



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú - IGP



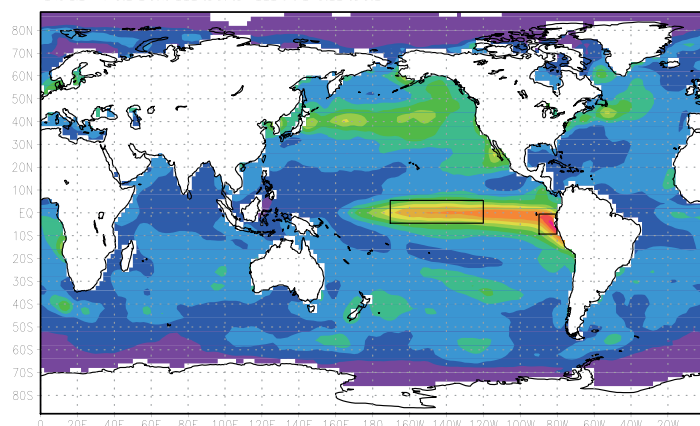
Programa Presupuestal por Resultados N° 068: "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres" Producto: "Entidades informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño"

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

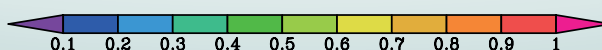
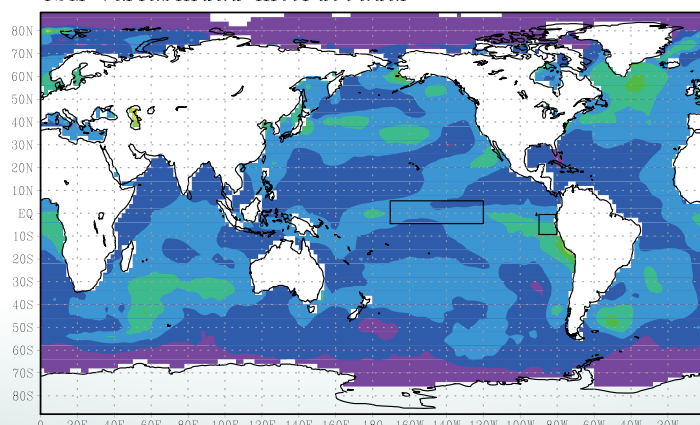
## Boletín Técnico

### Desviación estándar (en °C) de la temperatura superficial del mar, de series mensuales filtradas en las escalas interanual (panel superior) e interdecadal (panel inferior)

TSM variabilidad interanual



TSM variabilidad interdecadal



# Contenido

2 - 3 Introducción

4 - 8 Artículo de Divulgación Científica

9 - 10 Avances Científicos

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

Edición: Cristiana Leucci  
Diseño y Diagramación: Dante Guerra

Carátula: Montecinos, 2014. Ver figura y leyenda en la página 5.

Instituto Geofísico del Perú  
Calle Badajoz 169 Mayorazgo  
IV Etapa - Ate  
Teléfono (511) 3402200

Impreso por:  
Lettera Gráfica SAC.  
Av. La Arboleda 431 - Ate  
Teléfono (511) 7150315

Lima, Marzo del 2015

Hecho el Depósito Legal en la  
Biblioteca Nacional del Perú N° 2015-03713

# 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 estudios científicos que fortalecerá en forma continua la capacidad para este fin.

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

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

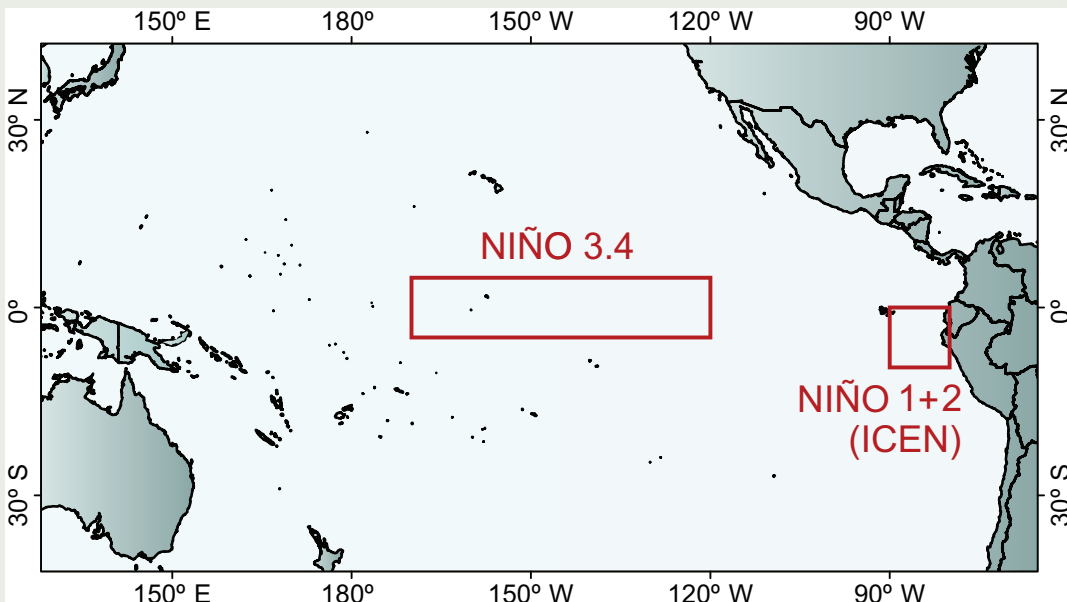
El Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformado por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA e Indeci, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

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 Amazonia peruana.

## Variabilidad climática interdecadal en el Pacífico

### El clima cambiante

Una de las características más notables del clima es que cambia continuamente. Todos tenemos la noción que el clima de invierno es diferente al clima de verano, no importa en qué región del planeta nos encontremos. Hay algo que podemos notar: las madrugadas son más heladas, desaparece el viento que proviene del norte, y la estación de lluvias o lloviznas empieza. El vivir en un lugar implica necesariamente el conocimiento de este cambio del clima local. Al cambio periódico del clima que va desde el verano al invierno, lo podemos considerar un ciclo o bien una oscilación. Este ciclo anual es particularmente intenso y se manifiesta como fluctuaciones en muchas variables físicas, tanto en la atmósfera como en el océano.

Por otra parte, no todos los veranos o inviernos son climáticamente iguales. Existen estaciones lluviosas más o menos intensas, periodos secos que se prolongan o acortan más de lo normal, veranos particularmente cálidos o primaveras particularmente frías. Estas variaciones del ciclo anual, que diferencian un año de otro, corresponden a fluctuaciones en la escala interanual (entre año y año). Uno de los fenómenos interanuales más importantes y conocidos es El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). De hecho, ENOS es la principal fuente o forzante de la variabilidad interanual en la cuenca del océano Pacífico y en muchas otras partes del planeta<sup>1,2,3</sup>.

Hoy en día, sabemos que existen fluctuaciones climáticas de periodos más largos, que van desde escalas de tiempo de décadas hasta siglos y milenios. Es importante diferenciar aquellas fluctuaciones de largo plazo que son manifestaciones de la dinámica natural del sistema climático de aquellas producidas por forzantes antropogénicos (o cambio climático antropogénico). En particular, cuando se observan décadas con características climáticas diferentes de otras, podríamos considerarlas como fluctuaciones u oscilaciones interdecadales (entre décadas) naturales. Gracias a la mayor cobertura y largo de los registros instrumentales, la mayoría de los trabajos sobre variabilidad interdecadal en el Pacífico se han concentrado en el Hemisferio Norte<sup>4,5,6</sup>.

### Pesquerías y sucesión de especies

Como en otras regiones del planeta<sup>7,8</sup>, las primeras descripciones de fluctuaciones interdecadales de variables oceanográficas, como la temperatura superficial del mar (TSM) y el nivel medio del mar (NMM), y atmosféricas, como el viento en superficie, fueron realizadas en relación a las fluctuaciones que experimentan las pesquerías pelágicas, incluyendo los casos de Perú<sup>9</sup> y Chile<sup>10</sup>.

En las pesquerías de todo el planeta, se observan sucesiones de peces, las cuales pueden permanecer durante décadas en ciertos hábitats para luego desaparecer



**Dr. Aldo Montecinos**  
Profesor asociado, Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción, Chile

*Doctor en Oceanografía de la Universidad de Concepción (Chile), Magister en Ciencias Atmosféricas de la Universidad de Chile y Oceanógrafo de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile). Actualmente es Profesor Asociado en el Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Concepción. Su principal interés de investigación es la variabilidad climática en la región oriental del Pacífico Sur y en Sudamérica, en distintas escalas de tiempo. En particular, le interesan los procesos de interacción entre el océano y la atmósfera, especialmente aquellos que involucran teleconexiones entre el trópico y el extratropical, y tiene varias publicaciones sobre los impactos de El Niño-Oscilación Sur y sobre la variabilidad climática a escala interdecadal en el Pacífico Sur.*

y ser reemplazadas por especies diferentes. Estas fluctuaciones se han observado en todas las grandes pesquerías, incluyendo las que se desarrollan en las mayores zonas de surgencia costera en los océanos Pacífico y Atlántico. En Perú, se han observado alternancias entre sardina y anchoveta durante el siglo XX. A comienzos de la década de los setenta colapsó la gran pesquería de anchoveta, siendo reemplazada por sardina. Esta última pesquería fue muy importante a mediados de la década de los ochenta, colapsando hacia comienzos de la década de los noventa. A partir de entonces, la anchoveta recuperó nuevamente su importancia<sup>7</sup>. Esta sucesión entre anchoveta y sardina también se observa en el norte de Chile, aunque el reemplazo de anchoveta por sardina se observó a mediados de la década de los setenta<sup>10</sup>. Hacia latitudes medias de Chile, también se observan cambios en la presencia de peces, variando de anchoveta a sardina común y viceversa<sup>10</sup>. Si bien estas fluctuaciones se pueden explicar por la presión de pesca y las regulaciones al manejo de estas pesquerías, no se descarta el rol de las oscilaciones interdecadales en estas sucesiones<sup>11,12</sup>.

Es importante destacar que, a pesar de la importancia que tienen en las economías locales las sucesiones de estas especies pelágicas, y en consideración que se conocen las anomalías o desviaciones oceanográficas y atmosféricas asociadas, no se han encontrado razones plausibles para explicar este comportamiento. Si bien se han podido asociar a oscilaciones interdecadales conocidas, en muchos casos resulta controversial debido a las diferencias en los momentos en que estas sucesiones ocurren<sup>13</sup>.

### Cambios entre décadas

Uno de los aspectos más contrarios a la intuición de estas fluctuaciones interdecadales de peces, es que las anomalías o desviaciones de distintas variables oceanográficas son muy pequeñas, en relación a las desviaciones asociadas al ciclo anual o a la variabilidad interanual, especialmente en zonas

# Variabilidad climática interdecadal en el Pacífico

Montecinos A.

tropicales. Una de las variables que siempre se utiliza para explicar las sucesiones de especies pelágicas es la TSM. La Figura 1 muestra la desviación estándar (en °C), es decir la dispersión promedio de los valores de TSM mensuales respecto al promedio climatológico, una vez que se han filtrado las series de tiempo de tal manera que solo queda la variabilidad interanual (entre 2 y 5 años, panel superior) y la interdecadal (entre 10 y 50 años, panel inferior). Se observa que la mayor variabilidad interanual se presenta a lo largo del Pacífico Ecuatorial Central y Oriental, especialmente en la zona comprendida entre las Islas Galápagos y las costas de Ecuador y norte de Perú, donde la desviación estándar alcanza valores cercanos a 1°C. El responsable de esta gran variabilidad es evidentemente ENOS. También se observa alta variabilidad interanual (por sobre 0,5°C) en otras regiones, aparentemente asociada a las corrientes cálidas de Kuroshio en el Pacífico Norte y del Golfo en el Atlántico Norte, así como en las costas de Baja California en Norteamérica y Angola en África.

La variabilidad interdecadal de la TSM (panel inferior de la Figura 1) presenta notablemente menores desviaciones estándar, especialmente en aquellas zonas que presentan una alta variabilidad interanual. De acuerdo a este análisis, la región que presenta la más alta variabilidad interdecadal es la costa de Perú central y sur, con desviaciones estándar por sobre 0,5°C. Es interesante destacar que desde aproximadamente 15°S hacia el sur, la variabilidad interdecadal presenta magnitudes similares a la interanual en la zona costera occidental de Sudamérica.

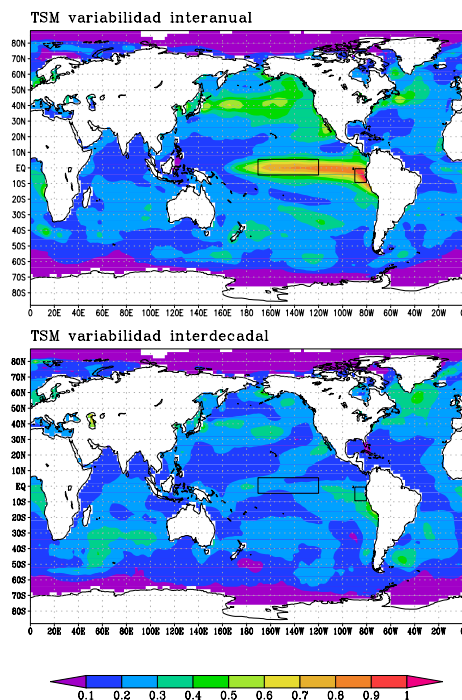


Figura 1. Desviación estándar (en °C) de la temperatura superficial del mar, de series mensuales filtradas en las escalas interanual (panel superior) e interdecadal (panel inferior). Fuente: Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST<sup>v4</sup>), entre 1950 y 2013. A las series se les extrajo la tendencia lineal del periodo total analizado. Los rectángulos (línea negra) indican las regiones Niño 3.4 (5°S-5°N, 170-120°W) y Niño 1+2 (10°S-0°, 90-80°W).

Otra forma de visualizar las fluctuaciones en la escala interdecadal se muestra en la Figura 2. En este caso se observan las series de tiempo de la TSM promediada en dos regiones: Niño 3.4 en el Pacífico Ecuatorial Central (5°S-5°N, 170-120°W) y Niño 1+2 en el sector oriental (10°S-0°, 90-80°W). Para la variabilidad interanual, se observa que hay simultaneidad en ambas regiones, siendo notables los eventos extraordinarios de 1982-83 y 1997-98. Las desviaciones estándar confirman que la variabilidad interanual aumenta hacia la costa de Sudamérica, con valores de 0,68°C y 0,82°C en las regiones Niño 3.4 y 1+2, respectivamente. La gran mayoría de los eventos El Niño (La Niña) presentan anomalías positivas (negativas) de TSM que son superiores (inferiores) a 1°C (-1°C), superando la anomalía de 2°C solo durante los eventos El Niño extraordinarios.

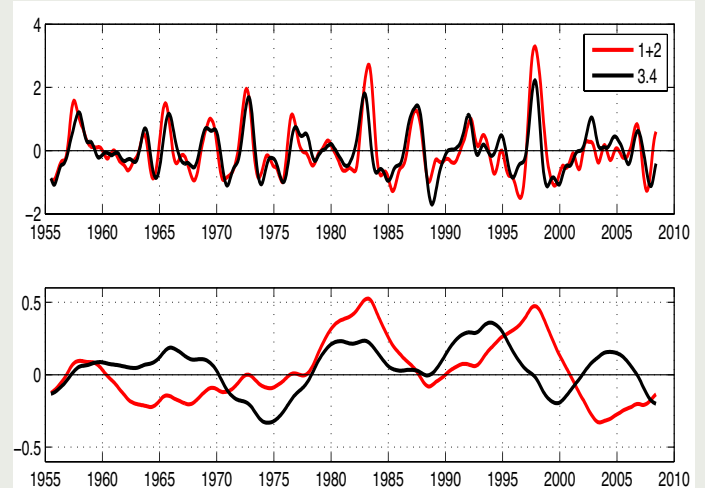


Figura 2. Series de tiempo de anomalías de la temperatura superficial del mar en las regiones Niño 3.4 (5°S-5°N, 170-120°W, línea negra) y Niño 1+2 (10°S-0°, 90-80°W, línea roja), filtradas en las escalas interanual (panel superior) e interdecadal (panel inferior). Fuente: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/Readme.index.shtml>.

En cambio, la variabilidad interdecadal no registra anomalías superiores a 0,5°C (en valor absoluto), con desviaciones estándar de 0,17°C en la región Niño 3.4 y 0,23°C en la región Niño 1+2, observándose además un evidente desfase entre las regiones del Pacífico Ecuatorial. El periodo frío más intenso se observa en la década de los setenta en la región Niño 3.4, mientras que en la región Niño 1+2 parece haber sido más extenso en el tiempo (entre las décadas de los sesenta y mediados de los setenta), apareciendo nuevamente y más intenso a partir de los primeros años del siglo XXI. En términos de fases cálidas y frías, se puede indicar que en el Pacífico Oriental Ecuatorial se presentaron anomalías negativas en general (fase fría) durante las décadas de los años sesenta y setenta, seguidas por un periodo cálido en las décadas de los ochenta y noventa, para luego cambiar nuevamente a una fase fría en lo que va del presente siglo. Estos cambios son simultáneos a lo largo de las costas de Ecuador, Perú y Chile<sup>15</sup>.

La Figura 3 muestra varias anomalías interdecadales observadas más al sur, en Antofagasta (~23°S). Mientras la TSM presenta una amplitud del orden de 0,8°C, similar a las descritas anteriormente, las anomalías de NMM tienen una amplitud de 6 cm, el viento meridional de 1 m/s, mientras que la amplitud de la profundidad de la termoclina es de solo 10

m. Claramente, las amplitudes de la variabilidad interdecadal de la profundidad de la termoclina y de la ANM son un orden de magnitud menor que las asociadas a la variabilidad interanual<sup>16</sup>.

## La Oscilación Interdecadal del Pacífico (IPO)

El patrón espacial del IPO tiene similitudes a lo observado durante las fases extremas del ciclo ENOS. En la Figura 4 se observan mapas de correlación con los campos de TSM y presión a nivel del mar (PNM). Durante la fase cálida (fría) se notan anomalías positivas (negativas) de TSM en el Pacífico Tropical Central y Oriental, extendiéndose hacia latitudes altas a lo largo de las costas de Sudamérica y Norteamérica. Esta extensión es mayor que en el caso de ENOS. Otro rasgo distintivo es que las mayores anomalías no están localizadas en la banda ecuatorial como en ENOS. En latitudes medias del Pacífico Norte se observa una importante anomalía negativa (positiva) de TSM en el sector central y occidental. En cuanto al campo de PNM, al igual que con ENOS, se resaltan anomalías negativas (positivas) en el Pacífico Oriental durante la fase cálida (fría) del IPO, mientras sobre el sector occidental del Pacífico Tropical-Subtropical se registran anomalías positivas (negativas). Es decir, la Oscilación del Sur está igualmente involucrada en el patrón del IPO, con un anticiclón subtropical del Pacífico Sur debilitado (intensificado) durante las fases cálidas (frías) del IPO. Es notable que durante la fase cálida (fría) se observan anomalías negativas (positivas) de la PNM en el océano Austral, alrededor de la Antártica. Este patrón del campo de PNM indica que las fase cálidas (frías) del IPO se caracterizan por presentar vientos ecuatoriales del este debilitados (intensificados) en el sector occidental y vientos del oeste en latitudes altas debilitados (intensificados)<sup>30,31,22</sup>. Es interesante destacar que junto con el debilitamiento (intensificación) de los vientos del oeste, se registra una disminución (aumento) de la actividad ciclónica en torno a 50°S<sup>32</sup>.

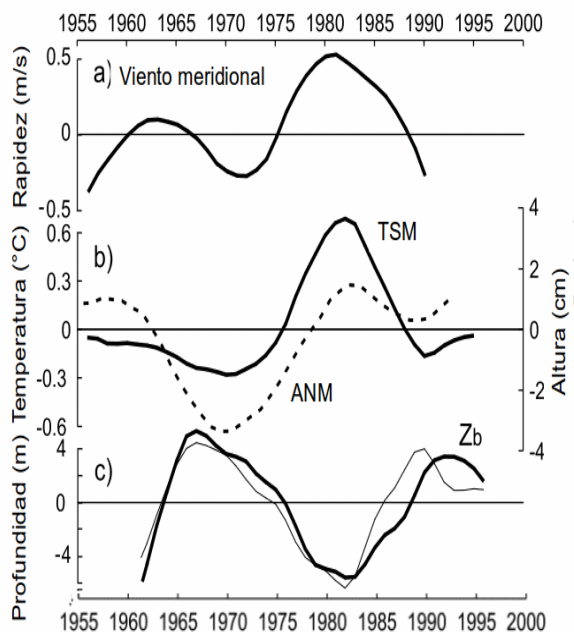


Figura 3. Series de tiempo de anomalías de (a) viento meridional (m/s), (b) temperatura superficial del mar (°C) y nivel medio del mar (cm), (c) profundidad observada de la termoclina (Zb en la figura, m) y (d) estimada a partir del viento ecuatorial (m) en Antofagasta (~23.5°S). Figura modificada de Pizarro y Montecinos (2004)<sup>16</sup>.

## Oscilaciones interdecadales

Desde las primeras descripciones de las fluctuaciones climáticas en la escala interdecadal se han definido varios patrones o modos de variabilidad: Oscilación Decadal del Pacífico (PDO<sup>17</sup>), modo "ENSO-like"<sup>18</sup>, Oscilación del Pacífico Norte (NPO<sup>19</sup>), Oscilación Multidecadal del Pacífico (PMO<sup>20</sup>). Todos ellos muestran que el Pacífico Norte es la región donde la variabilidad interdecadal se desarrolla con mayor intensidad. Sin embargo, evidencias recientes sugieren que la oscilación interdecadal muestra un patrón simétrico en la variabilidad del clima del Hemisferio Norte y Sur<sup>21,22,23,24</sup>.

Estudios observacionales y de modelación han resaltado que estas oscilaciones interdecadales consisten de dos modos distintivos: un modo regional confinado al Pacífico Norte y otro que compromete toda la cuenca del océano Pacífico<sup>25,26,27,28</sup>. Específicamente, se propone que el modo tropical del Pacífico o "ENSO-like" es esencialmente bidecadal, mientras que el Modo del Pacífico Norte (NPM) es multidecadal<sup>28</sup>. De acuerdo al conocimiento actual de la variabilidad interdecadal en el Pacífico Tropical y Extratropical, lo más apropiado es utilizar la Oscilación Interdecadal del Pacífico (IPO<sup>23</sup>), que corresponde a la oscilación interdecadal en ambos hemisferios del océano Pacífico. Entre la IPO y la PDO existe una alta correlación positiva.

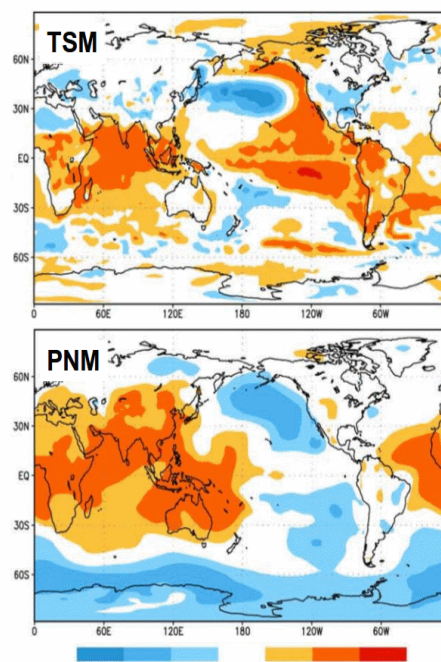


Figura 4. Mapas de correlación entre la PDO y la temperatura superficial del mar (panel superior) y la presión a nivel del mar (panel inferior). Figura modificada de Garreaud et al. (2008)<sup>29</sup>.

# Variabilidad climática interdecadal en el Pacífico

Montecinos A.

En el sector trófico-subtrófico del Pacífico Sur, la fase cálida del IPO se asocia con una Zona de Convergencia del Pacífico Sur (ZCPS) al norte de su posición climatológica, sin que se observe una alteración de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), lo cual es característico de los eventos cálidos de escala interanual<sup>22</sup>. Este último rasgo es consistente con el hecho que las anomalías de TSM del Pacífico Tropical en la escala interdecadal son menos pronunciadas, en comparación con las de escala interanual. Respecto de las fluctuaciones de baja frecuencia de la ZCPS, se indica que su posición media tiende a presentarse sobre el sector frío de la región de máximo gradiente superficial de TSM del IPO<sup>33</sup>. Luego la ZCPS, que se extiende desde 170°E hasta 120°W, se presenta al noreste (suroeste) de su posición normal cuando la IPO se encuentra en su fase cálida (fría).

(positivo) en la sierra y el sector amazónico. En Chile central aumenta (disminuye) la precipitación, mientras que en Brasil central y sur también aumenta (disminuye). Por otro lado, durante la fase cálida (fría) del IPO, se observa un aumento (disminución) de la temperatura superficial del aire especialmente en los sectores más influenciados por el océano en las costas de Perú y norte de Chile.

## Mecanismos

Debido a que el patrón del IPO presenta anomalías en el sector tropical del Pacífico (Figura 4), se podría esperar alguna relación con el ciclo ENOS. De hecho, en el periodo cálido del IPO, entre las décadas de los ochenta y noventa, se observaron los eventos El Niño extraordinarios de 1982-83 y 1997-98. Durante la fase cálida, el desplazamiento hacia el este del gradiente zonal de TSM en el Pacífico Tropical y por lo tanto cambios en los vientos alisios y la inclinación de la termoclina ecuatorial, podrían influenciar el comportamiento del ENOS<sup>34</sup>.

Por ahora no existe consenso sobre el funcionamiento del sistema climático del océano Pacífico y de los continentes adyacentes en la escala interdecadal. Sin embargo, debido a la escala temporal involucrada, se considera esencial el rol del océano y de los procesos de retroalimentación que sean capaces de mantener estados anómalos por varios años, así como la interacción que puede haber entre las zonas extratropicales y tropicales.

## Referencias

1. Rasmusson, E. M., and T. H. Carpenter, 1982: Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño, *Monthly Weather Review*, 110, 354-384.
2. Ropelewski, C. F., and M. S. Halpert, 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño–Southern Oscillation, *Monthly Weather Review*, 115, 1606-1626.
3. Aceituno, P., 1988: On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate, *Monthly Weather Review*, 116, 505-524.
4. Nitta, T., and S. Yamada, 1989: Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 67, 375-382.
5. Trenberth, K. E., 1990: Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 71, 988-993.
6. Graham, N. E., 1994: Decadal-scale climate variability in the tropical and North Pacific during the 1970s and 1980s: observations and model results, *Climate Dynamics*, 10, 135-162.
7. Lluch-Belda, D., S. Hernández-Vázquez, D. B. Lluch-Cota, C. A. Salinas-Zavala, and R. A. Schwartzlose, 1992: The recovery of the California sardine as related to global change, *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 33: 50-59.
8. Chavez, F. P., J. Ryan, S. E. Lluch-Cota, and M. Niñen, 2003: From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean, *Science*, 299, 217-221.
9. Pauly, D., and I. Tsukayama (Eds.), 1987: *The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: Three decades of change*, ICLARM Studies

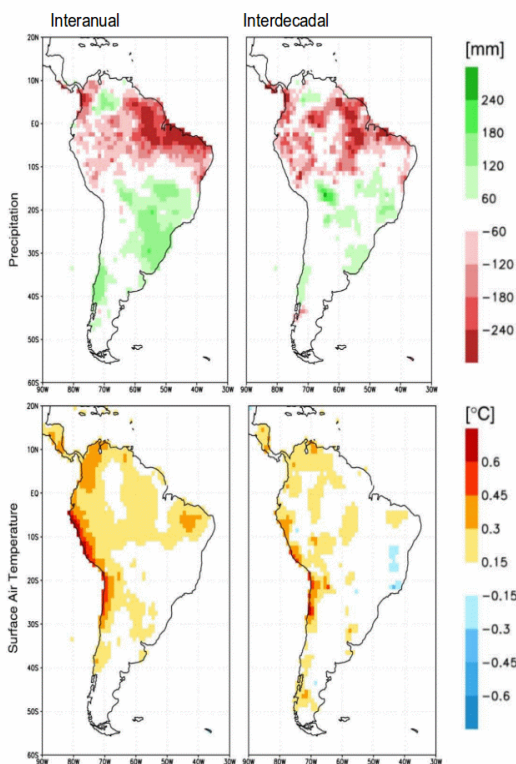


Figura 5. Mapas de regresión entre el índice MEI (Multivariate ENSO Index, paneles lado izquierdo) y PDO (paneles lado derecho) sobre la precipitación (paneles superiores) y la temperatura superficial del aire (paneles inferiores). Los datos de precipitación y de temperatura superficial del aire fueron tomados de la Universidad de Delaware. Figura modificada de Garreaud et al. (2008)<sup>29</sup>.

En cuanto al impacto de las fases cálidas y frías del IPO, la Figura 5 muestra campos de los coeficientes de regresión lineal entre este índice y la precipitación y la temperatura superficial del aire en Sudamérica. Se observa además la regresión de estos campos con un índice del ciclo ENOS, con el fin de comparar los impactos. Al igual que durante El Niño y La Niña, aunque con intensidades inferiores, las fases cálidas (frías) del IPO se caracterizan por disminuir (aumentar) la precipitación en las zonas tropicales de Sudamérica, exceptuando Venezuela que presenta anomalías inversas. En el caso de Perú se observa un mayor impacto negativo

and Reviews, 351 pp.

10. Yañez, E., 1991: Relationships between environmental changes and fluctuating major pelagic resources exploited in Chile (1950-1988), in Long-term variability of pelagic fish populations and their environment, edited by T. Kawasaki, S. Tanaka, Y. Toba, and A. Taniguchi, pp. 301-309, Pergamon Press, Great Britain.

11. Yanez, E., M. A. Barbieri, C. Silva, K. Nieto, and F. Espindola, 2001: Climate variability and pelagic fisheries in northern Chile, *Progress in Oceanography*, 49, 581-596.

12. Alheit, J., and M. Ñiquen, 2004: Regime shifts in the Humboldt Current ecosystem, *Progress in Oceanography*, 60, 201-222.

13. Bertrand, A., M. Segura, M. Gutierrez, and L. Vasquez, 2004: From small-scale habitat loopholes to decadal cycles: a habitat-based hypothesis explaining fluctuation in pelagic fish populations off Peru, *Fish and Fisheries*, 5, 296-316.

14. Smith, T. M., R. W. Reynolds, T. C. Peterson, J. Lawrimore, 2008: Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880-2006), *Journal of Climate*, 21, 2283-2296.

15. Montecinos, A., S. Purca, and O. Pizarro, 2004: Interannual-to-interdecadal sea surface temperature variability along the western coast of South America, *Geophysical Research Letters*, 30(11), 1570, doi:10.1029/2003GL017345.

16. Pizarro, O., and A. Montecinos, 2004: Interdecadal variability of the thermocline along the west coast of South America, *Geophysical Research Letters*, 31, L20307, doi:10.1029/2004GL020998.

17. Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace, and R. C. Francis, 1997: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 1069-1079.

18. Zhang, Y., J. M. Wallace, and D. S. Battisti, 1997: ENSO-like interdecadal variability: 1900-93, *Journal of Climate*, 10, 1004-1020.

19. Gershunov, A., and T. P. Barnett, 1998: Interdecadal modulation of ENSO teleconnections, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79, 2715-2725.

20. Enfield, D. B., and A. M. Mestas-Nuñez, 1999: Multiscale variabilities in global sea surface temperatures and their relationship with tropospheric climate patterns, *Journal of Climate*, 12, 2719-2733.

21. Dettinger, M. D., D. S. Battisti, R. D. Garreaud, G. J. McCabe, and C. Bitz, 2001: Inter-hemispheric effects of interannual and interdecadal ENSO-like climate variations on the Americas, Capítulo 1, *En Present and Past Inter-hemispheric climate linkages in the Americas and their societal effects.*, V. Markgraf Ed., Academic Press, pp. 1-16.

22. Garreaud, R. D., and D. S. Battisti, 1999: Interannual and interdecadal variability of the tropospheric circulation in the Southern Hemisphere, *Journal of Climate*, 12, 2113-2123.

23. Power, S., T. Casey, C. Folland, A. Colman, and V. M. Mehta, 1999: Interdecadal modulation of the impact of ENSO on Australia, *Climate Dynamics*, 15, 319-324.

24. White, W. B., and D. R. Cayan, 1998: Quasi-periodicity and global symmetries in interdecadal upper ocean temperature variability, *Journal of Geophysical Research*, 103, 21335-21354.

25. Nakamura, H., G. Lin, and Y. Yamagata, 1997: Decadal climate

variability in the North Pacific during the recent decades, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 2215-2225.

26. Barlow, M., S. Nigan, and E. H. Berbery, 2001: ENSO, Pacific decadal variability, and U.S. summertime precipitation, drought, and stream flow, *Journal of Climate*, 14, 2105-2128.

27. Solomon, A., J. P. McCreary Jr., R. Kleeman, and B. A. Klinger, 2003: Interannual and decadal variability in an intermediate coupled model of the Pacific region, *Journal of Climate*, 16, 383-405.

28. Wu, L., Z. Liu, R. Gallimore, R. Jacob, D. Lee, and Y. Zhong, 2003: Pacific decadal variability: The tropical Pacific mode and the North Pacific mode, *Journal of Climate*, 16, 1101-1120.

29. Garreaud, R., M. Vuille, R. Compagnucci, and J. Marengo, 2008: Present-day South American Climate, *PALAEO3 Special Issue (LOTRED South America)*, 281, 180-195, doi:10.1016/j.paleo.2007.10.032.

30. van Loon, H., J. W. Kidson, and A. B. Mullan, 1993: Decadal variation of the annual cycle in the Australian dataset, *Journal of Climate*, 6, 1227-1231.

31. Chen, T., and M. Yen, 1997: Interdecadal variation of the Southern Hemisphere circulation, *Journal of Climate*, 10, 805-812.

32. Vera, C., 2003: Interannual and interdecadal variability of atmospheric synoptic-scale activity in the Southern Hemisphere, *Journal of Geophysical Research*, 108, 8077-8086.

33. Folland, C. K., J. A. Renwick, M. J. Salinger, and A. B. Mullan, 2002: Relative influences of the Interdecadal Pacific Oscillation and ENSO on the South Pacific Convergence Zone, *Geophysical Research Letter*, 29, 1643-1646.

34. Wang, B., and S. I. An, 2002: A mechanism for decadal changes of ENSO behaviour: roles of background wind changes, *Climate Dynamics*, 18, 475-486.



## Proyección de las anomalías del nivel del mar sobre las ondas oceánicas ecuatoriales largas

Jonathan Aparco<sup>1</sup>, David Pareja<sup>1</sup> y Kobi Mosquera<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Instituto Geofísico del Perú

La presencia de las ondas Kelvin ecuatoriales afecta tanto la dinámica como la termodinámica a lo largo del Pacífico Ecuatorial. Por medio de su campo de velocidad, la onda Kelvin “cálida” (“fría”) tiene el potencial de adveccionar, en su camino hacia el extremo oriental, masas de agua hacia el este (oeste) y además influir en la cancelación (incremento) del afloramiento de aguas frías (más detalle en Mosquera, 2014). Por otro lado, la onda Rossby (otro tipo de onda larga ecuatorial) también tiene un rol similar en el océano Pacífico Ecuatorial. Como se puede ver en Mosquera-Vásquez et al. (2013), las ondas Rossby “cálidas”- producto de la reflexión de las ondas Kelvin “cálidas”, tanto alrededor de 120°W como en la frontera americana - indujeron por medio de su campo de velocidad a un proceso de enfriamiento en el extremo oriental durante el Fenómeno El Niño 2002/2003. Por otro lado, la reflexión de las ondas Rossby “frías” como ondas Kelvin “frías” en el extremo occidental del Pacífico es considerada, en la Teoría del Oscilador Retrasado, como el proceso que cancela la fase cálida del ENSO (ver Wang y Picaut, 2004 para una mayor explicación). En conclusión, poder monitorizar la onda Kelvin y Rossby nos permitirá interpretar mejor la variabilidad dinámica y termodinámica en el Pacífico Ecuatorial.

Frente a lo expuesto arriba, el objetivo del presente trabajo es calcular la contribución de las ondas Kelvin y Rossby sobre las anomalías del nivel del mar a lo largo del Pacífico Ecuatorial en tiempo real. Para este fin se utiliza el método de descomposición de estructuras meridionales de ondas largas ecuatoriales, establecido por Boulanger y Menkes (1995), y las anomalías de los datos de nivel del mar obtenidos de las misiones JASON 1 y 2, que en conjunto tienen información que va desde el año 2002 hasta la fecha. Los resultados nos permitirán mejorar el análisis de lo que está aconteciendo (y lo que podría acontecer) en la dinámica y termodinámica en el extremo oriental del Pacífico, que incluye el mar peruano.

### Datos

La información satelital del nivel del mar que se usa en este trabajo pertenece a las misiones JASON 1 y 2, las que, junto con la misión TOPEX/POSEIDON, han sido de mucha utilidad para los científicos, ya que juntas han producido un registro multidecadal que permite estudiar, por ejemplo, el incremento del nivel del mar en todo el planeta y, también, ha servido para comprender cómo la circulación y el cambio climático están relacionados (más información en [www.nasa.gov/mission\\_pages/ostm/main/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/ostm/main/index.html)). La cobertura espacial de estos satélites está entre 66°N - 66°S de latitud y 180°W - 180°E de longitud, logrando abarcar alrededor del 95% de las regiones oceánicas sin hielo. Es importante señalar que el instrumental a bordo de JASON 1 (JASON2) tiene una precisión de 4.2 (3.4) cm y se espera que en el futuro se logre un valor de 2.5 cm con un nuevo proyecto denominado JASON-3.

En este trabajo se usa la información del tipo L2 (datos a lo largo de las trayectorias del satélite) que pertenece a la

“familia” GDR (*Geophysical Data Record*) de JASON-1 y OGDR (*Operational Geophysical Data Record*) de JASON-2. Debido a que solo se cuenta con información cada diez días, se procedió a realizar una interpolación lineal en el tiempo en toda la región tropical. Asimismo, para contar con información completa en el eje meridional (norte - sur) y poder aplicar de manera eficiente la técnica de descomposición meridional (ver siguiente sección), se realizó un promedio espacial cada cinco grados en el eje zonal (este - oeste). Este procedimiento redujo la resolución a lo largo del eje zonal de 2001 a 40 puntos. Con esta nueva base de datos se inició el cálculo de la “climatología” para cada punto en el periodo desde enero de 2002 hasta diciembre de 2014 y, finalmente, se obtuvo la anomalía interanual.

Usando estos trece años de información de anomalía del nivel del mar se calculó, a lo largo de la línea ecuatorial, una correlación retrasada con respecto al punto 140°W, lo que sirvió para obtener, aplicando un ajuste de mínimos cuadrados a los valores máximos de la correlación en cada uno de los 40 puntos, la velocidad principal de la onda Kelvin ( $c=2.83$  m/s), lo que indica la importancia de esta onda en la dinámica del océano Pacífico Ecuatorial. Este valor está dentro del rango teórico de la velocidad de la onda Kelvin del primer modo baroclínico y es similar al obtenido en Mosquera et al. (2014). Además es el dato que se utiliza en el método de descomposición meridional descrito a continuación.

### Descomposición meridional de ondas largas

Con el afán de entender el rol de las ondas largas ecuatoriales en el desarrollo del Fenómeno El Niño 1992-1993, Boulanger y Menkes (1995) establecieron un método (descomposición meridional) para obtener la contribución de las ondas Kelvin y Rossby en el nivel del mar que fue obtenido de la misión TOPEX-POSEIDON. Asimismo, usando este método, lograron calcular qué ondas Kelvin fueron forzadas por el viento, esto utilizando información de esfuerzo de viento zonal calculado a partir de los vientos superficiales del proyecto TAO (*Tropical Atmosphere Ocean project*: [www.pmel.noaa.gov/tao](http://www.pmel.noaa.gov/tao)). Ellos concluyen que las ondas Kelvin y Rossby en El Niño 1992-1993 fueron mayormente forzadas por los vientos y que muy poco de la actividad ondulatoria se debió a reflexiones en las fronteras oriental y occidental.

Enfocándonos en el método, este último asume que el nivel del mar a lo largo de cada meridiano,  $h(y)$  puede ser representado como la combinación lineal de un conjunto de funciones ortogonales, es decir:

$$h(y) = \sum_{i=0}^N r_i R_i^h(y)$$

# Proyección de las anomalías del nivel del mar sobre las ondas oceánicas ecuatoriales largas

Aparco J., Pareja D. y Mosquera K.

Donde  $R_i^h(y)$  son las funciones ortogonales que a su vez son combinaciones de las funciones de Hermite (ver más detalle en Boulanger y Menkes, 2009). En La Figura 1 se puede apreciar las estructuras meridionales para  $i=0$  (Kelvin),  $i=1$  (Rossby 1),  $i=2$  (Rossby 2),  $i=3$  (Rossby 3) e  $i=4$  (Rossby 4). Por otro lado,  $r_i$  son los coeficientes de onda que deben ser calculados resolviendo un sistema lineal de cinco ecuaciones. Este cálculo se debe realizar para cada meridiano y en cada paso de tiempo.

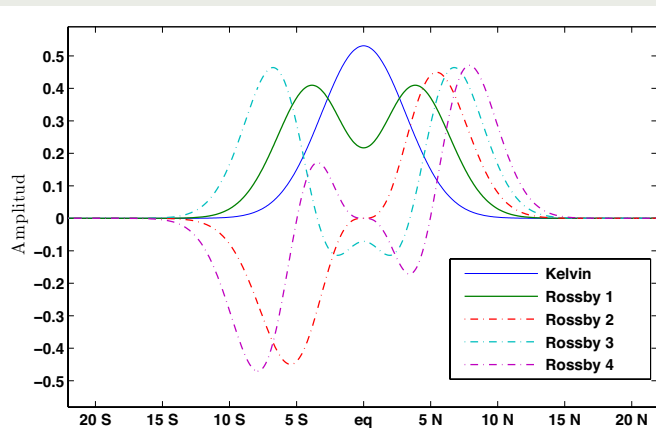


Figura 1. Estructuras meridionales para el nivel del mar del modo Kelvin y los cuatro primeros modos Rossby.

## Resultados

Los resultados de la descomposición meridional se muestran en los diagramas Höwmler de las Figura 2a-c en el periodo que va de enero de 2014 a enero de 2015. En "b" ("a" y "c") se aprecia la contribución de la onda Kelvin (Rossby) al nivel del mar. Los resultados para la onda Rossby son graficados con el eje zonal invertido: oeste a la derecha y este a la izquierda. Esto con el objetivo de apreciar algún tipo de conectividad entre las ondas Kelvin y Rossby. Un análisis de correlación con retraso, tal como la Figura 3 de Mosquera et al. (2014), a lo largo del Ecuador (de 4°N) con respecto a 140°W (170°W) nos revela, luego de un ajuste de mínimos cuadrados basado en los máximos valores de correlación, que la actividad de la onda Kelvin (Rossby) pertenece principalmente al primer modo baroclínico. Estos resultados se colocan en la Figura 1 con líneas inclinadas: (a) y (c) serían Rossbygramas de 0.88 m/s, y en (b) se tendrían los Kelvingramas de 2.85 m/s. En este gráfico se observa que no hay una clara conectividad observada en el nivel del mar entre la onda Kelvin y Rossby en el extremo oriental del océano Pacífico, a pesar que las ondas Kelvin presentes en el verano y otoño del 2014 fueron muy intensas y provocaron un calentamiento por varios meses en la costa peruana, lo que llevó a que se declare en el Perú un evento El Niño costero de magnitud moderada (ver comunicados ENFEN: [www.imarpe.gob.pe](http://www.imarpe.gob.pe)).

Este nuevo gráfico se incorporará a la página web del IGP como un nuevo producto en el análisis de la dinámica del Pacífico Ecuatorial. Asimismo, en los siguientes meses se espera obtener el resultado de las proyecciones de las

estructuras meridionales de las ondas largas en el esfuerzo de viento zonal. Esto permitirá establecer con mayor seguridad si las ondas Kelvin o Rossby, presentes en el Pacífico Ecuatorial, fueron producto de las anomalías de los vientos zonales o no.

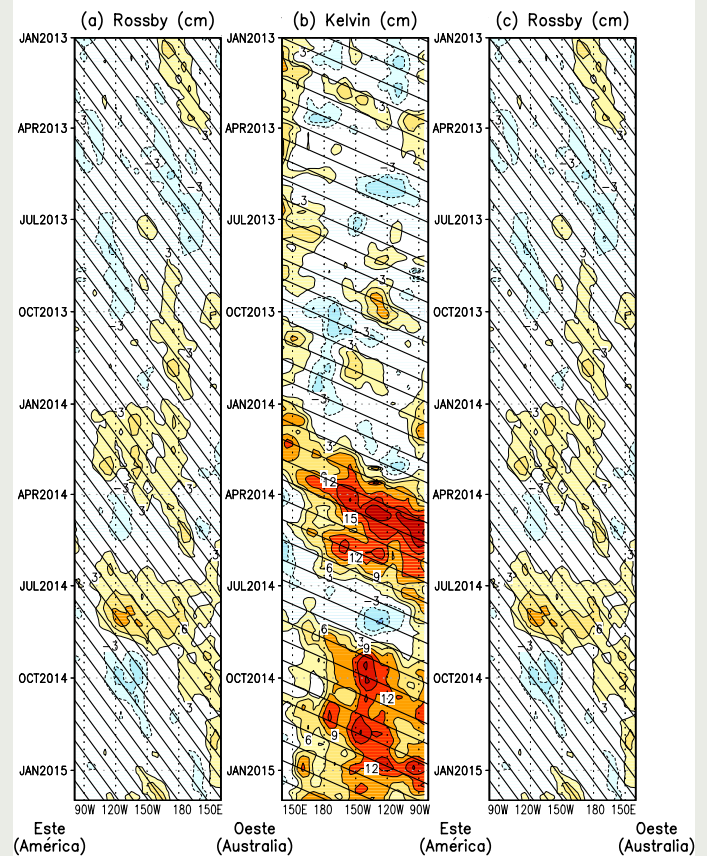


Figura 2. Diagramas longitud-tiempo de la contribución de la onda Kelvin (panel central) y Rossby (panel derecho e izquierdo) en el nivel del mar. Para el caso de (a) y (c), ambos paneles se han invertido en la dirección oeste - este para observar la conectividad de las ondas en las fronteras orientales y occidentales. Las líneas diagonales continuas de color negro indican la velocidad de 2.85 m/s (0.88 m/s) para la onda Kelvin (Rossby) obtenida de una correlación con retraso a lo largo del Ecuador (de 4°N) con respecto a 140°W (170°W).

## Referencias

Boulanger, J.-P., and C. Menkes, 1995: Propagation and reflection of long equatorial waves in the Pacific Ocean during the 1992–1993 El Niño, *Journal of Geophysical Research*, 100(C12), 25041–25059, doi:10.1029/95JC02956.

Mosquera-Vásquez, K., B. Dewitte, S. Illig, K. Takahashi, and G. Garric, 2013: The 2002–03 El Niño: Equatorial waves sequence and their impact on sea surface temperature, *Journal of Geophysical Research*, doi:10.1029/2012JC008551.

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

Wang, C., and J. Picaut, 2004: Understanding ENSO physics: A review, *Geophysical monograph*, 147, 21–48.

## La Niña extrema más frecuente con el calentamiento global

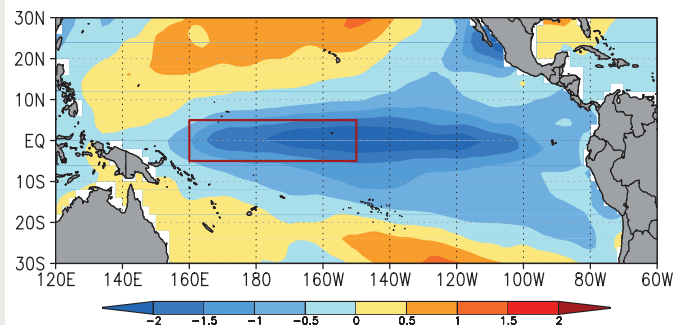
El 26 de enero, la revista científica Nature Climate Change, especializada en estudios sobre el cambio climático, publicó el artículo “*Increased frequency of extreme La Niña events under greenhouse warming*”<sup>1</sup>, estudio que cuenta con la coautoría del Dr. Ken Takahashi, Director de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera del Instituto Geofísico del Perú (IGP).



La investigación del Dr. Takahashi está enfocada en entender las condiciones que favorecen la ocurrencia de eventos El Niño extremos.

En este *paper*, los autores analizan cómo el cambio climático podría afectar la ocurrencia de eventos La Niña extremos, caracterizados por el fuerte enfriamiento de las aguas en el Pacífico Central. Para esto, Cai et al. analizaron las simulaciones de cambio climático de 21 de los más de 30 modelos climáticos del proyecto CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project phase 5*), seleccionados por su capacidad de reproducir adecuadamente estos eventos, encontrando que la frecuencia de los eventos de La Niña extremos aumentaría a casi el doble de lo actual. Además, la información de los modelos climáticos permitió estudiar y proponer cuáles son los mecanismos físicos responsables de estos cambios.

“El posible aumento futuro en la frecuencia de eventos La Niña extremos, aún cuando se produzcan lejos de nuestra costa, es importante para el Perú, ya que en los últimos años hemos determinado que no solo somos afectados por lo que ocurre frente a nuestra costa, sino también por lo que ocurre en el Pacífico Central. En particular, los eventos La Niña en el centro del Pacífico favorecen mayores precipitaciones sobre los Andes y nuestra Amazonía, por lo que los resultados de este estudio sugieren que los años más lluviosos en estas regiones podrían ser más frecuentes en el futuro”, afirmó el especialista del IGP quien fue invitado a participar en este nuevo estudio a inicios del año 2014 y cuyo trabajo previo sobre la caracterización de los tipos de eventos El Niño<sup>2</sup> ayudó a establecer la metodología usada para identificar a los eventos La Niña extremos.



La Niña extrema ilustrada con las anomalías de la temperatura superficial del mar (°C) para el periodo de diciembre 1988 a febrero 1989. La región Niño 4 en el Pacífico Central, la cual favorece mayores lluvias en los Andes y Amazonía peruana cuando se encuentra fría (Espinoza, 2014; Silva, 2014), se indica con el rectángulo rojo. (Elaboración: K. Takahashi).

## Referencias

Espinoza, J. C., 2014: Influencia de la variabilidad de los océanos Atlántico y Pacífico en la hidrología de la cuenca amazónica peruana, Boletín Técnico “Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño”, Vol. 1, N° 9, Setiembre, Instituto Geofísico del Perú.

Silva, Y., 2014: La estacionalidad del impacto de El Niño en las lluvias en el Perú, Boletín Técnico “Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño”, Vol. 1, N°11, Noviembre, Instituto Geofísico del Perú.

<sup>1</sup>Cai, W., G. Wang, A. Santoso, M. J. McPhaden, L. Wu, F.-F. Jin, A. Timmermann, M. Collins, G. Vecchi, M. Lengaigne, M. H. England, D. Dommenges, K. Takahashi, and E. Guilyardi, 2015: Increased frequency of extreme La Niña events under greenhouse warming, Nature Climate Change, <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2492>.

<sup>2</sup>Takahashi, K., A. Montecinos, K. Goubanova, and B. Dewitte, 2011: ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño, Geophysical Research Letters, <http://dx.doi.org/10.1029/2011GL047364>.

# Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2015-1

**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) para el mes de diciembre, las condiciones climáticas continúan siendo neutras frente a la costa peruana. Los pronósticos de los modelos numéricos internacionales con condiciones iniciales del mes de enero, indican que para lo que resta del verano las condiciones climáticas serán neutras en el Pacífico Oriental. Estos resultados numéricos señalan, en el mismo periodo, una tendencia hacia condiciones cálidas débiles en el Pacífico Central. Se observa la presencia de una onda Kelvin cálida en el Pacífico Ecuatorial Central, la cual podría arribar en el mes de marzo. La combinación de las condiciones costeras con las de la región Niño 4, prevista por los modelos, favorecería la reducción en las precipitaciones en la costa norte y en los Andes este verano.

## Índice Costero El Niño

Utilizando los datos de temperatura superficial del mar promediados sobre la región Niño1+2, actualizados hasta el mes de enero de 2015 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 2014. Los valores hasta esa fecha son:

Año	Mes	ICEN	Condiciones costeras del mes
2014	Setiembre	0.69	Cálida Débil
2014	Octubre	0.52	Cálida Débil
2014	Noviembre	0.38	Neutro
2014	Diciembre	0.35	Neutro

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

Según los valores del ICEN, **se confirma que las condiciones climáticas hasta diciembre de 2014 en la costa peruana se clasifican como NEUTRAS**. 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).

## 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 (Mosquera et al., 2014), de la profundidad de la isoterma de 20°C calculada de Argo (Aparco et al., 2014), y esfuerzo de viento zonal. Asimismo, el IGP cuenta con un modelo oceánico lineal (Mosquera, 2009; 2014 y Mosquera et al., 2011) que permite el monitoreo y predicción de la onda Kelvin. Este modelo usa tanto una profundidad referencial de la termoclina uniforme (LOM1) como variable (LOM2). Ambas configuraciones fueron forzadas usando anomalías de vientos superficiales obtenidas de ASCAT hasta el 30 de enero de 2015. 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 la actualidad, los productos de JASON-2 (Figura 1d) y del modelo lineal (Figura 1e) muestran la presencia de una onda Kelvin cálida en el Pacífico Ecuatorial Central que estaría arribando al extremo este del Pacífico Ecuatorial en el mes de marzo. Inicialmente la onda Kelvin tuvo magnitud débil, actualmente se ha intensificado a consecuencia de la anomalía positiva de los vientos zonales localizada entre la línea de fecha y 160°W. Aun así, por el momento, se espera que esta onda no tenga impacto significativo en la costa peruana.

## Pronóstico estacional con modelos climáticos

Para los próximos meses, que incluyen el fin del verano 2015, los pronósticos de la ATSM en el Pacífico Oriental (Niño 1+2, ICEN) pronostican principalmente condiciones neutras (Figura 2). Los pronósticos para meses posteriores a enero tienen baja confiabilidad (Reupo y Takahashi, 2014).

Para los próximos meses, que incluyen el fin del verano de 2015, los pronósticos de la ATSM en el Pacífico Central (Niño 3.4) por los modelos numéricos de las agencias internacionales indican condiciones alrededor de cálidas débiles.

# Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2015-1

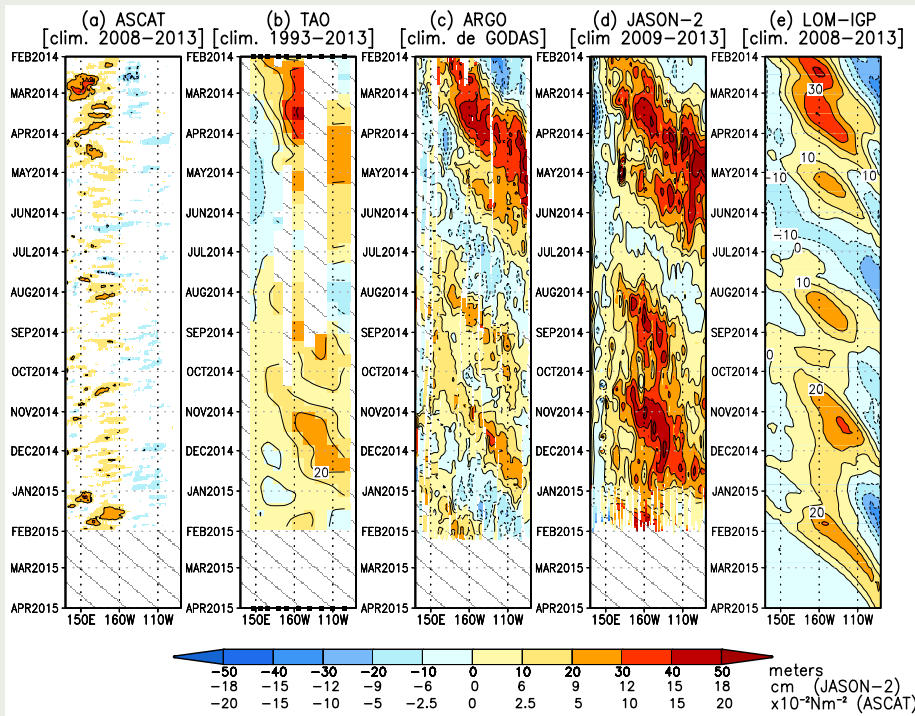


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO (b) y los derivadores de Argo (c), datos del nivel del mar de JASON-2 (d). Finalmente en (e) se muestra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

Por otro lado, los pronósticos del modelo CFSv2 de la NOAA, que cuentan con condiciones iniciales más recientes, sí incluyen la normalización reciente en la región Niño 1+2 y pronostican condiciones neutras durante el verano actual e incluso anomalías negativas de TSM a lo largo de la costa de Perú y cálidas en el Pacífico Central. Este patrón sería similar al de un evento El Niño Modoki o del Pacífico Central (Takahashi, 2014), lo cual tendería a reducir las precipitaciones en la región costera y andina (Lavado y Espinoza, 2014). Además, aún en el caso de que se reactivara el evento El Niño costero débil este verano, el efecto combinado con el calentamiento en el Pacífico Central podría ser también de menos lluvia, como sugiere un estudio reciente (Machuca, 2014; Machuca et al., 2014) el cual muestra que, en el periodo 1994-2012, los eventos El Niño costero débiles se han caracterizado por un bajo número de inundaciones en la costa norte, incluso menos que en condiciones costeras neutras.

## Conclusiones

1. El ICEN para el mes de diciembre es de 0.35°C (neutro).
2. Para los próximos meses del verano de 2015, los pronósticos de la ATSM en el Pacífico Oriental (Niño 1+2, ICEN) de los modelos numéricos de las agencias internacionales, con condiciones iniciales del mes de enero, indican condiciones neutras con algunos valores negativos.
3. Para los próximos meses del verano de 2015, 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 alrededor de **cálidas débiles**, con menos

Modelo	Inicio	Extremo	Final
CFS2	-	-	-
CMC1	-	-	-
CMC2	-	-	-
GFDL	-	-	-
NASA	-	-	-
NCAR	-	-	-
GFDL_FLOR	Abr-15	jun-15	No disponible
NCAR_CCSM4	may-15	No disponible	No disponible
NMME(prom)	-	Julio 2014	-
ECMWF	-	Julio 2014	-
OBSERVADO	Mayo 2014	Julio 2014	Octubre 2014

Tabla 2. Pronósticos de evento El Niño en la costa según modelos climáticos con condiciones iniciales de enero de 2015. Nota: estos pronósticos mantienen baja confiabilidad por la estacionalidad de la predictibilidad (Reupo y Takahashi, 2014).

# Resumen del Informe Técnico

## PPR/El Niño - IGP/ 2015-1

corridas alcanzando condiciones cálidas moderadas que el pronóstico anterior.

4. Para el **periodo que va más allá del verano 2015**, los escenarios en el **Pacífico Oriental** (Niño 1+2, ICEN) de los modelos de las agencias internacionales indican una tendencia positiva pero aún dentro de las condiciones **débiles**. Es importante señalar que los pronósticos de los modelos más allá del mes de febrero, debido a la barrera de predictabilidad asociada a la estacionalidad, resultan en baja confiabilidad.

5. Para el **periodo que va más allá del verano 2015**, los escenarios en el **Pacífico Central** (Niño 3.4) de los modelos de las agencias internacionales indican condiciones alrededor de **cálidas débiles**. Es importante señalar que los pronósticos de los modelos más allá del mes de febrero, debido a la barrera de predictabilidad asociada a la estacionalidad, resultan en baja confiabilidad.

6. Los productos observacionales a lo largo de la línea ecuatorial y el modelo lineal indican la presencia de una onda Kelvin cálida, la cual podría arribar a partir del mes de marzo. Esta onda, que inicialmente tuvo magnitud débil, actualmente se ha intensificado a consecuencia de la anomalía positiva de los vientos zonales localizada entre la línea de fecha y 160<sup>a</sup>W. Aun así, por el momento, se espera que esta onda no tenga impacto significativo en la costa peruana.

7. La combinación de condiciones costeras neutras o frías este verano (con la excepción posible del efecto de la onda Kelvin que arribaría a partir de marzo) y persistencia de cálidas débiles en el Pacífico Central (particularmente Niño 4) prevista por los modelos favorecería precipitaciones reducidas en la costa norte y en los Andes este verano (ver Lagos et al., 2008; Lavado & Espinoza, 2014).

## 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, N°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 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.

Lagos, P., Y. Silva, E. Nickl, K. y Mosquera, 2008: El Niño - related precipitation variability in Perú, Advances in Geosciences, 14, 231-237.

Lavado, W. y J. C. Espinoza, 2014: Entendiendo los impactos de diferentes tipos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Vol. 1, N°3, Marzo, Instituto Geofísico del Perú.

Machuca, R., 2014: Cálculo de daños económicos potenciales en viviendas por inundaciones durante la ocurrencia del fenómeno El Niño: caso norte peruano, Tesis para optar el título profesional de Economía, Universidad Nacional del Callao.

Machuca, R., K. Takahashi, y A. G. Martínez, 2014: Impactos económicos de El Niño costero en el sector vivienda a causa de inundaciones en la costa norte del Perú, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Vo. 1, N°12, Diciembre, Instituto Geofísico del Perú.

Mosquera, K., 2009: Variabilidad Intraestacional 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., 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, N°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, p. 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, N°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.

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: Variedades de El Niño, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Vol.1, N°2, Febrero, 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, N°3, Marzo, Instituto Geofísico del Perú.

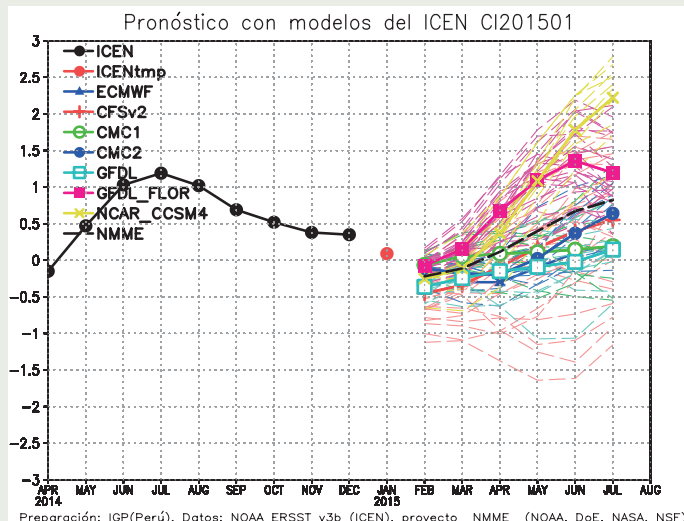


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y sus valor temporal (ICENTmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de tres meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Las líneas entrecortadas corresponden a los miembros de los "ensembles". Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, GFDL\_FLOR y NCAR\_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de enero de 2015. El modelo ECMWF tiene como condición inicial el mes de enero de 2015. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME, ECMWF).

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



### COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 02- 2015 CONDICIONES NEUTRAS FRENTE A LA COSTA PERUANA PARA EL VERANO 2015

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 enero.

A lo largo de la costa peruana, en promedio continuaron las condiciones neutras de la temperatura superficial del mar, de la temperatura del aire y del nivel medio del mar. El Índice Costero El Niño (región Niño 1+2) para los meses de noviembre, diciembre 2014 y enero 2015 se mantuvo en el rango neutral.

Para el mes de marzo se prevé el arribo de una nueva onda Kelvin cálida débil que no produciría variaciones ambientales importantes a lo largo de la costa del Perú.

Durante el mes de enero, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) presentó una anomalía de hasta +5 hPa en su núcleo, con una configuración meridional al sur de su posición normal. Durante la primera quincena del mes, el acercamiento del APS hacia la costa sudamericana generó la intensificación de los vientos alisios del sudeste y del afloramiento costero; en tanto, en la última semana del mes, su desplazamiento hacia el suroeste generó el debilitamiento del viento costero frente al Perú.

La temperatura superficial del mar en las estaciones costeras del Perú, se mantuvo alrededor de su valor normal, con ligeras anomalías negativas a pesar de la llegada de la onda Kelvin prevista<sup>1</sup>. Sin embargo, durante los últimos días del mes, se observó un incremento de las temperaturas ligeramente alejadas de la costa, asociadas a la aproximación de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), como consecuencia del debilitamiento de los vientos, principalmente en la costa central y sur del Perú. Asimismo, la temperatura del aire y el nivel medio del mar presentaron, en promedio, valores alrededor de lo normal.

Los desembarques de anchoveta en la pesca artesanal se registraron en Chimbote, Callao y Pisco, con ejemplares principalmente adultos. Sin embargo, en el crucero realizado en la región sur entre la costa y 50 millas náuticas (mn), la anchoveta se distribuyó dentro de las 10 mn como consecuencia de la aproximación de las ASS.

El Índice Costero El Niño (ICEN)<sup>2</sup>, cuyo monitoreo se realiza en la región Niño 1+2, indicó un valor de 0.35°C para el mes de diciembre, manteniéndose en el rango neutral como el mes anterior.

Las hidrológicas de los ríos de la costa peruana han presentado caudales normales para el mes de enero. Por otro lado, en la

última semana de enero, las lluvias en las partes altas de la sierra sur han favorecido el incremento del volumen disponible de los reservorios, sin embargo, aún son deficientes.

Los principales reservorios en la costa norte registraron 45% de almacenamiento y en la costa sur 30%.

#### PERSPECTIVAS

En el océano Pacífico ecuatorial, se observa la propagación de una nueva onda Kelvin cálida que arribaría durante el mes de marzo. Sin embargo, por su intensidad actual, no tendría impacto relevante en la costa peruana.

En la costa peruana en lo que resta del verano, se espera que la temperatura superficial del mar, la temperatura del aire y el nivel medio del mar presenten, en general, condiciones alrededor de lo normal.

Para los próximos dos meses, en la región Niño 1+2, los modelos numéricos globales indican condiciones neutras. Mientras tanto, para la región Niño 3.4 indican condiciones cálidas débiles.

Se espera que para el mes de febrero continúen incrementándose los caudales por razones estacionales. Sin embargo, aun no se descarta que las condiciones cálidas previstas en el océano Pacífico central ocasionen, en promedio, precipitaciones deficientes en la vertiente sur-occidental de los Andes para los próximos dos meses.

El Comité Multisectorial ENFEN, de acuerdo con el análisis de las condiciones actuales y los resultados de los modelos numéricos globales, prevé condiciones neutras en la región Niño 1+2 para los próximos dos meses.

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

Callao, 05 de febrero de 2015

<sup>1</sup> Comunicado Oficial N°1-2015.

<sup>2</sup> Es la media corrida de tres meses de las anomalías mensuales de la TSM en la región Niño 1+2.





© 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:

