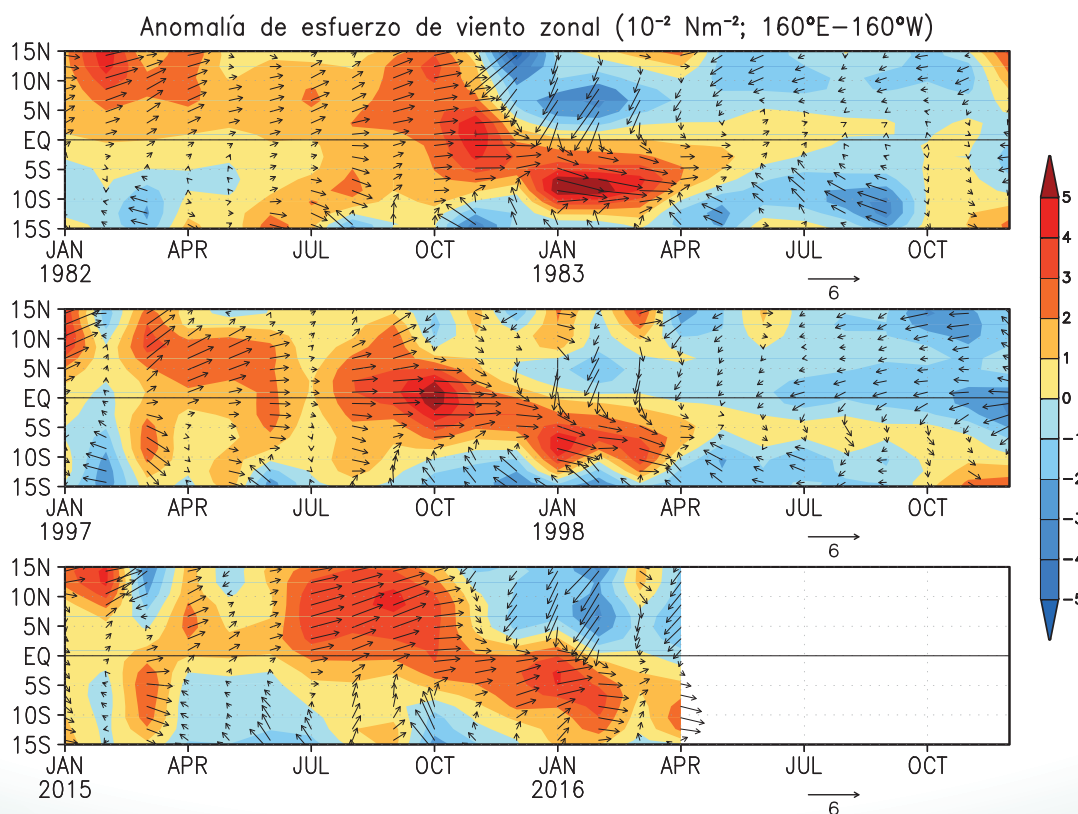


Programa Presupuestal por Resultados N° 68 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. Producto: “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”

“Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”

Boletín Técnico

La terminación de El Niño



Contenido

2 - 3 Introducción

4 - 8 Artículo de Divulgación Científica

9 - 10 Avances Científicos

11 - 13 Resumen Informe Técnico

14 - 15 Comunicado Oficial ENFEN

Programa Presupuestal por Resultados N° 68 “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”.

Manuel Pulgar Vidal
Ministro del Ambiente

Ronald Woodman
Presidente Ejecutivo IGP

José Macharé
Director Científico IGP

Ken Takahashi
Responsable Producto El Niño - IGP

Equipo científico: Ken Takahashi, Kobi Mosquera, Jorge Reupo, Berlín Segura

Edición: Cristiana Leucci
Diseño y Diagramación: Dante Guerra

Carátula: Vecchi G. A. et al., 2016.

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

Impreso por Empresa: Imprenta Editora Gráfica Real SAC.
Jr. Independencia 953 – Trujillo – La Libertad
Teléfono (44) 25-3324

Lima, junio del 2016

Hecho el Depósito Legal en la
Biblioteca Nacional del Perú N° 2016-06880

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 del Comité 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 océano-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:
www.igp.gob.pe/sysppr.



IGP



ENFEN

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 del Comité 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.

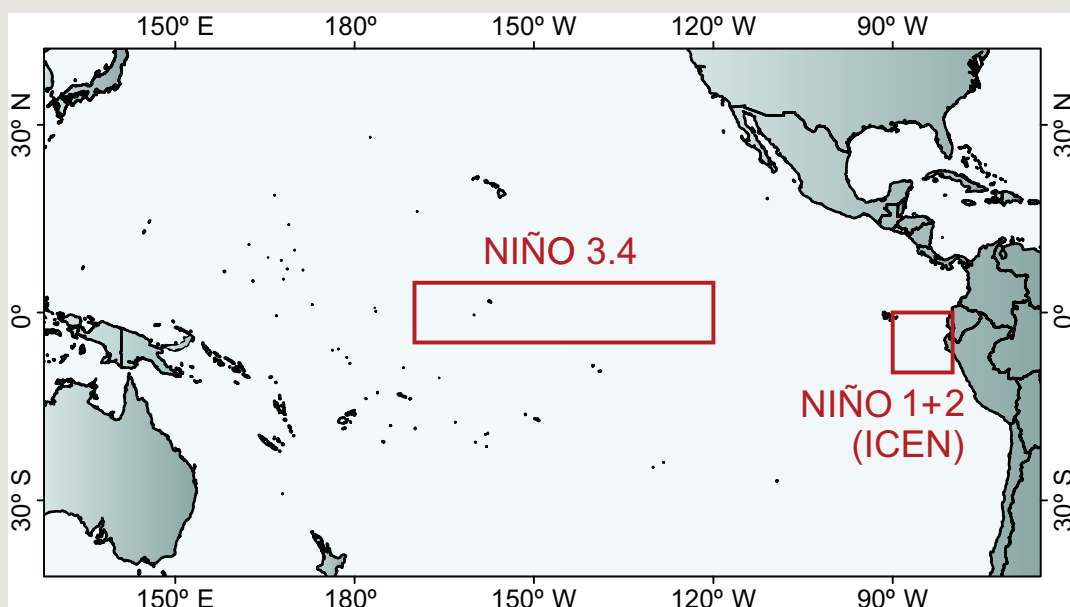
El
ENFEN es el
ente que genera la
información oficial de
monitoreo y pronóstico
del Fenómeno El Niño y
otros asociados.

El Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformado por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA e Indeci, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

Según Resolución Ministerial 761-97-PE, el ENFEN tiene entre sus funciones el “mantener informado sobre la posible ocurrencia del Fenómeno El Niño, para que con ello se permita adoptar decisiones para adecuar y proteger la infraestructura existente en los distintos sectores, en prevención a los posibles daños que pudiera causar este fenómeno a la economía nacional y la población peruana”, así como “orientar a los diversos sectores medidas pragmáticas de previsión que permitan reducir daños y/o aprovechar beneficios”.

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, al menos mensualmente, emite 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 en forma colegiada 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 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.

La terminación de El Niño

En este momento estamos ante la declinación del evento El Niño 2015-2016, uno de los más intensos registrados según algunos indicadores y con algunas otras particularidades que lo hacen distinto a eventos previos. De particular interés ahora es estimar cuál es la probabilidad de que La Niña costera se presente a continuación de un evento El Niño de fuerte intensidad en el Pacífico Central. Para este fin, debemos entender cómo es que ocurre la terminación de El Niño y la transición hacia la siguiente fase, ya sea neutra, La Niña o, incluso, otro evento El Niño.

Conceptos básicos

El mecanismo central para el crecimiento de los eventos cálidos y fríos del fenómeno acoplado océano-atmósfera El Niño-Oscilación Sur (ENOS) fue establecido por Bjerknes (1969), quien propuso que el calentamiento/enfriamiento de la superficie del mar en el Pacífico Oriental genera un cambio en la presión atmosférica que produce el debilitamiento/fortalecimiento de los vientos alisios del este, lo cual, a su vez, produce más calentamiento/enfriamiento. Sin embargo, este proceso de retroalimentación positivo no puede explicar por qué ENOS pasa de una fase fría a una cálida y viceversa. Esto depende de la circulación oceánica y su efecto sobre la estructura térmica bajo la superficie y de cambios atmosféricos atados al ciclo estacional.



Gabriel A. Vecchi, Ph.D.
Investigador Científico
GFDL/NOAA

Doctor en Oceanografía Física de la Universidad de Washington (EE. UU.) con estudios de maestría en Matemática Aplicada y Oceanografía Física de la misma institución. Actualmente es Responsable del Grupo de Variaciones y Predictibilidad Climática del Laboratorio de Dinámicas de Fluido Geofísico de la NOAA. Recientemente su investigación está enfocada en el estudio del acoplamiento océano-atmósfera, el impacto de la variabilidad y cambio climático sobre eventos hidroclimáticos extremos y la predictibilidad y predicción del clima y sus impactos regionales.

Para entender esto, primero debemos saber que la temperatura del agua disminuye con la profundidad y esta disminución es particularmente abrupta en una capa llamada termoclina. Simplificando, se puede decir que la termoclina divide el océano en dos capas: una cálida cerca de la superficie y una fría por debajo de esta. En la Fig. 1 se puede identificar la termoclina como la capa en la que las isoterms (curvas de igual temperatura) se encuentran más apretadas en la dirección vertical, con su centro aproximadamente correspondiente a la isoterma de 20°C. Los vientos, que normalmente empujan del este al oeste, mantienen el agua cálida apilada en el oeste, de manera que la superficie del mar es más elevada y la termoclina es más profunda en el Pacífico Occidental que en el Oriental. La menor profundidad de la termoclina en el Oriental permite el afloramiento de agua fría que mantiene la temperatura superficial del mar (TSM) relativamente fría. Cuando la termoclina se profundiza, el afloramiento frío ya no es efectivo y la TSM aumenta en el Pacífico Oriental, lo cual es lo que se observa típicamente durante El Niño (Fig. 1c). Por lo contrario, una termoclina menos profunda y TSM menor se observa durante La Niña (Fig. 1e). El comportamiento de la termoclina es un elemento clave para la física de ENOS y está íntimamente afectado por la acción del viento: cuando los vientos del este en el Pacífico Ecuatorial Occidental disminuyen, la termoclina en el Pacífico Oriental se profundiza y es así que crece y se mantiene un evento El Niño.

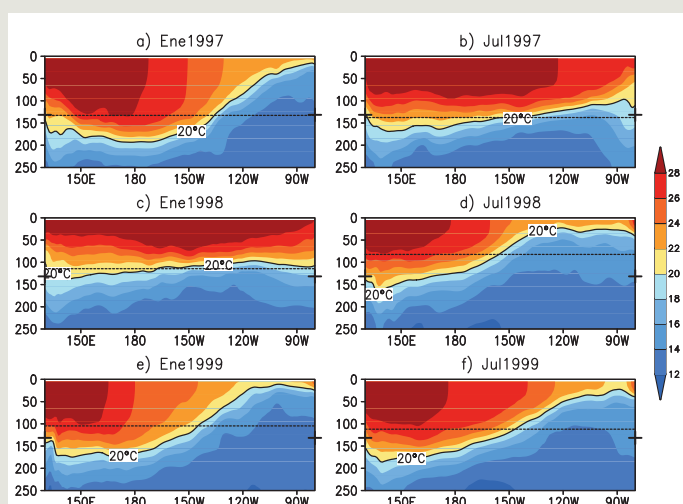


Figura 1. Temperatura del mar promediada entre 2°S y 2°N en el Pacífico Ecuatorial durante El Niño 1997-98 y La Niña 1998-99. Las líneas punteadas indican la profundidad promedio de la isoterma de 20°C y las marcas a los lados indican el promedio climatológico correspondiente.

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 Hidrosfera, 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.

el oeste, con una velocidad menor. En el modelo del “oscilador-retrasado” de ENOS (Suarez y Schopf, 1988; Battisti y Hirst, 1989), las anomalías de vientos ecuatoriales del oeste durante El Niño generan ondas Kelvin cálidas que luego calientan la superficie en el Pacífico Oriental, pero al mismo tiempo también generan ondas Rossby frías que se propagan hacia el oeste y que luego son reflejadas por las costas de Asia y Oceanía convertidas en ondas Kelvin frías, las cuales regresan por la línea ecuatorial (Cane y Sarachik, 1977). Cuando los vientos del este se recuperan (o sea cuando las anomalías de viento del oeste se debilitan), estas ondas Kelvin frías pueden alcanzar el Pacífico Oriental, donde elevan la termoclina e inician la normalización de la TSM al permitir nuevamente el afloramiento a la superficie de aguas frías. Al mismo tiempo, el cambio en los vientos produce un cambio local en las corrientes ecuatoriales que desplazan el borde de la “piscina cálida” de regreso al Pacífico Occidental.

Adicionalmente, el debilitamiento de los vientos del este puede producir un cambio local en las corrientes que permite que la “piscina cálida” del Pacífico Occidental se desplace al este. Este proceso de “advección zonal” es importante para El Niño en el Pacífico Central (Kug et al., 2009), pero en el caso de El Niño extraordinario llega a ser importante también en el Pacífico Oriental (Takahashi y Dewitte, 2015).

El ajuste de la termoclina ecuatorial al forzante del viento sobre escalas de unos pocos meses ocurre a través de ondas, las cuales se manifiestan como variaciones en las corrientes, el nivel del mar y la profundidad de la termoclina. La más conocida de estas es la onda Kelvin (ej. Mosquera, 2014) que se propaga de oeste a este a lo largo de la línea ecuatorial. Además de estas, tenemos las ondas Rossby, que se propagan en dirección opuesta, hacia

En el modelo de “carga-descarga” (Jin, 1997) se considera el ajuste del océano en escalas de tiempo suficientemente largas para que la demora asociada al tiempo de propagación de las ondas se pueda despreciar. Bajo esta aproximación, la anomalía del esfuerzo del viento del oeste/este está en balance con la fuerza de gravedad asociada a una menor/mayor inclinación de la termoclina ecuatorial, pero simultáneamente mantiene un proceso de descarga/recarga continuo de contenido de calor (volumen de agua cálida) ecuatorial. La descarga se debe a que, como las anomalías de viento del oeste durante El Niño normalmente se centran en la línea ecuatorial y su intensidad se reduce hacia el norte y hacia el sur, existe una cizalla meridional del viento ($\partial u/\partial y$) que induce rotación “ciclónica” (en el sentido de la rotación de la Tierra) de las columnas oceánicas, la cual es compensada por el desplazamiento de estas columnas en dirección a los polos, donde la

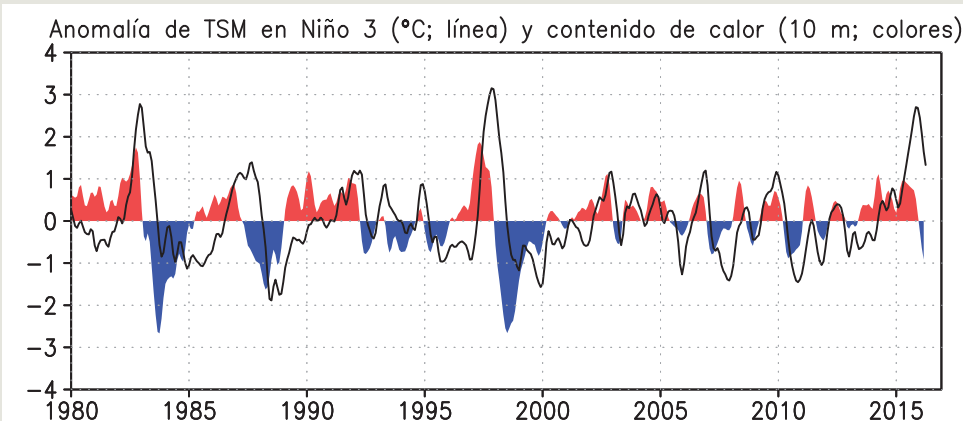


Figura 2. Profundidad promedio (octubre - febrero) de la termoclina en el Pacífico Ecuatorial (2°S - 2°N) obtenida para el periodo octubre 2015 - febrero 2016 de TAO (línea azul gruesa) y ARGO (línea azul delgada) y para el periodo octubre 1997 - febrero 1998 de TAO (línea roja gruesa). La línea cortada delgada y de color negro indica la profundidad de la termoclina promedio obtenida de la climatología de TAO (1993-2014) para el periodo octubre - febrero.

rotación es intrínsecamente mayor. Este mecanismo es conocido como “transporte de Sverdrup” y, en el modelo “carga-descarga”, genera la descarga del volumen de aguas cálidas de la banda ecuatorial durante El Niño, produciendo el ascenso en promedio de la termoclina, lo que facilita la recuperación del afloramiento de aguas frías y la normalización de la temperatura superficial. El atractivo de este modelo se debe en gran parte a que el contenido de calor presenta una correlación desfasada con la TSM ecuatorial (Fig. 2), lo cual sugiere que el primero puede ser utilizado como predictor del segundo (Meinen y McPhaden, 2000), aunque parece que más bien es la alta TSM de El Niño la que sirve para predecir la descarga de calor (Takahashi y Dewitte, 2015).

Tanto el modelo del oscilador retrasado como el de carga-descarga son idealizaciones que intentan capturar la esencia de la física de ENOS, pero que necesariamente desprecian procesos que podrían ser relevantes para eventos específicos. En particular, se ignora la asimetría entre El Niño y La Niña y no se considera la diversidad entre estos fenómenos. Ahora entraremos en más detalle sobre El Niño extraordinario y los eventos moderados en el Pacífico Central.

Terminación de El Niño en el Pacífico Oriental

El evento El Niño extraordinario de 1997-98, con máximo calentamiento en el Pacífico Oriental (Takahashi et al., 2011), fue seguido de La Niña 1998-2001 en el Pacífico Central¹. La transición estuvo asociada a la abrupta descarga de contenido de calor, la cual, a su vez, estuvo relacionada al rápido debilitamiento de las anomalías de vientos del oeste ecuatoriales a fines de 1997 cerca de la línea de cambio de fecha (Harrison y Vecchi, 1999; Vecchi y Harrison, 2006; Fig. 3b). Experimentos numéricos indican que esta descarga de calor no dependió tanto de la reflexión de ondas Rossby en la costa de Asia y Oceanía como del cambio de los vientos en el Pacífico Occidental (Harrison y Vecchi, 1999; Vecchi y Harrison 2006), un proceso que no forma parte de los paradigmas de los modelos “carga-descarga” y “oscilador retrasado”.

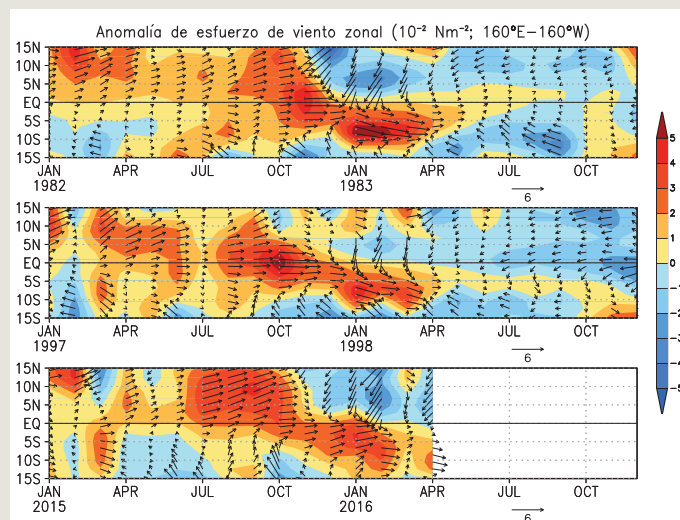


Figura 3. Anomalia de esfuerzo de viento zonal (10^{-2} Nm^{-2} ; colores) promediado entre 160°E y 160°W . Datos: NCEP/NCAR Reanalysis.

Este cambio en los vientos se puede describir mejor como el desplazamiento de las anomalías del oeste de la línea ecuatorial hacia el sur (Harrison y Vecchi, 1999; Vecchi y Harrison, 2006; Vecchi, 2006). Este desplazamiento no solo se observó en 1998, sino también en 1983 y en el año actual, iniciándose a partir de noviembre y con el núcleo establecido entre 10°S y 5°S en enero (Fig. 3). La coincidencia entre estos tres eventos no es casual, sino que demuestra un fuerte control por el ciclo estacional climatológico.

Usando experimentos con un modelo atmosférico, Vecchi (2006) mostró que las anomalías de viento del oeste en 1997-1998 siguieron la latitud de la máxima TSM, la cual se ubica al sur del ecuador en el verano austral. En este caso, la TSM no solo fue mayor en el sur, debido a las variaciones climatológicas promedio, sino que las anomalías de TSM presentaron un patrón de dipolo - frío al norte y cálido al sur - lo cual reforzó la asimetría meridional y el desplazamiento del viento al sur. Esto se puede interpretar como que la fuerza del acoplamiento de la atmósfera al océano depende de la estación del año (Tziperman et al., 1998; Stuecker et al., 2013).

Un aspecto importante para el Perú es que a pesar de la descarga de contenido de calor, la TSM en el extremo oriental del Pacífico se mantuvo elevada hasta el otoño, tanto en 1983 como 1998. Esto se explica por la no-linealidad de la dependencia de la convección (lluvia intensa) atmosférica en la TSM

¹http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

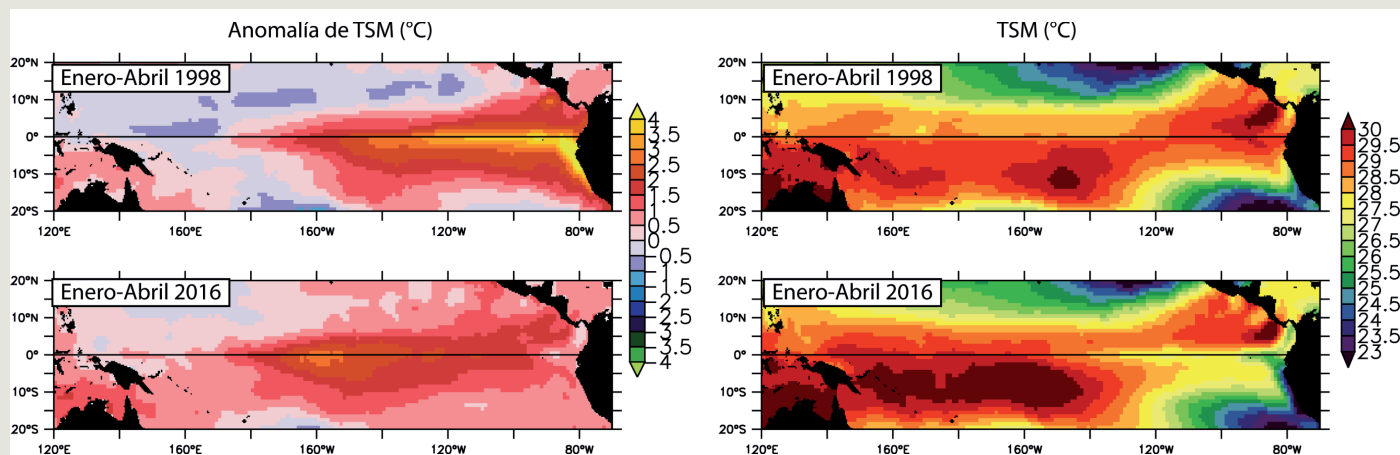


Figura 4. Anomalías de la TSM (paneles izquierdos) y TSM (paneles derechos) durante los últimos meses de los eventos El Niño de 1997-98 y 2015-2016. Datos: Reynolds et al. (2002).

absoluta, ya que cuando la TSM es suficientemente alta, como en estos eventos El Niño extraordinarios, la activación de la convección ecuatorial en el Pacífico Oriental en el verano austral resulta en el colapso de los vientos del este en esta región (Fig. 4), lo cual genera calentamiento en la costa sudamericana en los siguientes meses (Vecchi, 2006).

Eventualmente, cuando el ciclo estacional desplaza a la convección hacia el norte y restablece los vientos ecuatoriales, el enfriamiento profundo causado por la descarga de calor se conecta con la superficie a través del afloramiento y aparecen anomalías frías en la TSM. En un El Niño extraordinario la descarga también es intensa (ej. Takahashi y Dewitte, 2015) y puede resultar en un evento La Niña intenso en el Pacífico Central (Takahashi y Dewitte, 2015; Cai et al., 2015). La duración de La Niña es normalmente mayor que la de El Niño debido a la respuesta no-lineal de la convección atmosférica y del viento zonal a la TSM, que introduce una asimetría entre el crecimiento de El Niño y el de La Niña (Okumura y Deser, 2010; Okumura et al., 2011; Choi et al., 2013).

... y El Niño en el Pacífico Central

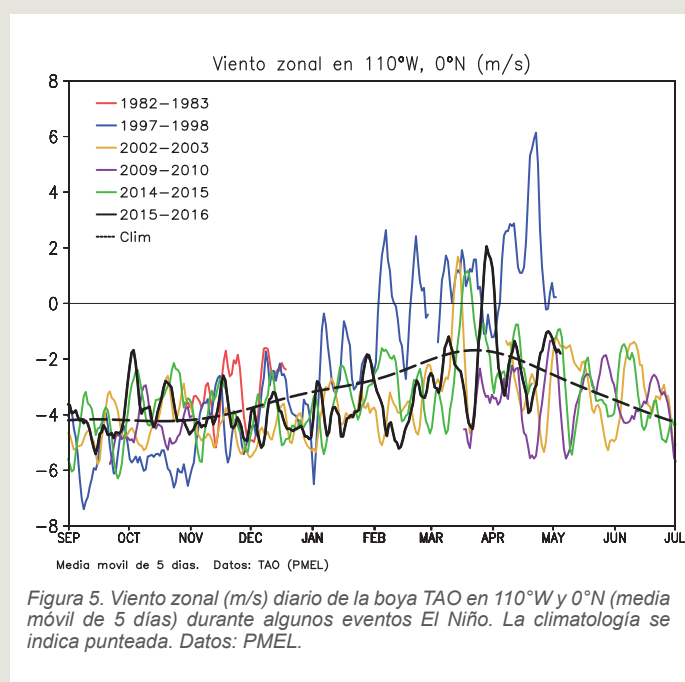
En los últimos 15 años el comportamiento de ENOS ha sido un tanto distinto a las décadas previas. Las anomalías de TSM de El Niño no solo han estado más concentradas en el Pacífico Central (ej. Kug et al., 2009), sino que además el desfase entre el contenido de calor y la TSM ecuatorial se ha reducido sustancialmente (Fig. 2; McPhaden, 2012). Más aún, incluso usando modelos climáticos realistas, la predictibilidad de El Niño parece haber sido menor (Barnston et al., 2012).

Según Kug et al. (2009), la estructura de las anomalías de TSM durante eventos El Niño confinados al Pacífico Central no permite una descarga de calor eficiente, por lo cual no es capaz de generar un evento La Niña después. En particular argumentan que durante estos eventos El Niño, las anomalías de viento del oeste en el Pacífico Occidental tienen menor extensión longitudinal y son acompañadas de anomalías del este en el Pacífico Oriental. Esto no produce una descarga sustancial, aunque no quiere decir que no pueda ocurrir, pero la misma baja intensidad de estos eventos El Niño se asocia a una descarga débil (Mosquera-Vásquez et al., 2013).

Declinación de El Niño 2015-2016

En este momento estamos presenciando la declinación de El Niño 2015-2016. Este evento alcanzó anomalías en Pacífico Central (región Niño 3.4) comparables o quizás superiores a las de los eventos extraordinarios de 1982-1983 y 1997-1998 (Fig. 4). Sin embargo, en el Pacífico Oriental (Niño 1+2), las anomalías han sido la mitad que las observadas esos años. Esto hace que El Niño actual no sea fácil de catalogar. Por su intensidad, podría esperarse que producirá una fuerte descarga de calor, la cual ya parece haber iniciado (Fig. 2; ENFEN, 2016). Como en el 1997-98, las anomalías del viento zonal han presentado el desplazamiento hacia el sur observado en los eventos El Niño extraordinarios (Fig. 3c). Sin embargo, el calentamiento en el Pacífico Oriental no fue suficiente para llevar las temperaturas máximas al ecuador y activar la convección en esta región (Fig. 4.d), así que el viento del este no colapsó como en 1998 (Fig. 5), por lo que la TSM frente a Sudamérica no se ha mantenido elevada como en ese año y, más

bien, en mayo ya se presentó prácticamente dentro de lo normal (ENFEN, 2016). Dada la descarga de calor y el mantenimiento de los vientos del este en 2016, se ve reducida la probabilidad que se repita otro evento El Niño, aunque no se pueda descontar por completo en este momento. Tampoco es obvio si condiciones neutras regresarán para el 2016 o si la descarga de calor será suficiente para crear un evento La Niña.



Referencias

- Barnston, A., M. Tippett, M. L'Heureux, S. Li, D. DeWitt, 2012: Skill of real-time seasonal ENSO model predictions during 2002-11: Is our capability increasing? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93 (5), 631-651.
- Battisti, D. S., A. C. Hirst, 1989: Interannual variability in a tropical atmosphere-ocean model: Influence of the basic state, ocean geometry and nonlinearity, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 46 (12), 1687-1712.
- Bjerknes, J., 1969: Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific, *Monthly Weather Review*, 97 (3), 163-172.
- Cai, W., G. Wang, A. Santoso, M. J. McPhaden, L. Wu, F.-F. Jin, A. Timmermann, M. Collins, G. Vecchi, M. Lengaigne, M. England, D. Dommenget, K. Takahashi, E. Guilyardi, 2015: Increased frequency of extreme La Niña events under greenhouse warming, *Nature Climate Change*, doi: 10.1038/nclimate2492.
- Cane, M.A., E. S. Sarachik, 1977: Forced baroclinic ocean motions. Part II: The linear equatorial bounded case, *Journal of Marine Research*, 35, 395-432.
- Choi, K., G. A. Vecchi, a. Wittenberg, 2013: ENSO transition, duration, and amplitude asymmetries: Role of the nonlinear wind stress coupling in a conceptual model, *Journal of Climate*, doi:10.1175/JCLI-D-13-00045.1.
- ENFEN, 2016: Comunicado Oficial ENFEN N°09-2016.
- Harrison, D. E, G. A. Vecchi, 1999: On the termination of El Niño, *Geophysical Research Letters*, 26 (11), 1593-1596.
- Jin, F.-F., 1997: An equatorial ocean recharge paradigm for ENSO. Part I: Conceptual model, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 54, 811-829.
- Kug, J. S, F.-F. Jin, S.-I. An, 2009: Two types of El Niño events: cold tongue El Niño and warm pool El Niño, *Journal of Climate*, doi:10.1175/2008JCLI2624.1.
- McPhaden, M. J., 2012: A 21st century shift in the relationship between ENSO SST and warm water volume anomalies, *Geophysical Research Letters*, doi: 10.1029/2012GL051826.
- Meinen, C. S., M. J. McPhaden, 2000: Observations of warm water volume changes in the equatorial Pacific and their relationship to El Niño and La Niña, *Journal of Climate*, 13, 3551-3559.
- Mosquera-Vásquez, K., B. Dewitte, S. Illig, K. Takahashi, G. Garric, 2013: The 2002/2003 El Niño: Equatorial waves sequence and their impact on sea surface temperature, *Journal of Geophysical Research*, doi: 10.1029/2012JC008551.
- 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.
- Okumura, Y. M., C. Deser, 2010: Asymmetry in the duration of El Niño and La Niña, *Journal of Climate*, doi: 10.1175/2010JCLI3592.1.
- Okumura, Y., M. Ohba, C. Deser, H. Ueda, 2011: A proposed mechanism for the asymmetric duration of El Niño and La Niña, *Journal of Climate*, doi:10.1175/2011JCLI3999.1.
- Reynolds, R. W., N. A. Rayner, T. M. Smith, D. C. Stokes, W. Wang, 2002: An improved in situ and satellite SST analysis for climate, *Journal of Climate*, 15, 1609-1625.
- Stuecker, M., A. Timmermann, F.-F. Jin, S. McGregor, H. Ren, 2013: A combination mode of the annual cycle and the El Niño/Southern Oscillation, *Nature*, doi: 10.1038/ngeo1826.
- Suarez, M. J., P. S. Schopf, 1988: A delayed action oscillator for ENSO, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 45, 3283-3287.
- Takahashi, K., A. Montecinos, K. Goubanova, B. Dewitte, 2011: ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño, *Geophysical Research Letters*, doi: 10.1029/2011GL047364.
- Takahashi, K., and B. Dewitte, 2015: Strong and moderate nonlinear El Niño regimes, *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-015-2665-3.
- Tziperman, E., M. A. Cane, S. E. Zebiak, Y. Xue, B. Blumenthal, 1998: Locking of El Niño's peak time to the end of the calendar year in the delayed oscillator picture of ENSO, *Journal of Climate*, 11, 2191-2199.
- Vecchi, G. A., D. E. Harrison, 2006: The termination of the 1997-98 El Niño. Part II: Mechanisms of oceanic change, *Journal of Climate*, 19, 2634-2646.
- Vecchi, G. A., 2006: The termination of the 1997-98 El Niño. Part II: Mechanisms of atmospheric change, *Journal of Climate*, 19, 2647-2664.

Variabilidad intraestacional a lo largo de la costa peruana

Eva Prieto, Dra.¹; Kobi Mosquera, Dr.¹; Ivonne Montes, Dra.¹

¹Instituto Geofísico del Perú

Por su proximidad al ecuador terrestre, el Sistema de Afloramiento de Perú está fuertemente influenciado por la variabilidad remota ejercida por la dinámica ecuatorial en diferentes escalas temporales, incluyendo la intraestacional (Brink, 1982; Enfield, 1987), estacional (Pizarro et al., 2002), interanual (Pizarro et al., 2001; Montes et al., 2011) y decadal (Montecinos et al., 2007). Uno de los principales factores que estarían modulando la dinámica costera de Perú es la propagación de ondas de Kelvin ecuatoriales (Dewitte et al., 2008; Mosquera-Vasquez et al., 2013; 2014), perturbaciones oceánicas atrapadas alrededor de la línea ecuatorial. Las ondas de Kelvin son generadas en el Pacífico Occidental debido a las variaciones en la intensidad de los vientos alisios y se propagan hacia el este y a lo largo de la costa, siendo así responsables de transmitir la variabilidad ecuatorial hacia la costa de Sudamérica (Brainard et al., 1987). Además, estas ondas ecuatoriales son el componente clave de la dinámica ecuatorial que evidencia la presencia de la variabilidad interanual de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), especialmente estudiado por su impacto sobre la productividad biológica marina y el clima de las Américas (McPhaden, 2006). Cabe señalar que estas ondas tardan entre dos y tres meses en alcanzar la costa de Perú, por lo que sus efectos e impacto en el afloramiento costero pueden ser predichos con antelación (Kessler and Kleeman, 2000; Roundy and Kiladis, 2006).

Se conoce que las ondas de Kelvin a escala estacional, intraestacional e interanual (e.g. Ramos et al., 2008; Belmadani et al., 2012) pueden profundizar o elevar la termoclina y, por lo tanto, tendrían un impacto directo sobre la fuente de agua del afloramiento costero (Shaffer et al., 1997), la temperatura y el nivel del mar, y dicho efecto

dependería de la latitud. Ello debido a que para una onda de Kelvin, oscilando a una frecuencia dada, existe una latitud crítica que determina si el movimiento ondulatorio es atrapado en la costa en forma de ondas costeras o, por el contrario, es reflejado en forma de ondas de Rossby. A mayor frecuencia y modo vertical de oscilación, menor es la latitud crítica. Las corrientes zonales y meridionales, u y v , y la presión asociada a las ondas pueden escribirse como una combinación de n infinitos modos verticales independientes entre sí, los cuales, dependiendo de su frecuencia y energía asociadas, serán reflejados o atrapados en la costa.

A escala intraestacional se observan las denominadas Ondas de Kelvin Intraestacionales (IEKW, por su sigla en inglés) que alcanzan energías máximas asociadas a periodos de 50 días, las cuales son confinadas cerca de la costa alrededor de los 7°S. El movimiento ondulatorio sería atrapado en la costa al sur de 7°S (ondas atrapadas en la costa, CTW) (Clarke and Shi, 1991). Para las IEKW con energías entre 50 y 80 días, el primer modo de oscilación es atrapado entre los 7°S y 10°S mientras que los demás modos de oscilación se concentran en latitudes menores a los 6°S (Clarke, 1983).

Con respecto a las ondas de Rossby, las investigaciones señalan que dichas ondas estarían confinadas entre el ecuador y los 12°S en periodos de 50-80 días, mientras que al sur de esta latitud la variabilidad estaría dominada por la propagación hacia el oeste de estructuras de mesoscala muy energéticas provenientes de inestabilidades en los flujos costeros (Belmadani et al., 2012).

A lo largo de la costa peruana, es conocido que las CTW pueden afectar a la temperatura superficial del mar (TSM) mediante la advección vertical de anomalías de temperatura, resultando en variaciones del régimen de afloramiento (Gutiérrez et al., 2008) distintas a las variaciones asociadas al régimen de vientos los cuales también fluctúan a escala intratestacional. Sin embargo, no está muy claro cuál es la contribución de cada uno de estos procesos a la variabilidad del afloramiento, afectando por tanto a la posible predicción de eventos.

Investigaciones señalan que existen dos regiones de máxima variación intraestacional del afloramiento costero, una en la región central de Perú (Pisco, ~15°S) y otra en la región norte (Piura, ~5°S), y dos regímenes de variabilidad, uno de bajo periodo (10 a 25 días) asociado a la dinámica de Ekman, y otro de alto periodo (35-60 días), con un pico de energía en el periodo de 50 días, asociado a la acción combinada del forzamiento atmosférico de gran escala y de las ondas Kelvin ecuatoriales intraestacionales (Dewitte et al., 2011). Estudios más recientes (Illig et al., 2014) estimaron que las ondas Kelvin ecuatoriales representan entre un 20-

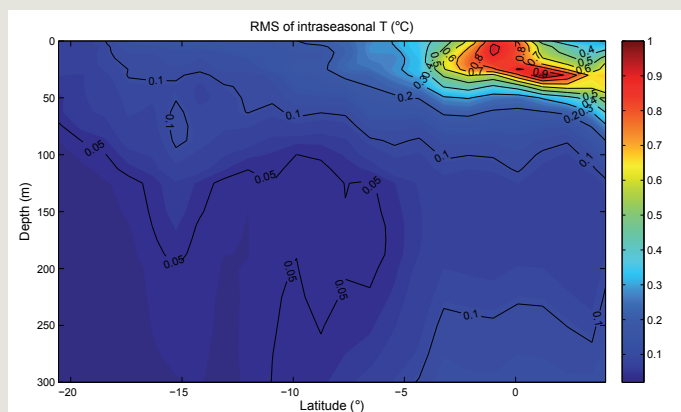


Figura 1. Media cuadrática de las anomalías intraestacionales de temperatura en función de la profundidad a partir de simulaciones diarias del modelo ROMS en el periodo 2000-2005, de 21°S a 4°N. Promedios de temperatura tomados en la franja costera 82°- 77.44°W (~500 km).

30% de la variabilidad intraestacional de la TSM al norte de 12°S y menos del 20% al sur de esta latitud, mientras que serían responsables de más del 70% de la variabilidad intraestacional de la profundidad de la termoclina (isoterma 15°C) al norte de 20°S.

A partir de las salidas diarias del modelo ROMS para el periodo 2000-2005 (Montes et al., 2011), se calculó la media cuadrática de las anomalías intraestacionales de la temperatura, promediando los valores en una franja costera de ~4.5° (~500 km) y ~1° (~100 km) entre los 4°N y 21°S, mostrando un desplazamiento hacia el sur de las anomalías máximas de temperatura a medida que nos aproximamos a la costa (Figuras 1 y 2).

En concordancia con la bibliografía, las mayores anomalías de temperatura se encontrarían entre los 5°S y 12°S, con anomalías máximas de temperatura en superficie en ~10°S, donde estaría atrapado el primer modo de la onda Kelvin (Figura 2). Será necesario tener en cuenta otros factores como los vientos y la coexistencia de ondas de Rossby y de remolinos de mesoescala en la región para conocer el origen de esta variabilidad intraestacional.

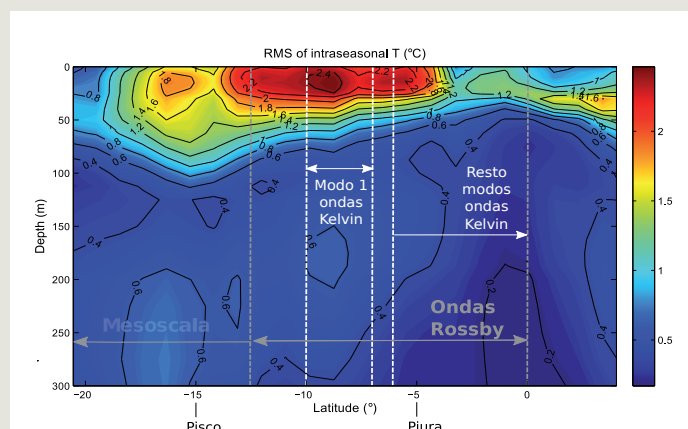


Figura 2. Media cuadrática de las anomalías intraestacionales de temperatura en función de la profundidad a partir de simulaciones diarias del modelo ROMS en el periodo 2000-2005, de 21°S a 4°N. Promedios de temperatura tomados en la franja costera 78.44°-77.44°W (~100 km).

Referencias

- Belmadani, A., V. Echevin, B. Dewitte, and F. Colas, 2012: Equatorially forced intraseasonal propagations along the Peru-Chile coast and their relation with the nearshore eddy activity in 1992–2000: A modeling study, *Journal of Geophysical Research*, 117, C04025, doi:10.1029/2011JC007848.
- Brainard, R. E., and D. R. McLain, 1987: Seasonal and interannual subsurface temperature variability off Peru, 1952 to 1984. *The Peruvian Anchoveta and its Upwelling Ecosystem: Three Decades of Change*, ICLARM Studies and Reviews, 15:14-45.
- Brink, K. H., 1982: A comparison of long coastal trapped wave theory with observations off Peru, *Journal of Physical Oceanography*, 12, 897–913, doi:10.1175/1520-0485(1982)012<0897:ACOLCT>2.0.CO;2.
- Clarke, A. J., 1983: The reflection of equatorial waves from oceanic boundaries, *Journal of Physical Oceanography*, 13, 1193–1207, doi:10.1175/1520-0485(1983)013<1193:TROEWF>2.0.CO;2.
- Clarke, A. J., and C. Shi, 1991: Critical frequencies at ocean boundaries, *Journal of Geophysical Research*, 96, 10731–10738, doi:10.1029/91JC00933.
- Colas, F., X. Capet, J. C. McWilliams, and A. Shchepetkin, 2008: 1997–98 El Niño off Peru: A numerical study, *Progress in Oceanography*, 79, 138–155, doi:10.1016/j.pocean.2008.10.015.
- Dewitte, B., S. Purca, S. Illig, L. Renault, and B. S. Giese, 2008: Low frequency modulation of intraseasonal equatorial Kelvin wave activity in the Pacific from SODA: 1958–2001, *Journal of Climate*, 21, 6060–6069, doi:10.1175/2008JCLI2277.1.
- Dewitte, B., S. Illig, L. Renault, K. Goubanova, K. Takahashi, D. Gushchina, K. Mosquera, and S. Purca, 2011: Modes of covariability between sea surface temperature and wind stress intraseasonal anomalies along the coast of Peru from satellite observations (2000–2008), *Journal of Geophysical Research*, 116, C04028, doi:10.1029/2010JC006495.
- Enfield, D. B., 1987: The intraseasonal oscillation in Eastern Pacific sea levels: How is it forced?, *Journal of Physical Oceanography*, 17, 1860–1876, doi:10.1175/1520-0485(1987)017<1860:TIOIEP>2.0.CO;2.
- Gutierrez, D., E. Enriquez, S. Purca, L. Quipuzcoa, R. Marquina, G. Flores, and M. Graco, 2008: Oxygenation episodes on the continental shelf of central Peru: Remote forcing and benthic ecosystem response, *Progress in Oceanography*, 79, 177–189, doi:10.1016/j.pocean.2008.10.025.
- Illig, S., B. Dewitte, K. Goubanova, G. Cambon, J. Boucharel, F. Monetti, C. Romero, S. Purca, and R. Flores, 2014: Forcing mechanisms of intraseasonal SST variability off central Peru in 2000–2008, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119, 3548–3573, doi:10.1002/2013JC009779.
- Kessler, W. S., M. J. McPhaden, and K. M. Weickmann, 1995: Forcing of intraseasonal Kelvin waves in the equatorial Pacific, *Journal of Geophysical Research*, 100, 10613–10631, doi:10.1029/95JC00382.
- Kessler, W. S., and R. Kleeman, 2000: Rectification of the Madden-Julian Oscillation into the ENSO cycle, *Journal of Climate*, 13 (20), 3560–3575, doi:10.1175/1520-0442(2000)013<3560:ROTMJO>2.0.CO;2.
- McPhaden, M. J., S. E. Zebiak, and M. H. Glantz, 2006: ENSO as an integrating concept in earth science, *Science*, 314, 1740–1745.
- Montecinos, A., O. Leth, and O. Pizarro, 2007: Wind-driven interdecadal variability in the eastern tropical and South Pacific, *Journal of Geophysical Research*, 112, C04019, doi:10.1029/2006JC003571.
- Montes, I., W. Schneider, F. Colas, B. Blanke, and V. Echevin, 2011: Subsurface connections in the eastern tropical Pacific during La Niña 1999–2001 and El Niño 2002–2003, *Journal of Geophysical Research*, 116, C12022, doi:10.1029/2011JC007624.
- Mosquera-Vásquez, K., B. Dewitte, and S. Illig, 2014: The Central Pacific El Niño Intraseasonal Kelvin wave, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119, 6605–6621, doi:10.1002/2014JC010044.
- Mosquera-Vásquez, K., B. Dewitte, S. Illig, K. Takahashi, and G. Garric, 2013: The 2002/2003 El Niño: Equatorial waves sequence and their impact on sea surface temperature, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118, 346–357, doi:10.1029/2012JC008551.
- Pizarro, O., A. J. Clarke, and S. Van Gorder, 2001: El Niño sea level and currents along the South American coast: Comparison of observations with theory, *Journal of Physical Oceanography*, 31, 1891–1903, doi:10.1175/1520-0485(2001)031<1891:ENOSLA>2.0.CO;2.
- Pizarro, O., G. Shaffer, B. Dewitte, and M. Ramos, 2002: Dynamics of seasonal and interannual variability of the Peru-Chile Undercurrent, *Geophysical Research Letters*, 29(12), 1581, doi:10.1029/2002GL014790.
- Ramos, M., B. Dewitte, O. Pizarro, and G. Garric, 2008: Vertical propagation of extratropical Rossby waves during the 1997–1998 El Niño off the west coast of South America in a medium-resolution OGCM simulation, *Journal of Geophysical Research*, 113, C08041, doi:10.1029/2007JC004681.
- Roundy, P. E., and G. N. Kiladis, 2006: Observed relationship between oceanic Kelvin waves and atmospheric forcing, *Journal of Climate*, 19, 5253–5272, doi:10.1175/JCLI3893.
- Shaffer, G., O. Pizarro, L. Djurfeldt, S. Salinas, and J. Rutllant, 1997: Circulation and Low-Frequency Variability near the Chilean Coast: Remotely Forced Fluctuations during the 1991–92 El Niño, *Journal of Physical Oceanography*, 27:2, 217–235.

Resumen del Informe Técnico

PPR/El Niño - IGP/ 2016-4

Advertencia: El presente informe sirve como insumo para el Comité 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), las condiciones climáticas de la costa peruana para el mes de marzo fueron cálidas moderadas (1.07°C), manteniéndose la presencia de El Niño Costero, el cual alcanzó, en toda su evolución, la magnitud fuerte. Para el caso particular del verano (diciembre 2015-marzo 2016) la magnitud de El Niño fue cálida moderada. Los valores temporales del ICEN (ICENTmp), 1 y 2, indican que para los meses de abril y mayo las condiciones serían cálidas débiles y neutras, respectivamente. El pronóstico de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de los modelos numéricos internacionales para la región del Pacífico Oriental, con condiciones iniciales del mes de abril, indican en su mayoría una declinación del evento El Niño con condiciones, en promedio, neutras para los meses de mayo y junio. Estos mismos resultados numéricos predicen que, para el Pacífico Central, las condiciones serían cálidas débiles y neutras para esos meses.

Según los datos de la anomalía de la profundidad de la termoclina ecuatorial (ARGO), se vienen observando en los últimos meses tres ondas Kelvin frías. La primera de estas arribó a la costa desde mediados de abril. El núcleo de la segunda onda fría llegaría entre fines de mayo e inicios de junio, mientras que el de la tercera llegaría a inicios de julio. Estas ondas probablemente mantendrán anomalías negativas de la TSM a lo largo de la costa peruana en los siguientes tres meses. Por otra parte, no se observaron anomalías de vientos zonales ecuatoriales sustanciales y la convección en el Pacífico Oriental se ha debilitado, aunque sigue más activa que lo normal.

Índice Costero El Niño

Utilizando los datos de TSM promediados sobre la región Niño1+2, actualizados hasta el mes de abril de 2016 del producto ERSST v3b generados por el *Climate Prediction Center* (CPC) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, EE.UU.), se ha calculado el Índice Costero El Niño (ICEN; ENFEN 2012) hasta el mes de marzo de 2016. Los valores se muestran en la Tabla 1.

Año	Mes	ICEN	Condiciones costeras del mes
2015	Diciembre	2.07	Cálida Fuerte
2016	Enero	1.77	Cálida Fuerte
2016	Febrero	1.49	Cálida Moderada
2016	Marzo	1.07	Cálida Moderada

Tabla 1. Valores recientes del ICEN.

(Descarga: <http://www.met.igp.gob.pe/datos/icen.txt>)

Según el valor del ICEN para el mes de marzo, se establece que continúa la presencia de El Niño costero de magnitud fuerte, el cual se inició en abril de 2015, pero se confirma que su magnitud para el verano (diciembre 2015-marzo 2016) fue cálida moderada.

Diagnóstico del Pacífico Ecuatorial

En el océano Pacífico Ecuatorial se continúan observando las condiciones del fenómeno El Niño 2015-16, sin embargo estas se están reduciendo significativamente. Aún persiste el acoplamiento océano-atmósfera en el Pacífico Central, indicado por la convección atmosférica en el Pacífico Central-Oriental, aunque con menor fuerza que el mes anterior. La anomalía de la temperatura superficial del mar (ATSM) en la región Niño 3.4 es ligeramente superior, en promedio, a las de los años 1998 y 1983. Por otro lado, en la región Niño 1+2, la ATSM ha disminuido abruptamente ubicándose por debajo de los eventos El Niño extraordinario. Las anomalías de viento del oeste en el Pacífico Central (160°E - 160°W ; 5°S - 5°N) mostraron, en promedio, anomalías negativas. La convección en el Pacífico Central-Oriental continúa decayendo pero sigue activa durante el mes de abril. La termoclina en el Pacífico Oriental, en el punto 110°W , mostró anomalías negativas desde la quincena de marzo, debido al paso de la onda Kelvin fría, mientras que en 95°W se observa con anomalías negativas desde la segunda semana de abril. Por otro lado, continúa la descarga de calor ecuatorial, aunque en menor grado que en 1998, y la inclinación de la termoclina está cerca de lo normal. Los datos de nivel del mar indican que la descarga de agua "cálida" se habría realizado hacia el norte (5°N), en forma también similar pero más débilmente que en 1998. Esta configuración, asociada a El Niño tipo EP (Eastern Pacific) implica una mayor probabilidad de La Niña en el Pacífico Central que de El Niño en el Pacífico Central (Kug et al., 2009).

Pronóstico a corto plazo con modelo de ondas y observaciones

Los datos de la profundidad de la isoterma de 20°C ecuatorial según TAO (Figura 1b) y ARGO (Figura 1c) muestran anomalías generalmente negativas, entre las cuales se puede notar la presencia de tres ondas Kelvin frías. La primera de estas arribó a la costa desde mediados de abril. El núcleo de la segunda onda fría llegaría entre fines de mayo e inicios de junio, mientras que el de la tercera llegaría a inicios de julio. Las anomalías asociadas

Resumen del Informe Técnico

PPR/EI Niño - IGP/ 2016-4

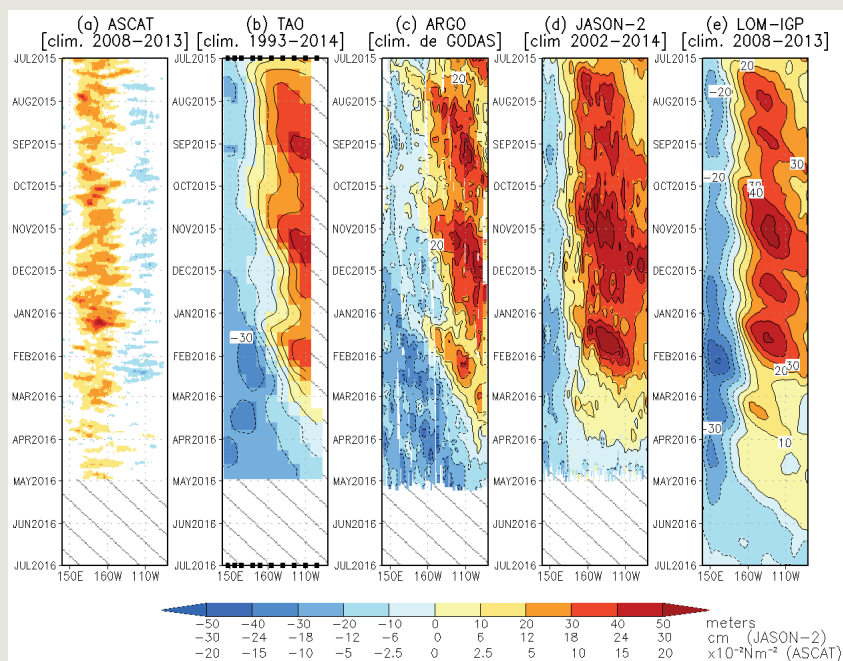


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO (b) y los derivadores de Argo (c), datos del nivel del mar de JASON-2 (d). Finalmente en (e) se muestra la anomalía de la profundidad de la termoclina calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por ASCAT, y $\tau_{\text{aux}}=0$ para el pronóstico). Las líneas diagonales representan una propagación hacia el este con velocidad de 2.6 m/s. (Elaboración: IGP).

a estas ondas probablemente generarán y mantendrán anomalías negativas de TSM a lo largo de la costa peruana en los siguientes tres meses.

Pronóstico estacional con modelos climáticos

Para el mes de mayo, de los 7 modelos disponibles sobre pronósticos de la anomalía de TSM en el Pacífico Oriental (región Niño 1+2) inicializados en abril, 3 indican condiciones cálidas débiles y 4 condiciones neutras; para el mes de junio, 6 de 8 modelos indican condiciones neutras y 2 condiciones frías débiles; para el mes de julio 6 de 8 modelos dicen condiciones neutras, 1 indica condición fría moderada y 1 condición fría fuerte (Figura 2). Por otro lado, en el Pacífico Central (Niño 3.4) los modelos indican que las condiciones en promedio para los meses de mayo serían cálidas débiles y para el mes de junio neutras; las condiciones para el trimestre mayo – julio serían frías débiles y para el trimestre agosto - octubre 2016 serían frías fuertes. Se nota que los pronósticos inicializados a final de mayo con el modelo CFSv2, el que indicaba los pronósticos más fríos y el único que pronosticaba La Niña costera cuando fue inicializado en abril, ya no son tan fríos. Por lo tanto, todos los modelos hasta el momento indican que el invierno será neutro.

Conclusiones

1. El ICEN para marzo de 2016 fue de 1.07 (cálida moderada). Asimismo, el ICENtmp actualizado para abril y mayo de 2016 es 0.65 y 0.03, siendo condiciones cálidas débiles y neutras, respectivamente. Según el último dato ICEN, El Niño costero ha alcanzado una magnitud «moderada» este verano.

2. Los datos diarios de la TSM en la región Niño 1+2 muestran valores normales. Los datos de NCEP OI SST (infrarrojo) recientemente presentaron un rápido aumento (dejando los valores negativos aparentemente falsos) y se han acercado a los datos de OSTIA y RSS OI SST (que incluyen microondas).

3. Según la profundidad de la termoclina ecuatorial, se observan tres ondas Kelvin frías. La primera de estas arribó a la costa desde mediados de abril. El núcleo de la segunda onda fría llegaría entre fines de mayo e inicios de junio, mientras que el de la tercera llegaría a inicios de julio. Estas ondas probablemente generarán y mantendrán anomalías negativas de TSM a lo largo de la costa peruana en los siguientes tres meses.

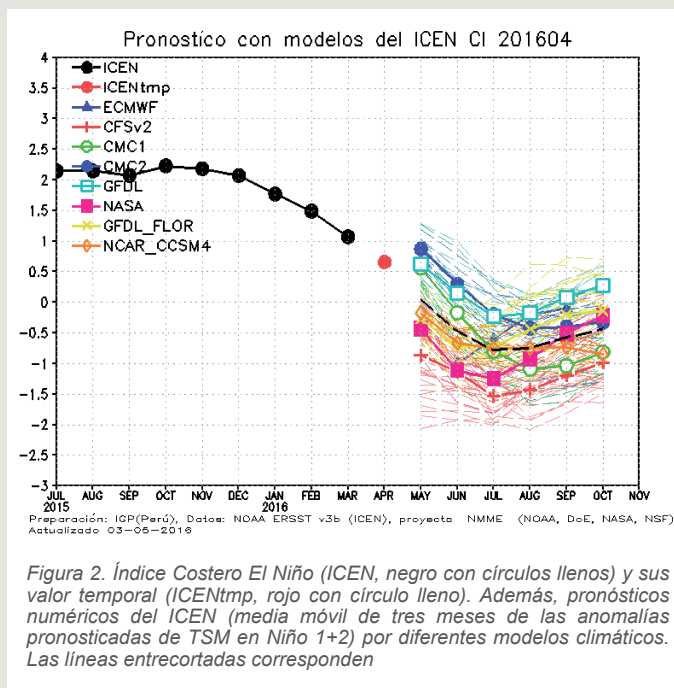
4. No se observaron anomalías de vientos zonales ecuatoriales sustanciales y la convección en el Pacífico Oriental se ha debilitado, aunque sigue más activa que lo normal. El índice del viento del SE frente a Sudamérica continúa anómalamente fuerte y, de seguir así los próximos meses, reforzaría el enfriamiento de la costa.

5. Para el Pacífico Oriental (Niño 1+2), 7 de 8 modelos inicializados en abril (y el CFSv2 actualizado en mayo) indican que el mes de junio presentaría condiciones neutras y 1 de 8 modelos indica condiciones frías débiles, pero sin llegar a satisfacer los requisitos para La Niña costera.

6. Para el Pacífico Central (Niño 3.4), todos los modelos que han sido considerados, y que fueron inicializados en abril, indican que El Niño continuaría su declinación y presentaría condiciones neutras en promedio para junio. Para julio 2016 en adelante, la mayoría de modelos predicen La Niña en el Pacífico Central.

Resumen del Informe Técnico

PPR/El Niño - IGP/ 2016-4



7. Se recuerda que en general los pronósticos de los modelos globales inicializados en estos meses son bastante inciertos por corresponder este periodo a la barrera de predictibilidad. Los modelos inicializados a partir de mayo producen pronósticos más confiables.

8. Por otro lado, en general, la descarga de calor ecuatorial continúa, aunque en menor grado que en 1998, y la inclinación de la termoclina está cercana a lo normal. Los datos de nivel del mar indican que la descarga de agua "cálida" se habría realizado hacia el norte (5°N), en forma también similar pero más débilmente que en 1998. Esta configuración está asociada a una mayor probabilidad a que se desarrolle un evento La Niña en el Pacífico Central (Kug et al., 2009) consistente con los pronósticos de los modelos globales.

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", 1, 5, 8-9, Instituto Geofísico del Perú.

Barnston, A., M. Tippett, M. L'Heureux, S. Li, D. DeWitt, 2012: Skill of Real-Time Seasonal ENSO Model Predictions during 2002-11: Is Our Capability Increasing?, Bulletin American Meteorological Society, 93, 5, 631-651.

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

Kug, J. S., F.-F. Jin, and S.-I. An, 2009: Two Types of El Niño Events: Cold Tongue El Niño and Warm Pool El Niño, Journal of Climate, 22, 1499-1515.

Lagos, P., Y. Silva, E. Nickl, K. Mosquera, 2008: El Niño – related precipitation variability in Perú, Advances in Geosciences, 14, 231-237.

Lavado, W., y J. C. Espinoza, 2014: Entendiendo los impactos de diferentes tipos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", 1, 3, 4-7, Instituto Geofísico del Perú.

Machuca, R., 2014: Cálculo de daños económicos potenciales en viviendas por inundaciones durante la ocurrencia del fenómeno El Niño: caso norte peruano, Tesis para optar el título profesional de Economía, Universidad Nacional del Callao, Lima.

Machuca, R., K. Takahashi, y A. G. Martínez, 2014: Impactos económicos de El Niño costero en el sector vivienda a causa de inundaciones en la costa norte del Perú, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", 1, 12, 4-8, Instituto Geofísico del Perú.

McPhaden, M. J., 2012: A 21st Century Shift in the Relationship between ENSO SST and Warm Water Volume Anomalies, Geophysical Research Letters, 39, L09706, doi:10.1029/2012GL051826.

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

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, K., B. Dewitte, y P. Lagos, 2011: 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, 5, 9, 55.

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.

Reupo, J., 2011: Evaluación y desarrollo de metodologías para el pronóstico estacional de anomalías de la temperatura en el mar peruano asociadas al Fenómeno El Niño y otros, Compendio de trabajos de investigación realizado por estudiantes, Vol. 12, Instituto Geofísico del Perú.

Reupo, J., y K. Takahashi, 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", 1, 1, 8-9, Instituto Geofísico del Perú.

Takahashi, K., 2014: Variedades de El Niño, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", 1, 2, 4-7, Instituto Geofísico del Perú.

Takahashi, K., K. Mosquera, D. Pareja, J. Reupo, y J. Aparco, 2014: Monitoreo del Pacífico ecuatorial, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", 1, 3, 8-9, Instituto Geofísico del Perú.

Takahashi, K., y B. Dewitte, 2015: Strong and moderate nonlinear El Niño regimes, Climate Dynamics, doi:10.1007/s00382-015-2665-3.

Comunicado Oficial ENFEN

COMITÉ MULTISECTORIAL ENCARGADO DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO (ENFEN)



COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 08-2016 Cambio en el Estado de Alerta de El Niño Costero: **Estado del sistema de alerta: No Activo¹**

El Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) cambió el Estado de Alerta a "No activo", debido a la declinación del evento El Niño costero que se inició en la costa peruana en otoño del 2015. Continúa la fase de declinación del evento El Niño costero, el cual se manifiesta con la tendencia hacia la normalización en la región Niño 1+2 en la TSM, así como a lo largo de la costa del Perú, debido al inicio del arribo de la onda Kelvin fría y a los procesos de afloramiento ecuatoriales y costeros. En este proceso de declinación, se han presentado precipitaciones aisladas de moderada intensidad (15-40 mm/día) en Tumbes y Piura. Para lo que resta del mes de abril se espera que continúe el arribo de la onda Kelvin fría a la costa peruana, contribuyendo a la normalización de las condiciones oceanográficas. En la costa norte, para el resto de la temporada de lluvias se espera que continúen las precipitaciones dentro de su normal.

El Comité encargado 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 primera quincena del mes de abril del 2016 y sus perspectivas.

Continúa la declinación de la fase cálida de El Niño-Oscilación del Sur. En la región del Pacífico Ecuatorial Central (Niño 3.4)², la anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) disminuyó a +1,3°C. Asimismo, la actividad convectiva, la anomalía del viento del oeste y el contenido de calor en el interior del océano se han reducido significativamente en esta región. La onda Kelvin fría alcanzó la costa sudamericana contribuyendo a la tendencia hacia la normalización de la TSM y del nivel medio del mar (NMM) en la región 1+2 y costa norte del Perú.

En el Pacífico Ecuatorial Oriental (región Niño 1+2), la TSM alcanzó 26,4°C en promedio, y su anomalía disminuyó a +0,7°C. Los valores estimados actualizados del Índice Costero El Niño (ICENTmp) para marzo y abril son de +1,17°C (Condición Cálida Moderada) y +0,75°C (Condición Cálida Débil).

En la Estación Fija Paita, localizada a siete millas náuticas (mn) de la costa, la columna de agua mostró una reducción de 1°C en promedio respecto a la primera semana de abril, manteniendo anomalías menores a 1°C en los primeros 80 m de profundidad. En cuanto a las anomalías de la TSM en el litoral, éstas presentaron en promedio valores inferiores a +1,5°C en la costa norte y valores entre +1,0°C y +2,2°C en la costa central y sur.

Las temperaturas subsuperficiales frente a Chicama, en las primeras 100 millas de la costa y sobre los 100 metros de profundidad, mostraron una reducción de las anomalías a valores alrededor de +1°C.

Los vientos costeros del sur mostraron velocidades en el rango normal (entre 4 y 6 m/s) a lo largo de la costa peruana.

Las temperaturas extremas del aire a lo largo de la costa norte y central se presentaron por encima de lo normal con anomalías de +1,9°C para la temperatura máxima y +1,6°C para la temperatura mínima.

En la primera quincena de abril, la contribución de vientos del este provenientes de la Amazonía en los niveles medios, dio lugar a lluvias en Tumbes y partes medias y altas en Piura, las cuales fueron de moderada intensidad. Como consecuencia de estas lluvias, los caudales de los ríos de la costa norte del país se presentaron por encima de su

normal, mientras que en la costa centro y sur estuvieron por debajo de su promedio.

Los reservorios en la costa norte y sur alcanzaron en promedio 78% y 65% de su capacidad máxima, aumentando en el primer caso y manteniéndose en el sur.

En la región sur, la anchoveta se distribuyó entre Ático (16°S) e Ilo (17°S), dentro de las 10 mn de la costa. Los indicadores de la actividad reproductiva de la anchoveta muestran el inicio de la declinación del desove de la especie. En la presente quincena de abril se registró, dentro de las 40 mn entre Chimbote (9°S) y Callao (12°S), la presencia de especies asociadas a aguas cálidas como *Katsuwonus pelamis* "barilete", *Anchoa nasus* "samasa" y *Scomber japonicus* "caballa".

PERSPECTIVAS

Se espera que la onda Kelvin fría continúe contribuyendo a la normalización de las condiciones oceanográficas en la región 1+2 y a lo largo de la costa peruana. Sin embargo, en lo que queda del mes no se descartan fluctuaciones de la anomalía de la temperatura, debido al comportamiento de los vientos, pero sin alterar la tendencia general a la normalización.

Se espera que las precipitaciones continúen disminuyendo en la costa norte hacia fines de abril, debido al comportamiento estacional y a la declinación de El Niño costero. Los modelos globales para el Pacífico Ecuatorial Central (región Niño 3.4) y para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2) continúan indicando en su mayoría la declinación de El Niño, alcanzando entre mayo y junio condiciones neutras.

El Comité Multisectorial ENFEN considera la finalización del evento El Niño costero durante el otoño, sin descartar en el invierno temperaturas del mar y del aire en la zona costera por debajo de lo normal.

Por lo tanto este Comité determina el cambio de estado "Alerta de El Niño Costero" a "No Activo"¹ a partir de la fecha.

El Comité Multisectorial ENFEN continuará informando mensualmente sobre la evolución de las condiciones observadas y sus perspectivas.

Comité Multisectorial ENFEN
Callao-Perú, 21 de abril de 2016

¹Definición de Estado de Sistema de Alerta "No Activo": "en condiciones neutras o cuando el Comité ENFEN espera que El Niño o La Niña costeros están próximos a finalizar" (Nota Técnica ENFEN 01-2015).

²Región Niño 3.4: 5°S - 5°N, 170°W - 120°W



COMITÉ MULTISECTORIAL ENCARGADO DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO (ENFEN)



COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 09 - 2016 Cambio en el Estado de Alerta de El Niño Costero: **Estado del sistema de alerta: No Activo¹**

El Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) mantiene el estado de Alerta "No activo", debido a que en la actualidad se presentan condiciones normales de temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2, así como a lo largo de la costa del Perú. Si bien se han registrado precipitaciones aisladas en la sierra y costa norte en la última semana, en términos generales ha culminado la temporada de lluvias en el territorio nacional. Para los siguientes dos a tres meses se espera que continúe la disminución de la TSM a lo largo de la costa peruana debido al arribo de ondas Kelvin frías y la previsible intensificación de los vientos costeros del sur.

El Comité encargado 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 abril del 2016 y sus perspectivas.

En la región del Pacífico Ecuatorial Central (Niño 3.4)², la anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) fue $+1,1^{\circ}\text{C}$, disminuyendo aproximadamente $0,6^{\circ}\text{C}$ respecto al mes anterior, siendo similar a las observadas en 1998 y 1983. Asimismo, la actividad convectiva, la anomalía del viento del oeste y el contenido de calor en el interior del océano continuaron reducidas significativamente en esta región. La onda Kelvin fría alcanzó la costa sudamericana y contribuyó a la normalización de la TSM y del nivel medio del mar en la costa norte del Perú.

En el Pacífico Ecuatorial Oriental (región Niño 1+2), la TSM disminuyó a $25,5^{\circ}\text{C}$ en promedio para el mes, mientras que su anomalía bajó a $+0,1^{\circ}\text{C}$. El valor del Índice Costero El Niño (ICEN) para marzo es $1,07^{\circ}\text{C}$ (Condición Cálida Moderada), lo cual confirma que el evento El Niño costero si bien presentó una magnitud fuerte en el invierno y primavera del 2015 alcanzó una magnitud moderada para el verano 2016. El valor estimado del ICEN para abril (ICENTmp) es $+0,65^{\circ}\text{C}$ (Condición Cálida Débil).

Durante la mayor parte del mes, los vientos costeros mostraron un comportamiento variable, con velocidades normales en la costa centro-norte y velocidades por debajo del promedio frente a la costa sur. Hacia fines del mes el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se intensificó, acentuando los vientos en la región costera central y sur, produciendo un nuevo episodio de vientos Paracas.

Las temperaturas extremas del aire a lo largo de la costa norte y central continuaron presentando valores por encima de lo normal con anomalías de $+1,5^{\circ}\text{C}$ para la temperatura máxima y $+1,4^{\circ}\text{C}$ para la temperatura mínima.

En cuanto a las anomalías de la TSM en el litoral, estas presentaron en promedio para el mes de abril valores de $+0,7^{\circ}\text{C}$ en la costa norte, $+1,7^{\circ}\text{C}$ en la costa central y $+0,8^{\circ}\text{C}$ en la costa sur. Las temperaturas se normalizaron hacia fin de mes. Por otro lado, se mantiene la presencia de aguas oceánicas de alta salinidad hasta una distancia de 10 a 20 mn, principalmente frente a la costa central.

En la Estación Fija Paita, localizada a siete millas náuticas (mn) de la costa, la columna de agua mostró anomalías de -1°C en los primeros 40 m de la columna de agua y anomalías de $+1^{\circ}\text{C}$ entre los 60 y 100m de profundidad. Dentro de las 100 mn de la costa, desde Chicama a Pisco, se registraron anomalías positivas de temperatura de 1°C en promedio sobre los primeros 100 m, mientras que frente a San Juan, solamente sobre los 50 m y fuera de las 20 mn.

En la última semana del mes, se registraron precipitaciones aisladas de ligera a moderada intensidad entre Tumbes y Piura, debido a la invasión

de humedad por trasvase.

Los caudales de los ríos del país se presentaron por debajo de su normal, con una tendencia decreciente propia del período de transición a la temporada seca. Los reservorios en la costa norte y sur alcanzaron en promedio 80% y 64% de su capacidad hidráulica.

Los nutrientes químicos en la capa superficial del mar continúan exhibiendo una tendencia a aumentar en la zona costera desde Paita hasta la costa sur. La clorofila-a, indicador de la producción del fitoplancton que es base de la cadena alimenticia en el mar, continuó incrementándose, alcanzando anomalías positivas a lo largo de toda la franja costera.

La anchoveta se encontró replegada a la zona costera; en la región norte-centro, entre Chimbote y Pisco, mientras que al sur, entre Atico e Ilo se presentó dentro de las 10 mn. Los indicadores de la actividad reproductiva de la anchoveta muestran la culminación del desove de la especie. En la primera quincena de abril se registró la presencia de especies de aguas cálidas como barrilete, samasa y caballa, dentro de las 40 mn entre Chimbote y Callao, mientras que en la segunda quincena se registró la presencia de múnida, especie asociada a aguas frías, frente al Callao dentro de las 10 mn.

PERSPECTIVAS

Se espera que continúe la gradual disminución de la TSM a lo largo del litoral peruano en los próximos dos a tres meses, debido al arribo de ondas Kelvin frías y la previsible intensificación de los vientos costeros del sur, acorde con su estacionalidad. En este proceso de normalización de las condiciones océano atmosféricas hacia el invierno, produciría el aumento de la cobertura nubosa estratiforme y presencia de lloviznas a lo largo de la costa, típicos de la temporada. Sin embargo, en el corto plazo, no se descarta un debilitamiento temporal del APS que podría incidir en la desaceleración del enfriamiento costero, pero sin alterar la tendencia general a la normalización.

Los modelos globales para el Pacífico Ecuatorial Central (región Niño 3.4) continúan indicando, en su mayoría, la declinación de El Niño, alcanzando condiciones de La Niña en el Pacífico Central a partir de julio. Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), si bien la mayoría de modelos globales pronostica anomalías negativas de la TSM en los próximos meses, estas aún se encuentran en el rango de condiciones neutras.

El Comité Multisectorial ENFEN continuará informando sobre la evolución de las condiciones observadas y sus perspectivas.

Comité Multisectorial ENFEN
Callao-Perú, 05 de mayo de 2016

¹Definición de Estado de Sistema de Alerta "No Activo": "en condiciones neutras o cuando el Comité ENFEN espera que El Niño o La Niña costeros están próximos a finalizar" (Nota Técnica ENFEN 01-2015).

²Región Niño 3.4: $5^{\circ}\text{S} - 5^{\circ}\text{N}$, $170^{\circ}\text{W} - 120^{\circ}\text{W}$





© 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

En el marco del:

