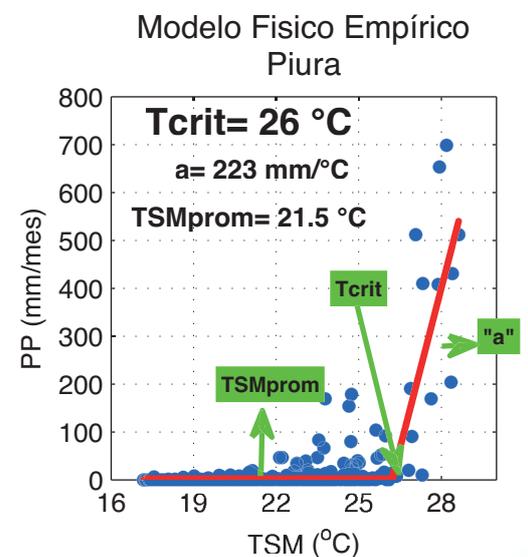
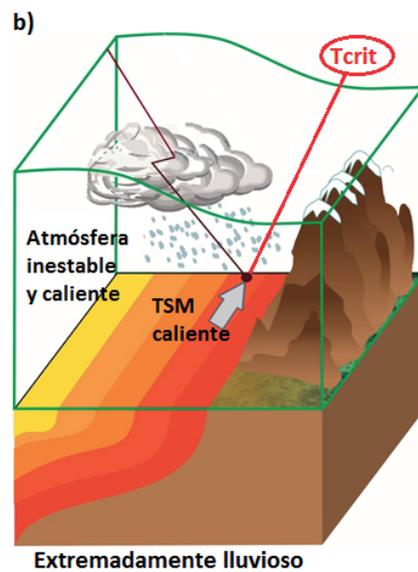
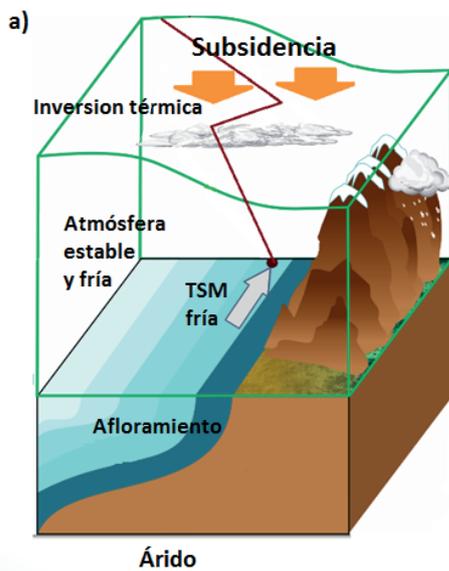


Programa Presupuestal por Resultados N° 068: "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres" Producto: "Entidades informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño"

## "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"

Boletín Técnico

### Corrigiendo los escenarios climáticos para la costa norte del Perú



# 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: Entidades informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño.

Actividad: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño.

**Manuel Pulgar Vidal**  
Ministro del Ambiente

**Ronald Woodman**  
Presidente Ejecutivo IGP

**José Macharé**  
Director Técnico IGP

**Ken Takahashi**  
Responsable Producto El Niño - IGP

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

Edición: Cristiana Leucci  
Diseño y Diagramación: Dante Guerra

Carátula: Ramos, 2014.

Instituto Geofísico del Perú  
Calle Badajoz 169 Mayorazgo  
IV Etapa - Ate  
Teléfono (511) 3402200

Impreso por:  
Lettera Gráfica SAC.  
Av. La Arboleda 431 - Ate  
Teléfono (511) 7150315

Lima, Octubre del 2015

Hecho el Depósito Legal en la  
Biblioteca Nacional del Perú N° 2015-14046

# 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 “Entidades informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño”, 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 modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia 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.

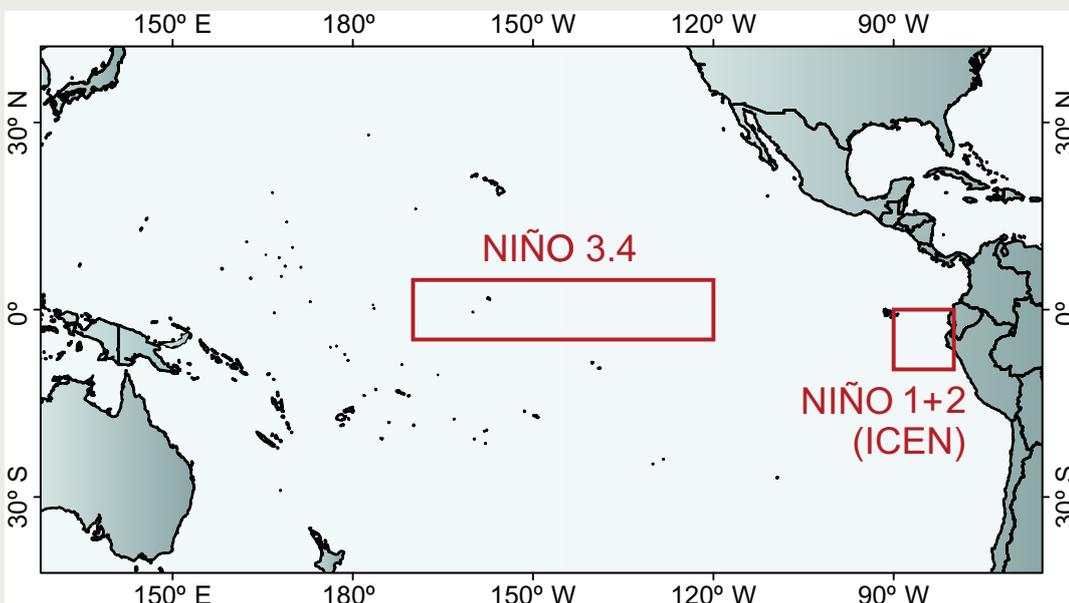
El Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformado por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA e Indeci, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

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.

## El cambio climático y la lluvia en la costa norte

### ¿Qué conocemos de la lluvia observada?

En la costa norte del Perú, caracterizada como una zona árida, normalmente no llueve (lluvia promedio 14 mm/mes). Esto se debe a que la atmósfera en esta zona es muy estable y, a su vez, esta estabilidad es una consecuencia de la frialdad del mar adyacente y de la subsidencia atmosférica, lo cual forma la llamada “inversión térmica”, con aires intrínsecamente más cálidos y ligeros por encima de los aires de la capa límite atmosférica adyacente a la superficie (Figura 1a; Woodman y Takahashi, 2014). Sin embargo, durante eventos El Niño, se ha llegado a experimentar lluvias muy intensas, con truenos y relámpagos, gracias a que las altas temperaturas facilitan el ascenso de masas de aire húmedo hasta grandes alturas, donde la humedad se condensa y luego cae como lluvia. Este proceso, conocido como convección, está normalmente limitado por la estabilidad atmosférica la cual cede durante El Niño (Figura 1b). Para que se realice esto, la superficie del mar debe calentarse hasta superar una temperatura crítica ( $T_{crit}$ ), la cual reduce la inversión térmica y permite que el aire ascienda (Graham y Barnett, 1987; Xie y Philander, 1994; Woodman, 1999; Johnson y Xie, 2010; Bellucci et al., 2009). En resumen, la  $T_{crit}$  es un umbral para la temperatura superficial del mar (TSM) por encima de la cual la lluvia muy intensa puede ocurrir.



Ing. Yakelyn Ramos  
Asistente de investigación del  
Instituto Geofísico del Perú

Yakelyn Ramos obtuvo su título en Ingeniería Meteorológica en la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) con una tesis enfocada en corregir las proyecciones climáticas de modelos globales para la lluvia en la costa norte del Perú, la cual desarrolló en el marco del Proyecto Manglares del IGP. Actualmente es asistente de investigación en el equipo de El Niño de la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrosfera del IGP y sus estudios están enfocados en identificar los fenómenos meteorológicos que generan los vientos que fuerzan las ondas Kelvin ecuatoriales.

Entonces, una forma aproximada de representar matemáticamente la relación entre la lluvia y la TSM sería el asumir que la lluvia aumenta proporcionalmente a cuánto la TSM excede la  $T_{crit}$ . Sin embargo, no hay lluvia cuando la TSM está por debajo de esta (Xie y Philander, 1994; Johnson y Xie, 2010). Este “Modelo Físico Empírico” (MFE) presenta un buen ajuste a los datos observacionales (Figura 2). Debido al uso de un umbral, el MFE se considera un modelo “no lineal” entre la lluvia (PP) y la TSM. Además del  $T_{crit}$ , el MFE tiene solo otro parámetro, que denominamos “a”,

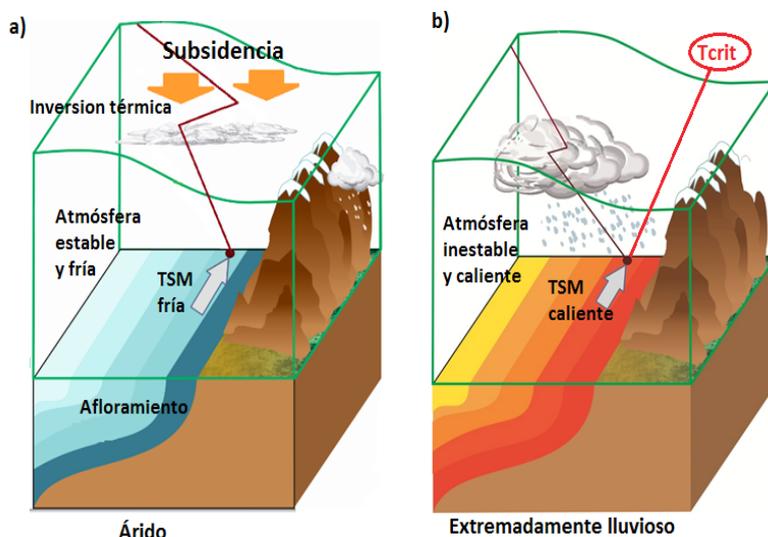


Figura 1: a) Condiciones climáticas típicas (árida) y b) Condiciones El Niño de la costa norte del Perú.

que representa cuanto aumenta la lluvia por grado de aumento en la TSM por encima de  $T_{crit}$ . Es decir,  $a$  es la pendiente de la línea roja en la Figura 2. La estimación de los parámetros se hizo buscando el mínimo error cuadrático medio. Para Piura, la  $T_{crit}$  se estimó en  $26^{\circ}\text{C}$ , mientras que  $a$  indica un fuerte aumento de 223 mm por mes más de lluvia por cada grado en que la TSM excede los  $26^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, la TSM observada es en promedio por casi  $5^{\circ}\text{C}$  menor que la  $T_{crit}$ , lo que sugiere gran estabilidad atmosférica en condiciones normales.

costa de Perú (Takahashi, 2015), exagerando la lluvia promedio de Piura y Tumbes en más de 80 mm/mes. Por esto, validar y corregir las proyecciones climáticas producidas por los GCMs es de vital importancia.

En el trabajo de Ramos (2014), se utilizó el MFE para corregir los errores sistemáticos en los GCMs en la TSM promedio,  $T_{crit}$  y  $a$ . Para esto, primero se ajustaron estos parámetros con datos de TSM y PP de cada uno de los GCMs del escenario con forzantes históricos (1968-2005) al igual que con los datos observados. Para evaluar la bondad de ajuste del MFE a cada GCM, se calculó la correlación lineal entre los estimados de precipitación con el MFE basados en las TSM de los GCM a nivel mensual, promedio trimestral (diciembre, enero y febrero, llamado DEF) y promedio anual con los datos de lluvias de los mismos GCMs. Aquellos modelos que presentaron un coeficiente de correlación sobre 0.5 en estos tres casos son los que se ajustan mejor y, por lo tanto, se les denomina “de buen ajuste”, mientras que aquellos modelos que solo presentaron alta correlación mensual pero negativa o baja correlación en los otros casos, fueron llamados “de mal ajuste”. Así, de los 28 modelos, solo 9 son de buen ajuste y los demás son de mal ajuste (Tabla 1).

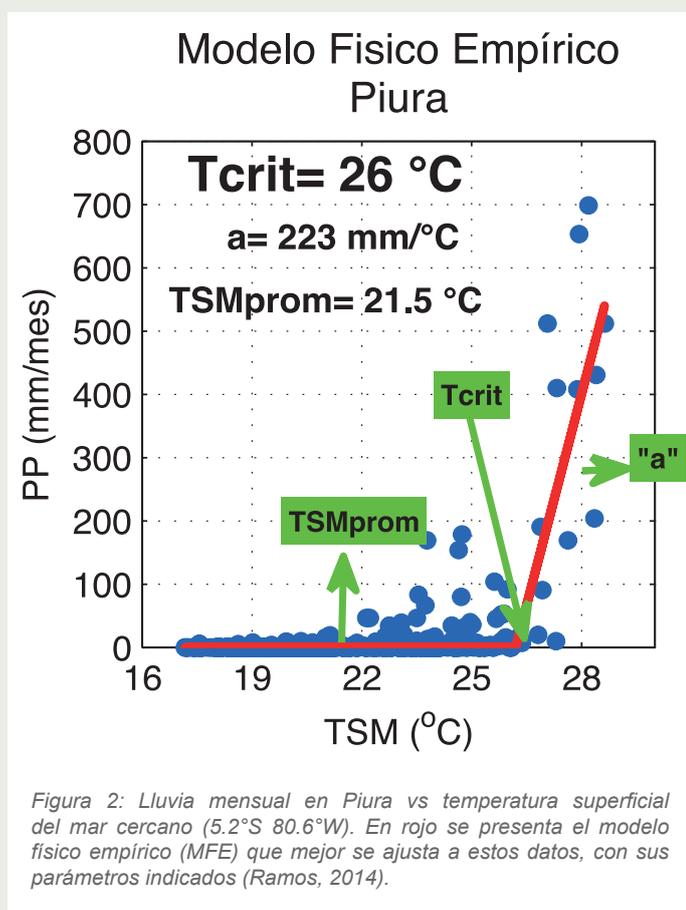


Figura 2: Lluvia mensual en Piura vs temperatura superficial del mar cercano ( $5.2^{\circ}\text{S}$   $80.6^{\circ}\text{W}$ ). En rojo se presenta el modelo físico empírico (MFE) que mejor se ajusta a estos datos, con sus parámetros indicados (Ramos, 2014).

Tabla 1: Lista de Modelos con buen y mal ajuste

Buen ajuste	Mal ajuste	
ACCESS1-0	bcc-csm1-1	GFDL-CM3
ACCESS1-3	bcc-csm1-1-m	GFDL-ESM2G
HadGEM2-AO	CCSM4	GFDL-ESM2M
HadGEM2-CC	CESM1-BGC	HadCM3
HadGEM2-ES	CESM1-CAM5	inmcm4
MIROC5	CMCC-CM	IPSL-CM5A-LR
MPI-ESM-LR	CMCC-CMS	IPSL-CM5A-MR
MPI-ESM-MR	CNRM-CM5	IPSL-CM5B-LR
MRI-CGCM3	CSIRO-Mk3-6-0	MIROC4h
	GFDL-CM2p1	

## Proyección de la lluvia a partir de modelos globales climáticos

La continua emisión de gases de efecto invernadero (GEI) causará aún mayor calentamiento de la temperatura del aire y la TSM (IPCC, 2013). ¿Cuál es la respuesta de las lluvias en la costa norte a este incremento de la TSM? Hoy en día, la herramienta más importante para responder estas preguntas son los modelos globales climáticos (GCMs, por sus siglas en inglés), los cuales nos permiten simular la posible evolución futura de variables climáticas a escala global bajo diferentes escenarios de emisiones de GEI. Sin embargo, los GCMs muestran errores sistemáticos importantes, particularmente en la

Los resultados son generalmente buenos y el MFE describe bien las diferencias en la PP promedio entre los GCMs (correlación mayor a 0.9) pero, como es de esperarse, en general la PP es sobreestimada en gran medida por los GCMs con respecto al observado. Esto se debe a que la TSM promedio es demasiado alta en los GCMs (ver también Takahashi, 2015a), mientras que la  $T_{crit}$  es generalmente menor a la observada (Figura 3). Es decir, en la realidad la TSM promedio es casi  $5^{\circ}\text{C}$  menor que la  $T_{crit}$ , por lo que solo llueve intensamente durante El Niño extraordinario, mientras que la mayoría de los GCMs muestra una TSM promedio por encima de la  $T_{crit}$ , permitiendo que llueva intensamente todo el tiempo.

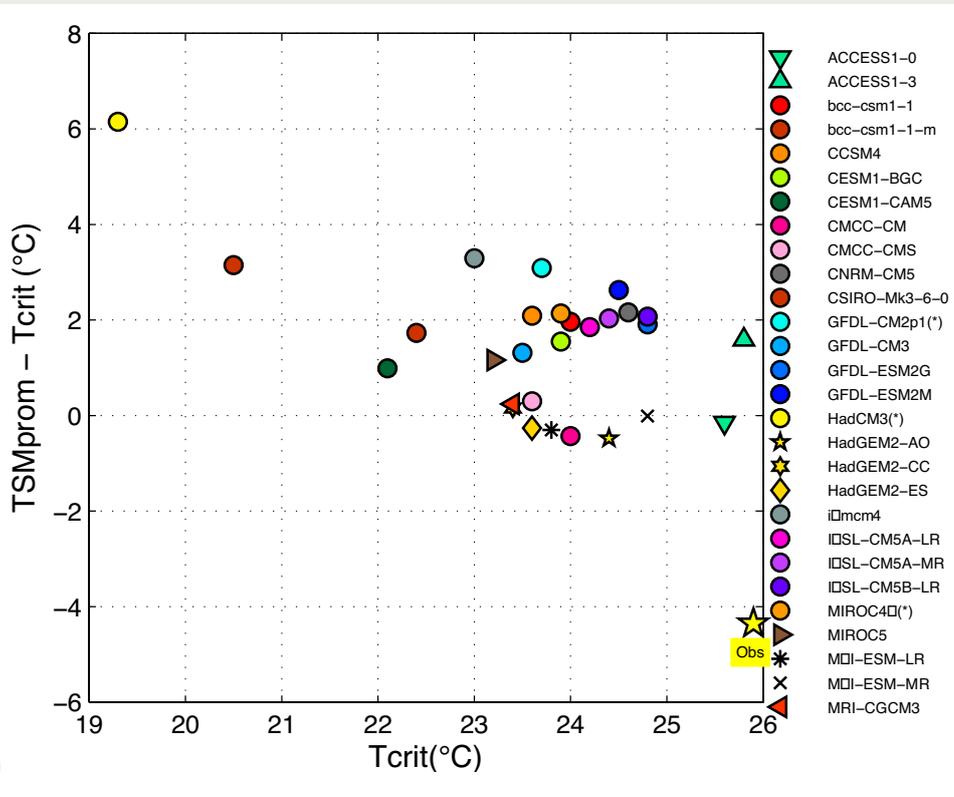


Figura 3: Dispersión entre la Tcrit y el índice de inestabilidad (TSM promedio menos Tcrit), según las observaciones (estrella amarilla) y GCMs para el escenario histórico (círculos indican buen ajuste).

## ¿Cómo cambiaría la lluvia en el futuro?

A pesar de los errores sistemáticos de los GCMs, estos son de gran utilidad para estimar la señal del cambio climático, por lo menos debido al incremento de GEI. Por otro lado, es interesante analizar, “con pinzas”, cuáles serían los posibles cambios que los GCM muestran en consenso y cuáles son sus implicancias para nuestro país. Por ejemplo, algunos resultados con respecto al cambio en la región tropical debidos al cambio climático son: incremento de la lluvia (Meehl et al., 2007; Huang et al., 2013), la importancia del incremento de TSM y su influencia dominante en los patrones de lluvia (Xie et al., 2010) y finalmente la evidencia de que la Tcrit aumentaría (Johnson y Xie, 2010). Sin embargo, debido a errores comunes entre modelos, el consenso no es necesariamente indicativo de certidumbre. En el Pacífico Oriental, los modelos mismos son la principal fuente de incertidumbre de las proyecciones futuras de lluvia (Rowell, 2012).

Se estimó la lluvia futura usando el MFE con la TSM, Tcrit y a observada más los cambios en los parámetros ( $\Delta Tcrit$ ,

$\Delta a$ ,  $\Delta TSM$  prom), de esta forma no se consideraron los errores sistemáticos de cada GCM. Como resultado, el conjunto de los GCMs actuales proyectan un incremento de -5 hasta un 60% en la PP mensual promedio al año 2100 (abscisas de la Figura 4), para Piura.

Sin embargo, estimando el cambio porcentual de lluvia usando MFE, corrigiendo los errores sistemáticos, varía de -60% a 60% (ordenadas de la Figura 4).

Sin corrección, todos los GCMs y la PP promedio estimada con el MFE incrementan. Sin embargo, después de la corrección, solo los modelos con buen ajuste muestran cambios positivos. Se debe notar también que si bien en términos porcentuales el MFE parecería producir resultados similares a los GCMs, en términos absolutos estos últimos proyectan aumentos mucho mayores debido a que sobre-estiman el presente.

De todas formas estos resultados evidencian la incertidumbre respecto a cómo cambiará la lluvia frente a un cambio climático debido al incremento de gases efecto invernadero (GEI).

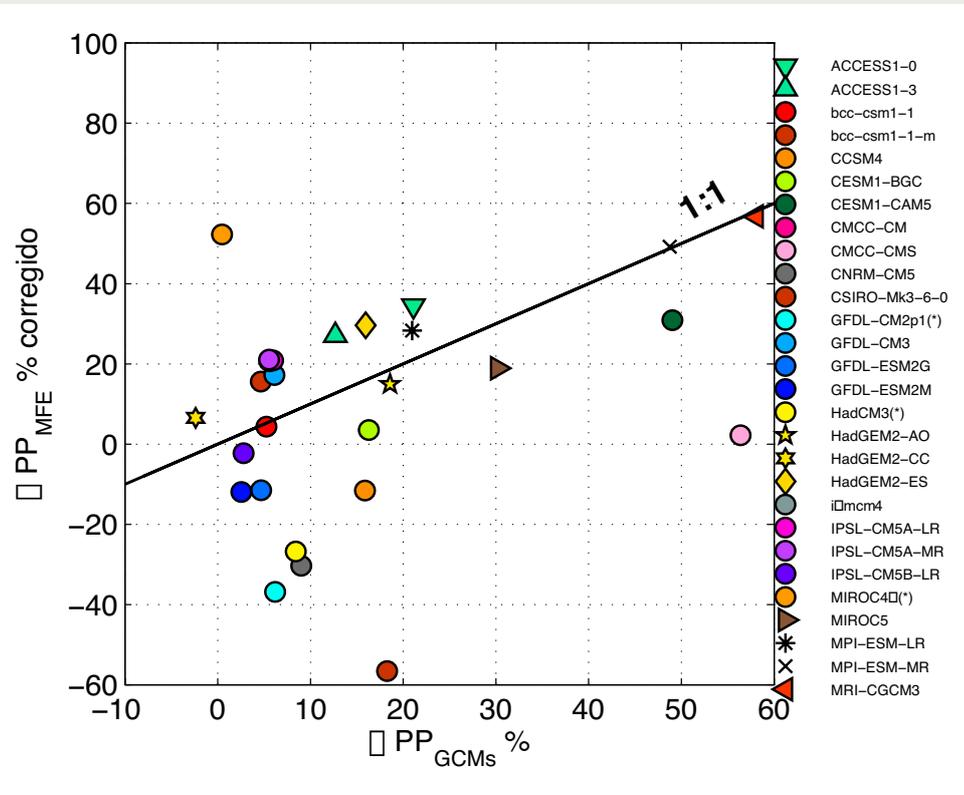


Figura 4: Dispersión entre el cambio de PP promedio (%) de los GCMs y el MFE, pero con corrección (%).

## ¿Cuánto es la influencia de El Niño en la lluvia del futuro?

El cambio de la frecuencia y amplitud de El Niño bajo escenario de cambio climático aún es incierto en escalas regionales. Sin embargo, con alta confianza se espera que El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) continúe siendo la fuente dominante de la variabilidad interanual del clima (IPCC, 2013). Además, con el cambio climático, debido a un incremento de GEI, se espera que el estado medio del clima del futuro cambie y dicho cambio afectaría el comportamiento de El Niño (Christensen et al., 2013). Por ejemplo, en el clima del futuro podría darse un debilitamiento de los vientos alisios y la superficialización de la termoclina (Vecchi y Soden, 2007). Además de la gran incertidumbre que muestran los resultados de la proyección de El Niño, hay un delicado balance entre los procesos de retroalimentación en el ciclo del ENSO y su relativa modificación por el cambio climático que difiere bastante entre los GCMs (Xie et al., 2015).

A pesar de todas las incertidumbres existentes con respecto a los cambios proyectados de El Niño en el futuro,

se estima que el aumento en la humedad atmosférica posiblemente producirá un aumento en la intensidad de los eventos de lluvia extrema asociados a El Niño, aún cuando este último no cambie (Christensen et al., 2013). Además, el incremento de lluvia durante El Niño sobre el Pacífico Ecuatorial-Central podría intensificarse debido a que la barrera de convección atmosférica se reducirá. Esto significa que la atmósfera será más inestable o la Tcrit disminuirá en esta zona (Power et al., 2013; Cai et al., 2014). Sin embargo, así como la TSM promedio aumentará, también la Tcrit lo ha venido haciendo (Johnson & Xie, 2010) y continuará según la mayoría de los GCMs (Ramos, 2014). Por lo tanto, la intensidad de la lluvia durante El Niño dependería del efecto combinado de ambos incrementos en el cambio total.

La lluvia de los años hidrológicos durante El Niño extraordinario (1982-1983 y 1997-1998) corresponde al 67% del total acumulado en la ciudad de Piura en todo el periodo 1968-2005. Es razonable esperar que el aumento de la lluvia total con el cambio climático estará dominado también por El Niño extraordinario. Usando el MFE y repitiendo las temperaturas observadas en el periodo 1968-2005, pero con un calentamiento promedio

asociado al cambio climático, así como con los cambios en los parámetros del mismo MFE, la versión futura de estos eventos El Niño extraordinarios contribuye entre 40 y 100% del cambio promedio en la lluvia, según el GCM considerado. Estos resultados entonces indican que no solo el cambio climático podrá incrementar la lluvia promedio en Piura, sino este aumento en gran parte podría estar concentrado en los eventos El Niño extraordinario.

## Referencias

Bellucci, A., S. Gualdi, & A. Navarra, 2010: *The Double-ITCZ Syndrome in Coupled General Circulation Models: The Role of Large-Scale Vertical Circulation Regimes*, *Journal of Climate*, 23, 1127–1145, doi:10.1175/2009JCLI3002.1.

Cai, W. J., et al, 2014: *Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming*, *Nature Climate Change*, 4, 111–116.

Christensen, J. H., et al, 2013: *Climate phenomena and their relevance for future regional climate change*, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Stocker, T.F. et al., 1217–1308, Cambridge University Press.

Graham, N. E., & T. P. Barnett, 1987: *Sea Surface Temperature, Surface Wind Divergence*, 238 (4827), 657–659.

Huang, P., S.-P. Xie, K. Hu, G. Huang, and R. Huang, 2013: *Patterns of the seasonal response of tropical rainfall to global warming*, *Nature Geosciences*, 6, 357 – 361, doi:10.1038/NGEO1792.

IPCC, *Summary for policymakers, Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Stocker, T.F. et al., 1–29, Cambridge University Press.

Johnson, N. C., and S.-P. Xie, 2010: *Changes in the sea surface temperature threshold for tropical convection*, *Nature Geosciences*, 3, 842–845, doi:10.1038/ngeo1008.

Meehl, G., et al., 2007: *Global climate projections Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 747–845, Cambridge University Press.

Power, S., F. Delage, C. Chung, G. Kociuba, & K. Keay, 2013: *Robust twenty-first-century projections of El Niño and related precipitation variability*, *Nature*, 502, 541–545.

Ramos, Y., 2014: *Estimación del efecto del cambio climático en la precipitación en la costa norte del Perú usando simulaciones de según los modelos climáticos globales*, Tesis Ing. Meteoróloga de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Rowell, D., 2012: *Sources of uncertainty in future changes in local precipitation*, *Climate Dynamics*, 39, 1929–50.

Takahashi, K., 2015: *Modelos climáticos y sus errores promedio en el Pacífico*, *Boletín Técnico “Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño”*, 2, 6, Junio, 4–8, Instituto Geofísico del Perú.

Vecchi, G. A., B. J. Soden, A. T. Wittenberg, I. M. Held, A. Leetmaa, & M. J. Harrison, 2006: *Weakening of tropical Pacific atmospheric circulation due to anthropogenic forcing*, *Nature*, 441, 73–76. doi: 10.1038/nature04744.

Woodman, R., 1999: *Modelo estadístico de pronóstico de las precipitaciones en la costa norte del Perú. El Fenómeno El Niño. Investigación para una prognosis*, 1er encuentro de Universidades del Pacífico Sur: Memoria 93–108, Piura-Perú.

Woodman, R., y K. Takahashi, 2014: *¿Por qué no llueve en la costa de Perú (salvo durante El Niño)?* *Boletín Técnico “Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño”*, 1, 6, Junio, 4–7, Instituto Geofísico del Perú.

Xie, S.-P. and S.G.H. Philander, 1994: *A coupled ocean-atmosphere model of relevance to the ITCZ in the eastern Pacific*, *Tellus*, 46A, 340–350.

Xie, S.-P., C. Deser, G. A. Vecchi, J. Ma, H. Teng, and A.T. Wittenberg, 2010: *Global warming pattern formation: Sea surface temperature and rainfall*, *Journal of Climate*, 23, 966–986.

Xie, S.-P., C. Deser, G. A. Vecchi, M. Collins, T. L. Delworth, A. Hall, E. Hawkins, N. C. Johnson, C. Cassou, A. Giannini, and M. Watanabe, 2015: *Towards predictive understanding of regional climate change*, *Nature Climate Change*, Published online 7 September 2015, doi:10.1038/nclimate2689.

## Clasificación de la onda Kelvin ecuatorial según la magnitud del viento al oeste del Pacífico

Andrés Flores<sup>1</sup> y Kobi Mosquera<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Geofísico del Perú

Se sabe que la onda Kelvin cálida ecuatorial (*downwelling Kelvin wave*) es un proceso muy importante en el Pacífico, ya que su evolución hacia el este, a lo largo de la franja ecuatorial, altera la normal evolución estacional de las distintas variables, tales como el nivel medio del mar, la temperatura del mar y las corrientes zonales (ver Mosquera, 2014). Estas alteraciones se repiten a lo largo de la costa una vez que la onda alcanza el continente americano. En el caso particular del Perú, la onda Kelvin cálida incrementa la profundidad la termoclina y, en consecuencia, afecta el recurso pesquero, el cual se profundiza o migra hacia el sur. Por otro lado, si la onda Kelvin cálida arribara en la estación de verano, en donde estacionalmente la temperatura superficial del mar (TSM) es más alta, está contribuiría a incrementar aún más la TSM y alcanzar valores extremos que podrían provocar intensas precipitaciones en la región norte (Woodman, 1999). Es por este motivo que estudiar la onda Kelvin ecuatorial, su característica y física, es de suma importancia para el Perú, ya que un mejor entendimiento nos permitirá un mejor pronóstico de su impacto.

En esta ocasión se muestran los avances obtenidos para la clasificación de la onda Kelvin ecuatorial forzada por el viento. Para esto se usan las anomalías de vientos zonales, básicamente las anomalías del oeste que son las que forman las ondas Kelvin cálidas, del proyecto TAO (*Tropical Atmospheric Oceanic*: [www.pmel.noaa.gov/tao](http://www.pmel.noaa.gov/tao)) desde el 01 de enero de 1993 hasta el 31 de diciembre del 2014. En esta ocasión se tomó como zona de generación de las ondas Kelvin la región ubicada al oeste de la línea internacional de cambio de fecha ( $180^\circ$ ). Con esta consideración se procedió a calcular el promedio de la información de vientos zonales de tres boyas localizadas en  $147^\circ\text{E}$ ,  $156^\circ\text{E}$  y  $165^\circ\text{E}$ , previamente esta información fue promediada entre  $2^\circ\text{S}$  y  $2^\circ\text{N}$ . El resultado de esto es una serie de tiempo a la que luego se le sustrajo

la media mensual con el fin de obtener la variación intraestacional. Con esta nueva serie de tiempo se calcularon las fechas en las que las anomalías de viento del oeste alcanzaron valores por encima de los 3 m/s (valor referencial que será ajustado más adelante), las que sumaron 48 eventos. De este número de eventos, 4 pertenecieron a vientos superiores a 5 m/s, 10 a velocidades entre 4 y 5 m/s y 33 a vientos entre 3 y 4 m/s. En general, estas fechas son importantes, pues serán la base para obtener la evolución de las ondas Kelvin desde el momento en que se da el pulso de viento.

En esta ocasión se recuperó, a partir de cada una de las fechas obtenidas del viento intraestacional del oeste, 60 días de información de la profundidad de la isoterma de  $20^\circ\text{C}$  (termoclina) a escalas de tiempo intraestacional (entre 30 y 120 días) en la franja ecuatorial. Luego se reunieron en tres grupos basados en la intensidad de la anomalía del viento. Los elementos de cada grupo se promediaron para tener tres patrones de evolución de la profundidad de la termoclina intraestacional, que claramente es el patrón de la onda Kelvin, es decir tienen un desplazamiento hacia el este, tal como se muestra en la Figura 1. En esta se aprecia el patrón de la termoclina forzada por un viento del oeste de (a) 3 m/s, (b) 3 – 4 m/s y (c) mayor a 5 m/s. Es claro de esto que a mayor forzante de viento, mayor el alcance espacial de la onda Kelvin. En (b) el máximo de la profundidad de la termoclina se da entre la línea internacional de cambio de fecha y  $170^\circ\text{W}$ , mientras que en (c) una forzante de 5 m/s puede llegar a  $150^\circ\text{W}$  y  $140^\circ\text{W}$ . Un aspecto interesante es que, según estos resultados, las ondas Kelvin forzadas por vientos del oeste mayores a 5 m/s se harían más rápidas luego de  $170^\circ\text{W}$ , esto no se observa en los otros patrones que mantienen una misma velocidad de propagación. Asimismo, la señal de la ondas deja de ser intensa (para todos los casos) antes de  $120^\circ\text{W}$ .

# Clasificación de la onda Kelvin ecuatorial según la magnitud del viento al oeste del Pacífico

Flores A. y Mosquera K.

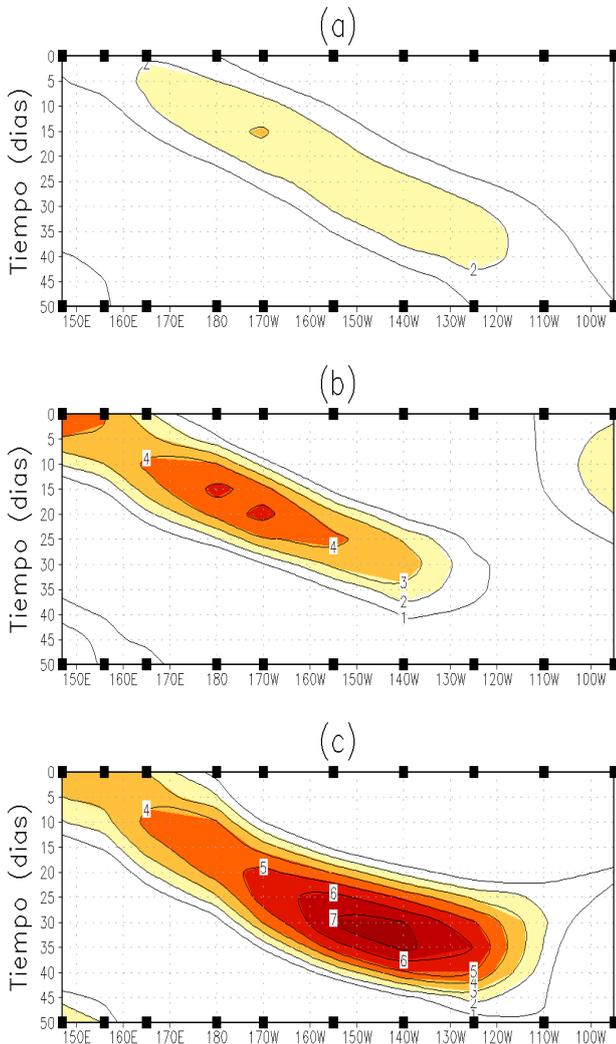


Figura 1. Promedio de los patrones de evolución de la anomalía intraestacional de la profundidad de la isoterma de 20°C (termoclina) en metros a lo largo de la franja ecuatorial relacionado a un forzante de viento intraestacional de (a) entre 3 y 4 m/s, (b) 4 y 5 m/s y (c) vientos mayores a 5 m/s. Los cuadrados a lo largo de los ejes superior e inferior indican la posición de las boyas del proyecto TAO.

Es necesario indicar que el desarrollo de la onda Kelvin a lo largo de la franja ecuatorial depende de muchos factores, como la variación zonal de la profundidad de la termoclina de oeste a este. En un estado promedio, la profundidad de la termoclina es mayor en el oeste que en el este, lo cual genera un gradiente zonal alrededor de 120°W que, como se ha visto en Mosquera-Vásquez et al. (2014), puede provocar un cambio en las características de la onda, como lo es su velocidad. Básicamente se harían más lentas luego de cruzar aquella región. Asimismo, esta pendiente de la termoclina provocaría que parte de la energía se refleje como onda Rossby, cuyo campo de velocidad zonal asociado podría influir en una advección hacia el oeste de la TSM en dicha región (Mosquera-Vásquez et al., 2013).

## Referencias

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

Mosquera-Vásquez, K., B. Dewitte and S. Illig, 2014: The Central Pacific El Niño Intraseasonal Kelvin wave, *Journal of Geophysical Research*, doi: 10.1002/2014JC010044.

Mosquera-Vásquez, K., B. Dewitte, S. Illig, K. Takahashi, and G. Garric, 2013: The 2002-03 El Niño: Equatorial waves sequence and their impact on sea surface temperature, *Journal of Geophysical Research*, doi: 10.1029/2012JC008551.

Woodman, R. F., 1999: Modelo estadístico de pronóstico de las precipitaciones en la costa norte del Perú. *El Fenómeno El Niño. Investigación para una prognosis*, 1er. encuentro de Universidades del Pacífico Sur: Memoria, 93-108.

# Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2015-8

**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 Índice Costero El Niño (ICEN) para el mes de julio las condiciones climáticas de la costa peruana fueron cálidas fuertes (2.15°C), manteniéndose la presencia de El Niño Costero, el cual ha alcanzado, hasta el momento, una magnitud cálida moderada. El valor preliminar del ICEN para el mes de agosto también indica condición cálida fuerte. El pronóstico de la temperatura superficial del mar de los modelos numéricos internacionales, con condiciones iniciales del mes de agosto, indica en promedio que los estados climáticos se ubicarían en el rango de fuertes, tanto en octubre como en noviembre en el Pacífico Oriental. Estos mismos resultados numéricos predicen que para el Pacífico Central las condiciones serían cálidas muy fuertes estos meses.

La onda Kelvin cálida, formada a fines de julio entre 160°E y 180° (línea de cambio de fecha), continúa su trayectoria hacia el Pacífico Ecuatorial Oriental. Según la simulación numérica, la onda estaría arribando a nuestras costas a finales de setiembre e inicios 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 2015 del producto ERSST v3b generados por el *Climate Prediction Center* (CPC) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, EE.UU.), se ha calculado el Índice Costero El Niño (ICEN; ENFEN 2012) hasta el mes de julio de 2015. Los valores se muestran en la Tabla 1.

Año	Mes	ICEN (°C)	Condiciones costeras del mes
2015	Abril	0.68	Cálida Débil
2015	Mayo	1.36	Cálida Moderada
2015	Junio	1.96	Cálida Fuerte
2015	Julio	2.15	Cálida Fuerte

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

Según los valores del ICEN, **se confirma que la condición climática para julio de 2015 es de CÁLIDA FUERTE**. Se recuerda que, de manera operacional, para declarar El Niño o La Niña en la costa, las condiciones costeras deben ser cálidas o frías por al menos tres meses consecutivos (ENFEN, 2012). **Por lo tanto, como se ha indicado en el**

informe anterior, actualmente se está desarrollando EL NIÑO COSTERO que, hasta el momento, ha alcanzado una MAGNITUD MODERADA (ver Tabla 1).

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

Actualmente el IGP cuenta con datos observacionales alternativos para el monitoreo de las ondas ecuatoriales, estos son adicionales a los datos de TAO (Takahashi et al., 2014). En particular, se han producido diagramas longitud-tiempo (Hovmöller) de las anomalías de nivel del mar calculadas de JASON-2 (Mosquera et al., 2014), de la profundidad de la isoterma de 20°C calculada de Argo (Aparco et al., 2014), y esfuerzo de viento zonal. Asimismo, el IGP cuenta con un modelo oceánico lineal (Mosquera, 2009; 2014 y Mosquera et al., 2011) que permite el monitoreo y predicción de la onda Kelvin. Este modelo usa tanto una profundidad referencial de la termoclina uniforme (LOM1) como variable (LOM2). Ambas configuraciones fueron forzadas usando anomalías de vientos superficiales obtenidas de ASCAT hasta el 28 de agosto de 2015. Este modelo es luego corrido en modo de pronóstico con las anomalías de viento i) igualadas a cero (LOM1a y LOM2a) y ii) iguales al promedio de los últimos 30 días (LOM1b y LOM2b).

En el presente mes, los productos de ARGO (Figura 1c), JASON-2 (Figura 1d) y del modelo lineal (Figura 1e) muestran que la onda Kelvin cálida, que se generó a fines de julio, se ha fortalecido como consecuencia de las anomalías de viento del oeste en el Pacífico Central. Si los vientos en el extremo oriental permanecieran climatológicos, entonces el núcleo de la onda Kelvin cálida arribaría al extremo oriental, según la simulación numérica, a fines de setiembre e inicios de octubre. Esta onda contribuirá en mantener al actual calentamiento en la costa peruana.

## Pronóstico estacional con modelos climáticos

Para el mes de octubre, los pronósticos de la anomalía de la TSM en el Pacífico Oriental (Niño 1+2, ICEN) indican condiciones, principalmente, "cálidas fuertes" (5 de 8 modelos) y condiciones moderadas (3 de 8 modelos). Para el mes de noviembre, 5 de 8 modelos indican condiciones fuertes y 3 de 8 modelos condiciones moderadas (Figura 2). Por otro lado, en el Pacífico Central (Niño 3.4) los modelos indican que las condiciones estarán en el rango de "cálidas muy fuerte" para los meses de octubre y noviembre; las condiciones "cálidas muy fuerte" continuarían para los trimestres Setiembre-Octubre-Noviembre y Diciembre-Enero-Febrero 2016.

# Resumen del Informe Técnico

## PPR/EI Niño - IGP/ 2015-8

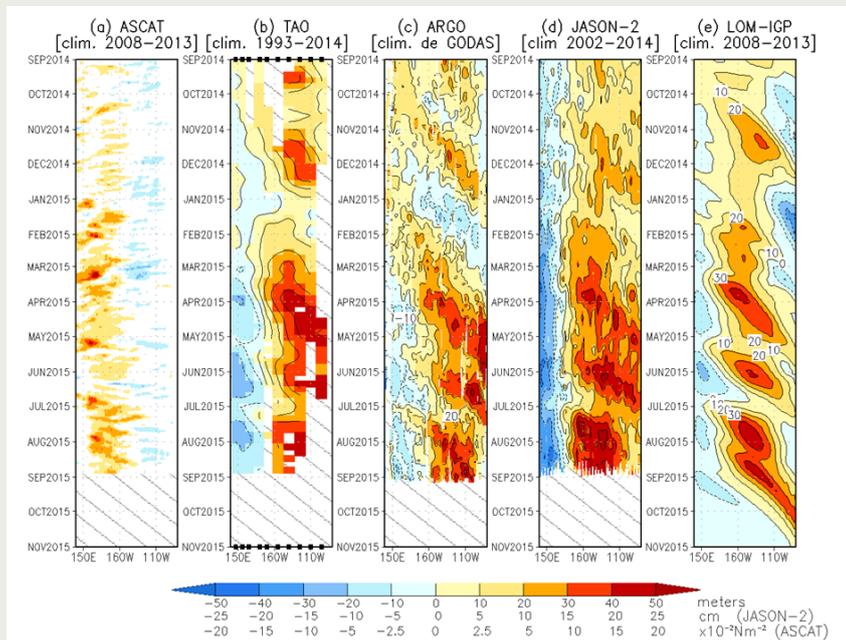


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO (b) y los derivadores de Argo (c), datos del nivel del mar de JASON-2 (d). Finalmente en (e) se muestra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

## Conclusiones

1. A pesar que el ICEN para julio de 2015 es de 2.15°C (cálida fuerte), El Niño costero hasta ahora muestra una magnitud moderada.

2. La onda Kelvin cálida, formada por el pulso de viento del oeste de la segunda quincena de junio e intensificada en julio por las anomalías positivas de viento zonal (que alcanzaron una máxima extensión zonal en los primeros días de julio), se ha debilitado en el extremo este del Pacífico, posiblemente debido a la intensificación de los vientos alisios en esta región, aunque también puede deberse a variaciones estacionales en la termoclina. Por otro lado, esta onda contribuiría a mantener cálido el Pacífico Ecuatorial Oriental más lejos de la costa.

3. La onda Kelvin cálida, formada por un pulso de viento del oeste a fines de julio y localizado entre 160°E y la línea de cambio de fecha, se ha fortalecido como consecuencia de las anomalías de viento del oeste en el Pacífico Central. Si los vientos en el extremo oriental permanecieran climatológicos, entonces el núcleo de la onda Kelvin cálida arribaría al extremo oriental, según la simulación numérica, a fines de setiembre e inicios de octubre. Esta onda contribuirá en mantener al actual calentamiento en la costa peruana.

4. Para el Pacífico Oriental (Niño 1+2), la mayoría de modelos (7 de 8) inicializados en agosto indica que El Niño costero en marcha habría alcanzado magnitud fuerte (1 de 8 indica moderado). El pico habría sido en julio. Hacia inicio del 2016, todos los modelos predicen menores anomalías de TSM, pero aún correspondientes a condiciones cálidas. Sin embargo, los modelos tienden a subestimar

Modelo	Inicio	Extremo	Final	Magnitud
CFS2	abr-15	ago-15	No disponible	Moderado
CMC1	abr-15	ago-15	No disponible	Fuerte
CMC2	abr-15	ago-15	No disponible	Fuerte
GFDL	abr-15	dci-15	No disponible	Fuerte
NASA	abr-15	set-15	No disponible	Fuerte
GFDL_FLOR	abr-15	ago-15	No disponible	Fuerte
NCAR_CCSM4	abr-15	nov-15	No disponible	Fuerte
NMME(prom)	abr-15	ago-15	No disponible	Fuerte
ECMWF		oct-15	-	
OBSERVADO	abr-15	Julio-15	-	-

Tabla 2. Pronósticos de evento El Niño en la costa según modelos climáticos con condiciones iniciales de agosto de 2015.

las anomalías positivas en esta región. El predictor de viento zonal (Takahashi & Dewitte, 2015) estimado hasta mediados de agosto tiene un valor similar al de agosto 1997, indicando por sí solo alta probabilidad de El Niño extraordinario.

5. Para el **Pacífico Central** (Niño 3.4), todos los modelos inicializados en agosto que han sido considerados indican que El Niño continuaría hasta al menos fines del 2015. La mayoría de modelos (8 de 11) indica que El Niño alcanzaría una magnitud muy fuerte hacia finales del 2015 (3 de 11 entre fuerte y muy fuerte).

6. El fenómeno El Niño continúa su desarrollo en el Pacífico

# Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2015-8

Pronóstico con modelos del ICEN CI 201508

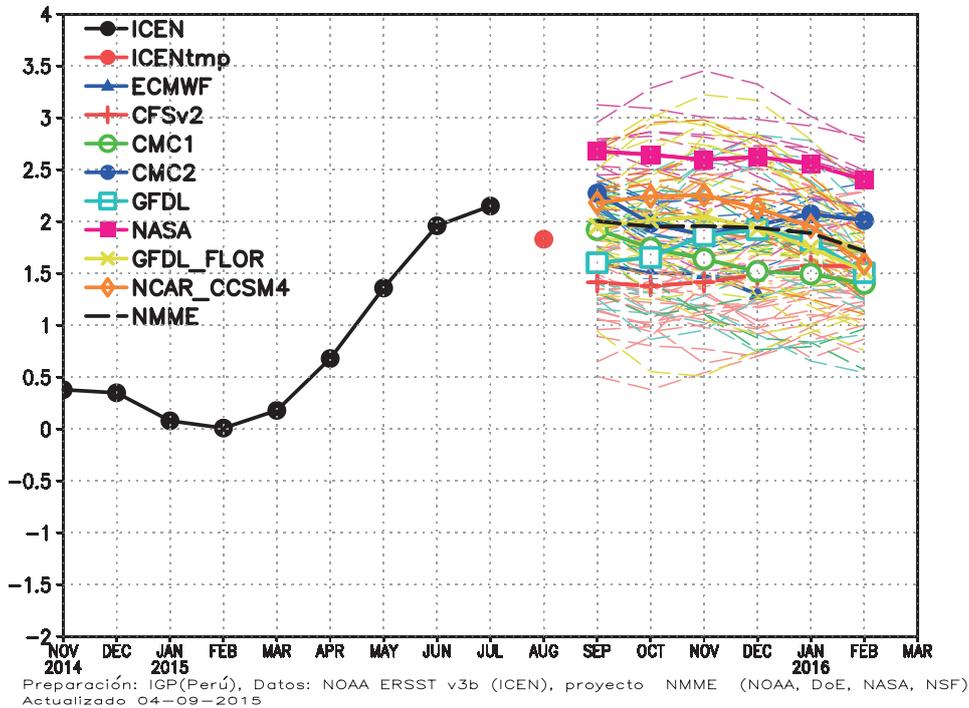


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y sus valor temporal (ICENtmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de tres meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Las líneas entrecortadas corresponden a los miembros de los "ensembles". Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA GFDL\_FLOR y NCAR\_CCISM4 tienen como condición inicial el mes de agosto de 2015. El modelo ECMWF tiene como condición inicial el mes de agosto de 2015. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME, ECMWF).

Central Ecuatorial. Es decir, el acoplamiento océano - atmósfera de gran escala en zona ecuatorial está presente y se observa en los siguientes parámetros: vientos del oeste en el Pacífico Oeste, convección en la zona central y oriental y TSM similares a la de El Niño extraordinario 1997/1998. Esto último, sumado a los resultados de los modelos numéricos, indica que el evento podría intensificarse incluso hasta finales de 2015.

## 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", Vol. 1, N°5, Mayo, Instituto Geofísico del Perú.

Barnston, A., M. Tippett, M. L'Heureux, S. Li, D. DeWitt, 2012: Skill of Real-Time Seasonal ENSO Model Predictions during 2002-11: Is Our Capability Increasing? Bulletin American Meteorological Society, 93, 5, 631-351.

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

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

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

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

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

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

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", Vol. 1, N°1, Enero, Instituto Geofísico del Perú.

Mosquera, K., B. Dewitte y P. Lagos, 2011: Variabilidad Intra-estacional de la onda de Kelvin ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): simulación numérica y datos observados. Magistri et Doctores, Revista de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 5, 9, p. 55.

Mosquera, K., D. Pareja y K. Takahashi, 2014: Altimetría Satelital para el monitoreo de la onda Kelvin ecuatorial en el Océano Pacífico, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Vol. 1, N°4, Abril, Instituto Geofísico del Perú.

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

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

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

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

# Comunicado Oficial ENFEN

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



### COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 14 - 2015 Estado del sistema de alerta: **Alerta de El Niño Costero**<sup>1</sup>

El Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) mantiene el estado de Alerta, debido a que las condiciones actuales continúan consistentes con un evento cálido de magnitud fuerte, sin presencia de lluvias intensas. Esta situación debe mantenerse en lo que resta del invierno con temperaturas en la costa ligeramente menores de las actuales.

Es probable que El Niño Costero se extienda hasta el verano sin descartar que presente una magnitud fuerte o extraordinaria. A fines de agosto se proporcionará una estimación de la probabilidad de las magnitudes de El Niño Costero para el verano.

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 de la primera quincena de agosto.

En promedio, las anomalías de la temperatura superficial del mar estuvieron alrededor de +1,8°C en la costa centro y norte alcanzando +2,5°C en Paita. Como se indicó en el Comunicado anterior, el valor del Índice Costero El Niño (ICEN) para el mes de junio fue de 1,96°C, el cual corresponde a condiciones cálidas. El valor preliminar actualizado del ICEN para el mes de julio es de 2,23°C, persistiendo una condición cálida fuerte. A lo largo del litoral, las temperaturas del aire continuaron por encima de lo normal, pero con ligera disminución, con anomalías promedio de +1°C para la temperatura mínima y de +1,7°C para la temperatura máxima.

Continúa el fuerte acoplamiento de la atmósfera y el océano de gran escala, con vientos del oeste, convección y temperatura del mar en el Pacífico central similares a las observadas en el año 1997. Asimismo, la termoclina ecuatorial continúa más inclinada hacia el este y, en promedio, más profunda que lo normal. Todo lo anterior evidencia el establecimiento de la fase cálida de El Niño-Oscilación del Sur.

El nivel medio del mar estuvo, en promedio, en la costa norte alrededor de +8 cm por encima de lo normal, mientras que en la zona centro y sur se presentaron valores dentro de lo normal, aunque con anomalías positivas. La estación oceanográfica a 5 millas náuticas frente a Paita continúa presentando anomalías de temperatura del mar alrededor de +2°C sobre los 100 metros de profundidad.

Las lluvias y caudales en la costa del país se presentaron dentro de lo normal para esta temporada. Los reservorios en la costa norte y sur cuentan, en promedio, con almacenamiento al 87% y 61% de su capacidad máxima, respectivamente.

La anchoveta mantuvo su distribución desde Ilo (17°S) hasta el extremo sur. Los indicadores de la biología de la anchoveta (índice gonadosomático<sup>2</sup>), continúa mostrando valores por debajo del patrón histórico. Por otro lado, la anchoveta continúa su periodo de maduración reproductiva previo al desove principal de invierno y primavera.

<sup>1</sup>Definición de "Alerta de El Niño costero": Según las condiciones recientes, usando criterio experto en forma colegiada, el Comité ENFEN considera que el evento El Niño costero ha iniciado y/o el valor del ICEN<sub>tmp</sub> indica condiciones cálidas, y se espera que se consolide El Niño costero (Nota Técnica ENFEN 01-2015).

<sup>2</sup>Índice gonadosomático: Índice que relaciona el peso eviscerado del pez con el peso de la gónada hembra. Es indicador de la actividad reproductiva.

### PERSPECTIVAS

En lo que resta del invierno, en la costa peruana continuarán las anomalías positivas de la temperatura superficial del mar y del aire, del nivel medio del mar y de la profundidad de la termoclina, típicas de un evento El Niño Costero, aunque con menor magnitud. Sin embargo, se espera que hacia fines de agosto y setiembre se incrementen como consecuencia de la llegada de las ondas Kelvin cálidas formadas a fines de los meses de junio y julio. Asimismo, el calentamiento costero no producirá efectos sustanciales en las precipitaciones por ser temporada seca.

Se espera, de acuerdo a lo observado, que continúe el acoplamiento océano-atmósfera en el Pacífico ecuatorial asociado a la fase cálida de El Niño-Oscilación del Sur, generando nuevas ondas Kelvin cálidas que podrían extender el evento El Niño Costero hacia el verano.

Los valores estimados del ICEN y las corridas más recientes de los modelos climáticos, siguen indicando que el evento El Niño Costero tendría una magnitud fuerte en este invierno. Mientras que, para el Pacífico central (región Niño 3.4), los modelos globales continúan pronosticando la intensificación de las condiciones El Niño hacia fin de año con magnitudes que podrían exceder +2°C.

De acuerdo al análisis del Comité Multisectorial ENFEN, se considera probable que El Niño Costero se extienda hasta el verano con magnitud incierta, sin descartar que pueda alcanzar una magnitud fuerte o extraordinaria.

El Comité Multisectorial ENFEN continuará informando sobre la evolución de las condiciones observadas y proporcionará -al finalizar agosto- una estimación de la probabilidad de las magnitudes de El Niño Costero para el verano.

Callao, 21 de agosto de 2015



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



### COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 15 - 2015 Estado del sistema de alerta: **Alerta de El Niño Costero<sup>1</sup>**

El Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) mantiene el estado de Alerta, debido a que las condiciones actuales continúan consistentes con un evento cálido de magnitud fuerte, sin presencia de lluvias intensas pero con temperaturas en la costa sobre lo normal.

Esta primera fase de El Niño costero sigue declinando ligeramente, pero se estima un 95% de probabilidad de que el evento se extienda hasta el próximo verano, con 55% de que en esta segunda fase pueda **alcanzar las magnitudes observadas en los veranos de 1982-1983 o 1997-1998.**

El Comité Multisectorial 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 del mes de agosto.

En el Pacífico central (región Niño 3.4), las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) continúan aumentando, excediendo +2°C desde la segunda semana de agosto. Asimismo, continúa el fuerte acoplamiento de gran escala entre la atmósfera y el océano, con vientos del oeste, convección y temperatura del mar en el Pacífico central similares, aunque ligeramente menores que las observadas en el año 1997. Igualmente, la termoclina ecuatorial continúa más inclinada hacia el este y, en promedio, más profunda que lo normal. Todo lo anterior es consistente con la fase cálida de El Niño-Oscilación del Sur. Sin embargo, los datos de la profundidad de la termoclina y del nivel medio del mar (NMM) ecuatorial indican que las ondas Kelvin se estarían atenuando parcialmente a partir de aproximadamente 100°W hasta la costa, posiblemente por la acción de anomalías de vientos del este y/o la reflexión de estas ondas por la termoclina somera en esta región. Actualmente se observa la formación de un nuevo pulso de viento del oeste alrededor de la línea de cambio de fecha.

En la zona costera del Perú, el promedio de las anomalías mensuales de la TSM en agosto fue +1,8°C en la costa centro y norte y alcanzó +2,2°C en Paita y Chimbote. A lo largo del litoral, las temperaturas del aire continuaron por encima de lo normal, similares a las del mes anterior, con anomalías promedio de +1,3°C para la temperatura mínima del aire y de +1,8°C para la temperatura máxima del aire. El valor del Índice Costero El Niño (ICEN) para julio es de 2,15°C, correspondiente a condiciones fuertes.

El NMM estuvo, en promedio, en la costa norte, alrededor de +11 cm por encima de lo normal, mientras que en la zona centro y sur las anomalías aumentaron entre 2 y 5 cm con respecto al mes anterior. Después de una disminución inicial, a partir de la segunda quincena de agosto se observó

una recuperación de las anomalías positivas de NMM, probablemente asociada a la llegada de la onda Kelvin cálida esperada para agosto-setiembre. Asimismo, las anomalías de temperatura del mar en la estación oceanográfica a 7 millas náuticas frente a Paita presentó recientemente el valor promedio de +2°C, 1°C menos que el valor del mes anterior (~+3°C).

Las lluvias y caudales en la costa del país se presentaron dentro de lo normal para esta temporada seca. Los reservorios en la costa norte y sur cuentan, en promedio, con almacenamiento al 82% y 59% de su capacidad máxima, respectivamente. La anchoveta presentó una distribución frente a Chimbote y Pisco, y desde Ilo (17°S) hasta el extremo sur. Frente a Chimbote se presentó ligeramente más profunda que lo normal, mientras que frente a Pisco se presentó cerca de la superficie. Los indicadores de la biología de la anchoveta (índice gonadosomático<sup>2</sup> y la fracción desovante<sup>3</sup>), presentaron un incremento, pero por debajo del patrón histórico. Por otro lado, la anchoveta continúa su periodo de maduración reproductiva previo al desove principal de invierno y primavera. Se viene observando la presencia de especies propias de aguas cálidas frente a la costa central como *Sarda chiliensis* "bonito", *Katsuwonus pelamis* "barrilete", *Decapterus macrosoma* "jurel fino", *Coryphaena hippurus* "perico" entre las especies oceánicas, y *Anchoa nasus* "samasa" entre las especies costeras.

#### PERSPECTIVAS

En lo que resta del invierno, en la costa peruana continuarán las anomalías positivas de la TSM y del aire, del NMM y de la profundidad de la termoclina, típicas de un evento El Niño Costero, con un valor mínimo en setiembre correspondiente a condiciones alrededor de moderadas. Actualmente se considera que la probabilidad de que El Niño Costero se mantenga hacia el verano es 95% (Nota Técnica ENFEN N°02-2015; Tabla 1).

Se estima una probabilidad del 55% de que El Niño alcance una magnitud de fuerte o extraordinaria este verano (Nota

Técnica ENFEN N°02-2015; Tabla 1), para que esto ocurra durante octubre y noviembre el calentamiento superficial en el Pacífico oriental deberá ser suficientemente elevado para activar los procesos de amplificación asociados a la activación de lluvia intensa en esta región. Para ello, las ondas Kelvin cálidas en curso y otras nuevas generadas deberán tener un impacto mayor en la TSM en el Pacífico oriental que lo observado recientemente.

Por otro lado, la aparente atenuación de las ondas Kelvin cálidas, así como la presencia de vientos alisios más intensos y la reducción de las anomalías de TSM en el Pacífico oriental, podrían ser indicativos de que el acoplamiento océano-atmósfera en esta región no será suficientemente eficiente para que El Niño alcance magnitudes fuertes o extraordinarias. Se continuará monitoreando esta situación y las estimaciones de las probabilidades serán actualizadas según los nuevos datos.

En lo que resta del invierno el calentamiento costero no producirá efectos sustanciales en las precipitaciones por ser temporada seca. Sin embargo, conforme ingresemos a la temporada de lluvias, El Niño costero, según su magnitud, intensificará las lluvias en la

vertiente del Pacífico dependiendo de las características estacionales hidrológicas de cada región. Si bien El Niño tendrá mayor influencia sobre las lluvias en la costa norte, existe fuerte heterogeneidad del impacto en cada región.

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), los modelos globales continúan pronosticando la intensificación de las condiciones El Niño hacia fin de año con pico en noviembre y magnitudes que podrían exceder +2°C y la evaluación del ENFEN indica un 75% de probabilidad que este alcance una magnitud fuerte o superior (Tabla 2). Para las precipitaciones en los Andes y la Amazonia, El Niño en el Pacífico central implica la posibilidad -sin ser determinante- que incrementen las lluvias en noviembre y se reduzcan alrededor de febrero.

El Comité Multisectorial ENFEN continuará informando sobre la evolución de las condiciones observadas y continuará actualizando mensualmente la estimación de las probabilidades de las magnitudes de El Niño Costero y en el Pacífico central para el verano del hemisferio sur.

Callao-Perú, 3 de setiembre de 2015

Tabla 1. Probabilidades de las magnitudes de El Niño costero en el verano 2015-2016 (diciembre 2015-marzo 2016)

Magnitud del evento durante Diciembre 2015-marzo 2016	Probabilidad de ocurrencia
Normal o La Niña costera	5%
El Niño costero débil	10%
El Niño costero moderado	30%
El Niño costero fuerte	35%
El Niño costero extraordinario	20%

Fuente: Nota Técnica ENFEN N°02-2015

Tabla 2. Probabilidades de las magnitudes de El Niño en el Pacífico central en el verano 2015-2016 (diciembre 2015-marzo 2016)

Magnitud del evento durante Diciembre 2015-marzo 2016	Probabilidad de ocurrencia
Normal o La Niña en el Pacífico central	5%
El Niño débil en el Pacífico central	5%
El Niño moderado en el Pacífico central	15%
El Niño fuerte en el Pacífico central	40%
El Niño muy fuerte en el Pacífico central	35%

Fuente: Nota Técnica ENFEN N°02-2015

<sup>1</sup>Definición de "Alerta de El Niño costero": Según las condiciones recientes, usando criterio experto en forma colegiada, el Comité ENFEN considera que el evento El Niño costero ha iniciado y/o el valor del ICENmp indica condiciones cálidas, y se espera que se consolide El Niño costero (Nota Técnica ENFEN 01-2015).

<sup>2</sup>Índice gonadosomático: Índice que relaciona el peso viscerado del pez con el peso de la gónada hembra. Es indicador de la actividad reproductiva.

<sup>3</sup>Fracción de hembras desovantes: Indica del porcentaje de hembras desovantes en las muestras analizadas. Este índice se obtiene de las lecturas de cortes histológicos de gónadas de hembras (ovarios).





© 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)

En el marco del:

