



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto  
Geofísico del Perú - IGP

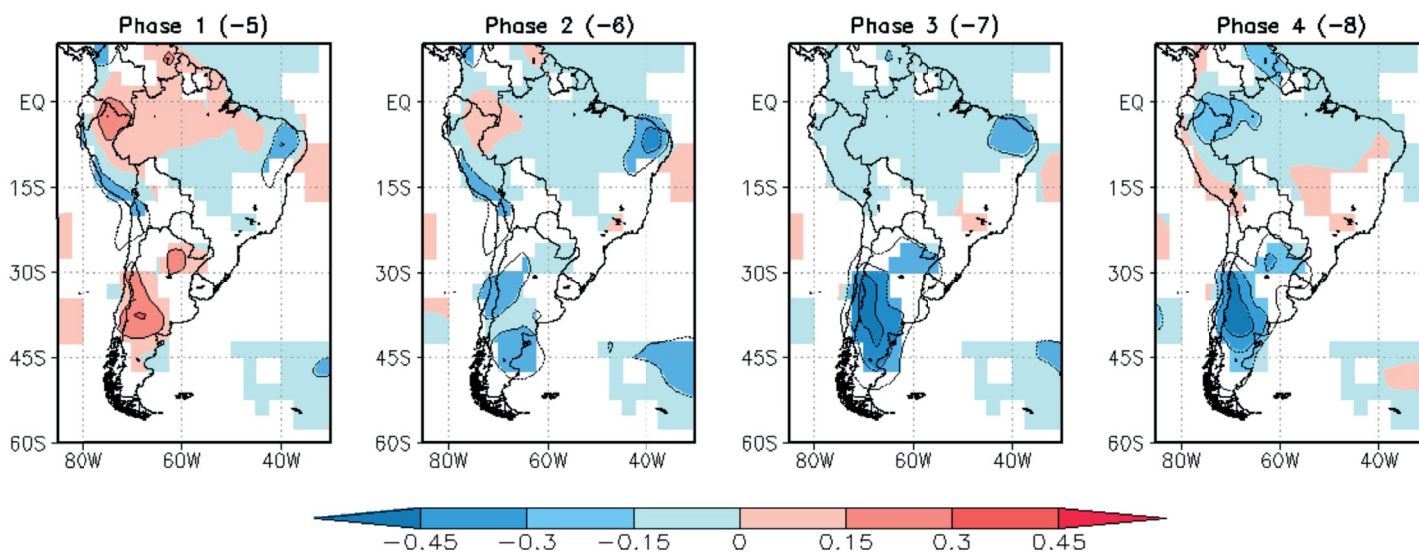


Programa Presupuestal por Resultados N° 068 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. Producto: “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”

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

Boletín Técnico

### Variabilidad climática intraestacional: más allá de El Niño



Promedio de las anomalías de temperatura del aire en diciembre-febrero para las fases 1-4 de la MJO según el índice RMM.



Trabajando para  
todos los peruanos

Vol. 4 N° 8 Agosto 2017

# Contenido

**2 - 3** Introducción

**4 - 7** Artículo de Divulgación Científica

**8 - 9** Avances Científicos

**10 - 13** Resumen Informe Técnico

**14 - 15** Comunicado Oficial ENFEN

Programa Presupuestal N° 068 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”.

Producto: “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”.

Actividad: “Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”.

**Elsa Galarza**  
Ministra del Ambiente

**Hernando Tavera**  
Presidente Ejecutivo IGP

**Edmundo Norabuena**  
Director Científico IGP

**Jhan Carlo Espinoza**  
Director de Ciencias de la Atmósfera e Hidrosfera

**Daniel Flores**  
Director de Geofísica y Sociedad

**Ken Takahashi**  
Responsable de la elaboración del Boletín El Niño - IGP

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

Edición: Katherine Morón  
Diseño y Diagramación: Dante Guerra E.

Carátula: Osman y Alvarez, 2017

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

Impreso por:  
IAKOB COMUNICADORES & EDITORES S.A.C.  
Telf. (051-1) 296-3911  
Dirección: Jr. Ica 435 - Lima

Lima, Octubre de 2017

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

# Introducción

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

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) viene participando en el Programa Presupuestal por Resultados 068: “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. A partir del año 2014, algunas de las instituciones integrantes de la Comisión Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) participan en este PPR con el producto denominado “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”, que consiste en la entrega en forma oportuna de información científica sobre el monitoreo y pronóstico de este evento natural 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:  
<http://intranet.igp.gob.pe/productonino/>



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

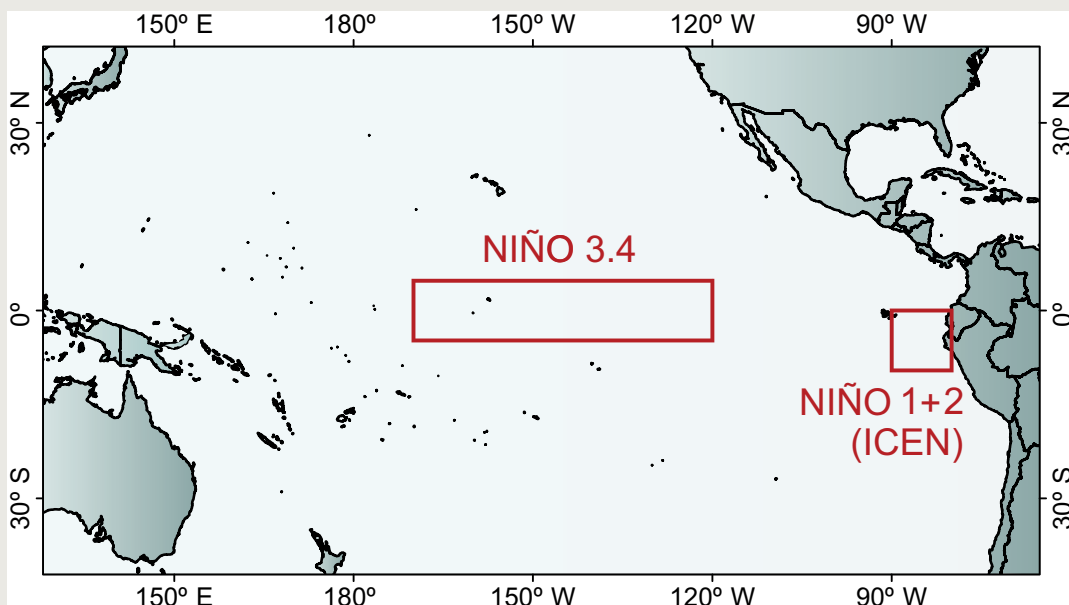
La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformada por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA, INDECI y CENEPRED, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

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

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

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

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



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

# Artículo de Divulgación Científica

## Variabilidad climática intraestacional: más allá de El Niño

Salvo por el fenómeno de El Niño costero frente al Perú (ENFEN 2017), el año 2017 se caracterizó por anomalías de temperatura de la superficie del mar (TSM) en la región del Pacífico tropical de poca amplitud, ya sea positivas o negativas. Sin embargo, las abundantes lluvias observadas en diversos sectores de Sudamérica en lo que va del año y la influencia de los forzantes remotos sobre su ocurrencia, son una buena motivación para revalorizar las herramientas de monitoreo en múltiples escalas y en regiones más allá del Pacífico ecuatorial. En este artículo el foco será en la variabilidad intraestacional y su impacto en el clima regional durante este 2017.

Luego de un final de 2016 con anomalías de TSM frías sobre el Pacífico tropical central, el comienzo del 2017 estuvo caracterizado en el Pacífico tropical por TSM intensamente cálidas en la región Niño 1+2 (90°-80°O, 10°S-0°) y algo más débiles en la región Niño 3 un poco más al oeste (150°-90°O, 5°S-5°N). Sin embargo, aunque estas temperaturas influenciaron notoriamente el clima en Perú y los alrededores, su impacto en las anomalías de precipitación de la región extratropical de Sudamérica fue menor. En su lugar, las teleconexiones en escalas intraestacionales fueron responsables de las olas de calor observadas en verano y de los eventos de precipitación intensos observados en el verano y otoño de este año en dicha región que dieron lugar a pérdidas económicas importantes en la Argentina y Brasil.

Durante los últimos años ha crecido el interés por proporcionar información climática de calidad con varias semanas de antelación. La capacidad de proporcionar este tipo de información se sustenta en el adecuado entendimiento, monitoreo y pronóstico de lo que se conoce como la variabilidad intraestacional, la que ocurre en una ventana entre 10 y 90 días. En particular, la influencia de la llamada Oscilación de Madden-Julian (MJO), el principal modo de variabilidad tropical en esta escala, en el clima global ha sido el objeto de numerosos estudios. La MJO es un fenómeno que se genera en las latitudes tropicales del Océano Índico y se desplaza hacia el este, generando cambios distintivos en la lluvia, nubosidad, viento y presión de la banda tropical, tardando entre 30 y 60 días en cumplir un ciclo.

Su descubrimiento data de comienzos de los años 70, llamadas inicialmente "oscilación de 40-50 días" (Madden and Julian 1971; Madden and Julian 1972), pero el estudio de su influencia en la variabilidad intraestacional en las variables más relevantes en todo el globo se desarrolló desde comienzos del 2000 (Donald 2006; Wheeler et al., 2009; Jones

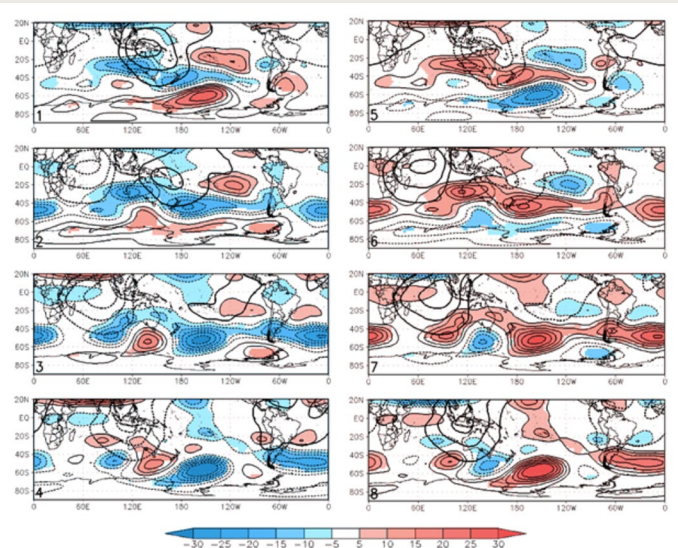


**Dra. Marisol Osman**  
Investigadora en CIMA/UBA - CONICET

*Investigadora postdoctoral en el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA/UBA-CONICET) y docente en el Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (EXACTAS-UBA). Realizó su tesis de doctorado en temas de predictibilidad y capacidad predictiva en escalas estacionales sobre Sudamérica.*

et al., 2011). En Sudamérica, se ha vinculado la actividad de la MJO a la precipitación de verano (e.g., Liebmann et al., 2004; Jones et al., 2004; De Souza and Ambrizzi 2006) y a la ocurrencia de eventos extremos húmedos y secos (e.g., Muza et al., 2009). Además, se encontró que la MJO puede modular la precipitación en la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (SACZ; e.g., Paegle et al., 2000; Carvalho et al., 2004). Recientemente, trabajos como el de Alvarez et al., (2016) que caracteriza la influencia detallada de la MJO en la lluvia y la temperatura de Sudamérica según la época del año han permitido el aprovechamiento de las herramientas de monitoreo operativo de la MJO para inferir cambios esperados en las distintas variables (ver por ejemplo <http://www.bom.gov.au/climate/mjo/> o <http://climar.cima.fcen.uba.ar>).

Usando el índice de Wheeler y Hendon (2004), el desplazamiento de la MJO hacia el este puede ser descrito considerando ocho fases (figura 1). Dicho



**Figura 1:** Promedio de anomalías de altura geopotencial de 250 hPa (sombreado y contornos) y de anomalías de potencial de velocidad del nivel sigma de 0.21 (contornos gruesos) para diciembre-febrero para cada una de las ocho fases de la MJO (indicadas en la esquina inferior izquierda de cada panel) definidas a partir del índice RMM. Sólo los valores estadísticamente al 95% están sombreados para las anomalías de altura geopotencial. Adaptada de Alvarez et al. (2016)

# Variabilidad climática intraestacional: más allá de El Niño

Osman M. y Alvarez M.



Dr. Mariano Alvarez  
Investigador en CIMA/UBA - CONICET

Investigador postdoctoral en el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA/UBA-CONICET) y docente en el Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (EXACTAS-UBA). Realizó su tesis de doctorado en variabilidad intraestacional sobre Sudamérica.

índice refleja dos características: la posición en la que se encuentra la rama de ascenso anómalo de la MJO (núcleos de contornos gruesos punteados en la figura 1) y la intensidad de su actividad. La actividad de la MJO a su vez excita trenes de ondas que se propagan desde latitudes tropicales a regiones extratropicales y producen cambios en la circulación regional, por lo que en verano durante las fases 6, 7 y 8 de la MJO las anomalías de temperatura del aire semanal en promedio son positivas en el norte y sur de Sudamérica, siendo significativas en esta última región (figura 2), producto del establecimiento de una anomalía anticiclónica en la tropósfera alta que favorece la subsidencia y los días despejados (Alvarez et al., 2016; figura 1). Describir la influencia de la MJO en la temperatura ha permitido entender las causas de la extensa ola de calor acontecida entre el 10 de febrero y el 2 de marzo de este año sobre el sur de Sudamérica. Durante este evento, las anomalías de temperatura del aire superaron los 2°C y alcanzaron valores récord en varias estaciones de la región (ver figura 3a). Asimismo, la MJO en

ese período se mostró activa y con mucha amplitud en las fases 7, 8 y 1 (ver figura 3b). El análisis de los campos de temperatura durante esas fechas muestra que presentaron un comportamiento similar al mostrado por el trabajo de Alvarez et al. (2016) para dichas fases.

## Otros mecanismos y herramientas de monitoreo

Además de la MJO, la variabilidad intraestacional en Sudamérica puede estar asociada a otros fenómenos. Ya en los años 80 (Casarin and Kousky, 1986) y 90 (Nogues-Peagle y Mo 1997) propusieron al llamado "South America Seesaw" (SASS) como el patrón de variabilidad intraestacional más importante sobre Sudamérica. El SASS presenta dos centros de acción de signo opuesto: en la SACZ y en el sudeste de Sudamérica (SESA). Numerosos trabajos muestran que en ambas fases del SASS, la región con precipitación exacerbada es proclive a presentar eventos intensos de precipitación (e.g. Carvalho et al., 2004; Liebmann et al., 2004; Gonzalez et al., 2008). Además, durante los eventos con precipitación abundante sobre las SACZ, la subsidencia asociada en la región subtropical promueve un aumento en la frecuencia de olas de calor, muchas de ellas muy intensas (Cerne y Vera 2007). Este tipo de características demuestra que la variabilidad intraestacional está presente no sólo en la lluvia, sino también en la temperatura.

Todo el conocimiento generado para entender estos fenómenos no quedó sólo plasmado en la literatura. Recientemente se han hecho significativos avances en su utilización en tareas de monitoreo y pronóstico regional. Como ejemplo de este tipo de aplicaciones, Alvarez et al. (2014) desarrollaron un índice llamado SIS para monitorear la variabilidad intraestacional sobre SESA, hoy operativo en <http://climar.cima>.

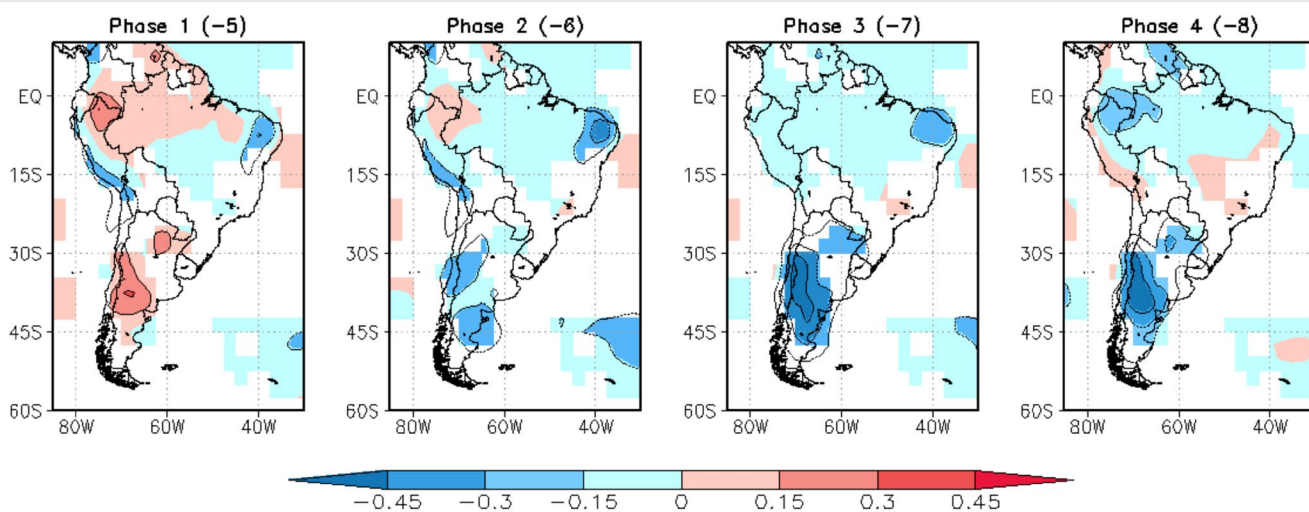


Figura 2: Promedio de las anomalías de temperatura del aire en diciembre-febrero para las fases 1-4 de la MJO según el índice RMM. Los promedios para las fases 5-8 son idénticas pero del signo opuesto (indicadas entre paréntesis). Figura adaptada de Alvarez et al. (2016). Sólo se muestran los valores significativos al 95% de confianza.

fcen.uba.ar/Msis.php. Este índice refleja los cambios en las condiciones de temperatura y lluvia mencionados en el párrafo anterior. Las investigaciones realizadas muestran que la actividad de la fase positiva del SIS promueve rachas de días consecutivos con lluvias en SESA que pueden llegar a ser abundantes y en algunos casos extremas. Esta influencia es más fuerte en el nordeste de Argentina, este de Paraguay y sur de Brasil, aunque puede extenderse durante los días anteriores y posteriores a la fase positiva del índice. El seguimiento de este índice y el entendimiento de las anomalías climáticas asociadas es otro ejemplo de cómo, de manera análoga a fenómenos

climáticos más conocidos como El Niño o la MJO pueden desarrollarse productos con enfoque regional que permitan apuntalar las tareas de seguimiento que realizan los servicios meteorológicos y climáticos. Para mencionar un ejemplo de su aplicación durante este año, la figura 4 muestra la región de acción del patrón SIS durante el otoño y la evolución temporal de dicho patrón durante los meses de abril y mayo de este año. Se distinguen con colores las fases SIS persistentemente intensas, según su signo y duración. En la figura 4 se muestra además la lluvia diaria en la estación Paso de los Libres, ubicada en la zona de influencia de este patrón. Puede verse como los eventos SIS extremos estuvieron asociados a lluvia intensa durante esos días en esa estación. De manera análoga, los eventos negativos del patrón SIS se asocian comúnmente a olas de calor sobre la región y episodios de varios días sin lluvia.

### Conclusiones

Los meses transcurridos de este 2017 han servido de ejemplo para destacar y reforzar la importancia del entendimiento y el monitoreo de otros fenómenos más allá de El Niño. Si bien no hay dudas de la relevancia que tiene este fenómeno sobre el clima regional, es cierto también que en años donde no se manifiesta, otros fenómenos igual de relevantes para nuestro clima pueden tomar protagonismo. Entenderlos es el primer paso para luego poder monitorearlos y anticipar los impactos que tienen en las anomalías regionales. Finalmente, con el avance de las herramientas de pronóstico es deseable poder anticipar su ocurrencia con varias semanas de antelación para que los sectores socio-productivos expuestos a ellos puedan contar con información útil y de calidad a la hora de tomar decisiones. Este texto mostró algunos ejemplos de cómo años de estudio y esfuerzo de la comunidad científica se traducen en un mejor entendimiento de lo acontecido durante este año.

El avance en el desarrollo de herramientas de monitoreo como las indicadas arriba y del desarrollo de mejores modelos de pronóstico climático abre el paso a nuevas investigaciones acerca de la posibilidad de pronosticar el clima en estas escalas con semanas de antelación. Este desafío es encarado por la comunidad internacional a través de múltiples iniciativas, como el proyecto del *World Climate Research Programme* y el *World Weather Research Programme* conocido como *Subseasonal to Seasonal Prediction* o el *North American Multi-Model Ensemble* conducido por el *Climate Prediction Center*, pero también por varios grupos de investigación regionales, por ejemplo el proyecto CLIMAX entre el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (Argentina) y el CPTEC (Brasil). Si bien este desafío es ambicioso, la comunidad cuenta con recursos y conocimientos suficientes para llevarlo adelante con éxito.

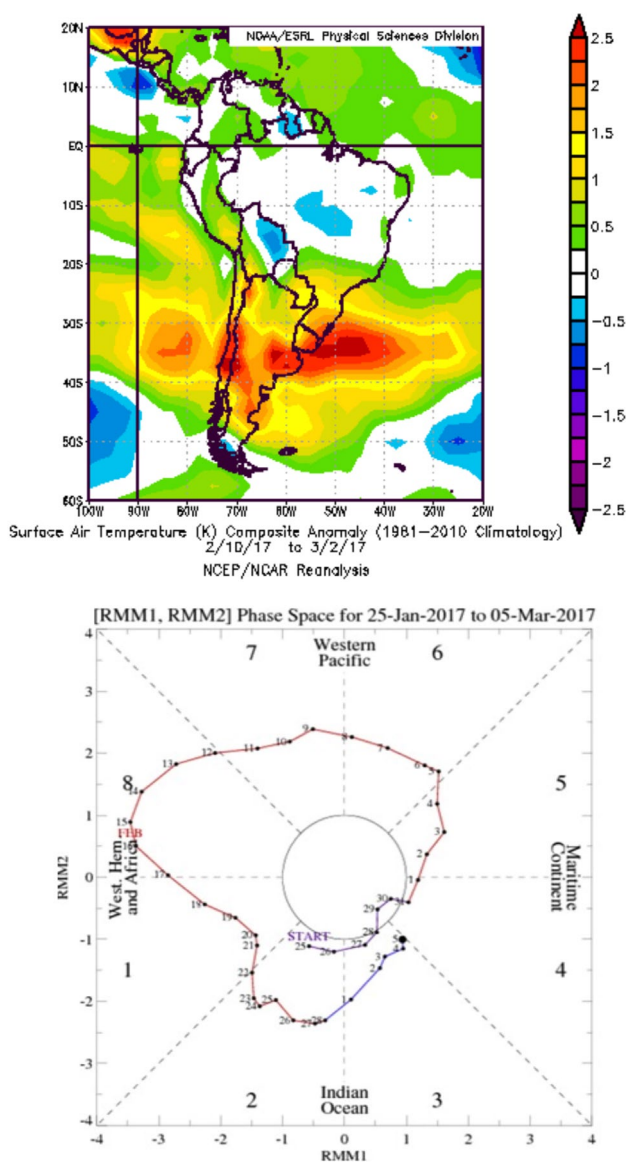


Figura 3: a) Anomalías de temperatura de superficie durante los días 10/02/2017 al 2/03/2017. (Fuente: ESRL a partir de NCEP/NCAR Reanalysis). b) Evolución del índice RMM1 y RMM2 durante los días 25/01/2017 al 05/03/2017. Cada punto en el diagrama indica el valor del índice MJO para cada uno de los días, unidos por una línea. Esto permite identificar rápidamente la fase en la que se encuentra. Las fases son distinguibles por las líneas punteadas. Cada color representa meses diferentes. Cuanto más lejos esté la línea del centro del diagrama, más intensa es la actividad de la MJO. Si el índice se encuentra dentro del círculo central del diagrama entonces la MJO no se encuentra activa esos días. (Fuente: NOAA Climate Prediction Center)

# Variabilidad climática intraestacional: más allá de El Niño

Osman M. y Alvarez M.

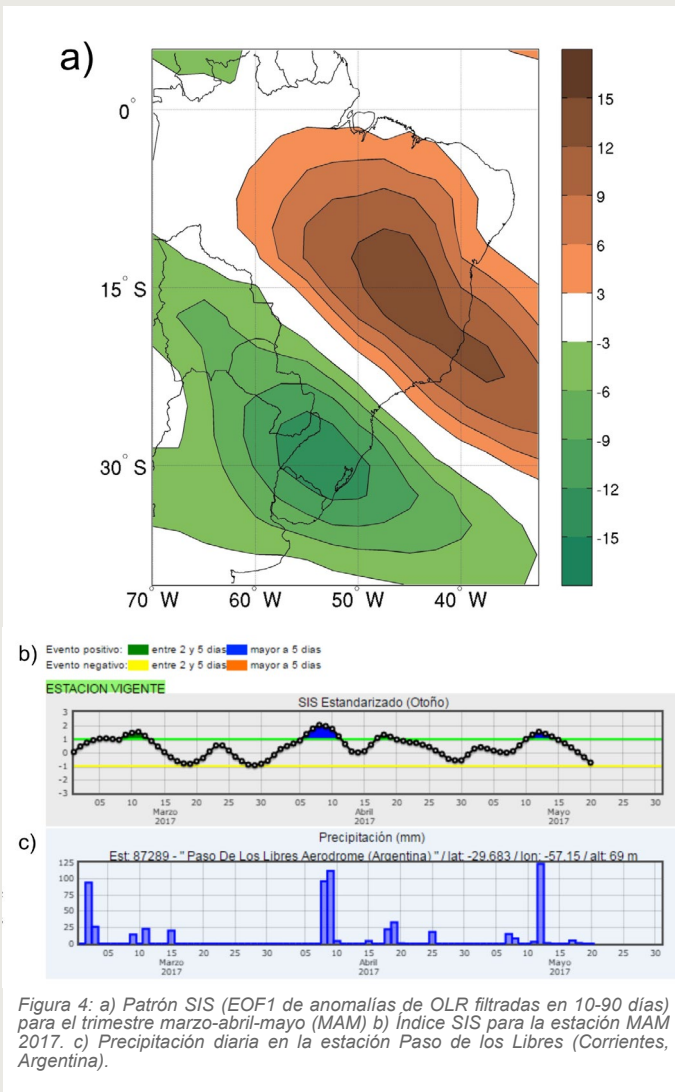


Figura 4: a) Patrón SIS (EOF1 de anomalías de OLR filtradas en 10-90 días) para el trimestre marzo-abril-mayo (MAM) b) Índice SIS para la estación MAM 2017. c) Precipitación diaria en la estación Paso de los Libres (Corrientes, Argentina).

## Referencias:

Alvarez, M.S., Vera, C.S., Kiladis, G.N. and B Liebmann. Intra-seasonal variability in South America during the cold season. *Clim Dyn* (2014) 42: 3253. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1872-z>

Alvarez, M.S.; Vera, C.S.; Kiladis, G.N.; Liebmann, B. Influence of the Madden Julian Oscillation on precipitation and surface air temperature in South America. *Climate Dynamics* 2016, 46, 245–262.

Carvalho LMV, Jones C, Liebmann B (2004) The South Atlantic convergence zone: intensity, form, persistence, relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *J Clim* 17:88–108.

Casarin DP, Kousky VE (1986) Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variacão na circulação atmosférica. *Rev Bras Meteorol* 1:83–90

Cerne, B., Vera, C. (2011) Influence of the intraseasonal variability on heat waves in subtropical South America. *Clim Dyn* 36:2265–2277.

De Souza EB, Ambrizzi, T. (2006) Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden-Julian oscillation. *Int J Clim* 26(13):1759–1776.

Donald, A., Meinke, H., Power, B., deMaia AHN, Wheeler MC, White N, Stone RC, Ribbe J (2006) Near-global impact of the Madden-Julian oscillation on rainfall. *Geophys Res Lett* 33:L09704. [Doi:10.1029/2005GL025155](https://doi.org/10.1029/2005GL025155).

ENFEN, 2017: *El Niño Costero 2017. Informe técnico extraordinario ENFEN 001-2017*, 31 pp.

Gonzalez, PLM., Vera, CS., Liebmann, B., Kiladis, G. (2008) Intra-seasonal variability in subtropical South America as depicted by precipitation data. *Clim Dyn* 30:727–744.

Jones, C., Waliser, DE., Lau, KM., Stern, W. (2004) Global occurrences of extreme precipitation events and the Madden-Julian oscillation: observations and predictability. *J Clim* 17:4575–4589.

Jones, C., Gottschalck, J., Carvalho, LMV., Higgins, WR. (2011) Influence of the Madden-Julian oscillation on forecasts of extreme precipitation in the contiguous United States. *Mon Weather Rev* 139:332–350.

Liebmann, B., Kiladis, GN., Vera, CS., Saulo, AC., Carvalho, LMV. (2004) Subseasonal variations of rainfall in South America in the vicinity of the low-level jet east of the andes and comparison to those in the South Atlantic convergence zone. *J Clim* 17(19):3829–3842.

Liebmann, B., Vera, CS., Carvalho, LMV., Camilloni, IA., Hoerling, M., Allured, D., Barros, VR., Baez, J., Bidegain, M. 2004. An observed trend in central South American precipitation. *J. Clim.* 17: 4357–4367, [doi:10.1175/3205.1](https://doi.org/10.1175/3205.1).

Madden, R.A. and P.R. Julian, 1971: Detection of a 40–50 Day Oscillation in the Zonal Wind in the Tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 28, 702–708, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1971\)028<0702:DOADOI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1971)028<0702:DOADOI>2.0.CO;2)

Madden, R.A. and P.R. Julian, 1972: Description of Global-Scale Circulation Cells in the Tropics with a 40–50 Day Period. *J. Atmos. Sci.*, 29, 1109–1123, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1972\)029<1109:DOGSCC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1972)029<1109:DOGSCC>2.0.CO;2)

Muza, MN., Carvalho, LMV., Jones, C., Liebmann, B. (2009) Intra-seasonal and interannual variability of extreme dry and wet events over southeastern South America and the subtropical Atlantic during austral summer. *J Clim* 22(7):1682–1699.

Nogues-Paegle J, Mo KC (1997) Alternating wet and dry conditions over South America during summer. *Mon Weather Rev* 125(2):279–291

Paegle, JN., Byerle, LA., Mo KC (2000) Intra-seasonal modulation of South American summer precipitation. *Mon Weather Rev* 128:837–850.

Wheeler, MC., Hendon, HH. (2004) An all-season real-time multivariate MJO index: development of an index for monitoring and prediction. *Mon Weather Rev* 132:1917–1932.

Wheeler, MC., Hendon, HH., Cleland, S., Meinke, H., Donald, A. (2009) Impacts of the Madden-Julian oscillation on Australian rainfall and circulation. *J Clim* 22:1482–1498.

## Verificación de los pronósticos probabilísticos de El Niño y La Niña costeros

Ken Takahashi  
Instituto Geofísico del Perú

Una necesidad básica para la mejora de los pronósticos es una evaluación sistemática y objetiva de su desempeño (ver discusión en Takahashi, 2015). Una condición esencial, pero que para muchos no es obvia, es que los pronósticos deben ser verificables objetivamente. Por ejemplo, un pronóstico formulado como “se espera lluvia en la costa norte en los próximos días” no es verificable objetivamente, ya que no se especifica dónde, ni cuánto, ni cuándo. En contraste, decir “se espera que la lluvia exceda el percentil de 90 histórico en la ciudad de Piura en los próximos dos días” sí se puede verificar objetivamente. Si bien no todo pronóstico podrá ser igualmente verificable (por ej. para alguna región no existe un registro histórico de lluvias), es necesario que al menos parte de los pronósticos sean verificables objetivamente.

Para el pronóstico climático, que se realiza con varios meses de anticipación, existen dos limitantes para la verificación. En primer lugar, se realizan pocos pronósticos al año, por lo que desde un punto de vista simplemente estadístico se necesitaría esperar varios años para poder sacar conclusiones claras. En segundo lugar, los pronósticos estacionales son inciertos y se expresan como probabilidades de los diferentes escenarios posibles. Esto quiere decir que en teoría no es posible demostrar que un pronóstico es errado a menos de que este haya asignado 0% de probabilidad a lo que finalmente ocurrió.

Lo anterior, sin embargo, no es insalvable. Uno de los índices más populares de verificar un pronóstico probabilístico individual es el llamado “Brier score” (BS, ej. Wilks, 2006) que compara la probabilidad pronosticada  $p$  de un evento con la probabilidad  $o$  verificada, la cual es  $o = 1$  si el evento ocurrió y  $o = 0$  si no ocurrió (noten que una probabilidad de 1 corresponde a 100%). El BS para un pronóstico individual está dado por  $BS = (p - o)^2$ . Si se cuentan con varios pronósticos, entonces se puede calcular el valor promedio de BS sobre todos estos pronósticos. El pronóstico perfecto corresponde a  $p = o$ , o sea que  $BS = 0$ , mientras que el peor pronóstico posible es que se pronostique lo opuesto a lo que ocurrió con total certeza, es decir que  $p = 1 - o$  por lo tanto  $BS = 1$ .

Empezando en el año 2015, el Comité ENFEN (ahora Comisión) empezó a producir pronósticos probabilísticos de la magnitud de El Niño/La Niña para los meses de verano (diciembre-marzo), en los que se consideran ocho posibles resultados para la región costera (La Niña fuerte, moderada y débil, neutral, El Niño débil, moderado, fuerte y extraordinario) y, similarmente, nueve para el Pacífico central (ENFEN, 2015). En esta situación no es posible utilizar el BS, ya que este considera solo un tipo de evento. Sin embargo, una generalización del BS es el “Ranked Probability Score” (RPS, ej. Tippett et al., 2017) permite trabajar con más de una categoría. En este caso, se considera la probabilidad acumulada pronosticadas ( $p$ ) y observadas ( $o$ ) de las categorías ordenadas de menor (La Niña fuerte) a mayor (El Niño extraordinario). Entonces, de esta manera, si consideramos que en el verano 2015-2016 se verificaron condiciones El Niño costero moderado (sexta categoría de ocho), entonces las probabilidades acumuladas correspondientes son  $o = 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1$  (o sea, 1 a partir del sexto valor). Por otro lado, el pronóstico realizado por el ENFEN a finales de agosto de 2015 (ENFEN 2015) fue  $p = 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.15, 0.45, 0.80, 1$ . Entonces, el valor de RPS se calcula como la suma de los valores de  $(p - o)^2$

sobre las categorías (en la práctica no se considera la última ya que siempre tiene  $o = p = 1$ ). Es decir que para este caso,  $RPS = (0-0)^2 + (0-0)^2 + (0-0)^2 + (0.05-0)^2 + (0.15-0)^2 + (0.45-1)^2 + (0.8-1)^2 = 0.37$ . Al igual que con el BS, el pronóstico perfecto tendría  $RPS = 0$  y el valor aumenta conforme el pronóstico es peor, pero el valor numérico de RPS en sí no es fácil de interpretar por sí solo. Sin embargo, sirve para comparar entre pronósticos para diferentes años o con diferentes métodos. En el segundo caso, si consideramos la frecuencia histórica observada (1982-2010) de las diferentes categorías podríamos hacer un pronóstico “climatológico”  $p_{clim} = 0, 0, 0, 0.86, 0.93, 0.93, 0.97, 1$ . Para el verano 2016-2017 (El Niño costero moderado) esto daría  $RPS_{clim} = 1.62$ . Como este valor es mayor que el correspondiente al del pronóstico del ENFEN, entonces podemos decir que este último fue mejor según el RPS.

Además, también se consideran los pronósticos probabilísticos obtenidos de las corridas de ocho modelos climáticos que participan en el proyecto *North American Multimodel Ensemble* (NMME; Kirtman et al., 2014). Para esto, primero a cada modelo se le restó el promedio climatológico (1982-2010) para las corridas inicializadas en cada mes del año y para todo lead (tiempo de anticipación) entre 0.5 y 8.5 meses, lo cual elimina los errores sistemáticos promedio (“mean bias correction”, ej. Tippett et al., 2017) se consideraron 10 corridas de cada modelo, dando un total de 80 corridas, y se determinó para cada corrida cuál es la categoría pronosticada siguiendo un procedimiento análogo al operacional (ENFEN 2012). Luego, se determinó la probabilidad para cada categoría básicamente como el número de corridas correspondientes dividido por el número total de corridas (con una corrección pequeña siguiendo a Tippett et al., 2017).

También se consideró una versión “calibrada” de cada modelo, para la que se aplicó una regresión lineal entre la anomalía observada y la pronosticada por cada modelo (promedio de *ensemble*) para cada mes inicial y lead en el periodo 1982-2010 para acercar los modelos a las observaciones.

En la Fig. 1 se muestran los valores de RPS para los pronósticos realizados para los veranos 2015-2016 y 2016-2017 entre los meses de agosto y setiembre. Podemos ver que los pronósticos realizados en 2015 por los modelos y el ENFEN fueron buenos comparados con el climatológico, mejorando ligeramente (RPS

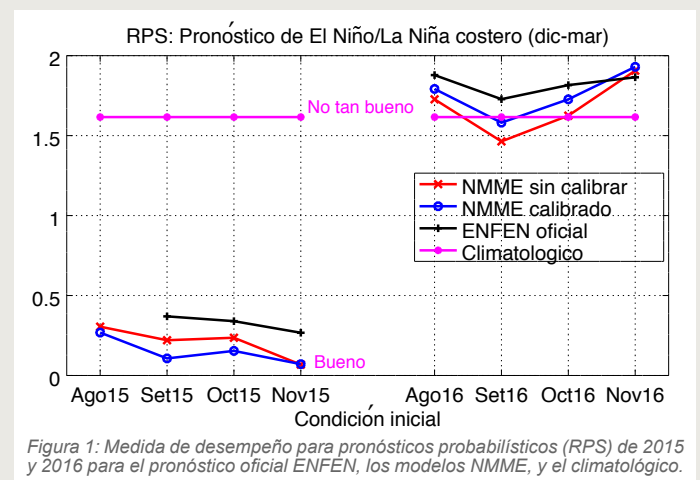
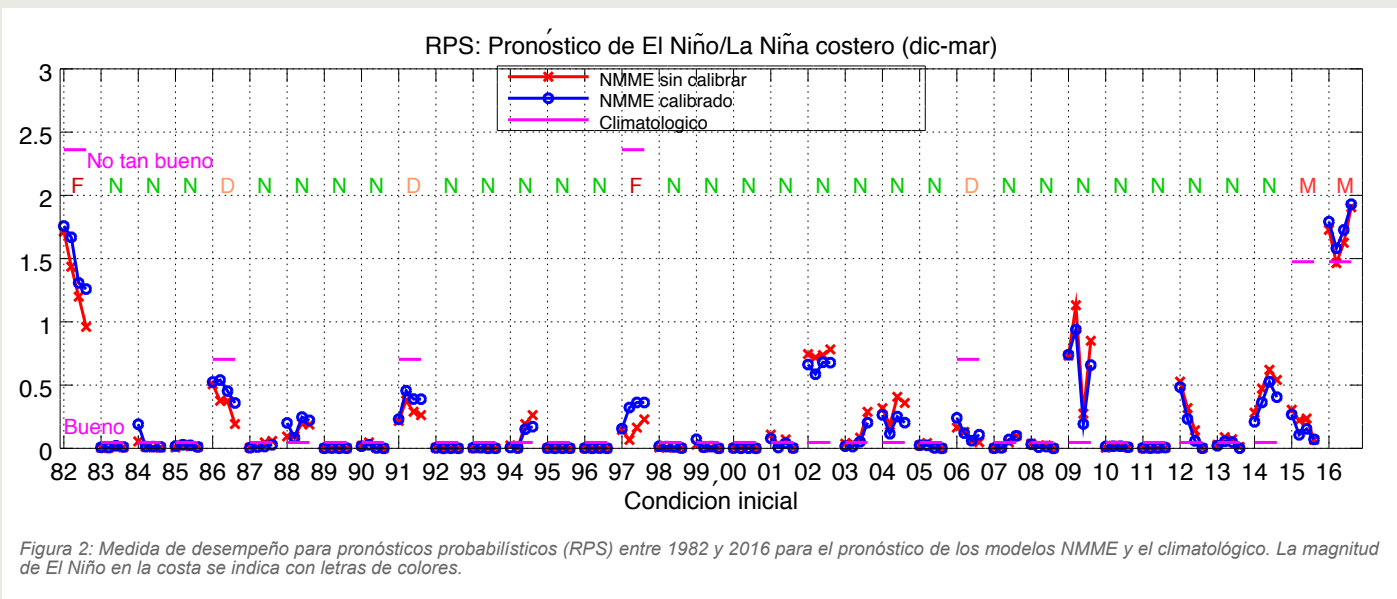


Figura 1: Medida de desempeño para pronósticos probabilísticos (RPS) de 2015 y 2016 para el pronóstico oficial ENFEN, los modelos NMME, y el climatológico.

# Verificación de los pronósticos probabilísticos de El Niño y La Niña costeros

Ken Takahashi  
Instituto Geofísico del Perú



disminuyendo) a medida que el año avanzó. Esto correspondió a condiciones El Niño de gran escala que aportaron mayor predictibilidad al sistema (L'Heureux et al., 2016). Los modelos tuvieron un mejor desempeño que el ENFEN ya que este último asignó mayor probabilidad a El Niño fuerte y extraordinario que los modelos. Por otro lado, en el año 2017 se presentó lo que ahora se conoce popularmente como "El Niño costero 2017" (ENFEN 2017), similar al ocurrido en 1925 (Takahashi y Martínez 2017), con mecanismos locales rápidos y menos predecibles. Ni los modelos climáticos ni el ENFEN previeron este evento y los pronósticos tuvieron desempeño similar al del pronóstico climatológico, aunque los de NMME tuvieron un desempeño ligeramente mejor (menor RPS), excepto en noviembre en el que ENFEN fue marginalmente mejor debido a que se asignó ligeramente mayor probabilidad de El Niño moderado que los otros. Vemos que, en general, la calibración de los modelos mejoró ligeramente su desempeño en 2015, pero no en el 2016. En promedio sobre estos ocho pronósticos, los modelos sin calibrar tuvieron mejor desempeño (RPS=0.94), seguido de los modelos calibrados (0.95), el ENFEN (1.18) y el climatológico (1.62).

Sobre el periodo de disponibilidad de los modelos NMME (1982-2016), el desempeño según el RPS promedio de los modelos calibrados y sin calibrar fueron casi iguales al climatológico (RPS=0.32 en todos los casos). Sin embargo, en la Fig. 2 vemos que este aparente buen desempeño se debe a que los pronósticos y las observaciones están dominados por condiciones neutras pero si limitamos el análisis a los años de eventos El Niño (1982, 1986, 1991, 1997, 2006 y 2015), exceptuando 2016, entonces vemos que los modelos tuvieron sustancialmente mejor desempeño (noten que no hubieron eventos La Niña de verano en todo este periodo). Por otro lado, en los años neutros en la costa pero cálidos en el Pacífico central (2002, 2009, 2014) los modelos pronosticaron mayor probabilidad de El Niño débil, y el pronóstico climatológico tuvo mejor desempeño.

Con respecto a los eventos El Niño de más impacto en la costa, los modelos tuvieron un desempeño relativamente bueno en el evento global de 1997, pero no tanto en el de 1982. Mientras tanto, El Niño costero de 2017 no fue pronosticado adecuadamente. Dado que cada evento tiene sus particularidades, no podemos confiar tan solo en los modelos y más bien es importante promover

la investigación científica para mejorar nuestro entendimiento y poder contar con mejores modelos conceptuales, así como numéricos.

## Referencias

- ENFEN, 2012: Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú. Nota Técnica ENFEN, 3 pp.
- ENFEN, 2015: Pronóstico probabilístico de la magnitud de El Niño costero en el verano 2015-2016, Nota Técnica ENFEN N°02-2015, 7 pp.
- ENFEN, 2017: El Niño Costero 2017. Informe técnico extraordinario ENFEN 001-2017, 31 pp.
- Kirtman, B. P., Min, D., Infanti, J. M., Kinter, J. L., Paolino, D. A., Zhang, Q., Van Den Dool, H., Saha, S., Peña Mendez, M., Becker, E., Peng, P., Tripp, P., Huang, J., Dewitt, D. G., Tippett, M. K., Barnston, A. G., Li, S., Rosati, A., Schubert, S. D., Rienecker, M., Suarez, M., Li, Z. E., Marshak, J., Lim, Y. K., Tribbia, J., Pegion, K., Merryfield, W. J., Denis, B., Wood, E. F., 2014: The North American Multimodel Ensemble: Phase-1 seasonal-to-interannual prediction; Phase-2 toward developing intraseasonal prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, doi: 10.1175/BAMS-D-12-00050.1.
- L'Heureux M, Takahashi K, Watkins AB, Barnston AG, Becker EJ, Di Liberto TE, Gamble F, Gottschalk J, Halpert MS, Huang B, Mosquera-Vásquez K, Wittenberg AT, 2016: Observing and predicting the 2015-16 El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, doi:10.1175/BAMS-D-16-0009.1
- Takahashi, K., 2015: La ciencia de la predicción. *Bol. Técnico El Niño IGP*, 2 (10), 4-8.
- Takahashi, K., Martínez, A. G. 2017: The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-017-3702-1.
- Tippett, M. K., Barnston, A. G., Li, S., 2012: Performance of recent multimodel ENSO forecasts. *J. Appl. Met. Clim.*, doi:10.1175/JAMC-D-11-093.1.
- Tippett, M. K., Ranganathan, M., L'Heureux, M. L., Barnston, A. G., DelSole, T., 2017: Assessing probabilistic predictions of ENSO phase and intensity from the North American Multimodel Ensemble. *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-017-3603-3.
- Wilks, D. S., 2006: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, 2nd Edition, Academic Press, 627 pp.

# Resumen del Informe Técnico

## PP N°068/EI Niño - IGP/ 2017-8

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

### Resumen

El valor del Índice Costero El Niño (ICEN) para el mes de julio 2017 indicó condiciones climáticas Neutras, tanto con ERSST (ICEN =  $-0,49^{\circ}\text{C}$ ) como con OISSTv2 (ICENOI =  $-0,47^{\circ}\text{C}$ ). Los valores temporales del ICEN (ICENtmp) y el ICENOI (ICENOItmp) coinciden en mostrar condiciones Neutras para los meses de agosto y setiembre.

Para el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA en julio, así como los estimados para agosto y setiembre, continuaron indicando condiciones neutras.

Los siete modelos numéricos de NMME inicializados en el mes de setiembre predicen condiciones Neutras en el Pacífico oriental hasta marzo de 2018, con anomalías negativas de temperatura superficial del mar en la mayoría de los meses.

Para el mes de octubre, 5 de 7 modelos de NMME indican condiciones Frías Débiles en el Pacífico central, y 2 modelos indican condiciones Neutras. Para el mes de noviembre, un modelo indica condición Fría Moderada, 5 modelos Frías Débiles y un modelo indica condición Neutra. Hasta marzo 2018, 2 modelos indican condiciones neutras, 4 la Niña Débil y uno indica la Niña moderada. El promedio de los modelos corresponde a la Niña débil.

Los resultados de los modelos lineales, así como las proyecciones teóricas de la evolución de la onda Kelvin, indican que el núcleo de la segunda onda Kelvin fría, actualmente observada, llegaría al extremo oriental del Pacífico durante el mes de octubre.

### 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 2017 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 2017. Los valores se muestran en la Tabla 1. El valor de julio corresponde

Año	Mes	ICEN (°C)	Condiciones
2017	Abril	0.91	Cálida Débil
2017	Mayo	0.39	Neutra
2017	Junio	-0.11	Neutra
2017	Julio	-0.49	Neutra

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

a condiciones neutras, aunque con TSM bajo el promedio.

Según los valores del ICENtmp, se estima que en agosto y setiembre de 2017 las condiciones serían Neutras, aunque con anomalías negativas de TSM con mayor magnitud en agosto. El ICEN de agosto será confirmado cuando se disponga del valor de ERSST para el mes de setiembre de 2017.

Los valores del ICENOItmp estimados para agosto y setiembre de 2017 corresponden a condiciones Neutras. El ICENOI de agosto será confirmado cuando se disponga del valor de OISST v2 para el mes de setiembre de 2017.

Por otro lado, para el Pacífico Central (Niño 3.4), el ONI (Ocean Niño Index en inglés; <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>), actualizado por la NOAA al mes de julio de 2017, es de  $-0,10^{\circ}\text{C}$ , correspondiente a condiciones Neutras.

Los valores estimados (ONItmp), combinando observaciones y pronósticos, indican condiciones Neutras para los meses de agosto y setiembre 2017, aunque el valor estimado de setiembre es cercano al umbral de  $-0,50^{\circ}\text{C}$  para condiciones frías.

### Diagnóstico del Pacífico Ecuatorial

En el Pacífico central las anomalías de la TSM diaria (IR, MW, OSTIA) continuaron en el rango neutral, manteniéndose cerca al valor de  $-0,5^{\circ}\text{C}$ , siguiendo su tendencia descendente. Según los datos satelitales,

en la región Niño 1+2, la anomalía de la TSM también indica anomalías negativas, con un promedio de  $-0.6^{\circ}\text{C}$ , según los productos de MW, OSTIA, e IR.

El esfuerzo de viento zonal mensual en el Pacífico central ( $160^{\circ}\text{E}$ - $160^{\circ}\text{W}$ ;  $5^{\circ}\text{S}$ - $5^{\circ}\text{N}$ ) continuó con anomalía del este en agosto, siendo de menor magnitud que el mes anterior. En la primera y segunda semana del mes de agosto, en el Pacífico ecuatorial (entre  $175^{\circ}\text{E}$  y  $160^{\circ}\text{W}$ ) se presentaron anomalías de vientos del este. La actividad convectiva en el Pacífico ecuatorial central-oriental es inferior a su climatología, el patrón anómalo de convección ecuatorial sigue indicando un desplazamiento hacia el Pacífico occidental, consistente con condiciones tipo La Niña. El contenido de calor oceánico y la inclinación de la termoclina ecuatorial se presentaron con valores cerca de su normal, aunque con una tendencia a la descarga y empinamiento de la termoclina.

Las corrientes zonales calculadas por GODAS en el Pacífico Ecuatorial, durante el mes de agosto, continuaron mostrando anomalías negativas (corrientes hacia el oeste) en la parte superior del océano ( $< 90\text{m}$ ) en tres zonas: 1) al este de  $160^{\circ}\text{E}$ , 2)  $170^{\circ}$  Y  $140^{\circ}\text{W}$  y 3) al este de  $125^{\circ}\text{W}$ . Esto podría deberse a la presencia de una onda Kelvin fría durante este mes, según los datos de ARGO+TAO y modelos lineales. La primera de ellas, como se indicó en el informe anterior, se habría formado por vientos del oeste durante el mes de julio e inicios de agosto, y la segunda por pulsos de vientos durante el mes de agosto e inicios de setiembre. La señal de esta onda Kelvin en el producto de DUACS (nivel del mar) es débil.

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

Los resultados de los modelos lineales, así como las proyecciones teóricas de la evolución de la onda Kelvin, indican que el núcleo de la segunda onda Kelvin fría, actualmente observada, llegaría al extremo oriental durante el mes de octubre. Asimismo, de cumplirse los pronósticos de los modelos GFS y CFS, los cuales indican la presencia de anomalías de viento del este alrededor de la línea de cambio de fecha en las siguientes semanas, se esperaría la presencia de más ondas Kelvin frías que arribarían a partir del mes de noviembre.

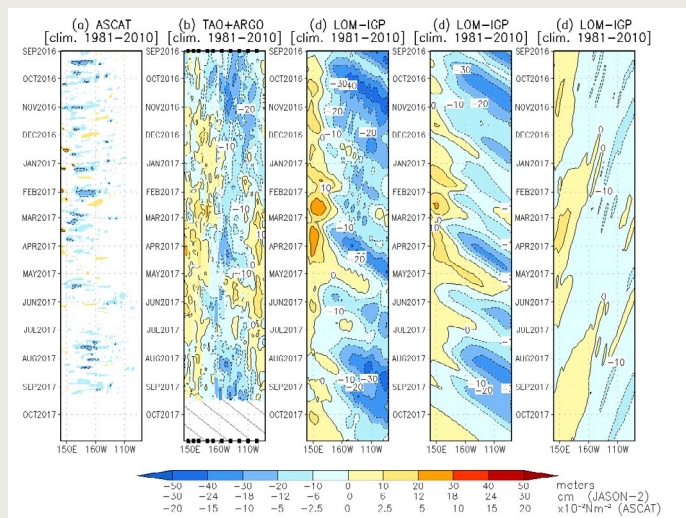


Figura 1.- Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escatómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de  $20^{\circ}\text{C}$  datos de TAO y los derivados de ARGO (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la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

### Pronóstico estacional con modelos climáticos

Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los pronósticos de los 7 modelos climáticos de NMME (CFSv2, NASA\_GEOS5, FLOR, CM2.1, NCAR\_CCM4, CMC1 y CMC2) con condiciones iniciales de setiembre, indican en promedio condiciones neutras hasta el mes de marzo 2018, (Fig. 2). En contraste con los pronósticos del mes anterior, estos son menores y la mayoría de meses indican anomalías negativas.

Para el Pacífico central (Niño 3.4), según los modelos de NMME inicializados en setiembre, 5 de 7 modelos indican condiciones frías débiles y 2 modelos indican neutras, para el mes de noviembre un modelo indica condición fría moderada, 5 modelos fría débil y un modelo condición neutra. Hasta marzo 2018, 2 modelos indican condiciones neutras, 3 La Niña débil, y 2 La Niña moderada. El promedio corresponde a la Niña débil. Estos pronósticos son más fríos que los inicializados en setiembre de 2016. Considerando el modelo POAMA, inicializado en agosto, también indica condiciones frías débiles hasta febrero de 2018.

Los pronósticos de los modelos han aumentado sustancialmente la probabilidad de condiciones La Niña en el Pacífico central ecuatorial, así como mayor enfriamiento en la costa, aunque aún en el

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

rango neutral. El patrón espacial proyectado de TSM y de precipitación pronosticado es típico de La Niña, con ausencia del calentamiento en el Pacífico sudeste (frente a norte de Chile) y en la costa de Perú pronosticado por los modelos en esta fecha en el año 2016, pronosticando anomalías nulas y negativas, respectivamente, en esta ocasión. Asimismo, no se prevé mayor lluvia en la banda sur de la ZCIT en el verano/otoño de 2018 como en los pronósticos del 2016. Esto indica menores probabilidades de que se pueda repetir un evento similar a El Niño costero de 2017.

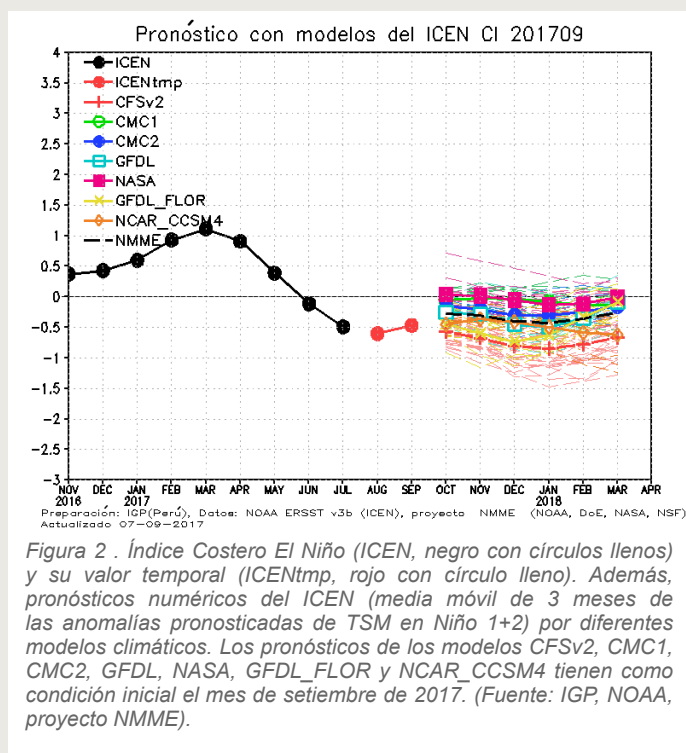
### Pronóstico decadal

Los modelos continúan pronosticando anomalías de TSM positivas en el Pacífico noreste (presentes desde el 2014), consistente con los pronósticos de Thoma et al. (2015) y Meehl et al. (2016). El calentamiento en el Pacífico sudeste subtropical observado desde el año 2015 ya no se observa en los pronósticos de los modelos de NMME.

El esfuerzo de viento zonal en el Pacífico central muestra anomalías negativas, por lo cual no puede estar forzado por el PDO actualmente. Estas persistentes anomalías (desde mediados de 2016) no parecen responder a la dinámica de ENOS y podrían reflejar algún otro forzante externo.

### Conclusiones:

1. El ICEN para julio de 2017 fue de -0.49 (Neutra) y el ICENtmp para agosto y setiembre de 2017 es -0.60 y -0.48 (Neutro). Usando OI mensual para el cálculo (ICENOI), los valores correspondientes son -0.47 (Neutra), y los temporales -0.55 y -0.48 (Neutro).
2. En el Pacífico central, el ONI de julio (JJA) y el estimado para agosto correspondieron a condiciones Neutras. La ATSM en la región Niño 3.4, ha fluctuado alrededor de los  $-0.6^{\circ}\text{C}$  en el mes de agosto.
3. Según TAO y NCEP/NCAR reanalysis, el viento zonal ecuatorial presentó anomalías predominantemente del este. La prevalencia de anomalías del este en el Pacífico central-occidental se observa desde mediados de 2016.
4. El patrón anómalo de convección ecuatorial sigue indicando desplazamiento hacia el Pacífico occidental, consistente con condiciones tipo La Niña.
5. El contenido de calor oceánico y la inclinación de la termoclina ecuatorial se presentaron con valores cerca de su normal, aunque con una tendencia a la descarga y empinamiento de la termoclina.



6. Las corrientes zonales calculadas por GODAS en el Pacífico Ecuatorial, durante el mes de agosto, mostraron anomalías negativas (corrientes hacia el oeste) en la parte superior del océano ( $<90\text{m}$ ) en tres zonas: 1) al este de  $160^{\circ}\text{E}$ , 2)  $170^{\circ}$  y  $140^{\circ}\text{W}$ ; y 3) al este de  $125^{\circ}\text{W}$ . Esto podría deberse a la presencia de ondas Kelvin frías durante este mes, según los datos de ARGO+TAO y modelos lineales.

7. Para las próximas semanas, el modelo GFS y el CFS predicen anomalías de viento del este entre  $160^{\circ}\text{E}$  y  $160^{\circ}\text{W}$ , aproximadamente.

8. Los resultados de los modelos lineales, así como las proyecciones teóricas de la evolución de la onda Kelvin, indican que el núcleo de la segunda onda Kelvin fría, actualmente observada, llegaría al extremo oriental durante el mes de octubre.

9. De cumplirse el pronóstico del GFS, relacionado a pulsos de viento del este en el Pacífico Central durante el mes de setiembre, se tendría, entonces, la presencia de mas ondas Kelvin frías que arribarían a partir del mes de noviembre.

10. Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los 7 modelos de NMME indica condiciones Neutras hasta marzo de 2018; en contraste con los pronósticos del mes anterior, estos índices son menores y la mayoría de los modelos indican anomalías negativas.

# Resumen del Informe Técnico PP N°068/El Niño - IGP/ 2017-8

11. Para el Pacífico central (Región Niño 3.4), para el mes de octubre los 5 de 7 modelos de NMME indican condiciones Frías Débiles y 2 modelos indican Neutras. Hasta marzo 2018, 2 modelos indican condiciones neutras, 3 La Niña débil y 2 La Niña moderada. El promedio de los modelos corresponde a La Niña débil. Estos pronósticos son más fríos que los de hace un año.

12. Los modelos continúan pronosticando anomalías de TSM positivas en el Pacífico noreste (presentes desde el 2014), consistente con los pronósticos de Thoma et al (2015) y Meehl et al (2016). El calentamiento en el Pacífico sudeste subtropical observado desde el año 2015 ya no se observa en los pronósticos de los modelos NMME.

13. El esfuerzo de viento zonal en el Pacífico central muestra anomalías negativas, por lo cual no puede estar forzado por el PDO actualmente. Estas persistentes anomalías (desde mediados de 2016) no parecen responder a la dinámica de ENOS y podrían reflejar algún otro forzante externo.

## Referencias

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

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

DiNezio, P., 2016: Desafíos en la predicción de La Niña, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, 3 (9), 4-8.

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

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

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

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

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

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

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

Mosquera, K., 2014: Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Enero, 1, 1, 4-7

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

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

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

# Comunicado Oficial ENFEN



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

### COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 13- 2017 Estado del sistema de alerta: **No Activo**<sup>1</sup>

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el estado de sistema de alerta "No Activo" debido a que en la actualidad la temperatura superficial del mar en la región Niño 1+2, así como a lo largo de la costa del Perú que presentan en promedio condiciones normales.

Asimismo, tomando en consideración el monitoreo y el análisis de la Comisión Multisectorial ENFEN, así como los resultados de los modelos de las Agencias de Pronóstico Internacionales, se considera la persistencia de las condiciones neutras tanto en la región Niño 1+2 como en el Pacífico Central hasta fin de año. Para el verano del 2018, en la zona norte del mar peruano el escenario más probable es de condiciones neutras.

La Comisión encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar y actualizar la información de las condiciones meteorológicas, oceanográficas, biológico-pesqueras e hidrológicas correspondiente al mes de agosto de 2017.

En la región del Pacífico Central (región Niño 3.4), la anomalía mensual de la temperatura superficial del mar (ATSM) disminuyó de +0,4°C (julio) a -0,15°C (agosto), manteniendo su tendencia descendente; asimismo en la región Niño 1+2 la ATSM disminuyó de -0,07°C a -0,45°C. Figura 1A, 1B. Durante el mes en el Océano Pacífico ecuatorial, se observaron dos ondas Kelvin frías formadas en julio y agosto.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) continuó fortalecido durante el mes con una anomalía media de +3 hPa en su núcleo y una configuración zonal alrededor de su posición habitual. A partir de la segunda quincena, la intensificación de la APS contribuyó al incremento de vientos costeros de moderada a fuerte intensidad a lo largo de la franja costera centro y sur; principalmente. Situación que continúa favoreciendo las condiciones neutras a ligeramente frías en el mar peruano.

El valor del Índice Costero El Niño (ICEN) para el mes de julio fue de -0,47°C (fuente NCEP OI SST v2) que correspondió a condiciones neutras. Los valores estimados (ICEN<sub>tmp</sub>) para agosto y setiembre corresponden también a condiciones neutras.

Asimismo se observó por fuera de las 40 mn la influencia de Aguas Subtropicales Superficiales de alta salinidad entre Chicama y Pisco y fuera de las 20 mn de San Juan. En promedio dentro de las 20 mn predominaron las aguas del afloramiento costero. Por otro lado, en todo el litoral en promedio la TSM y el NMM presentaron valores cercanos a lo normal.

Las anomalías de las temperaturas extremas del aire mantuvieron condiciones normales en la región central y sur mientras que en la región norte se observó un ligero aumento con respecto al mes anterior. (Ver Cuadro 1).

Los caudales de los ríos de la costa del país continuaron presentando características propias del periodo de estiaje con tendencias estables y descendentes. Las reservas hídricas en la costa norte y sur vienen operando en promedio al 93% y 73% de su capacidad hidráulica.

La clorofila-a, indicador de la producción del fitoplancton mostró en agosto condiciones promedio normales de acuerdo con su estacionalidad.

Los indicadores reproductivos de la anchoveta, del stock norte – centro, se encuentra en su periodo principal de desove. Disminuyó notablemente la presencia de recursos oceánicos cercanos a la costa.

<sup>1</sup>Definición de estado de Sistema de alerta "No activo": En condiciones neutras o cuando la Comisión ENFEN espera que El Niño o La Niña costeros están próximos a finalizar. (Nota Técnica ENFEN 01-2015). Se denomina "Evento El Niño en la región costera de Perú" o "El Niño costero" al período en el cual el Índice Costero El Niño (ICEN), que es la media corrida de tres meses de las anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2, indique "condiciones cálidas" (>+0,4°C) durante al menos tres (3) meses consecutivos (Nota Técnica ENFEN 01-2012).



## PERSPECTIVAS

En el litoral peruano se espera que hasta fin de año la TSM y NMM se mantenga con valores alrededor de lo normal; sin embargo, de arribar las ondas Kelvin frías, disminuiría los valores de dichas variables.

Los modelos climáticos de las agencias internacionales pronostican, en promedio, condiciones neutras hasta fin de año para la región Niño 1+2, mientras que para la región del Pacífico Central (Niño 3.4) condiciones frías débiles.

Tomando en consideración el monitoreo y el análisis de la Comisión Multisectorial ENFEN, así como los resultados de los modelos de las Agencias Internacionales de Pronóstico, se considera la persistencia de las condiciones neutras tanto en la región Niño 1+2 como en el Pacífico Central hasta fin de año.

En vista que los principales impactos de El Niño y La Niña suelen darse en la temporada de lluvias, es decir, durante el verano, el ENFEN proporciona una estimación de las probabilidades de ocurrencia de los mismos (Tablas N° 1 y 2) para dicho periodo. Con estas consideraciones, la Comisión Multisectorial ENFEN para el próximo verano (diciembre 2017 - marzo 2018) estima que para el Pacífico Central son más probables las condiciones neutras (48%), seguidas de condiciones de La Niña (45%) y de El Niño (7%).

Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2) frente a la costa norte del Perú, son más probables las condiciones neutras (60%) seguidas por las condiciones de La Niña (24%) y de El Niño (16%).

La Comisión Multisectorial ENFEN continuará informando sobre la evolución de las condiciones observadas y actualizando mensualmente la estimación de las probabilidades de las magnitudes de El Niño y La Niña en el Pacífico Oriental y en el Pacífico Central para el verano 2018.

Callao, 12 de setiembre de 2017

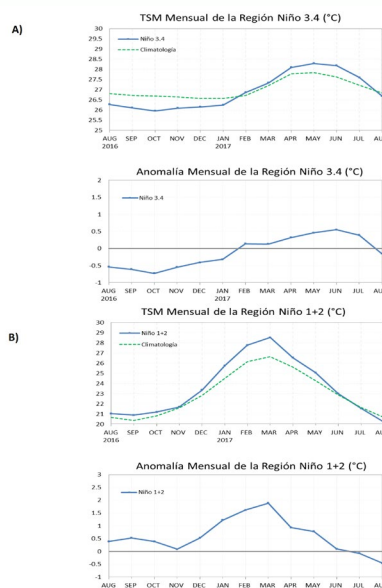


Figura 1. Temperatura y anomalía superficial del mar mensual: A) Región Niño 3.4 (5°N-5°S)/(170°W-120°W), agosto 2016 - agosto 2017. B) Región Niño 1+2 (0°-10°S) / (90°W-80°W), agosto 2016 - agosto 2017. Fuente: Gráfico: DHN, Datos: OISST.V2/ NCP/NOAA.

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

a). Anomalías promedio de temperatura máxima del aire								
Región	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
Costa Norte	1,5	1,2	1,0	0,9	1,2	1,0	0,9	0,6
Costa Centro	1,9	1,9	2,2	1,5	2,2	1,6	0,3	0,5
Costa Sur	1,5	1,2	1,0	0,8	1,6	0,9	0,5	0,6

b). Anomalías promedio de temperatura mínima del aire								
Región	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
Costa Norte	0,8	1,1	1,4	1,2	1,3	0,4	0,1	0,2
Costa Centro	1,8	2,0	2,4	2,0	3,1	1,8	1,1	0,7
Costa Sur	1,7	0,8	1,0	1,2	1,7	1,4	0,9	0,1

Tabla 1. Probabilidades Estimadas de las magnitudes de El Niño costero - La Niña costera en el verano Diciembre 2017 - Marzo 2018.

Magnitud del evento durante diciembre 2017 - marzo 2018	Probabilidad de ocurrencia
La Niña moderada - fuerte	3%
La Niña débil	21%
Neutro	60%
El Niño débil	13%
El Niño moderado	2%
El Niño fuerte - extraordinario	1%

Tabla 2. Probabilidades Estimadas de las magnitudes de El Niño - La Niña en el Pacífico Central en el verano Diciembre 2017 - Marzo 2018.


Magnitud del evento durante diciembre 2017 - marzo 2018	Probabilidad de ocurrencia
La Niña moderada - fuerte	11%
La Niña débil	34%
Neutro	48%
El Niño débil	5%
El Niño moderado	1%
El Niño fuerte - muy fuerte	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:

