena aproximación de la realidad (referidos como observaciones de ahora en adelante). Esta información cuenta con el mismo método y resolución espacial del modelo (T255, que equivale a 80 km aprox.).

Se diseñaron simulaciones con el modelo OpenIFS, prescribiendo datos diarios de TSM de ERA-I. Las simulaciones cuentan con 10 miembros cada una y abarcan los meses desde noviembre hasta abril del año siguiente. Por el momento se hicieron 2 simulaciones esenciales para el trabajo y en cada una se prescribió la TSM correspondiente a:

- Simulación 1 (Exp_clim): Climatología. TSM de noviembre -> abril promedio de años 1988-2008.
- Simulación 2 (Exp_2008): Caso 2008. TSM de noviembre 2007 -> abril de 2008. Figura 1 muestra las anomalías de la TSM (solo de enero a abril) que fue prescrita.

La primera simulación (Exp_clim) es importante porque nos mostrará el comportamiento promedio del modelo durante los meses de análisis, lo cual será usado como la base para calcular eventos anómalos en las simulaciones. Y la segunda (Exp_2008) es necesaria para saber cómo fue la representación del evento en estudio por parte del modelo.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La lluvia observada (ERA-I) se muestra en la Figura 2, en la cual se puede apreciar precipitaciones muy cerca de la costa norte del Perú, tanto en la zona marítima, como sobre tierra. Sin embargo, estas parecen estar un poco más al norte de donde realmente ocurrieron (como se mencionó previamente, los reanalysis son solo aproximaciones de la realidad), especialmente sobre tierra (recordar que las lluvias fueron intensas en los andes noroccidentales del Perú).

Analizando con más detalle estos datos, se puede observar que, en general, la distribución espacial de lluvia tiene una relación directa con las zonas de anomalías positivas de TSM (Figura 1). Sin embargo,

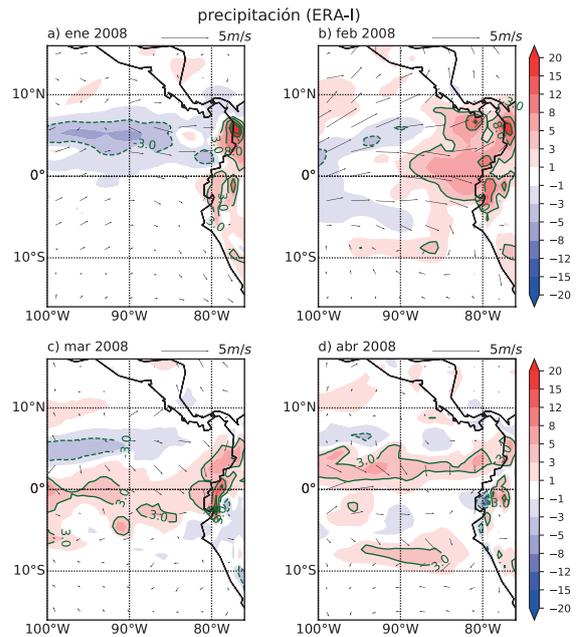


Figura 2. Datos de ERA Interim. Anomalías de precipitación [mm/día] y de viento a 10 metros (vectores) para (a) Enero, (b) Febrero, (c) Marzo y (d) Abril de 2008. Climatología 1988-2008.

frente al norte de Perú y Ecuador, en febrero (mes en el que comienzan el calentamiento anómalo del mar) la anomalía de TSM (Figura 1b), a pesar de no ser muy alta (alrededor de 0.5°C), se asocia con anomalías positivas de lluvia (Figura 2b) considerablemente altas (5-8 mm/día), lo que sugiere que podría haber alguna contribución adicional (por investigar), además de la inestabilidad debido a la convección por calentamiento de la tropósfera baja. En marzo las anomalías de TSM (Figura 1c) se intensifican, pero la lluvia (Figura 2c) no lo hace. Además, tienen una distribución espacial más zonal; es decir, el calentamiento del mar ya no está confinado solo a la zona marítima frente a la costa y la lluvia sigue el mismo comportamiento espacial. Algo similar ocurre en abril pero los valores de precipitación específicamente frente a la costa norte son cercanas a las climatológicas (Figura 2d). Otro aspecto resaltante es la presencia de anomalías del viento en superficie del oeste y noroeste durante los meses con más lluvia (Figura 2b y 2c), siendo más intensos en febrero. Estos cambios de viento son las principales fuentes del transporte de humedad hacia la zona terrestre, que además indican convergencia hacia las zonas lluviosas.

La respuesta a esta TSM anómala, en el modelo OpenIFS, se presenta en la Figura 3. Al observarla, es claro que durante los meses febrero y marzo (Figura 3b y 3c) la precipitación frente la costa norte del Perú presenta incrementos anómalos importantes, teniendo en marzo una distribución más zonal (debido al comportamiento similar de la TSM visto previamente) y no presenta valores altos sobre el continente en ambos meses, tal como ocurre en las observaciones (Figura 2b y 2c). Al parecer, la principal razón por la que las precipitaciones se mantienen hasta marzo es la máxima de valores

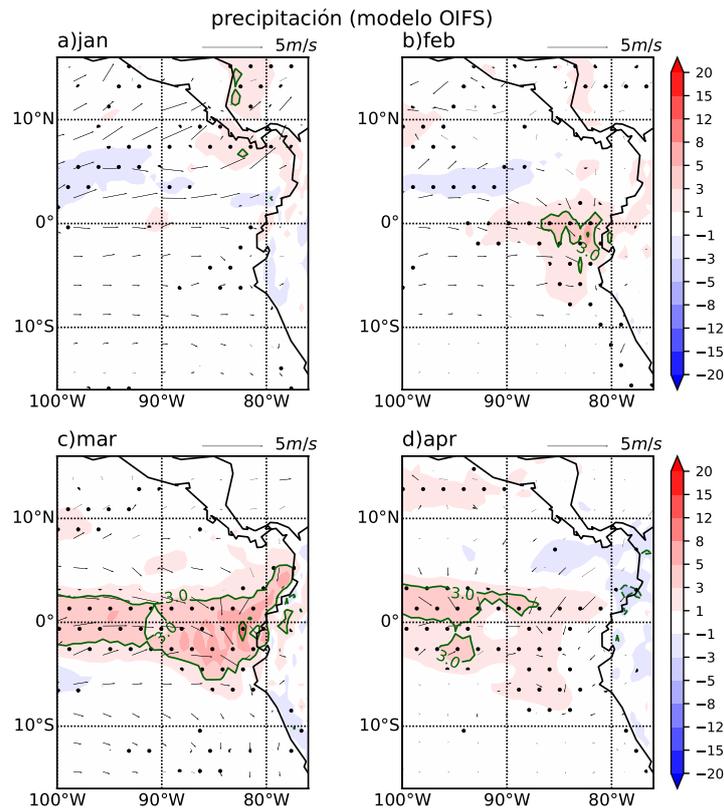


Figura 3. Exp_2008 – Exp_clim (Modelo OpenIFS). Anomalías de precipitación [mm/día] y de viento a 10 metros (vectores) para las simulaciones con la TSM prescrita de (a) Enero, (b) Febrero, (c) Marzo y (d) Abril (mostrado en la fig. 1). Áreas punteadas determinan zonas donde las diferencias son estadísticamente diferentes (test t-student) al 95%.

de TSM durante este mes. En marzo, la TSM obtiene su valor más alto del año en esta zona (alrededor de 26.5°C). Así, anomalías positivas sobre esta generan un incremento de la lluvia mucho más rápido que con valores más bajos debido a la naturaleza no lineal de esta relación (e.g. Jauregui y Takahashi, 2017). Sin embargo, lo más resaltante de esta simulación es que el modelo logró simular lluvia anómala en febrero, a pesar de que las anomalías de TSM no fueron muy altas. Hacia el mes de abril, las anomalías de precipitación (Figura 3d) disminuyen al igual que en las observaciones (Figura 2d). Por otro lado, el modelo también logra representar las anomalías de viento del oeste y noroeste en febrero y marzo (Figura 3b y 3c.); sin embargo, no son tan intensas en febrero como se ve en las observaciones (Figura 2b). Esta podría ser una de las causas por las que el modelo no representa lluvias fuertes sobre el continente y estas solo quedan confinadas sobre el mar.

La continuación de este trabajo será publicado en una edición posterior de este boletín.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la asistencia con la parte computacional del modelo a Carlos Enciso (IGP) y Glenn Carver (ECMWF).

REFERENCIAS

- Carver, G., and F. Vana. 2017. Openifs home. ECMWF. URL: <https://software.ecmwf.int/wiki/display/OIFS/OpenIFS+Home>.
- Dee, D., and Coauthors. 2011. The ERA-interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. Quarterly Journal of the royal meteorological society, 137 (656), 553597.
- Jauregui, Y.R. and K. Takahashi. 2017. Simple physical-empirical model of the precipitation distribution based on a tropical sea surface temperature threshold and the effects of climate change. Climate Dynamics.
- Lavado-Casimiro, W., and J. C. Espinoza. 2014. Impacts of El Niño and La Niña in the precipitation over Perú (1965-2007). Revista Brasileira de meteorología, 29 (2), 171-182.

Resumen del Informe Técnico PP N° 068/El Niño- IGP/2018-01

Advertencia: El presente informe sirve como insumo para la Comisión Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). El pronunciamiento colegiado del ENFEN es la información oficial definitiva. La presente información podrá ser utilizada bajo su propia responsabilidad.

RESUMEN

Según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), basado en los datos de ERSST v3b para el mes de diciembre de 2017, la condición climática para la costa peruana fue de Fría Fuerte (-1.70), mientras que el valor del ICENOI indicó la condición Fría Moderada (-1.36), calculado con datos de OISSTv2. Los valores temporales del ICEN (ICENtmp) y el ICENOI (ICENOItmp) para el mes de enero son Frías Moderadas y Frías Débiles, respectivamente, y para el mes de febrero coinciden en condiciones Neutras. En lo que respecta al Pacífico Central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA indica que diciembre tuvo una condición Fría Débil; los índices temporales estimados para enero y febrero de 2018, también indican condiciones Frías Débiles.

Para el pronóstico a largo plazo, los seis modelos numéricos de NMME, inicializados con condiciones del mes de febrero de 2018, predicen, en promedio, a pesar de mostrar anomalías ligeramente negativas, condiciones del tipo Neutral en el Pacífico oriental hasta el mes de agosto de 2018. Además se observa algunos modelos con condiciones cálidas débiles a partir del mes de mayo.

En la región del Pacífico central ecuatorial, el promedio de los modelos de NMME muestran condiciones frías débiles en el mes de febrero de 2018, a partir de marzo se observa condiciones neutras hasta el mes de agosto.

Si bien lo anterior indica pocas probabilidades de que se pueda repetir un evento similar a El Niño costero de 2017, no se puede descartar un escenario de lluvias en el norte como el observado en el verano de 2008 durante La Niña en el Pacífico central. Este escenario es más probable ya que existe la presencia de una onda Kelvin cálida que probablemente llegue a la costa peruana a partir del mes de febrero.

ÍNDICE COSTERO EL NIÑO

Utilizando los datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM) promediados sobre la región Niño1+2; actualizados hasta el mes de enero de 2018 del producto ERSST v3b, generados por el *Climate Prediction Center* (CPC) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, EEUU); se ha calculado el Índice Costero El Niño (ICEN; ENFEN 2012) hasta el mes de diciembre de 2017 y cuyos valores se muestran en la Tabla 1. El valor de diciembre corresponde a una condición Fría Fuerte.

Año	Mes	ICEN (°C)	Condiciones
2017	Setiembre	-0.98	Neutra
2017	Octubre	-1.17	Fría Débil
2017	Noviembre	-1.54	Fría Fuerte
2017	Diciembre	-1.70	Fría Fuerte

Tabla 1. Tabla 1. Valores recientes del ICEN (ERSST v3b).
(Descarga: <http://www.met.igp.gob.pe/datos/icen.txt>)

Según los valores del ICENtmp, se estima que en los meses de enero y febrero de 2018 las condiciones serían Fría Moderada y Neutro, respectivamente. El ICEN de enero será confirmado cuando se disponga del valor de ERSST para el mes de febrero de 2018.

Los valores del ICENOI, calculado de la misma forma que el ICEN pero usando los datos mensuales de OISST v2 y las climatologías de ERSST v3b (<http://www.met.igp.gob.pe/datos/climNino12.txt>). Hasta el mes de diciembre La Niña costera habría alcanzado la magnitud de fría moderada.

Los valores del ICENOItmp estimados para enero y febrero 2018 corresponden a condición Fría Débil y Neutra, respectivamente. El ICENOI de enero será confirmado cuando se disponga del valor de OISST v2 para el mes de febrero de 2018.

Por otro lado, para el Pacífico Central (Niño 3.4), el ONI (*Ocean Niño Index* en inglés; <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>), actualizado por la NOAA al mes de diciembre de 2017, es de -0.98°C , correspondiente a condición Fría Débil¹.

DIAGNÓSTICO DEL PACÍFICO ECUATORIAL

Según los datos (IR, MW, OSTIA), en el Pacífico central las anomalías de la TSM diaria se presentaron en el rango de condiciones frías, manteniéndose en el orden de -0.7°C a -0.9°C y con una tendencia positiva. Para la región Niño 1+2, la anomalía de la TSM también indica valores negativos, con un promedio de -0.8°C , aunque, al igual que el Pacífico central, muestra una tendencia positiva para el mes de febrero.

En el mes de enero el esfuerzo de viento zonal mensual en el Pacífico central (160°E - 160°W ; 5°S - 5°N) continuó con anomalía del este, mostrando mayor magnitud que el mes anterior; las máximas anomalías negativas se observaron en la segunda y tercera semana del mes entre (155°E - 170°W), por otro lado, también se observaron anomalías positivas en la última semana del mes entre (140°E - 165°E). La actividad convectiva en el Pacífico ecuatorial central-oriental, continuó inferior a su climatología y el patrón anómalo de convección ecuatorial siguió indicando un desplazamiento hacia el Pacífico occidental, consistente con condiciones atmosféricas tipo La Niña. La carga /descarga durante el mes de enero continuó mostrando en promedio un valor neutral, y la inclinación de la termoclina ecuatorial se presentó casi neutral.

Según los datos del nivel del mar satelital la onda Kelvin cálida, formada durante el mes de diciembre por un pulso de viento del oeste, empezó a impactar a la costa peruana desde inicios del mes de febrero, mientras que la señal de esta misma onda en la profundidad de la termoclina (producto ARGO + TAO) indica que, a pesar de ser débil, aún no llega a la costa peruana. Los pulsos de viento del este, al oeste de 160°W y durante el mes de enero, habrían formado una onda Kelvin fría.

¹ Los umbrales para establecer la categoría de condiciones cálidas o frías débiles, moderadas, fuertes, y muy fuertes usando el ONI son ± 0.50 , ± 1.00 , ± 1.50 , y ± 2.00 , respectivamente (Nota Técnica ENFEN, 02-2015).

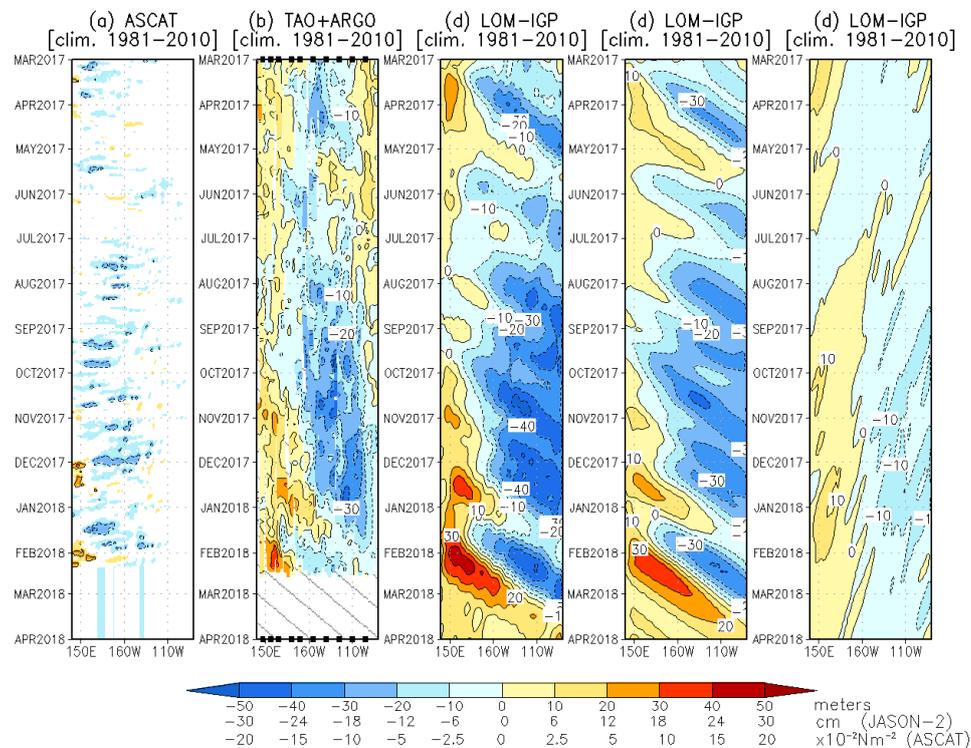


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO y los derivados de ARGO (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y finalmente diagrama de la onda Rossby, calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por ASCAT, y $\tau=0$ para el pronóstico). Las líneas diagonales representan la trayectoria de una onda Kelvin si tuviera una velocidad de 2.6 m/s . (Elaboración: IGP)

PRONÓSTICO A CORTO PLAZO CON MODELO DE ONDAS Y OBSERVACIONES

La señal en la profundidad de la termoclina de la onda Kelvin cálida, que se formó en diciembre, debe impactar la costa peruana durante las siguientes semanas. La onda Kelvin fría que se habría formado por vientos del este en el mes de enero, se estima que llegaría a la costa peruana desde fines de febrero e inicios de marzo. La onda Kelvin cálida generada por pulsos de viento del oeste a fines de enero e inicio de febrero y según los modelos de ondas llegaría a la costa peruana desde fines de marzo e inicios de abril.

PRONÓSTICO ESTACIONAL CON MODELOS CLIMÁTICOS

Según los 6 modelos climáticos de NMME (CFSv2, FLOR, CM2.1, NCAR_CCM4, CMC1 y CMC2), con condiciones iniciales de febrero para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), indican en promedio condiciones neutras de marzo a agosto de 2018 (Fig. 2), sin embargo, estos índices son negativos hasta el mes de abril. Los 6 modelos indican condiciones neutras para los meses de marzo y abril. Es notable que el modelo

CFSv2 indica mayores anomalías negativas que los otros 5 modelos.

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), según los modelos de NMME, inicializados en febrero, para el mes de marzo de 2018, 3 de 6 modelos indican condiciones frías débiles, 3 modelos indican condiciones neutras. El pronóstico promedio de los modelos de NMME indican la finalización del evento La Niña en el mes de febrero.

El patrón espacial proyectado de TSM y de precipitación pronosticado es típico de La Niña, con ausencia de calentamiento en el Pacífico sudeste (frente a norte de Chile) y en la costa de Perú como en el 2016. Asimismo, no se prevé mayor lluvia en la banda sur de la ZCIT en el verano/otoño de 2018 como en los pronósticos del 2016. Esto indica pocas probabilidades de que se pueda repetir un evento similar a El Niño costero de 2017, aunque no se puede descartar un escenario de lluvias en el norte como el sucedido en febrero del año 2008, fecha en la cual se desarrollaba un evento La Niña en el Pacífico Central.

CONCLUSIONES

1. El ICEN para diciembre de 2017 fue de -1.70 (Fría Fuerte) y el ICENTmp para enero y febrero 2018 es -1.35 (Fría Moderada) y -0.87 (Neutro). Usando OI

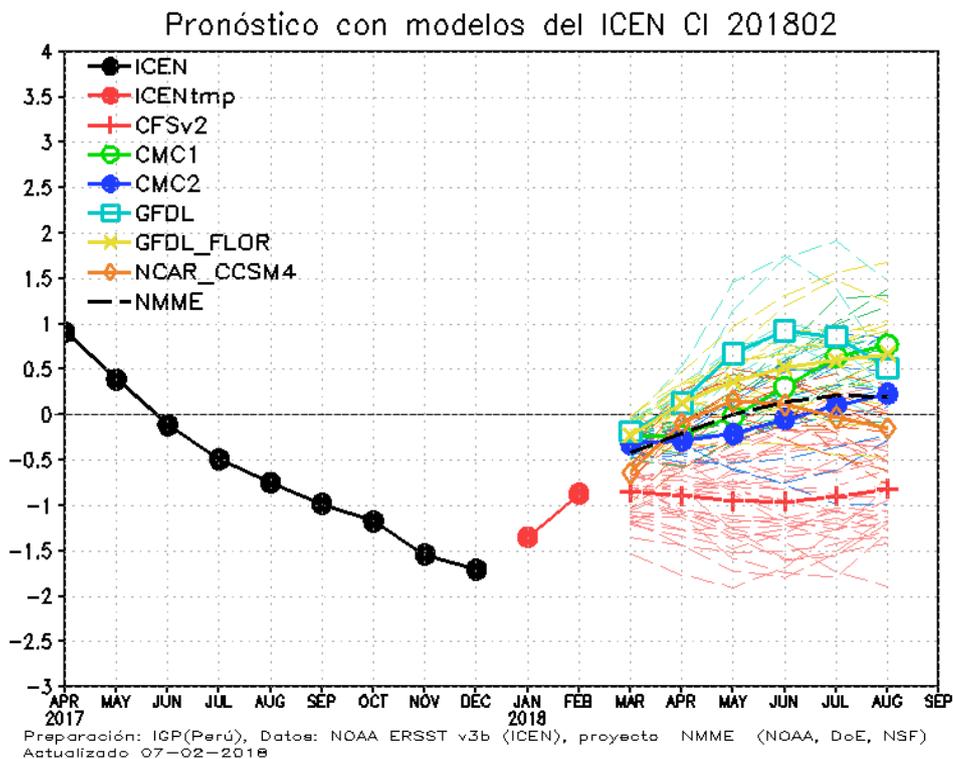


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y su valor temporal (ICENTmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de febrero de 2018. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

mensual para el cálculo del (ICENOI), los valores correspondientes son -1.36 (Fría Moderada), y los temporales -1.04 (Fría Débil) y -0.81 (Neutro). El ICEN calculado con la versión 5 de ERSST para diciembre es -1.32 (Fría Moderada) y los temporales para enero y febrero son -1.09 (Fría Débil) y -0.75 (Neutro).

2. Hasta el momento La Niña costera habría alcanzado la magnitud débil (ERSSTv3) y moderada (OI).

3. En el Pacífico central, el ONI de diciembre (NDE) es (-0.98) correspondieron a condiciones Frías Débiles y el estimado para enero también sería de condiciones Fría Débil. La ATSM en la región Niño 3.4, fue, en promedio, -0.8.

4. Durante el mes de enero, según TAO, el viento zonal ecuatorial mantuvo, en promedio, una anomalía del este a lo largo del Pacífico ecuatorial con un máximo entre 160°W y 180°. Por otro lado, se mantuvo una anomalía del oeste entre 140° y 120°W, la cual se viene observando desde mediados del año 2017.

5. Durante el mes de enero según; los datos de ASCAT, NCEP y TAO; se observaron pulsos de viento del este al oeste de 160°W. Por otro lado, se desarrolló un pulso de viento del oeste a fines de enero e inicios de febrero en el extremo occidental.

6. El patrón anómalo de convección ecuatorial sigue indicando desplazamiento hacia el Pacífico occidental, consistente con condiciones tipo La Niña.

7. La inclinación de la termoclina ecuatorial, en promedio, se presentó casi neutral, en promedio. La carga/descarga durante el mes de enero mostró, en promedio, un valor neutral.

8. La temperatura del mar en la región Niño 1+2 muestra, según la data de ARGO en los primeros 20 metros de profundidad, una tendencia a la normalización durante el mes de enero. A pesar de existir una anomalía positiva en la parte superior a fines de enero, a la fecha solo se observan anomalías negativas.

9. La señal de la onda Kelvin en el nivel del mar indica que la onda llegó desde febrero a la costa peruana, mientras que la señal de esta onda en la profundidad de la termocilna (producto ARGO+TAO) indica que, a pesar de ser débil, aún no llega la costa peruana.

10. Los pulsos de viento del este, al oeste de 160W y durante el mes de enero, habrían formado una onda Kelvin fría que debe arribar a partir de marzo.

11. Según los datos observados (altimetría y profundidad de la termoclina) y las simulaciones numéricas, se observa la presencia de una onda Kelvin cálida en la región occidental del Pacífico. Esta se debería a la reflexión de

ondas Rossby y pulsos de viento del oeste presentes a fines del mes de enero e inicios del mes de febrero.

12. Hay que indicar que el modelo de ondas, por el momento, está sobrestimando las anomalías negativas de la profundidad de la termoclina en el extremo oriental cuando es forzado con ASCAT, y en menor medida, con NCEP.

13. Según el análisis de los datos observados y los resultados del modelo de ondas con termoclina variable, se espera que la señal de la onda Kelvin cálida en la profundidad de la termoclina, aunque débil, continúe presente en la costa peruana.

14. En lo que respecta a la onda Kelvin fría que se habría formado por vientos del este en el mes de enero, se estima que llegaría a la costa peruana desde fines de febrero e inicios de marzo.

15. La onda Kelvin producida por el pulso de viento del oeste en el extremo occidental, según los modelos de ondas, llegaría a la costa peruana a fines de marzo e inicios de abril.

16. Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los modelos de NMME en promedio indican condiciones Neutras de febrero a agosto de 2018; sin embargo este promedio continua siendo negativo hasta el mes de abril. Para los meses de abril y mayo los 6 modelos indican condiciones neutras.

17. Para el Pacífico central (región Niño 3.4), para el mes de febrero los 6 modelos de NMME indican condiciones frías débiles, para el mes de marzo 3 modelos indican condiciones frías débiles y 3 modelos condiciones neutras. Según los modelos de NMME el evento la Niña finalizaría en el mes de febrero.

REFERENCIAS

Aparco, J., K, Mosquera y K, Takahashi. 2014. Flotadores Argo para el cálculo de la anomalía de la profundidad de la termoclina ecuatorial (Aplicación Operacional), Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Mayo, 1, 5.

Cravatte, S., W. S. Kessler, N. Smith, S. E. Wijffels, Ando, K., Cronin, M., Farrar, T., Guilyardi, E., Kumar, A., Lee, T., Roemmich, D., Serra, Y, Sprintall, J., Strutton, P., Sutton, A., Takahashi, K. y Wittenberg, A. 2016. First Report of TPOS 2020. GOOS-215, 200 pp. [<http://tpos2020.org/first-report>]

DiNezio, P. 2016. Desafíos en la predicción de La Niña, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos

para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, 3 (9), 4-8.

ENFEN 2012. Definición operacional de los eventos "El Niño" y "La Niña" y sus magnitudes en la costa del Peru. Nota Técnica ENFEN.

ENFEN 2015. Pronóstico probabilístico de la magnitud de El Niño costero en el verano 2015-2016. Nota Técnica ENFEN 02-2015.

Huang, B., Thorne, P.W, Banzon, V. F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J. H., Menne, M. J., Smith, T. M., Vose, R. S., Zhang, H.-M. 2017. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons, *J. Climate*, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1

Kug, J.-S., Jin, F.-F., An, S.-I. 2009. Two types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño. *J. Climate* 22, 6, 1499–1515, doi:10.1175/2008JCLI2624.1.

Lavado-Casimiro, W., Espinoza, J. C. 2014. Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007), *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29 (2), 171-182.

Meehl, G., Hu, A., Teng, H. 2016. Initialized decadal prediction for transition to positive phase of the Interdecadal Pacific Oscillation. *Nature Communications*, doi: 10.1038/ncomms11718

Morera, S. B., Condom, T., Crave, A., Steer, P., and Guyot, J. L. 2017. The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968-2012). *Scientific Reports*, v. 7, No. 1, p. 11947 DOI:10.1038/s41598-017-12220-x.

Mosquera, K. 2009. Variabilidad Intra-estacional de la Onda de Kelvin Ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): Simulación Numérica y datos observados. Tesis para obtener el grado de Magíster en Física - Mención Geofísica en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Mosquera, K., B. Dewitte y P. Lagos. 2010. Variabilidad Intra-estacional de la onda de Kelvin ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): simulación numérica y datos observados. *Magistri et Doctores*, Revista de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Año 5, No9, julio-diciembre de 2010, p. 55.

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"*, Instituto Geofísico del Perú, Enero, 1, 1, 4-7

Reupo, J., y Takahashi, K. 2014. Validación de pronósticos con modelos globales: Correlaciones de TSM (1982-2010). *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Instituto Geofísico del Perú, Enero, 1, 1, 8-9.

Sulca, J., Takahashi, K., Espinoza, J.C., Vuille, M. and Lavado-Casimiro, W. 2017. Impacts of different ENSO flavors and tropical Pacific convection variability (ITCZ, SPCZ) on austral summer rainfall in South America, with a focus on Peru. *Int. J. Climatol.* Doi:10.1002/joc.5185

Takahashi, K. 2017. Verificación de los pronósticos probabilísticos de El Niño y La Niña costeros. *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Instituto Geofísico del Perú, 4 (8), 8-9.

Takahashi, K., Martínez, A. G. 2016. The very strong El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-017-3702-1.

Thoma, M., Greatbatch, R., Kadow, C., Gerdes, R. 2015. Decadal hindcasts initialized using observed surface wind stress: Evaluation and prediction out to 2024. *Geophys. Res. Lett.* doi:10.1002/2015GL064833

Comunicado oficial ENFEN



COMISIÓN MULTISECTORIAL ENCARGADA DEL
ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO "EL NIÑO" - ENFEN

COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 02- 2018

Estado del sistema de alerta: Alerta de La Niña Costera¹

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el estado de Alerta de "La Niña Costera"¹, debido a las condiciones frías actuales en la superficie del mar en la región Niño 1+2. Sin embargo, se espera la normalización de la temperatura de la superficie del mar durante febrero, debido al arribo de una onda Kelvin cálida.

Por otro lado, se espera que persistan las condiciones de La Niña en el Pacífico central en lo que resta del verano 2018, manteniendo la mayor probabilidad de lluvias por encima de lo normal en las regiones andina y amazónica. Sin embargo, eventuales anomalías atmosféricas de corto plazo sobre el continente podría favorecer la ocurrencia de lluvias moderadas y aisladas en la costa norte, sin descartar un escenario similar a lo ocurrido en el verano del año 2008, durante La Niña 2007-2008 del Pacífico Central.

La Comisión encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar y actualizar la información de las condiciones meteorológicas, oceanográficas, biológico-pesqueras e hidrológicas correspondiente al mes de enero 2018. En todo el Pacífico ecuatorial se mantuvieron condiciones frías, con anomalías negativas de la TSM del orden de $-0,8^{\circ}\text{C}$ tanto en la región central (Niño 3.4) como en la región oriental (Niño 1+2) que abarca la zona norte del mar peruano. En las últimas dos semanas se observó una disminución de las anomalías negativas en la región oriental (Niño 1+2) (Figura 1 a,b).

En la región del Pacífico ecuatorial se observa, en la profundidad de la termoclina, la presencia de ondas Kelvin frías al este de 120°W y Kelvin cálidas al oeste de 120°W . La onda Kelvin cálida se habría formado por la presencia de pulsos de vientos del Oeste en el Pacífico Occidental en la primera quincena de diciembre del 2017.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) presentó una configuración y posición, en promedio, dentro de lo normal; el alejamiento y debilitamiento del APS frente a las costas de Perú durante el mes, mantuvo los vientos costeros débiles.

Para noviembre el Índice Costero El Niño (ICEN) tomó valores de $-1,62^{\circ}\text{C}$ (fuente NCEP OI SST v2) y $-1,54^{\circ}\text{C}$ (fuente ERSST v3) que correspondió a condiciones frías fuerte del agua de mar, esto como parte del desarrollo de La Niña Costera.

A lo largo del litoral peruano la temperatura superficial del mar (TSM) se mantuvo por debajo lo normal con máxima anomalía del mes de $-2,1^{\circ}\text{C}$ (Talara); por otro lado el nivel medio del mar (NMM) continuó con valores cercanos a lo normal.

En la franja de 100 millas frente a Paita continuaron las condiciones frías con anomalías de hasta -3°C dentro de los 50 m de profundidad. Las aguas oceánicas de alta salinidad se aproximaron hasta 40 millas de la costa frente a Chicama. En la zona costera, dentro de las 10 mn, persistieron las anomalías negativas de la temperatura mayores a -2°C sobre los 100 m de profundidad entre Paita y Callao.

Las temperaturas máximas del aire presentaron valores dentro de lo normal, mientras que las temperaturas mínimas estuvieron ligeramente por debajo de sus rangos normales a lo largo del litoral peruano. (Ver Cuadro 1).

En el mes de enero los ríos de la costa norte han presentado caudales por debajo de sus valores normales a excepción del río Chancay-Lambayeque que presentó valores por encima de su normal a mitad del mes ($150\text{ m}^3/\text{s}$), al igual que los ríos de la costa centro. Los niveles de los ríos amazónicos mostraron un comportamiento ascendente, alcanzando valores de alerta (ríos Marañón y Huallaga).

Las reservas hídricas en la costa norte promedian en 58% respecto a la capacidad hidráulica de los principales embalses, impulsado principalmente por el embalse Poechos con 86%. En el sur el sistema hidráulico Colca-Chili opera en promedio al 69% mientras que Pasto Grande al 31%. En promedio, a nivel nacional las reservas se encuentran al 63%.

La concentración de clorofila-a, indicador de la productividad del fitoplancton, continuó mostrando una disminución de las anomalías positivas frente a la costa, asociada al aumento de la nubosidad frente al litoral durante el mes.

Los indicadores reproductivos del stock norte – centro de la anchoveta, presentaron un incremento de su actividad reproductiva, asociado al desove secundario de verano.

Debido a las bajas temperaturas del aire en los meses previos, las plántulas de arroz no han alcanzado el desarrollo esperado en la costa norte.



PERSPECTIVAS

En el litoral peruano se espera que la temperatura del mar presente una tendencia hacia la normalización durante febrero debido al efecto de la onda Kelvin cálida.

Tomando en consideración el monitoreo y el análisis de la Comisión Multisectorial ENFEN, así como los pronósticos de las Agencias Internacionales, se espera que entre febrero y marzo de 2018 se normalicen las condiciones en la temperatura de la superficie del mar de la región Niño 1+2. Asimismo se espera la continuación de las condiciones frías en el Pacífico Central (Niño 3.4) hasta fines del verano 2018.

Debido a la presencia de condiciones La Niña en el Pacífico Central Ecuatorial durante el presente verano 2018, continuaría el escenario de lluvias sobre lo normal en las regiones andina y amazónica. Por otro lado, la llegada de la onda Kelvin cálida durante febrero, aunado a eventuales anomalías atmosféricas de corto plazo sobre el continente podrían favorecer la ocurrencia de lluvias moderadas y aisladas en la costa norte, sin descartar un escenario similar a lo ocurrido en el verano del año 2008, durante La Niña 2007-2008 del Pacífico Central (SENAMHI, 2018)³.

La Comisión Multisectorial ENFEN continuará informando sobre la evolución de las condiciones actuales y sus perspectivas.

Callao, 31 de enero de 2018

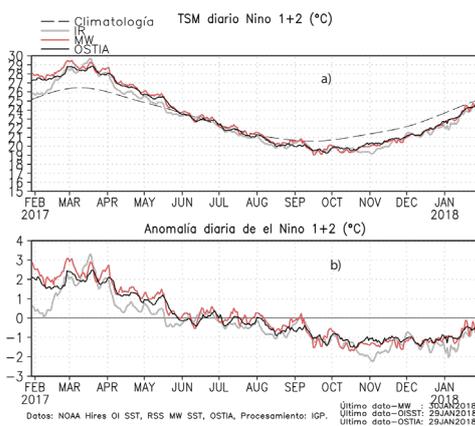


Figura 1. Temperatura (a) y anomalía superficial (b) del mar diaria en la Región Niño 1+2 (0°-10°S) / (90°W-80°W), febrero 2017 – enero 2018. La línea segmentada en la figura 2a indica la climatología de la TSM en la región. Fuente: Gráfico IGP, Datos: NOAA Hires OISST, RSS MW-OSTIA.

Región	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE 2018
Costa Norte	1.2	1.0	0.9	1.2	1.0	0.9	0.6	0.6	0.5	-0.6	0.0	-0.3
Costa Centro	1.9	2.2	1.5	2.2	1.6	0.3	0.5	0.0	0.3	-0.2	-0.1	-0.4
Costa Sur	1.2	1.0	0.8	1.6	0.9	0.5	0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.4	-0.2

Región	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE 2018
Costa Norte	1.1	1.4	1.2	1.3	0.4	0.1	0.2	-0.1	-0.1	-1.2	-0.6	-1.3
Costa Centro	2.0	2.4	2.0	3.1	1.8	1.1	0.7	0.4	0.4	0.0	0.2	-0.2
Costa Sur	0.8	1.0	1.2	1.7	1.4	0.9	0.1	0.0	0.1	0.7	-0.6	-1.1

Cuadro 1. Anomalia media mensual de las temperaturas extremas del aire (a) máximo y (b) mínimo desde FEBRERO 2017 a ENERO 2018 para las regiones costeras norte, centro y sur del litoral peruano. Fuente: SENAMHI.

COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 03- 2018 Estado del sistema de alerta: No Activo¹

La Comisión Multisectorial ENFEN prevé la declinación del evento “La Niña Costera” debido a que se espera la normalización de la TSM en la región Niño 1+2 en lo que resta del verano. Por lo tanto, la Comisión Multisectorial ENFEN cambia el estado de sistema de alerta a “No Activo”¹.

Se espera que las condiciones de La Niña en el Pacífico central persistan por lo menos hasta fines del verano 2018. Este escenario podría continuar favoreciendo la ocurrencia de lluvias de normales a superiores en las regiones andina y amazónica. El arribo de una onda Kelvin cálida a fines de marzo, podrían favorecer la ocurrencia de lluvias moderadas y aisladas en la costa norte.

La Comisión encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar y actualizar la información de las condiciones meteorológicas, oceanográficas, biológico-pesqueras e hidrológicas correspondiente a la primera quincena de febrero 2018.

Continúan las condiciones frías en todo el Pacífico ecuatorial. En la región del Pacífico Ecuatorial Central (región Niño 3.4), la anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) continuó alrededor de -0,9°C (Figura 1b). Por otro lado, la onda Kelvin fría continúa su propagación hacia el este en la capa subsuperficial. Asimismo, una nueva onda Kelvin cálida generada por pulsos de vientos del oeste a fines del mes de enero e inicios de febrero actualmente se encuentra Pacífico occidental.

En el Pacífico Oriental (región Niño 1+2) que abarca la zona norte del mar peruano, la TSM presentó en promedio, anomalías negativas de menor magnitud del orden de -0,8°C, respecto al mes anterior (Figura 1a). El Índice Costero El Niño (ICEN) tomó valores de -1,36°C (fuente NCEP OI SST v2) y -1,70°C (fuente ERSST v3) en diciembre (condiciones frías moderadas y frías fuertes respectivamente). A inicios de febrero, los datos del nivel medio del mar en el litoral norte (+5 cm) indican la llegada de la onda Kelvin cálida según lo previsto. Tomando en cuenta la primera fuente (NCEP OI SST v2), La Niña Costera habría alcanzado una magnitud fría moderada.

¹Definición de estado de Sistema de alerta “No activo”: Se da en condiciones neutras o cuando la Comisión ENFEN espera que El Niño o La Niña costeros están próximos a finalizar; “Vigilancia de La Niña costera”: Según los modelos y observaciones, usando criterio experto en forma colegiada, el Comité ENFEN estima que es más probable que ocurra La Niña costera a que no ocurra (Nota Técnica ENFEN 01-2015). Se denomina “Evento La Niña en la región costera de Perú” o “La Niña Costera” al periodo en el cual el ICEN indique “condiciones frías” durante al menos tres (3) meses consecutivos. (Nota Técnica ENFEN 01-2012).

²Años La Niña (Pacífico Central) ocurridas en el Verano del Hemisferio Sur: 1950 / 1954-1955 / 1955-1956 / 1970-1971 / 1973-1974 / 1974-1975 / 1975-1976 / 1984-1985 / 1988-1989 / 1984-1985 / 1988-1989 / 1995 – 1996 / 1998 – 1999 / 1999 – 2000 / 2000-2001 / 2005-2006 / 2007 – 2008 / 2008 – 2009 / 2010 – 2011 / 2011-2012. (Fuente: ENFEN).

³Informe Técnico N°010-2018/SENAMHI-DMA



El alejamiento y debilitamiento del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) frente a las costas de Perú, mantuvo los vientos costeros débiles del sur (menores a 5 m/s) principalmente en la costa centro y sur durante la segunda semana de febrero. Por otro lado, se presentaron perturbaciones intra estacionales provenientes de la franja ecuatorial (Oscilación de Madden-Julian) que influyeron en la presencia de anomalías de viento del oeste desde mediados de enero, suprimiendo las lluvias en la región norte.

En la primera quincena de febrero, las anomalías de la TSM en el litoral norte (Talara) cambiaron respecto a enero de negativas (-2,1°C) a positivas (+0,7°C), mientras que en el litoral centro y sur, las anomalías se mantuvieron negativas, con mayores magnitudes entre Isla Lobos de Afuera y Mollendo. Por otro lado, en la franja de 100 millas frente a Paita continuaron las condiciones frías con anomalías de hasta -3°C dentro de los 50 m de profundidad. Las aguas oceánicas de alta salinidad se aproximaron hasta 40 millas de la costa frente a Chicama. La temperatura sub-superficial, dentro de las 10 mn frente a Paita, debido a la influencia de la onda Kelvin cálida, presentó un incremento térmico sobre los 50 m de profundidad, disminuyendo las anomalías negativas hasta -2,0°C, mientras que frente a Chicama y Callao las anomalías negativas fueron alrededor de -1,0°C sobre los 50 m de profundidad.

Las temperaturas del aire presentaron en promedio valores dentro del rango normal (Ver Cuadro 1). Sin embargo, se observaron temperaturas nocturnas más frías de lo usual en estaciones de la costa norte, alcanzando anomalías de hasta -1,8°C en Lambayeque y Trujillo.

En el norte, gran parte de los ríos continuaron presentando valores dentro de sus promedios, con una tendencia ascendente; en el centro, se mantuvieron valores por debajo de sus promedios históricos y en la región amazónica los ríos mostraron una tendencia a la normalización. Los reservorios en la costa norte alcanzaron en promedio el 52% de su capacidad máxima; mientras que en el sur, el sistema hidráulico Colca-Chili (Arequipa) alcanzó el 71% y Pasto Grande (Moquegua) el 36%. En promedio, a nivel nacional las reservas se encuentran al 54%.

La concentración de clorofila-a, indicador de la productividad del fitoplancton, mostró una ligera disminución de las anomalías positivas frente a la costa peruana (4°S - 16°S) respecto a lo observado en enero. Por su parte, los indicadores reproductivos de la anchoveta del stock norte - centro, muestran que el recurso se encuentra en su periodo secundario de desove.

La persistencia de temperaturas mínimas del aire más bajas de lo normal, contribuyó al retraso de la cosecha del mango en la costa norte. En tanto que los cultivos de arroz y olivo en la costa sur se vieron afectados en sus fases vegetativas de macollaje y fructificación, respectivamente.

PERSPECTIVAS

El evento La Niña Costera ha iniciado su fase de declinación, siendo más probable el cambio hacia condiciones neutras en la región Niño 1+2. En lo que resta del verano se espera

la normalización de la TSM frente a la costa peruana y a fines de marzo se espera el arribo de una nueva onda Kelvin cálida que, dependiendo de su magnitud, aunado a eventuales anomalías atmosféricas de corto plazo, podrían favorecer la ocurrencia de lluvias moderadas y aisladas en la costa norte (principalmente Tumbes y Piura).

Los modelos globales para el Pacífico Central (región Niño 3.4) indican en su mayoría condiciones de La Niña, de magnitud débil, por lo menos hasta fines del verano 2018. Este escenario podría continuar favoreciendo la ocurrencia de lluvias de normales a superiores en las regiones andina y amazónica.

Tomando en consideración el monitoreo y el análisis de la Comisión Multisectorial ENFEN así como los pronósticos de las Agencias Internacionales, se espera que entre febrero y marzo se normalicen las condiciones en la temperatura de la superficie del mar en la región Niño 1+2. Asimismo, se espera la continuación de las condiciones frías en el Pacífico Central (Niño 3.4) por lo menos hasta fines del verano 2018.

La Comisión Multisectorial ENFEN continuará informando sobre la evolución de las condiciones actuales y sus perspectivas.

Callao, 15 de febrero de 2018

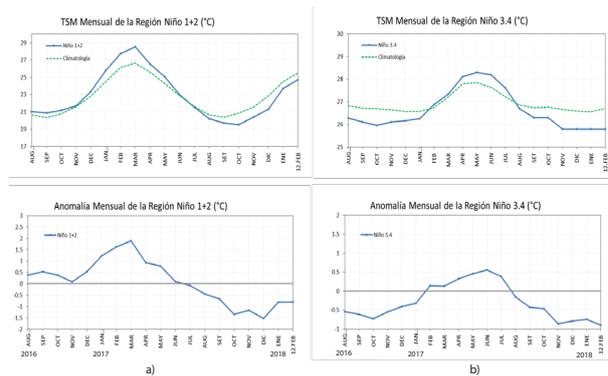


Figura 1. Temperatura y anomalía superficial del mar mensual: a) Región Niño 3.4 (5°N - 5°S) / (170°W - 120°W), agosto 2016 - 12 de febrero 2018. b) Región Niño 1+2 (0° - 10°S) / (90°W - 80°W), agosto 2016 - 12 de febrero 2018. Fuente: Gráfico DHN, Datos: OISST.V2/ NCEP/NOAA.

	Región	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE 2018	12 FEB 2018
a)	Costa Norte	1,2	1,0	0,9	1,2	1,0	0,9	0,6	0,6	0,5	-0,6	0,0	-0,3	-0,1
	Costa Centro	1,9	2,2	1,5	2,2	1,6	0,3	0,5	0,0	0,3	-0,2	-0,1	-0,4	-0,2
	Costa Sur	1,2	1,0	0,8	1,6	0,9	0,5	0,6	-0,4	-0,5	-0,6	-0,4	-0,2	-0,2
b)	Región	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE 2018	12 FEB 2018
	Costa Norte	1,1	1,4	1,2	1,3	0,4	0,1	0,2	-0,1	-0,1	-1,2	-0,6	-1,3	-1,3
	Costa Centro	2,0	2,4	2,0	3,1	1,8	1,1	0,7	0,4	0,4	0,0	0,2	-0,2	-0,3
	Costa Sur	0,8	1,0	1,2	1,7	1,4	0,9	0,1	0,0	0,1	0,7	-0,6	-1,1	-0,9

Cuadro 1. Anomalía media mensual de las temperaturas extremas del aire (a) máxima y (b) mínima desde FEBRERO 2017 a FEBRERO 2018 (datos al 12 de febrero) para las regiones costeras norte, centro y sur del litoral peruano. Fuente: SENAMHI.



Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa,
Ate, Lima, Perú

Central Telefónica: [511] 317 2300

<http://www.igp.gob.pe>

 <http://www.facebook.com/igp.peru>

 http://twitter.com/igp_peru

 https://www.youtube.com/c/igp_videos

En el marco del:



*Trabajando para
todos los peruanos*