

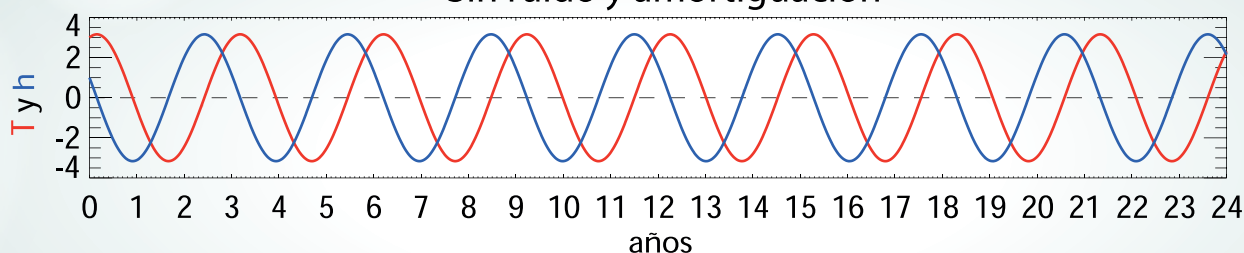
Programa Presupuestal por Resultados N° 068: "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres" Producto: "Entidades informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño"

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

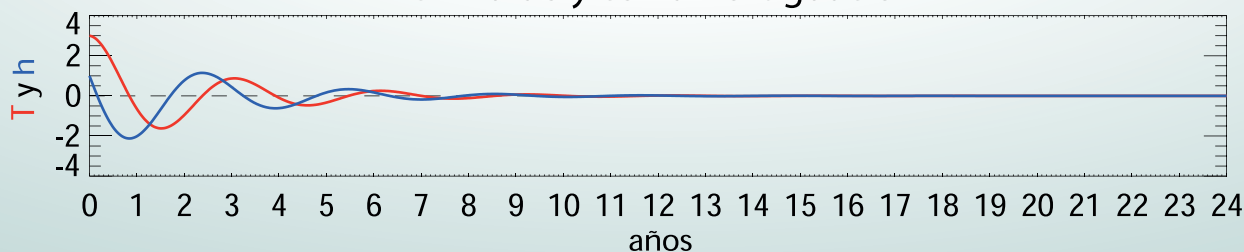
## Boletín Técnico

### Simulaciones con diferentes versiones del Modelo Oscilador Carga Descarga de ENOS

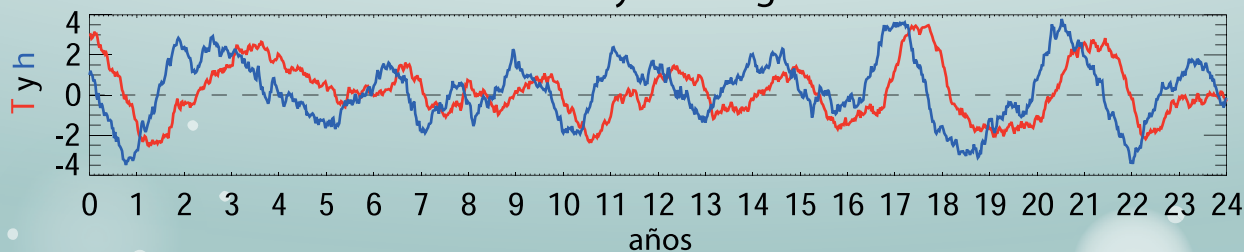
Sin ruido y amortiguación



Sin ruido y con amortiguación



Con ruido y amortiguación



— Temperatura superficial del mar  
— Contenido de calor oceánico ecuatorial

# Contenido

2 - 3 Introducción

4 - 8 Artículo de Divulgación Científica

9 - 10 Avances de Investigación

11 Novedades

12 - 14 Resumen Informe Técnico

15 Comunicado Oficial ENFEN

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

Producto: Entidades informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño.

Actividad: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño.

**Manuel Pulgar Vidal**  
Ministro del Ambiente

**Ronald Woodman**  
Presidente Ejecutivo IGP

**José Macharé**  
Director Técnico IGP

**Ken Takahashi**  
Responsable Producto El Niño - IGP

Equipo de investigación: Ken Takahashi, Kobi Mosquera, Jorge Reupo, Berlín Segura

Edición: Cristiana Leucci  
Diseño y Diagramación: Dante Guerra

Carátula: Dewitte. Ver figura y leyenda en la página 7.

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

Impreso por:  
Lettera Gráfica SAC  
Jr. Emilio Althaus 460 Lince  
Teléfono (511) 4710700

Lima, Setiembre del 2014

Hecho el Depósito Legal en la  
Biblioteca Nacional del Perú N° 2014-14148

# Introducción

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

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

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

El presente Boletín tiene como objetivo difundir conocimientos científicos, avances de investigación 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](http://www.igp.gob.pe/sysppr).



# IGP



# ENFEN

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

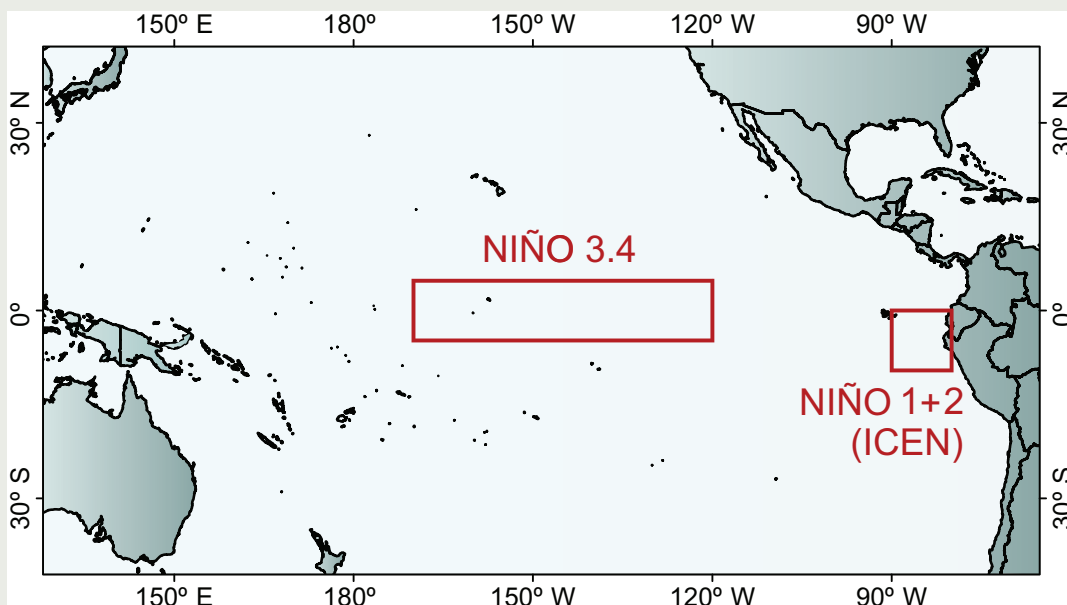
El Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformado por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA e Indeci, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

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

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

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

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



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

## Teorías simples de El Niño-Oscilación Sur: Más allá del Oscilador Carga-Descarga

Los avances en la investigación de El Niño-Oscilación Sur (ENOS) van de la mano con nuestra habilidad para observar, modelar y pronosticar las condiciones oceanográficas en el Pacífico tropical. El estudio del ENOS es guiado por las teorías, que proporcionan un marco conceptual a partir del cual los datos (*in situ* y simulaciones numéricas) pueden ser interpretados y nos permiten plantear e implementar sistemas eficientes de observación. A su vez, las teorías del ENOS han evolucionado y se han aumentado en complejidad en las últimas tres décadas como consecuencia de la ampliación del sistema de observación del Pacífico tropical.

En este artículo se revisan las principales teorías del ENOS, enfocadas en el paradigma más simple conocido como "Oscilador Carga-Descarga" (*recharge-discharge oscillator* en inglés; Jin, 1997) y que es el principal esquema teórico en los estudios recientes sobre ENOS. Aquí se señalarán los elementos y las limitaciones de esta teoría basándose en los recientes hallazgos científicos, lo que incluye nuevas observaciones que han llevado a establecer varios tipos de ENOS, esto como consecuencia de la naturaleza no lineal de este fenómeno.

### Una breve historia

Las teorías sobre el ENOS surgieron desde el momento en que se observó que El Niño no era un evento local que estaba confinado a la costa del Perú, sino que era un fenómeno de gran escala que abarcaba todo el Océano Pacífico. Fue El Niño de 1925, el más intenso ENOS registrado en ese tiempo y documentado por el ornitólogo Murphy (1926), el que atrajo la atención de la comunidad científica. El meteorólogo H. P. Berlage propuso en 1929 (Cushman, 2004) que El Niño parecía estar conectado a la Oscilación Sur, un patrón de circulación atmosférica de gran escala identificado por Sir Gilbert Walker pocos años antes. Sir Walker había sido enviado a la India para pronosticar el monzón con el fin de mejorar la producción de algodón, que en ese tiempo era un importante material para Europa, y había observado que las fluctuaciones de presión en Tahití y Darwin eran opuestas y, además, variaban mucho de año a año. Él definió la Oscilación Sur como la diferencia de presiones entre ambas localidades y la utilizó para pronosticar el ya mencionado monzón de la India.

No fue sino hasta 1969 que Sir Jacob Bjerknes formuló la primera teoría para explicar este fenómeno acoplado océano-atmósfera, resaltando cómo el calentamiento episódico del agua del mar en la costa de Perú (El Niño) podría estar relacionado a fluctuaciones en la presión atmosférica entre el Pacífico oriental y occidental (Oscilación Sur). Él propuso que el contraste este-oeste en la temperatura del mar ecuatorial durante El Niño, con un Pacífico oriental más cálido y un Pacífico occidental más frío, generaría a su vez una reducción de presión atmosférica en el este y un aumento en el oeste. Este contraste de presión



Ph. D. Boris Dewitte  
Investigador Científico del  
Laboratoire d'Etudes en Géophysique et  
Océanographie Spatiales

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

resultaría en vientos de oeste a este, en contra de la circulación atmosférica normal (de este a oeste) que Bjerknes bautizó con el nombre de Walker. Estos vientos del oeste favorecerían un mayor calentamiento del Pacífico oriental, incrementando el calentamiento inicial. Dicho proceso de amplificación es ahora conocido como "proceso de retroalimentación de Bjerknes" y es la teoría básica que explica cómo un evento ENOS, cálido o frío (funciona en ambos sentidos), crece en magnitud.

Lo que no fue explicado en esa teoría es la naturaleza oscilatoria del ENOS, lo que hace que los eventos El Niño, luego de ser seguidos por una fase neutra o fría (La Niña), reaparezcan. En los años 70 se empezó a discutir la importancia de las ondas Kelvin y ondas Rossby en el Océano ecuatorial (Wyrtki, 1975; McCreary, 1976). En particular, se mostró que el viento del oeste produce ondas Kelvin que se propagan y provocan calentamiento hacia el este, pero, este mismo viento, también genera ondas Rossby de enfriamiento que viajan al oeste fuera de la línea ecuatorial y que luego pueden ser reflejadas por las costas de Asia y Oceanía, regresando meses después como ondas de Kelvin de enfriamiento a lo largo de la línea ecuatorial. Este proceso permitiría que un evento cálido fuera seguido de un evento frío.

En las décadas de los años 80 y 90 se consolidaron las principales teorías sobre ENOS gracias al desarrollo de sistemas de observación del Pacífico tropical: *in situ* (TOGA-TAO, programa iniciado en 1985) y satelital (primer altímetro, GEOSAT, lanzado en 1985). La altimetría satelital proporcionaba observaciones de la topografía de la superficie del mar que permitían identificar a las ondas ecuatoriales planetarias (Kelvin y Rossby). Esto sirvió para comprobar las teorías basadas en la reflexión de las ondas ecuatoriales en las fronteras este y oeste del Pacífico. La más conocida de estas teorías es la del "Oscilador Atrasado" ("*delayed oscillator*"; Suarez y Schopf, 1988; Battisti y Hirst, 1989), en donde el retraso de las ondas Rossby reflejadas como Kelvin es el mecanismo para pasar de un evento El Niño a un evento frío La Niña, es decir, las dos fases de ENOS: cálida y fría, respectivamente.

# Teorías simples de El Niño-Oscilación Sur: Más allá del Oscilador Carga-Descarga

Dewitte B., Takahashi K., Mosquera K.

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



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

inducen un transporte de aguas superficiales tanto en la misma dirección zonal (este-oeste), como en la dirección meridional (norte-sur) debido a la rotación de la Tierra y la fuerza de Coriolis asociada. Este transporte meridional (conocido como "transporte de Sverdrup") es el responsable del proceso de recarga/descarga, que consiste en reponer/evacuar las aguas de la capa superior del Pacífico ecuatorial, aumentando/disminuyendo la profundidad de la termoclina, o sea la interfaz entre las aguas superiores cálidas y las profundas frías. La teoría está basada en la observación, en la cual existe un retraso entre las variaciones de la temperatura superficial del mar (TSM) y el volumen del agua cálida de la capa superior (o equivalentemente "contenido de calor", o en inglés *Warm Water Volume*) en el Pacífico ecuatorial. Esta teoría ha proporcionado la base formal más simple para estudiar el ENOS en las últimas dos décadas.

## Oscilador Carga-Descarga

El Oscilador Carga-Descarga puede ser expresado matemáticamente en distintas maneras, dependiendo del proceso fundamental que sea considerado y, como tal, permite diversas formulaciones analíticas. Todas ellas incluyen la noción que la evolución del sistema es controlada por el contenido de

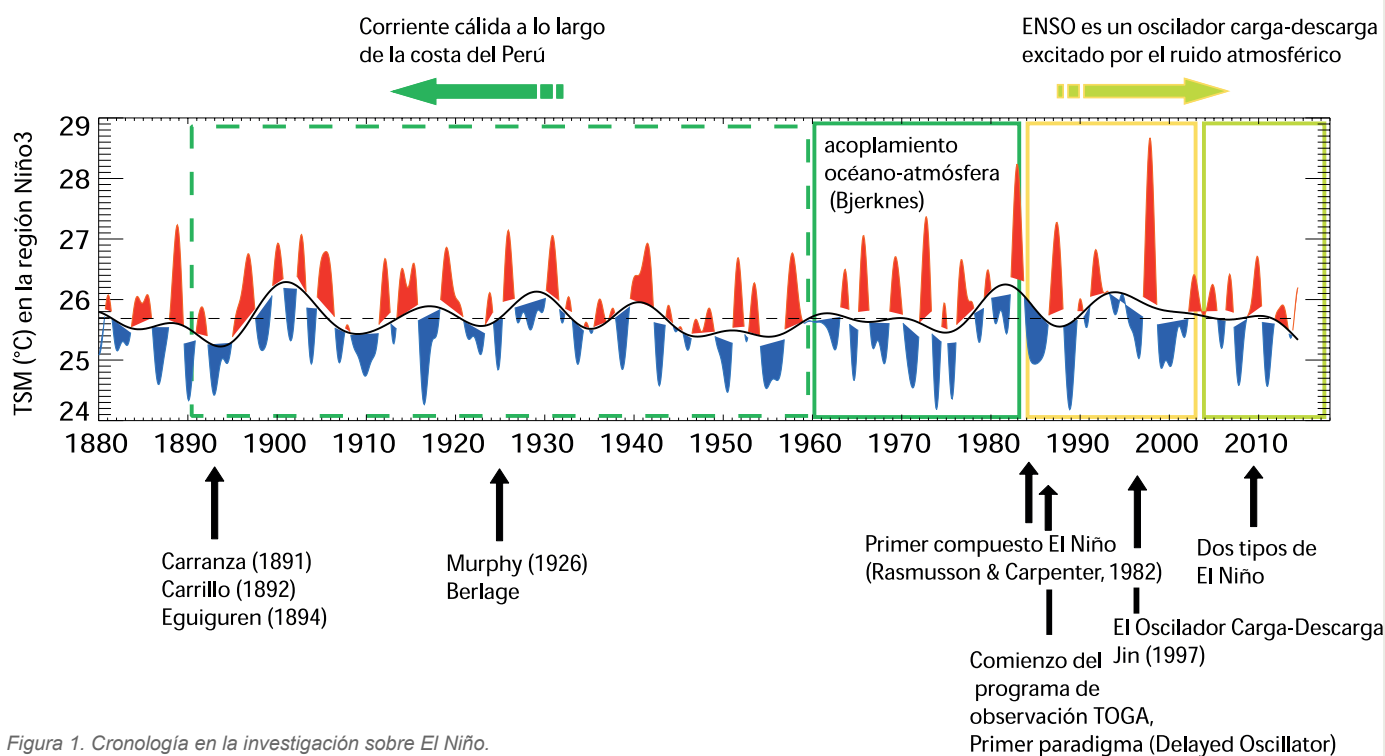


Figura 1. Cronología en la investigación sobre El Niño.

Aún así, el tiempo que toma a las ondas Rossby en viajar de este a oeste para luego regresar como ondas Kelvin de oeste a este a lo largo del Pacífico ecuatorial es de aproximadamente 12 meses, mientras que el tiempo típico entre El Niño y La Niña es de 24 a 42 meses. La teoría del "Oscilador Carga-Descarga" emergió a fines de los años 90 en parte para resolver tal discrepancia. El Oscilador Carga-Descarga considera un rápido ajuste que toma lugar en la región del Pacífico ecuatorial, por lo que el tiempo de propagación de las ondas ecuatoriales no es considerado relevante. A lo largo de la línea ecuatorial, los vientos alisios que soplan de este a oeste

calor en el Pacífico ecuatorial que actúa como una reserva del sistema mismo.

Su forma simple puede ser derivada del análisis de las fluctuaciones de la termoclina a lo largo del Pacífico ecuatorial. Usando el método estadístico de las "componentes principales", estas fluctuaciones pueden ser expresadas como la suma de dos *modos* principales de oscilación: 1) el conocido "*modo de inclinación*" ("*tilt mode*"), que está relacionado a la inclinación de la termoclina entre el Pacífico este y el oeste y al intercambio de aguas cálidas entre estas regiones;

y 2) el “modo de volumen de agua cálida” (“Warm Water Volume ó WWV mode”), que corresponde al contenido de calor en toda la banda ecuatorial (ver Figura 2). Es importante notar que el *tilt mode* tiene signos opuestos entre el Pacífico ecuatorial oriental y occidental y, por esta razón, no contribuye al contenido de calor ecuatorial neto. Las series de tiempo de estos modos están *en cuadratura* (es decir, sus evoluciones temporales están desfasadas por un cuarto de periodo). La serie del *tilt mode* está fuertemente correlacionada con la anomalía de la TSM en la región Niño 3 (índice NIÑO3) en el Pacífico oriental ecuatorial, es decir que están *en fase*. La relación de cuadratura sugiere un comportamiento oscilatorio, con un *tilt mode* y la TSM ajustándose casi instantáneamente entre sí y un WWV mode relacionado a un modo de “no-equilibrio” proveniente de un ajuste con la región extra-ecuatorial, ya sea por la dinámica de Sverdrup (Jin, 1997) o de un flujo geostrofico meridional asociado a las ondas Rossby (Clarke et al., 2007). Debido a este “no-equilibrio”, el WWV mode aventaja al *tilt mode* en seis o nueve meses.



Ph. D. (c) Kobi A. Mosquera Vásquez  
Investigador Científico del  
Instituto Geofísico del Perú

Físico de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), con un grado de Magíster en Física - Mención Geofísica - obtenido en la misma casa de estudios. Actualmente es candidato a doctor en Oceanografía Física en la Universidad Paul Sabatier (Francia). Su investigación está relacionada con los procesos físicos involucrados en el Fenómeno El Niño, con énfasis en las ondas largas ecuatoriales: Kelvin y Rossby. Tiene experiencia en el modelado oceánico en el Pacífico tropical, así como en el procesamiento de grandes volúmenes de información tales como datos in situ, remotos o resultados de modelos numéricos.

Entonces la teoría permite predecir la evolución del contenido de calor del sistema del Pacífico ecuatorial, relacionada al WWV. Se puede observar que las variaciones temporales en el WWV están controladas por el rotor del esfuerzo de viento extra-ecuatorial, es decir, por un ajuste de Sverdrup (para mayores detalles ver Clarke et al., 2007). El rotor del esfuerzo de viento es, por sí mismo, inversamente proporcional al índice NIÑO3 debido a la respuesta rápida de la atmósfera al cambio de TSM en el Pacífico tropical.

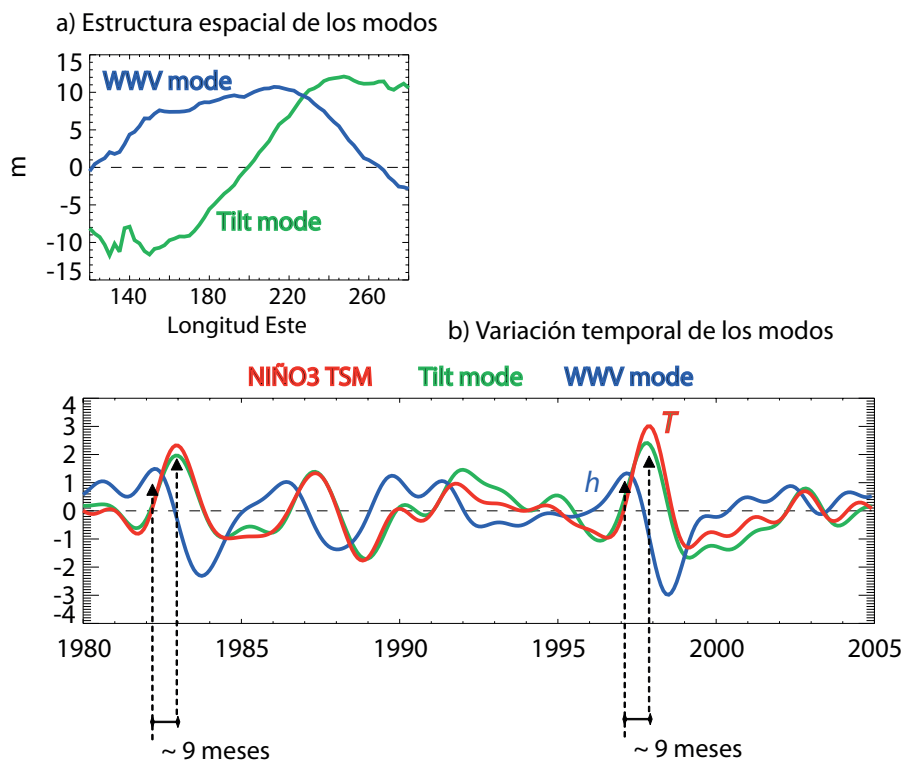


Figura 2. a) Estructura este-oeste de las variaciones de la termoclina ecuatorial según los modos tilt (verde) y WWV (azul). b) Variaciones temporales de los modos tilt y WWV, así como de la TSM en la región Niño 3 (rojo).

# Teorías simples de El Niño-Oscilación Sur: Más allá del Oscilador Carga-Descarga

Dewitte B., Takahashi K., Mosquera K.

Por lo tanto se tiene que:  $\frac{\partial h}{\partial t} = -aT$ , donde  $h$  es el contenido de

calor ("heat content" en inglés),  $T$  es la TSM en la región Niño 3, y  $a$  es una constante positiva que mide la respuesta del rotor del viento a las anomalías de TSM y que genera el transporte de Sverdrup, el cual es responsable de la carga/descarga.

Por otro lado, las variaciones en  $T$  serían lentamente controladas

por el contenido de calor según:  $\frac{\partial T}{\partial t} = bh$ , donde  $b$  es otra constante positiva.

Entonces se puede derivar la siguiente ecuación diferencial para  $h$  o  $T$ :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \omega^2 T = 0, \text{ donde } \omega = \sqrt{ab} \text{ es la frecuencia angular}$$

de oscilación.

Según este modelo simple, el sistema ENOS sería un oscilador perfectamente periódico y auto-sostenido con una frecuencia angular  $\omega$  (Figura 3a). Cálculos de  $a$  y  $b$ , basados en observaciones sobre el periodo 1980-2004, permiten deducir  $\omega$ , dando un periodo de oscilación de aproximadamente cuatro años (Clarke, 2008). Según esta teoría simple, conocer el WWV en el Pacífico ecuatorial sería suficiente para la predicción del ENOS.

El modelo simplificado expuesto líneas arriba no se ajusta obviamente a las observaciones. Por un lado, ENOS no presenta oscilaciones periódicas sino irregulares.

Por otro lado, existen procesos de disipación que impedirían que dichas oscilaciones se mantengan indefinidamente sin una fuente de energía adicional. El Oscilador Carga-Descarga puede ser entonces ampliado con procesos disipativos como:

$$\frac{dh}{dt} = -aT - \eta h \quad (1)$$

$$\frac{dT}{dt} = bh - \gamma T \quad (2)$$

Donde los parámetros  $\eta, \gamma$  son constantes positivas que están asociadas a la disipación de  $h$  y  $T$  (ver Burgers et al., 2005, para mayor información de la derivación). Este oscilador puede entonces generar varias soluciones que dependen del conjunto de valores  $a, b, \eta, \gamma$ . En particular, la disipación reduce el desfase que existe entre  $h$  y  $T$ , además de llevar a una progresiva reducción de la amplitud de las oscilaciones (Figura 3b).

Es importante destacar que los parámetros  $a, b, \eta, \gamma$  dependen de los estados promedio o climatológicos del Pacífico tropical (estratificación vertical, TSM, circulación atmosférica superficial) y podrían variar estacionalmente o en escalas de tiempo largas, lo cual alteraría las características del ENOS. La principal incertidumbre en esta versión del modelo viene de la estimación de los coeficientes de disipación, ya que ellos podrían no solo incorporar los procesos de mezcla y difusión, sino también el transporte por las corrientes en la frontera oeste que podrían influir en el contenido de calor en la banda ecuatorial.

Otro asunto que debe comentarse es la influencia del "ruido" atmosférico de alta frecuencia, por ejemplo aquel asociado a sistemas meteorológicos como las llamadas oscilaciones de Madden-Julian o los ciclones extratropicales, que pueden afectar a ENOS pero sin ser, estos mismos, afectados por ENOS. La irregularidad de este ruido puede ser responsable de la irregularidad de ENOS. Más aún, el ruido puede ser esencial para

contrarrestar la disipación y generar las oscilaciones. Este forzante se incluiría como una componente aleatoria o estocástica aditiva en las ecuaciones 1 y 2. Entonces el ENOS puede ser considerado como un Oscilador Carga-Descarga amortiguado y forzado por el ruido atmosférico, cuya disipación es compensada por la energía de la forzante estocástica (Figura 3c).

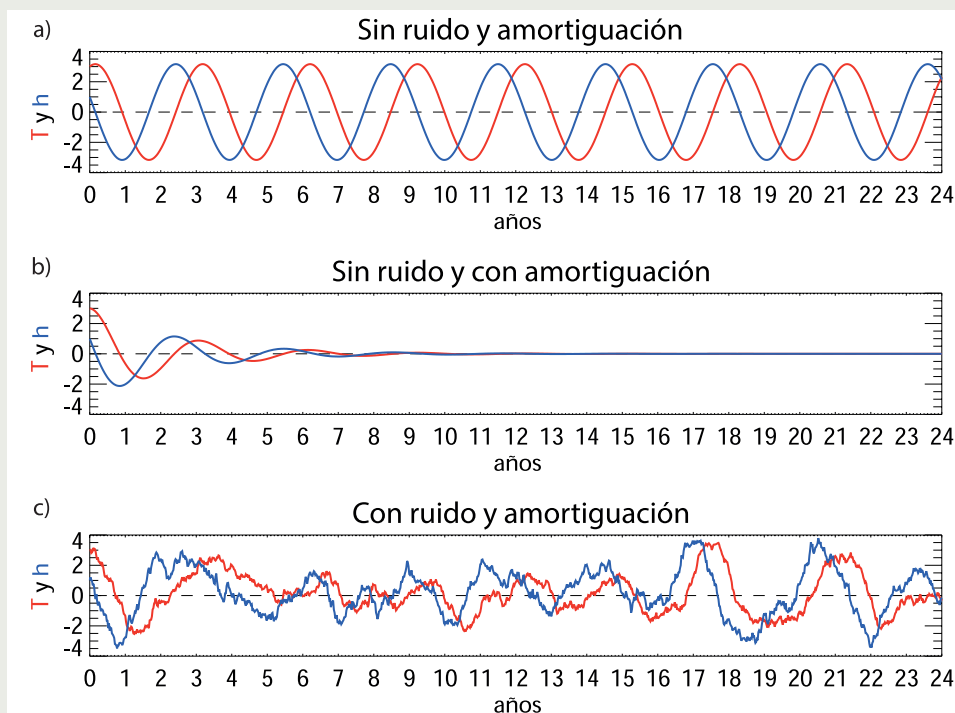


Figura 3. Solución del modelo de Burgers et al. (2005): a) Sin disipación ni forzante estocástico (con  $\eta$  correspondiente a un periodo de oscilación de 37 meses); b) Igual que a) pero con disipación (con  $\gamma$  correspondiente a un tiempo de disipación de 30 meses); y c) Igual que b) pero añadiendo ruido blanco como forzante estocástico.

## Investigaciones teóricas en progreso sobre ENOS

El Oscilador Carga-Descarga representa un punto útil de partida teórico para estudiar distintos aspectos del ENOS, en particular los cambios en sus propiedades (frecuencia, amplitud, predictibilidad) sobre largas escalas de tiempo. Por ejemplo, desde los años 80 ENOS ha experimentado un incremento en su amplitud, el cual ha sido atribuido al estado promedio cálido después del conocido *climate shift* de los años 70. Un incremento de la actividad del ENOS podría estar conectado a la disminución en la estabilidad del Oscilador, lo cual puede ser diagnosticado de datos *in situ* y de productos de *Reanalysis* basado en este formalismo (An and Jin, 2001). También se ha observado que desde el año 2000 a la fecha, el retraso entre el índice NIÑO3 y el WWV *mode* ha disminuido significativamente, lo cual sugiere que la eficiencia de la predicción del Oscilador Carga-Descarga ha disminuido (McPhaden, 2012). Este comportamiento también se observó antes de 1980 (Bunge and Clarke, 2014). Al parecer esto sería la consecuencia del cambio de la localización del centro de acción de las anomalías de esfuerzo de viento del ENOS. En particular, se ha mostrado que a mayor esfuerzo de viento aplicado, menor el retraso entre el índice NIÑO3 y el WWV *mode* (Clarke, 2010; Fedorov, 2010). Cabe indicar que el proceso de disipación es también un parámetro que tiene un rol en la explicación del retraso entre las variaciones de TSM y el contenido de calor (Thual et al., 2013).

El "Oscilador Carga-Descarga" se puede considerar como el modelo mínimo de ENOS. Por su naturaleza, deja muchos elementos sueltos que pueden ser importantes en el ENOS real. Particularmente, no se consideran las variaciones espaciales que son esenciales para describir los diferentes tipos de El Niño y que es actualmente un tema de gran interés en la comunidad científica. Estudios recientes sugieren la existencia de al menos dos tipos de El Niño: extraordinariamente fuertes (como en 1982-83 y 1997-98) y de intensidad moderada (los conocidos Niños Modokis o Niños del Pacífico central), los cuales se distinguen tanto por su intensidad como por la localización de la región del calentamiento máximo (ver Takahashi, 2014). Es evidente que el Oscilador Carga-Descarga no puede generar dos tipos de El Niño, a menos que alguno de sus parámetros deje de ser constante y cambie según el estado del sistema, lo cual implica un proceso no-lineal en el sistema mismo. Al momento, mucho esfuerzo se está haciendo en la comunidad científica para descifrar la dinámica no-lineal de ENOS para lo cual el Oscilador Carga-Descarga, en su forma actual, no se aplica por su formalismo lineal. Los procesos no lineales pueden tener fuentes oceánicas o atmosféricas, las cuales no facilitan el desarrollo de un nuevo paradigma sobre el ENOS que explique su aspecto multifacético. En la actualidad, investigaciones conjuntas entre el Instituto Geofísico del Perú y *Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales* están direccionadas a ese fin.

## Referencias

An, S.-I., and F.-F. Jin, 2001: *Collective Role of Thermocline and Zonal Advective Feedbacks in the ENSO Mode*, *Journal of Climate*, 14, 3421-3432.

Battisti, D.S. and A.C. Hirst, 1989: *Interannual Variability in the Tropical*

*Atmosphere-Ocean System: Influences of the Basic State*, *Ocean Geometry and Nonlinearity*, *Journal of Atmospheric Sciences*, 46, 1687-1712.

Bunge, L., and A. J., Clarke, 2014: *On the warm water volume and its changing relationship with ENSO*, *Journal of Physical Oceanography*, 44, 1372-1385.

Burgers, G., F.-F. Jin, and G. J. van Oldenborgh, 2005: *The simplest ENSO recharge oscillator*, *Geophysical Research Letters*, 32, L13706, doi: 10.1029/2005GL022951.

Carranza, L., 1891: *Contra-corriente marítima observada en Paita y Pacasmayo*, *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*, 1, 9, 344-345.

Carrillo, C. N., 1892: *Hidrografía oceánica*, *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*, 72-110.

Clarke A. J., S. Van Gorder and G. Colantuono, 2007: *Wind stress curl and ENSO discharge/recharge in the equatorial Pacific*, *Journal of Physical Oceanography*, 37 (4), 1077-1091.

Clarke, A. J., 2008: *An Introduction to the Dynamics of El Niño and the Southern Oscillation*, Academic Press, 324.

Clarke, A. J., 2010: *Analytical theory for the quasi-steady and low frequency equatorial ocean response to wind forcing: The "tilt" and "warm water volume" modes* *Journal of Physical Oceanography*, 40, 121-137, doi:10.1175/2009JPO4263.1.

Cushman, G., 2004: *Enclave Vision: Foreign Networks in Peru and the Internationalization of El Niño Research during the 1920s*, *History of Meteorology*, 1, 1, 65-74.

Eguiguren, V., 1894: *Las lluvias en Piura*, *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*, 241-258.

Fedorov, A. V., 2010: *Ocean response to wind variations, warm water volume, and simple models of ENSO in the low frequency approximation*, *Journal of Climate*, 23, 3855-3873, doi:10.1175/2010JCLI3044.1.

Jin, F.-F., 1997: *An equatorial recharge paradigm for ENSO: I. Conceptual model*, *Journal of Atmospheric Sciences*, 54, 811 - 829.

McCreary, J.P., 1976: *Eastern tropical ocean response to changing wind systems: with application to El Niño*, *Journal of Physical Oceanography*, 6, 632-645.

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

Murphy, R. C., 1926: *Oceanic and Climatic Phenomena along the West Coast of South America during 1925*, *Geographical Review*, Vol. 16, No. 1 (Jan., 1926), 26-54.

Suarez, M. J., and P. S. Schopf, 1988: *A delayed action oscillator for ENSO*, *Journal of Atmospheric Sciences*, 45, 3283-3287.

Takahashi, K., 2014: *Variaciones de El Niño*, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Instituto Geofísico del Perú, 1, 2, 4-7.

Thual S., B. Dewitte, N. Ayoub and O. Thual, 2013: *An Asymptotic Expansion for the Recharge-Discharge Model of ENSO*. *Journal of Physical Oceanography*, 43, 1407-1416.

Wyrtki K., 1975: *El Niño - The dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing*, *Journal of Physical Oceanography*, 5, 572-584



## Variabilidad decadal de la bondad de los pronósticos con modelos climáticos globales

Jorge Reupo<sup>1</sup> & Ken Takahashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Geofísico del Perú

### Introducción

Los modelos climáticos globales simulan el comportamiento de las condiciones físicas, biológicas y químicas futuras mediante métodos computacionales que permiten resolver aproximadamente las ecuaciones de las leyes y principios de la física que gobiernan los procesos en cada componente del sistema climático. Entonces, si se conociera el estado del sistema climático en un momento dado, se podrían utilizar estos modelos para predecir el comportamiento posterior. En el caso de El Niño y La Niña, estos modelos son nuestra principal herramienta para el pronóstico con más de tres meses de anticipación. Sin embargo, existen varios factores que afectan la calidad de estos pronósticos, por lo que la validación de los pronósticos retrospectivos de los modelos climáticos globales es fundamental para el uso y confiabilidad de los pronósticos futuros de una determinada región.

En un estudio previo (Reupo y Takahashi, 2014) se presentó la evaluación de modelos de las diversas instituciones que participan en el proyecto *National Multi-Model Ensemble* (NMME; Kirtman et al., 2013) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) de Estados Unidos, el cual es un sistema de predicción estacional experimental compuesto actualmente por cuatro modelos de Estados Unidos (NOAA NCEP CFSv2, NOAA GFDL CMC2.1, NASA GEOS5 y NCAR CCSM 3.0) y dos modelos de Canadá (CMC1-CanCM3 y CMC2-CanCM4). En esta ocasión se presentará un análisis similar pero realizado separadamente para tres periodos (1982-1990, 1991-2000, y 2001-2010), lo cual permite apreciar que la bondad de los pronósticos no es constante en el tiempo, aparentemente debido a variaciones en el sistema climático mismo.

### Metodologías

Siguiendo a Reupo y Takahashi (2014), se analizan los datos del pronóstico retrospectivo de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de los modelos de NMME, dividiéndolos en tres periodos (1982-1990, 1991-2000, 2001-2010), para cada uno de los cuales se calculan las climatologías y anomalías de TSM para cada "lead" (meses de anticipación del pronóstico). El pronóstico de cada modelo está compuesto por un grupo, o "ensemble", de simulaciones individuales ("miembros") iniciadas en tiempos ligeramente distintos de un mes "miembro". En este análisis, nuevamente, se toma el promedio de los miembros de cada ensemble de cada modelo, el cual normalmente se considera como el mejor pronóstico. Finalmente, se calcula el coeficiente de correlación lineal entre los pronósticos y los datos de reanálisis de anomalía de TSM para la región Niño 1+2 (10°S-0, 80°W-90°W) y la región Niño 3.4 (5°S-5°N, 170°W-120°W) (ver mapa en la p. 3). Los valores de este coeficiente pueden encontrarse entre -1 y 1, donde los más cercanos a uno indican un mejor pronóstico. Los valores observados de TSM pertenecen al producto de OI SST v2 de NOAA.

### Resultados

Los resultados se analizan como función del mes para el cual se hace el pronóstico y el número de meses de anticipación con que se hace (*lead*). En general la correlación disminuye cuanto mayor es el *lead*, y esta disminución es mayor en la región Niño1+2 para los tres periodos ya mencionados en comparación con los otros tres periodos para la región Niño 3.4. Dichas correlaciones se muestran en las Figuras 1 y 2, donde se presentan los valores para los modelos CFS2 y NASA, respectivamente.

En cuanto a la región Niño 1+2 en el Pacífico oriental, que es donde se calcula el Índice Costero El Niño (ICEN; ver Takahashi et al., 2014), los resultados indican:

- Periodo 1982-1990: Los cinco modelos presentan correlaciones altas, entre 0.7 y 0.9, para los meses entre diciembre y mayo, con tiempo de pronóstico de seis *leads* (meses); por otro lado, las correlaciones decaen más rápidamente para los meses entre junio y noviembre, manteniéndose altas solo hasta un *lead* de dos meses y con valores menores a 0.5 después del cuarto *lead*.
- Periodo 1991-2000: Los resultados son similares al periodo anterior. Todos los modelos, excepto el CFS, muestran correlaciones altas, entre 0.6 y 0.9, entre diciembre y mayo hasta el *lead* cinco (el modelo CFS solo lo muestra hasta el *lead* dos). Para los meses de junio y julio, las correlaciones son menores a 0.3 a partir del cuarto *lead*. Los modelos muestran un decaimiento entre los meses de julio y setiembre, particularmente en CMC1 y CFS2 después del *lead* seis, con valores menores a 0.2.
- Periodo 2001-2010: Los coeficientes de correlación son fuertemente menores respecto a los dos periodos anteriores. Incluso, para los pronósticos para febrero y marzo que se encontraban entre los meses con mejores predicciones en los periodos anteriores, se observan índices de correlación negativos desde los primeros *leads*, con valores entre -0.4 y -0.2. Correlaciones negativas implican que los pronósticos fueron en promedio lo opuesto de la realidad. También se observan valores negativos para los meses de abril a agosto para *leads* mayores que tres meses. Sin embargo, se mantienen los valores entre 0.5 y 0.8 para los *leads* entre uno y cinco meses para los pronósticos de los meses de setiembre a enero.

Para la región Niño 3.4, en el Pacífico central, también hay una reducción de las correlaciones en el último periodo, pero las diferencias son más sutiles. En el primer periodo se observan valores entre 0.5 y 0.9 en los cinco modelos hasta el *lead* tres, mostrando un decaimiento en los últimos *leads* entre junio y setiembre (los

# Variabilidad decadal de la bondad de los pronósticos con modelos climáticos globales

Reupo J. & Takahashi K.

valores menores de estos meses se observan en el modelo GFDL). En el segundo periodo se observan índices de correlación entre 0.6 y 1 para los cuatro primeros leads, sus valores descienden en los últimos *leads* de los meses entre junio y octubre. En el último periodo los índices de correlación disminuyen solo en los *leads* entre siete y nueve, comparándolos con los dos periodos anteriores con valores entre 0.3 y 0.1 en los meses de mayo a octubre.

## Discusión

En resumen, las correlaciones entre los pronósticos y lo observado son sustancialmente menores para el periodo 2001-2010 comparado con los dos anteriores (1982-1990 y 1991-2000), siendo la reducción más dramática para la región Niño 1+2, frente a Sudamérica. Incluso las correlaciones llegan a ser negativas en los meses de febrero y marzo, señalando una baja predictibilidad para el periodo de lluvias en la costa norte. La implicancia práctica de este resultado es que, si bien los modelos continúan siendo la principal herramienta de pronóstico con varios meses de anticipación, se debe ser muy cuidadoso con cómo se interpretan los resultados, teniendo en mente las posibles fuentes de error, monitoreando el desempeño de los pronósticos, y aplicando un firme conocimiento teórico de los procesos físicos que subyacen a estos pronósticos.

Esta baja correlación podría estar asociada a la predominancia de los eventos "El Niño Modoki" (Ashok et al., 2007; ver Takahashi, 2014), una de cuyas características incluye anomalías de temperatura superficial principalmente en el Pacífico central y una débil señal frente a Sudamérica. El cambio en las características de El Niño y su predictibilidad podría estar asociado a cambios decadales en el clima del Pacífico, que podrían ser tanto naturales como producidos por el hombre. Barnston y Tippett (2013), quienes encontraron resultados similares para el modelo CFS2 y su versión anterior, atribuyen los cambios en predictibilidad a las variaciones decadales en los errores promedio del modelo. Los efectos de la variabilidad decadal y el cambio climático sobre El Niño y su predictibilidad es un tema de estudio actual.

## Referencias

Ashok, K., S.K. Behera, S.A. Rao, H. Weng, and T. Yamagata, 2007: *El Niño Modoki and its possible teleconnections*, *Journal of Geophysical Research*, 112.

Barnston, A. G., M. K. Tippett, 2013: *Predictions of Niño3.4 SST in CFSv1 and CFSv2: a diagnostic comparison*, *Climate Dynamics*, 41, 1615–1633, doi:10.1007/s00382-013-1845-2.

Kirtman, B. P. y coautores, 2013: *The North American Multi-Model Ensemble (NMME): Phase-1 Seasonal to interannual prediction, Phase-2 Toward developing intra-seasonal prediction*, *Bulletin of the American Meteorological Society*, doi:10.1175/BAMS-D-12-00050.1.

Reupo, J. y K. Takahashi, 2014: *Validación de pronósticos con modelos globales: Correlaciones de TSM (1982-2010)*, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 1, N°1, Enero, Instituto Geofísico del Perú.

Takahashi, K., 2014: *Variaciones de El Niño*, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 1, No.2, Febrero, Instituto Geofísico del Perú.

Takahashi, K., K. Mosquera, J. Reupo, 2014: *El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización*, *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del fenómeno El Niño"*, Vol. 1, No.2, Febrero, Instituto Geofísico del Perú.

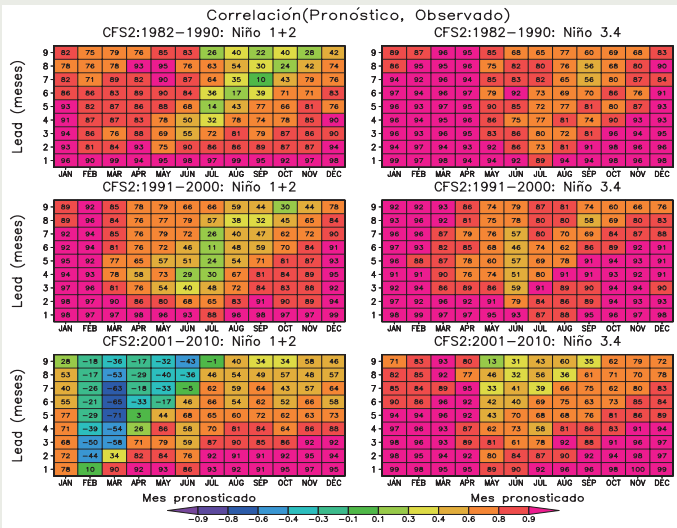


Figura 1. Coeficientes de correlación lineal entre el pronóstico mensual de anomalía de TSM del modelo NOAA NCEP CFS v2 y observaciones (OI SST v2 de NOAA) en las regiones Niño 1+2 (izquierda) y 3.4 (derecha) para los periodos 1982-1990 (arriba), 1991-2000 (medio) y 2001-2010 (abajo); los valores indicados en texto fueron multiplicados por el factor 100.

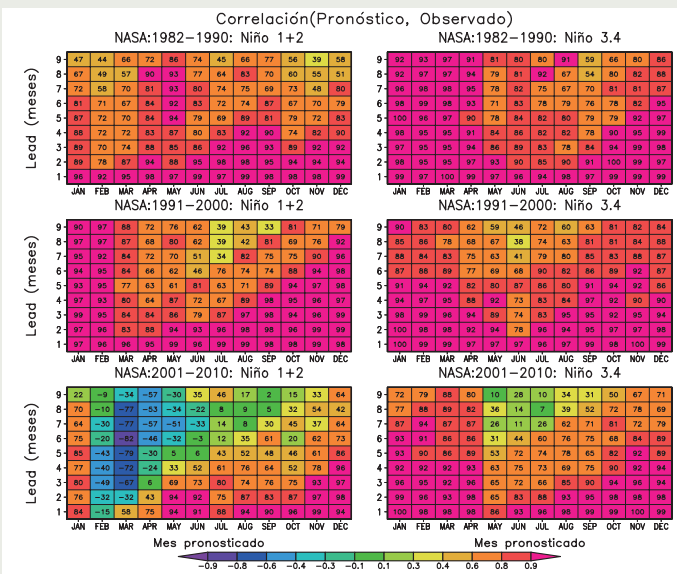


Figura 2. Similar a la Figura 1, pero para el modelo NASA GEOS5.

## Especialistas y colaboradores del IGP participan en III Encuentro de Investigadores Ambientales en Piura



En el marco del Proyecto Manglares, se realizaron un total de 16 presentaciones.

Del 13 al 15 de agosto especialistas de las áreas de Variabilidad y Cambio Climático y Geofísica & Sociedad, así como colaboradores del proyecto “Impacto de la Variabilidad y Cambio Climático en el Ecosistema de Manglares de Tumbes” del Instituto Geofísico del Perú (IGP), participaron en el Tercer Encuentro de Investigadores Ambientales (IIIEIA), iniciativa con la cual el Ministerio del Ambiente - Dirección General de Investigación e Información Ambiental - busca promover la innovación e investigación científica en nuestro país.

La organización del evento estuvo a cargo de varias instituciones, como la Universidad Nacional de Piura (UNP), Universidad de Piura (UDEP), el Ministerio del Ambiente (MINAM), y el mismo IGP, entre otras. En la edición de este año se difundió la agenda de investigación ambiental que el MINAM está implementando en coordinación con el mundo académico con la finalidad de acercar el conocimiento científico a las instituciones públicas.

En el marco del IIIEIA, el personal del Proyecto Manglares realizó un total de 16 exposiciones, la mayoría de las cuales dentro de la Sesión Especial dedicada a los estudios que investigadores y colaboradores del mencionado proyecto vienen desarrollando.

Por otro lado, el día 13, destacaron las ponencias del Dr. Ken Takahashi, quien presentó el Proyecto Manglares y explicó en forma general los efectos de El Niño y el cambio climático sobre este ecosistema, así como del Dr. Sergio Morera, quien expuso sobre la “Erosión y dinámica del transporte de sedimentos desde los Andes centrales hacia la costa del Océano Pacífico (Perú)”, donde mostró el fortísimo efecto que los eventos El Niño extremos tienen sobre estos sedimentos. El Ing. Rodolfo Rodríguez (UDEP), colaborador del proyecto, disertó sobre sus estudios de dendrocronología en el norte del Perú. También hubieron presentaciones de estudiantes del proyecto sobre los nuevos registros para el Perú de Poliquetos de la Familia *Spionidae* (C. Gutiérrez) y la

comparación de la Poliquetofauna asociada a las poblaciones de concha negra “*Anadara Tuberculosa*”(R. Cabanillas). Además, la Ing. Yakelyn Ramos expuso sobre la “Corrección de la precipitación de los escenarios de cambio climático en la costa norte del Perú basado en un modelo físico empírico”.

El día 14, en la sesión dedicada al Proyecto Manglares, se hicieron presentaciones sobre los eventos extremos de lluvia y transporte de sedimentos durante El Niño (K. León, J. Quincho) y el efecto de la colmatación resultante en el ciclo de mareas (J. Fajardo), así como sobre la biogeoquímica del manglar (A. Pérez); el control de las mareas sobre la distribución espacial de las especies de mangle (C. Parra) así como el efecto de la variabilidad en los ríos en el crecimiento anual de los mangles (U. González). Además del ambiente, se discutió cómo las actividades humanas afectan recursos naturales importantes tales como el cangrejo de manglar (J. Vitor) y la concha negra (M. Azabache), así como otras actividades productivas y de gestión (Mag. A. Martínez, L. Céspedes) y, en general, los servicios que proporciona el ecosistema (D. Flores).

Cabe recordar que el Proyecto Manglares se viene ejecutando por el IGP desde el 2012 gracias al financiamiento del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC, Canadá) y con la participación de importantes instituciones del Estado (MINAM, SERNANP, IMARPE) y del mundo académico (Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Universidad Nacional de Tumbes, Universidad Nacional de Piura, Universidad de Piura, UNALM, UPCH, Universidad Técnica de Dresden). Entre sus objetivos, se propone fortalecer los estudios sobre los procesos físicos vinculados a la variabilidad y cambio climático en el ecosistema de los manglares de Tumbes y analizar sus impactos. Además, quiere realizar una evaluación de la vulnerabilidad socioeconómica de la población vinculada a la zona de intervención con la finalidad de valorar sus recursos naturales.

# Resumen del Informe Técnico

## PPR/El Niño - IGP/ 2014 - 08

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

### Resumen

Según el Índice Costero El Niño (ICEN), las condiciones climáticas frente a la costa peruana son cálidas moderadas para el mes de julio de 2014. Con este resultado se puede decir formalmente que el Perú está pasando por un evento El Niño que ha alcanzado, por el momento, la magnitud débil.

Los productos observacionales a lo largo de la línea ecuatorial y el modelo lineal indican que existe actividad de una onda Kelvin cálida. Considerando una velocidad aproximada de 2.6 m/s, la señal de la onda debe arribar a la costa alrededor de inicios del mes de setiembre y se extendería hasta fines del mismo mes.

### Índice Costero El Niño

Utilizando los datos de temperatura superficial del mar promediados sobre la región Niño 1+2, actualizados hasta agosto de 2014, del producto ERSST v3b y 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 julio de 2014. Los valores recientes hasta esa fecha son:

Año	Mes	ICEN	Condiciones costeras del mes
2014	Abril	-0.15	Neutro
2014	Mayo	0.47	Cálida Débil
2014	Junio	1.03	Cálida Moderada
2014	Julio	1.19	Cálida Moderada

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

Según el ICEN del mes de julio, **la condición climática de este mes clasifica como cálida moderada**. Se recuerda que para declarar El Niño o La Niña en la costa, las condiciones costeras del mes deben ser cálidas o frías por al menos tres meses consecutivos, respectivamente (ENFEN, 2012). Por lo tanto, frente a las tres últimas condiciones cálidas continuas (mayo, junio y julio; ver Tabla 1), se establece, formalmente, la presencia de un

evento **EL NIÑO COSTERO DE MAGNITUD DÉBIL** hasta el momento.

### Pronóstico a corto plazo con modelo de ondas y observaciones

Actualmente el IGP cuenta con datos observacionales alternativos para el monitoreo de las ondas ecuatoriales adicionales a los datos de TAO (Takahashi et al., 2014). En particular, se han producido diagramas longitud-tiempo (Hovmöller) de las anomalías de nivel del mar calculadas de JASON-2 (Fig. 1c; Mosquera et al., 2014), de la profundidad de la isoterma de 20°C calculada de Argo (Fig. 1b; Aparco et al., 2014), y esfuerzo de viento zonal. Tanto los datos *in situ* (TAO y Argo) como remotos (JASON-2) indican la presencia de una onda Kelvin cálida. Considerando una velocidad aproximada de 2.6 m/s (Mosquera et al., 2014), la onda debe arribar alrededor de los primeros días de setiembre.

Los modelos oceánicos lineales del IGP (Mosquera, 2009, 2011, 2014) con la profundidad referencial de la termoclina uniforme (LOM1) y profundidad variable (LOM2), fueron forzados con anomalías de vientos superficiales obtenidas del NCEP-CDAS hasta el 29 de agosto de 2014. Este modelo es luego corrido en modo de pronóstico con las anomalías de viento i) igualadas a cero (LOM1a y LOM2a), y ii) iguales al promedio de los últimos 30 días (LOM1b y LOM2b). El mismo procedimiento es aplicado para el modelo lineal forzado con ASCAT.

En general, los modelos lineales, forzados con NCEP y ASCAT, indican la presencia de esta onda, al igual que los productos observacionales alternativos, pero con un ligero adelanto en el tiempo de llegada.

### Pronóstico estacional con modelos climáticos

Para los próximos tres meses, el promedio de los pronósticos de la ATSM en el Pacífico oriental (Niño 1+2, ICEN) por los siete modelos numéricos de las agencias internacionales analizados con condiciones iniciales del mes de agosto, indican condiciones cálidas moderadas en el promedio trimestral de julio-agosto-setiembre (JAS) y débiles en los siguientes dos, agosto-setiembre-octubre (ASO) y setiembre-octubre-noviembre (SON), con siete y ocho modelos numéricos, respectivamente. Por lo tanto, los modelos numéricos pronostican una condición El Niño que persistiría al menos en lo que resta del invierno, con

# Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2014 - 08

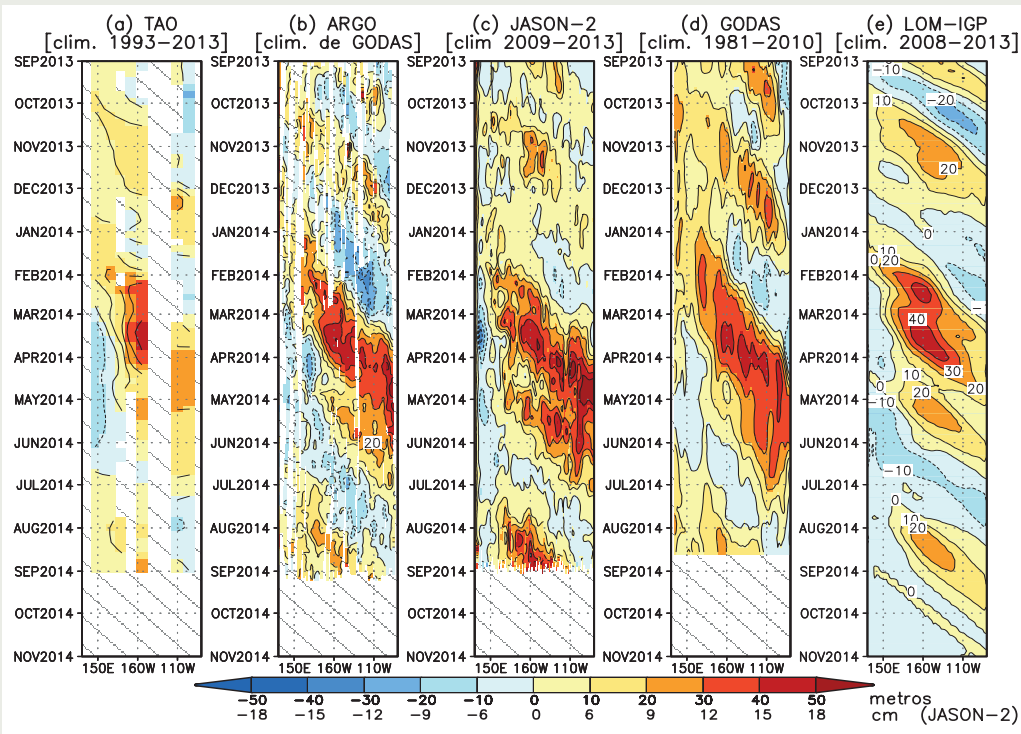


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo a lo largo de la línea ecuatorial de la anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C (a, b, d y e) y del nivel del mar (c). Los datos son de a) las boyas TAO/TRITON, b) los derivadores Argo, c) el altímetro satelital JASON-2, d) el sistema de asimilación de datos GODAS, y e) el modelo LOM-IGP (forzado por ASCAT y  $\tau_{\text{aux}}=0$  para el pronóstico). Las líneas diagonales representan una propagación hacia el este con velocidad de 2.6 m/s. (Elaboración: IGP).

un máximo calentamiento en julio pasado.

Para los próximos tres meses, los pronósticos de la ATSM en el Pacífico central (Niño 3.4) por los modelos numéricos de las agencias internacionales continúan indicando una tendencia hacia condiciones cálidas débiles.

Para finales del año, los escenarios en el Pacífico oriental (Niño 1+2, ICEN) de los modelos de las agencias internacionales indican condiciones neutras (dos de ocho) y entre débiles (seis de ocho modelos). Para enero y febrero de 2015, seis de los ocho modelos indican que las condiciones serían cálidas débiles esos meses, mientras que los otros dos modelos indican condiciones neutras.

Para finales del año 2014, los escenarios en el Pacífico central de los modelos de las agencias internacionales indican condiciones cálidas, principalmente entre débiles y moderadas.

## Conclusiones

1. El valor del ICEN del mes de julio es de 1.19 °C (condición cálida moderada). Durante los tres últimos meses los valores del ICEN fueron de condiciones cálidas, lo cual **confirma la presencia de un evento El Niño costero de magnitud débil**. Mientras que el ICEN temporal para el mes de agosto indica un valor de 1.02°C, dentro del rango de cálida moderada, este valor será confirmado con el valor de ERSST del mes de setiembre. De cumplirse esto,

la magnitud del presente evento aumentaría a moderada.

2. Para los próximos tres meses, los pronósticos de la ATSM en el Pacífico oriental (Niño 1+2, ICEN) por los siete modelos numéricos de las agencias internacionales analizados con condiciones iniciales de agosto, indican, en promedio, condiciones cálidas moderadas para JAS y cálidas débiles para ASO y SON. El máximo valor habría sucedido en el mes de julio.

3. Para los próximos tres meses, los pronósticos de la ATSM en el Pacífico central (Niño 3.4) por los modelos

Modelo	Pronóstico	Inicio	Extremo	Final
CFS2	EN moderado	Mayo 2014	Julio 2014	Febrero 2014
CMC1	EN moderado	Mayo 2014	Julio 2014	Febrero 2014
CMC2	EN moderado	Mayo 2014	Agosto 2014	Febrero 2014
GFDL	EN moderado	Mayo 2014	Julio 2014	Setiembre 2015
NASA	EN moderado	Mayo 2014	Julio 2014	Febrero 2015
NCAR	EN moderado	Mayo 2014	Julio 2014	Febrero 2015
GFDL_FLOR	EN moderado	Mayo 2014	Julio 2014	Agosto 2015
NCAR_CCSM4	EN moderado	Mayo 2014	-	-
NMME(prom)	EN moderado	Mayo 2014	Julio 2014	Febrero 2015
ECMWF	EN	-	Julio 2014	-

Tabla 2. Pronósticos de evento El Niño/La Niña en la costa según modelos climáticos con condiciones iniciales de agosto 2014.

# Resumen del Informe Técnico

## PPR/El Niño - IGP/ 2014 - 08

numéricos de las agencias internacionales continúan indicando una tendencia hacia condiciones cálidas débiles.

4. Para finales del año, los escenarios en el Pacífico oriental (Niño 1+2, ICEN) de los modelos de las agencias internacionales indican condiciones entre débiles (seis de siete modelos) y neutrales (dos de ocho). Para enero y febrero de 2015, seis de los ocho modelos indican que las condiciones serían cálidas débiles esos meses, mientras que los otros dos modelos indican condiciones neutras.

5. Para finales del año 2014, los escenarios en el Pacífico central de los modelos de las agencias internacionales indican condiciones cálidas, principalmente entre débiles y moderadas.

6. Los productos observacionales a lo largo de la línea ecuatorial y el modelo lineal indican que existe actividad de una onda Kelvin cálida. Considerando una velocidad aproximada de 2.6 m/s, la señal de la onda debe arribar a la costa alrededor de inicios del mes de setiembre y se extendería hasta fines del mes.

## Referencias

Aparco J., K. Mosquera y K. Takahashi, 2014: Flotadores Argo para el cálculo de la anomalía de la profundidad de la termoclina ecuatorial (Aplicación Operacional), Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Vol. 1, No. 5, Mayo, Instituto Geofísico del Perú.

Barnston, A., M. Tippett, M. L'Heureux, S. Li, D. DeWitt, 2012: Skill of Real-Time Seasonal ENSO Model Predictions during 2002-11: Is Our Capability Increasing? Bulletin of the American Meteorological Society, 93, 5, 631-351.

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

Mosquera, K., 2009: Variabilidad Intra-estacional de la onda de Kelvin ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): Simulación Numérica y datos observados, Tesis para optar el grado de Magíster en Física - Mención Geofísica en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Mosquera, K., 2014: Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Vol. 1, No. 1, Enero, Instituto Geofísico del Perú.

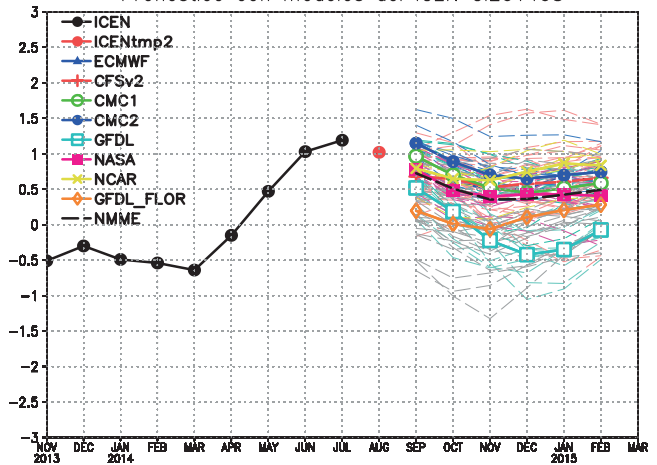
Mosquera, K., B. Dewitte y P. Lagos, 2011: Variabilidad Intra-estacional de la onda de Kelvin ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): simulación numérica y datos observados, Magistri et Doctores, Revista de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 5, 9, 55.

Mosquera, K., D. Pareja y K. Takahashi, 2014: Altimetría Satelital para el monitoreo de la onda Kelvin ecuatorial en el Océano Pacífico, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Vol. 1, No. 4, Abril, Instituto Geofísico del Perú.

Reupo, J., 2011: Evaluación y desarrollo de metodologías para el pronóstico estacional de anomalías de la temperatura en el mar peruano asociadas al Fenómeno El Niño y otros, Compendio de trabajos de investigación realizado por estudiantes, Vol. 12, Instituto Geofísico del Perú.

Takahashi, K., K. Mosquera, D. Pareja, J. Reupo y J. Aparco, 2014: Monitoreo del Pacífico ecuatorial, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Vol. 1, No. 3, Marzo, Instituto Geofísico del Perú.

Pronóstico con modelos del ICEN CI201408



Preparación: IGP(Perú), Datos: NOAA ERSST v3b (ICEN), proyecto NMME (NOAA, DoE, NASA, NSF), ECMWF (estimado visualmente de mapas públicos)

Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y sus valores temporales (ICENTmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de tres meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Las líneas entrecortadas corresponden a los miembros de los "ensembles". Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA, GFDL\_FLOR y NCAR\_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de julio de 2014. El modelo ECMWF tiene como condición inicial el mes de junio de 2014. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME, ECMWF).

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



### COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 13 - 2014 CONTINÚAN CONDICIONES OCÉANO-ATMOSFÉRICAS NORMALES EN LA COSTA PERUANA

El Comité encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar y actualizar la información de las condiciones meteorológicas, oceanográficas, biológico-pesqueras e hidrológicas del mes de agosto, observándose en general, que se mantienen las condiciones neutras de la temperatura del mar, de la temperatura del aire y del nivel medio del mar a lo largo de la costa peruana.

Por otro lado, se confirma que El Niño Costero alcanzó una magnitud débil en el presente invierno.

Para fines de año, aún no se descarta la reactivación de condiciones cálidas; sin embargo, se descarta el desarrollo de un evento El Niño extraordinario.

Durante el mes de agosto, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) presentó una configuración zonal atípica al periodo de invierno y permaneció débil en su centro de alta presión, presentando una anomalía de hasta -4 hPa. La constante entrada de sistemas polares fríos y bifurcación del APS hacia el occidente permitió el declive de la ocurrencia de vientos fuertes sobre el litoral peruano, inusual para la temporada, manteniendo la persistencia de anomalías positivas de la temperatura superficial del mar alrededor de 1.0°C en la región Niño 1+2.

En el litoral peruano, la temperatura superficial del mar y el nivel medio del mar presentaron valores alrededor de su normal, mientras que la temperatura máxima y mínima del aire continuaron mostrando, en general, una tendencia a la normalización.

El Índice Costero El Niño (ICEN), cuyo monitoreo se realiza en la región Niño 1+2, indicó un valor temporal (ICEN<sub>temp</sub>)<sup>1</sup> cálido para el mes de agosto, mostrando hasta ahora cuatro meses consecutivos de condiciones cálidas que confirmaron la presencia de El Niño Costero de magnitud débil.

La anchoveta inició el periodo de desove y su distribución vertical mostró una profundización, al norte de Pisco (13°S).

Al terminar el año hidrológico (septiembre de 2013 -

agosto de 2014) se presentaron caudales cercanos a los promedios históricos en la zona norte, mientras que en la zona sur, los caudales continuaron por debajo de lo normal.

Los principales reservorios registraron 67% y 36% de la capacidad de almacenamiento en la costa norte y en la costa sur, respectivamente, disminuyendo con respecto al mes anterior debido a la entrega del recurso hídrico a los valles.

### PERSPECTIVAS

En el océano Pacífico ecuatorial, se observa la propagación de una onda Kelvin cálida débil cuyo núcleo estaría arribando a la costa peruana entre la tercera y cuarta semana de septiembre.

En la costa peruana se espera que durante el mes de septiembre, la temperatura superficial del mar, la temperatura del aire y el nivel medio del mar, continúen con valores alrededor de su normal, con un leve incremento principalmente en la costa norte, debido a la llegada de la onda Kelvin.

Para fines de año, en la región Niño 1+2, los modelos numéricos indican condiciones entre neutras a cálidas débiles. Mientras que para la región central del océano Pacífico ecuatorial (región Niño 3.4) muestran condiciones cálidas de débiles a moderadas.

El Comité Multisectorial ENFEN, de acuerdo con el análisis de las condiciones actuales y los resultados de los modelos numéricos, no descarta la reactivación de las condiciones cálidas para fines de año y ratifica que no se espera el desarrollo de un evento El Niño extraordinario.


El Comité ENFEN continuará monitoreando e informando sobre la evolución de las condiciones actuales.

Callao, 05 de septiembre de 2014

<sup>1</sup> ICEN<sub>temp</sub>: Valor temporal del Índice Costero El Niño (ICEN). Se calcula igual que el ICEN pero reemplazando los datos mensuales faltantes con datos observados semanales y pronósticos mensuales consensuados por el Comité Técnico del ENFEN. El ICEN<sub>temp</sub> tiene un carácter transitorio y su valor se reemplazará por el ICEN correspondiente cuando se tengan disponibles los datos necesarios.





© 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](http://twitter.com/igp_peru)

En el marco del:

