

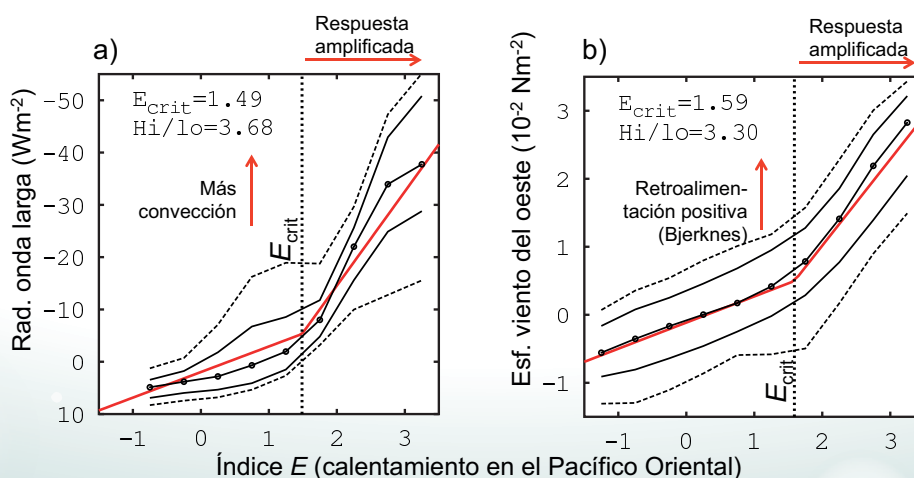
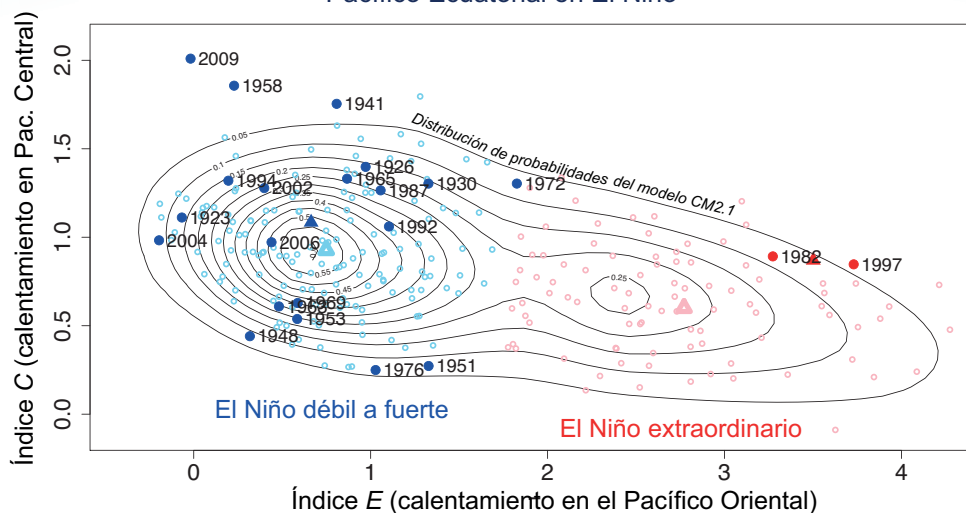
Programa Presupuestal por Resultados N° 068: "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres" Producto: "Entidades informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño"

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

Boletín Técnico

Regímenes de El Niño

Valores de E y C durante el máximo calentamiento en el Pacífico Ecuatorial en El Niño



Contenido

2 - 3 Introducción

4 - 8 Artículo de Divulgación Científica

9 - 10 Avances Científicos

11 - 13 Resumen Informe Técnico

14 - 15 Comunicado Oficial ENFEN

Programa Presupuestal por Resultados N° 68 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”.

Producto: 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: Takahashi & Dewitte, 2015.

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, Junio del 2015

Hecho el Depósito Legal en la
Biblioteca Nacional del Perú N° 2015-07579

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.



IGP



ENFEN

El Instituto Geofísico del Perú es una institución pública al servicio del país, adscrito al Ministerio del Ambiente, que genera, utiliza y transfiere conocimientos e información científica y tecnológica en el campo de la geofísica y ciencias afines, forma parte de la comunidad científica internacional y contribuye a la gestión del ambiente geofísico con énfasis en la prevención y mitigación de desastres naturales y de origen antrópico. En el marco del Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), el IGP rutinariamente aporta información experta sobre modelos y pronósticos relacionados con El Niño y fenómenos asociados.

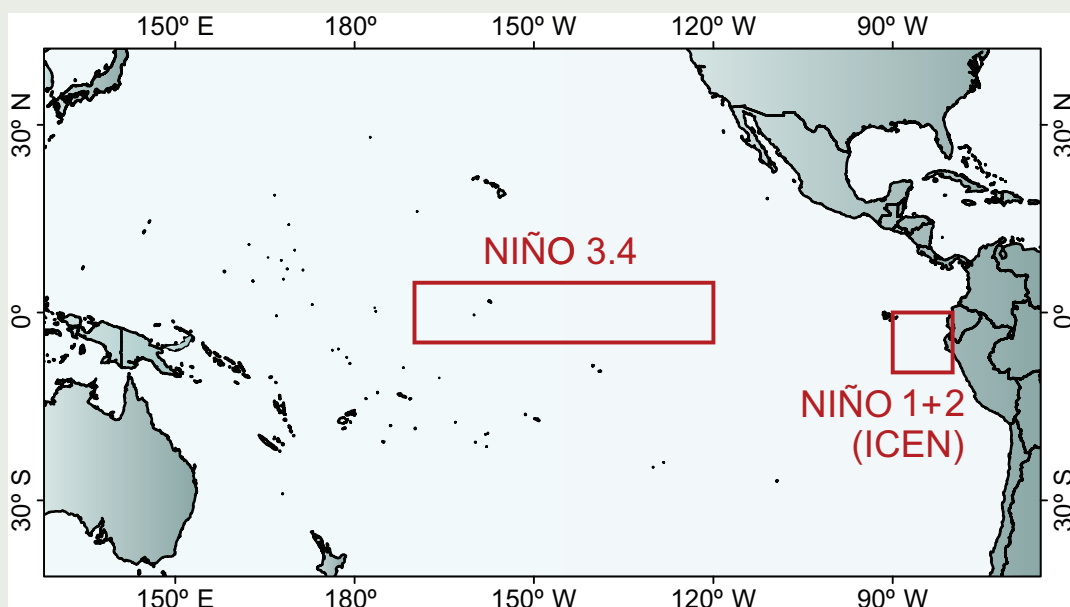
El
ENFEN es el
ente que genera la
información oficial de
monitoreo y pronóstico
del Fenómeno El Niño y
otros asociados.

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

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

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

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



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

Artículo de Divulgación Científica

Física de El Niño extraordinario

Como indicó el oceanógrafo Klaus Wyrski en el año 1975, “no hay dos eventos El Niño iguales”. En un artículo anterior (Takahashi, 2014a) se explicó que recién en la última década la comunidad científica ha empezado a explorar en forma sistemática las diferencias entre los eventos El Niño. Sin embargo, como es lo usual al inicio de una nueva línea de investigación, ha habido diversidad de enfoques en la comunidad científica. El más popular hasta el momento ha sido el de clasificar los eventos según dónde, a lo largo del Pacífico Ecuatorial, se observan las mayores anomalías positivas de temperatura superficial del mar (TSM). Si bien los detalles de cómo se hace esto pueden dar lugar a resultados sutilmente distintos, la mayoría coinciden en dos tipos de El Niño: uno clásico con el máximo calentamiento en el Pacífico Ecuatorial Oriental y otro tipo con el máximo en el Pacífico Central.

Una razón importante para este enfoque es que las teleconexiones atmosféricas que comunican los impactos de El Niño y La Niña del Pacífico Tropical al resto del mundo son sensibles a las anomalías de la TSM en el Pacífico Central, por lo que dónde ocurren dichas anomalías es clave para esta aplicación (Larkin & Harrison, 2005; Ashok et al., 2007). Por otro lado, desde un punto de vista físico, no es claro que los dos tipos correspondan a fenómenos distintos (ej. Ashok et al., 2007), sino más bien parece que fueran variedades dentro de un espectro continuo de tipos (Capotondi et al., 2015).



Ph. D. Ken Takahashi Guevara
Investigador Científico del
Instituto Geofísico del Perú

Ph. D. en Ciencias Atmosféricas de la University of Washington, Seattle, EEUU y Físico de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Actualmente es investigador científico en el Instituto Geofísico del Perú, donde está a cargo del área de Investigación en Variabilidad y Cambio Climático, y representa al IGP en el Comité Técnico del ENFEN. Además, es investigador principal del proyecto “Impacto de la Variabilidad y Cambio Climático en el Ecosistema de Manglares de Tumbes”. Recientemente su investigación está enfocada en entender las condiciones que favorecen la ocurrencia de eventos El Niño extremos, los procesos de interacción entre el océano y atmósfera, identificar la variabilidad a escala decadal en el Pacífico sureste.

Regímenes de El Niño

El análisis de Takahashi et al. (2011) mostró que la distinción entre los eventos El Niño del Pacífico Oriental y del Pacífico Central es débil y difusa, con una salvedad: los eventos El Niño de 1982-83 y 1997-98 fueron muy diferentes a todos los demás¹. Esta diferencia se hace evidente en el calentamiento en el Pacífico Oriental, el cual se puede

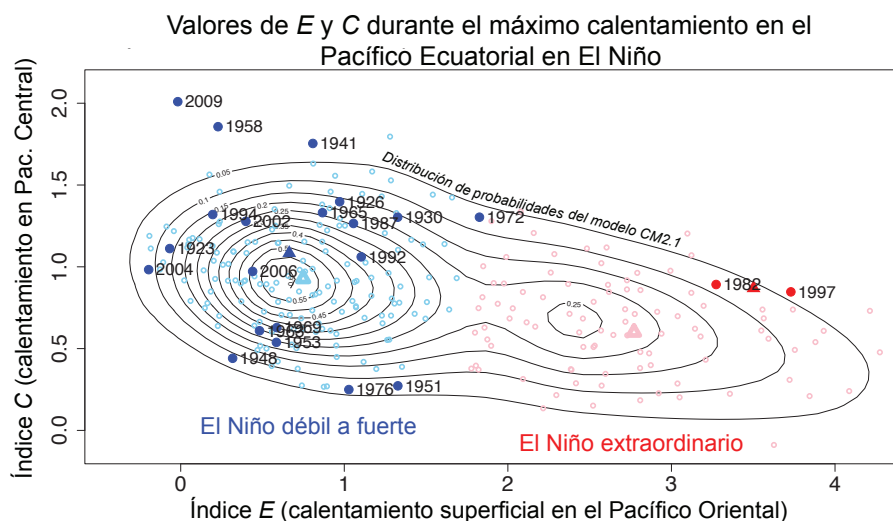


Figura 1. Índices E y C durante los picos de El Niño (según el EOF1 de la TSM ecuatorial) en observaciones (círculos cerrados de color intenso) y el modelo GFDL CM2.1 (círculos abiertos y de color suave). Los clusters k -means se indican con rojo y azul, que en términos de El Niño costero corresponden a El Niño extraordinario y a El Niño entre débil y fuerte, respectivamente. La función de distribución de probabilidades basada en el modelo CM2.1 se indica con contornos. (Adaptado de Takahashi y Dewitte, 2015).

¹Takahashi et al. (2011) también incluyen al evento El Niño 1877-78 como posiblemente extraordinario, aunque los datos son bastante menos confiables.

Ph. D. Boris Dewitte

Investigador Científico del
Laboratoire d'Etudes en Géophysique et
Océanographie Spatiales



Ph. D. en Oceanografía Física de la Université Paul Sabatier, Toulouse, Francia, e Ingeniero en mecánica de fluido de la Escuela Nacional de Aeronáutica y Espacio (Supaero). Desde el año 1999 es investigador científico del Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (LEGOS), donde se desempeña como especialista en oceanografía física y dinámica tropical. Forma parte de varios comités científicos internacionales, incluyendo el Scientific Steering Group del programa Climate Variability (CLIVAR). Es autor y revisor de diversos artículos científicos de revistas indexadas internacionales y recientemente su investigación está enfocada en la interacción océano-atmósfera en el Pacífico sur-este y cómo el cambio climático afecta la circulación oceánica y el ciclo hidrológico en la costa.

Procesos no-lineales

En ciencia, el entendimiento de los mecanismos puede ser facilitado mediante el análisis de modelos matemáticos. Entre los posibles modelos, los más sencillos de analizar son los llamados "lineales" los cuales asumen que las variaciones temporales de las variables claves del problema (ej. TSM en el Pacífico Oriental) son simplemente proporcionales a estas variables u otras y no a alguna función complicada de estas. Un ejemplo clásico es el modelo carga-descarga de El Niño-Oscilación Sur (ENOS; ej. Dewitte et al., 2014).

Sin embargo, los modelos lineales por sí solos no pueden representar asimetrías en los fenómenos que describen, ni en los dos regímenes de El Niño (Chen et al., 2015). Un modelo "no-lineal" puede darse de muchas formas. En los últimos años, una forma favorecida por varios investigadores para introducir la no-linealidad en los modelos sencillos de ENOS ha sido a través de los transportes oceánicos de calor (*advección*), proponiendo que estos contribuyen desproporcionalmente al calentamiento superficial asociado a los eventos El

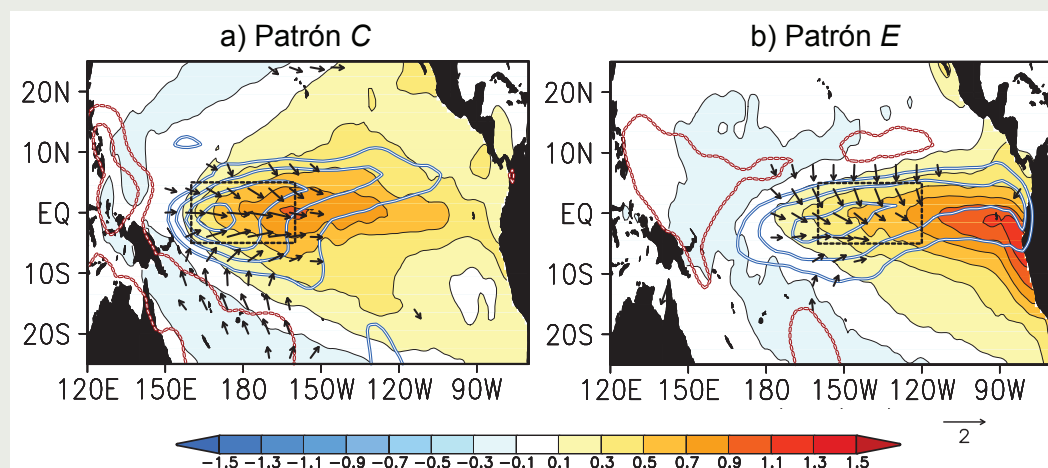


Figura 2. Patrones de regresión lineal entre las anomalías de temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$; colores), esfuerzo de viento (Nm^{-2}) y precipitación (contornos de 0.5, 1, 1.5, 2, y 3 mm/día, azul es positivo y rojo negativo) con los índices a) C y b) E. La caja en el panel b) se usa para los índices promedios en la Fig. 3. (Takahashi y Dewitte, 2015).

cuantificar mediante el índice E (Takahashi et al., 2011) y que en estos eventos fue tan grande (Fig. 1) que la probabilidad de que dichos fenómenos hayan sido simplemente casos extremos de la "población" formada por los otros, se estima en prácticamente nula (Takahashi y Dewitte, 2015). Este estudio también analizó 1200 años de simulaciones con el modelo climático GFDL CM2.1 (Wittenberg et al., 2006), el cual simula bastante bien los eventos extraordinarios, aunque con mayor frecuencia que lo observado. Gracias a esta mayor muestra estadística, se pudo estimar la función de distribución de probabilidades para el modelo, que resultó ser bimodal (contornos en la Fig. 1). Es decir, la distribución muestra dos picos: uno para valores altos de E (cerca de $E = 2.4$ y $C = 0.7$) que corresponde a El Niño extraordinario, y otro para valores de E menores (cerca de $E = 0.7$ y $C = 0.9$) (Fig. 1). La separación clara entre los dos tipos de El Niño sugiere que probablemente existen procesos físicos distintos, al menos cuantitativamente, entre ellos. Es decir, probablemente necesitamos diferentes teorías para explicar El Niño extraordinario y los otros eventos El Niño.

Niño más extremos (Jin et al., 2003; Timmermann et al., 2003; An y Jin, 2004). Sin embargo, con el beneficio de las simulaciones largas con el modelo CM2.1 y una base de datos observacional oceánica más moderna, Takahashi y Dewitte (2015) determinaron que este proceso juega un rol menor en el crecimiento de los eventos extraordinarios.

El otro proceso no-lineal conocido, pero solo recientemente explorado, en la dinámica de ENOS (Dommengat et al., 2012; Choi et al., 2013; Xiang et al., 2013), es la existencia de un umbral que la temperatura superficial debe exceder para que se produzca lluvia intensa, tal como ocurre en la costa norte del Perú durante El Niño (ej. Woodman y Takahashi, 2014). Los patrones de anomalías en radiación de onda larga (ROL, una medida de la nubosidad alta asociada a tormentas intensas) y de esfuerzo de viento zonal asociados a los índices E y C son aproximadamente similares entre sí, pero desplazados en longitud según donde está el máximo en anomalía de TSM (Fig. 2). Tomando los promedios de ROL y el esfuerzo de viento zonal en la región indicada en la Fig.

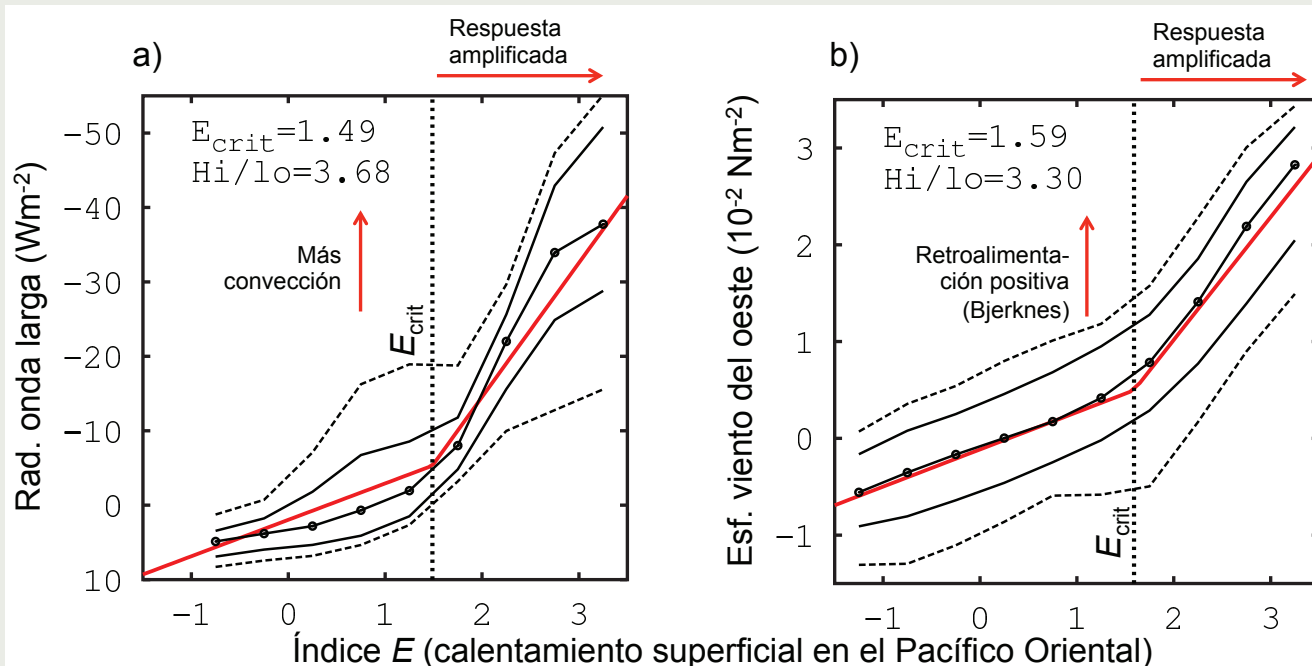


Figura 3. Relación entre el Índice E y a) la radiación de onda larga y b) el esfuerzo de viento zonal mensual promediados sobre la región indicada en la Fig. 2b. Las líneas negras indican los percentiles de 10, 25, 50, 75, y 90% para diferentes valores de E , mientras que las líneas rojas indican el ajuste usando el método MARS. (Adaptado de Takahashi y Dewitte, 2015).

2b, Takahashi y Dewitte (2015) encontraron que la relación con E no es una recta, sino que consiste aproximadamente en dos rectas, con una pendiente más de tres veces mayor por encima de un valor de E crítico (E_{crit}) entre 1.5 y 1.6 (Fig. 3). Esto significa que el proceso de retroalimentación positiva de Bjerknes (1969) que hace crecer El Niño (calentamiento $\rightarrow$ convección $\rightarrow$ viento del oeste $\rightarrow$ calentamiento) aumenta dramáticamente cuando el valor de E es suficientemente alto para exceder E_{crit} , permitiendo que algunos eventos El Niño, inicialmente fuertes, puedan crecer rápidamente hasta volverse extraordinarios (1982-83, 1997-98). Sin embargo, algunos podrían quedar a medio camino, como en 1972-73 (Fig. 1).

Evolución temporal de El Niño extraordinario

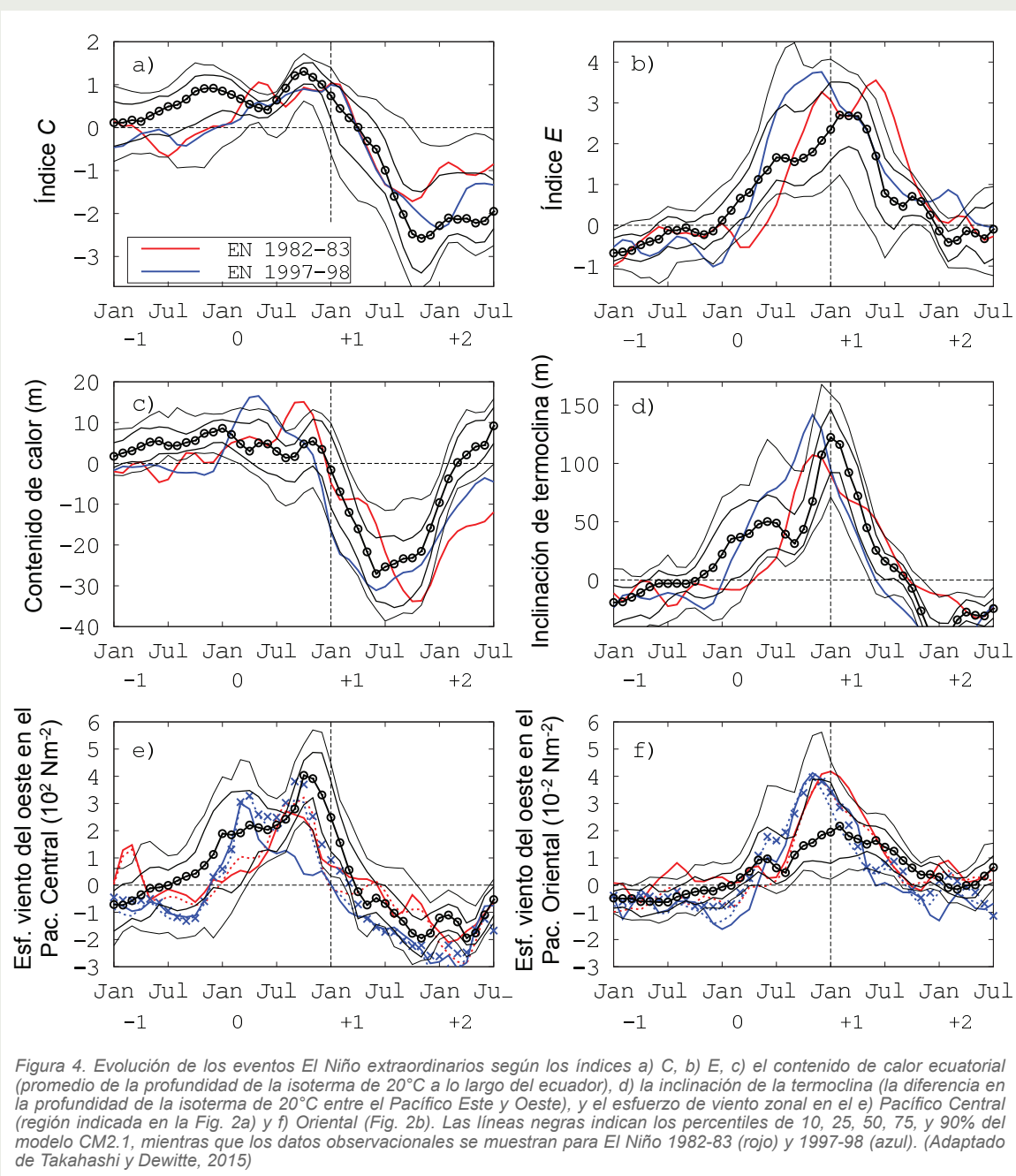
Una de las principales ventajas de que el modelo CM2.1 simule bien El Niño extraordinario es que podemos analizar los diferentes eventos simulados y contrastarlos con los dos observados para determinar aspectos comunes y robustos que podrían ser utilizados para identificar posibles predictores. La evolución temporal de estos fenómenos fue analizada por Takahashi y Dewitte (2015) como función de los meses del año, designando al año 0 como el correspondiente al crecimiento del evento y al año 1 al de su decaimiento (Fig. 4).

En cuanto a los aspectos comunes, se observa el máximo calentamiento en el Pacífico Oriental (pico en E ; Fig. 4b) en la transición entre los años 0 y 1. Previo a esto se registran condiciones cálidas en el Pacífico Central (C positivo; Fig. 4a), así como contenido de calor positivo (Fig. 4c) a lo

largo del año 0. Esto es coherente con el modelo teórico carga-descarga (Jin, 1997; ver Dewitte et al., 2014, para una introducción sencilla), donde el contenido de calor es el predecesor del calentamiento superficial en el Pacífico Oriental. Por otro lado, la inclinación de la termoclina sigue un comportamiento temporal similar al de E (Fig. 4d), reflejando el rol dominante de la advección vertical a través de la llamada "retroalimentación de la termoclina" (*thermocline feedback*; Jin, 1997). La inclinación de la termoclina es generada inicialmente por las anomalías de viento del oeste en el Pacífico Central durante el año 0 (Fig. 4e). Sucesivamente el viento responde al calentamiento en el Pacífico Oriental y a la activación de la convección (Fig. 4f), produciendo una amplificación del evento.

Si bien la carga del contenido de calor ecuatorial, así como el calentamiento superficial y la anomalía de viento del oeste en el Pacífico Central, tiende a preceder El Niño extraordinario, Takahashi y Dewitte (2015) encuentran que la variable con más poder predictivo es el viento del oeste cerca de agosto del año 0. Dicho factor, si es suficientemente intenso, está asociado a una probabilidad de El Niño extraordinario sobre 90% en el modelo CM2.1 (Takahashi, 2014b). Por otro lado, se encuentra que el contenido de calor positivo es un requisito necesario pero no suficiente para estos eventos. Es decir, un alto contenido de calor podría no resultar en El Niño en el Pacífico Oriental. También se observa que la persistencia de anomalías positivas altas de E en el año 0 llevaría a una mayor probabilidad de que el evento siga creciendo, como lo ocurrido en 1997-98.

Por otro lado, es ilustrativo también analizar las diferencias, particularmente entre los dos eventos observados. Si bien el hecho que la predicción de El Niño fuera mejor en 1997 que en 1982 se debió en parte a un mejor conocimiento



del fenómeno y a mejores modelos de pronóstico, también es cierto que El Niño 1997-98 fue más fácil de pronosticar simplemente porque inició bastante antes en el año. En nuestra costa, El Niño en 1997 inició en marzo, mientras que en 1982 inició en julio (ENFEN, 2012; Fig. 4b). El análisis de Takahashi y Dewitte (2015) sugiere que El Niño 1982-83 no habría alcanzado el nivel de extraordinario si no hubiera sido por un forzante externo, aparentemente en la forma de vientos del sur que vinieron desde el lado oriental de Australia y generaron vientos del oeste ecuatoriales al menos hasta agosto (Harrison, 1984), lo cual empujó al evento por encima del umbral para el crecimiento acelerado. Este tipo de eventos será un desafío para el pronóstico, ya que el

pronóstico de sistemas atmosféricos que no estén acoplados al océano (que podría haber sido el caso) es intrínsecamente más difícil de hacer a largo plazo.

Discusión y conclusiones

Desde el punto de vista de impactos, la capacidad de pronóstico de largo plazo de El Niño extraordinario es claramente de gran importancia para el Perú. Afortunadamente, en los últimos años se ha iniciado una línea de investigación a nivel internacional enfocada en estos eventos, empujada por la posibilidad que la frecuencia de

ellos aumente con el calentamiento global (Cai et al., 2014). Sin embargo, hay que recordar que las manifestaciones de El Niño en el Perú pueden ser particulares. Un ejemplo de esto es que El Niño 1972-73, que tuvo bastante menos impactos por lluvias en el Perú que los dos extraordinarios, tuvo un calentamiento en el Pacífico Central máximo casi igual que los de 1982-93 y 1997-98 (anomalía de TSM en la región Niño $3.4 \approx 2^\circ\text{C}$). Claramente, es necesario poder distinguir entre estas posibilidades. Lamentablemente los modelos climáticos usados para el pronóstico a nivel internacional son particularmente deficientes en el Pacífico Oriental (Reupo y Takahashi, 2014ab), ya que varios de los procesos físicos relevantes no son bien representados (Takahashi et al., 2014). Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado en la interpretación de los modelos y es necesario que los científicos peruanos tomen el liderazgo en la investigación científica orientada a resolver estos problemas.

Referencias

- An, S.-I., F.-F. Jin, 2004: Nonlinearity and asymmetry of ENSO, *Journal of Climate*, 17, 2399-2412.
- Ashok, K., S. K. Behera, S. A. Rao, H. Weng, T. Yamagata, 2007: *El Niño Modoki and its possible teleconnection*, *Journal of Geophysical Research*, 112, C11007, doi: 10.1029/2006JC003798.
- Cai W, Borlace S, Lengaigne M, Rensch Pv, Collins M, VECCHI G, Timmermann A, Santoso A, McPhaden MJ, Wu L, England M, Wang G, Guilyardi E, Jin FF, 2014: Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming, *Nature Clim. Change*, doi: 10.1038/nclimate2100.
- Chen, C., M. Cane, N. Henderson, D. E. Lee, D. Chapman, D. Kondrashov, M. D. Chekroun, 2015: Diversity, nonlinearity, seasonality and memory effect in ENSO simulation and prediction using empirical model reduction, *Sometido a Journal of Climate*.
- Choi, K.-Y., G. A. Vecchi, A. T. Wittenberg, 2013: ENSO transition, duration, and amplitude asymmetries: Role of the nonlinear wind stress coupling in a conceptual model, *Journal of Climate*, 26, 9462-9476.
- Dewitte, B., K. Takahashi, K. Mosquera, 2014: Teorías simples de El Niño-Oscilación Sur: Más allá del modelo carga-descarga, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 1, N°8, 4-8.
- Capotondi, A., A. T. Wittenberg, M. Newman, E. D. Lorenzo, J. Y. Yu, P. Braconnot, P. Cole, B. Dewitte, B. Giese, E. Guilyardi, F. F. Jin, K. Karnauskas, B. Kirtman, T. Lee, N. Schneider, Y. Xue, S. Yeh, 2015: Understanding ENSO diversity, *Bulletin of the American Meteorological Society*, doi: 10.1175/BAMS-D-13-00117.1.
- Dommenget, D., T. Bayr, C. Frauen, 2012: Analysis of the non-linearity in the pattern and time evolution of El Niño-Southern Oscillation, *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-012-1475-0.
- ENFEN, 2012: Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú, *Nota Técnica ENFEN*.
- Jin, F.-F., 1997: An equatorial ocean recharge paradigm for ENSO. Part I: Conceptual model, *Journal of Atmospheric Sciences*, 54, 811-829.
- Jin, F.-F., S.-I. An, A. Timmermann, J. Zhao, 2003: Strong El Niño events and nonlinear dynamical heating, *Geophysical Research Letters*, doi: 10.1029/2002GL016356.
- Larkin, N. K., and Harrison, D. E., 2005: On the definition of El Niño and associated seasonal average US weather anomalies, *Geophysical Research Letters*, 32, L13705, doi: 10.1029/2005GL022738.
- Reupo, J., y Takahashi, K., 2014a: 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, 8-9.
- Reupo, J., y Takahashi, K., 2014b: Variabilidad decadal en la bondad de los pronósticos con modelos climáticos globales, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 1, N°8, 9-10.
- Takahashi, K., 2014a: Variedades de El Niño, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 1, N°2, 4-7.
- Takahashi, K., 2014b: ¿Por qué parece muy improbable El Niño extraordinario este año?, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 1, N°6, 8-9.
- Takahashi, K., A. Montecinos, K. Goubanova, B. Dewitte, 2011: ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño, *Geophysical Research Letters*, 38, L10704, doi: 10.1029/2011GL047364.
- Takahashi, K., R. Martínez, A. Montecinos, B. Dewitte, D. Gutiérrez, E. Rodríguez-Rubio, 2014: White Paper 8a Regional applications of observations in the eastern Pacific: Western South America, Report of the Tropical Pacific Observing System 2020 Workshop (TPOS 2020) GCOS184, 2, 171-205.
- Takahashi, K., B. Dewitte, 2015: Strong and moderate nonlinear El Niño regimes, *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-015-2665-3.
- Timmermann, A., F.-F. Jin, J. Abshagen, 2003: A non-linear theory for El Niño bursting, *Journal of Atmospheric Sciences*, 60(1), 152-165.
- Wittenberg, A., A. Rosati, N. G. Lau, J. J. Ploshay, 2006: GFDL's CM2 global coupled climate models. Part III: Tropical Pacific climate and ENSO, *Journal of Climate*, 19, 698-722.
- Woodman, R., y Takahashi, K., 2014: ¿Por qué no llueve en la costa del Perú (salvo durante El Niño)? *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 1, N°6, 4-7.
- Xiang, B., B. Wang, T. Li, 2013: A new paradigm for the predominance of standing Central Pacific warming after the late 1990s, *Climate Dynamics*, 41 (2), 327-340, doi: 10.1007/s0038201214278.

Experimentos numéricos en la implementación de una configuración Tropical en el Pacífico usando el modelo oceánico ROMS

Kobi Mosquera¹, Boris Dewitte² y Serena Illig²

¹Instituto Geofísico del Perú

²Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales

Introducción

En la actualidad, existe información de variables oceanográficas y atmosféricas en la región del Pacífico Ecuatorial que permite no solo realizar una monitorización de las condiciones climáticas, sino también hacer investigación. Los datos *in situ* (boyas, flotadores, barcos, etc.) son de utilidad para monitorizar el nivel del mar, la temperatura del mar, vientos y otros factores, en periodos de tiempo que llegan incluso a los minutos. Asimismo, la información satelital, cuyo periodo de tiempo no alcanza el de los instrumentos *in situ*, nos brinda datos superficiales detallados (nivel del mar, temperatura superficial del mar (TSM), salinidad superficial, etc.).

A pesar de contar con toda esta información, aún esta, en su conjunto, es incompleta si se quieren entender algunos procesos físicos que se dan bajo la superficie y que pueden afectar la TSM. Por ejemplo, un caso particular y que es de interés para el Perú, es la evolución de la onda Kelvin ecuatorial en su camino hacia el extremo Este. Se ha observado que la onda Kelvin, según información satelital y de boyas, sufre cambios en su velocidad de propagación en 120°W, básicamente a lo largo de la termoclina, lo que cambiaría su tiempo de llegada hacia la costa peruana con respecto a la señal de la onda Kelvin en el nivel del mar

(Mosquera-Vásquez et al., 2014) y, al parecer, también su impacto en la temperatura superficial del mar. Para entender qué proceso físico está involucrado en este fenómeno se requiere del uso de modelos numéricos de circulación general.

A continuación se describen los esfuerzos realizados con el uso de un Modelo Oceánico de Circulación General (OGCM, por sus siglas en inglés) conocido como *Regional Ocean Modeling System* (ROMS) sobre el océano Pacífico Ecuatorial (15°S y 15°N). El ROMS utiliza las condiciones iniciales y de frontera del *Simple Ocean Data Assimilation* (SODA 2.1.6; Carton y Giese, 2008) y es forzado por flujos superficiales del *reanalysis* de ERA-I. En esta etapa se realizaron doce experimentos con el objetivo principal de representar correctamente la profundidad de la termoclina en su estado promedio y su variabilidad interanual. Básicamente, se hicieron pruebas relacionadas al aumento de los niveles verticales en la región cercana a la superficie, a las condiciones de frontera abierta y cerrada en el Pacífico Occidental y, finalmente, al aumento de la intensidad de la media de los vientos zonales. Como se mencionó anteriormente, esta configuración será útil para la investigación, en particular para el diagnóstico de la termodinámica y dinámica del Pacífico Ecuatorial durante los eventos El Niño, con énfasis en el Pacífico del extremo oriental. Los resultados de esta

Nombre del experimento	Extensión zonal	Niveles verticales	Velocidad zonal del viento (ERA-I)	Periodo
TROP_PAC01 (TP01)	De 135°E a 70°W	32	U,V	2000-2001
TROP_PAC02 (TP02)	De 135°E a 70°W	32	U,V	2000-2001
TROP_PAC03 (TP03)	De 135°E a 70°W	32	U,V	2000-2001
TROP_PAC04 (TP04)	De 170°E a 70°W	54	U,V	2000-2001
TROP_PAC07 (TP07)	De 135°E a 70°W	54	U,V	2000-2001
TROP_PAC08 (TP08)	De 135°E a 70°W	54	1.1*U,V	2000-2001

Tabla 1. Lista de experimentos numéricos.

Experimentos numéricos en la implementación de una configuración Tropical en el Pacífico usando el modelo oceánico ROMS

Mosquera K., Dewitte B., Illig S.

herramienta numérica contribuirán al análisis mensual del Comité Técnico para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN, www.imarpe.gob.pe), entidad gubernamental encargada del diagnóstico y predicción de El Niño en base a información nacional e internacional (datos *in situ* y modelos numéricos).

Los resultados en lo que respecta al estado promedio indican que el experimento denominado TP07 es la mejor configuración (la Tabla 1 muestra algunos detalles de los experimentos más importantes). TP07 se caracteriza por tener 54 niveles verticales en la parte superior del océano con un dominio zonal (meridional) que va de 135°E a 70°W (15°S a 15°N). A pesar que no se ha mostrado mayor influencia de su topografía, las Islas Galápagos son consideradas en algunas simulaciones. La Figura 1a muestra el promedio de la profundidad de las isotermas de 16°, 20°C y 24°C para tres productos: TAO (color negro), SODA (color rojo), MERCATOR (color verde, análisis oceánico) y TP07 (color azul). La Figura 1a muestra que TP07 simula bien la estructura zonal de la termoclina, a pesar de no ser un modelo de *reanalysis*, y es comparable a SODA. La Figura 1b muestra la diferencia entre la profundidad de la isoterma de 16° y 24°C, es decir diagnostica el realismo de la estratificación vertical a lo largo del ecuador (parámetro fundamental para la dinámica de las ondas ecuatoriales largas), indicando que, a pesar que TP07 se aproxima al resultado de SODA, aún hay una termoclina difusa en el Pacífico Central y Oriental.

Con el fin de mejorar la posición vertical promedio de las isotermas de TP07, se procedió a realizar otro experimento TP08, al cual se le incrementó, en un 10%, el valor del estado promedio del viento zonal. La elección del incremento del 10% se obtuvo realizando una comparación simple entre la profundidad de la termoclina de TP07 y TAO. El incremento contribuyó a mejorar la inclinación promedio de la profundidad de la termoclina, pero la consecuencia de esto fue que la ubicación de la isoterma de 24°C fue muy cercana a la superficie. Debido a este enfriamiento, la configuración TP07 es la mejor opción.

El objetivo final de estas simulaciones es contar con una configuración idónea que represente las características principales del Pacífico Ecuatorial gracias a la cual luego se podrán realizar experimentos de sensibilidad al viento, así como a los cambios en las características de estratificación en el Pacífico Ecuatorial. Adicionalmente, esta configuración podrá ser utilizada para la previsión operativa de la onda de Kelvin ecuatorial, algo que ya existe basado en un modelo lineal en el IGP (Mosquera, 2009; Mosquera et al., 2011).

Referencias

Carton, J. A., and B. S. Giese, 2008: A Reanalysis of Ocean Climate Using Simple Ocean Data Assimilation (SODA), *Monthly Weather Review*, 136, 2999–3017.

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, K., 2009: Variabilidad Intra-estacional 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., 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*, Lima, Año 5, No9, p. 55.

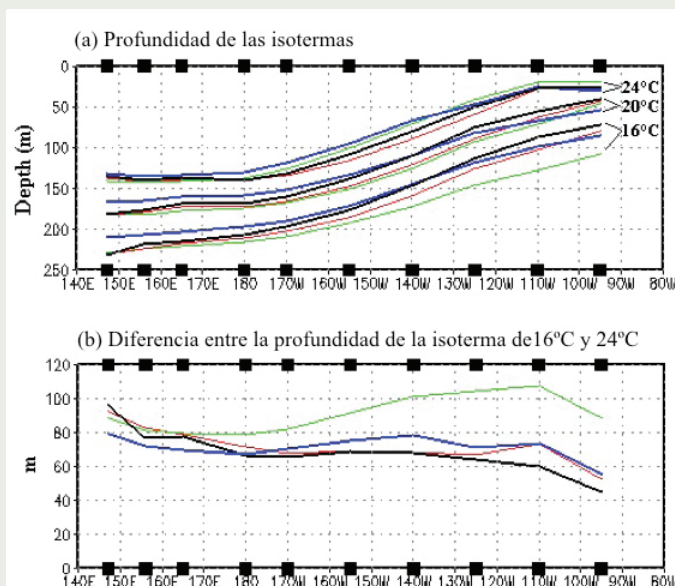


Figura 1. Profundidad de las isotermas de 20°C de TAO (línea negra gruesa), TP07 (línea azul gruesa), SODA (línea delgada roja) y MERCATOR (línea verde delgada). (a) Estado promedio de la profundidad de la isoterma de 16°C, 20°C y 24°C para cada producto. (b) Representa la diferencia entre la profundidad de la isoterma de 16°C y 24°C.

Resumen del Informe Técnico

PPR/El Niño - IGP/ 2015-4

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

Resumen

Según el Índice Costero El Niño (ICEN) para el mes de marzo, las condiciones climáticas de la costa peruana fueron neutras, mientras que el estimado para abril indica condiciones cálidas débiles. El pronóstico de la temperatura superficial del mar de los modelos numéricos internacionales con condiciones iniciales del mes de abril, indica que las condiciones climáticas serán entre cálidas débiles y fuertes en junio y julio en el Pacífico Oriental. Estos mismos resultados numéricos señalan que el Pacífico Central sigue mostrando una tendencia hacia condiciones alrededor de cálidas débiles y moderadas e incluso fuertes. Se observa la llegada de la onda Kelvin cálida de una magnitud comparable a la del mes de marzo del año 2014.

Índice Costero El Niño

Utilizando los datos de temperatura superficial del mar promediados sobre la región Niño1+2, actualizados hasta el mes de abril 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 marzo de 2015. Los valores hasta esa fecha son:

Año	Mes	ICEN	Condiciones costeras del mes
2014	Diciembre	0.35	Neutro
2014	Enero	0.08	Neutro
2015	Febrero	0.01	Neutro
2015	Marzo	0.18	Neutro

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

Según los valores del ICEN, **se confirma que las condiciones climáticas hasta marzo de 2015 en la costa peruana se clasifican como NEUTRAS**. Se recuerda que, de manera operacional, para declarar El Niño o La Niña en la costa, las condiciones costeras del mes deben ser cálidas o frías por al menos tres meses consecutivos, respectivamente (ENFEN, 2012).

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 adicionales a los datos de TAO (Takahashi et al., 2014). En particular, se han producido diagramas longitud-tiempo (Hovmöller) de las anomalías del 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 02 de mayo 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 débil que se generó entre enero y febrero, habría continuado su arribo a la costa durante el mes de abril, y que la onda Kelvin cálida que se generó a inicios del mes de marzo, estaría arribando a partir de finales de abril, con su máxima amplitud en mayo. Según lo observado su magnitud sería similar a la de la onda formada a inicios de marzo del año 2014. Adicionalmente, durante el mes de abril se observaron anomalías de viento zonal persistentes, de magnitud débil, en la región del Pacífico Ecuatorial Occidental. Es importante indicar que las anomalías cálidas en el Pacífico Ecuatorial Central continúan con una tendencia positiva, lo cual ha estado asociado a la actividad convectiva ecuatorial alrededor de la línea de cambio de fecha. Este patrón de anomalías de temperatura superficial del océano es favorable a la continuación de anomalías de vientos del oeste que, en consecuencia, pueden generar nuevas ondas Kelvin cálidas.

Pronóstico estacional con modelos climáticos

Para los meses de junio y julio, los pronósticos de la ATSM en el Pacífico Oriental (Niño 1+2, ICEN) indican condiciones principalmente cálidas moderadas y entre moderadas y fuertes, respectivamente (Figura 2).

Para los meses posteriores a mayo, los pronósticos indican que la ATSM en el Pacífico Central (Niño 3.4) continuará en el rango de cálida débil y moderada, alcanzando incluso el rango de cálida fuerte a partir del mes de agosto.

Resumen del Informe Técnico

PPR/EI Niño - IGP/ 2015-4

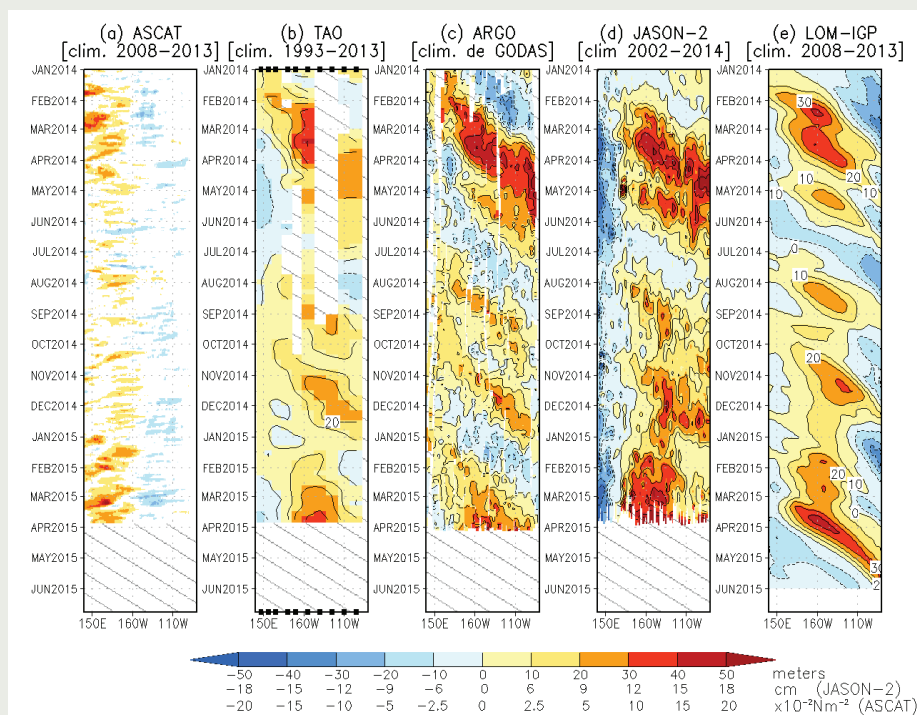


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO (b) y los derivadores de Argo (c), datos del nivel del mar de JASON-2 (d). Finalmente en (e) se muestra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

Conclusiones

1. El ICEN para marzo 2015 fue de 0.18 (neutro).

2. Para el mes de mayo de 2015, los pronósticos del ICEN (ATSM en la zona Niño 1+2 en el Pacífico Oriental)

por los modelos numéricos de las agencias internacionales, con condiciones iniciales del mes de abril, indican condiciones **cálidas principalmente moderadas**. Para junio 2015, los pronósticos indican condiciones cálidas entre moderadas (3/8 modelos) y fuertes (4/8).

3. Para los meses de mayo y junio, los pronósticos de la ATSM en el **Pacífico Central** (Niño 3.4) por los modelos numéricos de las agencias internacionales, con condiciones iniciales del mes de abril, continúan indicando una tendencia hacia condiciones **cálidas entre débiles y moderadas**.

4. La mayoría de modelos evaluados indican que El Niño costero tendría un **máximo en julio**, con magnitudes **entre moderado y fuerte**. Todos los modelos indican que este evento se mantendría al menos hasta octubre con magnitud moderada.

5. Los pronósticos de largo plazo (hasta enero) iniciados en mayo tienen una performance razonable para esta región, aunque no tanto como en el Pacífico Central. El único modelo actualizado con condiciones iniciales de mayo es el CFS2, el cual indica condiciones cálidas hacia

diciembre. Los diferentes miembros del “ensemble” indican magnitudes principalmente entre moderado (31%) y fuerte (38%), aunque también incluye condiciones débiles (13%) y extraordinarias (16%). Debe notarse, sin embargo, que este modelo sobreestimó fuertemente el calentamiento en esta región durante El Niño del Pacífico Central de 2009-2010.

Modelo	Inicio	Extremo	Final	Magnitud
CFS2	abr-15	may-15	No disponible	Débil
CMC1	abr-15	jul-15	No disponible	Moderado
CMC2	abr-15	jul /ago-15	No disponible	Moderado
GFDL	abr-15	jul-15	No disponible	Moderado
NASA	abr-15	jul-15	No disponible	Fuerte
NCAR	-	-	-	-
GFDL_FLOR	abr-15	jul-15	No disponible	Fuerte
NCAR_CCSCM4	abr-15	jul-15	No disponible	Fuerte
NMME(prom)	abr-15	jul-15	No disponible	Moderado
ECMWF	-	jul-15	-	Moderado
OBSERVADO	-	-	-	

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

Resumen del Informe Técnico

PPR/El Niño - IGP/ 2015-4

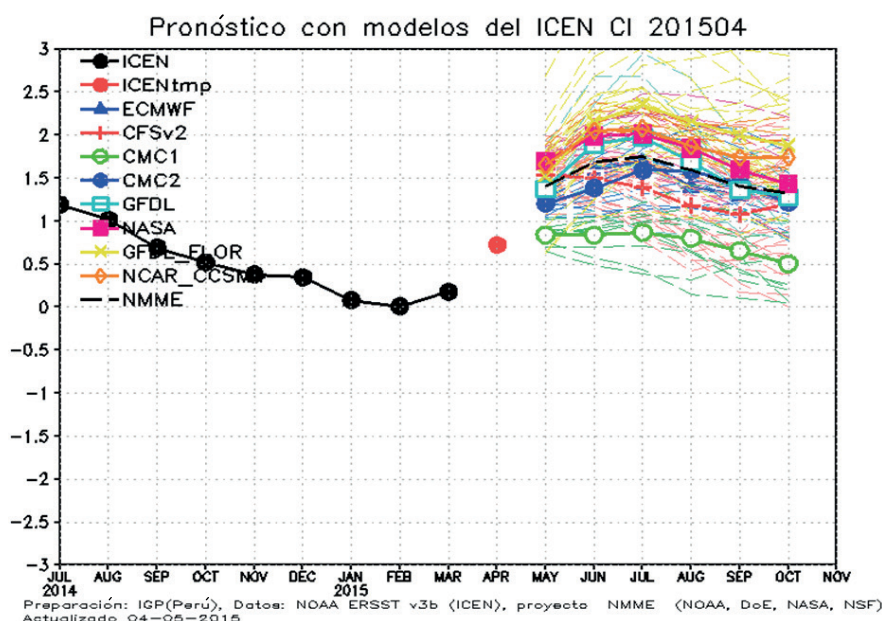


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y sus valor temporal (ICENtmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de tres meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Las líneas entrecortadas corresponden a los miembros de los "ensembles". Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de abril de 2015. El modelo ECMWF tiene como condición inicial el mes de abril de 2015. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME, ECMWF).

6. Para el **Pacífico Central** (Niño 3.4), siete de los ocho modelos inicializados en abril analizados coinciden en que las condiciones El Niño en esta región continuarían y aumentarían su magnitud hacia noviembre al menos, llegando a alcanzar magnitudes entre **moderadas y fuertes**.

7. Los productos observacionales a lo largo de la línea ecuatorial y el modelo lineal indican que: a) la onda Kelvin cálida débil generada entre enero y febrero habría continuado su arribo a la costa durante abril, y b) la **onda Kelvin cálida generada a inicios de marzo, estaría arribando a partir de finales de abril, con su máxima amplitud en mayo**. Según el modelo, su magnitud sería similar a la de la onda formada a inicios de marzo del 2014.

8. Durante el mes de abril se observaron anomalías persistentes pero débiles del oeste en el Pacífico Ecuatorial Occidental. Las anomalías cálidas en el Pacífico Ecuatorial Central han continuado su tendencia positiva, lo cual ha estado asociado a actividad convectiva ecuatorial alrededor de la línea de cambio de fecha. Lo anterior es favorable a la continuación de anomalías de vientos del oeste, lo que puede generar nuevas ondas Kelvin cálidas.

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. Tippet, 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 Magíster 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° 06 - 2015

Estado del sistema de alerta: **Vigilancia de El Niño Costero¹**

El Comité Multisectorial ENFEN mantiene el estado de Vigilancia de El Niño Costero debido a que continúan las condiciones favorables para la ocurrencia de un **evento El Niño costero a partir de mayo hasta al menos mediados del invierno, con magnitud entre débil y moderado**, asociado a anomalías cálidas en las temperaturas, sin efectos significativos en las precipitaciones debido a la estacionalidad.

En lo que resta de abril, se espera que continúen las lluvias en la región nor-occidental.

Este estado del sistema de alerta podrá ser revisado y modificado de acuerdo a cómo se desarrollen las condiciones.

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 del mes de abril.

En la primera quincena de abril, se observó un anticiclón ligeramente débil, sin embargo su ubicación al norte de su posición habitual, permitió la recuperación de los vientos a lo largo de la costa. Esto a su vez, ocasionó la disminución de las anomalías cálidas en la superficie del mar y del aire a lo largo y frente al litoral.

Los niveles del mar se presentaron por encima de lo normal a lo largo de toda la costa del Perú, particularmente en el norte, donde se observaron anomalías de hasta 12 cm. Esto aunado a la profundización de la termoclina² en Paita indican que la onda Kelvin prevista para fines de marzo³ ha arribado a la costa. Por otro lado, la onda Kelvin cálida de mayor intensidad prevista para mayo continúa su avance hacia nuestro continente.

En la vertiente del Pacífico al oeste de los Andes, las lluvias disminuyeron en la primera quincena de abril. Sin embargo, los reservorios cuentan con almacenamiento al 85% en la zona norte y 75% en el sur respecto a su capacidad máxima, lo que asegura el abastecimiento de agua para el año 2015.

Como se reportó en el Comunicado anterior, el Índice Costero El Niño (ICEN, región Niño 1+2) estimado para marzo, corresponde al rango neutral. Mientras tanto, en el Pacífico central, continúan las anomalías positivas de la temperatura superficial y se han observado ligeras anomalías de viento ecuatorial del oeste en el Pacífico occidental en la primera quincena de abril.

En la región Norte-Centro, la anchoveta se distribuyó en las 40 mn adyacentes a la costa. Los cardúmenes de anchoveta se han profundizado asociado con la profundización de las aguas frías, registrándose a 22.5 m de la superficie en promedio, en lugar de su normal de 11 m.

PERSPECTIVAS

En lo que resta del mes de abril, se espera que la onda Kelvin cálida continúe incrementando por sobre lo normal la temperatura superficial del mar y del aire, así como el nivel medio del mar y la profundidad de la termoclina, a lo largo de la costa. A su vez, se espera que lo anterior propicie la ocurrencia de algunos episodios de lluvias intensas en la región nor-occidental.

La onda Kelvin cálida, cuyo arribo está previsto a partir del mes de mayo, produciría un aumento mayor en las anomalías térmicas y del nivel del mar, pero no se esperan mayores efectos en las precipitaciones por ser temporada seca, salvo algunos episodios aislados de lluvia en la zona noroccidental.

Por otro lado, debido a la presencia de anomalías positivas de la temperatura superficial en el Pacífico ecuatorial occidental y central, es probable que ocurran nuevos pulsos de vientos del Oeste en esta región, los cuales podrían forzar nuevas ondas Kelvin cálidas en los próximos meses.

Las últimas predicciones de los modelos numéricos globales indican que El Niño Costero (región Niño 1+2) podría extenderse hasta fin de año. Similarmente, para el Pacífico central (región Niño 3.4), las anomalías cálidas se incrementarían progresivamente hasta fin de año. Sin embargo, existe incertidumbre en estos modelos y es necesario seguir con el monitoreo para validar dichas predicciones.

El Comité Multisectorial ENFEN, de acuerdo con el análisis realizado, mantiene la previsión de un **evento El Niño costero** iniciando a partir del mes de mayo, con magnitud del evento **entre débil y moderado**, que se extendería al menos hasta el invierno. Este evento estaría asociado a temperaturas por encima de lo normal en la costa pero sin efectos significativos en las precipitaciones debido a la estacionalidad. Sin embargo, a mayor plazo, no se descarta que este evento pueda extenderse hasta fines del presente año, aunque con magnitud incierta.

Ante esta situación, el Comité Multisectorial ENFEN mantiene el estado de "Vigilancia de El Niño Costero", durante el cual continuará monitoreando e informando sobre la evolución de las condiciones observadas y actualizando las perspectivas.

Callao, 16 de abril de 2015

¹ Definición de "Vigilancia de El Niño costero": Según los modelos y observaciones, usando criterio experto en forma colegiada, el Comité ENFEN estima que es más probable que ocurra El Niño costero a que no ocurra. Al inicio del texto del Comunicado Oficial se indicará un rango de magnitudes tentativas y cuándo podría presentarse, así como una indicación sobre los posibles impactos en la lluvia y temperaturas (Nota Técnica ENFEN 01-2015).

² Termoclina: Capa oceánica donde de la temperatura disminuye rápidamente con la profundidad. La base de la termoclina se identifica mediante la isoterma de 15°C.

³ Comunicado Oficial ENFEN N°02-2015.



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



COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 07 - 2015

Estado del sistema de alerta: **Alerta de El Niño Costero¹**

El Comité Multisectorial ENFEN cambia del estado de Vigilancia al estado de Alerta de El Niño Costero debido a que ya se observan condiciones típicas del inicio de un evento **El Niño costero de magnitud moderada, que durará al menos hasta el invierno. No se esperan lluvias en la costa** durante este periodo debido a la estacionalidad. Sin embargo, en la primera quincena de mayo se esperan algunos episodios aislados de lluvias en la región nor-occidental (Tumbes y Piura). El estado del sistema de alerta podrá ser revisado y modificado según el desarrollo de las condiciones océano-atmosféricas.

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 del mes de abril.

Este mes, los vientos a lo largo de la costa fueron ligeramente más fuertes que lo normal. Asimismo, la temperatura del mar en la franja costera estuvo alrededor de lo normal, mientras que por fuera de las 40 millas náuticas (mn), se observaron anomalías cálidas con núcleos de hasta dos grados en la superficie del mar. Similarmente, la temperatura del aire registró valores a lo largo del litoral sobre lo normal.

El promedio del nivel medio del mar estuvo por encima de lo normal en toda la costa del Perú, particularmente en el norte, donde se registraron anomalías del orden de 15 cm en promedio. El nivel del mar presentó un pico en la primera quincena de abril que, junto con la profundización de la termoclina² frente a la costa, está asociado al arribo de la onda Kelvin a fines de marzo³. Hacia la segunda quincena del mes se observó un nuevo incremento del nivel del mar que alcanzó valores de alrededor de 20 cm en la zona norte asociado a la llegada de la otra onda Kelvin cálida esperada, cuyo principal impacto en la termoclina se observará durante mayo.

Asimismo se observaron anomalías cálidas en casi todo el Pacífico ecuatorial, principalmente alrededor de la línea de cambio de fecha (región Niño 4). Esto indujo la presencia de ligeras anomalías de viento del oeste en el Pacífico ecuatorial oriental-central a lo largo del mes. Por otro lado, en el Pacífico occidental, el índice costero El Niño (ICEN, región Niño 1+2) de marzo correspondió al rango neutral, pero el valor estimado para abril corresponde a condiciones cálidas débiles.

En la vertiente del Pacífico al oeste de los Andes, las lluvias y caudales se mantuvieron alrededor de lo normal, aunque a mediados de abril se presentaron eventos puntuales de lluvias y caudales considerables en la región Tumbes. Por otro lado, los reservorios cuentan con almacenamiento al 80% de su capacidad máxima, lo que asegura el abastecimiento de agua para el invierno 2015.

La primera quincena de mayo, se esperan algunos episodios de lluvia aislados en la región nor-occidental (Tumbes y Piura) debido a las anomalías positivas de la temperatura superficial del mar.

En el transcurso del mes de mayo, la onda Kelvin cálida continuará su llegada a la costa e intensificará las anomalías positivas de la temperatura superficial del mar, del aire y del nivel medio del mar, con mayor profundización de la termoclina. Sin embargo, para los meses siguientes no se esperan efectos en las precipitaciones por ser temporada seca.

De continuar el acoplamiento entre la atmósfera y las anomalías cálidas de la temperatura superficial en el Pacífico ecuatorial occidental y central, persistirán las anomalías de vientos del oeste, generando nuevas ondas Kelvin cálidas, las que a su vez promoverán la persistencia de las condiciones cálidas en la costa en los siguientes meses.

Por lo anterior y dado que el valor preliminar del ICEN (ICENtmp) de abril corresponde a condiciones cálidas débiles, el Comité Multisectorial ENFEN declara el estado de "alerta de El Niño costero", al menos hasta el invierno del presente año.

Considerando las previsiones de los modelos climáticos y que las condiciones cálidas frente a la costa peruana se han presentado con mayor intensidad a lo previsto, el Comité Multisectorial ENFEN eleva la magnitud estimada de El Niño Costero a moderada, sin descartar que a futuro se pueda incrementar la magnitud. Este evento estará asociado a temperaturas por encima de lo normal en la costa, pero sin efectos significativos en las precipitaciones por corresponder a la temporada seca. No se descarta que este evento puede extenderse hasta fines del presente año, aunque con magnitud por determinarse.

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

Callao, 08 de mayo de 2015

¹Alerta de El Niño costero: El Comité ENFEN considera que el evento El Niño costero ha iniciado y/o el valor del ICENtmp indica condiciones cálidas, esperándose que se consolide este evento (Nota Técnica ENFEN 01-2015).

²Termoclina: Capa oceánica donde de la temperatura disminuye rápidamente con la profundidad. La base de la termoclina se identifica mediante la isoterma de 15°C.

³Comunicado Oficial ENFEN N°02-2015.





© Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa, Ate, Lima, Perú
Central Telefónica: (511) 317 2300
<http://www.igp.gob.pe>
[f http://www.facebook.com/igp.peru](http://www.facebook.com/igp.peru)
[t http://twitter.com/igp_peru](http://twitter.com/igp_peru)

En el marco del:

