



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú - IGP

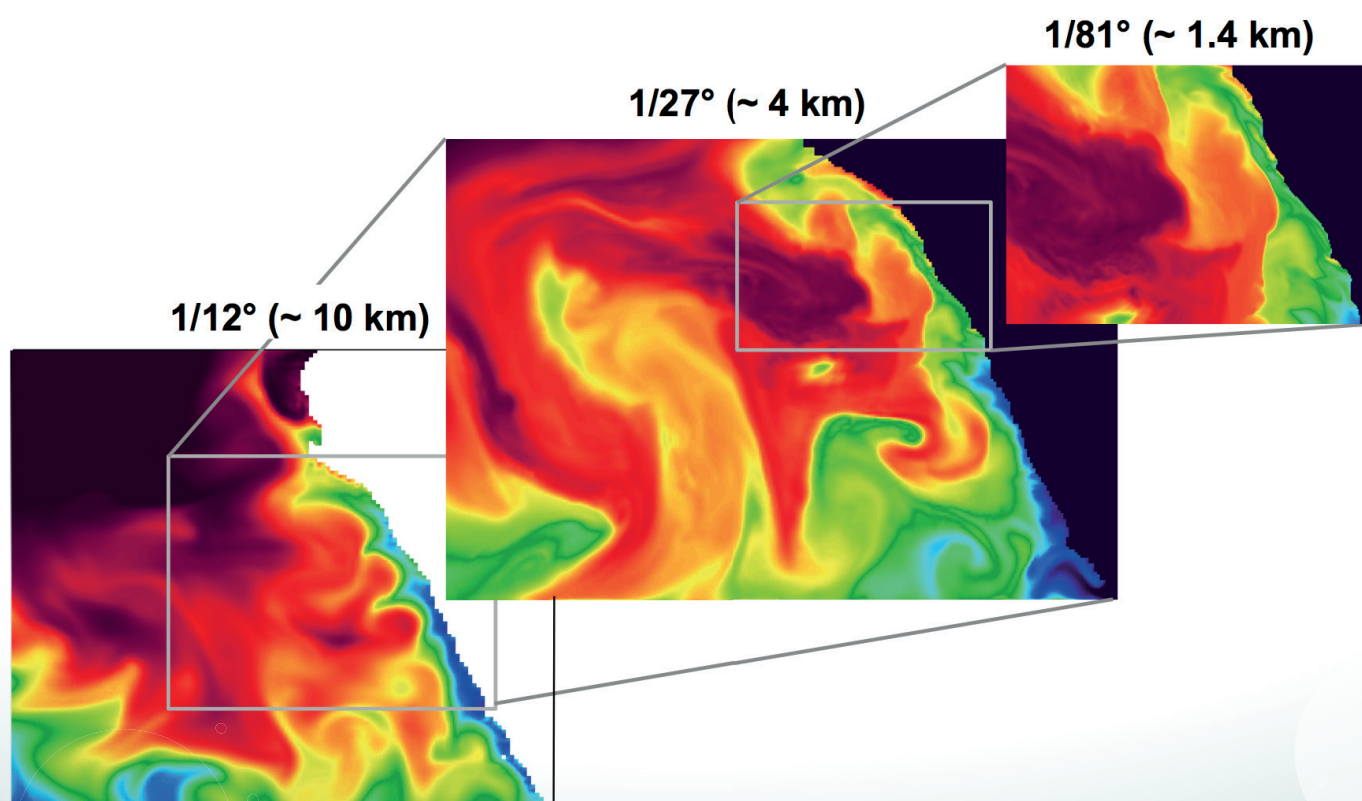


Programa Presupuestal por Resultados N° 068: "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres" Producto: "Entidades informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño"

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

Boletín Técnico

Modelado regional anidado del impacto de El Niño en la costa de Perú a alta resolución espacial



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 Científico IGP

Ken Takahashi
Responsable Producto El Niño - IGP

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

Edición: Cristiana Leucci
Diseño y Diagramación: Dante Guerra

Carátula: Colas et al., 2015.

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

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

Lima, Febrero del 2016

Hecho el Depósito Legal en la
Biblioteca Nacional del Perú N° 2016-01938

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.

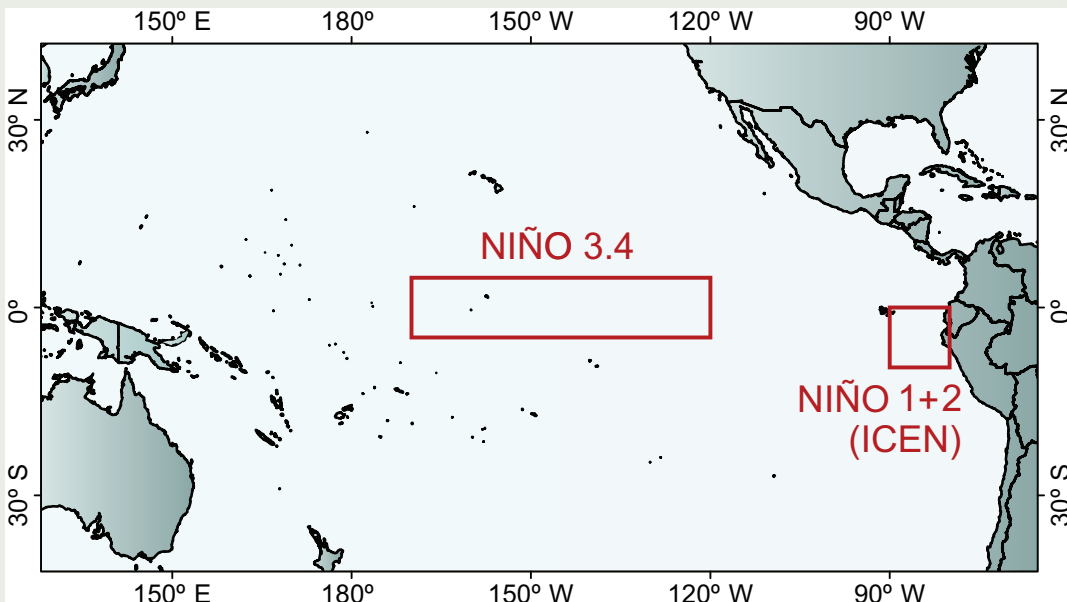
El Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformado por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA e Indeci, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

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.

Procesos claves para el modelado de los impactos de los eventos El Niño en la zona costera de Perú

Introducción

El Fenómeno El Niño produce cambios importantes en el clima, la circulación oceánica y las condiciones hidrográficas a lo largo de la costa peruana. Estas modificaciones pueden generar consecuencias significativas sobre el funcionamiento del ecosistema marino costero del Perú (Barber and Chavez, 1983), uno de los más productivos del mundo. A fin de entender mejor el impacto de El Niño sobre este ecosistema, es indispensable describir y conocer más los procesos por los cuales la circulación y el afloramiento costeros son afectados. Considerando las dificultades que existen para obtener observaciones oceánicas sinópticas en toda una región de estudio, el modelado numérico se convierte en una herramienta pertinente. Los modelos climáticos globales (GCMs, por su sigla en inglés) que permiten, por ejemplo, describir la circulación a escala de la cuenca del océano Pacífico, presentan generalmente errores importantes en las zonas costeras (particularmente en las regiones de afloramiento del borde oriental de los océanos), por lo que no son adecuados para estudios regionales. Estos errores se deben, en parte, a la resolución horizontal de los GCMs (~ 25 a 200 km), lo que es insuficiente para reproducir las corrientes costeras, la surgencia y la turbulencia oceánica, procesos que tienen un rol fundamental en el funcionamiento del ecosistema marino (producción de plancton, dispersión de larvas, etc.). Por otro lado, el modelado climático regional (MCR) permite realizar el «*downscaling*» dinámico de eventos climáticos de gran escala, como El Niño o escenarios de cambio climático. La resolución espacial de los MCRs (~1 a 10 km) permite resolver y estudiar procesos dinámicos de menor escala como, por ejemplo, los frentes y los filamentos de agua fría asociados a la surgencia costera. Esta estrategia de *downscaling* dinámico es muy adecuada para estudiar el impacto de El Niño sobre la franja costera del Perú, sin embargo presenta fuertes limitaciones debido a la calidad



François Colas, Dr.
Investigador Científico del
IRD/LMI DISCOH

Doctor en Oceanografía Física de la Université de Bretagne Occidentale de Brest, Francia. Actualmente es investigador en oceanografía física en el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) de Francia y director del Laboratorio Mixto Internacional DISCOH (dinámica del sistema de corriente de Humboldt; IMARPE/IRD). Experto en modelación numérica del océano, sus investigaciones se enfocan principalmente en el estudio de la circulación regional y los procesos dinámicos en los sistemas de afloramiento costera del borde oriental (Perú-Chile, California, Canarias/Senegal). En particular, su interés reside en el estudio del impacto de la turbulencia de meso y submeso-escala sobre el funcionamiento del sistema regional y en los procesos acoplados océano/atmósfera.

de las señales oceánicas de gran escala y a los forzantes atmosféricos locales que se imponen al modelo regional. En este artículo se discute estos aspectos y algunas perspectivas, presentando ejemplos de *downscaling* dinámico de eventos El Niño (1997-98 y 2015).

Forzante oceánico de gran escala: un GCM adecuado

Los modelos oceánicos regionales necesitan información a lo largo de todas sus fronteras abiertas, es decir, aquellas que no limitan con los continentes. Esta información contiene las señales de gran escala que deben ser transmitidas al dominio regional y se puede obtener ya sea a partir de observaciones climatológicas (en este caso contienen solamente el ciclo estacional), o a partir de GCMs. Es fundamental que el GCM usado como fuente de información para la región del Perú pueda reproducir correctamente la circulación general, la estructura promedio de la termoclina en el Pacífico Ecuatorial y su variabilidad a varios rangos de escalas temporales, como las oscilaciones intraestacionales (ondas de Kelvin ecuatoriales). Estas oscilaciones se propagan hacia el este del Pacífico a lo largo del ecuador y son particularmente intensas durante

Procesos claves para el modelado de los impactos de los eventos El Niño en la zona costera de Perú

Colas F., Echevin V.

Vincent Echevin, Dr.
Investigador Científico del
IRD/ LOCEAN



Doctor en Oceanografía Física de la Université Paul Sabatier de Toulouse, Francia, e Ingeniero de la Escuela Politécnica de Francia. Actualmente es investigador científico en el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) de Francia y en el Laboratorio LOCEAN de la Université Pierre y Marie Curie de Paris, donde lidera el equipo científico encargado de realizar estudios sobre temas de oceanografía física, bioquímica y biológica con un enfoque en los procesos de mesoescala (10-100km) y sub-mesoescala (1-10 km). Recientemente su investigación está enfocada en entender los procesos claves de acoplamiento entre la física y la bioquímica en el océano a lo largo de la costa, a escalas de tiempo tanto semanales como decadales, en el Pacífico Sureste.

primaria asociadas al afloramiento (Belmadani et al., 2012; Echevin et al., 2013). Durante El Niño, estas señales producen anomalías muy fuertes en superficie con un incremento del nivel del mar y de la temperatura a lo largo de la costa y una profundización de la termoclina (Fig. 2) y de la nutriclina en subsuperficie. Esta profundización provoca una reducción importante de la producción primaria.

Es también muy importante que el GCM pueda reproducir aproximadamente bien la circulación promedio de gran escala del Pacífico Ecuatorial para que las conexiones entre las corrientes ecuatoriales zonales y el sistema de corrientes costeras sean realistas en el modelo regional. Las corrientes zonales subsuperficiales (EUC al ecuador, pSSCC a $\sim 4^{\circ}\text{S}$, sSSCC a $\sim 7^{\circ}\text{S}$) transportan una parte importante del agua que entra en la zona costera y alimentan la Corriente Subsuperficial hacia el Polo (PCUC; Montes et al., 2010). La dinámica de la PCUC es un elemento clave de la circulación regional, ya que las conexiones entre estas corrientes soportan variaciones notables durante El Niño (Montes et al., 2011). Además, durante estos eventos, la acumulación de agua caliente en la zona ecuatorial produce un gradiente norte-sur del nivel del mar, frente a la costa peruana, que genera una

eventos El Niño. Una vez transmitidas en el dominio del modelo regional, llegan a las costas suramericanas y propagan su señal en el nivel del mar a lo largo de la costa hacia los polos (Fig. 1). Estas ondas costeras intraestacionales pueden influir sobre la dinámica y la producción

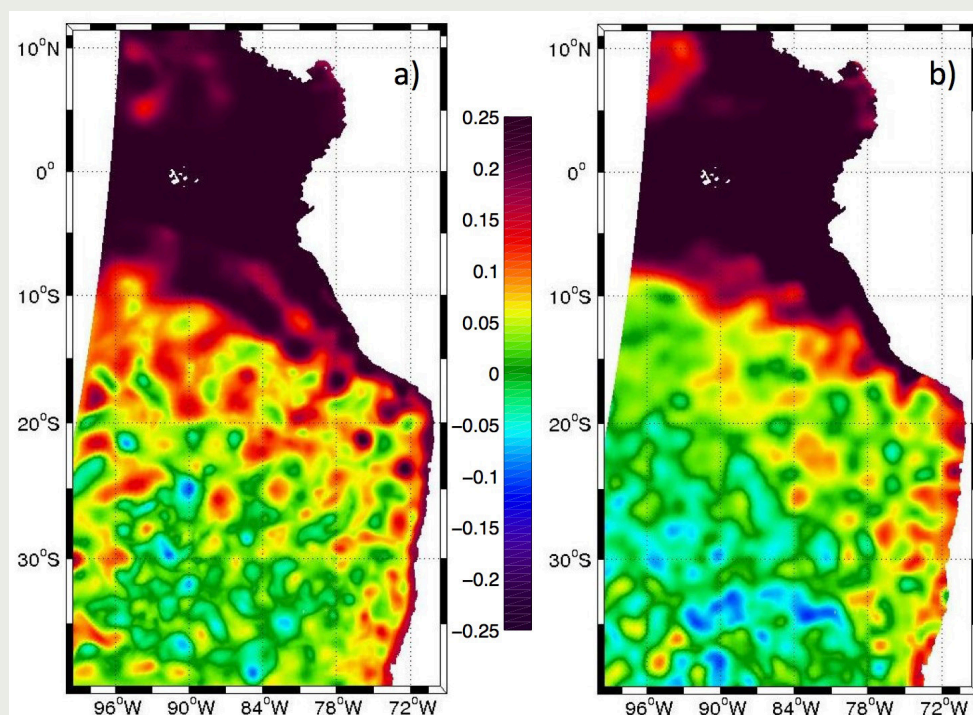
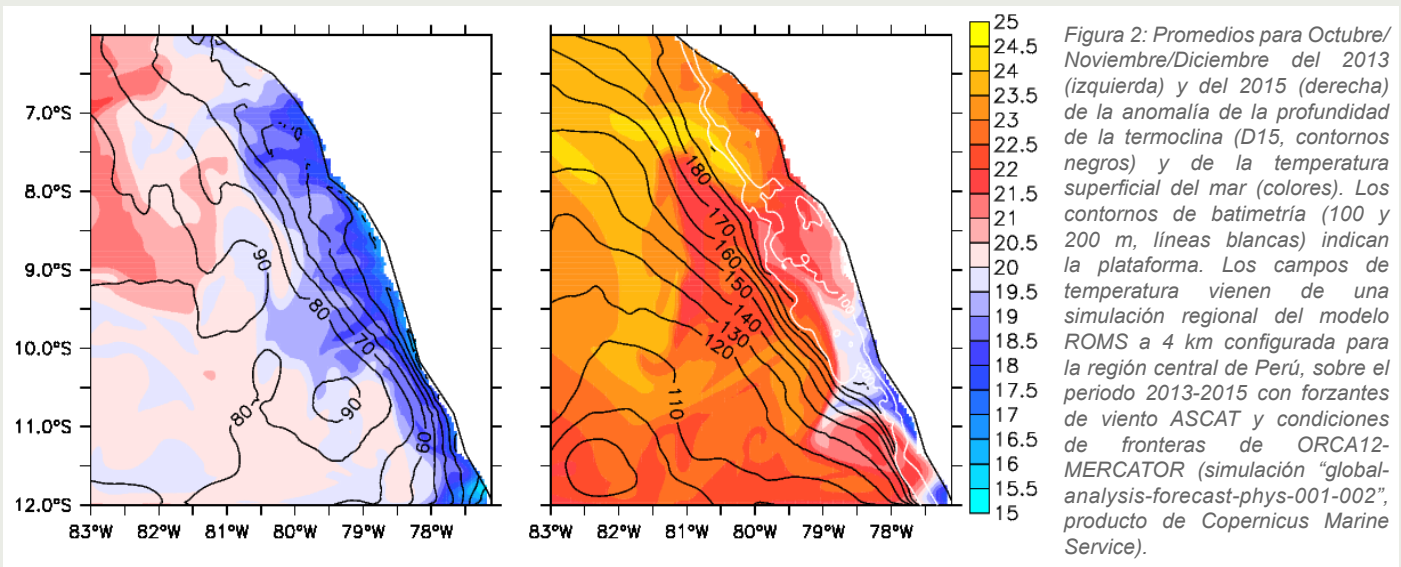


Figura 1: Anomalía del nivel del mar para el mes de diciembre 1997: (a) datos de altimetría (AVISO-DUACS) y (b) simulación del modelo oceánico regional ROMS configurado para todo el sistema de Humboldt (resolución espacial 7.5 km; Colas et al., 2008).



corriente geostrófica hacia la costa en las capas de superficie. Esta corriente geostrófica se opone al transporte de Ekman hacia mar afuera y modula la intensidad de la surgencia costera (Colas et al., 2008). En el caso de El Niño 1997-1998, este flujo geostrófico ha sido intenso durante algunos meses.

Forzante atmosférico: el rol clave del viento regional sobre el impacto costero de un evento El Niño

El viento es un elemento clave del sistema porque es el forzante de la surgencia y del sistema de corrientes costeras. La calidad del forzante atmosférico es un problema recurrente para los modelos oceánicos regionales, tanto bajo condiciones de tipo El Niño como bajo condiciones climáticas normales, porque su estructura costera no es bien conocida.

Aunque las mediciones satelitales han permitido muchos progresos en el conocimiento de los vientos sobre la superficie desde hace unos 20 años, las observaciones entre la costa y ~ 50 km mar afuera son muy pocas, ya que en esta franja dichas mediciones son contaminadas por la presencia del continente. Los modelos atmosféricos de gran escala presentan limitaciones, de igual manera que los GCMs oceánicos ya que en las zonas costera no tienen una resolución horizontal suficiente (> 50 km) para representar correctamente la estructura del viento, la cual se caracteriza generalmente por

un debilitamiento de la intensidad en una franja costera de ~ 50 - 100 km («wind drop-off»). Este *drop-off* es debido a una combinación de efectos de la topografía del continente y de la temperatura superficial del mar (Boe et al., 2011; Renault et al., 2015). La resolución espacial de los GCMs atmosféricos no permite resolver con precisión la topografía de los Andes y las estructuras térmicas de superficie del mar asociadas al afloramiento costero. Una estrategia prometedora, la cual permite evitar estas limitaciones debidas a la resolución espacial, es usar modelos regionales acoplados océano-atmósfera a alta resolución horizontal (Oerder et al., 2016).

El desconocimiento del viento costero es particularmente problemático durante El Niño. De hecho, dos efectos antagónicos ocurren en la zona costera: por un lado, la termoclina se profundiza y el agua de superficie es más caliente como consecuencia de la anomalía de gran escala y la acción de las ondas costeras («ondas de *downwelling*»); por el otro lado, la presencia de agua más caliente genera una intensificación del viento costero (Quijano, 2011; Fig. 3) la cual produce un incremento del afloramiento costero. Estos dos procesos interactúan y ambos tienen una influencia importante sobre la respuesta oceánica (Fig. 4): la intensificación del viento (forzante local) permite atenuar el efecto de la profundización de la termoclina (forzante de gran escala). Frente a esto el modelado regional a menor escala, que utiliza el acoplamiento océano-atmósfera, se

Procesos claves para el modelado de los impactos de los eventos El Niño en la zona costera de Perú

Colas F., Echevin V.

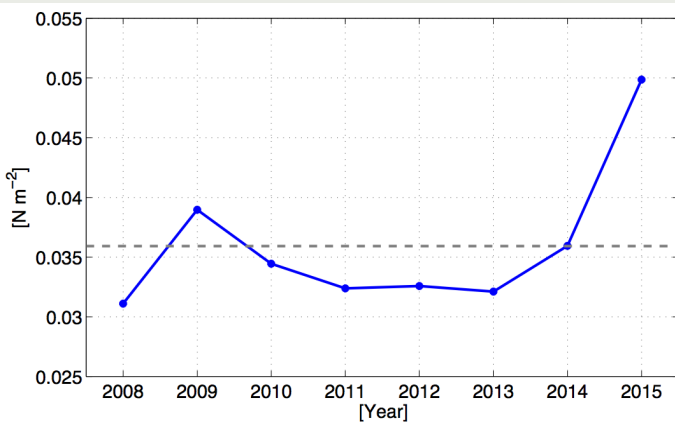


Figura 3: Serie de tiempo del promedio de la anomalía de viento ASCAT para Octubre/Noviembre/Diciembre (OND) del 2008 al 2015 para la zona costera de Perú (de 7°S a 13°S, de la costa a ~100km mar afuera). La anomalía del viento durante el evento El Niño (OND 2015) es muy evidente.

hace indispensable como una herramienta para reproducir el impacto de un evento El Niño sobre la región costera.

Forzante biogeoquímico: hacia el uso de GCMs

Modelar el impacto de El Niño sobre el ambiente biogeoquímico costero representa un desafío esencial. Durante los eventos extraordinarios de 1982-1983 y 1997-1998, la concentración de nutrientes en las aguas costeras disminuyó ampliamente (Barber and Chavez, 1983). Esto resultó en una disminución fuerte de la producción primaria y modificaciones mayores en toda la cadena trófica, desde el plancton hasta los depredadores superiores. La inclusión de estos

procesos biogeoquímicos en modelos regionales del sistema peruano es relativamente reciente (Echevin et al., 2008; 2013; Montes et al., 2014) y su realismo presenta varias limitaciones. La insuficiencia de observaciones biogeoquímicas *in situ* no permite obtener campos tridimensionales de nutrientes y de oxígeno que describan las variaciones intraestacionales e interanuales que podrían forzar las fronteras abiertas de los modelos regionales. Hasta ahora, se han usado climatologías en la mayor parte de los estudios de modelado regional, sin representar en los forzantes las variaciones fuertes asociadas a los eventos El Niño. Una alternativa podría consistir en el uso de GCMs con componentes biogeoquímicos (Aumont and Bopp, 2006). Además de una baja resolución espacial (~ 100 - 200 km), estos modelos presentan generalmente errores importantes en sus representaciones de las concentraciones de nutrientes y oxígeno en la región del Pacífico Sur-Este. Por lo tanto, avances en el modelado global de los procesos biogeoquímicos, particularmente en el Pacífico Ecuatorial, son indispensables para mejorar el modelado del impacto de eventos El Niño sobre el ecosistema costero peruano.

Conclusión

El modelado regional de los impactos oceánicos de un evento El Niño requiere varios ingredientes indispensables a cualquier estudio regional de *downscaling* dinámico: forzantes oceánicos de gran escala y forzantes atmosféricos locales (particularmente el viento en la región de

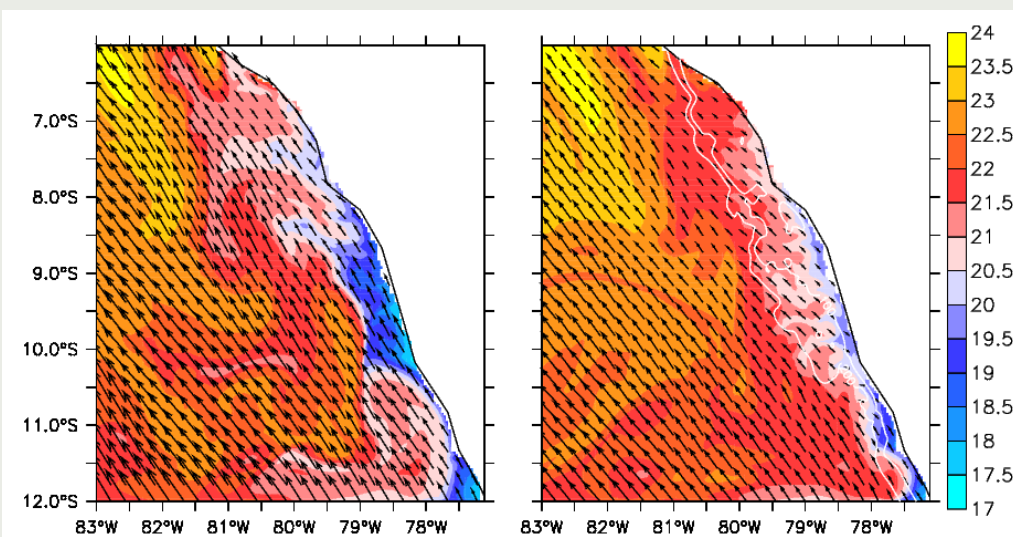


Figura 4: Impacto de la intensificación del viento costero (flecha, $N.m^{-2}$) sobre la TSM (color, °C) durante El Niño para el mes de diciembre 2015. Se realizaron dos simulaciones del modelo ROMS (configurado a 4 km de resolución para la región central de Perú), ambas con forzantes de fronteras de ORCA12-MERCATOR pero con forzante de viento diferente: (izquierda) viento ASCAT sinóptico, (derecha) climatología de viento ASCAT para el periodo 2007-2012. La intensificación local del viento durante El Niño limita el efecto de calentamiento debido a la señal de gran escala.

afloramiento costero de Perú) con un muy buen nivel de realismo. La combinación de estos efectos, generalmente antagónicos durante El Niño, introduce sutilezas en la respuesta oceánica de la región costera, la cual varía según los diferentes tipos de El Niño que se producen (Dewitte et al., 2012; Takahashi and Dewitte, 2015). Por lo tanto, las perspectivas de mejorar el modelado regional de El Niño están estrechamente relacionadas a los progresos futuros de todas las componentes de los GCMs (oceánica, atmosférica y biogeoquímica). Además, ya que parece necesario tomar en cuenta las retroacciones entre océano y atmósfera en la región costera (los procesos relacionados a la intensificación del viento durante El Niño), el uso de modelos regionales acoplados océano-atmósfera representa una perspectiva evidente y muy prometedor. Para poder estudiar de manera completa el impacto de El Niño sobre el mar peruano, es esencial que el modelo oceánico regional pueda alcanzar una alta resolución horizontal (~1 km). Este tipo de resolución permite resolver los procesos pertinentes para el ecosistema y varias aplicaciones sociales. Para eso, una estrategia de modelado eficiente consiste en *anidar* diferentes dominios realizando un *downscaling* paso a paso desde un dominio de extensión espacial amplia a baja resolución horizontal hasta dominios de extensión limitada a alta resolución (Fig. 5). Este tipo de estudio no ha sido usado mucho todavía para estudiar los impactos de El Niño y debería ser más desarrollado en el futuro. Estas herramientas deberían ser aplicadas a diferentes situaciones

correspondientes a distintos tipos de eventos El Niño para entender mejor y tener un conocimiento completo de los impactos sobre el mar peruano.

Referencias

Aumont, O., and L. Bopp, 2006: *Globalizing results from ocean in situ iron fertilization studies*, *Global Biogeochemical Cycles*, 20, GB2017, doi: 10.1029/2005GB002591.

Barber, R. T., and F. P. Chavez, 1983: *Biological Consequences of El Niño*, *Science*, Vol. 222, No. 4629, 1203-1210.

Belmadani, A., V. Echevin, B. Dewitte, and F. Colas, 2012: *Equatorially-forced intraseasonal propagations along the Peru-Chile coast and their relation with the nearshore eddy activity in 1992-2000: A modelling study*, *Journal of Geophysical Research*, doi: 10.1029/2011JC007848.

Boe, J., A. Hall, F. Colas, J. C. McWilliams, X. Qu, J. Kurian, and S. Kapnick, 2011: *What shapes mesoscale wind anomalies in coastal upwelling zones?*, *Climate Dynamics*, 36(11-12), 2037-2049.

Colas, F., X. Capet, J. C. McWilliams, and A. F. Schepetkin, 2008: *97-98 El Niño off Peru: a Numerical Approach*, *Progress in Oceanography*, 79, 138-155.

Dewitte, B., J. Vazquez-Cuervo, K. Goubanova, S. Illig, K. Takahashi, G. Cambon, S. Purca, D. Correa, D. Gutierrez, A. Sifeddine, and L. Ortlieb, 2012: *Change in El Niño flavours over 1958-2008: Implications for the long-term trend of the upwelling off Peru*, *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 77, 143-156.

Echevin V., O. Aumont, and J. Ledesma, 2008: *The seasonal cycle of surface chlorophyll in the Peru upwelling system: a modelling study*, *Progress in Oceanography*, 2008, 79 (special issue 2-4), 167-176, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.026>.

Echevin, V., A. Albert, M. Lévy, O. Aumont, M. Graco, and G. Garric, 2013: *Remotely-forced intraseasonal variability of the Northern Humboldt Current System surface chlorophyll using a coupled physical-ecosystem model*, *Continental Shelf Research*, doi: 10.1016/j.csr.2013.11.015.

Montes, I., F. Colas, X. Capet, and W. Schneider, 2010: *On the pathways of the Equatorial Subsurface Currents in the Eastern equatorial Pacific and their contributions to the Peru-Chile Undercurrent*, *Journal of Geophysical Research*, 115 (C09003), doi: 10.1029/2009JC005710.

Montes, I., W. Schneider, F. Colas, B. Blanke, and V. Echevin, 2011: *Subsurface connections in the eastern tropical Pacific during La Niña 1999-2001 and El Niño 2002-2003*, *Journal of Geophysical Research*, 116, C12022, doi: 10.1029/2011JC007624.

Montes, I., B. Dewitte, E. Gutknecht, A. Paulmier, I. Dadou, A. Oschlies, and V. Garçon, 2014: *High-resolution on modeling of the Eastern Tropical Pacific oxygen minimum zone: Sensitivity to the tropical oceanic circulation*, *Journal of Geophysical Research - Oceans*, 119, 5515-5532, doi: 10.1002/2014JC009858.

Oerder, V., F. Colas, V. Echevin, S. Masson, C. Hourdin, S. Jullien, G. Madec, F. Lemarié, 2016: *Mesoscale SST-wind stress coupling in the Peru-Chile current system: Which mechanisms drive its seasonal variability?*, *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-015-2965-7.

Quijano, J., 2011: *Simulación de la dinámica del viento superficial sobre la costa de Ica utilizando el modelo numérico de la atmósfera de mesoescala MM5*, Tesis para optar título profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.

Renault, L., A. Hall, and J. C. McWilliams, 2015: *Orographic shaping of US West Coast wind profiles during the upwelling season*, *Climate Dynamics*, 1-17.

Takahashi, K., and Dewitte, B., 2015: *Strong and moderate nonlinear El Niño regimes*, *Climate Dynamics*, 1-19.

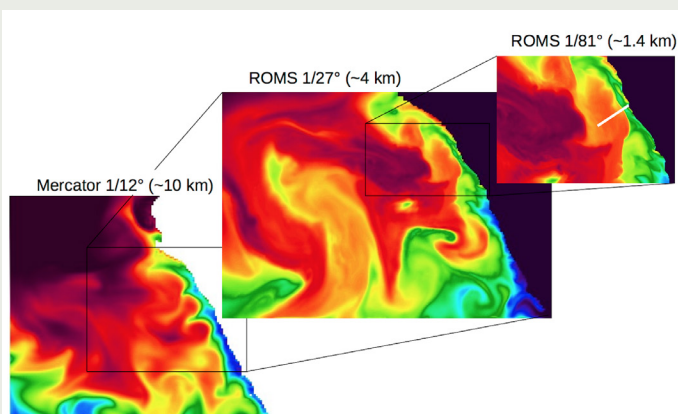


Figure 5: Temperatura superficial del mar para el 25/12/2015, simulada por tres dominios anidados: (izquierda) el modelo ORCA12-MERCATOR. Este modelo sirve de forzante para los dominios ROMS anidados (centro y derecha) a 4 km y 1.4 km de resolución. El color azul indica 20°C y el rojo 26°C.

Ondas Kelvin atmosféricas en el Pacífico Oriental

Lidia Huamán, Ing.¹; Karen León, Ing.¹; Ken Takahashi, Ph. D.¹.
¹Instituto Geofísico del Perú

Actualmente se conoce la existencia de sistemas organizados de gran escala los cuales se propagan en el ecuador y son importantes en la variabilidad intraestacional tropical. Estos modos de variabilidad fueron estudiados por primera vez en Riehl (1945), donde se identificaron ondas del este y, sucesivamente, en Matsuno (1966), donde se analizó la teoría de aguas someras sobre un plano ecuatorial Beta, encontrando diferentes modos de propagación zonal que ahora se conocen como ondas Kelvin, ondas Rossby ecuatoriales, ondas de gravedad de inercia, etc. Posteriormente, en Wheeler y Kiladis (1999), se aplicó un análisis espectral espacio-temporal para identificar las ondas ecuatoriales convectivas en un dominio de frecuencia de número de onda.

Las ondas Kelvin convectivas son perturbaciones del oeste, con velocidad de propagación entre 10 y 20 m/s desde la superficie hasta la alta tropósfera (10 km), en las que la interacción entre la circulación y la convección es esencial para la dinámica de las ondas, y se encuentran confinadas en la banda ecuatorial (Straub y Kiladis, 2002). Asimismo, este tipo de onda es un componente importante en la variabilidad de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) debido a que transporta calor y humedad. En el Pacífico Oriental, la ZCIT y las ondas Kelvin convectivas están posicionadas en el hemisferio norte la mayor parte del año (Huaman, 2015), sin embargo, durante eventos El Niño (1982-83 y 1997-98), cuando la temperatura superficial del mar (TSM; NOAA *Optimum Interpolation*) en la región Niño 3 está por encima de lo normal, la incidencia de este tipo de ondas sobre el ecuador aumenta significativamente (Figura 1).

El presente avance muestra evidencias observacionales de ondas Kelvin convectivas en el

Pacífico Oriental (90°W; 5°S-5°N) durante enero-mayo de 1998. Para el estudio se utilizaron promedios diarios de Radiación de Onda Larga (OLR) de la NOAA Interpolated OLR y filtros de onda Kelvin a partir de anomalías de OLR (Wheeler y Kiladis, 1999), así como promedios diarios de perfiles verticales de viento zonal medidos por un perfilador de viento en las islas Galápagos (0.9°S; 89.6°W) entre los niveles 950 y 630 hPa (Hartten y Gage, 2000).

Las anomalías del total de OLR durante el periodo enero-mayo de 1998, entre 5°S-5°N, muestran sistemas convectivos (anomalías negativas de OLR) con una velocidad aproximada de 15 m/s (Figura 2.b, líneas grises), propagándose desde el oeste hasta 90°W. Este valor es similar a la velocidad de fase observada en Straub y Kiladis (2002) durante los *Pan American Climate Studies (PACS) Tropical Eastern Pacific Process Study (TEPPS)* en 1997. Por otro lado, se consideró que cuando la anomalía de filtros-Kelvin de OLR fuese inferior a -15 Wm^{-2} y mínima, se catalogaría como el día 0 del evento. De ello, se seleccionaron 12 eventos de ondas Kelvin con incidencia en 90°W. La estructura vertical de anomalías de viento zonal en las islas Galápagos (Figura 2.a) muestra perturbaciones del oeste desde la superficie hasta por lo menos 630 hPa, las cuales están estrechamente relacionadas a la incidencia de ondas Kelvin convectivas. Sin embargo, a pesar de que la propagación de los mencionados sistemas convectivos cumple con las características de ondas Kelvin (frecuencia y número de ondas; Wheeler y Kiladis, 1999), existen diferencias en su intensidad asociadas al lugar de origen. Las ondas Kelvin originadas al este de 120°W parecen provocar una leve perturbación en la atmósfera en 90°W, mientras que las originadas entre 150°W y 180°W parecen provocar una perturbación bastante fuerte en 90°W.

Los 12 eventos de ondas Kelvin en el Pacífico Oriental han sido estudiados en conjunto utilizando los perfiles diarios de anomalías de viento zonal. Se seleccionó perfiles desde seis días antes (-6) hasta seis días después (+6) de cada

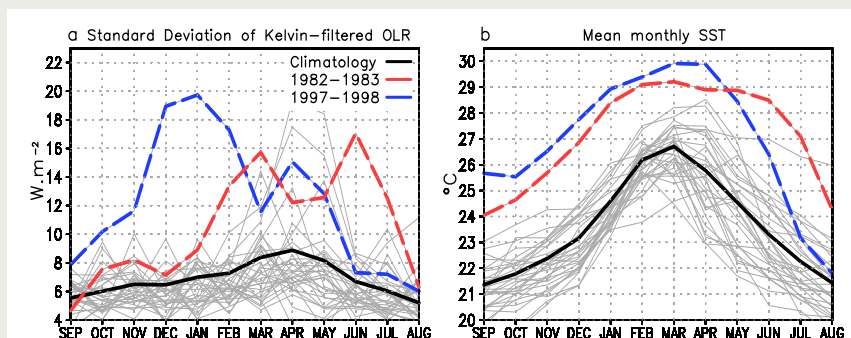


Figura 1: (a) Desviación estándar de filtros-Kelvin de anomalías de OLR en 0°N; 90°W y (b) Promedios mensuales de la TSM en la región Niño 3 para el periodo 1981-2010 (línea negra), 1982-83 (línea roja) y 1997-98 (línea azul).

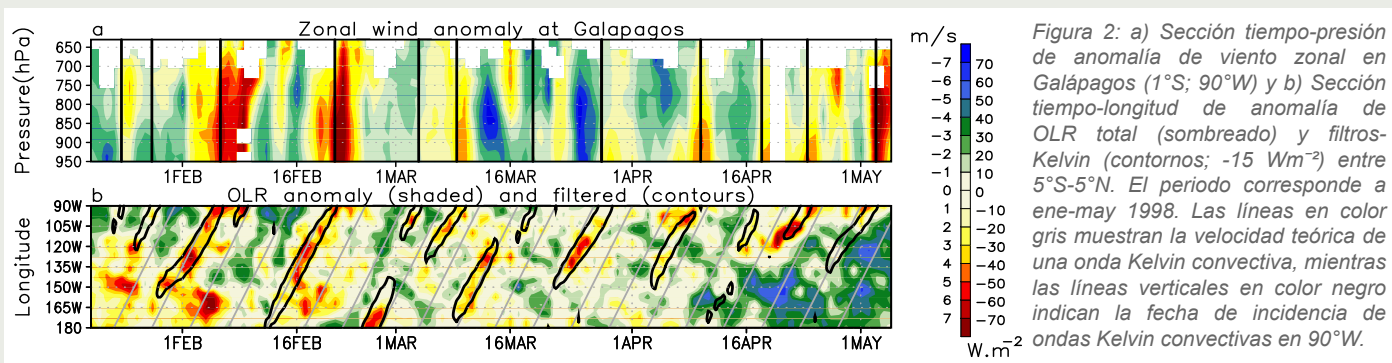


Figura 2: a) Sección tiempo-presión de anomalía de viento zonal en Galápagos (1°S; 90°W) y b) Sección tiempo-longitud de anomalía de OLR total (sombreado) y filtros-Kelvin (contornos; -15 Wm^{-2}) entre 5°S-5°N. El periodo corresponde a ene-may 1998. Las líneas en color gris muestran la velocidad teórica de una onda Kelvin convectiva, mientras las líneas verticales en color negro indican la fecha de incidencia de ondas Kelvin convectivas en 90°W.

evento (día 0). Asimismo los 12 eventos se promediaron para formar un compuesto (Figura 3b). En conjunto, se observan perturbaciones del este (anomalías de -1 m/s) días antes de la incidencia de una onda Kelvin, mientras que, a partir del día 0 hasta dos días después, se observa una fuerte perturbación del este (anomalías mayor a 1 m/s) concentrada entre 950 y 750 hPa (0.5 y 2.5 km, respectivamente). Estudios recientes en Majuro (7.1°N; 171.4°E), utilizando radiosondeos de la campaña COARE en el Pacífico Occidental y reanálisis ERA 40 (Kiladis et al., 2009), muestran, entre 1000 y 600 hPa, perturbaciones del oeste desde el día 0 hasta el día 2 similares a nuestros resultados. Sin embargo, también se nota una fuerte perturbación del este desde el día -2 hasta el día 0, que no es observada en las islas Galápagos. Estas diferencias pueden deberse a la selección de un periodo corto (enero-mayo 1998) en el presente avance.

Las ondas Kelvin convectivas representan un componente importante para la ZCIT. En el Pacífico Oriental, durante eventos El Niño, el eje principal de la ZCIT, que normalmente se encuentra al norte del ecuador, tiende a posicionarse simétricamente al ecuador. Asimismo, asociada a la ZCIT, existe propagación de sistemas convectivos del oeste con características de ondas Kelvin, los cuales podrían estar relacionados a patrones de precipitación extrema en la costa norte de Perú (Takahashi K., 2004; León K., 2015).

Referencias

Hartten, L. M., and K. S. Gage, 2000: ENSO's impact on the annual cycle: The view from Galápagos, *Geophysical Research Letters*, 27 (3), 385-388.

Huaman, L., 2015: Variabilidad estacional e interanual de ITCZ y la circulación atmosférica asociada en el Pacífico Oriental con datos de Radar, Tesis para optar título de ingeniero meteorólogo, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

Kiladis, G. N., M. C. Wheeler, P. T. Haertel, K. H. Straub, and P. E. Roundy, 2009: Convectively coupled equatorial waves, *Reviews of Geophysics*, 47, RG2003.

León, K., 2015: Patrones diarios de precipitación y su relación con la circulación atmosférica durante eventos extremos El Niño en la costa norte peruana, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Vol. 2, N°3, Marzo, 4-8, Instituto Geofísico del Perú.

Matsuno, T., 1966: Quasi-geostrophic motions in the equatorial area, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 44(1):25-42.

Riehl, H., 1945: *Waves in the Easterlies and the Polar Front in the Tropics*, Chicago, University of Chicago Press.

Straub, K. H., and G. N. Kiladis, 2002: Observations of a convectively coupled Kelvin wave in the eastern Pacific ITCZ, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 59, 30-53.

Takahashi, K., 2004: The atmospheric circulation associated with extreme rainfall events in Piura, Peru, during the 1997-1998 and 2002 El Niño events, *Annales Geophysicae*, 22, 3917-3926.

Wheeler, M., and G. N. Kiladis, 1999: Convectively coupled equatorial waves: Analysis of clouds and temperature in the wavenumber-frequency domain, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 56, 374-399.

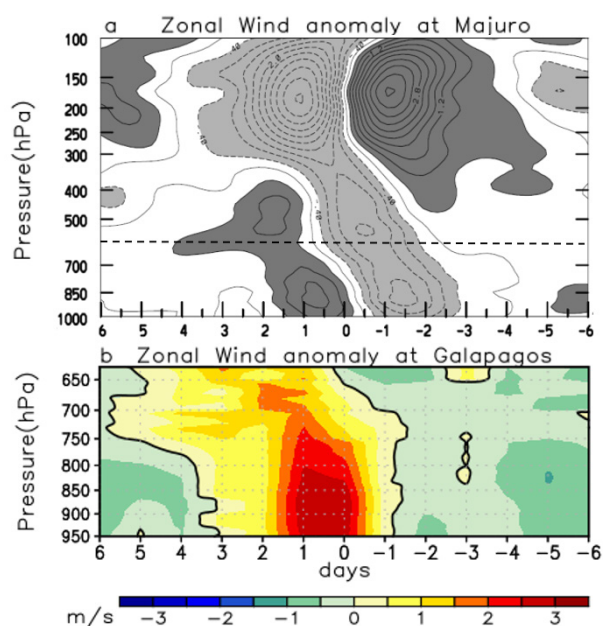


Figura 3: Sección tiempo-presión de anomalías de viento zonal en (a) Majuro (7.1°N; 171.4°E; extraído de Kiladis et al., 2009) y (b) Galápagos (0.9°S; 89.6°W), seis días antes y seis días después de un evento de onda Kelvin atmosférica (día 0). El sombreado oscuro representa anomalías positivas.

Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2015-12

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

Resumen

Según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), las condiciones climáticas de la costa peruana fueron cálidas fuertes (2.18°C) para el mes de noviembre, manteniéndose la presencia de El Niño Costero de magnitud fuerte. Los valores temporales del ICEN, 1 y 2, indican para los meses de diciembre y enero condiciones cálidas fuertes y cálidas moderadas, respectivamente. El pronóstico de la temperatura superficial del mar de los modelos numéricos internacionales para la región del Pacífico Oriental, con condiciones iniciales del mes de diciembre, indica en promedio que los estados climáticos se ubicarían en el rango de moderado para los meses de enero y febrero de 2016. Estos mismos resultados numéricos predicen que para el Pacífico Central las condiciones serían cálidas muy fuertes para esos meses.

Existen pulsos de viento del oeste entre 150°E y 180° que se dieron en la segunda quincena de diciembre y que se habrían proyectado en una onda Kelvin cálida. Esta onda debe alcanzar el extremo oriental a partir del mes de febrero, aunque por el momento su magnitud es menos intensa que la de las ondas anteriores.

Índice Costero El Niño

Utilizando los datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM) promediados sobre la región Niño1+2, actualizados hasta el mes de diciembre 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 noviembre de 2015. Es importante mencionar que desde el mes de octubre para este cálculo se están utilizando los datos grillados en formato netCDF disponibles en <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/cmb/ersst/v3b>, dado que son actualizados con más anticipación que las series de índices. Los valores se muestran en la Tabla 1.

Año	Mes	ICEN ($^{\circ}\text{C}$)	Condiciones costeras del mes
2015	Agosto	2.15	Cálida Fuerte
2015	Setiembre	2.07	Cálida Fuerte
2015	Octubre	2.23	Cálida Fuerte
2015	Noviembre	2.18	Cálida Fuerte

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

Según el valor del ICEN para el mes de noviembre, se establece que continúa la presencia de El Niño costero de magnitud fuerte, el cual se inició en abril del 2015.

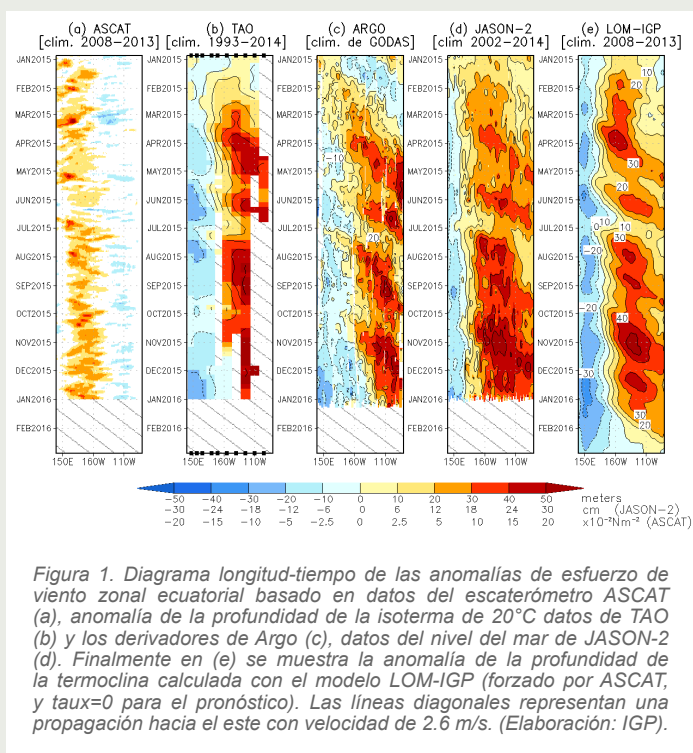
Diagnóstico del Pacífico Ecuatorial

Para el mes de diciembre el Pacífico Ecuatorial refleja el desarrollo del Fenómeno El Niño 2015. En este mes, el Pacífico Central continúa mostrando un acoplamiento del océano y atmósfera de gran escala, pero con menor intensidad. Las anomalías de la temperatura superficial del mar (ATSM) en Niño 3.4 son muy cercanas, en promedio, a las de 1997. En la región Niño 1+2 la ATSM está bastante por debajo de lo observado en 1997 y 1982, pero es superior a las condiciones de 1972. Las anomalías de viento del oeste en el Pacífico Central (160°E - 160°W ; 5°S - 5°N) descendieron y muestran una tendencia hacia la normalización como en los años 82 y 97. Finalmente, la convección en el Pacífico Central-Oriental sigue activa pero, a pesar que se incrementó durante el mes de diciembre, no alcanza los valores de 1982 y 1997. La termoclina en el Pacífico Oriental (110°W , 95°W), a pesar de estar más profunda de lo normal como consecuencia de la menor inclinación de la termoclina ecuatorial, no se asemeja a la observada en los años 1982 y 1997. La anomalía de vientos del sudeste (SE) ha estado, en promedio, durante el año, más fuerte que en 1982 y 1997, probablemente por la fase decadal fría en esta región. Hay que indicar que durante el mes de diciembre la profundidad promedio de la termoclina ecuatorial continuó disminuyendo hasta alcanzar valores por debajo de su climatología. Esto podría interpretarse como la fase de descarga que marcaría aparentemente el proceso de finalización de El Niño.

Pronóstico a corto plazo con modelo de ondas y observaciones

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 formó debido a pulsos de vientos del oeste en la segunda quincena de setiembre y que se fortaleció, en su evolución hacia el extremo oriental, en el mes de octubre, continuó su impacto en el Pacífico Ecuatorial en el mes de diciembre con una disminución de su señal en la última quincena. La termoclina en el extremo oriental (95°W) mostró en promedio una profundización de 30 m, siendo menor en la última semana del mes. Por otro lado, existen pulsos de viento del oeste entre 150°E y 180° , que se dieron en la segunda quincena de diciembre, que se habrían proyectado en una onda Kelvin cálida, tal como se observa en los datos de ARGO y JASON. Esta onda debe alcanzar el extremo oriental a partir del mes de febrero, aunque por el momento su magnitud es menos intensa que la de las ondas anteriores.

Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2015-12



Modelo	Magnitud
CFS2	Moderado
CMC1	Moderado
CMC2	Moderado
GFDL	Moderado
NASA	Fuerte
GFDL_FLOR	Moderado
NCAR_CCSM4	Moderado
NMME(prom)	Moderado
ECMWF	Débil
OBSERVADO	Fuerte

Tabla 2. Pronósticos de magnitud de El Niño costero para el verano (diciembre 2015 – marzo 2016) según los modelos climáticos con condiciones iniciales de diciembre de 2015.

Pronóstico estacional con modelos climáticos

Para el verano 2015-2016, los pronósticos de la anomalía de TSM en el Pacífico Oriental (Niño 1+2, ICEN) indican condiciones fuertes (1 de 8 modelos) y condiciones moderadas (6 de 8 modelos); el modelo ECMWF indica condiciones débiles (ver Figura 2). Para el caso particular del modelo de ECMWF, este presenta un mayor rango que los otros modelos, indicando condiciones desde extraordinarias hasta frías en sus miembros. Por otro lado, en el Pacífico Central (Niño 3.4) los modelos indican que las condiciones estarán en promedio en el rango de “cálidas muy fuertes” para los meses de febrero y marzo; las condiciones para los trimestres Enero-Marzo y Abril-Junio 2016 serían muy fuertes y moderadas, respectivamente.

Conclusiones

1. El ICEN para noviembre de 2015 fue de 2.18 (cálida fuerte).

2. La onda Kelvin cálida, la cual se formó debido a pulsos de vientos del oeste en la segunda quincena de setiembre y que se fortaleció, en su evolución hacia el extremo oriental, en el mes de octubre, continuó su impacto en el Pacífico Ecuatorial en el mes de diciembre con una disminución de su señal en la última quincena. Por otro lado, existen pulsos de viento del oeste entre 150°E y 180°, que se dieron en la segunda quincena de diciembre, que se habrían proyectado en una onda Kelvin cálida, tal como se observa en los datos de ARGO (termoclina) y JASON (altura del nivel del mar).

Esta onda debe alcanzar el extremo oriental a partir del mes de febrero, aunque por el momento su magnitud es menos intensa que la de las ondas anteriores.

3. Para el Pacífico Oriental (Niño 1+2), 6 de 8 modelos inicializados en diciembre indican que el mes de enero presentaría condiciones cálidas moderadas (2 de 8 indican fuertes). Según los datos observados, el pico habría sido en octubre del 2015. Para el verano 2015-2016, todos los modelos predicen menores anomalías de TSM (condiciones moderadas 6 de 8 modelos y condición fuerte 1 de 8 modelos). Los modelos GFDL_FLOR, NCAR_CCSM4 y ECMWF indican fin del evento en el mes de mayo.

4. Para el Pacífico Central (Niño 3.4), todos los modelos que han sido considerados y que fueron inicializados en diciembre, indican que El Niño alcanzaría una magnitud muy fuerte hasta fines de 2015, para luego decaer a lo largo de los primeros meses de 2016.

5. En la segunda quincena de diciembre, la magnitud de la ATSM y su tendencia en Niño 3.4 es similar a la de los años 1997 y 1982. Asimismo, en la zona Niño 1+2, la ATSM también muestra una tendencia negativa en todo el mes de diciembre, pero su magnitud continúa inferior a la de los años 1997 y 1982, incluso se aproxima a los valores del año 1972.

6. Las anomalías de viento del oeste en el Pacífico Central (160°E-160°W; 5°S-5°N) continúan debilitándose en el mes de diciembre, pero con valores similares a los de los años 82 y 97, aunque sin haber mostrado valores pico como en noviembre de 1982 u octubre de 1997.

Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2015-12

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. 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, Lima.

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

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

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

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

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

Pronóstico con modelos del ICEN CI 201512

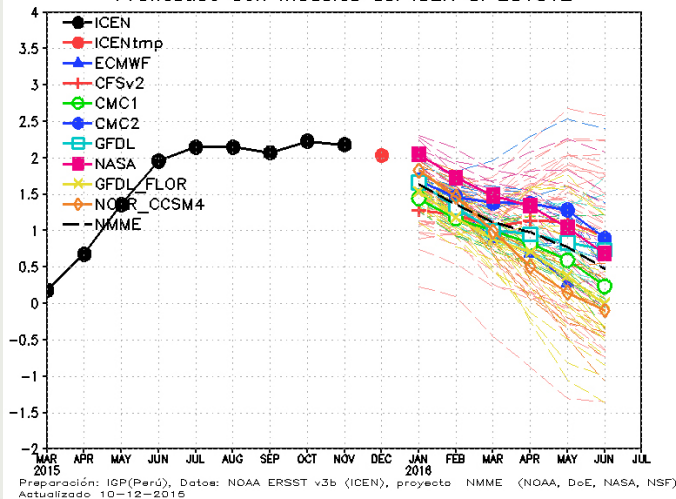


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y su valor temporal (ICENtmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de tres meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Las líneas entrecortadas corresponden 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 noviembre de 2015. El modelo ECMWF tiene como condición inicial el mes de diciembre 2015. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME, ECMWF).

7. La convección en el Pacífico Central-Oriental sigue activa y continuó incrementándose en el mes de diciembre, aunque sustancialmente más débil que en 1982 y 1997, pero por encima del año 1991. En el Pacífico Central, la convección mostró un pico record en diciembre, pero esto no se reflejó en el viento del oeste (ver arriba).

8. La termoclina en el Pacífico Oriental (125°W, 110°W, 95°W) continúa anómalamente profunda, pero en promedio con una tendencia a la normalización. Igualmente, la termoclina está más inclinada hacia el este que lo normal, pero sustancialmente menos que en 1997 (no hay dato para 1982). Por otro lado, la profundidad promedio de la termoclina ecuatorial (sin contenido de calor) muestra anomalías negativas con tendencia a la descarga, similar al año 1997.

9. Los vientos alisios del SE continuaron intensos en diciembre, sustancialmente más fuertes que en 1982 y 1997 (aparentemente por la fase decadal fría en esta región).

Comunicado Oficial ENFEN

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



COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 22 - 2015 Estado del sistema de alerta: **Alerta de El Niño Costero¹**

El Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) mantiene el estado de Alerta, debido al evento El Niño de magnitud fuerte que se viene presentando en la costa peruana con temperaturas por encima de lo normal. Se espera la ocurrencia de lluvias ocasionales que alcancen la categoría de lluvias "muy fuertes"² en Tumbes y Piura, hacia finales de diciembre y enero.

La probabilidad para el verano de que El Niño costero tenga una magnitud moderada es de 50%, mientras que el escenario fuerte tendría una probabilidad de 35%.

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 diciembre y sus perspectivas.

Continúa la fase cálida de El Niño-Oscilación del Sur. En las dos primeras semanas de diciembre, la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en la región del Pacífico Ecuatorial Central (Niño 3.4)³ continúa mostrando valores por encima de los observados en 1997 y 1982 (ver Figura 1a). En lo que respecta a las precipitaciones en el Pacífico Ecuatorial central y oriental -un indicador clave del acoplamiento océano-atmósfera-, estas se incrementaron pero no alcanzaron los valores observados en 1997 y 1982. En el caso del Pacífico ecuatorial oriental la presencia de flujos del oeste de alta atmósfera están inhibiendo las precipitaciones de magnitud fuerte en las últimas semanas.

En la anomalía del Nivel Medio del Mar (NMM) satelital se observa la señal de una nueva onda Kelvin cálida en la región del Pacífico ecuatorial. Esta onda se debió a las anomalías de viento del oeste entre 150°E y 160°W que se dieron desde fines de noviembre e inicios de diciembre. Por el momento no se observa que sea muy intensa.

En la primera quincena de diciembre, el promedio del NMM en el litoral norte fue de +20 cm por encima de lo normal, mientras que en el litoral centro y sur, las anomalías fueron +14 cm. Para la TSM el promedio de las anomalías alcanzaron +3,6°C en la costa norte y +2,5°C frente al Callao.

En la Estación Fija Paita, localizada a siete millas náuticas de la costa, se incrementó la anomalía de la temperatura del mar hasta +6°C en los primeros 40 metros, debido al tránsito de la onda Kelvin ecuatorial.

Las temperaturas extremas del aire continuaron por encima de lo normal a lo largo de la costa norte y central con valores de +1,4°C para la temperatura máxima, mientras que para la temperatura mínima fue +2,0°C. Por otro lado, los vientos costeros del sur y sureste continuaron intensos debido al fortalecimiento del Anticiclón del Pacífico Sur (1023 hPa en su núcleo; normal: 1020 hPa).

El Índice Costero El Niño (ICEN) para el mes de octubre fue +2,23°C, manteniendo la categoría Cálida Fuerte.

Los caudales de los ríos en la costa del país en la primera quincena de diciembre se presentaron por debajo de sus valores promedio. Los reservorios en la costa norte y sur muestran en promedio 43% de su capacidad máxima.

La anchoveta presentó una amplia distribución dentro de las 50 millas entre Pimentel y San Juan de Marcona. Los índices reproductivos mostraron la finalización del periodo principal del desove y la distribución vertical de los cardúmenes presentaron una mayor profundización en este periodo.

PERSPECTIVAS

La onda Kelvin cálida, generada por la anomalía de vientos del oeste durante setiembre y octubre en el Pacífico Central, se espera que mantenga o incremente la anomalía de

¹Definición 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 ICENtmp indica condiciones cálidas, y se espera que se consolide El Niño costero (Nota Técnica ENFEN 01-2015).

²Lluvias muy fuertes: Aquellas que superan el umbral del percentil 95 (aproximadamente de 20-30 mm/día para diciembre y enero)

³Región Niño 3.4: 5°S - 5°N, 170°W - 120°W.

la TSM, sin sobrepasar en promedio los +2,5°C, en la región Niño 1+2 en lo que resta del mes de diciembre 2015 y enero 2016, manteniendo las condiciones de un Niño Costero de magnitud fuerte. Asimismo, se espera la ocurrencia de lluvias ocasionales que alcancen la categoría de lluvias "muy fuertes" en Tumbes y Piura, hacia finales de diciembre y enero.

Para el Pacífico ecuatorial central (región Niño 3.4), los modelos globales continúan pronosticando que El Niño alcanzaría una magnitud muy fuerte hasta fines de 2015 para luego decaer a lo largo de los primeros meses de 2016. De acuerdo a la Tabla 2 del Comunicado Oficial ENFEN N° 021-2015, la probabilidad que en el verano El Niño alcance una magnitud fuerte es de 50% y muy fuerte es de 25%.

El Niño en el Pacífico central durante el verano, implica la posibilidad -sin ser determinante- de reducción de las lluvias en los Andes y la Amazonía, especialmente en la sierra sur.

Los modelos globales para el Pacífico oriental (Niño 1+2) indican en su mayoría que El Niño Costero en marcha mantendría una magnitud fuerte hasta el mes de diciembre, mientras que para los meses de enero a marzo del 2016, la mayoría de modelos predicen una magnitud moderada.

De acuerdo a la última evaluación del Comité ENFEN (Comunicado Oficial ENFEN N° 21-2015), la probabilidad de que El Niño Costero continúe hacia el verano con una magnitud moderada es de 50%, mientras que la probabilidad que alcance la magnitud fuerte es de 35% (Tabla 1).

Si bien no hay registro histórico de un evento El Niño Costero con magnitud moderada durante el verano, se debe señalar que en condiciones cálidas moderadas se pueden producir lluvias intensas en la costa norte, particularmente en los meses de febrero y marzo que son estacionalmente los más cálidos.

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 en el Pacífico oriental (El Niño Costero) y en el Pacífico central para el verano del hemisferio sur.

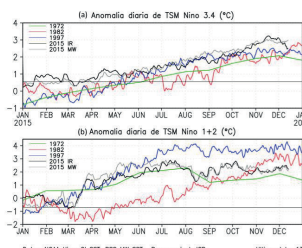
Comité Multisectorial ENFEN
Callao-Perú, 17 de diciembre de 2015

Tabla 1. Probabilidades de las magnitudes de El Niño Costero en el verano (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	5%
El Niño costero moderado	50%
El Niño costero fuerte (como en 1982-1983)	35%
El Niño costero extraordinario (como en 1997-1998)	5%

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	50%
El Niño muy fuerte en el Pacífico Central	25%



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



COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 01 - 2016 Estado del sistema de alerta: **Alerta de El Niño Costero¹**

El Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) mantiene el estado de Alerta, debido al evento El Niño costero de magnitud fuerte que se viene presentando con condiciones cálidas en la costa peruana desde otoño del 2015.

Para el verano 2015-2016 el escenario más probable es que El Niño costero sea moderado.

Durante el mes de enero se espera que continúe la ocurrencia de lluvias débiles en Tumbes y Piura, mas no se descarta algunos episodios de lluvias entre moderadas a muy fuertes². Para el resto del verano es más probable la ocurrencia de episodios de lluvias muy fuertes debido a la estacionalidad y a El Niño en curso.

En la región andina se espera continúen las lluvias deficitarias asociadas a El Niño en el Pacífico Central, sin descartar episodios de lluvias muy fuertes.

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 diciembre del 2015 y sus perspectivas.

Continúa la fase cálida de El Niño-Oscilación del Sur. En la región del Pacífico Ecuatorial Central (Niño 3.4)³, la Temperatura Superficial del Mar (TSM) presentó anomalías cálidas muy fuertes con valores por encima de los observados en 1997 y 1982, pero ha iniciado una tendencia decreciente (ver Figura 1). En lo que respecta a las precipitaciones en el Pacífico Ecuatorial central-oriental --un indicador clave del acoplamiento océano-atmósfera--, estas se incrementaron pero no alcanzaron los valores observados en 1997 y 1982.

En la última quincena de diciembre se observó una sustancial intensificación de los flujos del oeste de la alta atmósfera en el Pacífico ecuatorial oriental, los cuales han inhibido las precipitaciones de magnitud fuerte en la costa norte.

En la anomalía del Nivel Medio del Mar (NMM) se observó la señal de una nueva onda Kelvin cálida en la región del Pacífico ecuatorial generada por las anomalías de viento del oeste entre 150°E y 160°W entre fines de noviembre e inicios de diciembre, pero esta onda está siendo atenuada en su ingreso al Pacífico oriental.

Durante el mes de diciembre, el promedio del NMM en el litoral norte fue de +18 cm por encima de lo normal, mientras que en el litoral centro y sur, las anomalías fueron +7 y +12 cm, respectivamente. Para la TSM el promedio de las anomalías fue de +3,5°C en la costa norte (+4,6°C en Paita), +2,3°C en la costa central y +1,5°C en la costa sur.

En la Estación Fija Paita, localizada a siete millas náuticas de la costa, se presentó una anomalía máxima de la temperatura del mar hasta +6°C en los primeros 40 metros de profundidad en la primera quincena de diciembre, debido a la llegada de la onda Kelvin ecuatorial, para luego disminuir a +4°C en la segunda quincena.

Las temperaturas extremas del aire continuaron por encima de lo normal a lo largo de la costa norte y central con valores de +1,2°C para la temperatura máxima, mientras que para la temperatura mínima fue +1,8°C. Por otro lado, los vientos costeros del sur y sureste continuaron intensos debido al fortalecimiento del Anticiclón del Pacífico Sur.

El Índice Costero El Niño (ICEN) para el mes de noviembre fue +2,18°C, manteniendo la categoría Cálida Fuerte. Se resalta que este valor es el tercero más alto para este mes en el registro (1950-presente), después de los valores de noviembre de 1997 y 1982.

En el mes de diciembre se registró deficiencia de lluvias en la región andina, especialmente

¹Definición 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 ICENtmp indica condiciones cálidas, y se espera que se consolide El Niño costero (Nota Técnica ENFEN 01-2015).

²Lluvias muy fuertes: Aquellas que superan el umbral del percentil 95 (aproximadamente de 20-30 mm/día para diciembre y enero en Tumbes y Piura)

³Región Niño 3.4: 5°S - 5°N, 170°W - 120°W.

en el norte y el sur, consistente con los efectos esperados de El Niño en el Pacífico Central. Asimismo los caudales de los ríos en la costa del país se presentaron por debajo de sus valores promedio. Los reservorios en la costa norte y sur muestran en promedio 38% de su capacidad máxima.

La anchoveta mostró una amplia distribución entre Pimentel y San Juan de Marcona principalmente dentro de las 30 mn, la distribución vertical de los cardúmenes presentó una mayor profundización al sur de Paita. Los índices reproductivos mostraron la finalización del periodo principal del desove.

PERSPECTIVAS

El evento El Niño costero continuará en el transcurso del presente verano. Para el mes de enero 2016, continuarán las anomalías positivas de la TSM con una tendencia a disminuir, en la región Niño 1+2, manteniendo las condiciones cálidas con magnitud entre fuerte y moderada. Durante el mes de enero se espera que continúe la ocurrencia de lluvias débiles en Tumbes y Piura, mas no se descarta algunos episodios de lluvias entre moderadas a muy fuertes. Para el resto del verano (febrero y marzo) es más probable la ocurrencia de episodios de lluvias muy fuertes en esta región, debido a la estacionalidad y a El Niño en curso.

Los modelos globales para el Pacífico oriental (región Niño 1+2) indican en su mayoría condiciones cálidas fuertes hasta el mes de diciembre y que disminuirían en los meses de enero a marzo del 2016. La opinión experta del Comité ENFEN es que la probabilidad de que El Niño costero en el periodo diciembre 2015-marzo 2016 sea moderado es de 65% (Tabla 1), situación que podría generar lluvias intensas sólo inferiores a las registradas en los eventos El Niño de 1982-83 y 1997-98.

Para el Pacífico ecuatorial central (región Niño 3.4), los modelos globales pronostican la declinación del evento El Niño en los primeros meses de 2016. La opinión experta del Comité ENFEN es que la probabilidad de que El Niño en el Pacífico central en el periodo diciembre 2015-marzo 2016 sea fuerte es de 55% (Tabla 2).

El Niño en el Pacífico central seguirá modulando el régimen de las lluvias en la región andina. Se estima que la deficiencia de lluvias continuará en la región andina, lo que no contradice la ocurrencia a nivel diario de eventos esporádicos de precipitaciones de fuerte intensidad.

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

Comité Multisectorial ENFEN
Callao-Perú, 07 de enero de 2016

Tabla 1. Probabilidades de las magnitudes de El Niño Costero en el verano (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	65%
El Niño costero fuerte (como en 1982-1983)	15%
El Niño costero extraordinario (como en 1997-1998)	5%

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	20%
El Niño fuerte en el Pacífico Central	55%
El Niño muy fuerte en el Pacífico Central	15%

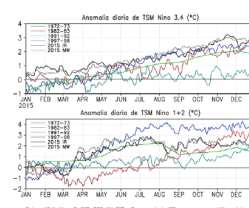



Figura 1. Series de tiempo de la anomalía de la TSM en la región Niño 3.4 (a) y Niño 1+2 (b). Las líneas en color negro y gris indican la evolución de la anomalía de la TSM en el presente año usando información infrarroja (IR) y microondas (MW), respectivamente. Las líneas de color rojo, azul y verde, indican la evolución de la anomalía de la TSM para los años 1982, 1997 y 1972.





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

En el marco del:

