



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto  
Geofísico del Perú - IGP

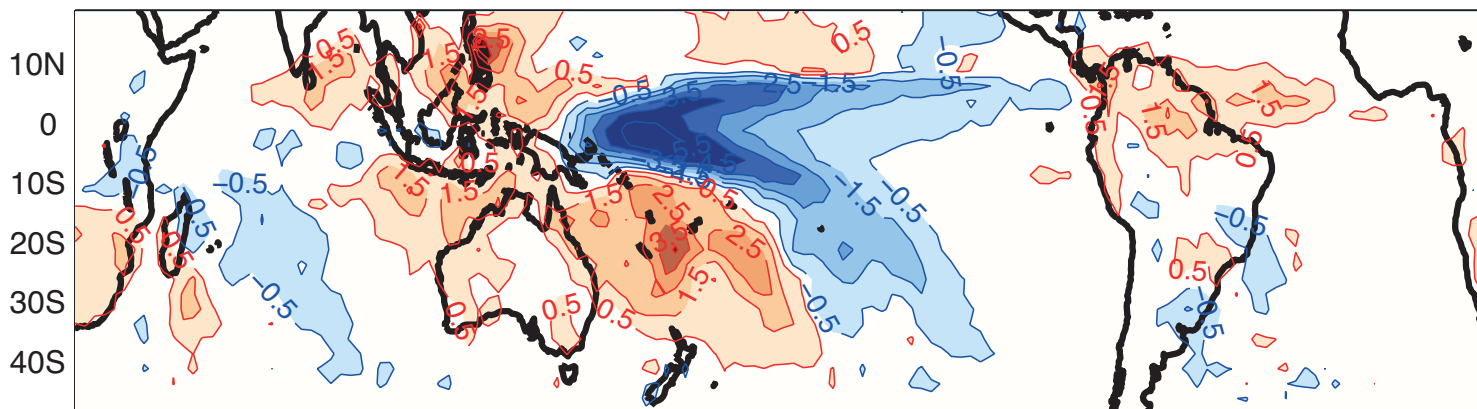


Programa Presupuestal por Resultados N° 68 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. Producto: “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”

## “Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”

Boletín Técnico

### Teleconexiones de La Niña



Anomalías de lluvia en diciembre-febrero durante La Niña fuerte  
(rojo: más, azul: menos)

# 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”.

**Elsa Galarza Contreras**  
Ministra 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: Katherine Morón  
Diseño y Diagramación: Dante Guerra

Carátula: Barreiro, 2016

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

Impreso por: Editora y comercializadora cartolan EIRL  
Pasaje Atlántida N°113 - Lima

Lima, Setiembre del 2016

Hecho el Depósito Legal en la  
Biblioteca Nacional del Perú N° 2016-11878

# 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](http://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.

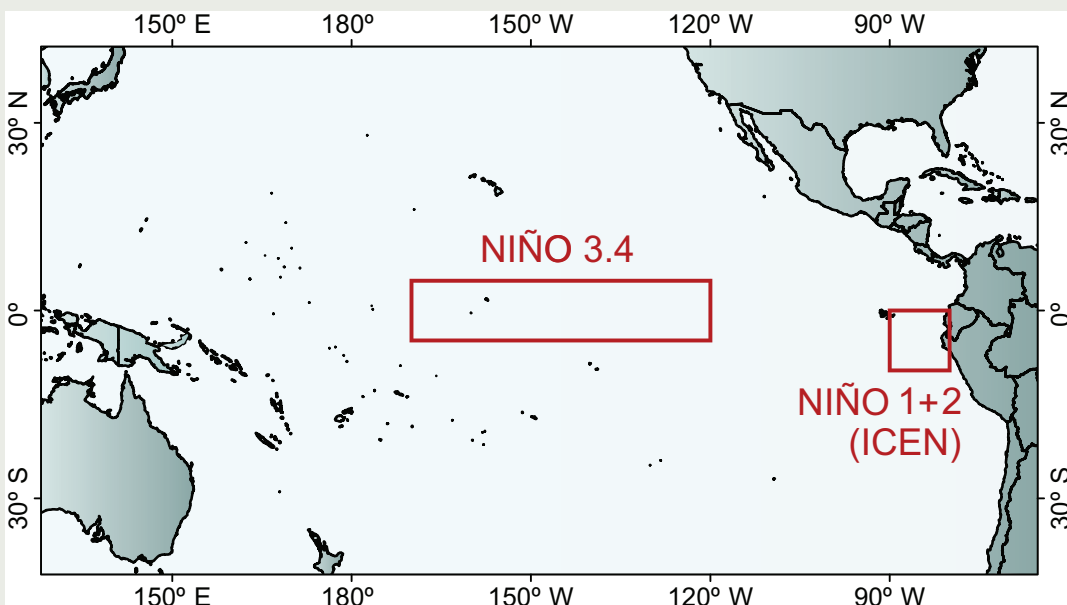
El Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformado por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA e Indeci, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

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 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 Amazonia peruana.

## La Niña y sus teleconexiones

Luego de uno de los eventos El Niño más grandes de los últimos 100 años y que finalizó en el invierno austral, el Pacífico parece tender hacia una situación de La Niña. Es decir, hacia el desarrollo de una lengua fría oceánica ecuatorial más intensa que lo normal en el Pacífico central. Al día de hoy parece que La Niña, si termina desarrollándose, no será muy intensa, y se pronostica que la temperatura de superficie del mar (TSM) en la región Niño 3.4 (región 5°S-5°N, 170-120°W) estará con anomalías entre los -0.5 y -1.0° C.

Surge entonces la pregunta sobre cuáles serían las posibles consecuencias climáticas en Sudamérica causadas por este fenómeno. En esta revisión nos centraremos en las temporadas de primavera (Setiembre-Noviembre) y verano (Diciembre-Febrero).

### Mecanismos físicos

Los estudios que se vienen realizando desde hace tres décadas han demostrado que las anomalías de la TSM en el océano Pacífico ecuatorial pueden influenciar climas en regiones remotas, particularmente en Sudamérica, a través de dos mecanismos de “teleconexión” atmosférica fundamentales: uno tropical y otro extratropical (Ropelewski y Halpert 1987, 1989; Yulaeva y Wallace 1994; Ambrizzi et al., 2004; Barreiro 2010).

En regiones ecuatoriales la circulación del aire está dominada por celdas en el plano longitudinal-vertical caracterizadas por regiones de ascenso y descenso. En el Pacífico, las intensas lluvias o “convección” en el oeste de la cuenca y sobre el continente marítimo están asociadas a fuertes movimientos ascendentes. En los niveles altos de la tropósfera, este aire diverge y desciende en el resto de la cuenca, principalmente en el Pacífico este. Esta es la llamada celda de Walker. Asimismo, sobre la Amazonía también ocurre ascenso de aire, aunque menos intenso, durante verano asociada a la fuerte actividad convectiva en esta región, lo cual intensifica el descenso o “subsistencia”, así como la convergencia en los niveles altos, sobre el Pacífico este y también sobre el Atlántico tropical. Estas celdas, caracterizadas por divergencia en altura en regiones de convección y convergencia en regiones de subsistencia se pueden observar a través del llamado “potencial de velocidad” en el nivel de presión de 200 hPa (cerca de 12 km de altura) y la componente divergente del viento asociada (Figura 1): donde el potencial de velocidad es negativo existe divergencia en altura y ascenso, donde es positivo existe convergencia en altura y subsistencia. La componente divergente del viento asociada a esta circulación es perpendicular a las isolíneas del potencial de velocidad y se dirige de valores menores a

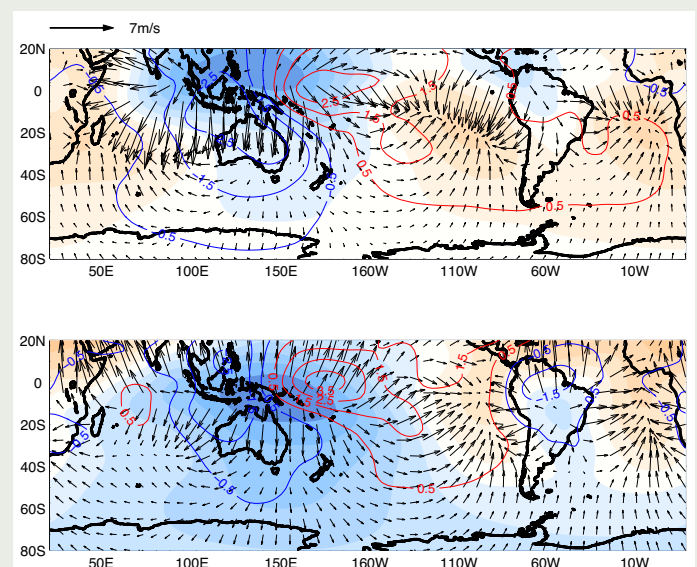


**Ph. D. Marcelo Barreiro**  
Profesor Titular, Facultad de Ciencias,  
Universidad de la República de Uruguay

*Ph.D. en Oceanografía de la Texas A&M University, EE.UU. y Físico de la Universidad de la República de Uruguay. Actualmente es profesor titular en la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República de Uruguay. Es autor de numerosos artículos publicados en revistas internacionales y recientemente su investigación está enfocada en la dinámica del clima y oceanografía regional.*

mayores. En tanto, en la superficie ocurre lo opuesto a lo observado en altura: aire diverge en el Pacífico este y fluye hacia el oeste (los alisios), convergiendo en la región cerca de Indonesia.

Durante La Niña, el enfriamiento anómalo de la superficie del mar en el Pacífico al este de la línea de cambio de fecha, junto con el débil calentamiento anómalo del Pacífico oeste (panel superior figura 2), disminuye las lluvias en la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) a lo largo de todo el Pacífico y desplaza la convección más hacia el oeste sobre la región cerca de Indonesia (paneles medios figuras 2 y 3). Esto aparece como un dipolo en anomalías de potencial de velocidad, con valores positivos sobre la línea de cambio de fecha y negativos al oeste (figura 1). Como consecuencia la celda de Walker se intensifica, aumentando los vientos del oeste en altura y los alisios del este en superficie.



*Figura 1. Campo medio de potencial de velocidad (colores: positivo en rojo, negativo en azul) y velocidad divergente en 200 hPa para SON (panel superior) y DEF (panel inferior). En contornos se grafica la anomalía de potencial de velocidad para eventos La Niña fuerte en cada estación.*



Al mismo tiempo, la disminución en la liberación de calor latente debido a la disminución de las lluvias en la ZCIT del Pacífico enfría la tropósfera en toda la región tropical, con anomalías de temperatura por debajo de  $-0.5^{\circ}\text{C}$  en un evento La Niña intenso como el de 1988-89. Esto ocurre pues la atmósfera tropical, a diferencia de las latitudes más altas donde la fuerza de Coriolis es más dominante, no puede mantener gradientes horizontales de presión y las anomalías de temperatura se distribuyen horizontalmente en forma uniforme en los trópicos en escalas de tiempo cercanas a dos meses. El enfriamiento tropical se puede observar en las anomalías negativas de la altura geopotencial (aproximadamente equivalente a la presión) durante La Niña en los trópicos (paneles inferiores figuras

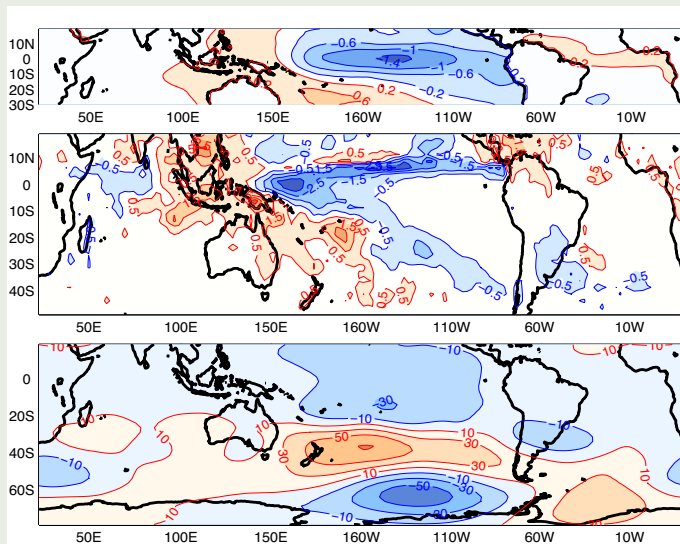


Figura 2. Composite de eventos La Niña fuertes (años 1988; 1998; 1999; 2007; 2010) durante SON. Se grafican anomalías de temperatura de superficie del mar ( $^{\circ}\text{C}$ , panel superior), anomalías de precipitación (mm/día, panel medio) y anomalías de altura de geopotencial en 200 hPa (m, panel inferior).

2 y 3). Al enfriarse el aire en altura pero no tanto en la superficie, la columna atmosférica se vuelve más inestable, favoreciendo la convección y el aumento de lluvias en el norte de Sudamérica y la ZCIT del Atlántico durante La Niña, particularmente en verano (figura 1 y panel medio figura 3; Chiang and Sobel 2002). Esto a su vez se traduce en un aumento en la intensidad de la celda ecuatorial del océano Atlántico, lo cual favorece aún más la subsidencia en el Pacífico este, resultando en alisios muy intensos en esta región que a su vez favorecen el afloramiento de aguas frías y el fortalecimiento de La Niña.

El anterior fue el mecanismo de teleconexión tropical. El mecanismo extratropical se origina con la divergencia anómala en altura debido al cambio en la región de convección tropical, lo cual es responsable de generar ondas de Rossby atmosféricas que producen anomalías climáticas fuera de los trópicos. Consideremos una región de disminución de la convección en la línea

ecuatorial. Asimismo, por efecto de la aceleración de Coriolis, el flujo anómalo que converge hacia esa región en altura sufre una desviación hacia la izquierda (derecha) en el hemisferio sur (norte) resultando en un patrón con circulación ciclónica a ambos lados del ecuador (Gill 1980). Estas anomalías subtropicales, se pueden observar claramente en el mapa de altura de geopotencial de 200 hPa cerca de  $140^{\circ}\text{W}$  a latitudes  $15^{\circ}\text{S}$  y  $15^{\circ}\text{N}$ , pues están caracterizadas por divergencia en altura y actúan a su vez como fuentes de ondas de Rossby (a través de la advección de vorticidad por los

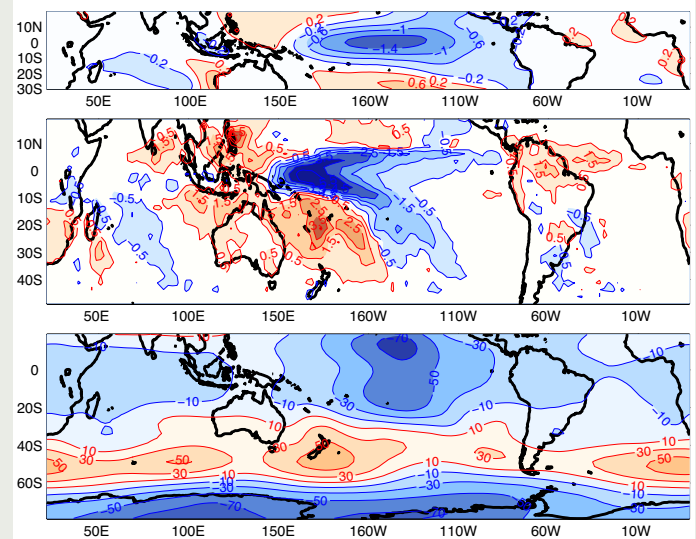


Figura 3. Composite de eventos La Niña fuertes (años 1988; 1998; 1999; 2007; 2010) durante DEF. Mismos campos que en Figura 2.

vientos divergentes anómalos; (Sardesmukh y Hoskins 1988) que continúan su propagación hacia latitudes más altas.

Otra fuente más importante de ondas de Rossby son los cambios en la celda de Hadley durante La Niña. Esta celda meridional está formada por un ascenso ecuatorial en la ZCIT, un flujo hacia los polos en altura, descenso en los subtropicos y flujo hacia el ecuador en superficie (los alisios). Durante La Niña al disminuir la convección en la ZCIT esta circulación se debilita generando menos convergencia en altura en los subtropicos y descenso. Esta divergencia anómala en altura actúa como fuente efectiva de ondas de Rossby (Trenberth et al., 1998).

Como resultado de lo anterior, se establecerán en los extratropicos trenes de ondas estacionarios con trayectorias en forma de arco desde los subtropicos hacia latitudes más altas, donde se refractan y vuelven hacia los trópicos hasta ser absorbidos en la latitud, la cual el flujo medio es nulo. La trayectoria específica de los trenes de onda depende de la estructura latitudinal del flujo medio y la longitud de la onda y se puede describir en una primera aproximación a través de la dispersión de ondas de Rossby de acuerdo a la teoría

de WKB (Hoskins y Karoly 1981). Estos trenes de onda se establecen en una escala de tiempo de dos semanas.

Los procesos físicos descritos dependen de la estación del año, ya que la ubicación promedio de la convección tropical y los vientos extratropicales en altura cambian a lo largo del año. Por ejemplo, variaciones longitudinales de las “corrientes en chorro” (flujos intensos del oeste en altura) modifican la propagación y refractan las perturbaciones hacia regiones preferenciales. Las teleconexiones extratropicales serán más intensas en invierno, pues la propagación de las ondas es favorecida por una corriente en chorro subtropical intensa y más cercana a la región tropical (Hoskins and Ambrizzi 1993).

Asimismo, la magnitud y estructura espacial de las anomalías de la TSM asociadas a La Niña, al generar diferentes respuestas en la convección y, por ende, en la liberación de calor latente, tendrán diferentes impactos tropicales y extratropicales. En particular, serán importantes los factores que determinan las anomalías en la divergencia/convergencia subtropical asociada a los cambios en la celda de Hadley. Por otro lado, se ha encontrado que los trenes de onda generados por los trópicos pueden extraer energía de las variaciones longitudinales del flujo medio extratropical, haciéndolas más intensas y menos sensibles a los cambios en las fuentes de calor tropicales. Una revisión detallada de los procesos de teleconexión se encuentra en Trenberth et al (1998).

## La Niña fuerte vs La Niña débil

Un factor importante en la generación de teleconexiones desde el Pacífico ecuatorial es la intensidad de la anomalía de TSM de la región Niño 3.4 en el Pacífico central (Silvestri 2004). Las figuras 2 y 4 comparan las anomalías promedio en eventos La Niña fuerte y débil de TSM, lluvias y altura de geopotencial en 200 hPa durante la primavera austral. Aquí, La Niña débil se define como aquella para la cual las anomalías de Niño 3.4 están entre -0.5 y -1.0 °C, mientras que La Niña fuerte es aquella que tiene valores menores a -1.0 °C. Como resultado, se observa que el “composite”<sup>1</sup> de anomalías de TSM muestra patrones espaciales similares con máximos cerca de 140°W pero con magnitudes cercanas al doble para el caso de La Niña fuerte (figura 2). Las anomalías de lluvia asociadas también son un factor de dos mayores en el caso de La Niña fuerte en la zona tropical. Al norte de Sudamérica el aumento en las lluvias es similar.

Los patrones de teleconexión extratropicales en la primavera son muy diferentes según la intensidad del evento. En el caso de La Niña fuerte se observan dos trenes de onda en el sector del Pacífico sur y Atlántico (panel inferior figura 2). Un tren de ondas

se propaga desde el Pacífico central hacia el sur y luego hacia el Atlántico, caracterizado por anomalías de altura geopotencial con una escala espacial cercana a los 50° de longitud. Este patrón debilita la corriente en chorro subtropical pero intensifica la corriente en chorro cerca de 50°S en el Pacífico, lo cual produce el corrimiento hacia el sur del corredor de tormentas (o “storm track”) aumentando la actividad en esa región. Asimismo, existe un tren de ondas de Rossby de longitud más corta que se propaga desde el Pacífico este hasta las latitudes de la corriente en chorro subtropical, donde se refracta y se propaga nuevamente hacia el noreste (Grimm y Ambrizzi 2009). Este tren de ondas está caracterizado por una anomalía ciclónica sobre el sudeste de Sudamérica y es tal que favorece la advección de vorticidad anticiclónica sobre los subtropicos de América del Sur. Al mismo tiempo al tener una estructura vertical barotrópica equivalente<sup>2</sup>, disminuye los vientos en capas bajas que vienen desde el norte y proveen humedad a la región. Ambos procesos favorecen una disminución de las lluvias en el sudeste de Sudamérica (sur de Brasil, Paraguay, norte de Argentina y Uruguay). En el caso de La Niña

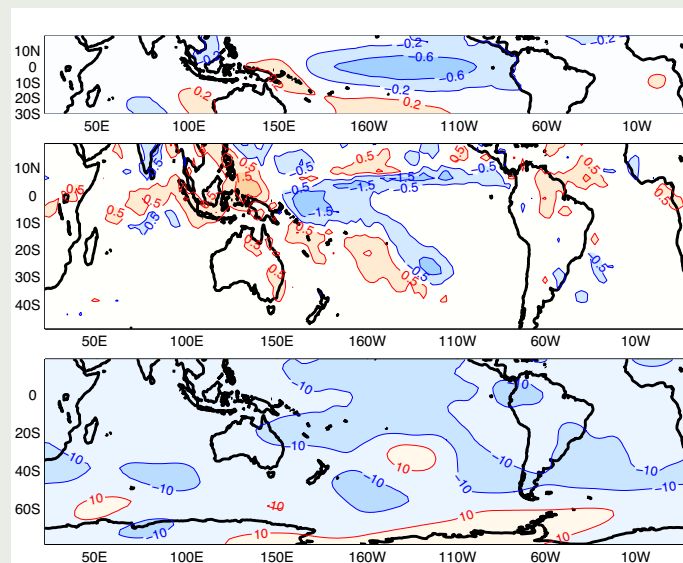


Figura 4. Composite de eventos La Niña débiles (años 1984; 1995; 2000; 2011) durante SON. Mismos campos que en Figura 2.

débil no se observan trenes de onda bien definidos y las anomalías negativas de lluvia son mucho menores (figura 4).

En verano, los patrones de teleconexión son diferentes a los de la primavera, pues la respuesta al enfriamiento

<sup>1</sup>El “composite” o compuesto es un método de análisis que consiste en promediar aquellos casos que presentan las mismas características (ej. eventos La Niña débil) para su tipificación.

<sup>2</sup>Estructura de los sistemas atmosféricos en la que el patrón de circulación horizontal no varía mucho con la altitud.

oceánico es más intensa y ocupa toda la banda tropical, observándose el máximo en el Pacífico central (panel inferior figura 3). Las circulaciones ciclónicas en ambos lados de la línea ecuatorial no son simétricas, sino que la anomalía al norte es mayor que la del sur, independientemente de la magnitud de La Niña. Por otro lado, las teleconexiones extratropicales son significativamente más intensas para los casos de evento Niña fuerte. A diferencia de la respuesta durante la primavera, el verano y la señal extratropical tiene una estructura zonal (este-oeste) con alternancia latitudinal de anomalías positivas y negativas en altura, de forma que favorecen un debilitamiento de la corriente en chorro subtropical y una intensificación de la corriente en chorro polar y, por lo tanto, de la actividad sinóptica. En los casos de La Niña débil, la estructura espacial de las anomalías en el Pacífico sur es parecida, pero con una magnitud mucho menor, mientras que en el Atlántico son diferentes. A pesar de ello el impacto sobre las lluvias del sudeste de Sudamérica es similar, con una disminución sobre Uruguay y la Zona de Convergencia del Atlántico Sur. Por el contrario, en los

Sur. Para verano (Dic-Feb) se esperan leves sesgos negativos en Uruguay y la Zona de Convergencia del Atlántico Sur y por encima de lo normal en la región Amazónica ecuatorial.

## Referencias

Ambrizzi T, E.B. de Souza, R.S. Pulwarty (2004): *The Hadley and Walker regional circulations and associated ENSO impacts on South American seasonal rainfall*. In *The Hadley Circulation: Present, Past and Future*, Diaz HF, Bradley RS (eds). Springer: Dordrecht, The Netherlands, 203–235.

Barreiro M. (2010): *Influence of ENSO and South Atlantic Ocean on climate predictability over southeastern South America*. *Clim. Dyn.* 35, 1493–1508, doi: 10.1007/s00382-00666-9.

Chiang J. and A. Sobel (2002): *Tropical tropospheric temperature variations caused by ENSO and their influence on the remote tropical climate*, *J. Climate*, 15, 2616-2631.

Gill, A.E. (1980) *Some simple solutions for heat induced tropical circulation*, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 106, 447-462.

Grimm, A. M. and T. Ambrizzi (2009): *Teleconnections into South America from the Tropics and Extratropics on Interannual and Intraseasonal Timescales. Past Climate Variability in South America and Surrounding Regions: From the Last Glacial Maximum to the Holocene*. Vimeux, F., F. Sylvestre, and M. Khodri, Eds., Springer Chapter 7, pp 159-193.

Hoskins, B.J., and D.J. Karoly (1981): *The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing*, *J. Atmos. Sci.*, 38, 1179-1196.

Hoskins, B. J., and T. Ambrizzi (1993): *Rosby wave propagation in a realistic longitudinally varying flow*, *J. Atmos. Sci.* 50, 1661-1671.

Ropelewski, C. H., and S. Halpert (1987), *Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño-Southern Oscillation*, *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1606-1626. 219 Ropelewski, C. H., and S. Halpert (1989), *Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation*, *J. Clim.*, 2, 268-284.

Sardeshmukh, P.D., and B.J. Hoskins (1988): *The generation of global rotational flow by steady idealized tropical divergence*, *J. Atmos. Sci.*, 5, 1228-1251.

Silvestri G.E. (2004): *El Niño signal variability in the precipitation over southeastern South America during austral summer*, *Geophys. Res. Lett.*, 31, doi:10.1029/2004GL020590.

Trenberth K.E., G. W. Branstator, D. Karoly, A. Kumar, N.-C. Lau, and C. Ropelewski (1998): *Progress during TOGA in understanding and modelling global teleconnections associated with tropical sea surface temperatures*. *J. Geophys. Res.* 103, C7, 14291-14324.

Yulaeva E. and J. M. Wallace (1994): *The signature of the ENSO in global temperature precipitation fields derived from the Microwave Sounding Unit*. *J. Climate* 7, 1719–1736.

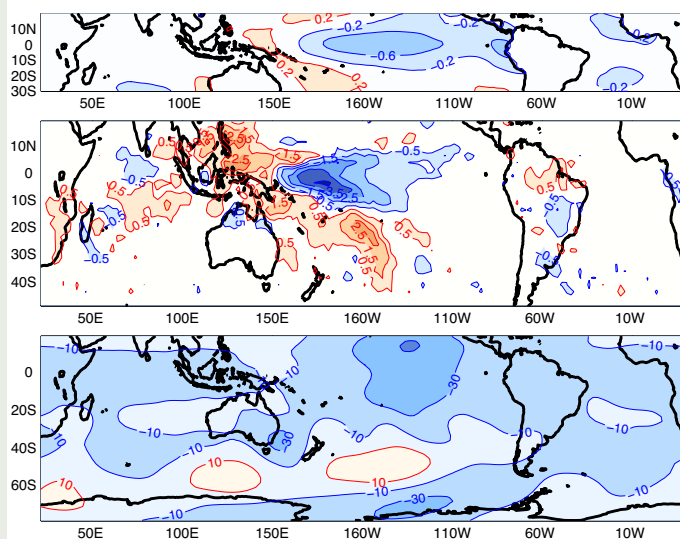


Figura 5. Composite de eventos La Niña débiles (años 1984; 1995; 2000; 2011) durante DEF. Mismos campos que en Figura 2.

trópicos solo La Niña fuerte induce grandes anomalías de lluvia en las costas de Perú y Ecuador, el norte de América del Sur y la ZCIT del Atlántico (panel medio figuras 3 y 5).

En base a estos resultados y si se cumple de que en los próximos meses se desarrolla un evento La Niña débil (por ejemplo de acuerdo al sitio del IRI <http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/>) se puede realizar una predicción estacional. La misma diría que durante la primavera 2016 (Sep-Nov) hay una leve tendencia a lluvias por debajo de lo normal en el norte de Uruguay y sur de Brasil y lluvias por encima de lo normal en el norte de América del



## Cambios en el ciclo estacional de la profundidad de la termoclina en el Pacífico ecuatorial antes y después del año 2000

Kobi Mosquera, Boris Dewitte  
Instituto Geofísico del Perú

Es conocido que la ocurrencia del fenómeno El Niño del tipo Pacífico Central (El Niño CP) se ha incrementado desde inicios del siglo XXI (Yeh et al., 2009; Lee and McPhaden, 2010). La razón de esto no es clara pero, al parecer, algunos aspectos del cambio del estado promedio podrían estar involucrados. Por ejemplo, Luo et al. (2012) mostró que la circulación de Walker se intensificó desde el año 2000, lo cual está asociado con el estado “tipo La Niña” observada en las últimas décadas (Xiang, et al., 2013). El cambio hacia un estado promedio más frío podría estar relacionado a la amplificación de los procesos no lineales para la circulación cercana a la superficie, lo que podría explicar por qué El Niño CP ha sido más frecuente en las últimas décadas (Xiang et al., 2013). Recientemente, Mosquera-Vásquez et al. (2014) sugirieron que la profundidad promedio de la termoclina podría también ser un factor clave. En particular, la actividad de la onda Kelvin intraestacional durante El Niño CP es fuertemente disipada al Este de 120°W y los resultados de un modelo oceánico de circulación general sugieren que tal disipación está asociada con una dispersión de energía sobre el gradiente zonal de la densidad del agua en el Pacífico oriental. Mientras la mayoría de estudios se han enfocado en el cambio de estado promedio después del año 2000, con el objetivo de explicar los cambios en las propiedades de ENSO (Thual et al., 2013; Lübbecke et al., 2014; Wen et al., 2014), ninguno ha investigado el cambio en el ciclo estacional que, se conoce, interactúa con el ENSO.

Otra visión es que debido a que el ENSO es un proceso interanual, mantiene una evolución estacional (Rasmusson and Carpenter, 1982; Galanti and Tziperman, 2000; An and Wang, 2001), la modulación de la amplitud y asimetría del ENSO puede rectificarse en el ciclo estacional y producir cambios. An and Choi (2009) sugieren, en particular, que los cambios en la estacionalidad de la asimetría del ENSO podría modificar la amplitud del ciclo estacional y semi-estacional de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico Tropical Oriental por medio de procesos no lineales. Un cambio en la asimetría del ENSO se dio luego del

año 2000 (Boucharel et al., 2011), el cual dejó una huella en la dinámica de las ondas ecuatoriales (Dewitte et al., 2012).

Para contar con una mejor comprensión de los mecanismos que provocan los cambios de las propiedades del ENSO después del año 2000, se requiere, en un primer paso, una investigación exhaustiva de los cambios observados en el ciclo estacional de la circulación ecuatorial. En esta investigación, que espera contribuir con lo indicado arriba, se usa observaciones suficientemente largas para evaluar los cambios en la estacionalidad en escalas de tiempo decadal. Asimismo, se analizan productos de oceánico y atmosférico, así como las simulaciones con modelos simples para tratar de interpretar dinámicamente los cambios en la estacionalidad.

Para el cálculo del ciclo estacional, de cada base de datos, se consideran dos periodos: 1988-1996 (P1) y 2000-2011 (P2). El Niño 1997/1998 no es considerado en la estadística debido a la amplitud excepcional. Luego que la media mensual es calculada, un filtro 1-2-1 es aplicado para reducir la influencia de la variabilidad intraestacional. Finalmente, el ciclo estacional es calculado y dividido en componente anual y semianual. P1 cubre nueve años de datos observados *in situ*, lo cual se ha mostrado que es apropiado para representar la variabilidad estacional. Yu and McPhaden (1999), en particular, comparó la climatología de otras fuente de datos sobre este periodo y encontró una muy buena similitud entre ellos. Por otro lado, P2 cubre doce años debido a la baja densidad de información *in situ* en la región del Pacífico Ecuatorial desde el año 2012 (ver Takahashi et al., 2014), lo que hace difícil el cálculo en el periodo 2013-2014. A pesar, de las limitaciones en este trabajo se muestran que el cálculo de la variabilidad estacional en P2, proveniente de observaciones es comparable al calculado con datos de *reanalysis* sobre el año 2000-2014.

Para la interpretación de los resultados se usa un modelo oceánico lineal, tal como lo usan Yu



# Cambios en el ciclo estacional de la profundidad de la termoclina en el Pacífico ecuatorial antes y después del año 2000

Mosquera K., Dewitte B.

and McPhaden (1999). El modelo es descrito en Mosquera-Vásquez et al. (2014) en donde se emplea una versión de un solo modo. En este trabajo se usan tres modos baroclínicos, cuyos parámetros característicos, velocidad de fase ( $c_n$ ) y profundidad equivalente ( $H_n$ ), son obtenidos de la descomposición baroclínica (Dewitte et al., 1999) del estado promedio del *reanalysis* GODAS (Behringer and Xue, 2004). Los resultados del modelo luego son descompuestos en modos meridionales de las estructuras de la onda Kelvin y Rossby (Boulanger y Menkes, 1995) para obtener la contribución de estas ondas en el nivel del mar. Se elaboraron dos pares de experimentos, una para P1 y otra para P2, en cada una de estas se hicieron simulaciones con el viento anual y semianual. Las simulaciones se realizaron por 10 años para asegurar un estado estable.

Los resultados revelan significantes cambios en las características de la variabilidad estacional de la profundidad de la termoclina antes y después del año 2000. En particular, mientras que el ciclo estacional de la profundidad de la termoclina es simultáneo en toda la línea ecuatorial antes del año 2000, luego de este año dicho ciclo exhibe una propagación hacia el oeste (ver profundidad de la termoclina en la Figura 1). Esto se puede interpretar como un cambio en el forzante (ver vientos zonales en la Figura 1) de las ondas Kelvin y Rossby de escala de tiempo estacional (ver Figura 2). Antes del año 2000, la onda Kelvin es localmente forzada en el Pacífico occidental para luego propagarse libremente hacia el extremo oriental en donde se ve intensificada.

Como resultado, el cambio en la estacionalidad de la profundidad de la termoclina consiste en una respuesta aparente a la onda Kelvin, llevando a la termoclina menos (más) profunda en primavera-verano (otoño-invierno) en el extremo oriental.

Los cambios en la variación estacional de la profundidad de la termoclina en el Pacífico Oriental, podrían no impactar la TSM debido a que este último es principalmente controlado por los viento meridionales (Xie, 1994). Sin embargo, esto podría alterar la dinámica del ENSO de dos maneras. Primero, debido a que desde el año 2000 la profundidad de la termoclina está más cerca de la superficie durante el verano de Hemisferio Sur, ello podría inducir a un enfriamiento anómalo mediante advección vertical de la temperatura promedio durante la fase de desarrollo del ENSO, lo que amortiguaría la retroalimentación de Bjerknes y, en consecuencia, el crecimiento del ENSO. Segundo, nuevamente la cercanía de la profundidad de la termoclina a la superficie en el invierno austral propiciaría que se desarrolle una dispersión de energía de las onda Kelvin debido a un incremento del contraste zonal de la termoclina y la proximidad de esta última a la capa de mezcla, lo que induce a una termoclina más difusa. Tal proceso ha sido sugerido para darse con las onda Kelvin intraestacionales durante eventos El Niño CP (Mosquera-Vásquez, 2014). Si bien este proceso podría estar ocurriendo siempre y que, más aún, se haya amplificado luego del año 2000; esto aún requiere más investigación.

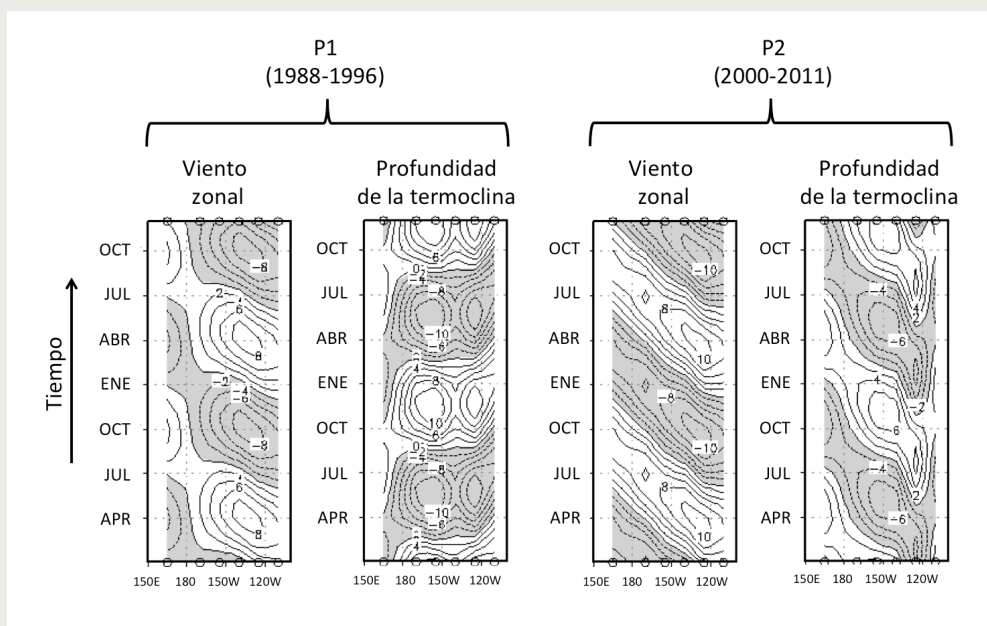


Figura 1. Ciclo anual del viento zonal y profundidad de la termoclina para el periodo P1 (los dos paneles de la izquierda) y P2 (los dos paneles de la derecha) a lo largo de la franja ecuatorial del Pacífico. Los cuadrados en la parte superior e inferior de cada panel indican la posición de las boyas del proyecto TAO. La flecha de la izquierda indica la evolución temporal.

# Cambios en el ciclo estacional de la profundidad de la termoclina en el Pacífico ecuatorial antes y después del año 2000

Mosquera K., Dewitte B.

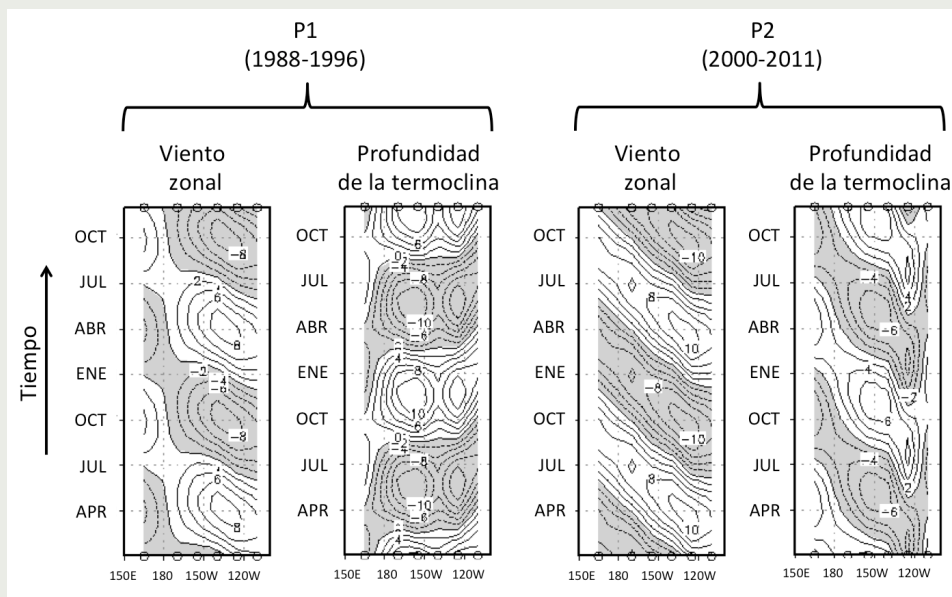


Figura 2. Contribución de la onda Kelvin y Rossby al nivel del mar para el periodo P1 (los dos paneles de la izquierda) y P2 (los dos paneles de la derecha) a lo largo de la franja ecuatorial del Pacífico. Esto es el resultado de un modelo simple forzado con la componente anual del viento. La evolución temporal va de abajo hacia arriba.

## REFERENCIAS

An, S.-I., and B. Wang, 2001: Mechanisms of locking the El Niño and La Niña mature phases to boreal winter. *J. Climate*, 14, 2164-2176.

An, S.-I., and J. Choi, 2009: Seasonal locking of the ENSO asymmetry and its influence on the seasonal cycle of the tropical eastern Pacific sea surface temperature. *Atmos. Res.*, 94, 3-9

Behringer, D. W., and Y. Xue, 2004: Evaluation of the global ocean data assimilation system at NCEP: The Pacific Ocean. Eighth Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for Atmosphere, Oceans, and Land Surface, AMS 84th Annual Meeting, Washington State Convention and Trade Center, Seattle, Washington, 11-15.

Boulanger, J.-P., and C. Menkes, 1995: Propagation and reflection of long equatorial waves in the Pacific Ocean during the 1992-1993 El Niño. *J. Geophys. Res.*, 100(C12), 25041-25059, doi:10.1029/95JC02956.

Boucharel J., B. Dewitte, Y. duPenhoat, B. Garel, S.-W. Yeh & J.-S. Kug, 2011: El Niño nonlinearity in a warming climate. *Climate Dynamics*. DOI 10.1007/s00382-011-1119-9.

Dewitte B., G. Reverdin and C. Maes, 1999: Vertical structure of an OGCM simulation of the equatorial Pacific Ocean in 1985-1994. *J. Phys. Oceanogr.*, 29, 1542-1570.

Dewitte B., J. Choi, S.-I. An, and S. Thual, 2012: Vertical structure variability and equatorial waves during central Pacific and eastern Pacific El Niños in a coupled general circulation model. *Clim. Dyn.*, 38, 2275-2289.

Galanti E. and E. Tziperman, 2000: ENSO's Phase Locking to the Seasonal Cycle in the Fast-SST, Fast-Wave, and Mixed-Mode Regimes. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 57, No. 17, pp. 2936-2950.

Lee T. and M. J. McPhaden, 2010: Increasing intensity of El Niño in the central-equatorial Pacific. *Geophys Res Lett* 37:L14603. doi:10.1029/2010GL044007.

Luo, J.-J., W. Sasaki, and Y. Masumoto, 2012: Indian Ocean warming modulates Pacific climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(46), pp.18701-18706, doi:10.1073/pnas.1210239109.

Lübbecke, J. F. and M. J. McPhaden, 2014: Assessing the 21st century shift in ENSO variability in terms of the Bjerknes stability index. *J. Climate*, 27, 2577-2587. doi: http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00438.1.

Mosquera-Vásquez, K., B. Dewitte, and S. Illig, 2014: The Central Pacific El Niño intraseasonal Kelvin wave. *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, 6605-6621, doi:10.1002/2014JC010044.

Rasmusson E. M. and T. H. Carpenter, 1982: Variations in Tropical Sea Surface Temperature and Surface Wind Fields Associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 354-384.

Takahashi, K., R. Martínez, A. Montecinos, B. Dewitte, D. Gutierrez, and E. Rodríguez-Rubio, 2014: TPOS White Paper #8a - Regional applications of observations in the eastern Pacific: Western South America. In *Proceedings of the Tropical Pacific Observing System 2020 Workshop, A Future Sustained Tropical Pacific Ocean Observing System for Research and Forecasting*, WMO and Intergovernmental Oceanographic Commission, La Jolla, Calif., 27-30 January. [Available at [http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/Publications/gcos-184\\_11.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/Publications/gcos-184_11.pdf)]

Thual, S., B. Dewitte, S.-I. An, S. Illig, and N. Ayoub, 2013: Influence of Recent Stratification Changes on ENSO stability in a Conceptual Model of the Equatorial Pacific. *J. Climate*, 26, 4790-4802.

Wen, C., A. Kumar, Y. Xue, and M. J. McPhaden, 2014: Changes in Tropical Pacific Thermocline Depth and Their Relationship to ENSO after 1999. *J. Climate*, vol. 27, 7230-7249.

Xiang, B., B. Wang, and T. Li, 2013: A new paradigm for the predominance of standing Central Pacific Warming after the late 1990s. *Clim. Dyn.*, 41 (2), 327-340, doi:10.1007/s00382-012-1427-8.

Xie, S.-P., 1994: Oceanic response to the wind forcing associated with the intertropical convergence zone in the northern hemisphere. *J. Geophys. Res.*, 99 (C10), 20 393-20 402.

Yeh S-W, S-J Kug, B. Dewitte, M-H Kwon, B. P. Kirtman, F-F Jin, 2009: El Niño in a changing climate. *Nature* 461:511-514.

Yu, X. and M. J. McPhaden, 1999: Seasonal Variability in the Equatorial Pacific. *Journal of Physical Oceanography*, 29, 925-947.

# Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2016-8

**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 fueron Neutras (+0.29°C) para el mes de julio, por lo que según el criterio ENFEN (2012) el evento El Niño costero habría durado hasta junio 2016. Los valores temporales del ICEN (ICENTmp), indican que para los meses de agosto y setiembre las condiciones serían Neutras. El pronóstico de la temperatura superficial del mar de los modelos numéricos internacionales para la región del Pacífico oriental, con condiciones iniciales del mes de setiembre, indican en promedio, condiciones neutras para los meses de setiembre y octubre. La mayoría de estos modelos numéricos predicen que para el Pacífico central las condiciones también serían Neutras para esos meses.

En la segunda quincena de julio y en la primera semana de agosto se observaron pulsos de viento ecuatorial del este entre 160°E y 140°W. Esto habría ampliado zonalmente la influencia de la onda Kelvin fría. Según el modelo lineal esta onda fría sería una de las más intensas en lo que va del invierno y afectaría la costa peruana en la primera quincena de setiembre. Sin embargo, los datos ARGO indican que dicha onda se ha debilitado ya cerca de los 150°W.

## Índice Costero El Niño

Utilizando los datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM) promediados sobre la región Niño1+2, actualizados hasta el mes de agosto de 2016 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 julio de 2016. Los valores se muestran en la Tabla 1.

Año	Mes	ICEN	Condiciones costeras del mes
2016	Abril	0.77	Cálida Moderada
2016	Mayo	0.54	Cálida Débil
2016	Junio	0.43	Cálida Débil
2016	Julio	0.29	Neutra

Tabla 1. Valores recientes del ICEN.

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

El valor del ICEN para el mes de julio indica condición Neutra. Según la definición del ENFEN (2012), esto marca el fin del evento El Niño costero Fuerte que abarcó de abril de 2015 a junio de 2016.

Por otro lado, para el Pacífico Central (Niño 3.4), el Índice Oceánico Niño (ONI en inglés; <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>) actualizado por la NOAA al mes de julio de 2016 es de -0.29°C, correspondiente a condiciones neutras, el cual está decreciendo desde el máximo alcanzado en diciembre 2015 (+2.27°C, cálida muy fuerte). Aplicando para esta región un procedimiento similar al utilizado para establecer la magnitud de El Niño y La Niña costeros (ENFEN, 2012), encontramos que El Niño en el Pacífico central 2015-2016 tuvo una magnitud muy fuerte, excediendo el umbral correspondiente entre octubre 2015 y enero 2016. Los valores estimados (ONItmp) para agosto y setiembre combinando observaciones y pronósticos indican condiciones frías débiles en ambos meses. De confirmarse esto y extenderse hasta octubre, se podría establecer La Niña en el Pacífico central.

## Diagnóstico del Pacífico Ecuatorial

En el Océano Pacífico Ecuatorial las principales variables climáticas mostraron, en promedio, valores normales aunque con una ligera pero incierta tendencia hacia condiciones La Niña débil. La convección en el Pacífico central continúa menos activa que lo normal, indicando el acoplamiento de la atmósfera a las condiciones oceánicas frías. El comportamiento es similar al de años de La Niña en el Pacífico central observados y, si se reactivaran los vientos intensos del este podría desarrollarse tal evento. La anomalía de la TSM en la región Niño 3.4, en promedio (IR, MW, OSTIA), continúa con una tendencia negativa y en la actualidad se ubica en condiciones negativas, ha fluctuado alrededor de los -0.4°C. Por otro lado, en la región Niño 1+2 la anomalía de la TSM se mantuvo positiva pero próxima a sus condiciones normales (entre 0°C y +1°C). El viento zonal (este-oeste) mensual continuó con anomalía del este en el Pacífico central (160°E-160°W; 5°S-5°N). Asimismo, la termoclina ecuatorial presentó una inclinación zonal ligeramente mayor que lo normal, mientras que el contenido de calor oceánico ecuatorial continuó anormalmente bajo, aunque con una tendencia a la normalización. Por otro lado, la termoclina en el Pacífico oriental, en los puntos 110°W y 95°W, continuó mostrando anomalías negativas asociado a la descarga de calor pero en los últimos días de agosto se observaron condiciones casi



# Resumen del Informe Técnico PPR/EI Niño - IGP/ 2016-8

normales en 95°W. El pulso de viento del este del mes de junio generó una onda Kelvin fría que se debilitó y no tuvo mayores impactos en la termoclina en la región oriental (Figura 1).

## Pronóstico a corto plazo con modelo de ondas y observaciones

2016-marzo2017), todos esos modelos indican condiciones neutras. Sin embargo, el modelo NCAR CESM, cuyos datos estuvieron disponibles con retraso, indica El Niño costero débil en el verano.

Por otro lado, en el Pacífico central (Niño 3.4), se considera los 8 modelos de NMME inicializados setiembre y los modelos ECMWF, POAMA, UKMO y MRI con condiciones iniciales de agosto. Según el

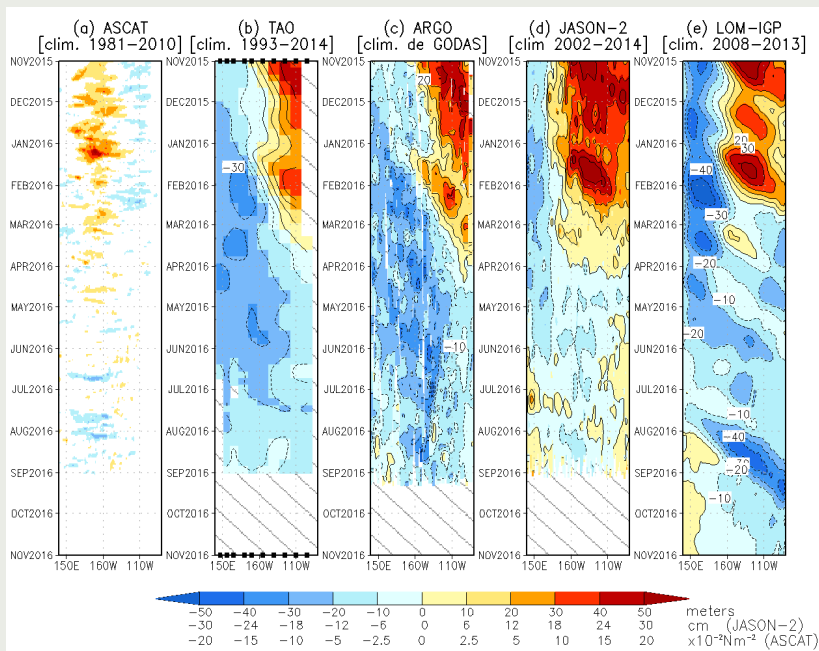


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escarómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO (b) y los derivadores de Argo (c), datos del nivel del mar de JASON-2 (d). Finalmente en (e) se muestra 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).

En la segunda quincena de julio y en la primera semana de agosto se observaron pulsos de viento ecuatorial del este entre 160°E y 140°W. Esto habría ampliado zonalmente la influencia de la onda Kelvin fría. Según el modelo lineal (Mosquera, 2009; Mosquera et al., 2010; Mosquera, 2014) esta onda fría sería una de las más intensas en lo que va del invierno y afectaría la costa peruana en la primera quincena de setiembre. Sin embargo, la anomalía observada de la profundidad de la termoclina del producto de ARGO (Aparco et al., 2014) indica el debilitamiento de dicha onda en 150°W debido, al menos en parte, a la presencia de anomalías del viento del oeste en el Pacífico Oriental ecuatorial.

## Pronóstico estacional con modelos climáticos

Los pronósticos de los 6 modelos climáticos de NMME (CFSv2, NASA, GEOS5, FLOR, CM2.1, CMC1 y CMC2) inicializado en setiembre (el CFSv2 fue inicializado más recientemente que lo incluido con NMME, el 08 de Setiembre) disponibles para la evaluación del Comité ENFEN, indican que para los meses de setiembre y octubre, las anomalías de TSM serían neutras (Fig. 2). En general, estos pronósticos son menos fríos que los inicializados en agosto. Para el verano (diciembre

pronóstico de los modelos de NMME, para los meses de setiembre y octubre se esperan condiciones entre neutras y frías débiles, mientras que los otros 4 modelos condiciones frías débiles para ambos meses. Para el verano (diciembre 2016-marzo 2017), los modelos de NMME indican condiciones neutras.

Se hace notar que el NOAA CPC, quienes coordinan el proyecto NMME, presentan en su página web (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/NMME/current/plume.html>) una versión de los pronósticos de Niño 3.4 a la que aplican un ajuste basado en pronósticos previos (breve explicación en <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/NMME/current/plume.descr.html>). Esta tiene apropiadamente el efecto de reducir la amplitud de las anomalías, por lo que con el ajuste los pronósticos son menos fríos.

## Conclusiones:

1. El ICEN para julio de 2016 fue de +0.29°C (Neutro), por lo que según el criterio de ENFEN (2012), El Niño costero duró entre abril 2015 y junio 2016 (15 meses). Asimismo, el ICENtmp para agosto y setiembre se estimó en +0.15 y +0.19°C respectivamente, ambos condiciones Neutras. Durante el mes de junio, la ATSM en la región Niño 1+2 osciló entre 0 y +1°C.



# Resumen del Informe Técnico

## PPR/El Niño - IGP/ 2016-8

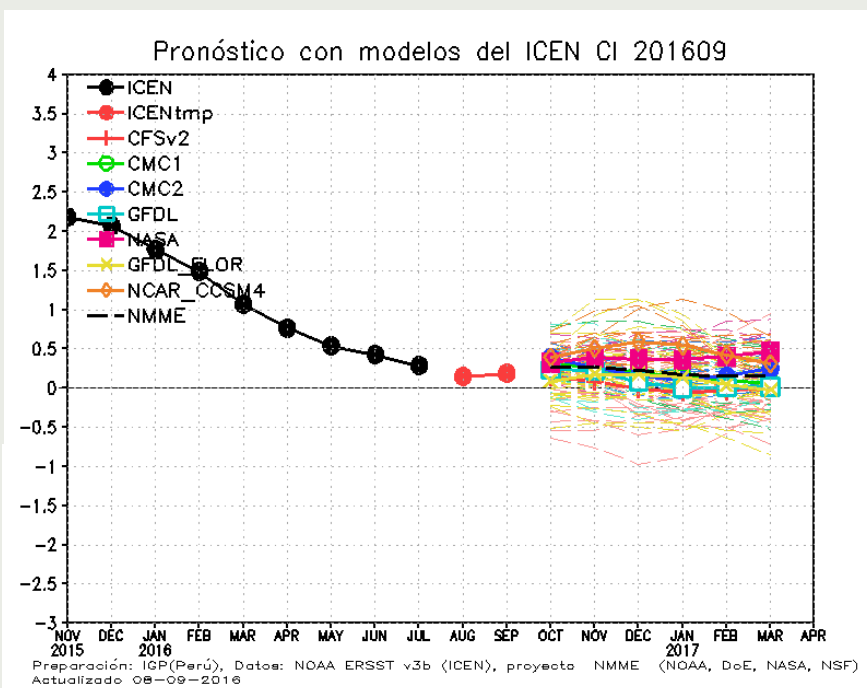


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y sus valor temporal (ICENtmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA GFDL\_FLOR y NCAR\_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de setiembre de 2016. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

2. En el Pacífico central, el ONI de julio correspondió a condiciones neutras, mientras que el estimado para agosto y setiembre corresponde a frías débiles. La ATSM en la región Niño 3.4, durante este mes, ha fluctuado alrededor de los  $-0.4^{\circ}\text{C}$ .

3. La onda Kelvin fría generada por el pulso de viento del este observado en junio se debilitó y no tuvo mayores impactos en la profundidad de la termoclina en la región oriental.

4. En la segunda quincena de julio y en la primera semana de agosto se observaron pulsos de viento ecuatorial del este entre  $160^{\circ}\text{E}$  y  $140^{\circ}\text{W}$ , pero el viento estuvo dentro de los normal el resto del mes. Esto habría ampliado zonalmente la influencia de la onda Kelvin fría. Según el modelo lineal esta onda fría sería una de las más intensas en lo que va del invierno y afectaría la costa peruana en la primera quincena de setiembre. Sin embargo, los datos ARGO indican el debilitamiento de dicha onda en  $150^{\circ}\text{W}$ .

5. Continuó una reducida convección en el Pacífico central, indicando el acoplamiento de la atmósfera a las condiciones oceánicas frías, aunque los vientos del este intensos no han persistido. El comportamiento de la convección es similar al de años La Niña en el Pacífico central observado y, si se reactivan los vientos anómalos del este, podría desarrollarse tal evento.

6. Para el Pacífico oriental (Niño 1+2), los 7 modelos inicializados en setiembre indican que el mes de octubre presentaría condiciones neutras. En general, estos pronósticos son menos fríos que los inicializados en

agosto. Para lo que resta del 2016 todos los modelos indican condiciones neutras y, para el verano (diciembre 2016-marzo 2017), 6 de 7 modelos indican condiciones neutras, y uno indica El Niño débil en ese periodo (este modelo estuvo disponible más recientemente).

7. Para el Pacífico central (Niño 3.4), todos los modelos que han sido considerados, y que fueron inicializados en setiembre, indican condiciones neutras para octubre. En general, los pronósticos son menos fríos. En lo que resta del 2016 y el verano, todos los modelos indican condiciones neutras.

## 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.

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.

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. Magíster 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

# Comunicado Oficial ENFEN

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



### COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 13-2016

## Se prevé que continúen las condiciones neutras frente a la costa del Perú hasta finales del próximo verano.

El Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) mantiene el estado de Alerta “No activo”<sup>1</sup>, debido a que en la actualidad la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2, así como a lo largo de la franja costera del Perú presentan, condiciones dentro del rango normal, aunque ligeramente cálido para la temporada.

El Comité Multisectorial ENFEN, en base al análisis de los pronósticos nacionales e internacionales y de las observaciones; considera una mayor probabilidad de ocurrencia que se presenten condiciones neutras frente a la costa del Perú hasta finales del próximo verano. Respecto a la probabilidad de que se desarrollen condiciones La Niña débil en la región del Pacífico Ecuatorial Central esta es menor a lo previsto con anterioridad.

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 agosto del 2016 y sus perspectivas.

En la región del Pacífico Central (Niño 3.4)<sup>2</sup>, la anomalía de la TSM continuó con una tendencia negativa (Figura 1a), con un valor mensual de  $-0,54^{\circ}\text{C}$ . La actividad convectiva, la subsidencia<sup>3</sup> y el viento zonal en el Pacífico Central al momento continúan, mostrando la posibilidad de un acoplamiento favorable al desarrollo de un mayor enfriamiento. Asimismo la anomalía del contenido de calor en el Océano Pacífico Ecuatorial ha seguido negativa aunque con tendencia a la normalización, mientras que la inclinación este-oeste de la termoclina se ha incrementado a ligeramente sobre lo normal.

En el Pacífico Ecuatorial Oriental (región Niño 1+2), la TSM fluctuó ligeramente por encima de lo normal ( $+0,39^{\circ}\text{C}$ , ver Figura 1b). El valor del Índice Costero El Niño (ICEN) para julio fue  $+0,29^{\circ}\text{C}$  (Condición Neutra) y el estimado para agosto y setiembre es de condición neutra. Según los valores del ICEN, El Niño Costero que se inició en abril de 2015 y finalizó en junio de 2016, tuvo una duración de 15 meses.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) presentó intensificaciones intermitentes durante agosto, principalmente durante la segunda quincena del mes; resultando en promedio con una ligera anomalía positiva en su núcleo ( $+1\text{ hPa}$ ). Asociado con ello, los vientos fuera de la costa estuvieron en promedio más intensos, principalmente entre Pisco y Tacna. No obstante, los vientos en la franja costera mostraron en promedio una intensidad por debajo de lo normal.

Las temperaturas extremas del aire en la costa norte y central se presentaron con anomalías de  $+1,6^{\circ}\text{C}$  para la temperatura máxima y  $+0,4^{\circ}\text{C}$  para la temperatura mínima. En la costa sur, las anomalías fueron de  $+1,2^{\circ}\text{C}$  y  $+1,1^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.

La anomalía mensual de la TSM en el litoral promediada entre Paita e Ilo presentó un valor de  $+0,66^{\circ}\text{C}$ , mientras que Talara que tuvo una anomalía de  $-0,9^{\circ}\text{C}$  (Figura 2).

Fuera de las 15 mn, entre Chicama y Pisco, la salinidad continúa con la presencia de aguas oceánicas (mayor a 35,1 ups<sup>4</sup>) y más allá de las 25 mn, entre Callao y Casma, muestran una alta salinidad (mayor a 35,3 ups).

Se continúa observando la propagación de la quinta onda Kelvin fría, que se formó a fines de julio e inicio de agosto, aunque debilitada debido, al menos en parte, por la presencia de anomalías del viento del oeste en el Pacífico Oriental ecuatorial.

En la Estación Fija Paita, localizada a 7 mn de la costa, la columna de agua continuó manteniendo condiciones neutras de temperatura hasta los 100 m de profundidad. Frente a Chicama se observaron anomalías positivas de temperatura de hasta  $+1,5^{\circ}\text{C}$  fuera de las 50 mn y hasta los 50 m de profundidad, asociados a la presencia de aguas oceánicas, mientras que cerca de la costa se presentaron condiciones neutras.

<sup>1</sup>Estado de Alerta “No activo”: Corresponde a condiciones neutras o cuando el Comité ENFEN espera que El Niño o La Niña costeros están próximos a finalizar, para mayor información consultar a: [http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe\\_infco\\_nota\\_tecni01\\_enfen2015.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_infco_nota_tecni01_enfen2015.pdf)

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

<sup>3</sup>Subsidencia es el descenso del aire frío hacia la superficie terrestre

<sup>4</sup>Ups unidades prácticas de salinidad



Los caudales de los ríos de la costa mostraron características propias del período de estiaje, a diferencia de los ríos Santa y Majes, que presentaron caudales por encima de lo normal. Los reservorios en la costa norte y sur vienen operando, en promedio, al 60% y 55% de su capacidad hidráulica útil, respectivamente.

La clorofila-a, indicador de la producción del fitoplancton, que es base de la cadena alimenticia en el mar, presentó fluctuaciones dentro de su variación normal para el mes de agosto a lo largo de toda la franja costera.

En la región sur la anchoveta se encontró dentro de las 70 mn entre Atico y Mollendo. Los indicadores reproductivos de la anchoveta muestran que esta se encuentran en pleno periodo de desove principal (invierno – primavera). Para el caso de la caballa, existe mayor disponibilidad del recurso entre Paita y Pisco, habiéndose encontrado hasta las 80 mn de la costa.

## PERSPECTIVAS

Se prevé que la onda Kelvin fría, formada entre julio y agosto, que arribaría atenuada a la costa de Sudamérica en la primera quincena de setiembre, no produciría mayor impacto, por lo que se mantendrían las temperaturas en un rango alrededor de lo normal.

Para los siguientes meses, la mayoría de los modelos globales pronostican condiciones neutras, con algunos modelos que pronostican La Niña débil para el Pacífico Central (región Niño 3.4), con una tendencia hacia condiciones neutras durante el verano 2016-2017. En cambio, para la región Oriental (Niño 1+2), todos los modelos globales pronostican condiciones neutras hasta fines del verano inclusive.

El Comité Multisectorial ENFEN, en base al análisis de los pronósticos nacionales e internacionales y de las observaciones; considera una mayor probabilidad de ocurrencia que se presenten condiciones neutras frente a la costa del Perú hasta finales del próximo verano.

Respecto a la probabilidad de que se desarrollen condiciones La Niña débil en la región del Pacífico Ecuatorial Central esta es menor a lo previsto con anterioridad. Las Tablas 1 y 2 de acuerdo al juicio experto, muestran las probabilidades estimadas de las magnitudes de La Niña – El Niño.

En resumen, se estima una mayor probabilidad de que se mantengan las condiciones neutras en el Pacífico Oriental (77%). Para el Pacífico Central, se estiman como más probables las condiciones neutras (63%), seguidas por La Niña débil (26%).

Comité Multisectorial ENFEN  
Callao-Perú, 08 de septiembre de 2016

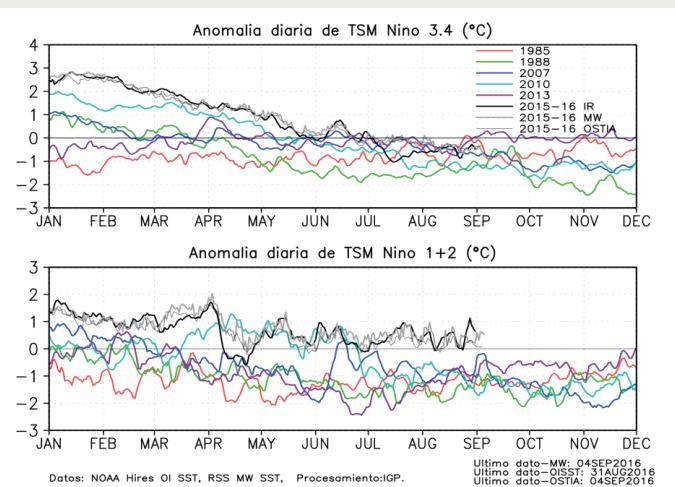


Figura 1. a) Series de tiempo de la anomalía diaria de la TSM en la región Niño 3.4 y en b) la región Niño 1+2. Las líneas en color negro (gruesa), gris y negro (fina) indican la evolución de la anomalía de la TSM en el presente año usando información infrarroja (IR), microondas (MW) y del producto OSTIA, respectivamente. Las líneas de color rojo, azul, celeste y verde, indican la evolución de la anomalía de la TSM para los años de La Niña costera 1985, 2007, 2010 y 1988.

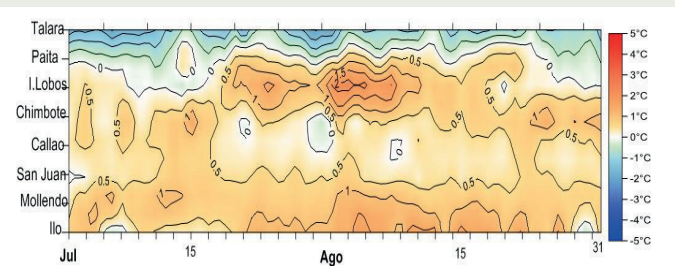


Figura 2. Diagrama Hovmöller de la evolución de la anomalía de la TSM a lo largo del litoral desde junio al 31 agosto 2016, en base a las observaciones diarias en las estaciones de la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN).

Tabla 1. Probabilidades Estimadas de las magnitudes de El Niño costero – La Niña costera en el verano 2016-2017 (diciembre 2016-marzo 2017)

Magnitud del evento durante Diciembre 2016-marzo 2017	Probabilidad de ocurrencia
La Niña moderado-fuerte	1%
La Niña débil	8%
Neutro	77%
El Niño débil	13%
El Niño moderado-fuerte-extraordinario	1%


Tabla 2. Probabilidades Estimadas de las magnitudes de El Niño – La Niña en el Pacífico Central en el verano 2016-2017 (diciembre 2016-marzo 2017)

Magnitud del evento durante Diciembre 2016-marzo 2017	Probabilidad de ocurrencia
La Niña moderado-fuerte	3%
La Niña débil	26%
Neutro	63%
El Niño débil	7%
El Niño moderado-fuerte-extraordinario	1%



© 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](http://twitter.com/igp_peru)

 [https://www.youtube.com/c/igp\\_videos](https://www.youtube.com/c/igp_videos)

En el marco del:

