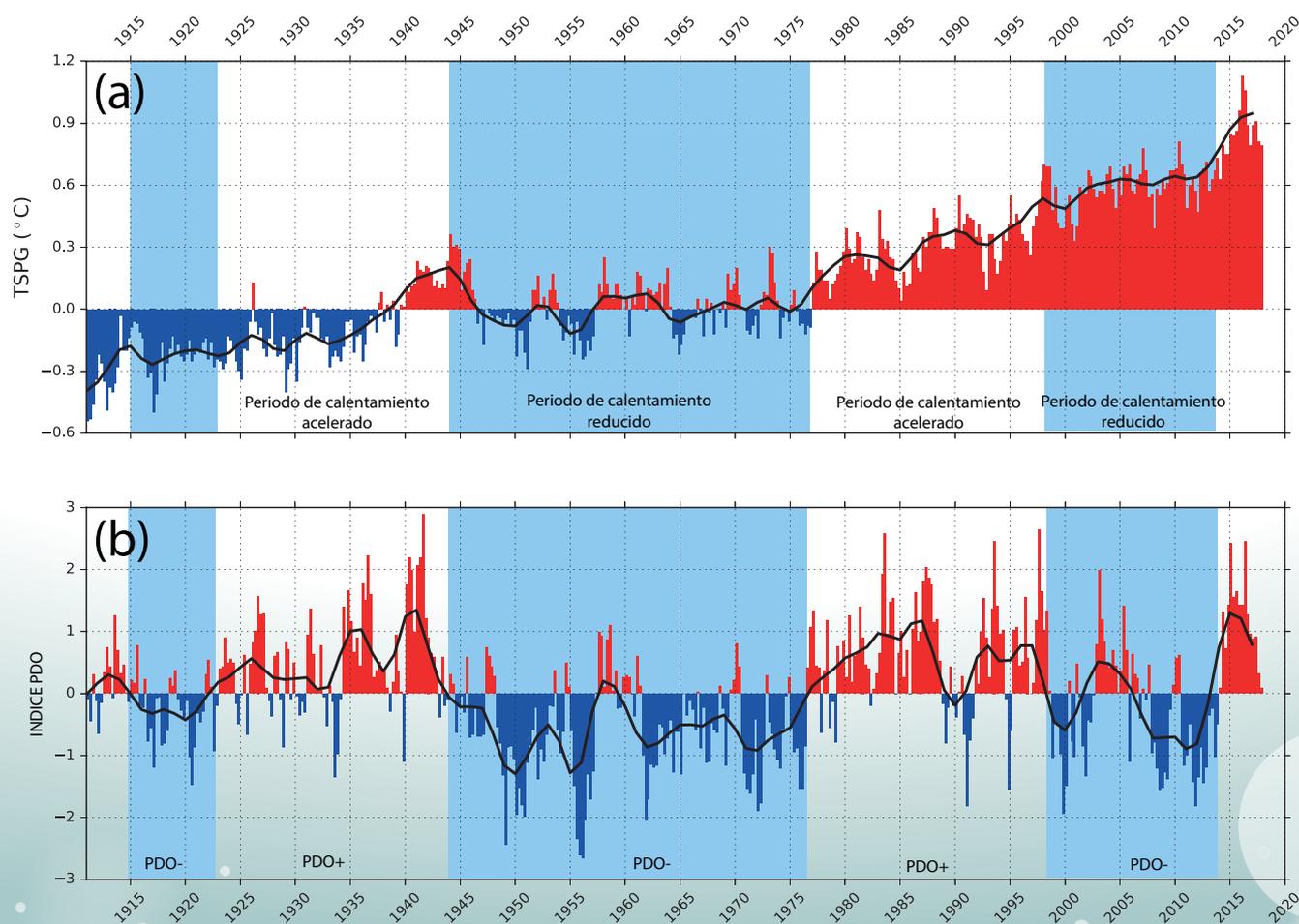


Programa Presupuestal por Resultados N° 068 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. Producto: “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”

“Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”

Boletín Técnico

La Variabilidad interdecadal del Pacífico: El Papel del Océano



Temperatura superficial promedio global (TSPG, a) y la PDO (b) en los últimos 117 años

Contenido

2 - 3 **Introducción**

4 - 7 **Artículo de Divulgación Científica**

8 - 9 **Avances Científicos**

10 - 13 **Resumen Informe Técnico**

14 - 15 **Comunicado Oficial ENFEN**

Programa Presupuestal N° 068 “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
Ministra del Ambiente

Hernando Tavera
Presidente Ejecutivo IGP

Edmundo Norabuena
Director Científico IGP

Jhan Carlo Espinoza
Director de Ciencias de la Atmósfera e Hidrosfera

Daniel Flores
Director de Geofísica y Sociedad

Kobi Mosquera
Responsable de la elaboración del Boletín El Niño - IGP

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

Edición: Katherine Morón
Diseño y Diagramación: Dante Guerra E.

Carátula: Farneti, 2017

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

Impreso por:
INVERSIONES IAKOB S.A.C.
Telf. (051-1) 2963911
Dirección: Av. Iquitos 1481 – La Victoria

Lima, Diciembre de 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 de la Comisión 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:
<http://intranet.igp.gob.pe/productonino/>



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 de la Comisión 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.

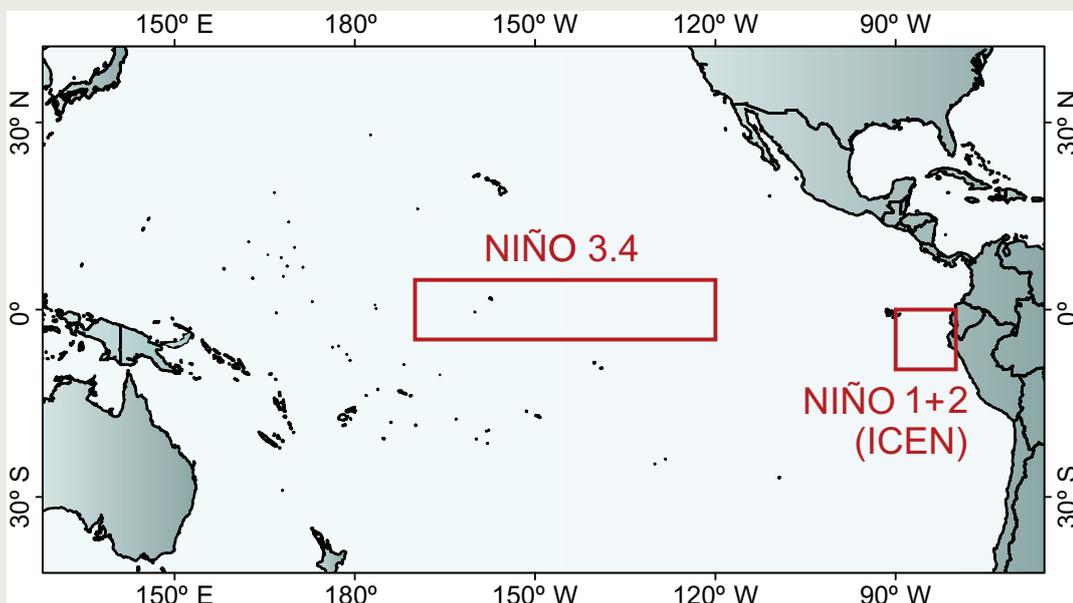
La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformada por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA, INDECI y CENEPRED, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

Esta Comisión es de naturaleza permanente, depende del Ministerio de la Producción y tiene por objeto la emisión de informes técnicos de evaluación y pronóstico de las condiciones atmosféricas, oceanográficas, biológico-pesqueras, ecológico marinas e hidrológicas que permitan mejorar el conocimiento del Fenómeno “El Niño” para una eficiente y eficaz gestión de riesgos (Decreto Supremo N° 007-2017-PRODUCE).

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, emite mensualmente 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 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.

La variabilidad interdecadal del Pacífico: el papel del océano

El océano desarrolla un papel muy importante en el clima y en sus posibles cambios futuros. En general, la variabilidad del océano se asocia a periodos largos, desde fenómenos interanuales hasta grandes variaciones centenales del sistema climático. Pero en estos últimos años los centros de pronóstico estacional están incluyendo un océano dinámico en sus sistemas de predicción, además de un sistema de asimilación de datos acoplado océano-atmósfera para mejorar el skill de sus predicciones. Asimismo, nuevas y mejores observaciones del océano superficial nos están diciendo que las interacciones océano-atmósfera ocurren en todas las escalas espaciales y temporales, y que no solamente el océano está forzado por el estado atmosférico sino que también el océano puede tener una influencia significativa sobre la atmósfera modificando la intensidad de los vientos, temperatura y transporte vertical de humedad. Esto ocurre principalmente en zonas de frentes oceánicos y en presencia de remolinos oceánicos muy energéticos (Small et al., 2008). Simular u observar estos fenómenos ha sido prácticamente imposible hasta hace pocos años, sin embargo, modelos acoplados con un océano de suficiente resolución horizontal nos están dando nuevos paradigmas sobre los cuales se tiene que verificar y mejorar nuestros conocimientos actuales de fenómenos de interacción océano-atmósfera.

Conocer la dinámica oceánica y sus mecanismos de variabilidad natural decadal-interdecadal es fundamental no solamente para un conocimiento más completo de la dinámica del clima sino también para una mejor cuantificación de los efectos del cambio climático presente y futuro. El calentamiento global coexiste con fluctuaciones naturales del sistema climático. La variabilidad natural del clima puede ser interna, debida a las interacciones entre diferentes componentes del sistema climático terrestre, o externa, teniendo su origen por ejemplo en las fluctuaciones solares o erupciones volcánicas (Farneti, 2017). La complejidad está no solamente en la identificación de los mecanismos físicos que generan variabilidad decadal, sino también en separar las anomalías debidas a fenómenos naturales de las señales originadas por forzantes externos como en el caso del calentamiento debido a forzantes radiativos. Esto se debe al hecho que la variabilidad natural de baja frecuencia suele generar anomalías, por ejemplo, de temperatura superficial del océano, tan grandes como las anomalías debidas al efecto del calentamiento global. Además, no se ha cuantificado todavía el efecto de los forzantes externos sobre los modos naturales de variabilidad, si estos variaran significativamente al variar el estado medio, se puede suponer que la respuesta climática al forzante radiativo también podría verse afectada.

Es por todos estos motivos que se necesita un conocimiento sólido de los mecanismos físicos que generan variabilidad a escalas decadales e interdecadales. La generación actual de modelos climáticos sigue teniendo problemas en reproducir algunas características de estos modos naturales de



Riccardo Farneti, Ph.D
Investigador principal en ICTP

Investigador en la Sección de Física de la Tierra en el Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP). Ph.D. en Oceanografía del Centro Oceanográfico de Southampton, Reino Unido. Es autor de numerosos artículos publicados en revistas internacionales, coordinador del programa de Diploma de Postgrado del ICTP y recientemente su investigación está enfocada en la dinámica del Océano del Sur y procesos dinámicos de variabilidad natural a escalas decadales.

variabilidad. El motivo es la falta de conocimientos básicos de sus mecanismos, debido, principalmente, a la escasez de observaciones de fluctuaciones decadales e incluso más lentas. ¿Cómo se puede reproducir con fidelidad un proceso del cual desconocemos sus mecanismos fundamentales? A veces se habla de 'oscilación' de algún índice cuando solo se ha observado un ciclo de ese particular fenómeno y su existencia podría ser debida a una tendencia, ser parte de una oscilación a diferente escala temporal o, simplemente, una fluctuación de un sistema irregular sin ningún pico espectral significativo.

La mayor deficiencia en la predicción decadal a escala regional no está relacionada con las incertidumbres en el nivel de emisiones futuras. El mayor problema a esas escalas temporales es la escasa habilidad en reproducir la variabilidad interna del sistema climático y los errores, o biases, de los modelos climáticos usados para las predicciones y proyecciones futuras. A escalas temporales más largas, el efecto de los forzantes radiativos es mucho mayor que el de las incertidumbres generadas por los modelos. La atmósfera no tiene capacidad de generar variabilidad a escalas más largas de las interanuales, y el océano – junto con su interacción con la atmósfera - es el único lugar donde estos modos lentos de variabilidad

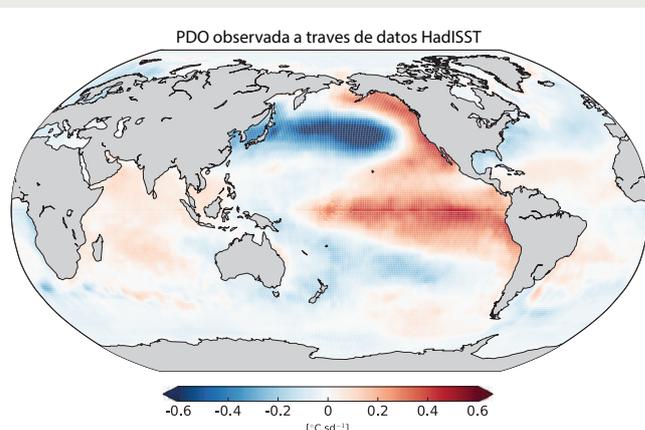


Figura1.- Patrón espacial de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) calculada con datos de temperatura superficial del mar de HadISST (<https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisst/>).

La variabilidad interdecadal del Pacífico: el papel del océano

Farneti, R.

pueden albergarse. Desafortunadamente, el océano ha sido representado numéricamente, hasta hace pocos años, con una resolución horizontal relativamente baja. Por ejemplo, los modelos climáticos usados para proyecciones futuras de cambio climático, utilizan una resolución horizontal de unos 100 km, tanto para la atmósfera como para el océano. Si bien esta resolución puede ser suficiente para resolver los fenómenos atmosféricos a escala sinóptica, es totalmente inadecuada para la resolución de fenómenos oceánicos como remolinos, frentes e inestabilidades, puesto que el radio de deformación de Rossby es del orden de unos 10 km en latitudes medias y altas.

La variabilidad del Pacífico a escala interdecadal

La Oscilación Decadal del Pacífico, de ahora en adelante PDO por sus siglas en inglés, (Pacific Decadal Oscillation), domina la variabilidad interdecadal de la cuenca (Figura 1). La PDO se define como el primer EOF de la anomalía mensual de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico Norte, y tiene periodos dominantes entre 15-25 y 50-70 años. Al proyectar las anomalías globales de la TSM sobre los componentes principales de la primera EOF se obtiene la estructura espacial de la PDO (Figura 1). La PDO tiene dos fases: una cálida y una fría. En la fase cálida, la PDO presenta anomalías negativas de TSM en el Pacífico Noroeste, anomalías positivas de TSM en el borde Noreste de la cuenca y anomalías cálidas en la parte central y este de la zona ecuatorial. La fase fría se caracteriza por los mismos patrones de anomalías pero de signo opuesto. La parte tropical de la PDO representa una rectificación decadal del fenómeno El Niño. En general, durante épocas de fases cálidas de PDO se verifican un mayor número de eventos de El Niño, mientras que durante las fases frías

de la PDO se manifiestan, principalmente, fenómenos de La Niña. Esto ocurre porque la PDO en sí no se puede representar con un solo mecanismo físico sino que resulta de la interacción entre varios mecanismos de diferente origen geográfica y naturaleza (Newman et al., 2016).

El primer proceso es un forzamiento estocástico en el Pacífico norte relacionado con fluctuaciones de la baja Aleutiana. Este ruido atmosférico es integrado por el océano, el cual genera variabilidad a baja frecuencia en la TSM. Pero la dinámica oceánica también tiene un papel fundamental en la PDO, sobre todo para generar una escala temporal definida.

El segundo proceso está relacionado con la dinámica del giro subtropical. Su ajuste decadal a las ondas de Rossby generadas en el borde este de la cuenca sostienen una varianza a escala decadal. Las anomalías de la TSM, formadas en la parte oeste de la cuenca, van a impactar la temperatura atmosférica amplificando la persistencia de la señal. Debido a que esta interacción océano-atmósfera ocurre en zonas frontales y en la extensión de la corriente de Kuroshio, se necesita una adecuada resolución oceánica para representar los gradientes de forma correcta. Por este y otros motivos, sigue habiendo incertidumbre sobre la real sensibilidad atmosférica a estas anomalías de la TSM. En el caso que haya una respuesta significativa se podría formar un modo de oscilación acoplado como en el caso de los trópicos.

El tercer y último proceso fundamental se encuentra en la zona tropical, donde la señal es transmitida hacia las latitudes medias a través de un *punteo atmosférico*. Las anomalías transmitidas por medio de esta interacción tropical-extratropical están relacionadas con el fenómeno acoplado El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y su

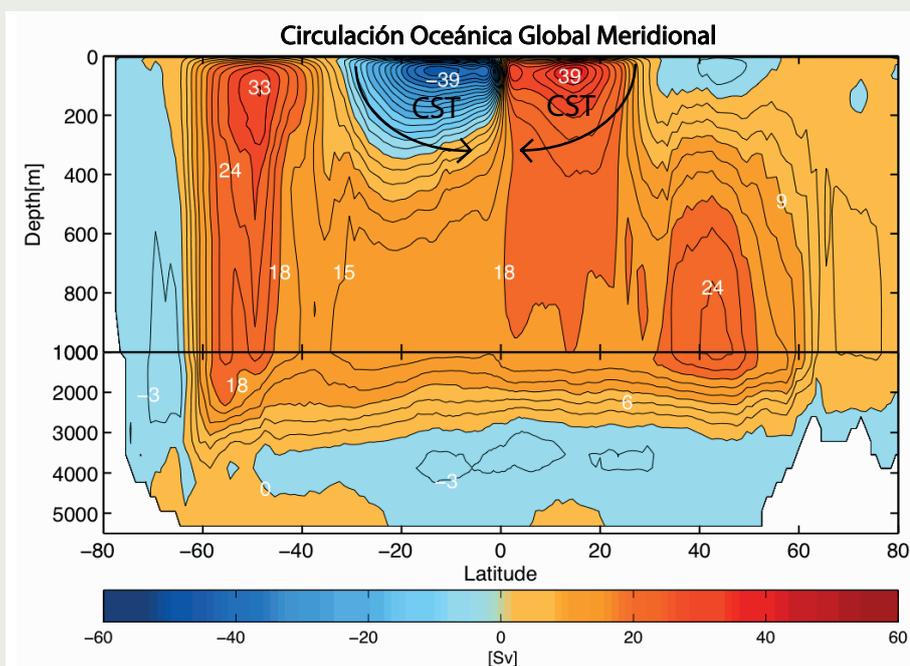


Figura 2.- Circulación oceánica global meridional climatológica (en Sverdrups; $1 \text{ Sv} = 10^9 \text{ m}^3/\text{s}$), calculada de datos provenientes de un modelo acoplado. Celdas rojas (azules) representan circulaciones en sentido horario (antihorario). Las celdas subtropicales (CST) están indentificadas con su acrónimo y flechas que indican el sentido de la circulación.

variabilidad a baja frecuencia. Se estima que cerca de $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ de la variabilidad de la PDO es debida a la variabilidad decadal tropical. Lo que se desconoce aún es el origen de esta variabilidad decadal tropical, si está relacionada con procesos acoplados o si se debe de considerar el residuo de la dinámica del ENOS generada por ruido. Lo que es cierto es que el ENOS tiene un papel fundamental en la PDO.

Si se consideran las anomalías de la TSM en toda la cuenca del Pacífico, su proyección sobre la TSM global filtrada resulta en una estructura muy parecida a la porción decadal del ENOS, llamada Oscilación Pacífica Interdecadal (IPO por sus siglas en inglés - Interdecadal Pacific Oscillation). La IPO presenta una señal tropical muy amplia meridionalmente y simétrica en la dirección nortesur y representaría, mayoritariamente, la señal generada por la variabilidad interanual y decadal del ENOS.

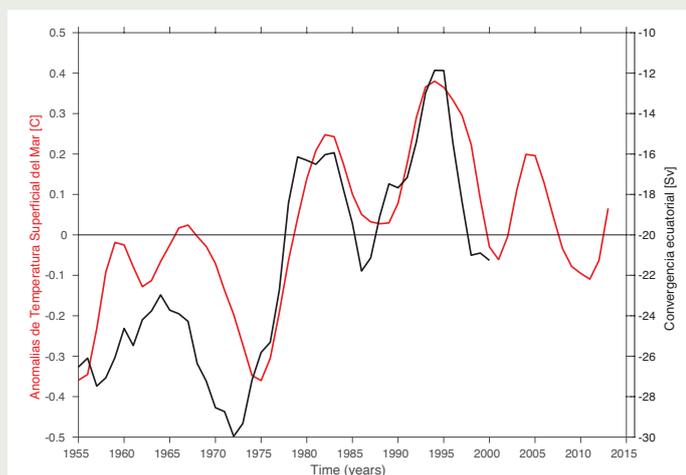


Figura 3.- Serie temporal de anomalías de temperatura superficial (datos del HadISST), promediada entre 9°N-9°S y 180W-90W y convergencia observada hacia el ecuador de transporte debido a las celdas subtropicales calculada en 9°N y 9°S (Zhang and McPhaden, 2006). La convergencia se ha graficado con signo opuesto para destacar la anti-correlación entre los dos índices.

¿Qué proceso genera la variabilidad decadal tropical?

La variabilidad a baja frecuencia del ENOS puede generarse por procesos estocásticos atmosféricos locales, a través de un puente atmosférico desde las latitudes extratropicales o debido a efectos no-lineales en el acoplamiento océano-atmósfera en los trópicos. Pero también el océano puede ser una fuente significativa de señales con periodos decadales, y esto ha sido recientemente observado (McPhaden and Zhang, 2002; Zhang and McPhaden, 2006) y simulado (Kleeman et al., 1999; Farneti et al., 2013).

El mecanismo se basa en un *túnel oceánico*, a través del cual las señales extratropicales son transmitidas a las zonas ecuatoriales a lo largo de una circulación formada por las celdas subtropicales (CST; Figura 2). Estas celdas se forman en todos los océanos, son simétricas a través del ecuador y forzadas por vientos zonales alrededor de los 20-25° de latitud.

Las CST transportan aguas de las latitudes medias a lo largo de la termoclina hasta el ecuador. Las aguas superficiales en el ecuador viajan hasta las latitudes medias por medio del transporte de Ekman que cierra la celda. La variabilidad en las CST está relacionada con cambios en la fuerza del bombeo ecuatorial y por lo tanto también con la variabilidad decadal de la TSM ecuatorial central. En la Figura 3, las observaciones muestran como la variabilidad de la convergencia ecuatorial de aguas relacionadas con las CST está altamente anticorrelacionada con las anomalías de la TSM en el Pacífico ecuatorial. Desafortunadamente no hay datos sobre el transporte de las CST en el Pacífico después del año 2000. Simulaciones numéricas indican que la anticorrelación decadal entre el transporte de las CST y la TSM ecuatorial ha sido constante a lo largo de la primera década de los años 2000 (Farneti et al., 2014). Es, por lo tanto, fundamental seguir observando el océano para cuantificar, y entender los mecanismos de variabilidad natural en el océano, lo cual permitirá poder separar y atribuir las señales producidas por los forzantes externos.

Interacción entre el calentamiento global y variabilidad natural

Conocer los mecanismos de variabilidad natural y poderlos simular correctamente es imprescindible si queremos entender las tendencias pasadas y futuras tanto a nivel global como regional. Un caso ejemplar ha sido el reciente *warming hiatus*, o mejor dicho *warming slow-down* puesto que el sistema climático nunca ha dejado de calentarse. En la Figura 4 se muestra la temperatura superficial media global a lo largo de los últimos 117 años y el índice de la PDO durante la misma época. El más reciente *warming slow-down*, o periodo de calentamiento desacelerado, ha ocurrido entre el 1998 y el 2012. Los modelos climáticos no han podido prever este periodo de menor calentamiento, simulando, por lo contrario, una constante subida de las temperaturas medias globales.

Este periodo de calentamiento desacelerado ha sido utilizado por los escépticos para argumentar sobre la no existencia del calentamiento global de origen antrópico. Asimismo, la deficiencia de los modelos para reproducir este periodo (*warming slow-down*) ha servido para criticar todos sus resultados relacionados a las proyecciones futuras. Observaciones, estudios teóricos y con modelos han demostrado que estos periodos son comunes en la historia reciente, y son consecuencia de la variabilidad natural climática superpuesta al calentamiento de origen antrópico y que los modelos, correctamente inicializados a través de observaciones, son capaces de reproducir las tendencias interanuales y decadales (Kosaka and Xie, 2013; England et al., 2014; Kosaka and Xie, 2015).

La mayoría de los estudios apuntan hacia el papel fundamental del océano en absorber el exceso de calor, aumentando el contenido de este último por debajo de los 700 m, principalmente en el Pacífico. Las CST son capaces de producir transportes verticales y variabilidad decadal en la zona ecuatorial. Se ha demostrado que, en

La variabilidad interdecadal del Pacífico: el papel del océano

Farneti, R.

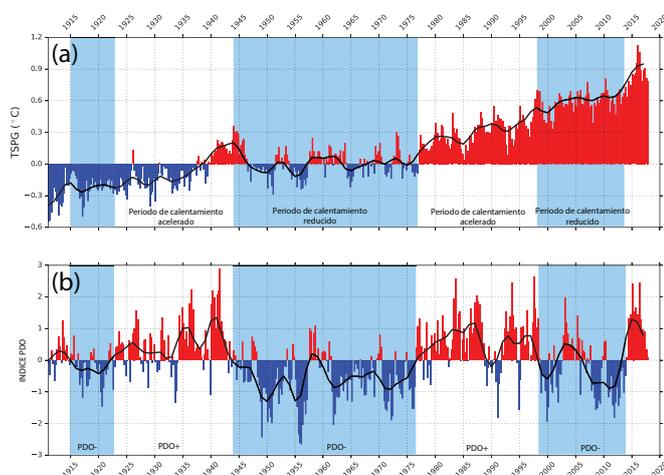


Figura 4.- (a) Serie temporal de la temperatura superficial del mar promediada globalmente (TSPG) y (b) índice de la PDO. Periodos de calentamiento reducido y acelerado, así como las fases de la PDO (positivas y negativas), están señaladas por bandas.

periodos de calentamiento desacelerado, las CST son anómalamente fuertes, transportando hacia el interior del océano más aguas subtropicales y aflorando más aguas frías en el ecuador. Lo opuesto ocurre en periodos de calentamiento acelerado.

Los patrones de la TSM globales asociadas tanto con periodos de calentamiento desacelerado como de calentamiento acelerado coinciden con los de la PDO (o IPO) en su fase fría y cálida, respectivamente (Figura 4). De esta forma se ha descubierto el papel de la variabilidad en el Pacífico - y en particular de las anomalías decadales de la TSM en el Pacífico ecuatorial - en mediar las tendencias del calentamiento global. Más precisamente, se ha demostrado que las anomalías de viento observadas han sido responsables de una aceleración del transporte de las CST, que ha provocado la presencia de las anomalías negativas de la TSM en la franja ecuatorial.

El reciente *warming slow-down* ha sido muy útil para la comunidad científica puesto que ha cuestionado sus propios modelos y teorías, volviendo a interesarse por los procesos y mecanismos que dan lugar a la variabilidad interna interdecadal, su interacción con las señales antrópicas y la calidad de su representación en los modelos climáticos (Trenberth and Fasullo, 2013; Fyfe et al., 2013; Meehl et al., 2014).

Por último, seguir observando el océano y su variabilidad es la única forma de cuantificar los cambios a largo plazo, como la propagación y absorción de calor y CO₂, en nuestro sistema climático.

Referencias

England, M., S. McGregor, P. Spence, G. A. Meehl, A. Timmermann, W. Cai, A. Sen Gupta, M. J. McPhaden, A. Purich, A. Santoso, 2014: Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus. *Nature Geosci.*, 4:222–227.

Farneti, R., F. Molteni, and F. Kucharski, 2014: Pacific interdecadal variability driven by tropical extratropical interactions. *Climate Dyn.*, 42, 11–12, 3337–3355.

Farneti, R., S. Dwivedi, F. Kucharski, F. Molteni, S. M. Griffies, 2014: On Pacific subtropical cell variability over the second half of the 20th century. *J. Climate*, 27, 18, 7102–7112.

Farneti, R., 2017: Modelling interdecadal climate variability: the role of the ocean. *WIREs Clim Change*, 8, doi: 10.1002/wcc.441

Fyfe, J.C., N. P. Gillett, and F.W. Zwiers, 2013: Overestimated global warming over the past 20 years. *Nature Clim. Change*, 3:767–769, 794.

Kleeman, R., J. P. McCreary, and B. A. Klinger, 1999: A mechanism for generating ENSO decadal variability. *Geophys. Res. Lett.*, 26 (12), 1743–1746.

Kosaka, Y., S.-P. Xie, 2013: Recent global warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling. *Nature Geosci.*, 501:403–407.

Kosaka, Y., S.-P. Xie, 2015: Tropical Pacific influence on the recent hiatus in surface global warming. *US CLIVAR Variations*, 13(3):10–15.

McPhaden, M. J. and D. Zhang, 2002: Slowdown of the meridional overturning circulation in the upper Pacific Ocean. *Nature*, 415, 603–608

Meehl, G.A., H. Teng, and J. M. Arblaster, 2014: Climate model simulations of the observed early-2000 hiatus of global warming. *Nature Clim. Change*, 4:898–902.

Newman, M., M.A. Alexander, T.R. Ault, K.M. Cobb, C. Deser, E. Di Lorenzo, N.J. Mantua, A.J. Miller, S. Minobe, H. Nakamura, N. Schneider, D.J. Vimont, A.S. Phillips, J.D. Scott, and C.A. Smith, 2016: The Pacific Decadal Oscillation, Revisited. *J. Climate*, 29, 4399–4427, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0508.1>

Small, R. J., S. P. deSzoeko, S. Xie, L. O'Neill, H. Seo, Q. Song, P. Cornillon, M. Spall, and S. Minobe, 2008: Air-sea interaction over the ocean fronts and eddies, *Dyn. Atmos. Oceans*, 45, 274–319, doi:10.1016/j.dynatmoce.2008.01.001.

Trenberth, K.E., J. T. Fasullo, 2013: An apparent hiatus in global warming? *Earth's Future*, 1:19–32, 2013.

Zhang, D. M. and J. McPhaden, 2006: Decadal variability of the shallow Pacific meridional over turning circulation: Relation to tropical sea surface temperatures in observations and climate change models. *Ocean Modelling*, 15 (3–4), 250–273.

Evaluación de la predictibilidad potencial en el Hemisferio Sur utilizando el modelo CESM

Carlos Enciso, Jorge Reupo y Ken Takahashi
Instituto Geofísico del Perú

Introducción

Los pronósticos del clima en una escala de tiempo estacional son importantes para el planeamiento y toma de decisiones. El entendimiento de la predictibilidad potencial y la habilidad real de las predicciones de la variabilidad climática es esencial para la mejora de estas, y su conocimiento permite que los tomadores de decisiones sepan en qué lugares los modelos son informativos o no. (Feng et al., 2012 ; Osman et al., 2016; Smith et al., 2014).

Los estudios iniciales de predictibilidad estacional potencial fueron realizados mediante simulaciones con Modelos Atmosféricos Climáticos Globales (AGCMs, siglas en ingles), en los cuales se analizaron los efectos de los forzantes de frontera, tales como la temperatura superficial del mar (SST, siglas en ingles) prescrita y concentración de hielo marino (SIC, siglas en ingles) (ej. Phelps et al., 2004; Taylor et al., 2000; Wang et al., 2009). Por lo mencionado por Brankovic et al. (1994), las pequeñas variaciones en estos forzantes (e.g., anomalías en la SST) pueden tener un efecto significativo sobre la respuesta de la atmósfera. Esto ha sido la base en los cálculos de predictibilidad potencial estacional, donde la palabra "potencial" hace referencia a que esto asume conocer perfectamente las condiciones de frontera que normalmente, como la SST, deben también ser pronosticadas.

Para el presente estudio, se han realizado simulaciones con el modelo NCAR CESM, el cual está instalado en el Instituto Geofísico del Perú (IGP) (Enciso et al., 2017). Las simulaciones fueron del tipo AMIP, que es un protocolo estándar en el cual la SST y SIC son prescritas y están basadas en observaciones (Taylor et al., 2000 y 2012). Para las mismas condiciones de frontera se realizó un conjunto o "ensemble" de 30 corridas con diferencias muy pequeñas en las condiciones iniciales. Esto permite evaluar el ruido asociado a los procesos caóticos propios de la atmósfera y, además, distinguirla de la señal climática asociada a las condiciones de frontera (Phelps et al., 2004; Takahashi, 2015).

Este estudio sigue la metodología de Osman et al. (2015), el cual es uno de los pocos que se han realizado en el Hemisferio Sur (HS). El enfoque es en la variable altura geopotencial (HGT), el cual nos permite realizar comparaciones con el estudio de Osman et al. (2015), quienes evaluaron la predictibilidad utilizando un ensemble de múltiples modelos (MME, siglas en ingles).

Metodología

Las simulaciones retrospectivas o "hindcast" se realizaron con el Community Earth System Model (CESM, version 1.2.2), creado por el National Center for Atmospheric Research (NCAR) e instalado en el HPC-Linux-Cluster (Enciso et al., 2017; Santillán et al., 2017). Se utilizó en el modelo la configuración estándar F_AMIP_CAM5, el cual utiliza el protocolo de simulaciones del tipo AMIP para el periodo 1980-1994. Se realizó un "ensemble" alterando las condiciones iniciales de la temperatura en toda la columna vertical con perturbaciones del orden de 10-14 (variable "pertlim" del modelo). Al igual que Osman et al. (2015), se siguió la metodología propuesta por Schubert et al. (2002); calculando la señal ("signal"), ruido ("noise"), predictibilidad potencial estacional de altura geopotencial (HGT) y correlación de anomalías (ACC), en tres niveles verticales (200, 500 y 850 hPa) (ver Tabla 1).

$N^2 = \frac{1}{n(m-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} - \bar{x}_i ^2 \quad (1)$	$S^2 = EN - \frac{1}{m} N^2 \quad (2)$	$EN = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_i - \bar{x} ^2 \quad (3)$
$\bar{x} = \frac{1}{(n \cdot m)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \quad (4)$	$ACC = \sum_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^n (x_j(i) - \bar{x}_j) \times (o(i) - \bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_j(i) - \bar{x}_j)^2 \times \sum_{i=1}^n (o(i) - \bar{o})^2}} \quad (6)$	
$P_b = \frac{S^2}{V} = \frac{S^2}{S^2 + N^2} \quad (5)$		

Tabla 1. Ecuaciones para el cálculo de la varianza interna o varianza de ruido (N^2), la varianza externa (S^2), la media climática considerando todos los miembros del ensemble, la predictibilidad potencial (P_b) y correlación de anomalías (ACC). Las variables descritas son: "x", es la variable a analizar Altura geopotencial (HGT), "i" indica el año individual, "n" la cantidad de tiempo a analizar (1980-1994), "j" es el miembro del ensemble analizado, siendo "m" la cantidad total de ellos (m=30).

La habilidad de pronóstico (forecast skill) se evaluó a través del cálculo de la correlación de anomalías (ACC), expresada en la Ec. 6, para determinar si el potencial de predictibilidad es significativo o no; definiéndose este método como correlación entre las anomalías de la simulación de los miembros del ensemble y los valores observacionales. Para esto último se utilizaron los datos de reanálisis NCEP-NCAR (Kalnay et al., 1996).

Resultados

La Figura 1 muestra la varianza de la señal, así como la varianza del ruido, para la altura geopotencial (HGT), en 200, 500 y 850 hPa, para los periodos de diciembre-febrero (DJF) y junio-agosto (JJA). Durante DJF, los máximos valores en la señal se encuentran en los niveles más altos en el Pacífico tropical, pero la señal es débil en los niveles más bajos de la troposfera, incrementándose en latitudes altas. El ruido en DJF es mayor en latitudes altas, en todos los niveles verticales. En JJA, la señal es más débil que en DJF, con valores máximos en los extratropicos en todos los niveles, así como en niveles altos en el Pacífico Central. Estos resultados, son muy similares a los obtenidos por Jha and Kumar (2009) y Osman et al. (2015).

La Figura 2 muestra la predictibilidad potencial (P_b), calculada por la Ec. (3), para ambos periodos. P_b es alta a lo largo de la banda tropical, mientras que, sobre latitudes medias, prácticamente es insignificante. El P_b es mayor en los niveles altos y menor en las niveles bajos de la troposfera. En DJF la predictibilidad potencial es alta en 200 hPa y 500, sobre el Pacífico Oriental y Central, con valores cercanos a uno, pero exhibe valores moderados (entre 0.6 a 0.7) sobre el sudeste subtropical, consistente con Jha and Kumar (2009) y Osman et al. (2015). Por otra parte, sobre el Pacífico Occidental se encuentran valores altos de P_b en 850 hPa, donde también se observan altos valores en la señal (Fig. 1). Para JJA, los valores no difieren mucho de los encontrados en niveles medios y altos, hallándose valores mayores a 0.9 a lo largo del Pacífico Occidental y Central. En los extratropicos, los valores mas altos de P_b en JJA, entre 0.6 a 0.8, superan los encontrados en DJF.

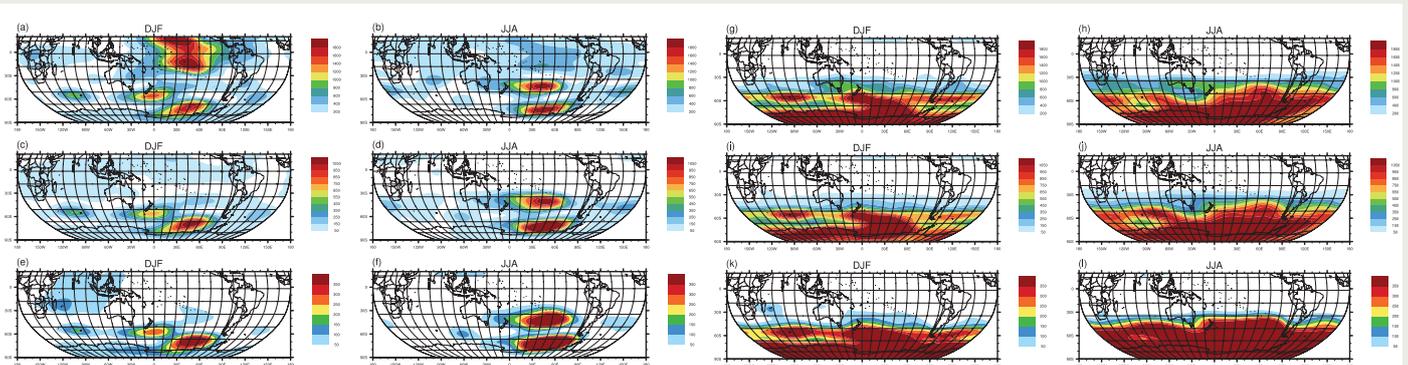


Figura 1. Varianza estacional de la señal (S^2), para altura geopotencial: (a) DJF 200hPa, (b) JJA 200 hPa, (c) DJF 500 hPa, (d) JJA 500 hPa, (e) DJF 850 hPa, (f) JJA 850 hPa. Varianza estacional del ruido (N^2), para altura geopotencial: (g) DJF 200 hPa, (h) JJA 200 hPa, (i) DJF 500 hPa, (j) JJA 500 hPa, (k) DJF 850 hPa, (l) JJA 850 hPa. Unidades en m^2 .

Evaluación de la predictibilidad potencial en el Hemisferio Sur utilizando el modelo CESM

Carlos Enciso, Jorge Reupo y Ken Takahashi
Instituto Geofísico del Perú

La habilidad de predicción o "forecast skill" se muestra en la Fig. 3. La distribución espacial muestra valores altos en los trópicos, disminuyendo estos para los extratropicos y latitudes altas. Con valores en los trópicos entre 0,7 a 0,9, para niveles altos y medios. En DJF, la predictibilidad es la más baja sobre latitudes medias (0,2). En JJA, las simulaciones en los extra trópicos presentan valores muy bajos (0,1) en todos los niveles; observándose así valores por debajo de 0,1, para el noroeste de Sudamérica a 850 hPa.

Conclusiones

La evaluación de la predictibilidad en el hemisferio sur (HS), fue realizada por medio de un *ensemble* de 30 simulaciones AMIP con el modelo CESM 1.2.2. Se analizó la altura geopotencial en los niveles 200, 500 y 850 hPa para los periodos estacionales DJF y JJA, siguiendo la metodología descrita por Osman et al. (2015), encontrándose gran concordancia con sus resultados y los de Jha and Kumar (2009).

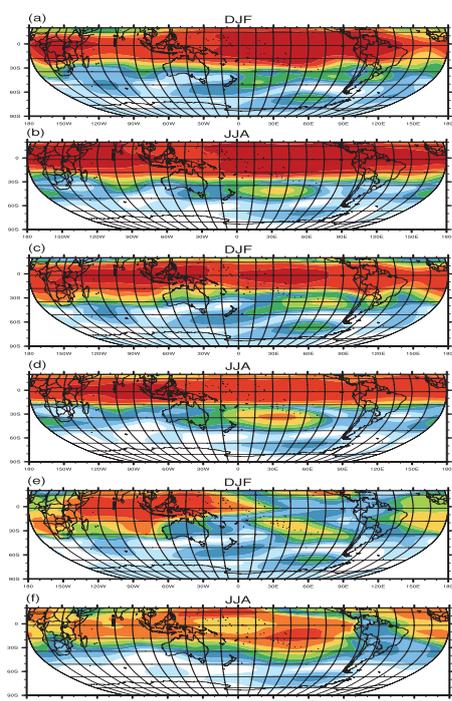


Figura 2.- Potencial de predictibilidad, definida el ratio entre la varianza externa (señal) y la varianza total (señal + ruido), para altura geopotencial: (a) DJF 200hPa, (b) JJA 200 hPa, (c) DJF 500 hPa, (d) JJA 500 hPa, (e) DJF 850 hPa, (f) JJA 850 hPa.

A pesar que la señal encontrada es grande en latitudes polares, para niveles verticales medios y bajos, la predictibilidad es mayor en los trópicos, disminuyendo a valores nulos hacia los polos. En todos los niveles analizados, la predictibilidad es mayor en DJF que en JJA, excepto en el nivel inferior (850 hPa), alcanzando valores máximos sobre el Pacífico Oriental en los 200 hPa, mientras que en niveles más bajos, sus mayores valores se encuentran en el océano Pacífico Occidental y la India. Estos resultados son similares a los obtenidos por Osman et al. (2015).

El presente estudio resalta los valores relativamente altos de la predictibilidad potencial y la habilidad de predicción sobre el trópico y algunas regiones del Hemisferio Sur (HS). Asimismo, se encuentran grandes señales sobre los trópicos, en el Pacífico Sur-Oriental (Fig.1), los cuales pueden permanecer en eventos ENSO (El Niño - Oscilación del Sur), encontrándose estas también por Osman et al. (2015), pudiéndose atribuir a trenes de ondas Rossby, los cuales se propagan hacia latitudes polares, y tienen influencia sobre los niveles de predictibilidad sobre esta región. Más adelante se evaluará el efecto de los eventos ENSO sobre la señal y la predictibilidad.

Referencias

- Branković, C., T. N. Palmer, and L. Ferranti. 1994: Predictability of seasonal atmospheric variations. *J. Climate*, 7, 217-237.
- Enciso, C., Reupo, J., y Takahashi, K. 2017: Implementación y evaluación del modelo atmosférico de circulación global CAM5. *Boletín Técnico, Instituto Geofísico del Perú*, Mayo, 4, 5, 8-9.
- Feng, X., T. DelSole, and P. Houser. 2012: Methods for estimating seasonal potential predictability: Analysis of Covariance. *J. Climate*, 25, 5292-5308.

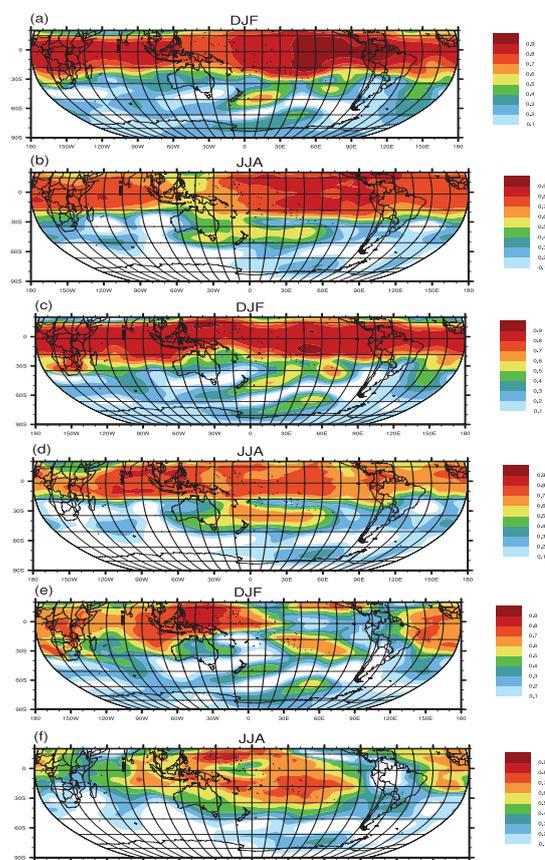


Figura 3.- La habilidad de predicción, definido como el promedio de Coeficiente de Correlación de Anomalías (ACC), para cada uno de los miembros de los ensembles, calculado para altura geopotencial (HGT): (a) DJF 200hPa, (b) JJA 200 hPa, (c) DJF 500 hPa, (d) JJA 500 hPa, (e) DJF 850 hPa, (f) JJA 850 hPa. Valores de ACC mayor iguales a 0,6, representan buenas zonas de predictibilidad.

Jha B., Kumar, A.2009: A comparative analysis of change in the first and second moment of the PDF of seasonal mean 200-mb heights with ENSO SSTs. *J. Clim* 22:1412-1423. doi:10.1175/2008JCLI2495.1

Kalnay et al. (1996) The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Am Meteorol Soc* 77:437-470

Osman, M., Vera, C., Doblas-Reyes, F. 2015: Predictability of the tropospheric circulation in the Southern Hemisphere from CHFP models. *Clim Dyn*, 1-12

Osman, M., Vera, CS., Doblas-Reyes, F.J.2016: Predictability of the tropospheric circulation in the Southern Hemisphere from CHFP models. *Clim Dyn* 46(7):2423-2434. doi:10.1007/s00382-015-2710-2

Phelps, MW., Kumar, A., O'Brien, JJ. (2004) Potential predictability in the NCEP CPC dynamical seasonal forecast system. *J. Clim* 17:3775-3785

Santillán, O., Gilt, H., Ingunza, Mosquera, K. y Montes, I. 2017: Diseño del Sistema HPC-Linux-Clúster del IGP. *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Instituto Geofísico del Perú, Marzo, 4, 3, 7-9.

Schubert, SD., Suarez, MJ., Pegion, P.J., Kistler, MA., Kumar, A. 2002: Predictability of zonal means during boreal summer. *J. Clim* 15:420-434

Smith, L. A., Du, H., Suckling, E. B., & Niehörster, F. 2014: Probabilistic skill in ensemble seasonal forecasts. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. doi:10.1002/qj.2403

Takahashi, K. 2015: La ciencia de la predicción. *Boletín Técnico, Instituto Geofísico del Perú*, Octubre, 2, 10, 4-8.

Taylor, K. E., D. Williamson, and F. Zwiers. 2000: The sea surface temperature and sea-ice concentration boundary conditions of AMIP II simulations. *PCMDI Rep.* 60, 20 pp.

Taylor, K. E., Stouffer, R.J., Meehl, GA. 2012: An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull Am Meteorol Soc* 93(4):485-498. doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1

Wang, B., Lee J-Y, Kang I-S, Shukla J, Park CK, Kumar A, Schemm J, Cocke S, Kug JS, Luo JJ, Zhou T, Wang B, Fu X, Yun WT, Alves O, Jin E, Kinter J, Kirtman B, Krishnamurti T, Lau N, Lau W, Liu P, Pegion P, Rosati T, Schubert S. 2009. Advance and prospectus of seasonal prediction: Assessment of the APCC/ClipAS 14-model ensemble retrospective seasonal prediction (19802004). *Clim. Dyn.* 33: 93-117.

Resumen del Informe Técnico

PP N°068/EI Niño - IGP/ 2017-9

Advertencia: El presente informe sirve como insumo para la Comisión 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

Para el mes de agosto de 2017, según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), las condiciones climáticas fueron Neutras, tanto con la información de la base de datos de ERSST (ICEN = $-0,75^{\circ}\text{C}$) como de OISSTv2 (ICENOI = $-0,84^{\circ}\text{C}$), aunque con una tendencia hacia condiciones frías. Sin embargo, los valores temporales del ICEN (ICENtmp) y el ICENOI (ICENOItmp) coinciden en indicar condiciones Neutras para los meses de setiembre y octubre. En lo que respecta al Pacífico Central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA indica que agosto tuvo condiciones del tipo Neutra. Por otro lado, los índices temporales estimados para setiembre y octubre señalan condiciones Frías Débiles.

En lo que resta del año 2017, según el análisis de los modelos oceánicos utilizados y los datos observados, se espera que la temperatura superficial del mar (TSM) se presente entre alrededor de lo normal a ligeramente más frías en el litoral peruano hasta finales de año. Sin embargo, de arribar e impactar las ondas Kelvin frías en la costa, estas anomalías frías se podrían intensificar.

Para el pronóstico a largo plazo, los siete modelos numéricos de NMME, los cuales se inicializaron con información del mes de octubre, predicen, en promedio, condiciones del tipo Neutra en el Pacífico oriental hasta el mes de abril de 2018, con anomalías negativas en todos sus pronósticos. De esta manera, para el periodo diciembre 2017-marzo 2018, todos los modelos proyectan condiciones neutras en el Pacífico oriental.

Para el mes de noviembre en el Pacífico Central, 2 de 7 modelos de NMME indican condiciones Frías Moderadas, 4 modelos indican Frías Débiles, y un modelo predice condición Neutral. En promedio, los modelos de NMME indican condiciones frías débiles hasta el mes de febrero de 2018. Para el periodo diciembre 2017- marzo 2018, los pronósticos de los modelos han incrementado sustancialmente la probabilidad de condiciones La Niña en el Pacífico central ecuatorial, de 43% (condición inicial de setiembre) a 64% (condición inicial de octubre).

Si bien lo anterior indica pocas probabilidades de que se pueda repetir un evento similar a El Niño costero de 2017, no se puede descartar un escenario de lluvias en el norte como el observado durante La Niña 2008 en el Pacífico central.

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 2017 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

Año	Mes	ICEN ($^{\circ}\text{C}$)	Condiciones
2017	Mayo	0.39	Neutra
2017	Junio	-0.11	Neutra
2017	Julio	-0.49	Neutra
2017	Agosto	-0.75	Neutra

Tabla 1. Valores recientes del ICEN (ERSST v3b).
(Descarga: <http://www.met.igp.gob.pe/datos/icen.txt>)

agosto de 2017. Los valores se muestran en la Tabla 1. El valor de agosto corresponde a condiciones Neutras, aunque con el valor de la TSM por debajo de su promedio.

Según los valores del ICENtmp, se estima que en los meses de setiembre y octubre de 2017 las condiciones serían Neutras, aunque con anomalías negativas de TSM. El ICEN de setiembre será confirmado cuando se disponga del valor de ERSST para el mes de octubre del año en curso.

Los valores del ICENOItmp estimados para setiembre y octubre de 2017 corresponden a condiciones Neutras. El ICENOI de setiembre será confirmado cuando se disponga del valor de OISST v2 para el mes de octubre de 2017.

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 2017, es de $-0,15^{\circ}\text{C}$, correspondiente a condiciones Neutras¹.

Recientemente, la versión 5 de ERSST ha sido puesto operacional y el ONI está siendo calculada por el CPC con estos datos. Si bien no hay indicaciones de que la versión 3b vaya a ser discontinuada, esta posibilidad debe considerarse al decidir qué datos se seguirán utilizando para el cálculo del ICEN. Esta nueva versión presenta variaciones espacio-temporales más realistas que la versión 4, particularmente con una mejor representación de las variaciones a escalas pequeñas (Huang et al., 2017).

Se ha realizado un análisis preliminar del uso de ERSST v5 para el cálculo del ICEN en comparación con ERSST v3b y OI SST v2. Los resultados más resaltantes es que el ICEN estimado con ERSST v5 en general se acerca al estimado con el ERSSTv3 en RT que el OI. La excepción es que el ERSSTv5 representó El Niño costero 2017 en forma similar al OI, sustancialmente más cálido que ERSSTv3b. Por otro lado, el ICEN estimado con los datos de OISSTv2 sobrestima las condiciones frías relativo a ERSST v3b y v5, llevando a una sobrestimación de la magnitud de los eventos La Niña costera. Por lo anterior, ERSST v5 se presenta ventajoso a los otros dos productos en que 1) es consistente con el registro histórico del ICEN original producido

con ERSST v3b, 2) es realista para la representación de El Niño costero 2017, 3) tiene menos riesgo que ERSST v3b de ser descontinuado, por lo cual se recomienda considerar su uso a futuro para el cálculo del ICEN.

Diagnóstico del Pacífico Ecuatorial

Según los datos satelitales (IR, MW, OSTIA), en el Pacífico central las anomalías de la TSM diaria continuaron en el rango neutral, manteniéndose cerca al valor de -0.5°C . Para la región Niño 1+2, la anomalía de la TSM también indica anomalías negativas, con un promedio de -0.7°C , siguiendo una tendencia negativa a partir de los primeros días de octubre.

En setiembre, el esfuerzo de viento zonal mensual en el Pacífico central (160°E - 160°W ; 5°S - 5°N) continuó con anomalía del este, siendo bastante mayor en magnitud que el mes anterior; las máximas anomalías negativas se observaron en la segunda y cuarta semana del mes. La actividad convectiva en el Pacífico ecuatorial central-oriental, continuó inferior a su climatología y el patrón anómalo de convección ecuatorial siguió indicando un desplazamiento hacia el Pacífico occidental, consistente con condiciones atmosféricas tipo La Niña. El contenido de calor oceánico mostró anomalías negativas, y la inclinación de la termoclina ecuatorial se presentó con valores cerca de su normal aunque ligeramente negativos.

Las corrientes zonales calculadas por GODAS en el Pacífico Ecuatorial, durante el mes de setiembre, continuaron mostrando anomalías negativas (corrientes hacia el oeste) en la parte superior del océano, principalmente al oeste de 170°E y entre 170°W y 100° . Esto podría deberse a la presencia de ondas Kelvin frías según los datos de la profundidad de la termoclina del producto ARGO+TAO y modelos lineales. La actividad de las ondas Kelvin frías, la cual se viene observando desde el mes de julio del presente año, ha continuado durante el mes de setiembre como consecuencia de dos pulsos de viento intenso del este, los cuales se localizaron al oeste de 160°W . La presencia de estas ondas también se observan en los datos de nivel del mar de DUACS.

En los datos de la profundidad de la termoclina (producto ARGO+TAO) se han observado anomalías positivas concentradas en la zona Occidental, las cuales podrían deberse a la reflexión de las ondas Rossby ecuatoriales como ondas Kelvin cálidas.

Es importante señalar que el modelo de ondas, por el momento, está sobreestimando la anomalías negativas de la profundidad de la termoclina en el extremo oriental cuando es forzado con ASCAT y, en menor medida, con NCEP.

Pronóstico a corto plazo con modelo de ondas y observaciones

Según los pronósticos de los modelos GFS y CFS, se espera que en las siguientes semanas se produzcan anomalías de viento del este en gran parte de la región del Pacífico

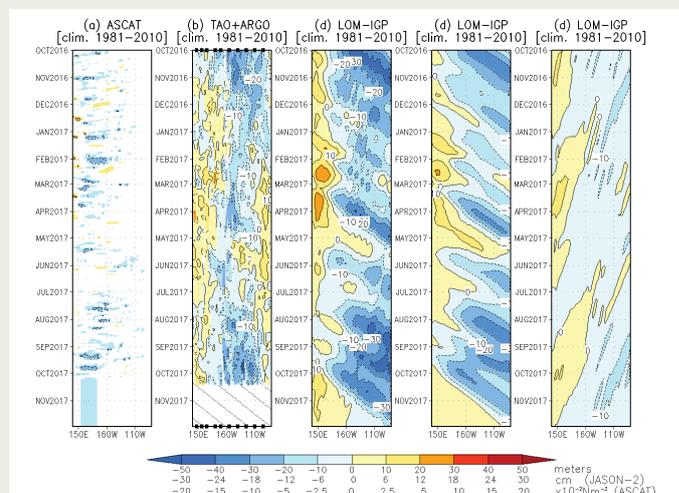


Figura 1.- Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escarómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO y los derivados de ARGO (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y finalmente diagrama de la onda Rossby, calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por ASCAT, y $\tau=0$ para el pronóstico). Las líneas diagonales representan la trayectoria de una onda Kelvin si tuviera una velocidad de 2.6 m/s. (Elaboración: IGP)

Ecuatorial. Si esto se diera, entonces se esperaría que parte de esa energía se transmita como onda Kelvin fría que contribuiría a mantener (e incluso intensificar) la anomalía negativa de la profundidad de la termoclina, principalmente en el Pacífico Oriental, en los siguientes dos meses.

Basado en los datos de la descomposición meridional de ondas largas, usando el producto de altimetría DUACS, existe una señal de onda Rossby cálida en el extremo occidental que puede reflejarse como onda Kelvin cálida y aminorar las anomalías negativas en el Pacífico central.

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) con condiciones iniciales de octubre, indican en promedio condiciones neutras hasta el mes de abril 2018, (Fig. 2). En contraste con los pronósticos del mes anterior, estos son menores e indican anomalías negativas, incluso el CFSv2 espera condiciones frías débiles para los meses de diciembre y enero.

Para el Pacífico central (Niño 3.4), según los modelos de NMME inicializados en octubre, 2 de 7 modelos indican condiciones frías moderadas, 4 modelos indican frías débiles, y 1 modelo condición neutra. Para el mes de diciembre 2 de 7 modelos indican condición fría moderada y 5 modelos fría débil. El pronóstico de los modelos de NMME para el verano 2018 (DEFM) indica La Niña de magnitud débil. Considerando los modelos JMA MRI, UKMO, ECMWF y POAMA, inicializado en setiembre, también indica condiciones frías débiles para el verano 2018.

¹ Los 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).

Utilizando los pronósticos de los 10 primeros miembros de los ensembles de cada uno de los ocho modelos (con el error promedio retrospectivo 1982-2010 removido) se ha realizado un cálculo objetivo de las probabilidades contando el porcentaje de las 80 corridas que corresponden a cada una de las categorías pronosticadas para el verano. Este cálculo se ha realizado para los pronósticos previos, empezando en agosto 2017. Según este cálculo, los pronósticos de los modelos climáticos presentan alta confianza en condiciones neutras en la costa pero han incrementado sustancialmente la probabilidad de condiciones La Niña en el Pacífico central ecuatorial para el verano 2017-2018, de 8% en agosto, a 43% en setiembre, a 64% en condición inicial octubre. El patrón espacial proyectado de TSM y de precipitación pronosticado es típico de La Niña, con ausencia de calentamiento en el Pacífico sudeste (frente a norte de Chile) y en la costa de Perú como en el 2016. Asimismo, no se prevé mayor lluvia en la banda sur de la ZCIT en el verano/otoño de 2018 como en los pronósticos del 2016. Esto indica pocas probabilidades de que se pueda repetir un evento similar a El Niño costero de 2017, aunque no se puede descartar un escenario de lluvias en el norte como el de La Niña 2008.

El pronóstico probabilístico del ENFEN iniciado en el año 2015 tiene la característica de ser verificable en forma objetiva. El índice "Ranked Probability Score" permite comparar la bondad de diferentes pronósticos probabilísticos y un análisis preliminar del desempeño de los pronósticos oficiales del ENFEN para el verano realizados entre agosto y noviembre de los años 2015 y 2016 comparando con los pronósticos basados en los modelos NMME descritos arriba muestra que el desempeño fue similar. Tanto el ENFEN como los modelos tuvieron buen desempeño en 2015 para el evento El Niño "global" y malo en 2016 para El Niño costero, lo cual refleja la diferente naturaleza de esos dos eventos. Por otro lado, en ambos años, el desempeño de NMME fue ligeramente mejor. Se espera, sin embargo, que el mayor conocimiento científico desarrollado por el ENFEN puede llevarlo a tener una mejor performance que los modelos, particularmente para eventos como El Niño costero. Por lo pronto se recomienda tomar los resultados de NMME como punto de partida para la estimación oficial del ENFEN.

Pronóstico decadal

Los modelos continúan pronosticando anomalías de TSM positivas en el Pacífico noreste (presentes desde el 2014), consistente con los pronósticos de Thoma et al. (2015) y Meehl et al. (2016). El calentamiento en el Pacífico sudeste subtropical observado desde el año 2015 ya no se observa en los pronósticos de los modelos de NMME.

El esfuerzo de viento zonal en el Pacífico central muestra mayores anomalías negativas, por lo cual no puede estar forzado por el PDO actualmente. Estas persistentes anomalías (desde mediados de 2016) no parecen responder a la dinámica de ENOS y podrían reflejar algún otro forzante externo asociado a otra cuenca oceánica.

Conclusiones

1. El ICEN para agosto de 2017 fue de -0.75 (Neutra) y el ICENtmp para setiembre y octubre de 2017 es -0.74 y -0.55 (Neutro). Usando OI mensual para el cálculo (ICENOI),

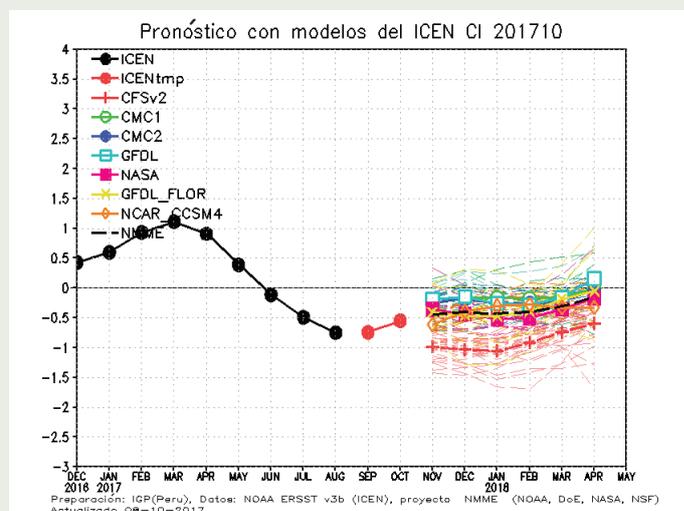


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y su valor temporal (ICENtmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos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

los valores correspondientes son -0.84 (Neutra), y los temporales -0.69 y -0.50 (Neutro). El ICEN calculado con la nueva versión ERSSTv5 para Agosto es -0.47 y los temporales para setiembre y octubre es -0.56.

2. En el Pacífico central, el ONI de agosto (JAS) correspondieron a condiciones Neutras, y el estimado para setiembre es fría débil. La ATSM en la región Niño 3.4, continuó negativa, aunque acercándose a cero hacia finales de setiembre.

3. En setiembre, según TAO y NCEP/NCAR reanalysis, el viento zonal ecuatorial presentó anomalías reforzadas del este en el Pacífico central-occidental. Débiles anomalías del oeste en el Pacífico oriental pueden haber contribuido a una normalización temporal en las regiones Niño 3.4 y Niño 3.

4. El patrón anómalo de convección ecuatorial sigue indicando desplazamiento hacia el Pacífico occidental, consistente con condiciones tipo La Niña.

5. La inclinación de la termoclina ecuatorial se presentó cerca de su normal. Durante el mes de setiembre la descarga ha resultado en anomalías negativas de contenido de calor.

6. Durante el mes de setiembre se observaron dos (2) pulsos de viento del Este intensos, localizados al oeste de 160°W. Estos dos pulsos de viento forman parte de un conjunto de pulsos de viento del este que se vienen observando desde el mes de julio del presente año.

7. Los pulsos de viento contribuyeron a mantener la presencia de ondas Kelvin frías en el Pacífico ecuatorial, tal como se observa en los datos de anomalía de la profundidad de la termoclina y resultados de modelos numéricos. La presencia de estas ondas también se observan en los datos de nivel del mar de DUACS y, aparentemente, en las corrientes de GODAS.

Resumen del Informe Técnico

PP N°068/EI Niño - IGP/ 2017-9

8. Las anomalías positivas de la profundidad de la termoclina en el extremo occidental se podrían deber, en parte a la reflexión de las ondas Rossby como ondas Kelvin cálidas.

9. Hay que indicar que el modelo de ondas, por el momento, está sobreestimando las anomalías negativas de la profundidad de la termoclina en el extremo oriental cuando es forzado con ASCAT y, en menor medida, con NCEP.

10. Para las próximas semanas, el modelo GFS y el CFS predicen anomalías de viento del este en gran parte del Pacífico Ecuatorial. De darse este escenario, estos vientos podrían proyectarse en ondas Kelvin frías que contribuirían a mantener (e incluso disminuir) la anomalía negativa de la profundidad de la termoclina, principalmente en el Pacífico Oriental, en los siguientes dos meses.

11. Según la descomposición meridional de ondas largas, usando el producto DUACS, existe una señal de onda Rossby cálida en el extremo occidental que puede reflejarse como onda Kelvin cálida y aminorar las anomalías negativas en el Pacífico central.

12. Los pronósticos de los modelos han incrementado sustancialmente la probabilidad de condiciones La Niña en el Pacífico central ecuatorial, de 43% (condición inicial setiembre) a 64% (condición inicial octubre). El patrón espacial proyectado de TSM y de precipitación pronosticado es típico de La Niña, con ausencia de calentamiento en el Pacífico sudeste (frente a norte de Chile) y en la costa de Perú como en el 2016. Asimismo, no se prevé mayor lluvia en la banda sur de la ZCIT en el verano/otoño de 2018 como en los pronósticos del 2016. Esto indica pocas probabilidades de que se pueda repetir un evento similar a El Niño costero de 2017, aunque no se puede descartar un escenario de lluvias en el norte como el de La Niña 2008.

13. Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los 7 modelos de NMME indica condiciones Neutras hasta abril de 2018; en contraste con los pronósticos del mes anterior, estos índices son menores y la mayoría de los modelos indican anomalías negativas, según el CFSv2 se espera condiciones frías débiles para los meses de diciembre y enero.

14. Para el Pacífico central (Región Niño 3.4), para el mes de noviembre 2 de 7 modelos de NMME indican condiciones frías Moderadas, 4 modelos frías débiles y 1 condición Neutra. Para el mes de diciembre, 2 de 7 modelos indican condiciones Frías Moderadas y 5 modelos indican condiciones frías débiles. El pronóstico de los modelos de NMME para el verano (DEFM) indica La Niña de magnitud Débil

15. Se recomienda considerar la nueva base de datos ERSST v5 para el cálculo del ICEN ya que 1) es consistente con el registro histórico del ICEN original producido con ERSST v3b, 2) es realista para la representación de El Niño costero 2017, 3) tiene menos riesgo que ERSST v3b de ser discontinuado.

16. Se recomienda usar la nueva metodología para los pronósticos probabilísticos para el verano basado en los modelos NMME como punto de partida para los pronósticos oficiales del ENFEN.

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>]

DiNezio, P., 2016: Desafíos en la predicción de La Niña, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, 3 (9), 4-8.

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.

Huang, B., Thorne, P.W., Banzon, V. F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J. H., Menne, M. J., Smith, T. M., Vose, R. S., Zhang, H.-M., 2017: Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons, J. Climate, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1

Kug, J.-S., Jin, F.-F., An, S.-I., 2009: Two types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño. J. Climate 22, 6, 1499–1515, doi:10.1175/2008JCLI2624.1.

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.

Meehl G, Hu A, Teng H, 2016: Initialized decadal prediction for transition to positive phase of the Interdecadal Pacific Oscillation. Nature Communications, doi: 10.1038/ncomms11718.

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 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

Reupo, J., 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., 2017: Verificación de los pronósticos probabilísticos de El Niño y La Niña costeros. Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, 4 (8), 8-9.

Takahashi, K., Martínez, A. G., 2016: The very strong El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. Climate Dynamics, doi: 10.1007/s00382-017-3702-1.

Thoma M, Greatbatch R, Kadow C, Gerdes R, 2015: Decadal hindcasts initialized using observed surface wind stress: Evaluation and prediction out to 2024. Geophys. Res. Lett. doi:10.1002/2015GL064833.

Comunicado Oficial ENFEN



COMISIÓN MULTISECTORIAL ENCARGADA DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO - ENFEN

COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 14- 2017 Estado del sistema de alerta: **No Activo**¹

La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el estado de sistema de alerta "No Activo" debido a que en la actualidad la temperatura superficial del mar en la región Niño 1+2, así como a lo largo de la costa del Perú presentan, en promedio, condiciones normales.

Asimismo, tomando en consideración el monitoreo y el análisis de la Comisión Multisectorial ENFEN, así como los resultados de los modelos de las Agencias de Pronóstico Internacionales, se considera la persistencia de las condiciones neutras a ligeramente frías tanto en la región Niño 1+2 como en el Pacífico Central hasta fin de año. Para el verano del 2018, en la zona norte del mar peruano se mantiene el escenario más probable de condiciones normales.

La Comisión encargada 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 de 2017.

La anomalía negativa de la temperatura superficial del mar (ATSM) continuó incrementando en la región del Pacífico Central (región Niño 3.4), de $-0,15^{\circ}\text{C}$ (agosto) a $-0,46^{\circ}\text{C}$ (setiembre) y en la región Niño 1+2 la ATSM de $-0,45^{\circ}\text{C}$ a $-0,63^{\circ}\text{C}$ (Figura 1a, 1b), debido a la presencia de ondas Kelvin frías en el Océano Pacífico ecuatorial durante el mes.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) presentó una anomalía media de $+3$ hPa en su núcleo y una configuración zonal alrededor de su posición habitual. Durante la primera quincena del mes, la intensificación del APS contribuyó al incremento de vientos costeros de moderada a fuerte intensidad principalmente a lo largo de la franja costera centro y sur, situación que continúa favoreciendo las condiciones neutras a ligeramente frías en el mar peruano.

El valor del Índice Costero El Niño (ICEN) para el periodo julio-agosto-setiembre fue de $-0,84^{\circ}\text{C}$ (fuente NCEP OI SST v2) que correspondió a condiciones neutras. El valor estimado (ICEN_{tmp}) para octubre corresponde a condiciones neutras.

Fuera de las 40 millas de la costa se observó la influencia de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) de alta salinidad entre Chicama y Callao. Por otro lado, en el litoral peruano las anomalías de la TSM mostraron condiciones dentro del rango normal, a excepción de Ilo que presentó anomalías negativas de hasta -1°C . El Nivel Medio del Mar (NMM) para la zona norte y centro presentó valores normales y para la zona sur valores ligeramente por debajo de lo normal.

Las anomalías de las temperaturas extremas del aire mantuvieron condiciones normales para todo el litoral peruano. (Ver Cuadro 1).

Los caudales de los ríos de la costa norte del país continuaron presentando condiciones estables, con ligeros ascensos en los ríos Piura y Chancay – Lambayeque. Las reservas hídricas en la costa norte y sur vienen operando en promedio al 84% y 68% de su capacidad hidráulica.

La clorofila-a durante el mes reflejó concentraciones habituales, evidenciándose un incremento en Paita del orden de $5,0\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ y en Ilo de hasta $15,0\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Al sur del Callao la clorofila-a presentó concentraciones superiores a las habituales.

Los indicadores reproductivos del stock norte – centro de la anchoveta, continuaron con valores altos indicando que aún se encuentra en su periodo principal de desove. Por otro lado, disminuyó notablemente la presencia de recursos hidrobiológicos oceánicos cercanos a la costa.

¹Definición de estado de Sistema de alerta "No activo": Se da en condiciones neutras o cuando la Comisión ENFEN espera que El Niño o La Niña costeros están próximos a finalizar. (Nota Técnica ENFEN 01-2015). Se denomina "Evento El Niño en la región costera de Perú" o "El Niño Costero" al periodo en el cual el Índice Costero El Niño (ICEN), que es la media corrida de tres meses de las anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2, indique "condiciones cálidas" ($>+0,4^{\circ}\text{C}$) durante al menos tres (3) meses consecutivos (Nota Técnica ENFEN 01-2012).



PERSPECTIVAS

Se espera que hasta fin de año la ATSM se mantenga en el rango de condiciones neutras o normales a ligeramente frías en el litoral peruano; sin embargo, de arribar ondas Kelvin frías, estas condiciones se intensificarían.

Los modelos climáticos de las agencias internacionales pronostican, en promedio, condiciones neutras hasta fin de año para la región Niño 1+2, mientras que para la región del Pacífico Central (Niño 3.4) condiciones frías débiles.

Tomando en consideración el monitoreo y el análisis de la Comisión Multisectorial ENFEN, así como los pronósticos de las Agencias Internacionales, se espera la persistencia de las condiciones neutras o normales a ligeramente frías, tanto en la región Niño 1+2 como en el Pacífico Central hasta fin de año.

En vista que los principales impactos de El Niño y La Niña suelen darse en la temporada de lluvias, es decir, durante el verano, el ENFEN proporciona una estimación de las probabilidades de ocurrencia de los mismos (Tablas N° 1 y 2) para dicho periodo. Con estas consideraciones, la Comisión Multisectorial ENFEN estima que para el próximo verano (diciembre 2017 - marzo 2018) en el Pacífico Central es más probable condiciones de La Niña (55%), seguidas de condiciones neutras (43%) y de El Niño (2%). Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2) frente a la costa norte del Perú, son más probables las condiciones neutras (72%) seguidas por las condiciones La Niña (19%) y de El Niño (9%).

La Comisión 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 2018.

Callao, 13 de octubre de 2017

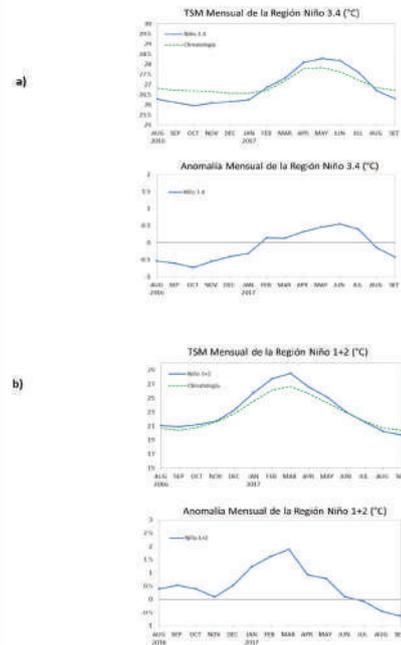


Figura 1. Temperatura y anomalía superficial del mar mensual: a) Región Niño 3.4 (5°N-5°S) / (170°W-120°W), agosto 2016 - setiembre 2017. b) Región Niño 1+2 (0°-10°S) / (90°W-80°W), agosto 2016 - setiembre 2017. Fuente: Gráfico DHN, Datos: OISST.V2/NCP/NOAA.

Cuadro 1. Anomalia media mensual de las temperaturas extremas del aire (a) máximo y (b) mínimo desde enero a setiembre 2017 para las regiones costeras norte, centro y sur del litoral peruano. Fuente: SENAMHI.

a). Anomalías promedio de temperatura máxima del aire (°C)									
Región	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
Costa Norte	1,5	1,2	1,0	0,9	1,2	1,0	0,9	0,8	0,8
Costa Centro	1,9	1,9	2,2	1,5	2,2	1,6	0,1	0,1	0,0
Costa Sur	1,5	1,2	1,0	0,8	1,0	0,9	0,1	0,0	-0,1

b). Anomalías promedio de temperatura mínima del aire (°C)									
Región	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
Costa Norte	0,8	1,1	1,4	1,2	1,3	0,4	0,1	0,2	-0,1
Costa Centro	1,8	2,0	2,4	2,0	3,1	1,8	1,1	0,7	0,1
Costa Sur	1,7	0,8	1,0	1,2	1,7	1,4	0,9	0,1	0,0

Tabla 1. Probabilidades Estimadas de las magnitudes de El Niño costero - La Niña costera en el verano Diciembre 2017 - Marzo 2018.

Magnitud del evento durante diciembre 2017 - marzo 2018	Probabilidad de ocurrencia
La Niña moderada - fuerte	1%
La Niña débil	18%
Neutro	72%
El Niño débil	8%
El Niño moderado	1%
El Niño fuerte - extraordinario	0%

Tabla 2. Probabilidades Estimadas de las magnitudes de El Niño - La Niña en el Pacífico Central en el verano Diciembre 2017 - Marzo 2018.

Magnitud del evento durante diciembre 2017 - marzo 2018	Probabilidad de ocurrencia
La Niña moderada - fuerte	4%
La Niña débil	51%
Neutro	43%
El Niño débil	2%
El Niño moderado	0%
El Niño fuerte - muy fuerte	0%





© 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:

