



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú - IGP



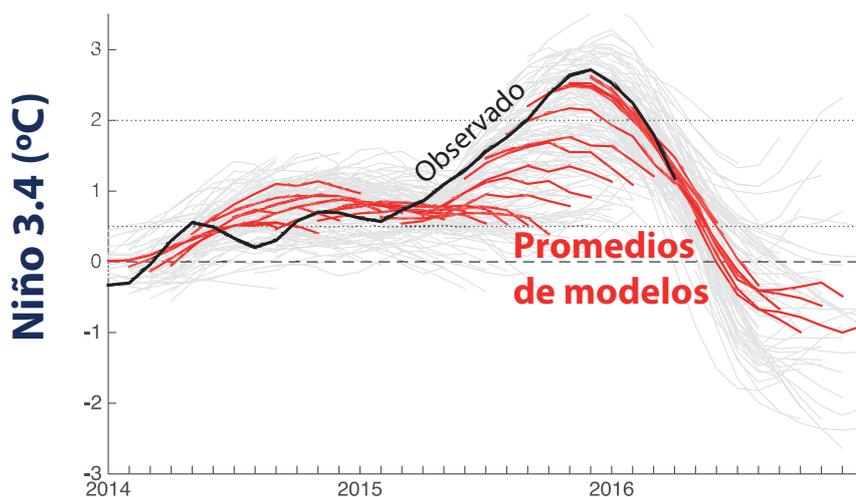
Programa Presupuestal por Resultados N° 68 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. Producto: “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”

“Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”

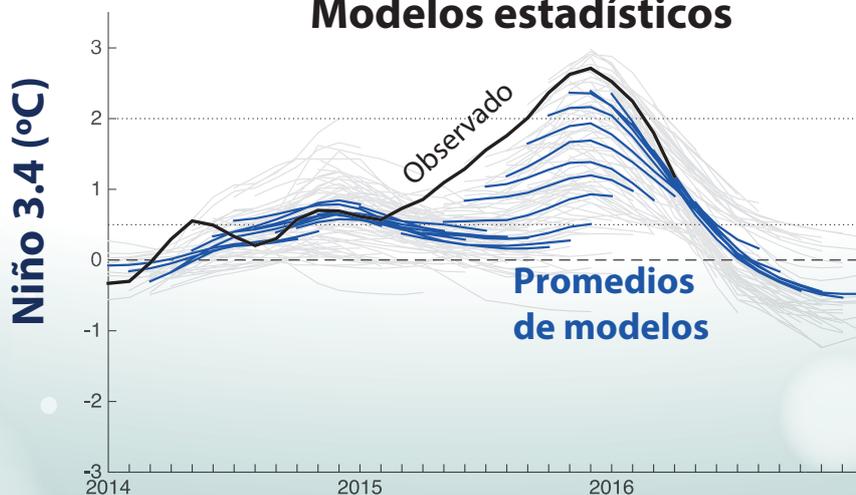
Boletín Técnico

Pronóstico numérico de El Niño 2015-2016

Modelos dinámicos



Modelos estadísticos



Contenido

2 - 3 Introducción

4 - 8 Artículo de Divulgación Científica

9 - 10 Avances Científicos

11 - 13 Resumen Informe Técnico

14 - 15 Comunicado Oficial ENFEN

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

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

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

Elsa Galarza Contreras
Ministra del Ambiente

Hernando Tavera
Presidente Ejecutivo IGP (e)

Edmundo Norabuena
Director Científico IGP (e)

Ken Takahashi
Responsable Producto El Niño - IGP

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

Edición: Katherine Morón
Diseño y Diagramación: Dante Guerra

Carátula: Takahashi, 2016

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

Impreso por: Editora y comercializadora cartolan EIRL
Pasaje Atlantida N°113 – Lima

Lima, Enero del 2017

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

Introducción

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

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) viene participando en el Programa Presupuestal por Resultados 068: “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. A partir del año 2014, algunas de las instituciones integrantes del Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) participan en este PPR con el producto denominado “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”, que consiste en la entrega en forma oportuna de información científica sobre el monitoreo y pronóstico de este evento natural océano-atmosférico, mediante informes técnicos mensuales, que permitan la toma de decisiones a autoridades a nivel nacional y regional.

A este producto, el IGP contribuye con la actividad “Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”, la cual incluye la síntesis y evaluación de los pronósticos de modelos climáticos internacionales, el desarrollo y validación de nuevos modelos de pronóstico, así como el desarrollo de estudios científicos que fortalecerá en forma continua la capacidad para este fin.

El presente Boletín tiene como objetivo difundir conocimientos científicos, avances científicos y noticias relacionadas a este tema, con la finalidad de mantener informados a los usuarios y proporcionarles las herramientas para un uso óptimo de la información presentada. Además, comparte una versión resumida del Informe Técnico que el IGP elabora mensualmente para cumplir con los compromisos asumidos en el marco del PPR 068. Dicho Informe contiene información actualizada operativamente y proporcionada por el IGP como insumo para que el ENFEN genere en forma colegiada la evaluación final que será diseminada a los usuarios. Se advierte que, en caso de discrepancias, el Informe Técnico del ENFEN prevalecerá.

Los resultados de esta actividad están disponibles en:
www.igp.gob.pe/sysppr.



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.

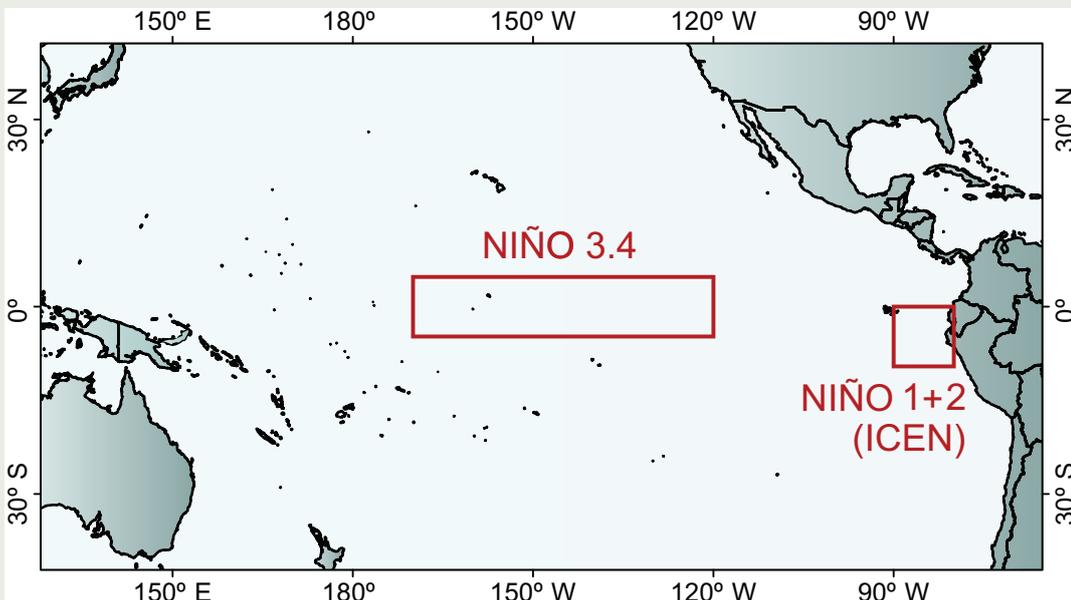
El Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformado por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA e Indeci, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

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.

Predicciones numéricas de El Niño 2015-2016

Introducción

El Niño en 2015-16 fue probablemente el evento de El Niño-Oscilación Sur (ENOS) más esperado tanto por la comunidad científica como la sociedad a nivel mundial y fue precedido por casi cuatro décadas de avances en los sistemas de observación y predicción. A mediados de 2015, los centros de pronósticos operacionales de todo el mundo eran casi unánimes: con una probabilidad que El Niño sería fuerte y con potencial de competir con los grandes eventos El Niño de 1982-83 y 1997-98.

Sin embargo, el ENOS es un fenómeno climático multifacético que afecta a cada país de una manera diferente y las agencias nacionales utilizan diferentes índices, umbrales, y criterios. Por ejemplo, el Perú emite pronósticos para “El Niño costero” (ENFEN 2012), porque el clima en la costa es muy sensible al aumento local de la temperatura superficial del mar (TSM), y particularmente la posibilidad de lluvias muy intensas (ej. Takahashi 2004). Por otro lado, quizás el índice de ENOS más comúnmente monitoreado por las agencias internacionales es la anomalía de la TSM en la región denominada Niño 3.4 (ver mapa en la pág. 3), en el Océano Pacífico ecuatorial central, ya que la temperatura en esta región afecta fuertemente a los patrones de circulación atmosférica a nivel planetario (Barnston et al., 1997). Como consecuencia, si bien la mayoría de modelos de pronóstico generan resultados a nivel global, la mayoría de la información de las diferentes agencias disponibles libremente se limita al índice de Niño 3.4.

El presente artículo está basado en una traducción selectiva de L’Heureux et al. (2016) y discute los pronósticos realizados por modelos numéricos para El Niño 2015-16, enfocado principalmente en la región Niño 3.4.

Pronósticos multi-modelos

Los centros de pronóstico operacional consideran sus propios modelos climáticos internos y una serie de “plumas” de modelos, que son gráficas que muestran miembros de *ensembles* de corridas y/o los promedios de dichos “*ensembles*” para un conjunto de modelos diferentes.

La pluma multi-modelo IRI/CPC¹ para el pronóstico del índice de temperatura superficial del mar (TSM)



Michelle L’Heureux, M. Sc.
Investigadora del Centro Nacional de Administración de la Atmósfera y los Océanos (NOAA)

Meteoróloga y científica del clima en el Centro de Predicción Climática de la NOAA de los EE.UU., en el cual lidera el grupo de predicción de El Niño-Oscilación Sur. Obtuvo su maestría en ciencias atmosféricas en la Colorado State University. Tiene más de 20 publicaciones con revisión por pares en los temas de variabilidad y predictibilidad climática, así como de cambio climático.

y la región Niño 3.4 (170°O-120°O, 5°S-5°N) en el Pacífico central, es quizás la recopilación operacional más larga de varios modelos, que incluye modelos tanto dinámicos como estadísticos. Mensualmente, varias agencias a nivel mundial proporcionan el pronóstico promedio estacional de Niño 3.4 de sus modelos con hasta 9 meses de anticipación. En las actualizaciones más recientes de la pluma IRI/CPC se muestra un *ensemble* de múltiples modelos (MME en inglés), con poco más de 15 modelos “dinámicos” (que resuelven las ecuaciones matemáticas de la física) y casi 10 “estadísticos” (que utilizan relaciones empíricas basadas en datos observacionales pasados). Sin embargo, dentro de la categoría dinámica se encuentran un conjunto de menos de 5 modelos del tipo llamado “modelos de complejidad intermedia” (ICMs en inglés), que son híbridos, no tan completos como los modelos dinámicos de última generación y que dependen fuertemente de métodos estadísticos. En los últimos dos años, en general, la bondad de los pronósticos dinámicos es mejor cuando se excluyen los ICMs, mientras que el promedio de ICMs no es mejor que el promedio de los modelos estadísticos.

Existen otras plumas de modelos, como el *Ensemble* de Modelos Norteamericanos (NMME; Kirtman et al., 2014) y EUROSIP (Palmer et al., 2004), de los que cada vez más pronosticadores de ENOS dependen. La ventaja de estas plumas es que muestran los miembros individuales del *ensemble* de cada modelo, cuya dispersión representa el “ruido” o la incertidumbre asociada a la sensibilidad de las previsiones climáticas a las condiciones iniciales

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

Ken Takahashi Guevara, Ph.D.

Investigador científico del
Instituto Geofísico del Perú



Ph.D. en Ciencias Atmosféricas de la University of Washington, Seattle, EE.UU. y Físico de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Actualmente es investigador científico en el Instituto Geofísico del Perú, donde está a cargo de la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrosfera, y representa al IGP en el Comité Técnico del ENFEN. 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.

debido a la naturaleza caótica del sistema (ver Takahashi, 2015).

La Figura 1 ilustra, con líneas grises el pronóstico de cada modelo individual de la pluma IRI/CPC desde el trimestre diciembre 2013-febrero 2014 hasta febrero-abril 2016 para el caso de los modelos dinámicos (panel superior), incluyendo los ICMs, y los modelos estadísticos (panel inferior). Las líneas azules y rojas representan el promedio del MME, por lo que se ubican dentro del rango de las líneas grises correspondientes a modelos individuales. En general, el promedio MME tiende a ser más hábil que cualquier modelo individual porque, al promediar, los errores de los modelos individuales tienden a anularse entre sí (Palmer et al., 2004; Kirtman et al., 2014). Sin embargo, la realidad será el resultado de una señal predecible (por ejemplo, debido a la dinámica ENOS) y procesos impredecibles que se consideran ruido, mientras que el promedio MME está diseñado para suprimir el ruido impredecible con el fin de identificar la señal predecible. Los eventos de ENOS son oportunidades para la predicción cuando el rol de la señal predecible es mayor que el nivel típico de ruido (por ejemplo, Vecchi et al., 2006; Kumar y Hu 2014). Las predicciones 2015-16 del índice Niño 3.4 SST fueron exitosas, especialmente cuando se yuxtaponen con la baja predictibilidad de ENOS en la década anterior (Barnston et al., 2012) y las predicciones fallidas de El Niño en 2014-15, el cual no creció como esperado (McPhaden 2015). Para los períodos objetivo en 2014, el pronóstico promedio de los modelos estadísticos (líneas azules) fue más cercano a lo observado (línea negra), mientras que el promedio dinámico (líneas rojas) sobrepasó en gran medida el calentamiento observado en Niño 3.4. Pero después de mediados de 2014, los pronósticos

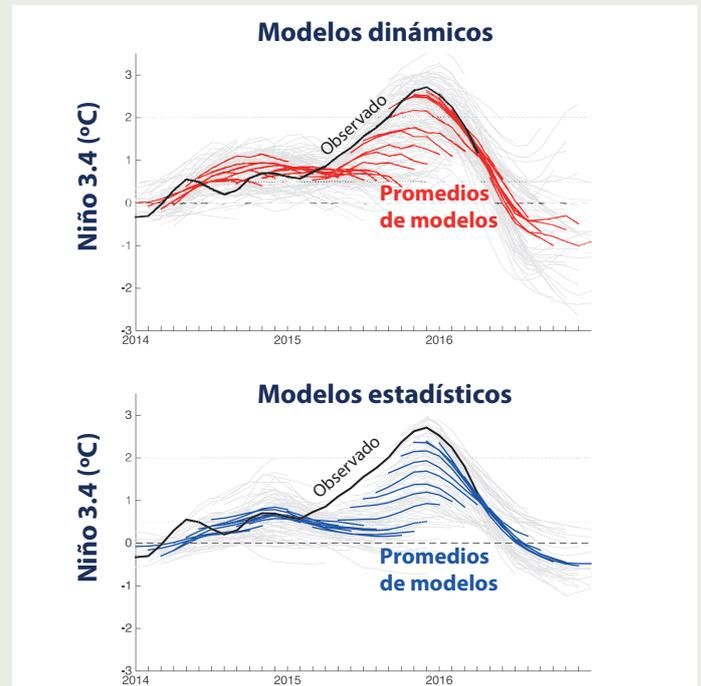


Figura 1. Pluma IRI/CPC de pronósticos multi-modelos de la anomalía de temperatura superficial del mar trimestral en la región Niño 3.4 (2014-2016) separada en modelos dinámicos (arriba) y estadísticos (abajo) para todas las condiciones iniciales y leads. Lo observado se muestra en negro, el promedio multi-modelo en rojo y azul, y el promedio de ensemble de cada modelo en gris.

mejoraron y, en general, se acercaron al modesto calentamiento (anomalía de TSM en Niño 3.4 cerca de $+0,5^{\circ}\text{C}$) observado durante varias temporadas en 2014-15.

Al salir del verano 2014-15, una serie de modelos dinámicos y estadísticos predijeron una disminución en el índice Niño 3.4. Una vez que los datos observacionales mostraron un calentamiento a principios de 2015, muchos modelos dinámicos y estadísticos comenzaron a pronosticar un El Niño más significativo. Sin embargo, ambos promedios de MME subestimaron la fuerza del pico del episodio, sin prever la posibilidad de un evento con $+2^{\circ}\text{C}$ de calentamiento hasta mediados de julio de 2015 en el caso de los dinámicos y mediados de agosto de 2015 para los estadísticos.

Para agosto de 2015, las perspectivas oficiales de ENOS fueron más asertivas considerando el potencial de un evento históricamente fuerte. En este momento, las comunicaciones públicas favorecieron explícitamente un evento que rivalizaba con los mayores eventos El Niño observados. En mayo de 2015, el *Bureau of Meteorology* (BoM) de Australia señaló que los promedios del modelo dinámico del Centro Mundial de Producción de Pronósticos a Largo Plazo de la OMM (un subconjunto de modelos

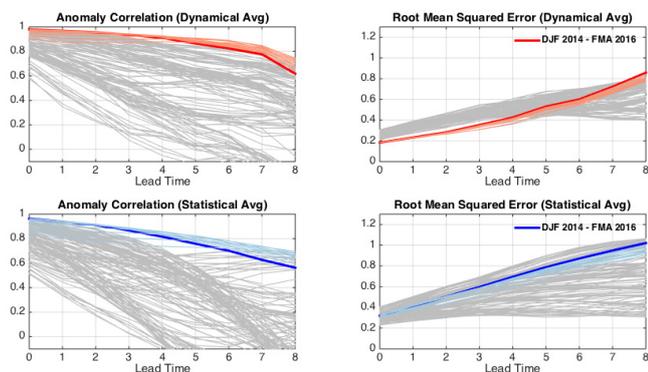


Figura 2. La correlación de anomalía (AC; izquierda) y error cuadrático medio (RMSE; derecha) para diferentes leads entre las observaciones y los promedios multi-modelo de las predicciones dinámicas (fila superior) y estadísticas (fila inferior) del índice Niño 3.4. Las gruesas líneas azules y rojas corresponden al periodo DEF 2013/14-FMA 2016. Las líneas grises corresponden a 26 periodos pasados con traslape, desfasadas en una temporada. Las líneas finas azules y rojas indican superposición con el periodo DEF 2013/14-FMA 2016.

en la pluma IRI / CPC) superaban los $+2^{\circ}\text{C}$ para las próximas temporadas de primavera/verano. Asimismo, ENFEN en el Perú también señaló que los pronósticos para la región Niño 1+2 en el Pacífico oriental según los modelos del NMME se acercaron a los pronósticos realizados en 1997-98.

En 2015, los modelos estadísticos presentaron un retraso en la tasa de crecimiento del evento con relación a los modelos dinámicos y nunca previeron la amplitud pico del evento como los dinámicos. Esta disparidad es consistente con los pronósticos previos de ENOS; en general, los modelos estadísticos a menudo están retrasados relativo a los modelos dinámicos porque no están configurados para aprovechar los cambios más recientes en la evolución observada (Barnston et al., 2012). Muchos modelos estadísticos están entrenados con datos promediados mensual o estacionalmente, por lo que no pueden resolver las variaciones de corto plazo (por ejemplo, pulsos de viento del oeste) con que los modelos dinámicos se inicializan. Así, el “éxito” de los modelos estadísticos durante 2014, puede deberse a que no estaban preparados para reaccionar a condiciones que los modelos dinámicos consideraban como precursores o amplificadores importantes del crecimiento de El Niño.

Evaluando la bondad del pronóstico utilizando la correlación entre las series temporales de las anomalías de TSM (“anomaly correlation” o AC) sobre ventanas móviles de 2 años, las predicciones promedio de los modelos dinámicos y estadísticos para el evento 2015-16 presentaron los valores más altos desde que se creó la pluma IRI/CPC en 2002. La Figura 2 (columna izquierda) muestra que los pronósticos para DEF 2014-FMA 2016 (líneas

rojas y azules gruesas) tuvieron la AC más grande en relación con otros periodos de tiempo de longitud equivalentes que se remontan a 2002 (las líneas grises corresponden a ventanas de 26 temporadas pasadas consecutivas superpuestas, deslizándose entre sí por una temporada). Las líneas rojas y azules más delgadas corresponden a rangos que están fuertemente asociados con el período reciente (por ejemplo, NDE 2013 - EFM 2016). Los ACs excedieron 0.6 hasta *lead* (tiempo de anticipación) de 8 meses para ambos tipos de modelos, con los modelos dinámicos demostrando ligeramente más habilidad para *lead-0* a *lead-7*. El promedio de modelos dinámicos tuvo un AC mayor que 0.9 hasta *lead*, mientras que el promedio de los estadísticos sólo lo hizo hasta *lead-2*. La métrica de AC premia un buen ajuste entre las series de tiempo de pronóstico y de observación durante un evento más grande (en relación con un buen ajuste durante un evento más pequeño) y, por lo tanto, la mayor AC fue parcialmente debido al hecho de que este evento fue el más grande en el registro de los modelos (2002-2016) y que fue bien pronosticado.

En comparación con la AC, el error cuadrático medio (RMSE en inglés) entre las series de anomalías de TSM de Niño 3.4 en general no indica tanta bondad de pronóstico en relación con los pronósticos anteriores en la pluma IRI/CPC (Figura 2, columna derecha). Para el promedio de modelos estadísticos, el RMSE fue de aproximadamente entre $0,8^{\circ}\text{C}$ y $1,0^{\circ}\text{C}$ pasado el *lead-4*, pero fue de $0,5^{\circ}\text{C}$ a $0,8^{\circ}\text{C}$ para el promedio de los dinámicos. Para los más largos, los modelos estadísticos y dinámicos tuvieron uno de los mayores errores desde 2002. A la inversa, para los tiempos de ejecución más cortos (*lead-0* a *lead-4*), el promedio dinámico MME tuvo uno de los errores más pequeños en el IRI / CPC historia de la pluma.

Más allá del *lead-1*, el RMSE para el promedio de los estadísticos se mantuvo aproximadamente en el cuartil superior de la dispersión del error histórico, mejorando al punto medio del spread para los *leads* más cortos.

La Figura 3 indica que todos los promedios multi-modelos tienden a subestimar los valores observados cuanto más fuerte es el evento y mayor es el *lead* (tanto para El Niño como para La Niña). Este resultado puede no ser sorprendente para un evento de gran amplitud, pero los bajos errores ($0,2^{\circ}\text{C}$ a $0,3^{\circ}\text{C}$) en los modelos dinámicos a *leads* cortos fueron bastante excepcionales.

También es necesario aplicar métricas probabilísticas de verificación para evaluar si las observaciones

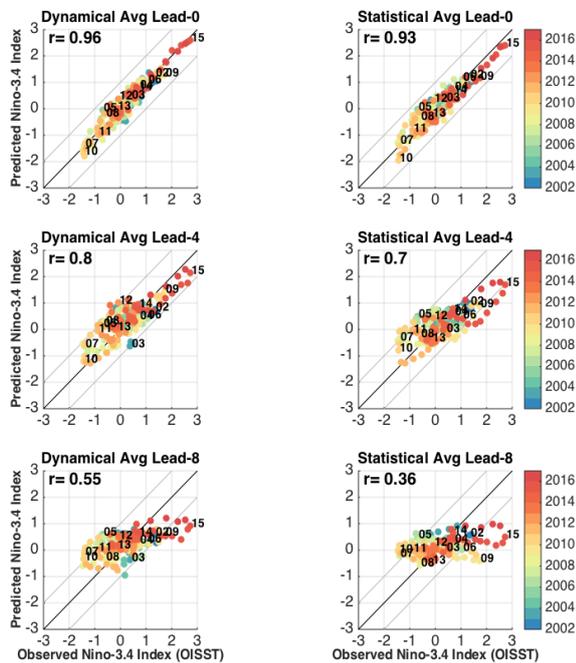


Figura 3. Gráficos de dispersión de los valores observados en el índice Niño-3.4 (trazados en abscisas) frente a los pronosticados a lead-0 (fila superior), lead-4 (fila media) y lead-8 (fila inferior) para el promedio de los modelos dinámicos (columna izquierda) y estadísticos (columna derecha) para todos los trimestres desde el inicio de la pluma IRI/CPC en febrero de 2002. El color indica el año pronosticado, mientras que los números indican el año correspondiente a los trimestres NDE. Se indica también el coeficiente de correlación lineal r .

Discusión

En algunos aspectos, los pronósticos operativos con modelos numéricos para el índice Niño 3.4 fueron los mejores desde al menos el año 2002. Sin embargo, esto no debe sugerir complacencia, ya que se vio que en el año 2014 los modelos dinámicos sobreestimaron el calentamiento, sugiriendo un evento El Niño sustancial en el Pacífico central, que finalmente quedó marginalmente entre neutral y El Niño en el verano 2014-15. Las predicciones más largas en los modelos dinámicos, intermedios y estadísticos contienen errores relativamente grandes (mayores a 0.5°C más allá del *lead-4*), lo que hace que las predicciones de la intensidad de los eventos ENOS sean un desafío continuo. Además, el promedio de los *ensembles* multi-modelos pronosticó con retraso el calentamiento inicial en la región Niño 3.4 observado a inicios de 2015, especialmente en el caso de los modelos estadísticos, y subestimaron la intensidad para *leads* mayores. Los modelos estadísticos parecen estar limitados por su incapacidad para responder a los factores de corta escala temporal que presagian el crecimiento del ENOS, aunque esto podría haber sido paradójicamente su ventaja durante 2014. Si bien se deberían buscar mejoras en las predicciones, un reto importante es comunicar que parte de la incertidumbre de los pronósticos es irreductible: siempre habrá error en las condiciones iniciales, condiciones de frontera y debido al uso de modelos imperfectos.

estuvieron dentro de la dispersión de los pronósticos. Por ello vale la pena comprobar si la dispersión de los pronósticos del modelo refleja la incertidumbre en el mundo real, ya que generalmente se piensa que la mayoría de los modelos son poco dispersivos o tienden a ser demasiado confiados (por ejemplo, Shi et al., 2015).

No sólo hay incertidumbre asociada con los modelos, sino que hay incertidumbre entre los datos observacionales utilizados para la verificación (por ejemplo, Goddard et al., 2009). En general, la tendencia predominante es hacia el desarrollo de productos de mayor resolución, por lo que para este estudio se seleccionó la fuente de datos de TSM denominada OISST diaria como base para la verificación del modelo. Pero, sin duda, los modelos estadísticos, con sus entradas y salidas generalmente en escalas más gruesas, están en una desventaja inherente cuando se comparan con un conjunto de datos de observación de alta resolución. Debido a que los modelos estadísticos a menudo son construidos y entrenados con datos de reconstrucciones estadísticas (debido a los registros más largos disponibles), puede ser útil desarrollar nuevas estrategias para aumentar la resolución de estos conjuntos de datos.

El Niño 2015-16 tuvo una magnitud histórica, comparable con los eventos de 1982-83 y 1997-98, en la región Niño 3.4 (Figura 4, panel superior izquierdo). Desde una perspectiva operativa, sin embargo, hay un par de temas que vale la pena examinar más. Un desafío fundamental es comprender mejor la influencia de las tendencias de largo plazo. La OMM recomienda que se utilice el período base de 30 años más reciente para definir las anomalías (actualmente, 1981-2010, Arguez 2012), pero es probable que parte de las anomalías en los índices ENOS no se relacione únicamente con la dinámica del ENOS, sino con las tendencias de calentamiento asociadas al cambio climático o variabilidad natural. Entonces, ¿Cómo cuantificamos mejor la parte de las anomalías relacionadas con el ENOS versus la parte relacionada con la variabilidad decadal, multidecadal o secular? ¿Y qué tan importante es diagnosticar el papel de las tendencias cuando se trata de monitoreo y predicción de El Niño sobre una base mensual o estacional? Por ejemplo, ¿Cuáles son las consecuencias de un valor de índice estacional de Niño 3.4 de $+2.3^{\circ}\text{C}$ que cambia a $+2.1^{\circ}\text{C}$ después

de eliminar las tendencias? En general, ¿Qué tan importante es el efecto de la variabilidad a largo plazo sobre las características estacionales de ENOS, la dinámica y la predictibilidad?

Otro desafío está relacionado con la diversidad de ENOS (Capotondi et al., 2015). Si bien El Niño 2015-16 fue similar a los de 1982-83 y 1997-98 en Niño 3.4, en el Pacífico oriental (Niño 1+2) el calentamiento fue solo la mitad que en esos años (Figura 4, panel inferior derecho). Los pronósticos con modelos numéricos generalmente no son tan buenos para la región Niño 1+2 como para la región Niño 3.4 (ej. Reupo y Takahashi, 2014) y, si bien hay avances (Takahashi y Dewitte, 2015), los mecanismos físicos propios de esta región no han sido suficientemente estudiados. En general, la diversidad de ENOS es un tema relativamente nuevo y difícil, pero de importancia práctica, por lo que se debe evaluar los modelos en ese sentido también para poder mejorar los pronósticos.

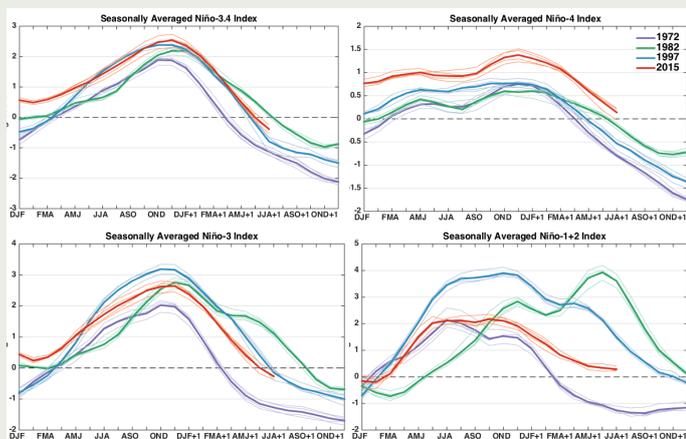


Figura 4. Evolución de los valores trimestrales de las anomalías de temperatura superficial del mar en las regiones Niño 3.4 (panel superior izquierdo), Niño 4 (panel superior derecho), Niño 3 (panel inferior izquierdo) y Niño 1+2 (panel inferior derecho) durante 2015-16 (rojo), 1997-98 (azul), 1982-83 (verde) y 1972-73 (púrpura). Las líneas finas corresponden a los conjuntos de datos ERSSTv3b, ERSSTv4, COBE y HadISST, y las líneas más gruesas son el promedio de todos los conjuntos de datos. Las anomalías se calculan con respecto a la climatología de 1981-2010.

Referencias

Arguez, A., I. Durre, S. Applequist, R. S. Vose, M. F. Squires, X. Yin, R. R. H. Jr., and T. W. Owen, 2012: NOAA's 1981-2010 U.S. climate normals: An overview. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93 (11), 1687–1697, doi:10.1175/BAMS-D-11-00197.1.

Barnston, A. G., M. Chelliah, and S. B. Goldenberg, 1997: Documentation of a highly ENSO-related SST region in the equatorial pacific: Research note. *Atmos.-Ocean*, 35 (3), 367–383, doi:10.1080/07055900.1997.9649597.

Barnston, A. G., M. K. Tippett, M. L. L'Heureux, S. Li, and D. G. DeWitt, 2012: Skill of real-time seasonal ENSO model predictions during 2002-11: Is our capability increasing? *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93 (5), 631–651, doi:10.1175/BAMS-D-11-00111.1.

Capotondi, A., and Coauthors, 2015: Understanding ENSO diversity. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 96 (6), 921–938, doi:10.1175/BAMS-D-13-00117.1.

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

Goddard, L., D. G. DeWitt, and R. W. Reynolds, 2009: Practical implications of uncertainty in observed SSTs. *Geophys. Res. Lett.*, 36 (9), n/a–n/a, doi:10.1029/2009GL037703, I09710.

Kirtman, B. P., and Coauthors, 2014: The North American Multimodel Ensemble: Phase-1 seasonal-to-interannual prediction; phase-2 toward developing intraseasonal prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 95 (4), 585–601, doi:10.1175/BAMS-D-12-00050.1.

Kumar, A., and Z.-Z. Hu, 2014: How variable is the uncertainty in ENSO sea surface temperature prediction? *J. Climate*, 27 (7), 2779–2788, doi:10.1175/JCLI-D-13-00576.1.

L'Heureux, M. L., Takahashi, K., Watkins, A. B., Barnston, A., Becker, E. J., Di Liberto, T. E., Gamble, F., Gottschalck, J., Halpert, M. S., Huang, B., Mosquera-Vásquez, K., Wittenberg, A. 2016: Observing and predicting the 2015-16 El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* doi: 10.1175/BAMS-D-16-0009.1

McPhaden, M. J., 2015: Playing hide and seek with El Niño. *Nature Clim. Change*, 5 (9), 791–795, doi:10.1038/nclimate2775.

Palmer, T. N., and Coauthors, 2004: Development of a European multimodel ensemble system for seasonal-to-interannual prediction (DEMETER). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 85 (6), 853–872, doi:10.1175/BAMS-85-6-853.

Reupo, J. y K. Takahashi, 2014: Validación de pronósticos con modelos globales: Correlaciones de TSM (1982-2010), *Bol. El Niño IGP*, 1, 1, 8-9.

Shi, W., N. Schaller, D. MacLeod, T. N. Palmer, and A. Weisheimer, 2015: Impact of hindcast length on estimates of seasonal climate predictability. *Geophys. Res. Lett.*, 42 (5), 1554–1559, doi:10.1002/2014GL062829, 2014GL062829.

Takahashi, K., 2004: The atmospheric circulation associated with extreme rainfall events in Piura, Peru, during the 1997–1998 and 2002 El Niño events. *Ann. Geophys.*, 22 (11), 3917–3926.

Takahashi, K., 2015: La ciencia de la predicción. *Bol. El Niño IGP*, 2, 10, 4-8.

Takahashi, K., and B. Dewitte, 2016: Strong and moderate nonlinear El Niño regimes. *Climate Dyn.*, 46 (5), 1627–1645, doi:10.1007/s00382-015-2665-3.

Vecchi, G. A., A. T. Wittenberg, and A. Rosati, 2006: Reassessing the role of stochastic forcing in the 1997–1998 El Niño. *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2005GL024738, I01706.

Impacto de la resolución espacial en la dinámica del Pacífico Tropical Este bajo condiciones normales

Fernando Campos, Ivonne Montes
Instituto Geofísico del Perú

Los remolinos de mesoescala son estructuras cuasi-circulares con radios menores a 250 km (Chaigneau et al., 2009), con extensión vertical máxima de 1000 metros (Oey et al., 2005) y un tiempo de vida desde días hasta virtualmente permanentes (estacionarios). Estos juegan un rol importante en el transporte horizontal y vertical de grandes cantidades de calor, momento y trazadores biogeoquímicos desde su zona de formación hacia regiones lejanas a la costa contribuyendo así en la mezcla lenta de las masas de agua oceánicas (Carton, 2010; Klein y Lapeyre, 2009). Sus mecanismos de generación son muy variados dependiendo de la ubicación geográfica, en las regiones de frontera oriental generalmente son debido a las inestabilidades en las corrientes costeras, fuerte afloramiento y variabilidad estacional e intra-estacional de los flujos costeros (Pizarro et al., 2002). El sentido de giro de los remolinos ciclónicos y anti-ciclónicos depende del hemisferio donde se encuentran. En el caso del hemisferio sur, los ciclónicos tienen sentido de giro horario y están asociados a anomalías del nivel del mar negativas, mientras que los anti-ciclónicos tienen sentido de giro anti-horario y con anomalías del nivel del mar positivas; caso contrario sucede en el hemisferio norte.

En el Océano Pacífico Tropical Este, el cual alberga a uno de los 4 sistemas de borde oriental con mayor productividad a nivel mundial, los remolinos presentan menores energías cinéticas (la cual sirve para identificar regiones con alta variabilidad de remolinos, meandros frentes y filamentos) a comparación de otras cuencas oceánicas (Pascual et al., 2006), variando entre 200 y 300 cm^2/s^2 a lo largo de la costa y entre 50 y 100 cm^2/s^2 al interior del océano (Chaigneau y Pizarro, 2005). Frente a Perú, en la superficie dominan los remolinos ciclónicos, con vorticidad negativa, núcleos fríos, baja presión, somerización de las piconclinas y extensión vertical máxima de 100 metros de profundidad (más someros comparados con los remolinos de la costa chilena), mientras que bajo la superficie dominan en número los remolinos anti-ciclónicos, caracterizados por vorticidad positiva, núcleos cálidos, alta presión, profundización de las piconclinas y núcleos localizados entre los 100 y 150 metros de profundidad (McGillicuddy et al., 2007; Colas et al., 2012; Chaigneau et al., 2011).

Los estudios realizados hasta el momento en esta zona se centran en las características y el impacto de la mesoescala en las propiedades físicas y biogeoquímicas (Colas et al., 2012; Stramma et al., 2013), así como la influencia sobre la variabilidad ecuatorial (Belmadani et al., 2012). Sin embargo, aún queda mucho por entender sobre estos fenómenos oceánicos, especialmente sobre su influencia a diferentes escalas espaciales y temporales. Por lo tanto,

el objetivo de este trabajo es documentar el impacto de la resolución espacial sobre la dinámica del Pacífico Tropical Este y en los mecanismos físicos asociados a la actividad de mesoescala. Para ello se emplearon dos simulaciones climatológicas anuales del modelo ROMS, las cuales son idénticas en cuanto al dominio, forzantes, condiciones iniciales y de fronteras, diferenciándose en las resoluciones horizontales usadas de $1/6^\circ$ y de $1/9^\circ$. El dominio es 3°N a 20°S y 70°O a 90°O , cubriendo 32 niveles en la vertical (Montes et al., 2010; 2014).

Resultados preliminares

La figura 1 muestra la distribución horizontal de la temperatura para la profundidad de 50 m conjuntamente con los resultados del algoritmo de detección de remolinos basados en las propiedades geométricas de las líneas de corrientes, el cual emplea la trayectoria de partículas en un flujo constante para la identificación del remolino (Sadarjoen y Post, 2000) para ambas simulaciones. Dicho algoritmo es una modificación de la metodología empleada en Chaigneau et al. (2009) y Yi et al. (2014) los cuales hacen uso de las anomalías del nivel del mar para la detección de remolinos. En ambos casos, los colores rojos de las líneas cerradas representan a los remolinos anti-ciclónicos, mientras que las líneas de colores negros representan a los remolinos ciclónicos. La temperatura en ambas simulaciones cubre el mismo rango (desde los 15°C hasta los 22°C).

Los resultados en el caso de la temperatura muestran que la simulación de $1/6^\circ$ es más fría que la simulación de $1/9^\circ$, lo cual es consistente con los resultados obtenidos en Montes et al. (2014), quienes relacionaron esta diferencia

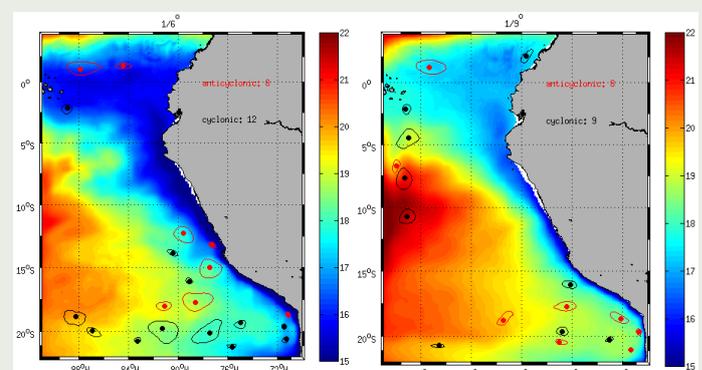


Figura 1.- Distribución horizontal de la temperatura del mar a 50 m de profundidad extraídas de dos simulaciones climatológicas anuales las cuales son idénticas en muchos aspectos (dominio, forzantes, condiciones iniciales y de fronteras) exceptuando en la resolución horizontal: (izquierda) de $1/6^\circ$ y (derecha) de $1/9^\circ$. En ambos casos, los colores rojos de las líneas cerradas representan a remolinos anti-ciclónicos, mientras que las líneas de colores negros representan a los remolinos ciclónicos.

en temperatura a la extensión del frente de afloramiento y su intensidad. Además, se encuentra mayor número de remolinos en la simulación de $1/6^\circ$ que en la simulación de $1/9^\circ$. Las zonas donde están distribuidos estos remolinos son también diferentes entre estas simulaciones: en la de $1/6^\circ$, la mayor cantidad de remolinos es encontrada desde los 15°S hasta los 22°S , mientras que la de $1/9^\circ$ muestra dos zonas de concentración de los remolinos: una alejada de la costa entre los 3°N y 10°S y la otra cerca a la costa entre los 15°S y 20°S . Otra diferencia entre ambas simulaciones es el área promedio de cada remolino, encontrándose remolinos más grandes en la simulación de $1/6^\circ$, localizados principalmente en la zona sur de los 15°S , comparada con la simulación de $1/9^\circ$.

Referencias

- Belmadani, A., Echevin, V., Dewitte, B., and Colas, F. (2012). Equatorially forced intraseasonal propagations along the Peru-Chile coast and their relation with the nearshore eddy activity in 1992–2000: A modeling study, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C4).
- Colas, F., McWilliams, J. C., Capet, X., and Kurian, J. (2012). Heat balance and eddies in the Peru-Chile current system, *Climate dynamics*, 39(1-2), 509-529.
- Carton, X. (2010). *Fronts, Waves and Vortices in Geophysical Flows*, In Book: *Lectures Notes in Physics*, 805, 1-199.
- Chaigneau, A., Le Texier, M., Eldin, G., Grados, C., and Pizarro, O. (2011). Vertical structure of mesoscale eddies in the eastern South Pacific ocean: a composite analysis from altimetry and Argo profiling floats, *Journal of Geophysical Research*, 116(11025), 1–16.
- Chaigneau, A., Eldin, G., and Dewitte, B. (2009). Eddy activity in the four major upwelling systems from satellite altimetry (1992–2007), *Progress in Oceanography*, 83(1), 117–123.
- Chaigneau, A., and Pizarro, O. (2005). Mean surface circulation and mesoscale turbulent flow characteristics in the eastern South Pacific from satellite tracked drifters. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 110 (C5).
- Klein, P. and Lapeyre, G. (2009). The Oceanic Vertical Pump Induced by Mesoscale and Submesoscale Turbulence, *Annual Review Of Marine Science*, 1, 351–375.
- Montes, I., Colas, F., Capet, X., and Schneider, W. (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 Oceans*, 115(C9).
- McGillicuddy, D. J., Anderson, L. A., Bates, N. R., Bibby, T., Buesseler, K. O., Carlson, C.A., ... and Hansell, D. A. (2007). Eddy/wind interactions stimulate extraordinary mid-ocean plankton blooms. *Science*, 316(5827), 1021-1026.
- Montes, I., Dewitte, B., Gutknecht, E., Paulmier, A., Dadou, I., Oschlies, A., and Garçon, V. (2014). High-resolution modeling of the Eastern Tropical Pacific oxygen minimum zone: Sensitivity to the tropical oceanic circulation, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119 (8), 5515-5532.
- Oey, L.-Y., Lee, H.-C., and Schmitz, W. (2005). Effects of winds and Caribbean eddies on the frequency of Loop Current eddy shedding: A numerical model study, *Journal of Geophysical Research-Oceans* (1978–2012), 108(10), 1–25.
- Pizarro, O., Shaffer, G., Dewitte, B., and Ramos, M. (2002). Dynamics of seasonal and interannual variability of the Peru-Chile Undercurrent, *Geophysical Research Letters*, 1029 (12).
- Pascual, A., Faugère, Y., Larnicol, G., and Le Traon, P. Y. (2006). Improved description of the ocean mesoscale variability by combining four satellite altimeters, *Geophysical Research Letters*, 33(2).
- Sadarjoen, I. A., and Post, F. H. (2000). Detection, quantification, and tracking of vortices using streamline geometry, *Computers & Graphics*, 24(3), 333-341.
- Stramma, L., Bange, H. W., Czeschel, R., Lorenzo, A., and Frank, M. (2013). On the role of mesoscale eddies for the biological productivity and biogeochemistry in the eastern tropical Pacific Ocean off Peru, *Biogeosciences (BG)*, 10(11), 7293-7306.
- Yi, J., Du, Y., He, Z., and Zhou, C. (2014). Enhancing the accuracy of automatic eddy detection and the capability of recognizing the multi-core structures from maps of sea level anomaly, *Ocean Science*, 10 (1), 39-48.

Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2016-12

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 son Neutras, con el valor del ICEN de +0.37°C para el mes de noviembre, pero cerca del umbral de +0.40°C para condiciones cálidas. En cambio, los valores temporales del ICEN (ICENtmp) indican condiciones Cálidas Débiles para los meses de diciembre y enero 2017. Para el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA corresponde a condiciones frías débiles. El ONI estimado para el mes de diciembre también corresponde a condiciones frías débiles.

El pronóstico de la temperatura superficial del mar de los siete modelos numéricos internacionales de NMME, con condiciones iniciales del mes de enero 2017, para la región del Pacífico oriental, indican en promedio condiciones Cálidas Débiles para el verano (diciembre 2016-marzo 2017), si bien dos de ellos indican condiciones Neutras en febrero y marzo. En consecuencia, cinco de siete modelos pronostican El Niño costero en el verano (diciembre 2016-marzo 2017), y solo dos modelos pronostican un verano neutro, a diferencia del mes anterior en el que todos los modelos pronosticaron neutro. Para la región del Pacífico central, los siete modelos predicen que el verano será neutro.

Se observa aún la señal de la onda Kelvin fría al este de 160°W, la que puede continuar influyendo en la temperatura del mar en la costa norte de Paíta, pero en menor grado que los meses anteriores. Asimismo, continúa la propagación de la onda Kelvin cálida, producto aparentemente de la reflexión de una onda Rossby cálida en el extremo occidental, y podría alcanzar la costa en marzo.

Índice Costero El Niño

Utilizando los datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM) promediados sobre la región Niño 1+2, actualizados hasta el mes de diciembre de 2016 del producto ERSST v3b generados por el Climate Prediction Center (CPC) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, EEUU), se ha calculado el Índice Costero El Niño (ICEN; ENFEN 2012) hasta el mes de noviembre de 2016. Los valores se muestran en la Tabla 1.

Año	Mes	ICEN	Condiciones costeras del mes
2016	Agosto	0.17	Neutra
2016	Setiembre	0.14	Neutra
2016	Octubre	0.22	Neutra
2016	Noviembre	0.37	Neutra

Tabla 1. Valores recientes del ICEN.

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

El valor del ICEN para el mes de noviembre indica condición Neutra. Para los meses más recientes se generan versiones preliminares y temporales de este índice (ICENtmp) combinando ERSST con otras fuentes.

Según el criterio de ENFEN (2012), para confirmar El Niño o La Niña en la costa, las condiciones costeras deben ser cálidas o frías durante al menos 3 meses consecutivos. Según el sistema de alerta de El Niño/La Niña costero (ENFEN, 2015), dado que el valor del ICENtmp de diciembre 2016 es cálido, el ENFEN podría declarar presencia de El Niño costero si estimara que estas condiciones persistirán durante al menos tres meses consecutivos.

Por otro lado, para el Pacífico Central (Niño 3.4), el ONI (Ocean Niño Index en inglés; <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>), actualizado por la NOAA al mes de noviembre de 2016, es de -0.84°C, correspondiente a condiciones Frías Débiles¹, siendo el cuarto mes con condiciones frías débiles, e indicando la continuación de La Niña en el Pacífico central al menos hasta noviembre.

Los valores estimados (ONItmp), combinando observaciones y pronósticos, indican condiciones frías débiles para el mes de diciembre, mientras que para enero 2017 se espera condiciones neutras. De cumplirse esto, el evento La Niña débil en el Pacífico central concluiría en diciembre, por lo que el verano se consideraría neutral.

Diagnóstico del Pacífico Ecuatorial

Las principales variables climáticas continúan mostrando valores correspondientes a un evento La Niña de magnitud débil. La actividad convectiva continuó mostrándose anómalamente reducida, lo que junto con los vientos anómalos del este, indican el acoplamiento de la atmósfera a las condiciones oceánicas frías. Este comportamiento es similar al de años La Niña en el Pacífico central observados. La región Niño 3.4 continúa con anomalías de la TSM (IR, MW, OSTIA) negativas, en promedio -0,5°C, es decir en el umbral entre condiciones frías y neutras. Por otro lado, según estos datos satelitales, en la región Niño 1+2 la anomalía de la TSM se mantuvo en promedio dentro del rango neutral, pero fluctuando a nivel interdiario entre -0.1°C y +1.2°C. Por otro lado, la anomalía mensual de diciembre presentó el valor de +0,59°C según los datos ERSST v3b (los usados para calcular el ICEN), superior al valor de +0,29°C de noviembre y excediendo el umbral de +0,40°C para que el ICEN sea considerado cálido.

El esfuerzo de viento zonal (este-oeste) en el Pacífico central (160°E-160°W; 5°S-5°N) continuó con anomalía mensual del este, sin embargo, se observaron ligeras anomalías promedio del viento del oeste en el Pacífico central-oriental según los datos de TAO. El contenido de calor oceánico ecuatorial y la inclinación de la termoclina se presentaron alrededor de lo normal tras un

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

Resumen del Informe Técnico

PPR/El Niño - IGP/ 2016-12

periodo de normalización progresivo. Se nota que debido al colapso previsto del arreglo de boyas TRITON en el Pacífico occidental (Cravatte et al, 2016), se ha recalculado estos índices excluyendo las boyas que ya no están operativas. Por otro lado, la termoclina en el Pacífico oriental, en 110°W y 95°W, continuó mostrando anomalías negativas, sin embargo entre finales de diciembre e inicios de enero mostró condiciones normales.

Se observa aún la señal de la onda Kelvin fría al este de 160°W, así como la señal de la onda Kelvin cálida, la cual aparentemente se formó como reflexión de una onda Rossby cálida producida por anomalías de vientos del oeste de fines de julio, la cual, en la actualidad, muestra una disminución en su magnitud. Asimismo, a inicios de enero de 2017, se observó una anomalía de viento del este en el Pacífico Ecuatorial (principal forzante de la onda Kelvin fría) que se ubicó entre 160°E y 160°W.

Pronóstico a corto plazo con modelo de ondas y observaciones

La presencia de la onda Kelvin fría al este de 160°W sugiere que ésta continuaría influyendo la temperatura del mar en la costa norte de Paita, aunque en menor grado que los meses anteriores.

La onda cálida debería arribar en el mes de marzo, probablemente, con una magnitud menor a la actual. De formarse la onda Kelvin fría, como consecuencia del pulso de viento del este a inicios de enero de 2017, ésta se superpondría a la onda Kelvin cálida descrita líneas arriba. Lo anterior sugiere la normalización de la TSM frente a la costa norte (sin descartar un calentamiento anómalo) en el transcurso del verano, así como la continuación (y quizás aumento) de las anomalías cálidas frente al resto de la costa, particularmente hacia fines de verano que corresponde al periodo de lluvias en la costa norte.

Pronóstico estacional con modelos climáticos

Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los pronósticos de los 7 modelos climáticos de NMME (CFSv2, NASA_GEOS5, FLOR, CM2.1, NCAR_CCM4, CMC1 y CMC2) inicializados en enero, 5 modelos indican que en el mes de febrero y marzo, las anomalías de TSM serían cálidas débiles, 2 modelos indican condiciones neutras (Fig. 2). Para el verano (diciembre 2016-marzo2017), los modelos en promedio predicen condiciones cálidas Débiles y que El Niño costero débil se establecería en el verano, empezando en diciembre 2016 y extendiéndose al menos hasta mayo 2017 (en tres modelos se extendería al menos hasta julio). Es importante notar que con respecto al mes anterior hubo un aumento notable en la temperatura de estos pronósticos (los siete modelos pronosticaron condiciones neutras). Si bien la barrera de predictibilidad dificulta pronosticar a plazos de varios meses (Reupo y Takahashi, 2014), los pronósticos para febrero y marzo inicializados en enero son relativamente más confiables. Por otro lado, ha ocurrido en el año 2015 que los pronósticos de los modelos de NOAA y NCAR cambiaron en forma similar y abrupta debido a un error común en los datos de entrada (M. L'Heureux, comunicación personal), pero en esta ocasión son cinco modelos los que han cambiado sustancialmente, lo cual hace más difícil que sea por errores comunes.

Para el Pacífico central (Niño 3.4), los siete modelos de NMME inicializados en enero predicen condiciones neutras para los meses de febrero y marzo, por lo tanto, serían condiciones neutras para el verano (diciembre 206-marzo2017). Considerando 4 modelos inicializados en diciembre, se observa que el modelo JMA MRI, predice condiciones frías para los meses de febrero y marzo, mientras que los otros tres modelos indican condiciones neutras.

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

Una consideración particular para la situación actual es que el patrón espacial de anomalía de TSM actual, así como los pronosticados, no reflejan únicamente condiciones ENOS sino anomalías cálidas en casi todo el planeta, incluyendo la costa peruana. Además, el índice de la Oscilación Decadal del Pacífico (<http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest.txt>) se mantiene positivo desde el año 2014. Esto sugiere que otros procesos además de ENOS afectan el pronóstico de las temperaturas en el Pacífico ecuatorial y los impactos de El Niño y La Niña en el Perú. En particular, el mantenimiento de anomalías positivas frente a la costa peruana desde el final de El Niño 2015-2016 a pesar de la llegada de ondas Kelvin frías y de vientos costeros generalmente más fuertes aún no cuenta con una explicación conclusiva.

Conclusiones:

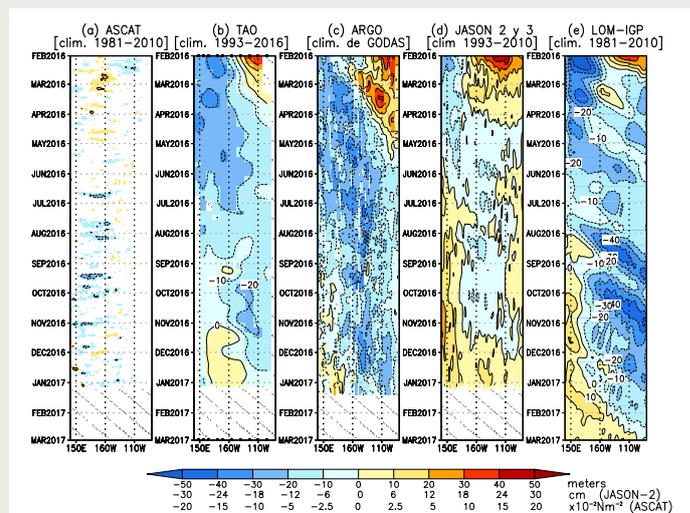


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO (b) y los derivadores de Argo (c), datos del nivel del mar de JASON-2 (d). Finalmente, en (e) se muestra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

Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2016-12

1. El ICEN para noviembre de 2016 fue de 0.37 (Neutro) y el ICENtmp para diciembre y enero 2017 es 0.48 y 0.54, respectivamente, ambos siendo condiciones **Cálidas Débiles**. Los valores de la anomalía de la TSM en la región Niño 1+2 se ha mantenido, mayormente, con valores positivos aunque dentro del rango normal.

2. En el Pacífico central, el ONI de octubre (SON) correspondió a condiciones frías débiles. Siendo el cuarto mes con condiciones frías débiles; el ONI estimado para Diciembre también corresponde a condiciones frías débiles, con una tendencia a disminuir a neutro en enero. La ATSM en la región Niño 3.4, durante este diciembre, ha fluctuado alrededor de los -0.5°C .

3. El impacto de la última onda Kelvin fría en la profundidad de la termoclina se observa al este de 160°W y se espera que continúe influenciando la TSM en la costa al norte de Paita, aunque en menor grado que los meses anteriores, hasta fines de febrero de 2017. Por otro lado, la onda Kelvin cálida que se habría formado por la reflexión de ondas Rossby cálidas en el Pacífico occidental, alcanzaría la costa en marzo.

4. El contenido de calor oceánico ecuatorial la inclinación de la termoclina se presentaron alrededor de lo normal.

5. La actividad convectiva en noviembre continuó mostrándose anómalamente reducida, consistente con la respuesta a las anomalías negativas de TSM.

6. Los vientos zonales ecuatoriales en diciembre se mostraron cerca de lo normal, con anomalías del este en el Pacífico occidental y del oeste en el oriental (según TAO).

7. En enero se viene presentando un nuevo pulso de viento del este en el Pacífico central (160°E - 160°W), que podría generar una nueva onda Kelvin fría que podría superponerse a la onda cálida.

8. Lo anterior sugiere la normalización de la TSM frente a la costa norte (sin descartar un calentamiento anómalo) en el transcurso del verano, así como la continuación (y quizás aumento) de las anomalías cálidas frente al resto de la costa, particularmente hacia fines de verano que corresponde al periodo de lluvias en la costa norte.

9. Para el Pacífico oriental (Niño 1+2), de los 7 modelos inicializados en enero, 5 indican que el mes de febrero presentaría condiciones cálidas débiles y 2 condiciones neutras. Para el verano (diciembre 2016-marzo 2017), los modelos en promedio predicen condiciones cálidas Débiles.

10. Para el Pacífico central (Niño 3.4), los 8 modelos de NMME inicializados en enero predicen condiciones neutras para los meses de febrero y marzo (o sea, verano neutral). Considerando 4 modelos inicializados en diciembre, se observa que el modelo JMA MRI, predice condiciones frías para los meses de febrero y marzo, mientras que los otros 3 modelos indican condiciones neutras.

11. Considerando los valores de ICENtmp para diciembre y enero, así como los pronósticos para febrero y marzo, **5 de 7 modelos de NMME predicen El Niño débil en el verano 2016-17**, y 2 predicen condiciones neutras.

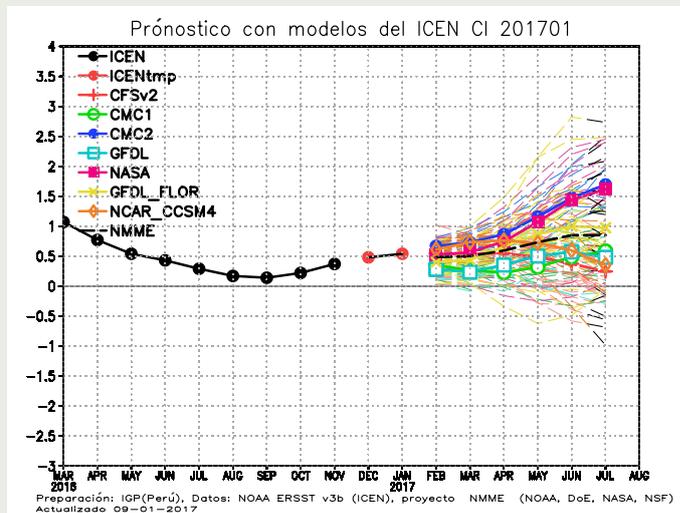


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y su valor temporal (ICENtmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA, GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de enero de 2017. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

Referencias

- Aparco J., K. Mosquera y K. Takahashi, 2014: Flotadores Argo para el cálculo de la anomalía de la profundidad de la termoclina ecuatorial (Aplicación Operacional), Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Mayo, 1, 5.
- Cravatte, S., W. S. Kessler, N. Smith, S. E. Wijffels, Ando, K., Cronin, M., Farrar, T., Guilyardi, E., Kumar, A., Lee, T., Roemmich, D., Serra, Y., Sprintall, J., Strutton, P., Sutton, A., Takahashi, K. y Wittenberg, A., 2016: First Report of TPOS 2020. GOOS-215, 200 pp. [http://tpos2020.org/first-report]
- ENFEN 2012: Definición operacional de los eventos "El Niño" y "La Niña" y sus magnitudes en la costa del Perú. Nota Técnica ENFEN.
- ENFEN 2015: Pronóstico probabilístico de la magnitud de El Niño costero en el verano 2015-2016. Nota Técnica ENFEN 02-2015.
- Lavado-Casimiro, W., Espinoza, J. C., 2014: Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007), Revista Brasileira de Meteorologia, 29 (2), 171-182.
- Mosquera, K., 2009: Variabilidad Intra-estacional de la Onda de Kelvin Ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): Simulación Numérica y datos observados. Tesis para obtener el grado de Magister en Física - Mención Geofísica en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Mosquera, K., B. Dewitte y P. Lagos, 2010: Variabilidad In-tra-estacional de la onda de Kelvin ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): simulación numérica y datos observados. Magis-tri et Doctores, Revista de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Año 5, No9, julio-diciembre de 2010, p. 55.
- Mosquera, K., 2014: Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Enero, 1, 1, 4-7.
- Reupo, K., y Takahashi, K., 2014: Validación de pronósticos con modelos globales: Correlaciones de TSM (1982-2010). Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Enero, 1, 1, 8-9.
- Takahashi, K., Martínez, A. G., 2016: The very strong El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. En revisión en Climate Dynamics.

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



COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 1 - 2017

Se esperan condiciones neutras a cálidas débiles frente a la costa del Perú durante el verano

El Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) mantiene el estado de Alerta "No activo"¹. Sin embargo, la temperatura superficial del mar (TSM) frente a la costa del Perú continuó ligeramente por encima del promedio.

El Comité Multisectorial ENFEN, en base al análisis de los pronósticos nacionales e internacionales y del monitoreo, ha ajustado las probabilidades de ocurrencia de condiciones neutras en el Pacífico Oriental a un 66% y de El Niño Costero Débil a un 30% en el presente verano.

El Comité encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar y actualizar la información de las condiciones meteorológicas, oceanográficas, biológico-pesqueras e hidrológicas correspondiente al mes de diciembre de 2016 y sus perspectivas.

En la región del Pacífico Central (región Niño 3.4)², la anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) muestra una ligera tendencia a la normalización (Figura 1a), con un valor mensual de $-0,4^{\circ}\text{C}$. Según el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) estimado hasta diciembre continúa la presencia de La Niña débil en el Pacífico Central. La actividad convectiva, la subsidencia³ y el viento zonal en el Pacífico Central se mostró consistente con las condiciones frías, aunque hacia $160^{\circ}\text{W} - 140^{\circ}\text{W}$ se detectaron ligeras anomalías del viento del oeste. A diferencia del mes anterior, la inclinación este-oeste de la termoclina y el contenido de calor en el Pacífico ecuatorial se presentaron alrededor de lo normal. Por otro lado, se observó una onda Kelvin cálida en el Pacífico Central propagándose hacia el Este, posiblemente como producto de la reflexión de una onda Rossby cálida en el Pacífico Occidental.

En el Pacífico Ecuatorial Oriental (región Niño 1+2, frente a la costa norte de Perú y la costa del Ecuador), la anomalía de la TSM aumentó a $+0,43^{\circ}\text{C}$ en promedio (Figura 1b). El valor del Índice Costero El Niño (ICEN) para noviembre fue $+0,37^{\circ}\text{C}$ (Condición Neutra) y el estimado para diciembre es de $+0,48^{\circ}\text{C}$ (condición cálida débil).

Durante la primera quincena de diciembre, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se presentó dentro de su ubicación habitual, para luego expandirse zonalmente, aproximándose a la costa de Chile y sur de Perú, propiciando un ligero incremento de la intensidad de los vientos costeros frente al sur del litoral peruano.

Las temperaturas máximas del aire continúan mostrando anomalías positivas. En la costa norte se presentaron anomalías de $+1,5^{\circ}\text{C}$ para la temperatura máxima y $-0,2^{\circ}\text{C}$ para la temperatura mínima. En la costa central, las anomalías fueron de $+1,2^{\circ}\text{C}$ en la temperatura máxima y $+0,7^{\circ}\text{C}$ en la temperatura mínima, mientras que en la costa sur, las anomalías fueron de $+0,5^{\circ}\text{C}$ y $+0,2^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

La sexta onda Kelvin fría ha continuado impactando en las temperaturas del mar, principalmente frente a la costa norte del Perú.

En las estaciones costeras entre Talara y Lobos de Afuera, la TSM tuvo una anomalía negativa en promedio de $-0,8^{\circ}\text{C}$ (Figura 2), mientras que en el litoral central-sur presentó condiciones alrededor de lo normal. Por fuera de las 50 millas de la costa se continuaron observando anomalías positivas de la TSM alrededor de $+1^{\circ}\text{C}$ en promedio. Por otro lado, los niveles del mar promedio se mantuvieron alrededor de lo normal a lo largo de la costa peruana.

En las secciones oceanográficas de Paita y de Chicama, dentro de las 50 y 80 millas de la costa, respectivamente, se observaron anomalías negativas de temperatura de hasta -2°C sobre los 50 m de profundidad. En la sección Callao las anomalías negativas de la temperatura alcanzaron -1°C sobre los 50 m y se detectó la aproximación de las aguas subtropicales superficiales hasta las 40 millas de la costa.

Los caudales de los ríos de la costa se incrementaron ligeramente producto de las precipitaciones a partir de la

¹Estado de Alerta "No activo": Corresponde a condiciones neutras o cuando el Comité ENFEN espera que El Niño o La Niña costeros están próximos a finalizar, para mayor información consultar a: http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_infco_nota_tecni01_enfen2015.pdf

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

³Subsidencia es el descenso del aire frío hacia la superficie terrestre



segunda semana de diciembre, aún por debajo del promedio histórico. Los reservorios en la costa norte y sur operaron, en promedio, al 26% y 27% de su capacidad hidráulica útil respectivamente, lo que representó una disponibilidad hídrica limitada.

La clorofila-a, indicador de la producción del fitoplancton, que es base de la cadena alimenticia en el mar, continuó presentando concentraciones por encima del promedio a lo largo de toda la costa. En general, las concentraciones promedio en la superficie de la primavera 2016 presentaron los niveles más altos desde que se tienen registros satelitales (1997).

El stock norte-centro de la anchoveta presentó una amplia cobertura espacial, alta presencia de ejemplares juveniles y la declinación de su periodo principal de desove. La profundidad media de los cardúmenes de anchoveta se redujo a su promedio patrón, asociada al enfriamiento de la columna de agua. Especies indicadoras de aguas costeras frías como la munida (“camaroncito rojo”) fueron registradas dentro de las 30 millas.

PERSPECTIVAS

Se prevé que la onda Kelvin cálida observada en el Pacífico Central continúe propagándose hacia el este, pudiendo arribar a la costa norte del Perú en marzo y con ello contribuir en aumentar la temperatura del mar y la posibilidad del incremento de lluvias en esta región. No obstante en la primera semana de enero se observó anomalías de vientos del este en el Pacífico Central que podrían reducir el impacto de la onda Kelvin cálida.

Todos los modelos globales actualizados a inicios de enero, pronostican condiciones neutras de la TSM para el Pacífico Central (región Niño 3.4) durante el verano 2016-2017. Sin embargo, para la región Niño 1+2 (frente a las costas de Ecuador y norte de Perú), cinco de los siete modelos globales analizados pronostican el desarrollo de condiciones cálidas débiles durante el verano actual, a diferencia del mes anterior en que todos los modelos pronosticaron condiciones neutras para el verano.

Según el juicio experto basado en el análisis de los pronósticos nacionales e internacionales y del monitoreo, el Comité Multisectorial ENFEN ha ajustado las probabilidades de ocurrencia que se presenten condiciones neutras en el Pacífico Oriental a un 66% y de El Niño Costero Débil a un 30% en el presente verano (Tabla 1). Para el Pacífico Central (Tabla 2), se estiman como más probables las condiciones neutras (80%).

El Comité Multisectorial ENFEN continuará vigilando la evolución de las condiciones observadas y actualizará, de ser necesario, la estimación de las probabilidades de la magnitud de El Niño y/o La Niña en el Pacífico Oriental y en el Pacífico Central durante el verano.

Comité Multisectorial ENFEN
Callao-Perú, 16 de Enero de 2017

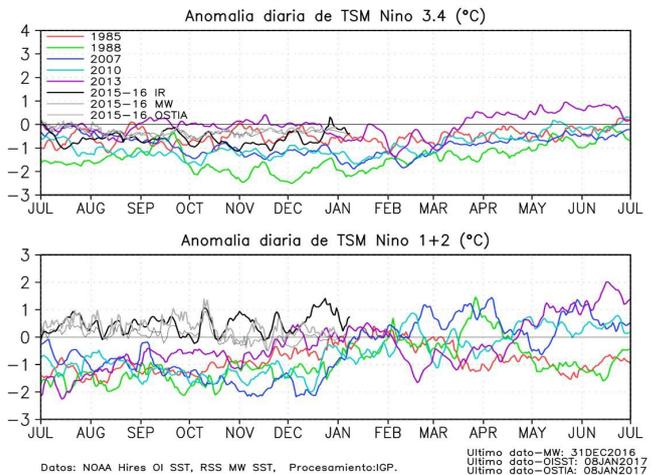


Figura 1. a) Series de tiempo de la anomalía diaria de la TSM en la región Niño 3.4 y en b) la región Niño 1+2. Las líneas en color negro (gruesa), gris y negro (fina) indican la evolución de la anomalía de la TSM en el presente año usando información infrarroja (IR), microondas (MW) y del producto OSTIA,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

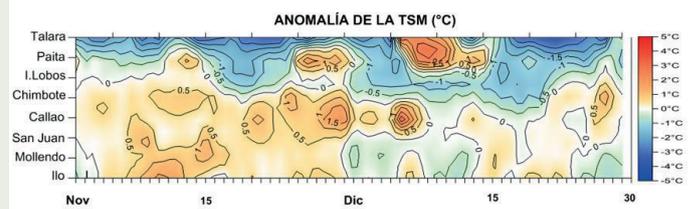


Figura 2. Diagrama Hovmöller de la evolución de la anomalía de la TSM a lo largo del litoral desde el 01 de noviembre al 30 de diciembre 2016, en base a las observaciones diarias en las estaciones de la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN).

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

Magnitud del evento durante Diciembre 2016-marzo 2017	Probabilidad de ocurrencia
La Niña moderado-fuerte	1%
La Niña débil	2%
Neutro	66%
El Niño débil	30%
El Niño moderado-fuerte-extraordinario	1%

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

Magnitud del evento durante Diciembre 2016-marzo 2017	Probabilidad de ocurrencia
La Niña moderado-fuerte	1%
La Niña débil	13%
Neutro	80%
El Niño débil	5%
El Niño moderado-fuerte-extraordinario	1%



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

 <http://www.facebook.com/igp.peru>

 http://twitter.com/igp_peru

 https://www.youtube.com/c/igp_videos

En el marco del:

