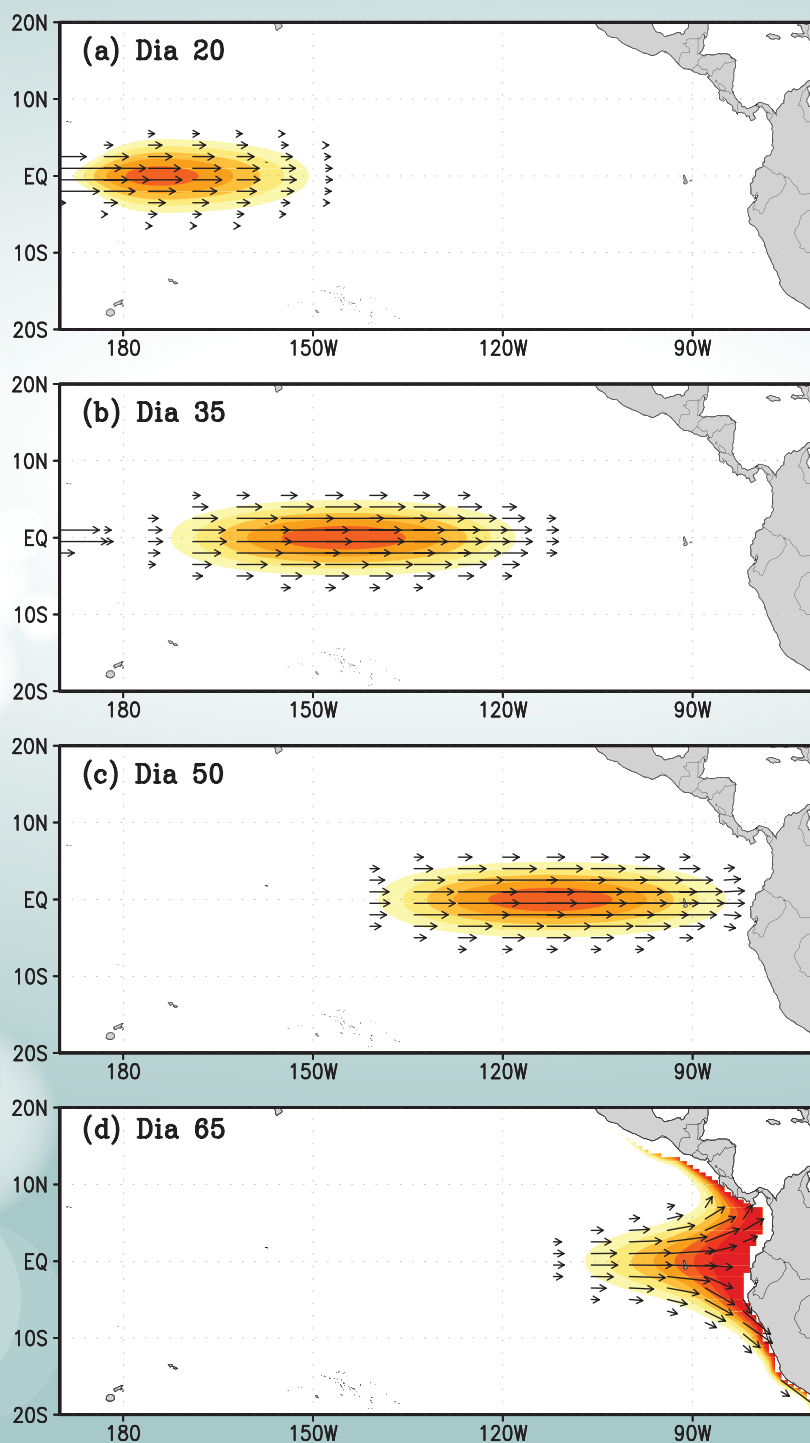


Programa Presupuestal por Resultados N° 068: "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres" Producto: "Entidades informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño"

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

Boletín Técnico



Contenido

2 - 3 Introducción

4 - 7 Artículo Científico

8 - 9 Avances de Investigación

10 - 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 del 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

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

Impreso por:
Letra Gráfica SAC
Jr. Emilio Althaus 460 lince
Teléfono: (511) 471 0700

Lima, febrero del 2014

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

Introducción

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

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) viene participando en el Programa Presupuestal por Resultados 068: “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. A partir del año 2014, algunas de las instituciones integrantes del Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) participan en este PPR con el producto denominado “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.

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.

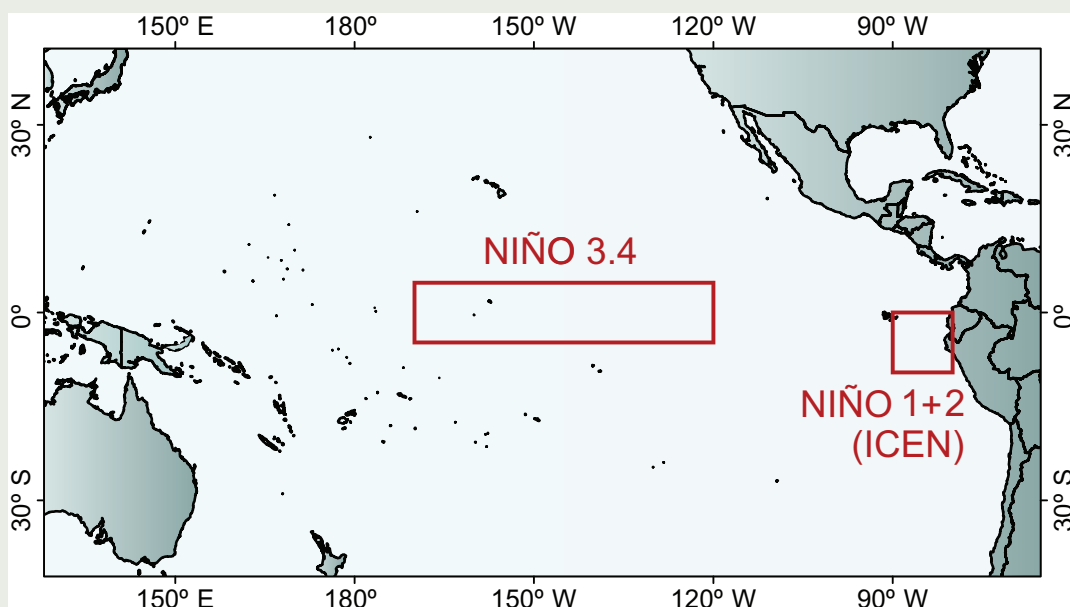
El ENFEN es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno del Niño y otros asociados.

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 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.

Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico

La costa peruana, caracterizada por su alta productividad pesquera, esto como consecuencia del intenso afloramiento costero que existe en la región, está sometida cada cierto tiempo a cambios en su variación estacional en parámetros físicos claves como la temperatura del mar. Estos cambios pueden deberse a procesos físicos locales, como por ejemplo los vientos alisios, o a forzantes remotos provenientes de las regiones externas a la costa peruana (Enfield, 1987; Mosquera, 2008).

Uno de los procesos físicos remotos que impactan continuamente la costa peruana son las conocidas ondas Kelvin oceánicas ecuatoriales (de aquí en adelante simplemente ondas Kelvin), las cuales son ondas de gravedad modificadas por la rotación de la Tierra. Estas perturbaciones pueden ser formadas por los vientos zonales (con dirección este-oeste) en el Pacífico ecuatorial o por el rebote de las ondas Rossby (otro tipo de onda ecuatorial) en la frontera occidental del Pacífico y tienen la característica de desplazarse en dirección al este con una velocidad típica de 2 a 3 metros por segundo. Esto quiere decir, por ejemplo, que si una onda Kelvin se formó en el centro del Pacífico ecuatorial (longitud 180°), entonces esta demorará entre 1.5 meses y 2 meses, aproximadamente, en llegar a la costa de Sudamérica (ver Figura 1). Es necesario señalar que diversos procesos físicos (dispersión modal, interacción con las corrientes promedio y otros) pueden cambiar la velocidad y propiedades de estas ondas.

La onda Kelvin siempre se propaga de oeste a este a lo largo de la línea ecuatorial y puede ser de dos tipos:

1) Onda Kelvin cálida o de hundimiento (*downwelling Kelvin wave* en inglés), que se caracteriza por temperatura subsuperficial anómalamente cálida, termoclina¹ más profunda, elevación del nivel del mar y anomalías de corrientes de oeste a este (ver Figura 2).

¹Capa en el interior del océano que divide las aguas cálidas superficiales de las frías más profundas y que se manifiesta como el máximo gradiente vertical de la temperatura del mar. En el Pacífico ecuatorial, la profundidad de la termoclina coincide aproximadamente con la profundidad de la isoterma de 20°C.



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.

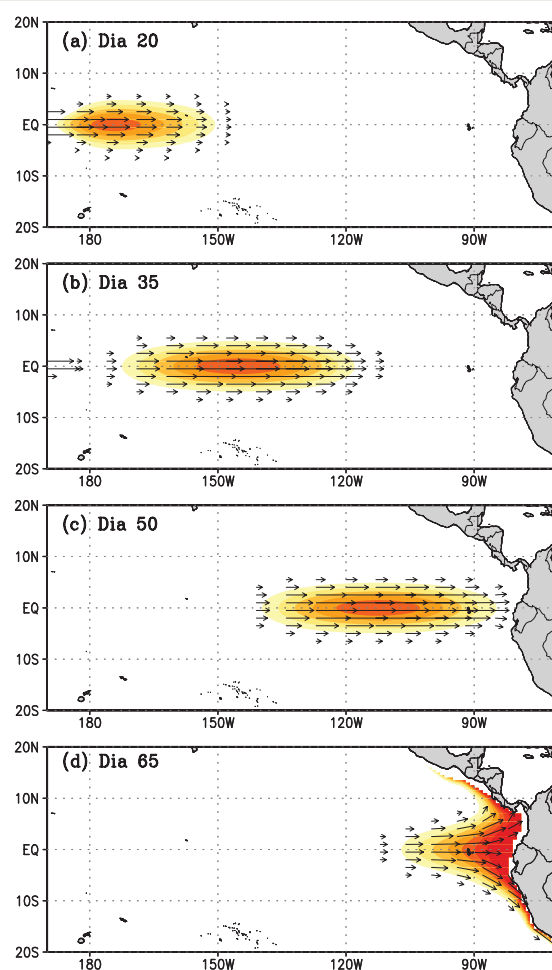


Figura 1. Simulación con el LOM-IGP de la propagación de una onda de Kelvin ecuatorial forzada por un pulso de vientos del oeste ecuatorial centrado en 170°E durante 30 días con un pico máximo de 9 m/s en el día 15. Solo se muestran las anomalías positivas mayores a 2 cm para el nivel del mar (colores, contornos cada 1 cm) y 2 cm/s para las corrientes zonales (flechas). En cada panel se indica el número de días después del pico máximo del viento.

Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico

Mosquera K.

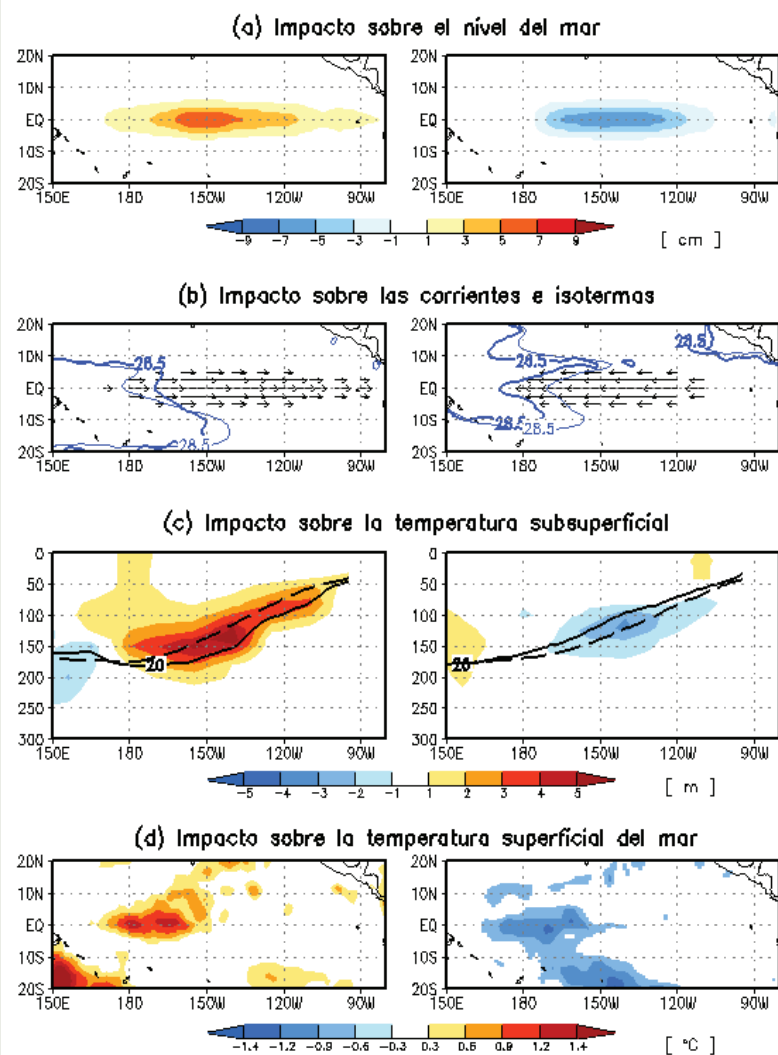


Figura 2. Impacto de la onda Kelvin de hundimiento (izquierda) y afloramiento (derecha) sobre las variables de (a) nivel del mar de LOM-IGP, (b) corrientes zonales e isothermas de 28.5° LOM-IGP y TSM de Reynolds (el total se muestra en línea azul gruesa mientras que la climatología en línea delgada), (c) temperatura subsuperficial de TAO (la línea negra gruesa es la profundidad de la isoterma de 20°C, mientras que la línea negra cortada es la climatología de la misma variable), y (d) TSM de Reynolds. Los paneles de la izquierda pertenecen aproximadamente a enero de 2002 (setiembre de 2008). Los valores originales han sido ligeramente modificados para un mejor entendimiento de los procesos físicos.

ejemplo, según Bertrand et al. (2008), la llegada de una onda cálida puede provocar que la anchoveta se concentre y se profundice en la costa peruana, lo que lleva a los barcos pesqueros a disminuir básicamente el área de exploración y el tiempo de pesca. Lo contrario sucede con la presencia de una onda Kelvin fría.

Debido al impacto de las ondas Kelvin en el mar peruano, es de suma importancia monitorizar y, si es posible, predecir el arribo de estas ondas a nuestra costa para evitar las repercusiones negativas. Una forma de realizar esto es identificando a las ondas Kelvin y su propagación mediante los datos de temperatura subsuperficial medidos por el conjunto de boyas en el Pacífico ecuatorial perteneciente al proyecto TAO/TRITON (www.pmel.noaa.gov/tao) o por medio de información del nivel del mar obtenida de los productos compuestos de TOPEX-POSEIDON/JASON (TPJ) de altimetría satelital. Asimismo, se puede recurrir a los resultados de los modelos oceánicos de circulación general de algunas agencias internacionales como el *Global Ocean Data Assimilation System* (GODAS, <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/>).

²Este proceso es conocido en la comunidad científica dedicada al estudio de El Niño como *Retroalimentación de advección zonal* ("Zonal advective feedback").

³En los grupos especializados este proceso se conoce como *Retroalimentación de la termoclina* ("Thermocline feedback").

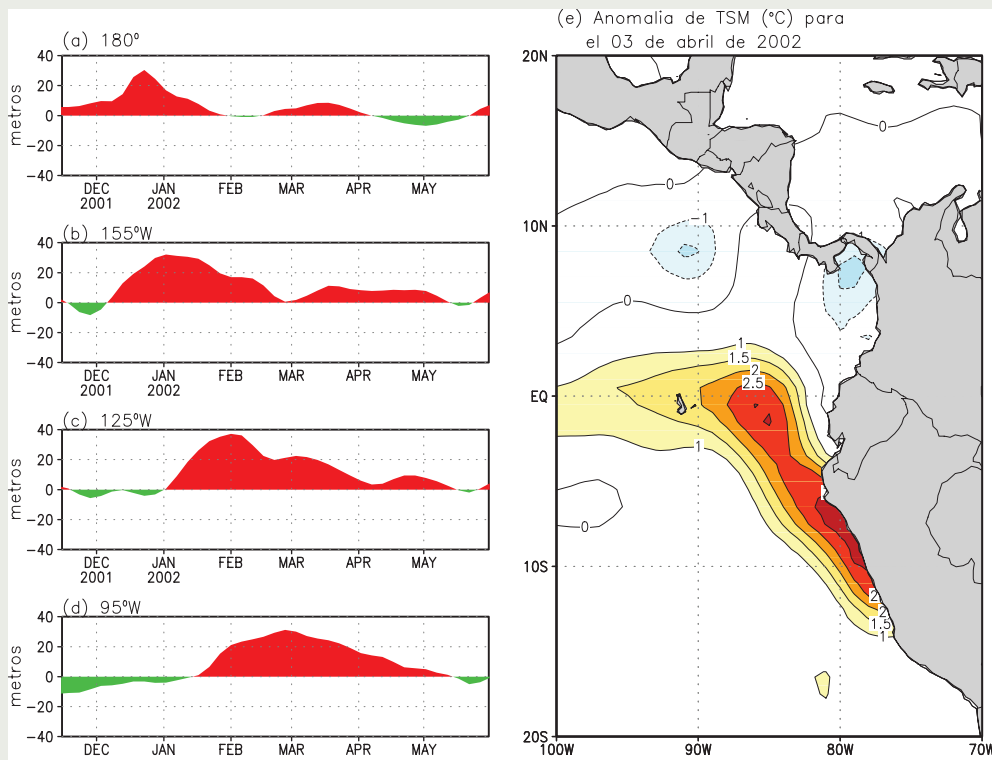


Figura 3. Las series de tiempo del lado izquierdo son anomalías de la termoclina en el Pacífico Ecuatorial calculadas de las boyas del proyecto TAO en 180° (a), 155°W (b), 125°W (c) y 95°W (d). A la derecha (e) se muestra la anomalía de TSM calculada del producto de Reynolds. Estos resultados se basan en una climatología de 2000-2013.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), como parte de sus actividades de monitorizar y estudiar el Fenómeno El Niño, utiliza desde el año 2009 un Modelo Oceánico Lineal (Mosquera, 2009; Mosquera et al., 2011, de aquí en adelante LOM-IGP) que permite diagnosticar la onda Kelvin por su manifestación en el nivel del mar y en las corrientes zonales. El LOM-IGP es un modelo simplificado del océano que asume que toda la dinámica superior del océano se puede representar con un modelo de una capa de profundidad H , cuyo límite inferior es la termoclina. Además se desprecian los términos advectivos (no-lineales). Con estas consideraciones el modelo se puede representar con las siguientes ecuaciones diferenciales parciales:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \beta y v = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_x}{\rho H} - r_2 u |u| \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \beta y u = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\tau_y}{\rho H} - r_2 v |v| \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{H g'}{g} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - r_1 \eta \quad (3)$$

⁴El "Reanalysis" es una estimación del estado de la atmósfera que incorpora observaciones y un modelo atmosférico. Anteriormente el LOM-IGP era forzado con productos de viento satelitales de QuikSCAT, pero estos datos fueron discontinuados.

Donde x e y son las direcciones oeste-este y sur-norte, respectivamente; t es el tiempo; u y v son las anomalías de las velocidades zonales y meridionales; η es la anomalía del nivel del mar; βy es el parámetro de Coriolis; g es la aceleración de la gravedad; g' es la gravedad reducida (asociada a las variaciones de densidad en la termoclina); τ_x y τ_y son las componentes zonales y meridionales de las anomalías de esfuerzo de viento, respectivamente; ρ es la densidad promedio del océano; y H es la profundidad promedio de la termoclina (que podría variar en el espacio). Los últimos términos de las ecuaciones (1) y (2) son "parametrizaciones", representaciones aproximadas de algunos términos de las ecuaciones de movimiento que fueron despreciados y que, para el caso de las corrientes, son sugeridos por Boulanger (2001).

Actualmente en el IGP el modelo es forzado con las anomalía (valores por encima o debajo del promedio estacional) de esfuerzo de viento (τ_x y τ_y), esto último estimado del viento a 10 metros del reanalysis de NCEP-CDAS⁴, con lo que se da un diagnóstico y predicción de dos meses de las ondas Kelvin en el Pacífico ecuatorial. La predicción se logra corriendo el modelo hacia el futuro bajo dos escenarios: 1) considerando $\tau_x = 0$ y $\tau_y = 0$ (propagación libre) y 2) considerando τ_x y τ_y igual al promedio de la anomalía del esfuerzo de viento en los últimos treinta días (persistencia de la anomalía de viento). Un ejemplo se presenta en la Figura 4 que es la típica figura que se utiliza en el ENFEN. En ésta se aprecian diagramas del tipo Longitud (oeste-este) vs Tiempo ("diagramas Hovmöller"), a lo largo de la línea

Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico

Mosquera K.

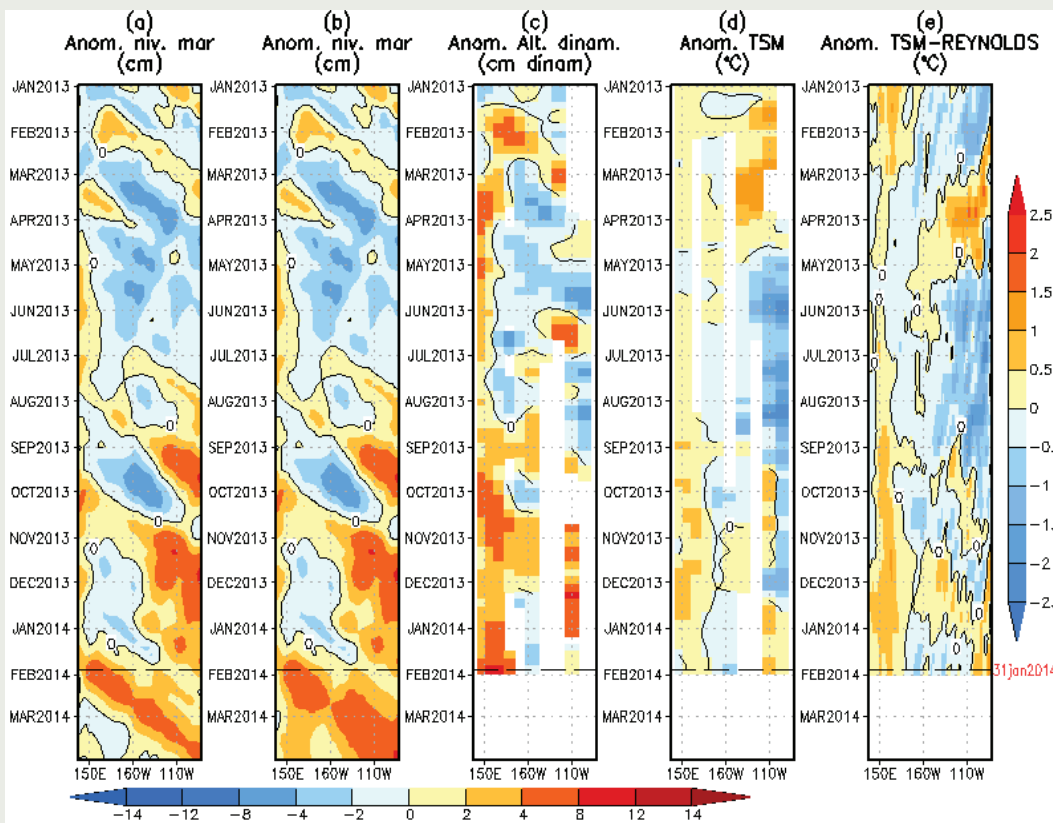


Figura 4. Anomalías (a y b) del nivel medio del mar simulado con LOM, (c) de la altura dinámica (TAO), (d y e) de la temperatura superficial del mar observada de TAO y Reynolds, respectivamente, en la región ecuatorial (2°S y 2°N). En (a) y (b) la línea cortada en color negro indica el momento en que el modelo empieza a utilizar el esfuerzo de viento igual a cero y persistida, respectivamente, para la predicción (ver fecha en color rojo a la derecha). La escala de (a), (b) y (c) se ubica abajo en forma horizontal, mientras que la escala de (d) y (e) está a la derecha (Fuente: IGP, NOAA PMEL, climatología: 2000-2013).

ecuatorial, de la anomalía del nivel del mar del LOM-IGP (Figura 4a y b), altura dinámica (Figura 4c), TSM de TAO (Figura 4d) y TSM de Reynolds (Figura 4e). Los pronósticos se muestran luego de la línea entrecortada negra (Figura 4a y b).

Es importante indicar que el LOM-IGP, como todos los modelos numéricos, no es perfecto, pero es una herramienta importante que permite establecer escenarios del posible arribo de ondas Kelvin (cálidas o frías). Las imperfecciones radican, entre otras cosas, en que esta versión del modelo no tiene una representación de la inclinación promedio de la termoclina, la cual puede afectar características de la onda Kelvin como amplitud, velocidad de propagación, estructura y propagación vertical. En particular, el modelo no representa el proceso de dispersión modal de las ondas Kelvin (Dewitte et al., 2012) o su reflexión como ondas de Rossby por la misma termoclina (Mosquera et al, 2013), particularmente alrededor de la longitud 120°W, donde la termoclina es más inclinada.

Para finalizar, es importante mencionar que en el IGP se trabaja en el entendimiento de los procesos físicos que pueden alterar las características de la onda Kelvin en su trayectoria hacia la costa. Para esto se usa información in situ y remota, así como los resultados de los modelos numéricos de circulación general y toda aquella información que nos dé una visión general de la dinámica del Pacífico ecuatorial. El análisis de esta

información nos permitirá establecer hipótesis que, una vez verificadas, servirán para establecer parametrizaciones, mejorar el LOM-IGP o implementar nuevos modelos. Todo esto con el objetivo de tener un mejor cálculo de la onda Kelvin y sus impactos en nuestra región, tanto en el diagnóstico como en el pronóstico.

Referencias

- Bertrand, S., Dewitte, B., Tam, J., Bertrand, A. and Diaz, E., 2008: Impact of Kelvin wave forcing in the Peru Humboldt Current system: Scenarios of spatial reorganization from physics to fishers. *Prog. Oceanogr.*, 79, 278-289.
- Boullanger, J.-P., 2001: The Trident Pacific model: simulating surface ocean currents with a linear model during the 1993-1998 TOPEX-POSEIDON period, *Climate Dynamics*, 17, 159-173.
- Dewitte, B., Vazquez-Cuervo, J., Goubanova, K., Illig, S., Takahashi, K., Cambon, G., Purca, S., Correa, D., Gutierrez, D., Sifeddine, A., Ortlieb, L., 2012: Change in El Niño flavours over 1958-2008 Implications for the long-term trend of the upwelling off Peru. *Deep-Sea Research Part II*, 1-14. doi:10.1016/j.dsr2.2012.04.011.
- Enfield, D., 1987: The Intraseasonal Oscillation in the Eastern Pacific: How is it forced? *Journal of Physical Oceanography*, 17, 1860-1876.
- Mosquera, K., 2008: Numerical study of the response of the ocean to a northerly wind jet in the equatorial Eastern Pacific, *Adv. Geosciences*, 14, 239-242.
- 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 Magister en Física - Mención Geofísica en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Mosquera, K., Dewitte, B. y Lagos, P., 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, p. 55.
- Mosquera-Vásquez, K., Dewitte, B., Illig, S., Takahashi, K. and Garric, G., 2013: The 2002-03 El Niño: Equatorial waves sequence and their impact on sea surface temperature. *Journal of Geophysical Research*. doi:10.1029/2012JC008551.

Validación de pronósticos con modelos globales: Correlaciones de TSM (1982-2010)

Jorge Reupo & Ken Takahashi

Instituto Geofísico del Perú

Introducción

Una de las principales herramientas con que se cuenta para realizar pronósticos climáticos con varios meses de anticipación son los modelos numéricos climáticos globales. Dichos modelos son programas computacionales que resuelven aproximadamente las ecuaciones de la física de la atmósfera, océano, etc., y permiten simular la posible evolución del sistema climático si se les proporciona lo más precisamente posible el estado actual del mismo sistema ("condiciones iniciales"). Por su alto costo computacional, este esfuerzo se realiza periódicamente en pocos centros a nivel internacional. Sin embargo, las diferentes aproximaciones y metodologías usadas llevan a diferentes resultados y generalmente no es posible saber cuál de los pronósticos es el correcto, por lo cual se evalúan estos en forma estadística para su mejor utilización.

En el IGP se desarrolla un esfuerzo de validación e intercomparación de un conjunto de modelos a nivel internacional. En el presente artículo se presenta un avance en la evaluación y análisis de los pronósticos retrospectivos¹ de anomalías de la TSM de modelos climáticos globales que conforman el *National Multi-Model Ensemble* (NMME; Kirtman et al., 2013) coordinado por 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).

Metodologías

Se toman los resultados de los pronósticos mensuales retrospectivos de la página web del NMME² del año 1982 al 2010 a excepción de NCA CCSM 3.0 por no contar con los datos. Los pronósticos tienen un alcance ("lead") de hasta 10 a 12 meses hacia el futuro. El pronóstico de cada modelo consiste en un conjunto ("ensemble") de varias

simulaciones ("miembros") con condiciones iniciales ligeramente distintas³. Para este estudio se trabajó con el promedio de cada *ensemble*, que se puede considerar como un pronóstico intermedio. Debido a que los modelos tienen un error sistemático en su estado base, el cual crece en el tiempo, las climatologías se calcularon separadamente para cada *lead* para el periodo 1982-2010.

La evaluación se centrará en el coeficiente de correlación lineal entre las anomalías de TSM observadas y las pronosticadas para las regiones Niño 1+2 (10°S-0, 80°W-90°W) y Niño 3.4 (5°S-5°N, 170°W-120°W; ver mapa en la pag. 3). Para los valores observados de TSM se utilizó el producto OI SST v2 de la NOAA.

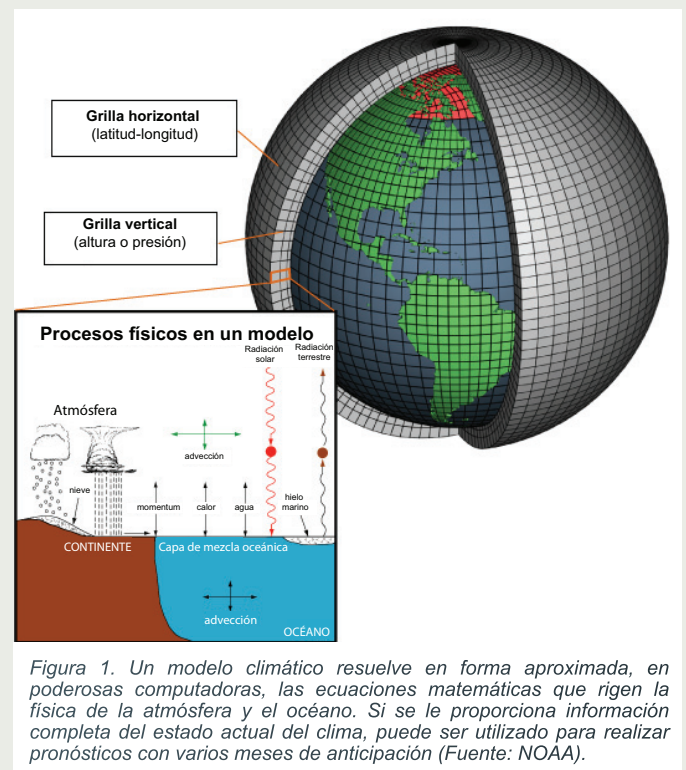


Figura 1. Un modelo climático resuelve en forma aproximada, en poderosas computadoras, las ecuaciones matemáticas que rigen la física de la atmósfera y el océano. Si se le proporciona información completa del estado actual del clima, puede ser utilizado para realizar pronósticos con varios meses de anticipación (Fuente: NOAA).

¹Los modelos en el NMME han sido recientemente desarrollados, pero han sido usados para generar pronósticos del pasado para el periodo desde el año 1982 con el objetivo de poder evaluar cuál hubiera sido su desempeño si los hubieran hecho entonces.

²<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.Models/.NMME/>.

³Esta práctica tiene como objetivo estimar el impacto del error en nuestro conocimiento de las condiciones iniciales, el cual se espera que crezca como consecuencia de la naturaleza caótica de la dinámica del sistema climático. Se espera que los miembros del ensemble se dispersen suficientemente para que este englobe la realidad.

Validación de pronósticos con modelos globales: Correlaciones de TSM (1982-2010)

Reupo J. & Takahashi K.

Resultados

Los resultados se presentan en la Figura 2 como función del mes para el cual se hace el pronóstico y el número de meses de anticipación (*lead*). Los valores de correlación más cercanos a uno indican un mejor pronóstico.

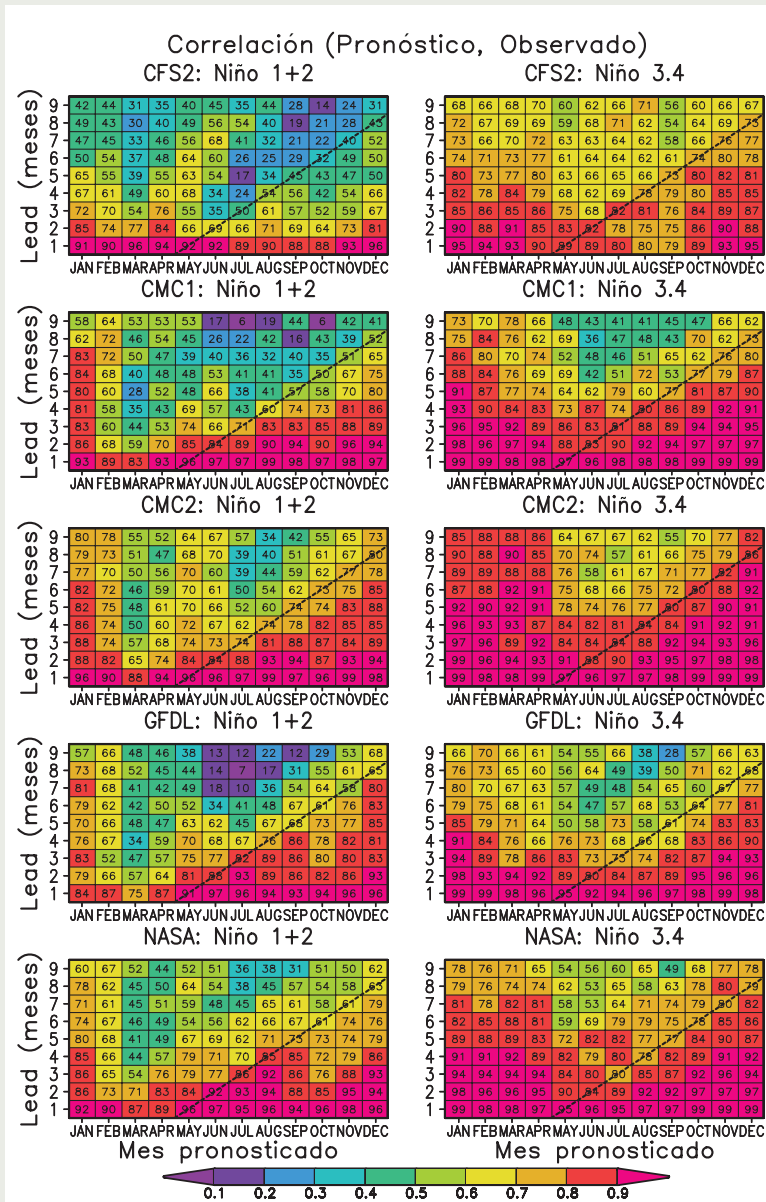


Figura 2. Coeficientes de correlación lineal entre los pronósticos de TSM y las observaciones para las regiones Niño 1+2 (izquierda) y Niño 3.4 (derecha) como función del mes para el cual se hace el pronóstico (eje horizontal) y con cuántos meses de anticipación se realiza (*lead*, eje vertical). Cada modelo corresponde a una fila. Los números en la figura están multiplicados por 100 por claridad. La línea punteada indica condiciones iniciales correspondientes a abril.

Como puede esperarse, en ambas regiones el pronóstico es mejor para *leads* pequeños y se va degradando (la correlación disminuye) a mayores *leads*. Sin embargo, en general las correlaciones son menores para la región Niño 1+2, posiblemente debido a los sustanciales errores sistemáticos en la climatología y procesos de retroalimentación en los modelos en el Pacífico oriental.

Para la región Niño 1+2, los pronósticos para enero tienen el mayor *lead* (hasta 7 meses) con correlaciones mayores que 0.8. Para los meses antecedentes, estos *leads* son menores, tal que para los pronósticos para los meses entre febrero y abril; las correlaciones mayores que 0.8 se encuentran hasta un *lead* de solo 2 meses. Una forma de describir esto es que existe una “barrera de predictabilidad”, tal que solo los pronósticos realizados con condiciones iniciales entre el mes de abril y el resto del año son buenos, y aún así estos pronósticos no pueden alcanzar más allá de enero del año siguiente, independientemente del mes inicial y el *lead*. Algo similar se observa para la región Niño 3.4, pero no tan marcado como para la Niño 1+2.

En general, los modelos de NMME muestran resultados similares entre sí y, debido al corto periodo considerado para esta evaluación, no es posible establecer si las diferencias que puedan observarse sean reales.

Discusión

El periodo de lluvias en la costa norte desafortunadamente cae justo dentro del periodo de baja predictabilidad de la TSM frente a la costa peruana. Esto puede no ser coincidencia, ya que justamente uno de los problemas más serios en los modelos es la representación de los procesos de lluvia en esta región. No es claro si la limitada predictabilidad es una propiedad intrínseca del sistema climático o un problema en los modelos.

Por otro lado, la región Niño 3.4 está controlada por procesos océano-atmósfera de gran escala, los cuales son relativamente bien comprendidos y representados en los modelos. Se debe considerar que esta región es la de mayor interés para los países en los que se corren los modelos y por lo tanto no es prioritario corregir los problemas en la región más oriental. Esto requerirá investigación científica que deberá ser liderada por los países interesados como Perú.

Es recomendable además considerar el mayor número de modelos posible para poder contar con un amplio rango de pronósticos y no descartar posibles escenarios erróneamente.

Referencias

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, in press, doi:10.1175/BAMS-D-12-00050.1.

IGP participa en crucero del proyecto AMOP para analizar la zona con mínimo oxígeno del Pacífico Este

Desde el 26 de enero hasta el 23 de febrero el Dr. Boris Dewitte, investigador visitante del laboratorio francés LEGOS en el IGP y codirector del proyecto AMOP (Actividades de Investigación dedicadas a la Mínima de Oxígeno en el Pacífico Este¹), y el Ph. D. (c) Kobi Mosquera, investigador científico del área de Variabilidad y Cambio Climático del IGP, participan, junto a más de 20 investigadores provenientes de Francia, Perú, Chile, Alemania, Dinamarca y México, en un crucero científico internacional que se desarrolla en la costa del Perú, principalmente en la zona central.

El proyecto AMOP tiene como objetivo entender la importancia de los procesos físicos y biológicos en la dinámica de la región de la Mínima de Oxígeno. Para esto, se requiere de información in situ, así como simulaciones numéricas con modelos de circulación general, previamente validados (éste es el rol del IGP-LEGOS en el proyecto), que permitan la interpretación de la información obtenida en el proyecto. Una de las actividades del proyecto AMOP consiste en realizar toma de información oceanográfica y atmosférica durante 27 días frente a la costa del Perú en un barco de investigación del IFREMER (*L'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer*) llamado L'Atalante.

La obtención de información física del océano se realiza mediante un instrumento llamado CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*) que mide información de conductividad, temperatura y presión. Este instrumento es montado en el centro de una estructura llamada Roseta Oceanográfica que contiene, a la vez, botellas (conocidas como botellas Niskin) para la toma de muestras de agua en el océano. A la fecha se ha tomado información en 18 puntos del océano, donde 6 de ellos han sido estaciones fijas. En estas últimas se estuvo alrededor de 50 horas, periodo en el cual se lanzó la Roseta al mar aproximadamente cada 3 horas.

Cabe indicar que la información recaudada del océano también será útil para obtener otros parámetros físicos que permitirán tener una visión actual de la estructura vertical del océano a alta resolución y profundidad frente a las costas del Perú.

La toma de información atmosférica se hará de manera regular en las estaciones oceanográficas para poder caracterizar la variabilidad diurna de la capa límite planetaria y relacionarla con los flujos entre el océano y

la atmósfera. Actualmente, este proceso lo lidera el Dr. Boris Dewitte.

Referencias

Zuta, S. y Guillen, O., 1970: *Oceanografía de las aguas costeras del Perú*. Boletín de IMARPE, Vol 2, No. 5.



Kobi Mosquera en plena preparación de la Roseta con botellas Niskin para obtener muestras de agua en 22 profundidades distintas. Asimismo, esta plataforma contiene el CTD (ubicado en la parte inferior central) y dos ADCPs (uno de ellos se observa en la parte superior de la roseta de color amarillo). El lanzamiento del CTD se hace cada tres horas y puede durar entre 40 minutos y hora y media (descenso y ascenso), dependiendo de la profundidad en la que se encuentre el barco.

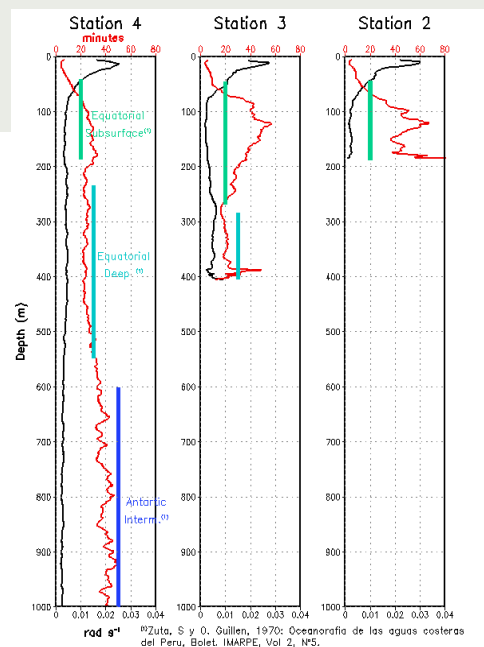


Figura 1. Perfiles verticales de la frecuencia de Brunt-Väissälä (periodo de oscilación) en línea negra (roja), cuyo eje de referencia se ubica en la parte inferior (superior) y tiene unidades de rad/s (minutos). Las líneas verticales indican las masas de agua en base a Zuta y Guillén (1970). Esto se calculó con la información de las tres primeras estaciones fijas del crucero AMOP. (Fuente: Crucero AMOP. Procesamiento: Kobi Mosquera)

¹<http://www.legos.obs-mip.fr/recherches/projets-en-cours/amop>.

IGP participa en taller internacional para proponer nuevo sistema de monitoreo climático en el Pacífico Tropical



Investigadores participantes en la reunión de La Jolla.

Del 27 al 30 de enero se realizó en la Scripps Institution of Oceanography, ubicada en La Jolla, California (EE.UU.), el taller TPOS2020 para la planificación de un nuevo sistema observacional climático internacional en el Pacífico Tropical, en el cual el Dr. Ken Takahashi, investigador del Instituto Geofísico del Perú, fue invitado para exponer una evaluación de las necesidades de información científica desde la perspectiva de Sudamérica.

Este evento tuvo gran importancia ya que el sistema de boyas “*Tropical Atmosphere Ocean*” (TAO), actualmente la principal fuente de datos para el monitoreo de las condiciones oceanográficas asociadas a El Niño, en especial de las ondas Kelvin que afectan el clima en la costa sudamericana, se ha deteriorado fuertemente en los años recientes por cuestiones presupuestales.

Si bien la *US National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) se ha comprometido a subsanar esta situación en un corto plazo, el grupo de más de cincuenta investigadores provenientes de diversas partes del mundo que se reunió en La Jolla insistió en la importancia de buscar una solución al asunto con la finalidad de asegurar el futuro del sistema de monitoreo climático en esta área de gran interés.

“Este problema es particularmente serio en el Pacífico oriental, ya que nos deja ciegos a la llegada de las ondas

de Kelvin a nuestra costa. Además, esta es una región muy problemática para los modelos climáticos y parece ser crítica para el desarrollo de los eventos El Niño más intensos”, señaló el Dr. Takahashi. El mismo investigador afirmó que “...una de las recomendaciones del taller fue buscar alianzas con países como el Perú, que se benefician directamente del sistema observacional, para asegurar la sostenibilidad del mismo”.

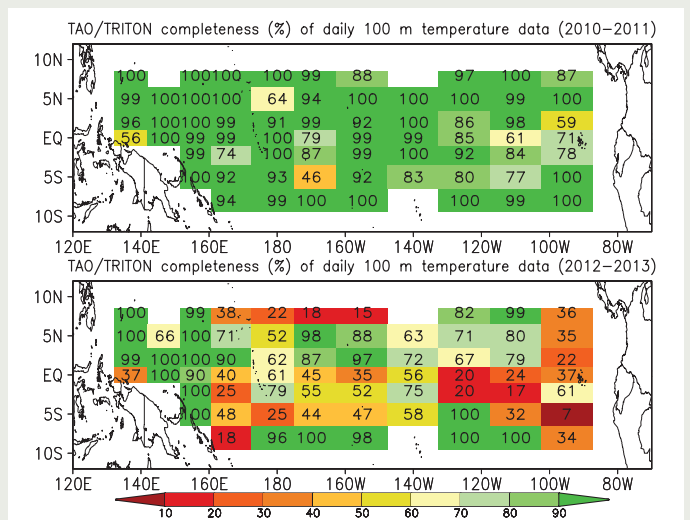


Figura 1. Porcentaje de completitud de información de datos subsuperficiales de las boyas TAO/TRITON durante los periodos 2010-2011 (arriba) y 2012-2013 (abajo). (Fuente: Ken Takahashi)

Resumen del Informe Técnico

PpR/El Niño - IGP/ 2014 - 01

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 en la costa fueron neutras hasta al menos diciembre de 2013. Actualmente, no hay presencia del Fenómeno El Niño o La Niña.

El modelo oceánico lineal indica que habría llegado una onda de Kelvin cálida a nuestras costas entre fines de enero e inicios de febrero de 2014, lo cual podría haber favorecido al calentamiento superficial. Asimismo, indica la posible llegada de otra onda de Kelvin cálida entre mediados de febrero y final de marzo de 2014.

El pronóstico con los modelos globales de la temperatura superficial indica condiciones dentro de lo neutral hasta abril de 2014 tanto cerca a nuestra costa (Niño 1+2, ICEN) así como en el Pacífico central (Niño 3.4). Para los meses posteriores, la incertidumbre es relativamente alta, sin embargo, existe una tendencia en los modelos a pronosticar condiciones entre neutras y cálidas hacia mediados de 2014. En los siguientes meses se espera que estos pronósticos sean más confiables.

Índice Costero El Niño

Utilizando los datos de temperatura superficial del mar promediados sobre la región Niño 1+2, actualizados hasta enero de 2014, inclusive, 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 diciembre de 2013. Los valores recientes hasta esa fecha son:

Año	Mes	ICEN	Condiciones costeras del mes
2013	Agosto	-1.33	Fría moderada
2013	Setiembre	-0.98	Neutro
2013	Octubre	-0.68	Neutro
2013	Noviembre	-0.51	Neutro
2013	Diciembre	-0.30	Neutro

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

¹ Onda de Kelvin cálida es aquella con anomalías cálidas de temperatura subsuperficial, así como un mayor nivel del mar y una mayor profundidad de la termoclina.

² http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ocean/weeklyenso_clim_81-10/wkd20eq2_anm.gif.

Según los valores del ICEN, se confirma que las condiciones climáticas hasta diciembre de 2013 en la costa peruana se clasifican como NEUTRAS. Asimismo, el valor aproximado ICEN_{tmp} indica condiciones neutras en enero 2014. Para declarar El Niño o La Niña en la costa, las condiciones costeras mensuales deben ser cálidas o frías por al menos 3 meses consecutivos, respectivamente (ENFEN, 2012), por lo que se puede afirmar que no estamos actualmente ante un evento El Niño o La Niña en la costa.

Pronóstico a corto plazo con modelo de ondas y observaciones.

Los modelos oceánicos lineales del IGP (Mosquera, 2009, 2011) con la profundidad referencial de la termoclina uniforme (LOM1) y profundidad variable (LOM2) fueron forzados con anomalías de vientos superficiales obtenidos del NCEP-CDAS hasta el 31 de enero del 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).

En estas simulaciones se observa actividad de las ondas Kelvin cálidas¹ en el Pacífico oriental que habrían llegado a nuestra costa entre fines de enero (LOM1) e inicios de febrero 2014 (LOM2) (Figs. 1ab, 2ab, 3a y 4a). El análisis de NOAA GODAS² también indica lo mismo. Esto podría haber favorecido el calentamiento superficial de la costa. Según el modelo, la influencia de la onda cálida estaría culminando entre inicios y mediados de febrero.

El modelo lineal también indica una nueva onda Kelvin cálida que alcanzaría la costa peruana entre mediados de febrero y el final de marzo 2014 (Figs. 1ab, 2ab, 3a y 4a), siendo la llegada más pronta si consideramos el pronóstico con la persistencia de la anomalía de los vientos.

Resumen del Informe Técnico PpR/EI Niño - IGP/ 2014 - 01

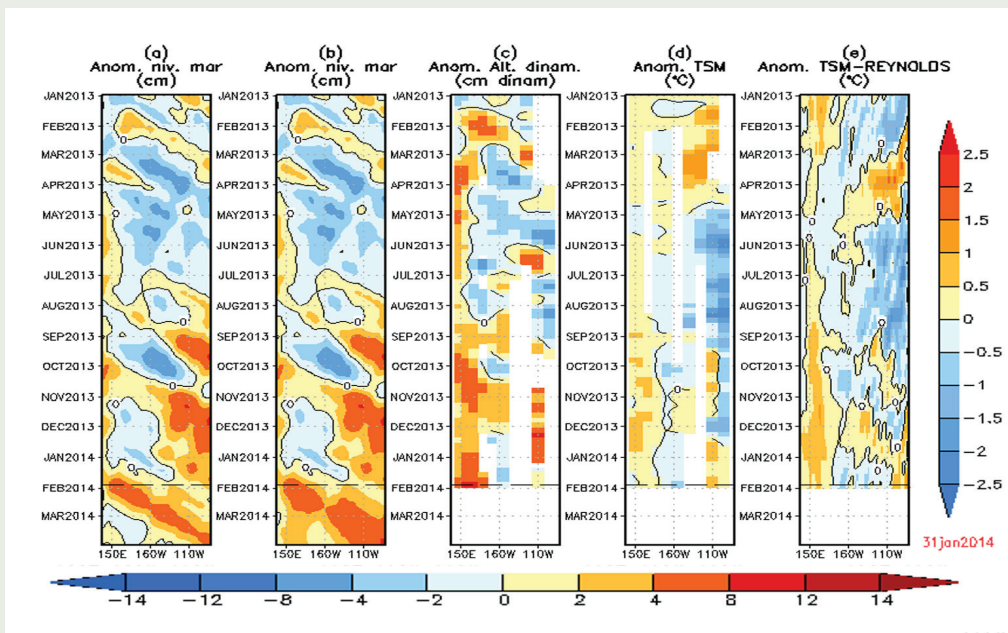


Figura 1. Anomalías (a y b) del nivel medio del mar simulado con LOM1 (termoclina uniforme), (c) de la altura dinámica (TAO), (d y e) de la temperatura superficial del mar observada de TAO y Reynolds, respectivamente, en la región ecuatorial (2°S y 2°N). En (a) y (b) la línea cortada en color negro, indica el momento en que el modelo empieza a utilizar el esfuerzo de viento igual a cero (LOM1a) y persistida (LOM1b), respectivamente, para la predicción (ver fecha en color rojo a la derecha). La escala de (a), (b) y (c) se ubica abajo en forma horizontal, mientras que la escala de (d) y (e) está a la derecha (Fuente: IGP, NOAA PMEL, climatología: 2000-2013).

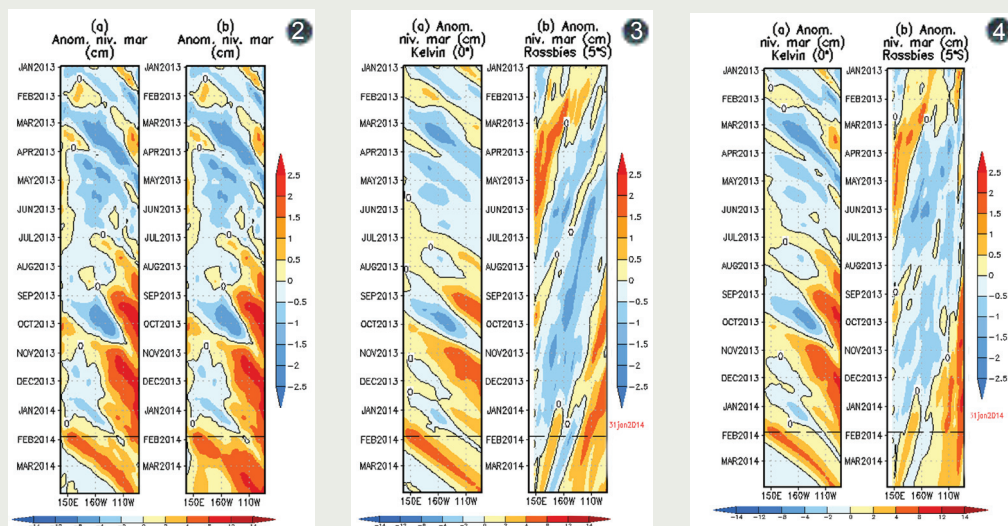


Figura 2. Similar a la Figura 1, pero para LOM2 (termoclina variable).

Figura 3. (a) Contribución de la onda Kelvin al nivel del mar y (b) Contribución de la onda Rossby al nivel del mar en 5°N obtenida de LOM1a.

Figura 4. (a) Similar a la Figura 3, pero para LOM2a.

Pronóstico estacional con modelos climáticos

Los pronósticos del ICEN para los próximos meses (hasta abril) indican condiciones alrededor de lo neutral. Para los meses siguientes hay bastante mayor dispersión, pero los pronósticos favorecen condiciones entre neutras y cálidas débiles para mediados de 2014 (Fig. 5). Sin embargo, la validación del modelo CFS2 para el pronóstico en la región Niño 1+2 (para el periodo 1982-2010 así como para 2000-2010) indica que las predicciones son menos confiables cuando son inicializadas antes del mes de febrero (“barrera de predictabilidad”; Reupo, 2012), por lo cual se recomienda tomar con mucho cuidado los pronósticos actuales. Se espera que los pronósticos serán más confiables cuando sean inicializados en febrero y marzo 2014.

Similarmente, los pronósticos para la región del Pacífico ecuatorial central (Niño 3.4) también indican condiciones entre neutras y cálidas, pero la conocida “barrera primaveral de predictabilidad” implica que también estos pronósticos serán más confiables cuando sean inicializados después de la primavera boreal (marzo-mayo; ej. Barnston et al., 2012). Por lo pronto entonces, se considera que en la región Niño 3.4 continuarán las condiciones cercanas a neutro en los próximos tres meses.

Resumen del Informe Técnico

PpR/El Niño - IGP/ 2014 - 01

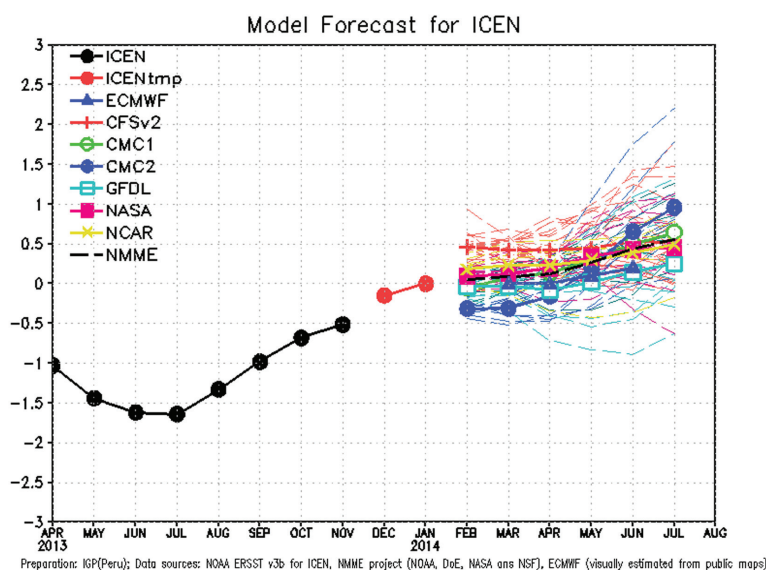


Figura 5. Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y sus valores temporales (ICENtmp, rojo con círculos llenos). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Las líneas entrecortadas corresponden a los miembros de los "ensembles". Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA y NCAR tienen como condición inicial el mes de diciembre de 2013. El modelo ECMWF tiene como condición inicial el mes de enero de 2014 (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME, ECMWF).

Conclusiones

1. El ICEN para los meses de setiembre a diciembre de 2013 correspondió a condiciones neutras. Por lo pronto, no hay presencia de evento El Niño o La Niña en nuestra costa.
2. El pronóstico de la ATSM en la región Niño 1+2 (ICEN) por los modelos numéricos de las agencias internacionales continúan indicando valores dentro del rango neutral para los siguientes tres meses (febrero-abril).
3. De la misma forma, en la región Niño 3.4, los modelos numéricos continúan pronosticando valores dentro de lo normal para los siguientes tres meses (febrero-abril).
4. Hacia mediados del año 2014, los modelos pronostican condiciones entre neutras y cálidas débil para el ICEN, pero la barrera de predictabilidad asociada a la estacionalidad resulta en baja confiabilidad a los pronósticos iniciados antes de febrero.
5. Similarmente, para la región Niño 3.4, los pronósticos son entre neutros y cálidos hacia mediados del 2014, pero estos serán más confiables después de la primavera boreal (mayo).
6. El modelo oceánico lineal indica que habría llegado una onda de Kelvin cálida a nuestras costas entre fines de enero e inicios de febrero de 2014, lo cual podría haber favorecido al calentamiento superficial pero que se desvanecería entre inicios y mediados de febrero.
7. El modelo oceánico lineal pronostica la posible llegada de otra onda de Kelvin cálida entre mediados de febrero y final de marzo de 2014.

Referencias

- Barnston, A., Tippett, M., L'Heureux, M., Li, S., DeWitt, D., 2012: Skill of Real-Time Seasonal ENSO Model Predictions during 2002-11: Is Our Capability Increasing? *Bull. Amer. Met. Soc.*, 93, 5, 631-351.
- ENFEN 2012: Definición operacional de los eventos "El Niño" y "La Niña" y sus magnitudes en la costa del Peru. 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., Dewitte, B. y Lagos, P., 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, p. 55.
- 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.

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



COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 01 - 2014 CONDICIONES LIGERAMENTE CÁLIDAS DURANTE EL VERANO

El Comité encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar y actualizar la información de las condiciones meteorológicas, oceanográficas, biológico-pesqueras e hidrológicas. Durante el mes de enero de 2014 en la costa peruana, en promedio, se presentaron condiciones ligeramente cálidas las cuales continuarían durante el verano.

En el Pacífico ecuatorial oriental (Región Niño 1+2), los vientos en superficie continuaron presentando anomalías del noroeste, contribuyendo a la presencia de aguas cálidas superficiales en la costa norte del Perú. En el Pacífico ecuatorial occidental (Región Niño 4) se observaron anomalías del Oeste.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) presentó, en promedio, un núcleo con intensidad y posición normal, sin embargo se presentaron incrementos de gradientes de presión en la franja costera que se manifestaron en núcleos de afloramiento.

El Índice Costero el Niño¹ (ICEN) continúa en el rango neutral.

En el litoral peruano, la temperatura superficial del mar (TSM) aumentó hasta alcanzar valores positivos en el norte y centro debido a la proyección de la onda cálida que arribó a fines de diciembre. El nivel medio del mar (NMM) fluctuó alrededor de sus niveles normales.

Las temperaturas extremas del aire (máximas y mínimas) presentaron valores de normal a superior.

Los indicadores reproductivos de la anchoveta y merluza indican un comportamiento acorde al patrón. La anchoveta de la región norte – centro se encuentra en una etapa de baja actividad reproductiva, mientras que la merluza se mantiene desovando aunque con valores que no superan el crítico indicador de desove masivo.

Los ríos de la costa en la zona norte, presentaron valores de caudales por debajo de sus promedios históricos, debido a la poca frecuencia e intensidad de lluvias en las partes altas de las cuencas. Los principales reservorios en la costa norte y sur registraron 21% y 48% de la capacidad de almacenamiento, respectivamente.

Perspectivas

Los modelos numéricos de las agencias internacionales, continúan indicando valores dentro del rango neutral en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4 para el verano del año 2014.

Se prevé que en el litoral peruano, las temperaturas del aire y del agua de mar presenten valores de normal a superior, mientras que el nivel medio del mar continuaría con valores normales.

Para las condiciones de temperatura superficial del mar mencionadas, se esperarían precipitaciones normales, sin embargo, considerando las anomalías de circulación actuales, se prevé precipitaciones por debajo de lo normal en la región norte, situación que continuaría afectando el bajo nivel de almacenamiento de sus reservorios.

Se prevé el eventual arribo de una onda de Kelvin cálida en el Pacífico oriental para el mes de marzo que podría modificar las condiciones océano-atmosféricas en el litoral norte y centro, principalmente.

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

Callao, 06 de febrero de 2014

¹ ENFEN, 2012. Definición operacional de los eventos "El Niño" y "La Niña" y sus magnitudes en la costa del Perú (<http://www.imarpe.gob.pe>, www.igp.gob.pe, www.indeci.gob.pe, www.dhn.mil.pe, www.ana.gob.pe, www.senamhi.gob.pe).





© Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 216, Urb. Mayorazgo IV Etapa, Ate, Lima, Perú
Central Telefónica: (511) 317 2300
<http://www.igp.gob.pe>
 <http://www.facebook.com/igp.peru>
 http://twitter.com/igp_peru

En el marco del:

