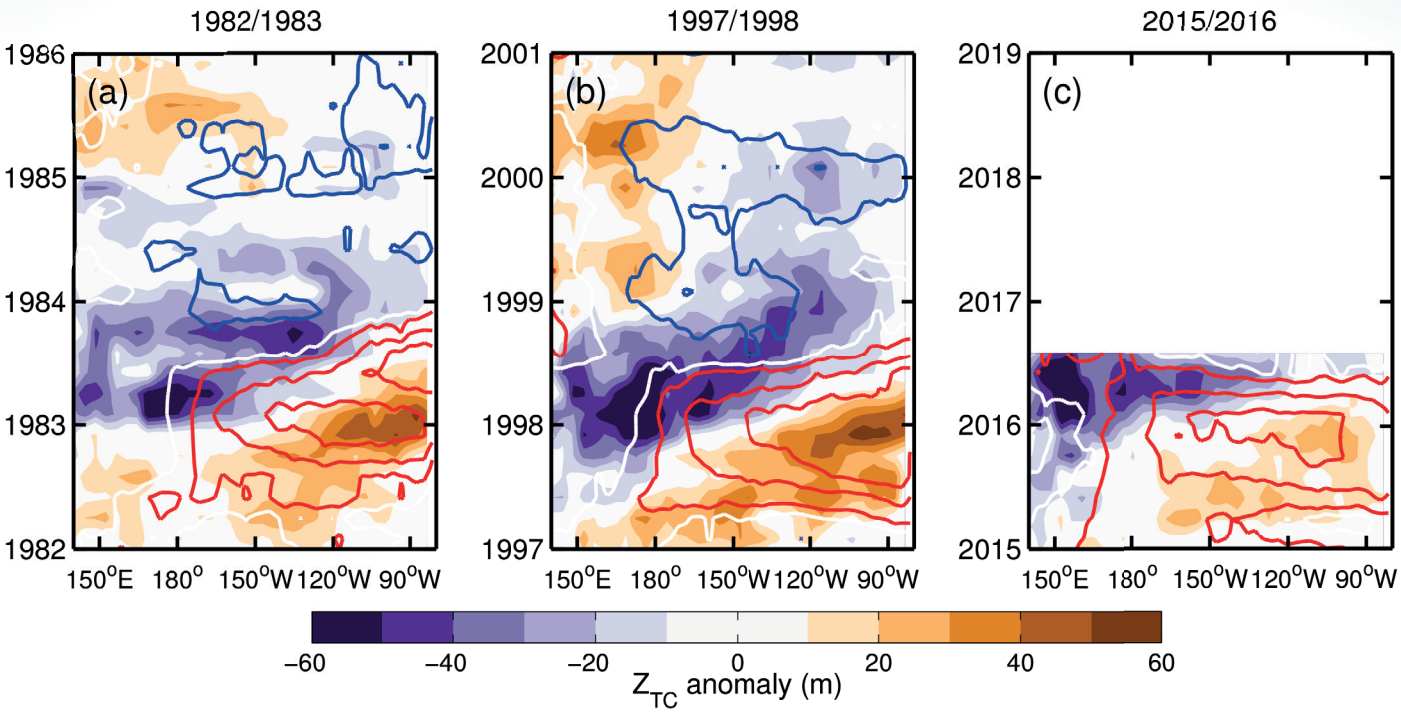
PERÚ Ministerio del Ambiente | Instituto Geofísico del Perú - IGP

Programa Presupuestal por Resultados Nº 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

Predicción de La Niña



Evolución de la anomalía de la temperatura superficial del mar y profundidad de la termoclina ecuatorial

PERÚ PROGRESO PARA TODOS

Vol. 3 Nº 9 Setiembre 2016

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

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: Katherine Morón
Diseño y Diagramación: Dante Guerra

Carátula: DiNezio, 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, Octubre del 2016

Hecho el Depósito Legal en la
Biblioteca Nacional del Perú N° 2016-13854

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 oceáno-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

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.

ENFEN

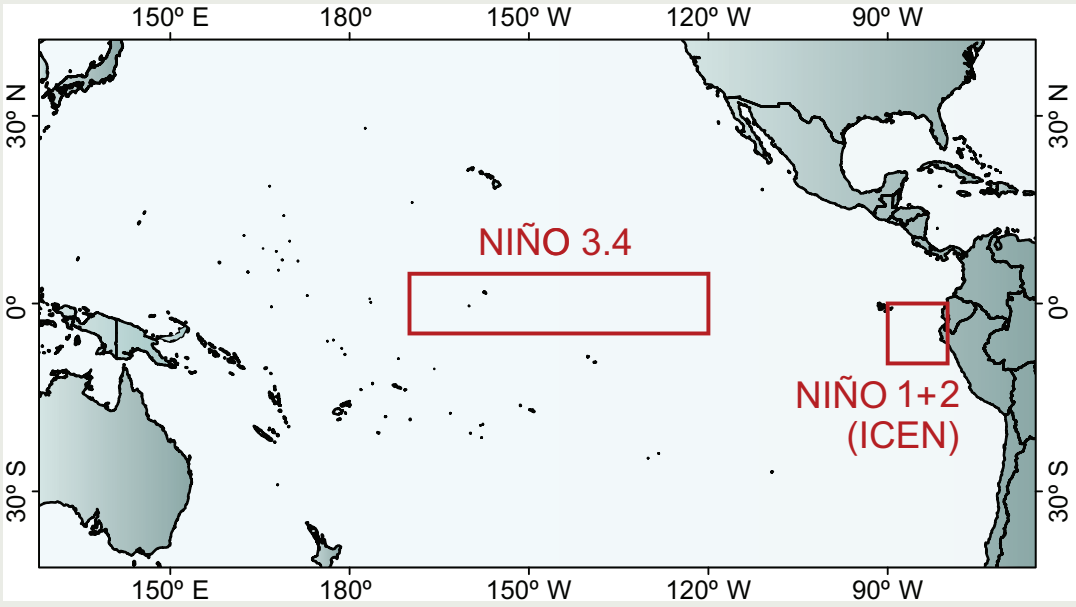
El Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformado por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA e Indeci, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

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".

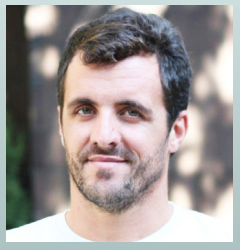
Además, un objetivo central del ENFEN es "estudiar el Fenómeno El Niño, con el fin de lograr una mejor comprensión del mismo, poder predecirlo y determinar sus probables consecuencias", lo cual se desarrolla mediante la investigación científica.

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 Amazonía peruana.

Desafíos en la predicción de La Niña



Ph. D. Pedro DiNezio
Investigador, Instituto de Geofísica, The University of Texas at Austin

Ph.D. en Meteorología y Oceanografía Física de la University of Miami, EE.UU. e Ingeniero Mecánico del Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Argentina. Actualmente es investigador científico del Institute for Geophysics, en la Jackson School of Geosciences de la Universidad de Texas (EE.UU.). Recientemente su investigación está enfocada en entender los impactos del cambio climático sobre el Pacífico Tropical, con especial interés en predecir los cambio en los eventos El Niño y La Niña.

Antecedentes

El Niño de 2015-2016 se ha desvanecido por ahora y, dada su gran intensidad, se esperaban condiciones La Niña para el próximo verano. Eventos El Niño fuerte anteriores, como los de 1982-1983 y 1997-1998, fueron seguidos por La Niña. Sin embargo, las observaciones y modelos de pronóstico no indican consistentemente que La Niña estaría en marcha el presente año. Por otra parte, las observaciones históricas indican que los eventos El Niño fuertes son seguidos por La Niña prolongada, por lo general con una duración de 2 años o más, como se ve en el índice de temperatura superficial del mar en el Pacífico central (Niño 3.4; Fig. 1). Las observaciones desde finales del siglo 19 muestran que la mayoría de los eventos El Niño fuerte han dado lugar rápidamente a La Niña (Kessler, 2002; McPhaden y Zhang 2009). Por otro lado, La Niña rara vez transiciona directamente a El Niño, sino que la gran mayoría de los eventos de La Niña decaen lentamente y, a menudo, toma varios años de condiciones casi neutras hasta que el próximo evento de El Niño se inicia (Kessler, 2002).

Predecir si La Niña iniciará a finales de año y si este podría convertirse en un evento multi-anual es fundamental para predecir la duración de la sequía asociada en regiones tales como el sur de los EE.UU., sudeste de Sudamérica y África ecuatorial oriental. Aquí se discuten dos retos críticos para predecir el inicio y duración de La Niña.

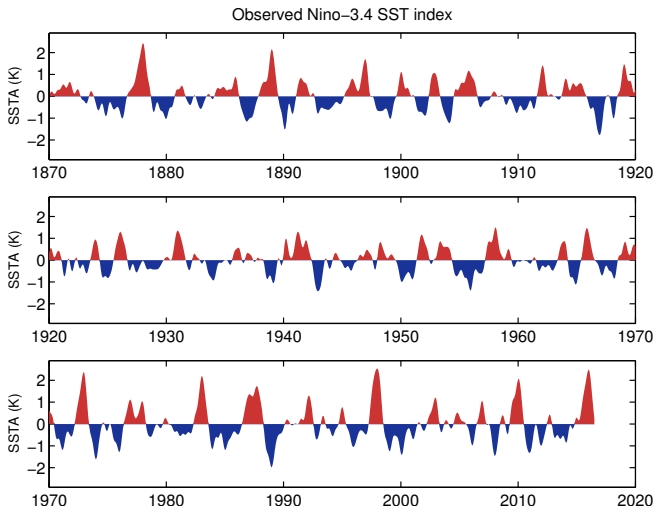


Figura 1 – Anomalía de la temperatura superficial del mar (°C) en la región Niño 3.4 (170°W-120°W, 5°S-5°N).

Prediciendo el inicio de La Niña

Se pensaba que el inicio de La Niña es altamente predecible, ya que es impulsado por las ondas oceánicas lentas producidas por El Niño. Sin embargo, La Niña no ha surgido este año consistentemente, a pesar de encontrarnos en la secuela de uno de los eventos El Niño más fuertes registrados en el Pacífico central, donde la temperatura superficial del mar (TSM) observada todavía se cierne en torno a valores neutros. La anomalía de TSM en la región Niño 3.4 de agosto de 2016 (el último valor mensual disponible del producto ERSST4) apenas ha pasado bajo el umbral de -0.5°C que puede ser usado para definir las condiciones de La Niña (Fig. 2a, curva verde). Durante el otoño de 1998 - después de El Niño extraordinario - la TSM en el Pacífico ecuatorial central fue en promedio -1°C más frío de lo normal (Fig. 2a, curva roja).

La falta de enfriamiento consistente en el 2016 ha generado sospecha de un posible estancamiento de la aparición de La Niña, particularmente porque, hasta principios de setiembre, había poca evidencia del fortalecimiento de los vientos alisios y de la retroalimentación de Bjerknes que sería responsable del crecimiento de La Niña. Sin embargo, la posibilidad que La Niña aparezca y alcance su máximo a finales de 2016 no debería ser descartada por las dos razones siguientes. En primer lugar, otros eventos El Niño fuertes tardaron más tiempo en decaer, como el de 1982-1983 (Fig. 2a, la curva de color verde fijo) que llevó a condiciones La Niña débiles durante el verano 1983-1984, las cuales regresaron por un segundo año (Fig. 1).

En segundo lugar y más importante, la tendencia de calentamiento de largo plazo en el Pacífico tropical podría estar ocultando el enfriamiento asociado a La Niña este año. Asumiendo una tendencia al calentamiento lineal, las observaciones más recientes tienden a ser más caliente que el promedio sobre el periodo de 30 años, en este caso 1981-2010, usado para computar la climatología y las anomalías. Este

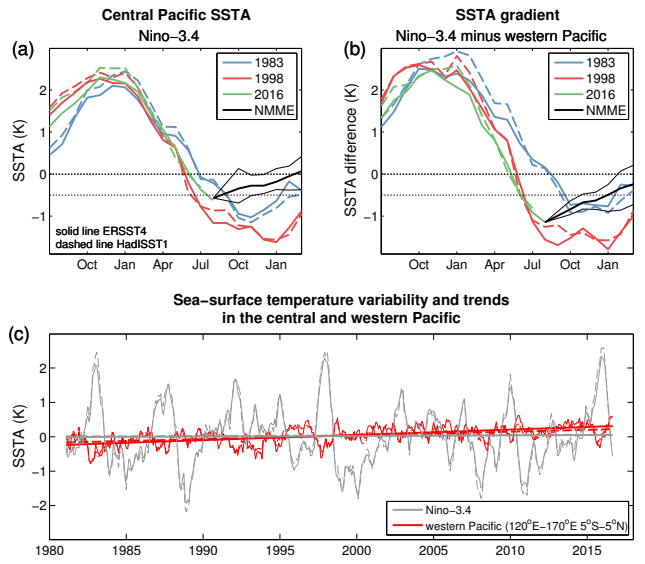


Figura 2 – Evolución temporal de (a) anomalía de TSM en Niño 3.4 y (b) gradiente zonal de TSM durante los tres eventos El Niño más fuertes registrados. El gradiente zonal se define como la anomalía de TSM en la región Niño 3.4 menos la promediada en una región en el Pacífico occidental (120°E-170°E 5°S-5°N). Los datos usados son ERSST4 (sólido) y HadISST1 (rayas), así como el pronóstico promedio de modelos NMME (negro). (c) Las series completas de estos índices y sus tendencias lineales con la técnica del mínimo cuadrado.

error puede llegar a ser unas pocas décimas de grado y podría dar lugar a una subestimación no despreciable de la anomalía de TSM en la región Niño 3.4, lo que podría afectar la identificación y definición de eventos La Niña con la intensidad moderada.

Los eventos de La Niña se caracterizan por un gradiente de TSM zonal (oeste-este) ecuatorial más fuerte que lo normal, por lo tanto un índice de este gradiente podría ser utilizado para monitorear estos eventos. Ya que este índice se basa en diferencias entre dos regiones del Pacífico, no es tan sensible a tendencias de calentamiento promedio a largo plazo y además está más íntimamente relacionado con la fuerza de los vientos alisios ecuatoriales (por ej. Cai et al., 2015), por lo que puede ser más apropiado para representar la retroalimentación de Bjerknes. Por lo tanto, para cuantificar a La Niña, definimos el gradiente como la diferencia de anomalía de TSM entre la región Niño 3.4 y la región en el extremo occidental del Pacífico ecuatorial (120°E-170°E, 5°S-5°N). Esta definición, que hace hincapié en la mitad occidental de la cuenca, es más adecuado para capturar el gradiente asociado a La Niña, dado que las anomalías de los vientos del este correspondientes tienden a ocurrir en esta región del Pacífico ecuatorial.

Los datos de ERSST4 y HadISST1 muestran que en el 2016, el gradiente de TSM está evolucionando similarmente al año 1998 (Fig. 2b, rojo frente a curvas de color verde). Recientemente, en setiembre 2016, los datos de las boyas TAO indican que los vientos alisios se están intensificando (Fig. 3a), con magnitudes comparables a los meses de septiembre de 1998 (Fig. 3b), consistente con la evolución similar del gradiente zonal de TSM en ambos eventos (Figs. 2 y 3). Dada esta similitud, es razonable esperar que los vientos continuarán fortaleciendo debido a la retroalimentación Bjerknes alimentando el crecimiento de La Niña.

Los modelos climáticos que participan en el North American Multi-Model Ensemble (NMME; Kirtman et al., 2014) predicen valores neutrales en Niño 3.4 para enero de 2017 (Fig. 2a, curva de negro). Sin embargo, cuando calculamos sus predicciones para el gradiente de TSM zonal, estos modelos predicen un fuerte gradiente de TSM, aunque más débil que durante enero de 1999, y más acorde con la magnitud del gradiente en el pico de La Niña de 1983-1984 (Fig. 2b, curva de negro). En concordancia con su predicción de un gradiente de TSM fortalecido, los modelos NMME también predicen anomalías de precipitación para la próxima temporada diciembre-enero-febrero (DEF) caracterizadas por patrones a gran escala con condiciones más secas sobre el Pacífico central y oriental, y más húmedas sobre la región alrededor de Indonesia (Fig. 4a). Estas anomalías son robustas en todo el conjunto de 9 modelos y, lo más importante, son sorprendentemente similares al promedio de las anomalías de precipitación de 12 eventos La Niña observados (Fig. 4b). Esto refuerza la idea de que los gradientes de TSM en el Pacífico ecuatorial pueden ser más adecuados para el seguimiento y la predicción de La Niña y sus impactos asociados.

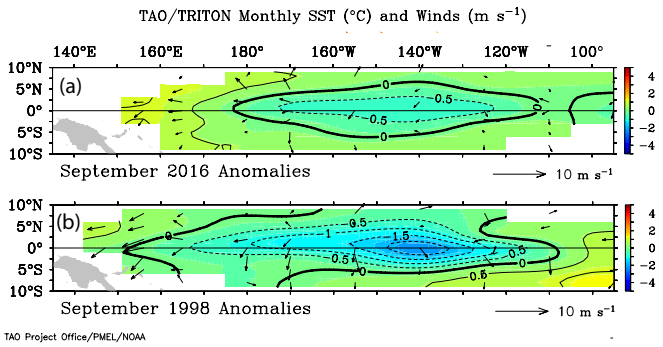


Figura 3 – Anomalías de TSM y viento superficial en setiembre de 2016 y 1998. Datos del arreglo TAO/TRITON.

Predicción de la duración de La Niña

El consenso de los sistemas de predicción dinámicos y estadísticos inicializados en septiembre del 2016 predice condiciones débiles de La Niña para el próximo verano (Fig. 5a). No sólo estas previsiones podrían estar subestimando la magnitud de La Niña, como se discute en la sección anterior, sino que no proporcionan información sobre la duración del posible evento, ya que solo se extienden con tiempos de anticipación

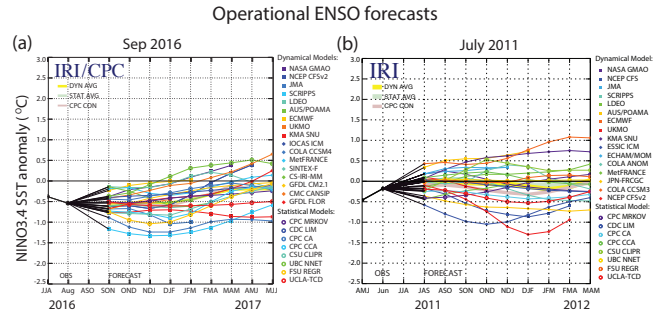


Figura 4 – (a) Promedio multi-modelo NMME de anomalías de precipitación pronosticado para el periodo diciembre 2016-febrero 2017. (b) Promedio diciembre-febrero de 12 eventos La Niña observados desde 1979. Datos de GPCPv2. Punteado indica donde la relación señal/ruido es mayor que la unidad (el promedio de cada modelo es considerado un miembro de la muestra).

("leads") de hasta 8 meses. La ocurrencia de estos eventos largos sólo se ha reconocido recientemente (Okumura and Deser 2010), y poco se sabe acerca de si su duración puede ser prevista.

La predicción de ENOS se ha centrado tradicionalmente en leads menores a un año. Sin embargo, incluso para leads más cortos, las predicciones operativas pueden ser poco fiables. El último evento La Niña, por ejemplo, fue de 2 años, que alcanzó su punto máximo durante los veranos de 2010-2011 y 2011-2012, causando sequías devastadoras sobre el sureste de los EE.UU. y Texas. En junio de 2011, después del primer año de La Niña, la TSM en la región Niño 3.4 fue casi neutra (Fig. 5b, curva negra). Diferentes previsiones operativas inicializadas en ese momento predijeron valores positivos y negativos para el invierno siguiente (Fig. 5b, las curvas de color en DEF 2011-2012), que proporciona una imagen poco fiable de la evolución de La Niña, que en última instancia resurgió por segundo año alcanzando un máximo en DEF de 2011-2012.

Dinámica de 2 años de La Niña

Antes de explorar la posibilidad de predicciones a largo plazo, necesitamos entender la dinámica de eventos La Niña de 2 años. El inicio y el decaimiento de El Niño y La Niña que se rigen por los cambios en la profundidad de la termoclina ecuatorial, el límite que separa las aguas cálidas de la superficie de las aguas profundas y más frías (Cane et al., 1985, Neelin et al., 1998). Según la teoría más básica de El Niño-Oscilación Sur (ENOS), los vientos alisios debilitados durante El Niño causan que la termoclina del Pacífico ecuatorial ascienda una o dos temporadas más tarde. Esta respuesta retardada de la termoclina es clave para iniciar la desaparición de El Niño y se caracteriza por una reducción en el contenido de calor del océano ecuatorial superior, típicamente referido como "descarga". Más importante aún, la termoclina menos profunda facilita el incremento el afloramiento de aguas frías subsuperficiales, el cual causa el enfriamiento de la superficie del océano, finalizando El Niño e iniciando La Niña. Por el contrario, los vientos alisios fortalecidos durante La Niña producen una profundización retardada de la termoclina, lo que disminuye el efecto de enfriamiento del afloramiento, que finaliza La Niña y da inicio a un posterior evento El Niño. La dinámica lineal descrita debe dar lugar a eventos El Niño y La Niña de la misma duración.

Eventos La Niña de 2 años observados y simulados por el modelo climático CESM1 muestran anomalías negativas de las TSM en el Pacífico ecuatorial central máximas en los dos veranos consecutivos después del pico de El Niño (Fig. 6). Las variaciones en la profundidad de la termoclina (Z_{tc}) juegan un papel clave en la iniciación y terminación de La Niña de 2 años. Observaciones y CESM1 muestran que La Niña está precedida por un ascenso de la termoclina ecuatorial, mostrada por las anomalías negativas de Z_{tc} en todo el Pacífico ecuatorial asociada a la "descarga" de calor durante El Niño (Fig. 6, los contornos negativos en el tiempo = Jul^{-18}). La termoclina se mantiene en promedio somera durante La Niña, aunque con una fuerte inclinación este-oeste como respuesta a los vientos alisios fortalecidos. Las observaciones (Fig. 6ab) y el modelo CESM1 (Fig. 6c) muestran que La Niña de 2 años termina cuando la termoclina inicia su fase de "recarga", que se caracteriza por anomalías positivas de Z_{tc} en el Pacífico ecuatorial (Fig. 6, los contornos positivos después de Ene^{0}).

Se han propuesto varios mecanismos para explicar la terminación retrasada de La Niña, los cuales hacen hincapié en diferentes aspectos no-lineales del acoplamiento entre la TSM, el viento y la profundidad de la termoclina. En primer lugar, eventos El Niño fuertes tienen anomalías en los vientos mucho mayores que los eventos de La Niña, los cuales producen una descarga de calor también mucho mayor (Frauen y Dommenget, 2010, Choi et al., 2013). La recarga, en

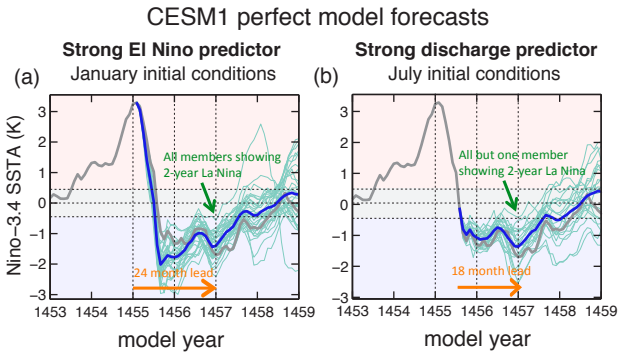


Figura 5 – Predicciones de anomalía de TSM en la región Niño 3.4 (IRI/CPC) con modelos dinámicos y estadísticos inicializados en (a) setiembre 2016, los cuales indican valores negativos (La Niña) para el verano (diciembre-febrero) próximo, y en (b) julio 2011, los cuales no presentaron acuerdo sobre el signo de las anomalías en el verano siguiente, las cuales fueron negativas haciendo que La Niña iniciada en 2010 fuera multi-annual.

cambio, es impulsada por la magnitud de las anomalías de viento de La Niña, que son proporcionalmente más débiles. El segundo proceso implica el acoplamiento entre la profundidad de la termoclina y TSM. DiNezio y Deser (2014) propusieron que las anomalías positivas de Z_{tc} durante la fase de recarga desacoplan las aguas de la termoclina de la capa de mezcla superficial del océano. Este efecto es más pronunciado para los grandes desplazamientos de la termoclina, haciendo que la recarga sea menos eficaz para producir la terminación de La Niña. Como resultado, episodios de La Niña fuertes persisten por un año adicional, hasta que la recarga relativamente débil pueda regresar la TSM a condiciones neutras.

Hacia predicciones multi-anuales de La Niña

La limitada habilidad de las previsiones operacionales podría estar asociada al hecho de que pocos modelos climáticos pueden simular la dinámica de La Niña de 2 años en forma realista (Ohba et al., 2010), como el modelo climático CESM1, desarrollado en el *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) y los modelos desarrollados en el *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* (GFDL) de la NOAA, que son capaces de simular de forma realista esta y otras características clave de ENOS (Choi et al., 2014, Deser et al., 2012, DiNezio y Deser 2014, DiNezio et al., sometido). El realismo de estas simulaciones ENOS ha permitido recientemente el estudio de la dinámica y la previsibilidad de La Niña de 2 años en mayor detalle.

Por ejemplo, hemos realizado una serie de predicciones idealizadas que exploran la habilidad de CESM1 para predecir la duración de La Niña (DiNezio et al., sometido). Para esto, se tomó una simulación libre ("control") del CESM1 de 1800 años de duración como si fuera la realidad y se usó el modelo para pronosticar la evolución de eventos dentro de esta simulación, pero partiendo de condiciones iniciales imperfectas a las que se añadió pequeñas perturbaciones a las condiciones atmosféricas. Los "ensembles" de 30 pronósticos por evento se inicializaron en enero y julio, coincidiendo con los picos de El Niño y su descarga asociada, respectivamente. Se consideraron tres casos con diferentes magnitudes de los dos predictores: amplitud pico de TSM durante El Niño y el bajo contenido de calor posterior. Aquí se presentan los resultados del caso "fuerte", inicializado a partir de uno de los eventos El Niño más fuertes de la simulación control.

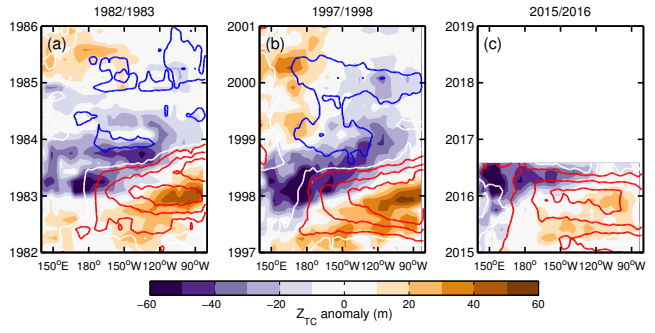


Figura 6 – Evolución espacio-temporal promedio de La Niña de 2 años en anomalías de la temperatura superficial del mar (sombreado) y la profundidad de la termoclina Ztc (contornos naranjas positivos, morados negativos, con intervalos de 5 m) ecuatorial (5°S-5°N) en (a,b) observaciones y (c) la simulación control del modelo CESM1. Los datos observacionales de TSM son de HadISST1.1 (Rayner et al., 2003) y los de Ztc son de los análisis oceánicos (a) GODAS (1980-presente; Behringer et al., 1998) y (b) ORAS4 (1958-2013; Balmaseda et al., 2013). El tiempo avanza hacia arriba y los superíndices indican el retraso en meses relativo a enero correspondiente al segundo año de La Niña. Los promedios observacionales se basan en solo (a) 4 y (b) 7 eventos La Niña de 2 años según la disponilidad de los datos subsuperficiales.

Las previsiones muestran que todos los 30 miembros inicializados en el pico de El Niño predijeron condiciones La Niña de 2 años . Se encontraron resultados similares cuando CESM1 se inicializó en el pico de descarga. Estos resultados sugieren que en un caso ideal, la duración de La Niña podría predecirse con hasta 24 y 18 meses de antelación para casos en que El Niño y la descarga precedentes son fuertes. Este es un caso ideal ya que el CESM1 es usado para predecir su propio clima ("modelo perfecto"), así que las previsiones no se ven afectados por fuerte incertidumbre en las condiciones iniciales, los "shocks" de inicialización, o la deriva climática del modelo, que sí ocurre en situaciones reales. Sin embargo, la alta habilidad demostrada por CESM1 sugiere que las predicciones operativas útiles de la duración de La Niña en La naturaleza podrían ser factibles.

¿Duraría el potencial evento La Niña por 2 años?

Los pronósticos operacionales de ENOS se limitan generalmente a 8 meses (Barnston et al., 2012), así que no incluyen predicciones de La Niña de 2 años. Sin embargo, las investigaciones recientes sobre las predicciones multi-anuales de La Niña indican que la amplitud pico de El Niño y/o la magnitud de la descarga de calor asociada podrían guiar en la predicción de la duración de La Niña. Si bien son "idealizados", los experimentos indican que las condiciones oceánicas tras El Niño 2015-2016 pueden ser propicias para predicciones confiables de si el potencial evento La Niña tendrá una duración de un año adicional o no.

Las observaciones muestran esta relación, ya que los eventos El Niño más fuertes de la historia, 1982-1983 y 1997-1998, fueron seguidos por varios años de La Niña (Fig. 1). Teniendo en cuenta que el presente año El Niño ha sido tan fuerte en el Pacífico central como esos eventos, se esperaría una mayor probabilidad de que el próximo La Niña persiste por un año adicional. El efecto de El Niño sobre la duración de La Niña siguiente está determinado por la magnitud de la descarga asociada, que normalmente alcanza su máximo durante el otoño e invierno siguiente el pico de El Niño. El evento de

este año muestra una descarga, que se caracteriza por anomalías Z_{tc} negativas en el Pacífico ecuatorial, que hasta ahora, no parecen ser muy diferentes en extensión espacial, magnitud y temporalidad que la descarga observada en 1998 y 1983.

¿Evolucionará el Pacífico tropical igual que en los años siguientes a El Niño de 1997-1998? Según el análisis GODAS, la descarga de este año, medida como el promedio zonal de la profundidad de la termoclina ecuatorial (140°E-80°W, 5°S-5°N), alcanzó un máximo (negativo) de -33m en mayo. Este ascenso anómalo tiene aproximadamente la misma magnitud y el momento de que los eventos fuertes anteriores, que mostraban descarga de -32 m en mayo de 1998 y -32 de septiembre de 1983. La magnitud de la descarga de este año y su similitud con las condiciones del océano en eventos multi-anuales previos sugieren que una predicción fiable de la duración de La Niña tal vez sea posible. La fuerte descarga sugiere indica que las probabilidades de un evento multi-anuales son mayores que el 50% de probabilidad dada por las observaciones históricas. Nótese, sin embargo, que estos eventos multi-anuales se hicieron más comunes en la última parte del siglo 20 (Fig. 1) y por lo tanto podrían estar relacionados con las variaciones multidecenales en la actividad ENOS. Estas variaciones parecen ser muy impredecibles (Wittenberg et al., 2014), y por lo tanto también es posible que estemos entrando en un período de menor frecuencia de eventos La Niña multi-anuales.

Resumen

El Niño de 2015-2016 ha permitido a nuestra comunidad mostrar el progreso extraordinario logrado en la observación, comprensión y predicción de ENOS. Un probable evento La Niña el próximo verano renueva el desafío de tratar de predecir su aparición y duración. Anteriores eventos El Niño fuertes, como los de 1982-1983 y 1997-1998, fueron seguidos por La Niña. Observaciones del gradiente de TSM zonal indican que La Niña estaría en marcha y se observa un efecto sobre los vientos alisios. Los pronósticos de los modelos climáticos indican que el gradiente de TSM zonal seguirá siendo fuerte a principios de 2017. En contraste, el índice de TSM para la región Niño 3.4 en el Pacífico central presentaría condiciones cercanas a neutras. ¿Será que la reanudación del calentamiento global después del paréntesis de los años 2000 (Kosaka y Xie 2014) está influyendo en nuestra definición de La Niña? Detectar el evento La Niña en este año podría ser nuestro primer reto en el monitoreo de ENOS en un clima más cálido.

La predicción de la duración de La Niña es tanto más difícil y crítico. Predecir si la próxima La Niña persistirá en el invierno boreal de 2017-2018 podría proporcionar pronósticos más confiables de sequía de largo plazo en regiones como el sur de Estados Unidos, el sureste de América del Sur, y África ecuatorial, lo que podría reducir en gran medida la gravedad de su daño social y económico. Relaciones estadísticas con la magnitud de la descarga asociada con El Niño y simulaciones idealizadas indican que sería posible, aunque estos resultados son recientes y llevará tiempo para que sean operacionalizados.

Referencias

Balmaseda, M. A., K. Mogensen, and A. T. Weaver (2013), Evaluation of the ECMWF ocean reanalysis system ORAS4, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 139(674), 1132–1161, doi:10.1002/qj.2063.

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, 631–651.

Barnston, A. G., S. Li, S. J. Mason, D. G. DeWitt, L. Goddard, and X. Gong (2009), Verification of the First 11 Years of IRI's Seasonal Climate Forecasts, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 49(3), 493–520, doi:10.1175/2009JAMC2325.1.

Behringer, D.W., M. Ji, and A. Leetmaa (1998), An improved coupled model for ENSO prediction and implications for ocean initialization. Part I: The ocean data assimilation system. Mon. Wea. Rev., 126, 1013-1021.

Cai W, Wang G, Santoso A, McPhaden MJ, Wu L, Jin FF, Timmermann A, Collins M, Vecchi G, Lengaigne M, England M, Dommenget D, Takahashi K, Guilyardi E, 2015, Increased frequency of extreme La Niña events under greenhouse warming. Nature Climate Change, 5 (2),132-137, doi:10.1038/nclimate2492.

Cane, M. A., and S. E. Zebiak (1985), A Theory for El Niño and the Southern Oscillation, Science, 228(4703), 1085–1087, doi:10.1126/science.228.4703.1085. Choi, K.-Y., G. A. Vecchi, and A. T. Wittenberg (2013), ENSO Transition, Duration and Amplitude asymmetries: Role of the nonlinear wind stress coupling in a conceptual model, J. Climate, doi:10.1175/JCLI-D-13-00045.1.

Deser, C., A. S. Phillips, R. A. Tomas, Y. M. Okumura, M. A. Alexander, A. Capotondi, J. D. Scott, Y.-O. Kwon, and M. Ohba (2012), ENSO and Pacific Decadal Variability in the Community Climate System Model Version 4, Journal of Climate, 25(8), 2622–2651, doi:10.1175/JCLI-D-11-00301.1.

DiNezio, P. N., and C. Deser (2014), Nonlinear Controls on the Persistence of La Niña, Journal of Climate, 27(19), 7335–7355.

DiNezio, P. N., C. Deser, Y. Okumura, and A. R. Karspeck (sometido), Mechanisms controlling the predictability of 2-year La Niña, submitted to Climate Dynamics, available at ftp://utig.ig.utexas.edu/outgoing/pdn/pubs/submitted/ DiNezio_LN2predictability.pdf.

Frauen, C., and D. Dommenget (2010), El Niño and La Niña amplitude asymmetry caused by atmospheric feedbacks, Geophys. Res. Lett., 37(18), doi:10.1029/2010GL044444.

Hu, Z.-Z., A. Kumar, Y. Xue, and B. Jha (2013), Why were some La Niñas followed by another La Niña?, Clim. Dyn., pp. 1–14.

Kessler, W. S. (2002), Is ENSO a cycle or a series of events?, Geophysical Research Letters, 29(23), 40–1–40–4, doi:10.1029/2002GL015924.

Kirtman, B., J. Shukla, M. Balmaseda, N. Graham, C. Penland, Y. Xue, and S. Zebiak (2001), Current status of ENSO forecast skill, Tech. Rep. 56, CLIVAR Working Group on Seasonal to Interannual Prediction.

Kirtman, P., and Coathors (2014), The North American Multimodel Ensemble: Phase-1 Seasonal-to-Interannual Prediction; Phase-2 toward Developing Intraseasonal Prediction. Bull. Amer. Meteor. Soc., 95, 585–601.

Latif, M., D. Anderson, T. Barnett, M. Cane, R. Kleeman, A. Leetmaa, J. O'Brien, A. Rosati, and E. Schneider (1998), A review of the predictability and prediction of ENSO, J. Geophys. Res. Oceans, 103(C7), 14,375–14,393, doi:10.1029/97JC03413.

Neelin, J. D., D. S. Battisti, A. C. Hirst, F.-F. Jin, Y. Wakata, T. Yamagata, and S. E. Zebiak (1998), ENSO theory, J. Geophys. Res., 103(C7), 14261–14290, doi:10.1029/97JC03424.

Ohba, M., and H. Ueda (2009), Role of Nonlinear Atmospheric Response to SST on the Asymmetric Transition Process of ENSO, J. Climate, 22(1), 177–192, doi:10.1175/ 2008JCLI2334.1.

Ohba, M., D. Nohara, and H. Ueda (2010), Simulation of Asymmetric ENSO Transition in WCRP CMIP3 Multimodel Experiments, Journal of Climate, 23(22), 6051–6067, doi:10. 1175/2010JCLI3608.1.

Okumura, Y. M., and C. Deser (2010), Asymmetry in the Duration of El Niño and La Niña, Journal of Climate, 23(21), 5826–5843, doi:10.1175/2010JCLI3592.1.

Okumura, Y. M., M. Ohba, C. Deser, and H. Ueda (2011), A Proposed Mechanism for the Asymmetric Duration of El Niño and La Niña, Journal of Climate, 24(15), 3822–3829, doi: 10.1175/2011JCLI3999.1.

McPhaden, M. J., and X. Zhang (2009), Asymmetry in zonal phase propagation of ENSO sea surface temperature anomalies, Geophys. Res. Lett., 36, L13703, doi:10.1029/2009GL038774.

Rayner, N. A., D. E. Parker, E. B. Horton, C. K. Folland, L. V. Alexander, D. P. Rowell, E. C. Kent, and A. Kaplan (2003), Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 108(D14), doi:10.1029/2002JD002670.

Wittenberg A. T., A. Rosati, T. L. Delworth, G. A. Vecchi, and F. Zeng (2014), ENSO Modulation: Is It Decadally Predictable?, J. Climate, 27, 2667–2681, doi: 10.1175/JCLI-D-13-00577.1.

Validación de los datos del nivel medio del mar de los productos SL-TAC/DUACS y CTOH X-TRACK con datos in-situ frente a la costa Peruana

David Pareja y Kobi Mosquera
Instituto Geofísico del Perú

Introducción

Se conoce que el monitoreo costero de las variables oceánicas es de suma importancia para el clima. Para el caso particular del nivel del mar, si bien los datos son obtenidos diariamente de las estaciones mareográficas, al ser información puntual en la costa, ésta puede ser afectada por procesos muy locales. Por eso, para suplir la necesidad de obtener una mayor información de las condiciones del nivel medio del mar sobre gran parte de la superficie oceánica, los satélites de altimetría fueron puestos en órbita. Estos satélites cubren gran parte de la superficie oceánica y proporcionan información casi en tiempo real. Una de las principales características de los altímetros es que fueron diseñados para tomar medidas en superficies homogéneas, así que, en regiones donde la superficie es heterogénea (ejemplo, próximo al litoral costero), las mediciones no son confiables debido a que los datos son contaminados por señales que son consideradas ruido (Cipollini et al., 2013). Por este motivo, algunos centros de investigación vienen desarrollando diferentes métodos y técnicas para corregir la información que fue tomada por el altímetro, principalmente en las zonas costeras, y de esta manera, recuperar los datos "perdidos". A continuación, se muestran los resultados preliminares de la validación con datos *in situ* de los productos SL-TAC/DUACS y CTOH X-TRACK, junto con los datos originales del altímetro Jason1-2.

Datos y metodología

Los datos del nivel medio del mar (NMM) de las estaciones mareográficas Lobos de Afuera y Callao fueron obtenidos de la Universidad de Hawaii (http://uhslc.soest.hawaii.edu/). Esta información fue utilizada para evaluar los datos del NMM a lo largo de las trayectorias obtenidas por los satélites de altimetría que cruzan la costa peruana muy cerca de las estaciones mareográficas mencionadas anteriormente. Los productos del NMM utilizados en el presente trabajo son: Jason1-2, SL-TAC/DUACS (a seguir DUACS) y CTOH X-TRACK (a seguir X-TRACK). Los datos de Jason1-2 corresponden a los que se actualizan en tiempo real, mientras que los productos DUACS y X-TRACK son datos re-procesados. El efecto de las mareas no está presente en ninguno de los datos.

Los datos del NMM de Jason1-2 corresponden a los obtenidos por el satélite Jason-1 (2002-2008) y Jason-2 (2009-2014). Para el caso de Jason-1 los datos corresponden al producto *Geophysical Data Record* (GDR), en cuanto, los de Jason-2 al producto Operational GDR

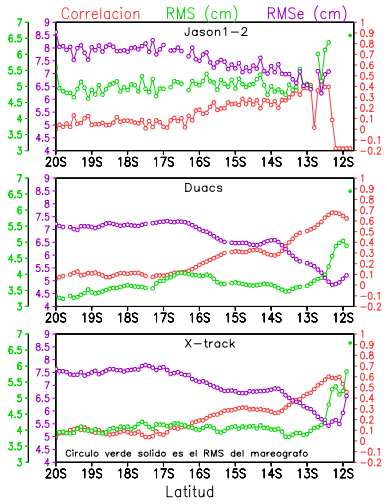


Figura 1: Correlación (rojo), error cuadrático medio (verde) y el error cuadrático medio de la diferencia (morado) para los datos del nivel medio del mar a lo largo de las trayectorias del satélite de altimetría próximo a la estación mareográfica del Callao. Las latitudes son referenciales en el eje X.

(OGDR). Para mayor detalle de los productos se puede leer los *handbooks* de Jason-1 y Jason-2 Aviso y PoDaac, 2008, Dumont et al., 2009, respectivamente. Los productos del NMM proporcionados por el *Center for Topographic studies of the Ocean and Hydrosphere* (CTOH) X-TRACK son corregidos siguiendo la metodología de Lyard et al. (2003) y los datos se derivan del procesamiento de datos GDR que integra las misiones satelitales TOPEX/Poseidon, Jason-1 y Jason-2. Los productos X-TRACK se caracterizan por mejorar la cantidad y calidad de las medidas del nivel medio del mar en regiones costeras, principalmente mediante la redefinición de la estrategia de edición de datos para minimizar la pérdida de datos durante la fase de corrección y mejorarlos mediante el uso de modelos locales de mareas, así como la respuesta del océano a vientos de periodo corto y a la presión atmosférica, entre otros. Mayores detalles acerca del procesamiento de datos del producto X-TRACK puede ser visto en Rouble et al. (2007, 2011). Los datos *Sea Level Thematic Assembly Centre / Data unification and Altimeter combination system* (SL-TAC/DUACS) son derivados del procesamiento que integra datos de las misiones satelitales: HY-2a, Saral/Altika, Cryosat-2, Jason-2, Jason-1, TOPEX/Poseidon, Envisat, GFO, ERS-1 & 2. Estos datos se caracterizan por la homogenización de sus datos, control de calidad a los datos (en este paso se aplican algoritmos específicos tales como: *ion filter*,

extrapolación radiométrica) y la calibración cruzada con las diferentes misiones satelitales. Para mayor detalle del procesamiento de estos datos ver AVISO (2016).

Para la validación de los datos del NMM a lo largo de las trayectorias se utilizó la correlación de Pearson con la finalidad de determinar cuál de los datos a lo largo de las trayectorias tienen un comportamiento similar a los datos de las estaciones mareográficas. El periodo considerado para el análisis de la estación del Callao (climatología 2002-2013) y Lobos de Afuera (climatología 2002-2009) fue 2002-2014. La diferencia en el periodo de la climatología en ambas estaciones es debido a la disponibilidad de datos de los mareógrafos.

Resultados

La Figura 1 muestra los resultados de la correlación, el valor cuadrático medio (Root Mean Square, RMS) y el valor del error cuadrático medio (Root Mean Square error, RMSe) para los datos de la anomalía del NMM obtenidos de la estación mareográfica del Callao y con cada uno de los datos a lo largo de las trayectorias de los productos de Jason1-2, DUACS y X-TRACK. Para la Figura 1 (Jason 1-2), la correlación indica valores máximos de alrededor de 0.5 próximos a la costa e incluso lo más cercanos muestran valores negativos, se asume que estos resultados son producto de la alta heterogeneidad que presentan las regiones costeras (Cipollini et al., 2013). Este resultado indica que los valores del NMM satelital cercanos al mareógrafo representan mejor la variabilidad del NMM. Por otro lado, los valores de correlación de los productos DUACS y X-TRACK presentan valores más altos (próximos a 0.7), sobre todo en aquellos datos en donde Jason1-2 presentan una baja y negativa correlación. Estas mejorías en los valores de correlación son debido al reprocesamiento de la señal original (Françoise et al., 2016). Asimismo, en general, los valores del RMS muestran mayores valores en zonas próximas al litoral costero, aunque mucho menor variabilidad que la mostrada en el mareógrafo del Callao. Este resultado es correcto ya que en regiones próximas a la costa el nivel medio del mar presenta mayor variabilidad con relación a la variación en mar adentro. Al igual que la correlación, el RMS disminuye mientras estos se alejan del litoral costero. Para el caso del RMSe estos presentan una menor diferencia frente a la costa y aumentan a medida que se alejan del litoral costero. En general, los valores del NMM de DUACS y X-TRACK presentan una variación latitudinal menos ruidosa que Jason1-2.

Para el caso de Lobos de Afuera, la Figura 2 muestra que, si bien los valores de la correlación son similares entre los productos, la diferencia se resalta cerca de la costa, en donde para Jason1-2 la correlación es negativo, mientras que en los otros productos las correlaciones se encuentran entre 0.5 y 0.7. Para el caso del RMS los valores máximos se ubican en las zonas próximas al litoral costero, mientras que el RMSe presenta menores valores próximos a la zona costera. Además, se tiene que el RMS de la estación mareográfica Lobos de Afuera presenta un mayor valor al de los productos satelitales DUACS y X-TRACK.

De los análisis realizados, podemos concluir de manera preliminar que la variabilidad y magnitud de los productos DUACS y X-TRACK se aproximan más a lo observado en la costa que Jason1-2.

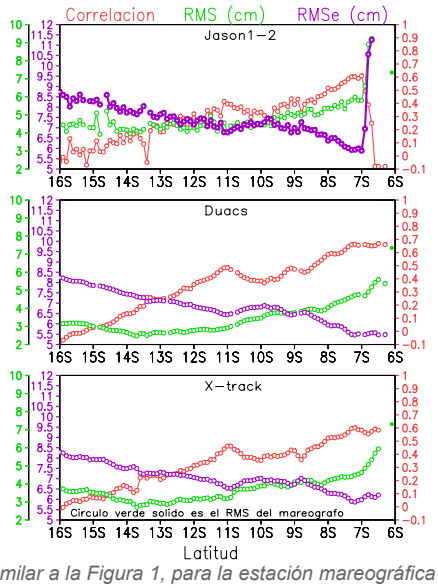


Figura 2: Similar a la Figura 1, para la estación mareográfica Lobos de Afuera.

REFERENCIAS

Aviso and PoDaac. 2008. User Handbook—IGDR and GDR Jason-1 Product, SMM-MU-M5-OP-13184-CN, 4.1.

AVISO. (2016). SSALTO/DUACS user handbook: MSLA and (M)ADT near-real time and delayed time products. CLS-DOS-NT-06-034. SALP-MU-P-EA-21065- CLS. 5rev 0.

Cipollini, P., R. Scarrot, and H. Snaith, 2013: Product Data Handbook: Coastal Altimetry. D180A_HB_SL1, 1.

Dumont, J. P., Rosmorduc, V., Picot, N., Desai, S., Bonekamp, H., Figa, J., Scharroo, R. (2009). OSTM/Jason-2 products handbook. CNES: SALP-MU-M-OP-15815-CN, EUMETSAT: EUM/OPS-JAS/MAN/08/0041, JPL: OSTM-29-1237, NOAA/NESDIS: Polar Series/OSTM J, 400(1).

Françoise, M., Vinca, R., Caroline, M., Yannice F. (2016). Product user manual for sea level SLA products. Ref: CMEMS-SL-PUM-008-017-033. Lyard F, Roblou L, Mangiarotti S, Marsaleix P (2003) En route to coastal oceanography from altimetric data: some ALBICOCCA project insight. In: Paper presented at the Ocean surface topography science team meeting, Arles, France.

Roblou, L., Lyard, F., Le Henaff, M., Maraldi, C. X-track, a new processing tool for altimetry in coastal oceans, in: ESA ENVISAT Symposium, Montreux, Switzerland, April 23–27, 2007, ESA SP-636, 2007.

Roblou, L., Lamouroux, J., Bouffard, J., Lyard, F., Le He ´naff, M., Lombard, A., Marsaleix, P., De Mey, P., Birol, F. Post-processing altimeter data towards coastal applications and integration into coastal models, in: Vignudelli, S., Kostianoy, A.G., Cipollini, P., Benveniste, J. (Eds.), Coastal Altimetry. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 217–246, doi:10.1007/978-3-642-12796-0_9, 2011.

Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2016-9

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 Neutras (+0.17ºC) para el mes de agosto. Los valores temporales del ICEN (ICENtmp), indican que para los meses de setiembre y octubre las condiciones también serían Neutras. Para el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA corresponde a condiciones frías débiles, al igual que los estimados para setiembre y octubre, que de confirmarse implicaría un evento La Niña en el Pacífico central débil.

El pronóstico de la temperatura superficial del mar de los siete modelos numéricos internacionales disponibles para la región del Pacífico oriental, con condiciones iniciales del mes de octubre, indican en promedio condiciones neutras para los meses de octubre y noviembre, así como para el verano (diciembre 2016-marzo 2017), salvo un modelo que indica condiciones El Niño costero débil. La mayoría (5/7) de estos modelos numéricos predicen condiciones Frías Débiles en el Pacífico central en octubre y noviembre, los otros (2/7) indican condiciones neutras, mientras que para el verano solo un modelo predice La Niña en el Pacífico central, de magnitud débil.

En el mes de setiembre se observaron pulsos de viento ecuatorial del este entre 160ºE y 150ºW. Esto habría transferido energía al océano como una onda Kelvin fría, la cual se prevé que arribe a las costas sudamericanas para fines de octubre e inicios de noviembre.

Índice Costero El Niño

Utilizando los datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM) promediados sobre la región Niño1+2, actualizados hasta el mes de setiembre 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 agosto de 2016. Los valores se muestran en la Tabla 1.

Año	Mes	ICEN	Condiciones costeras del mes
2016	Mayo	0.54	Cálida Débil
2016	Junio	0.43	Cálida Débil
2016	Julio	0.29	Neutra
2016	Agosto	0.17	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 agosto indica condición Neutra. Se recuerda que, para declarar El Niño o La Niña en la costa, las condiciones costeras deben ser cálidas o frías durante al menos 3 meses consecutivos (ENFEN, 2012)

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 agosto de 2016, es de -0.54°C, correspondiente a condiciones Frías Débiles , el cual está decreciendo desde el máximo alcanzado en diciembre 2015 (+2.27°C, cálida muy fuerte). Los valores estimados (ONItmp) para setiembre y octubre combinando observaciones y pronósticos indican condiciones frías débiles en ambos meses. De confirmarse esto, se podría confirmar La Niña en el Pacífico central.

Diagnóstico del Pacífico Ecuatorial

Las principales variables climáticas en el Pacífico ecuatorial mostraron, en promedio, valores entre normales a correspondientes a La Niña débil. En el Pacífico central continuó la convección 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 anomalía de la TSM en la región Niño 3.4, en promedio (IR, MW, OSTIA), continúa con una tendencia negativa y en setiembre se presentaron negativas, cerca de -0.5°C. Por otro lado, en la región Niño 1+2 la anomalía de la TSM se mantuvo positiva, en promedio dentro de lo normal, pero fluctuando a nivel interdiario entre 0°C y +1°C. El viento zonal (este-oeste) en el Pacífico central (160ºE-160ºW; 5ºS-5ºN) continuó con anomalía mensual del este con mayor intensidad que el mes anterior, reflejando el mayor acoplamiento mencionado. La termoclina ecuatorial continuó mostrando una inclinación este-oeste ligeramente mayor que lo normal, mientras que la tendencia a la normalización observada en los últimos meses en el contenido de calor oceánico ecuatorial presentó una reversión temporal, haciéndose más negativo, probablemente por la intensificación de los vientos del este. Por otro lado, la termoclina en el Pacífico oriental, en los puntos 110ºW y 95°W, continuó mostrando anomalías negativas, aunque en los últimos días de setiembre se observaron condiciones casi normales en 110°W. Se notó que en 95°W, los datos de TAO y de Argo presentaron una discrepancia sistemática del orden de 10-15 m que debe ser investigada. Según los datos de Argo (Aparco et al., 2014), la onda Kelvin fría generada por las anomalías negativas de viento del este

en la segunda quincena de julio y en la primera semana de agosto, no habría arribado a la costa en la primera quincena de setiembre como esperado, posiblemente por la acción de anomalías de vientos del oeste en el Pacífico oriental y/o por reflexión como ondas Rossby debido a la termoclina inclinada en el Pacífico oriental (Mosquera et al., 2014), aunque también es posible que la velocidad de propagación haya disminuido asociado a la menor profundidad de la termoclina en la región oriental (Figura 1c).

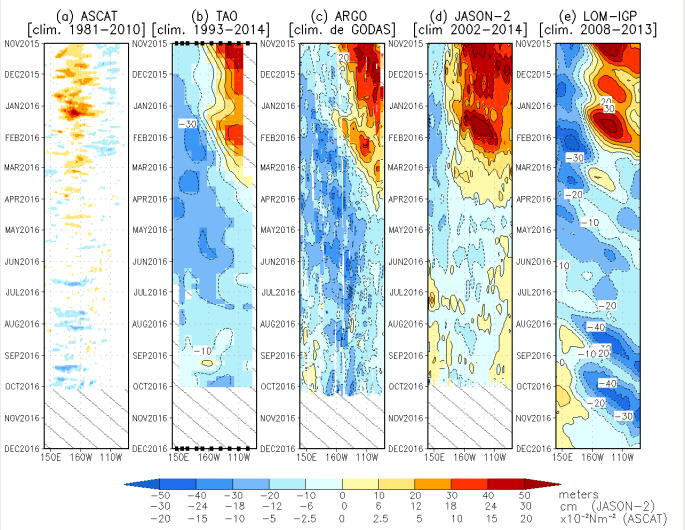


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO (b) y los derivadores de Argo (c), datos del nivel del mar de JASON-2 (d). Finalmente, en (e) se muestra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

Pronóstico a corto plazo con modelo de ondas y observaciones

En el mes de setiembre se observaron pulsos de viento ecuatorial del este entre 160ºE y 150ºW que habrían transferido energía al océano como onda Kelvin fría, la que se observa en los datos de la anomalía de la profundidad de la termoclina del producto de ARGO y TAO (Fig. 1b y c), aunque no tan intensa en el producto del nivel del mar de JASON (Fig. 1d). Esta onda debe llegar a la costa americana a fines de octubre e inicios de noviembre según los resultados del modelo lineal (Mosquera, 2009; Mosquera et al., 2010; Mosquera, 2014), con un impacto incierto en la temperatura en la región costera, aunque existe la posibilidad de que esta llegada se retrase hasta un mes debido a la menor profundidad de la termoclina como se indica en la sección anterior.

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 octubre (el CFSv2 fue inicializado más recientemente que lo incluido con NMME, el 06 de Octubre), indican que para los meses de octubre y noviembre, las anomalías de TSM serían neutras (Fig. 2). En general, estos pronósticos son menos fríos que los inicializados en setiembre. Para el verano (diciembre 2016-marzo2017), todos esos modelos indican condiciones neutras. Sin embargo, el modelo NCAR CCSM4, indica El Niño costero débil en el verano.

Por otro lado, para el Pacífico central (Niño 3.4), se considera los 7 modelos de NMME inicializados octubre y los modelos ECMWF, POAMA, UKMO y MRI con condiciones iniciales de setiembre. Según el pronóstico de los modelos de NMME, para los meses de octubre y noviembre se esperan en promedio condiciones frías débiles, mientras que, de los otros 4 modelos analizados, 2 indican condiciones frías débiles y los otros 2 condiciones neutras para ambos meses. Para el verano (diciembre 2016-marzo2017), los modelos de NMME indican condiciones neutras.

El patrón espacial de las anomalías de TSM pronosticado por los modelos de NMME indica en promedio que en el Pacífico ecuatorial se tendrían valores negativos en la zona central y neutros en el oriental. Sin embargo, fuera de la línea ecuatorial los valores pronosticados son positivos, incluso frente a la costa sur del Perú. En el caso del modelo NCAR CCSM4, estas anomalías positivas se extenderían hasta la costa norte del Perú (no mostrado), consistente con las condiciones El Niño costero que predice este modelo. Debe notarse que una situación con anomalías de TSM positivas en la costa y frías en el Pacífico central podría resultar en un aumento de los caudales en la costa norte (Lavado-Casimiro y Espinoza, 2014), aun cuando no se presente El Niño costero ni La Niña en el Pacífico central.

Se hace notar que el NOAA CPC, quienes coordinan el proyecto NMME, presentan 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.

Resumen del Informe Técnico
PPR/El Niño - IGP/ 2016-9

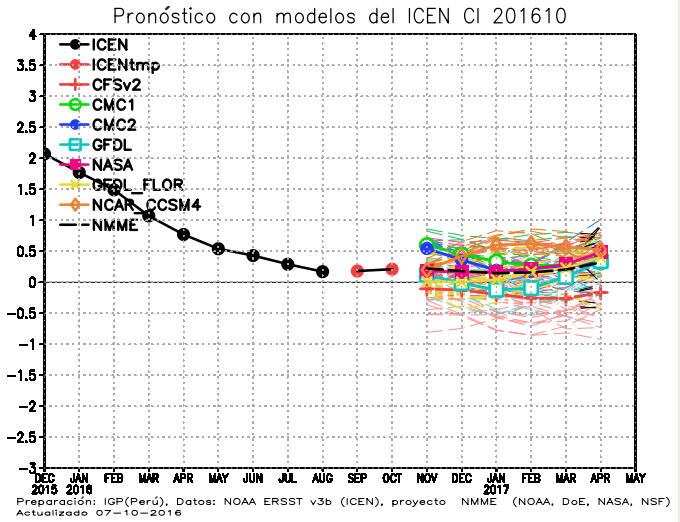


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y sus valor temporal (ICENtmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de octubre de 2016. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

Conclusiones:

1. El ICEN para agosto de 2016 fue de 0.17 (Neutro) y el ICENtmp para setiembre y octubre es 0.18 y 0.21°C, respectivamente, ambos siendo condiciones Neutras. 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 agosto (JAS) correspondió a condiciones frías débiles, al igual que el estimado para setiembre y octubre. De verificarse esto, se confirmaría la presencia de La Niña en el Pacífico central. La ATSM en la región Niño 3.4, durante setiembre fluctuó alrededor de -0.5°C.

3. La onda Kelvin fría que se esperaba llegara a la costa peruana en la primera quincena de setiembre no arribó. Esto podría haberse debido a la acción de las anomalías de viento del oeste en el Pacífico oriental, a la reflexión de la energía de la onda en la termoclina inclinada como ondas Rossby, y/o a la desaceleración de la onda debido a la menor profundidad de la termoclina en el Pacífico oriental.

4. Nuevos pulsos de viento intensos del este durante setiembre habrían transmitido energía al océano como onda Kelvin fría, la cual debería llegar, teóricamente, a fines de octubre e inicios de noviembre, aunque podría demorarse hasta un mes. La señal de esta onda se observa en la anomalía de la profundidad de la termoclina de TAO y ARGO. En el Nivel del mar satelital la señal de la onda Kelvin fría, hasta el momento, es mayormente débil.

5. Continuó la convección reducida en el Pacífico central, lo que junto con los vientos anómalos del este intensificados, indican el acoplamiento de la atmósfera a las condiciones oceánicas frías. Si continua esta situación, podría consolidarse La Niña en el Pacífico central.

6. Debido al refuerzo de los vientos del este en setiembre, el contenido de calor oceánico ecuatorial, presentó una reversión en su normalización, haciéndose más negativa. La inclinación de la termoclina se mostró ligeramente más pronunciada que lo normal.

7. Para el Pacífico oriental (Niño 1+2), los 7 modelos inicializados en octubre indican que el mes de noviembre presentaría condiciones neutras. En general, estos pronósticos son menos fríos que los inicializados en setiembre. Para el verano (diciembre 2016-marzo 2017), 6 de 7 modelos indican condiciones neutras, y uno indica El Niño débil en ese periodo.

8. Para el Pacífico central (Niño 3.4), según el pronóstico de los modelos de NMME, para los meses de octubre y noviembre se esperan en promedio condiciones frías débiles. Para el verano (diciembre 2016-marzo2017), 6 de 7 modelos de NMME indican condiciones neutras y uno indica La Niña en el Pacífico central.

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.

ENFEN 2012: Definición operacional de los eventos "El Niño" y "La Niña" y sus magnitudes en la costa del Peru. 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 Magíster en Física - Mención Geofísica en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

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

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

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

COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 14-2016

Se mantiene mayor probabilidad de condiciones neutras frente a la costa del Perú hasta finales del próximo verano

El Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) mantiene el estado de Alerta "No activo"[1]. No obstante, la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2, así como a lo largo de la franja costera del Perú, continúa ligeramente por encima del promedio, aunque dentro del rango neutral.

En los próximos dos meses se espera que continúen las condiciones neutras de la TSM frente a la costa. Para el próximo verano, el Comité Multisectorial ENFEN, en base al análisis de los pronósticos nacionales e internacionales y de las observaciones, mantiene la mayor probabilidad de condiciones neutras tanto en el Pacífico Ecuatorial Central como frente a la costa del Perú.

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 setiembre del 2016 y sus perspectivas.

En la región del Pacífico Central (Niño 3.4)[2], la anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM), continuó con una tendencia negativa (Figura 1a), con un valor mensual de -0,62°C. La actividad convectiva, la subsidencia[3] y el viento zonal en el Pacífico Central mostraron un acoplamiento favorable al desarrollo de un mayor enfriamiento. En particular se registró la ocurrencia de pulsos de vientos del este sobre el Pacífico Central, que ocasionaron la formación de una nueva onda Kelvin fría (sexta), contribuyendo a la reducción de la TSM en el Pacífico Central y del contenido de calor en el Pacífico Ecuatorial. Asimismo la termoclina ha continuado mostrando una inclinación este-oeste ligeramente mayor a lo normal.

En el Pacífico Ecuatorial Oriental (región Niño 1+2), la TSM fluctuó ligeramente por encima de lo normal (+0,47°C, ver Figura 1b). El valor del Índice Costero El Niño (ICEN) para agosto fue +0,17°C (Condición Neutra) y el estimado para setiembre es de condición neutra.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) presentó una intensidad por encima de lo normal en los primeros días de setiembre; debilitándose en el resto del mes. Los vientos costeros mostraron una intensidad más débil que lo normal en la mayor parte del mes.

Las temperaturas extremas del aire en la costa norte y central se presentaron con anomalías de +1,3°C para la temperatura máxima y +0,6°C para la temperatura mínima. En la costa sur, las anomalías fueron de +1,1°C y +0,8°C, respectivamente.

La anomalía mensual de la TSM en el litoral promediada entre Paita e Ilo presentó un valor de +0,56°C. En cambio, sólo en Talara la TSM tuvo una anomalía negativa, de -0,7°C (Figura 2).

Las aguas oceánicas (con valores de salinidad mayores a 35,1 ups[4]) se presentaron frente a la zona al sur de Salaverry, a una distancia promedio de 20 millas de la costa, proyectándose hacia el litoral particularmente frente a Chimbote y Morro Sama.

La quinta onda Kelvin fría, que se formó a fines de julio e inicios de agosto, ha perdido intensidad y velocidad en su propagación hacia la costa sudamericana.

A inicios de octubre, en la sección oceanográfica de Paita se observó anomalías negativas de hasta -1,5°C sobre los 50 m de profundidad dentro de las 60 millas de la costa, asociadas a una intensificación del afloramiento costero. Frente a Chicama se observaron anomalías positivas de temperatura mayores a +1,0°C fuera de las 60 millas y hasta los 100 metros de profundidad, asociados a la presencia de aguas subtropicales superficiales, mientras que cerca de la costa se presentaron condiciones neutras. Los caudales de los ríos de la costa continuaron mostrando características del período de estiaje. Los reservorios en la costa norte y sur vienen operando, en promedio, al 46% y 51% de su capacidad hidráulica útil, respectivamente.

---

[1]Estado 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_inftco_nota_tecni01_enfen2015.pdf
[2]Región Niño 3.4: 5°S - 5°N, 170°W - 120°W
[3]Subsidencia es el descenso del aire frío hacia la superficie terrestre
[4]Ups unidades prácticas de salinidad

La clorofila-a, indicador de la producción del fitoplancton, que es base de la cadena alimenticia en el mar, presentó un incremento significativo en sus concentraciones a lo largo de toda la franja costera.

La anchoveta de la región Norte – Centro se encuentra en su pico de desove principal de invierno – primavera. Se registraron especies indicadores de aguas cálidas como caballa, jurel fino y bonito frente a Salaverry, y merluza y pampanito frente a Camaná; asociadas a la presencia de aguas subtropicales superficiales frente a la franja costera.

PERSPECTIVAS

Se prevé que la sexta onda Kelvin fría, formada durante setiembre, estaría arribando a la costa de Sudamérica entre fines de octubre y principios de noviembre.

Para los siguientes meses, la mayoría de los modelos globales continúan pronosticando condiciones neutras, con algunos modelos que pronostican La Niña débil para el Pacífico Central (región Niño 3.4), con una tendencia hacia condiciones neutras durante el verano 2016-2017. En cambio, para la región Oriental (Niño 1+2), todos los modelos globales continúan pronosticando condiciones neutras hasta fines del verano inclusive.

El Comité Multisectorial ENFEN, en base al análisis de los pronósticos nacionales e internacionales y de las observaciones, mantiene la mayor probabilidad de ocurrencia que se presenten condiciones neutras frente a la costa del Perú hasta finales del próximo verano.

Respecto a la probabilidad de que se desarrollen condiciones La Niña en la región del Pacífico Ecuatorial Central es similar a lo previsto con anterioridad. Las Tablas 1 y 2 de acuerdo al juicio experto, muestran las probabilidades estimadas de las magnitudes de La Niña – El Niño.

En resumen, se estima una mayor probabilidad de que se mantengan las condiciones neutras en el Pacífico Oriental (74%). Para el Pacífico Central, se estiman como más probables las condiciones neutras (65%), seguidas por La Niña débil (28%).

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

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

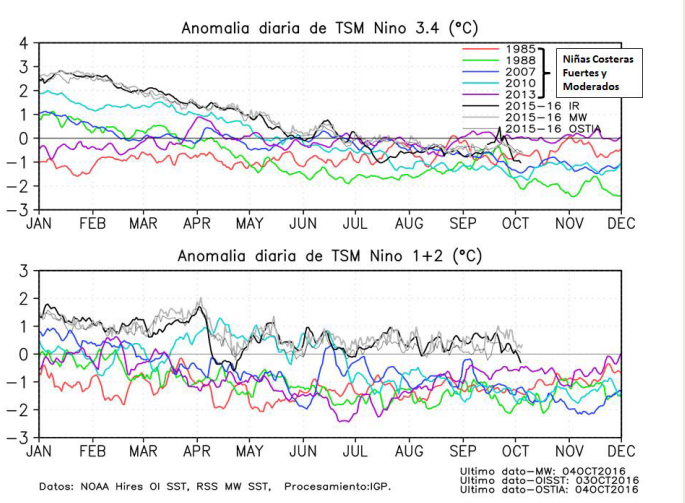


Figura 1. a) Series de tiempo de la anomalía diaria de la TSM en la región Niño 3.4 y en b) la región Niño 1+2. Las líneas en color negro (gruesa), gris y negro (fina) indican la evolución de la anomalía de la TSM en el presente año usando información infrarroja (IR), microondas (MW) y del producto OSTIA, 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.

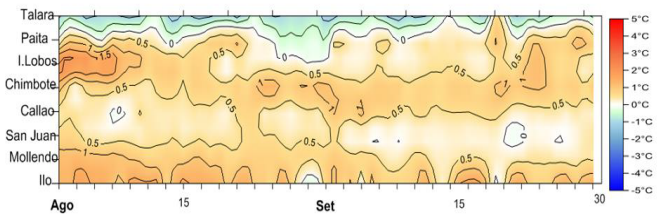


Figura 2. Diagrama Hovmöller de la evolución de la anomalía de la TSM a lo largo del litoral desde agosto al 30 de setiembre 2016, en base a las observaciones diarias en las estaciones de la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN).

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	15%
Neutro	74%
El Niño débil	9%
El Niño moderado-fuerte-extraordinario	1%

Tabla 2. Probabilidades Estimadas de las magnitudes de El Niño – La Niña en el Pacifico 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	28%
Neutro	65%
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: