



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú - IGP

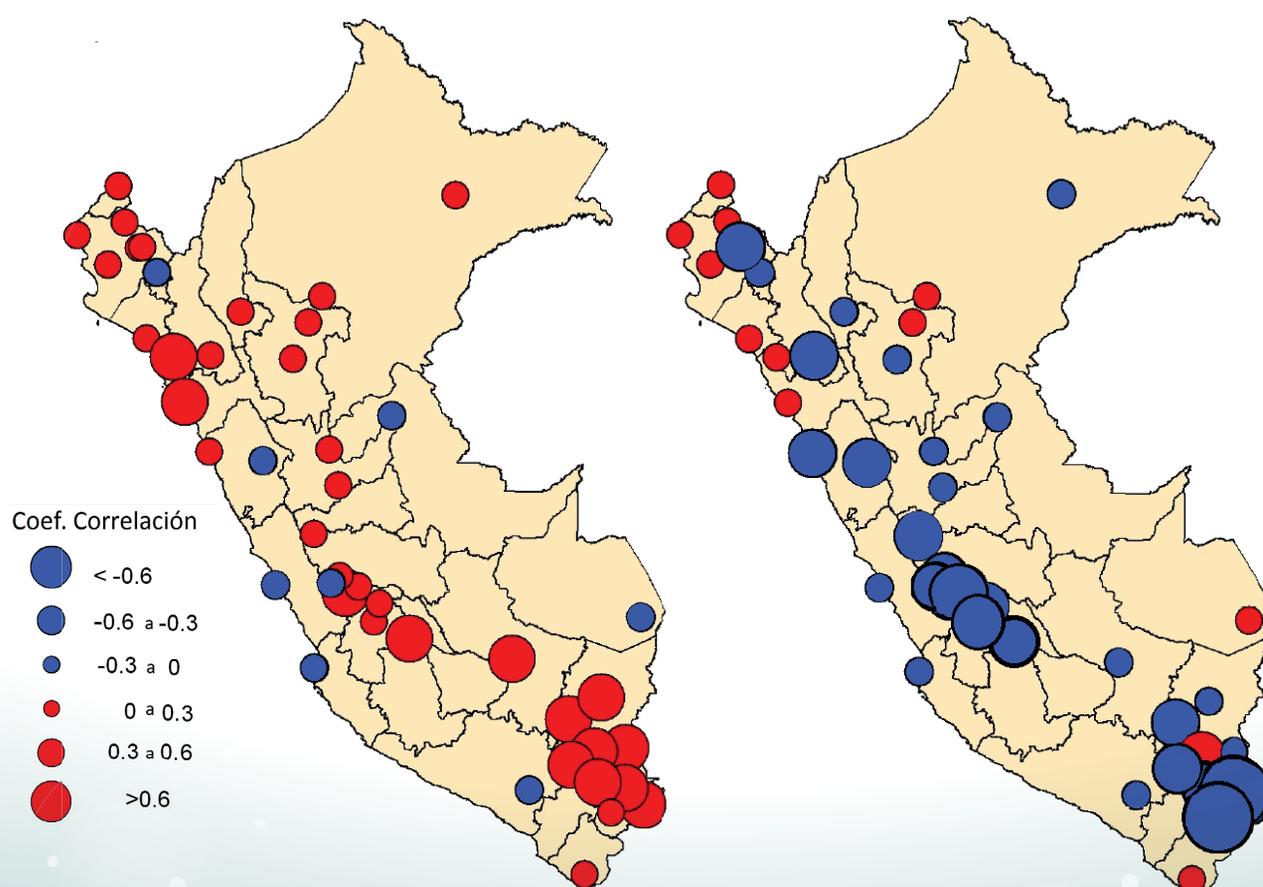


Programa Presupuestal por Resultados N° 068: "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres" Producto: "Entidades informadas en forma permanente y con pronósticos frente al Fenómeno El Niño"

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

Boletín Técnico

### Correlación entre las lluvias y la TSM en el Pacífico occidental (Niño 4) para los meses de noviembre y febrero



# Contenido

2 - 3 **Introducción**

4 - 7 **Artículo de Divulgación Científica**

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 El Niño.

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

**Manuel Pulgar Vidal**  
Ministro del Ambiente

**Ronald Woodman**  
Presidente Ejecutivo IGP

**José Macharé**  
Director Técnico IGP

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

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

Edición: Cristiana Leucci  
Diseño y Diagramación: Dante Guerra

Carátula: Silva. Adaptado de Lagos et al., 2008.

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

Impreso por:  
Editorial Súper Grafica E.I.R.L.  
Av. Naciones Unidas N° 1830 - Cercado de Lima  
Teléfono (511) 7150315

Lima, Diciembre del 2014

Hecho el Depósito Legal en la  
Biblioteca Nacional del Perú N° 2014-19169

# Introducción

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

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

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

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

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



# IGP

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



# ENFEN

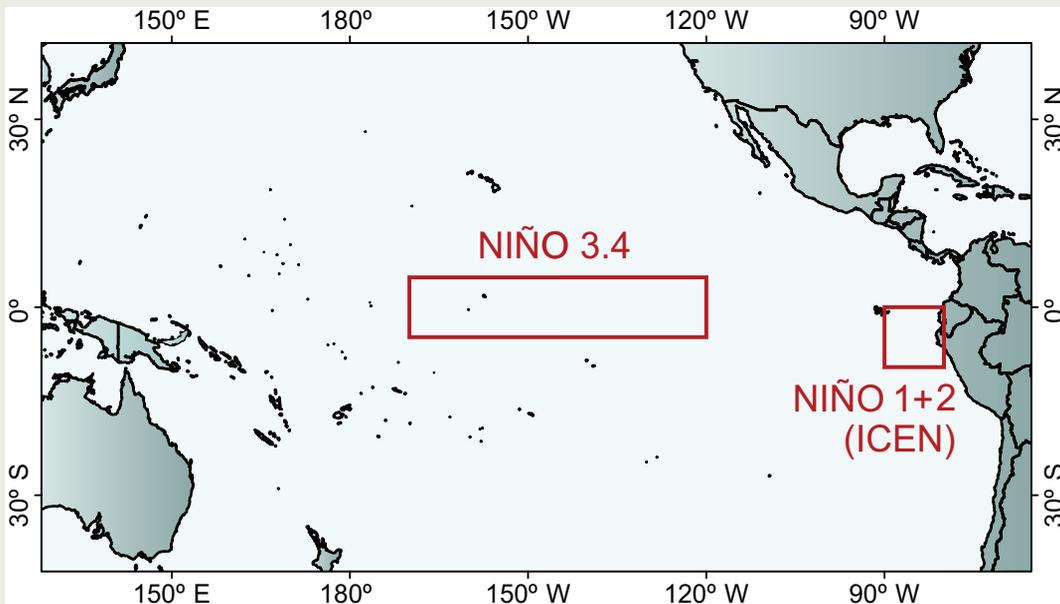
El Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformado por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA e Indeci, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

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

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

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

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



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

# Artículo de Divulgación Científica

## La estacionalidad del impacto de El Niño en las lluvias en el Perú

### Introducción

Las lluvias en el Perú están caracterizadas por una fuerte estacionalidad, principalmente en las zonas andinas, donde estas inician en el mes de setiembre y aumentan paulatinamente hasta alcanzar los valores máximos en los meses de verano (enero-marzo) para descender bruscamente en el mes de abril (IGP, 2005; Lagos et al., 2008; Silva et al., 2008). Los meses de mayo-agosto son meses de escasas lluvias y en algunas zonas no se presentan precipitaciones. Por otro lado, la costa peruana se caracteriza por ser muy seca durante todo el año, a excepción de Tumbes que presenta lluvias en los meses de verano. Sin embargo, durante años El Niño las precipitaciones pueden ser extremas en esta región, mientras que en la selva peruana llueve todo el año, pero siempre más intenso en los meses de verano (Woodman, 1999; Takahashi, 2004; Lagos et al., 2008; Lavado and Espinoza, 2014; Woodman y Takahashi, 2014).

Es ampliamente conocido, que el calentamiento de la superficie del mar frente a la costa norte del Perú (región Niño 1+2) produce precipitaciones extremas en esta región del país (Woodman, 1999; Takahashi, 2004), así como el calentamiento del mar en el Pacífico Ecuatorial Central (por ej., en la región Niño 3.4) inhibe las precipitaciones en la sierra central y sur del Perú (Lagos et al., 2008). Sin embargo es poco discutido el hecho de que el impacto de El Niño/ La Niña en las lluvias en Perú tiene una importante estacionalidad, es decir el impacto en las lluvias dependerá de la estación del año en que ocurra el calentamiento o enfriamiento en el mar. Es por ello, que en el presente documento se hace un breve resumen del impacto de la variabilidad de la temperatura superficial del mar (TSM) en las lluvias en Perú durante el inicio de la temporada de lluvias, (octubre-diciembre) y el pico de la estación de lluvias (enero-marzo), según las estadísticas basadas en datos de estaciones pluviométricas.



Ph. D. Yamina Silva Vidal  
Investigador Científico del  
Instituto Geofísico del Perú

*Ph.D. en Física y Matemática, M. Sc. en Ingeniería e Ingeniera Meteoróloga por el Instituto Estatal de Hidrometeorología de Rusia, San Petersburgo, Rusia. Actualmente es Investigadora Científica en el Instituto Geofísico del Perú (IGP), y se desempeña en el área de Investigación en Variabilidad y Cambio Climático como especialista en clima y microfísica atmosférica en los Andes. Desde el año 2003, su trabajo está concentrado principalmente en estudiar la variabilidad del clima en diferentes escalas de tiempo, desde la variabilidad estacional, intraestacional, interanual, decadal y cambio climático. La zona donde ha desarrollado sus principales estudios y publicaciones es los Andes peruanos. Su interés radica principalmente en entender las causas y origen de las variaciones en el clima del Perú. Además, desde el año 2001 se desempeña como docente en la Sección de Geografía y Medio Ambiente de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y es miembro del Instituto de Ciencias de la Tierra, Naturaleza y Energías Renovables (INTE) de la PUCP.*

## El Niño y las precipitaciones en el Perú

La relación entre las variaciones de la TSM y las lluvias en el Perú registradas en las estaciones de CORPAC fue analizada por Lagos et al. (2008) mediante la correlación lineal de estas últimas con los índices El Niño en las regiones Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4. Los resultados indicaron que la relación entre la TSM y las lluvias en el Perú presentan alta variabilidad temporal, a lo largo del año, así como espacial, debido a la compleja geografía del territorio peruano, en la que se identifican claramente tres subregiones: costa norte, sierra central y sierra sur. Las correlaciones más altas se obtienen principalmente en los meses de verano. La fracción de la variabilidad (varianza) interanual de las lluvias explicada por El Niño/La Niña para la costa norte (Tumbes) alcanza hasta alrededor de 80%, mientras que en la sierra, en el mejor de los casos, es apenas del orden del 36%. Similarmente, Lavado y Espinoza (2014), utilizando el Índice de Oscilación del Sur (IOS), encuentran una señal del El Niño/La Niña sólo en la costa norte y la vertiente del Titicaca (sierra sur). Estos autores también utilizaron otros índices oceánicos, el índice C que describe la variabilidad del Pacífico Ecuatorial Central y el índice E

# La estacionalidad del impacto de El Niño en las lluvias en el Perú

Silva Y.

para el Pacífico Ecuatorial Oriental (Takahashi et al., 2011), que en principio separan mejor los efectos de las diferentes regiones del Pacífico, pero limitan el análisis al acumulado anual de precipitaciones. Sin embargo, sus resultados fueron consistentes con los de Lagos et al. (2008), que se describirán a continuación.

## Precipitaciones en el inicio de la temporada

Para el mes de octubre, las correlaciones entre la TSM en las tres regiones El Niño y las lluvias en el Perú no muestran valores significativos. Similarmente se ha encontrado para la cuenca del Mantaro: no hay relación entre El Niño y las lluvias durante el inicio de la temporada, es decir los meses de octubre a diciembre (Silva et al., 2008). Si se considera solo los años cálidos (El Niño) no hay correlación, sin embargo para los años fríos (La Niña) existe una ligera correlación inversa para

Cajamarca y Huaraz (Lagos et al., 2008).

Como se mencionó líneas arriba, en noviembre resalta la correlación positiva tanto en la costa norte como en la sierra central y sur. Aunque los valores de la correlación no son significativos, es importante resaltar el patrón: calentamiento/enfriamiento en el Pacífico Oriental (región Niño 1+2) se asocia a más/menos precipitaciones en la costa norte; calentamiento/enfriamiento en el Pacífico Occidental (región Niño 4) se asocia a más/menos precipitaciones en la sierra sur (Altiplano), como se puede apreciar en la Figura 1. En este mes, al igual que para octubre, las correlaciones son significativas en la sierra y selva norte, si se consideran solo los años fríos (Lagos et al., 2008). Para el mes de diciembre, ya entrando el verano, las correlaciones (directas) entre la TSM de la región Niño 1+2 y las lluvias en la costa y sierra norte se hacen más significativas.

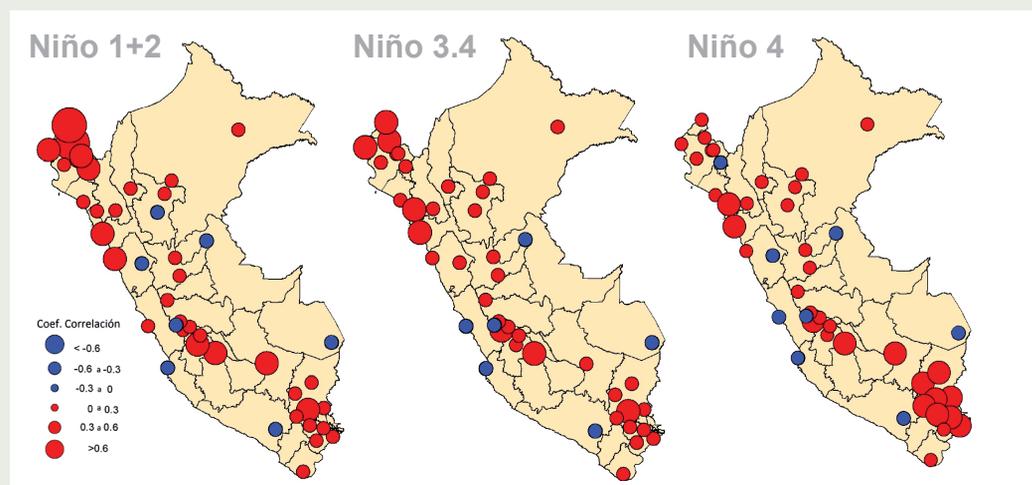


Figura 1. Correlación entre las lluvias y la TSM en la región del Pacífico Oriental (Niño 1+2), Central (Niño 3.4) y Occidental (Niño 4) para el mes de noviembre. Adaptado de Lagos et al. (2008).

## Precipitaciones en el pico de la temporada

Los meses de verano, que son el pico de las lluvias en todo el Perú, presentan una correlación positiva entre la TSM de la región Niño 1+2 y las lluvias en la costa norte, siendo esta más significativa en el mes de febrero (ver Woodman y Takahashi, 2014). Sin embargo, la correlación es menor cuando se considera la región Niño 3.4 y casi nula en el caso de la región Niño 4. Por otro lado, para la sierra central y sur, la correlación es inversa y se hace más significativa a medida que se consideran el Pacífico Central y Occidental, esto ocurre principalmente en febrero (Figura 2).

Lagos et al. (2008) concluye que el patrón para el verano, principalmente en febrero, es el siguiente: un calentamiento en el Pacífico Oriental (región Niño 1+2) genera precipitaciones en la costa norte de Perú; un calentamiento en el Pacífico Central y Occidental, principalmente este último, genera déficit de presiones en la sierra central y sur, tal como indican las correlaciones negativas en la Figura 2.

Para el mes de marzo, las correlaciones disminuyen ligeramente en magnitud, manteniendo el mismo patrón que febrero, pero con valores inferiores.

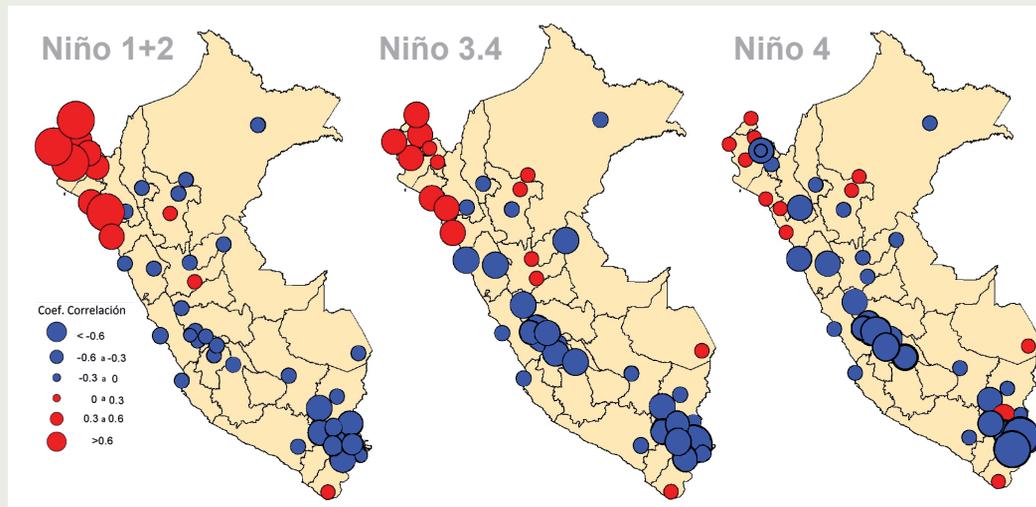


Figura 2. Similar a la Figura 1, pero para el mes de febrero. Adaptado de Lagos et al. (2008).

## Efectos del Atlántico

En Silva et al. (2008) se analiza la relación entre las variaciones de la TSM en el Pacífico Central y Occidental (regiones Niño 3 y Niño 4) y el Atlántico Norte y Sur con la precipitación mensual en la cuenca del Mantaro, encontrándose una relación significativa sólo en el mes de febrero con el Niño 4 y para el mes de marzo con la TSM del Atlántico Tropical Sur, con mayor grado con el gradiente entre el Atlántico Norte

y Sur (STA-NTA), según se observa en la Figura 3. Estos resultados, similarmente a lo descrito por Lagos et al. (2008), hacen referencia a que sólo las lluvias de verano (principalmente febrero) están relacionadas a la variabilidad de la TSM en el océano Pacífico y Atlántico. El periodo de inicio de la temporada de lluvias en la sierra peruana en general y en la cuenca del Mantaro en particular, entre octubre-diciembre, no tiene relación ni con el Pacífico ni con el Atlántico.

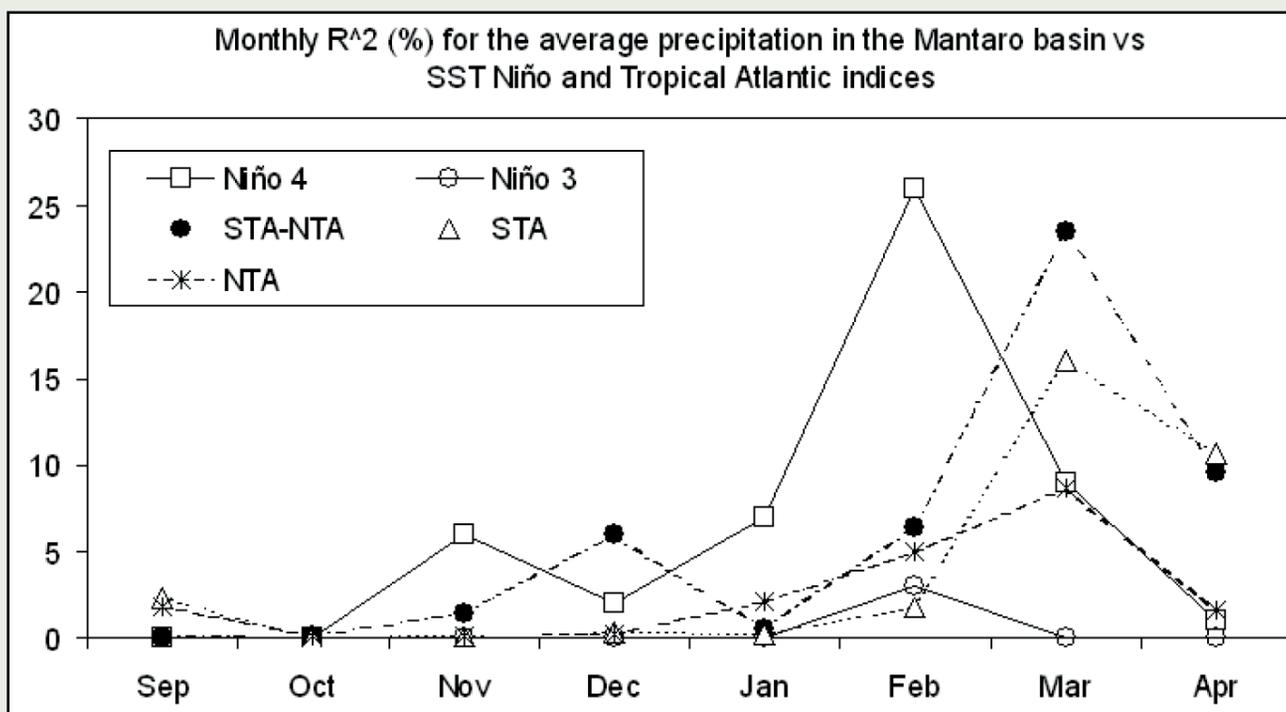


Figura 3. Porcentaje de varianza de la precipitación mensual en la cuenca del Mantaro, explicada por las variaciones en el Pacífico (región Niño 3 y Niño 4) y el Atlántico (STA- Atlántico Tropical Sur, NTA-Atlántico Tropical Norte, y STA-NTA gradiente entre ambos), Silva et al. (2008).

# La estacionalidad del impacto de El Niño en las lluvias en el Perú

Silva Y.

El rol del Atlántico en las lluvias en la Amazonía ha sido descrito por Espinoza (2014), donde las sequías extremas están asociadas a condiciones anómalamente cálidas en el océano Atlántico Tropical Norte durante el otoño e invierno, mientras que los eventos El Niño en el Pacífico Central tienden a reducir las precipitaciones en la Amazonía peruana. Se indica que la mayor sequía registrada desde 1970 (septiembre 2010) fue producida por la influencia combinada de ambos océanos: El Niño durante el verano y anomalías cálidas en el Atlántico Tropical Norte durante el otoño e invierno. Por otro lado, las inundaciones, están asociadas a condiciones frías en el Pacífico Tropical Central (La Niña) y a condiciones más frías de lo normal en el océano Atlántico Tropical Norte durante los meses de verano.

## Conclusiones y recomendaciones

Los datos históricos nos indican que existe una alta correlación entre las lluvias de la costa norte (principalmente en Tumbes y Piura) y la TSM frente a la costa norte de Perú (región Niño 1+2) durante los meses de verano. Esta relación es directa y significativa para los años cálidos. Dicho modelo es usado actualmente para predecir las lluvias en esta región con cierta certeza.

Para la sierra sur y central, si bien existe una correlación inversa entre la TSM en la región Niño 3.4 y las lluvias de verano en esta zona del Perú, es importante mencionar que las mejores correlaciones se obtienen con el Pacífico Occidental (región Niño 4), por lo que se recomienda monitorear esta región del Pacífico a fin de estimar los posibles impactos en las lluvias.

El mes de noviembre presenta un patrón distinto al de los meses de verano. Si bien muestra una correlación positiva entre la TSM en la región Niño 1+2 y las lluvias en la costa norte, en el caso de la sierra central y sur es positiva en lugar de negativa. Es necesario un estudio a mayor detalle a fin de explicar la dinámica de la circulación atmosférica que sería causante del cambio estacional del signo de esta correlación.

Es importante resaltar que, para fines de pronóstico en los Andes, las correlaciones significativas se concentran en el mes de febrero y el efecto de El Niño/La Niña es relativamente bajo el resto del año.

## Referencias

IGP, 2005: *Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la cuenca del río Mantaro*, Fondo Editorial CONAM, Lima, Perú.

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, Setiembre.

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

Lavado, W., and J. C. Espinoza, 2014: *Impact of El Niño and La Niña events on Rainfall in Peru*, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29, 171-182.

Reynolds, R. W., and T. M. Smith, 1994: *Improved global sea surface temperature analyses using optimum interpolation*, *Journal of Climate*, 7, 929-948.

Silva, Y., K. Takahashi, R. Chávez, 2008: *Dry and wet rainy seasons in the Mantaro river basin (Central Peruvian Andes)*, *Advances in Geosciences*, 14, 261-264.

Takahashi, K., 2004: *The atmospheric circulation associated with extreme rainfall events in Piura, Peru, during the 1997 - 1998 and 2002 El Niño*, *Annales Geophysicae*, 22, 3917-3926.

Woodman, R. F., 1999: *Modelo estadístico de pronóstico de las precipitaciones en la costa norte del Perú. El Fenómeno El Niño. Investigación para una prognosis, 1er encuentro de Universidades del Pacífico Sur: Memoria*, 93-108.

Woodman, R. F., y K. Takahashi, 2014: *¿Por qué no llueve en la costa del Perú (salvo durante El Niño)?*, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Vol. 1, N°6, Junio, Instituto Geofísico del Perú.

## Evolución del Sistema Computacional de Alto Rendimiento en el IGP para un mejor pronóstico y estudio de los fenómenos climáticos

Berlin Segura<sup>1</sup>, Ivonne Montes<sup>1</sup> y Kobi Mosquera<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Instituto Geofísico del Perú

En la actualidad, a nivel mundial, el desarrollo y empleo de modelos numéricos implica el uso de supercomputadores y/o computadoras de alto rendimiento para resolver problemas que involucren la dinámica de la Tierra, su interacción con los seres vivos, los procesos naturales que pueden afectar al ser humano y el efecto de este sobre los procesos físicos naturales en diferentes escalas de espacio y tiempo (e.g., sobre todo el planeta o una región en particular y, además, en el pasado, presente o futuro). El Instituto Geofísico del Perú (IGP), por medio del área de Variabilidad y Cambio Climático, no ha estado alejado de esta línea técnica, ya que desde inicios del año 1998 ha venido utilizando, de manera permanente (Figura 1), tecnología de última generación para el desarrollo y aplicación de modelos numéricos que contribuyan a comprender mejor la física de la atmósfera y el océano, a fin de desarrollar su capacidad de pronóstico en temas que son cruciales para el Perú como, por ejemplo, el Fenómeno El Niño.

A inicios del siglo XXI, gracias a un préstamo del Banco Mundial para un proyecto relacionado con el estudio del Fenómeno El Niño, el IGP (junto con otras instituciones) logró adquirir estaciones de trabajo de dos tipos con una capacidad de cálculo de 4 y 16 GFLOPS (Compaq Server DS20 y ES40). Estos equipos fueron de utilidad para continuar con la investigación del clima de la atmósfera y el océano usando modelos numéricos, así como para mantener una base de datos en tiempo real de información oceánica y atmosférica de estaciones automáticas. Fue en estas estaciones de trabajo donde se inició el desarrollo de un modelo oceánico lineal de dos dimensiones de la onda Kelvin ecuatorial (Mosquera, 2009; Mosquera et al., 2011; Mosquera, 2014), cuyos resultados se usan, hasta la actualidad, como uno de los insumos para el diagnóstico y predicción de la dinámica oceánica relacionada al Fenómeno El Niño.

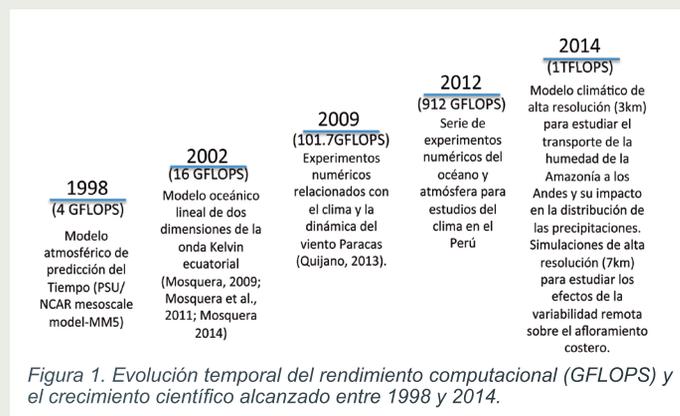


Figura 1. Evolución temporal del rendimiento computacional (GFLOPS) y el crecimiento científico alcanzado entre 1998 y 2014.

### Inicios del modelado numérico en el IGP

A fines del año 1998, el IGP logró revolucionar la meteorología en el Perú al implementar un modelo numérico de la atmósfera (PSU/NCAR mesoscale model-MM5 instalado en una 'Estación de Trabajo'<sup>1</sup> que alcanzaba los 4 GFLOPS<sup>2</sup>) para la predicción en tiempo real de las condiciones atmosféricas en la región de Sudamérica, lo cual permitió brindar al público especializado (nacional e internacional) un nuevo insumo para el pronóstico de hasta tres días de las condiciones atmosféricas (ver Figueroa et al., 1998 para mayores detalles). Asimismo, en el aspecto de la investigación, esta nueva herramienta numérica fue usada para responder algunas preguntas científicas (ver Silva y Takahashi, 2000).

### Modelado numérico actual y proyección

El avance tecnológico ha impulsado el desarrollo e implementación de modelos numéricos que describen el proceso geofísico de manera más compleja, ya que la nueva arquitectura computacional, acompañada de un conjunto de librerías y compiladores que ejecutan muchas instrucciones simultáneamente, permite mejorar la velocidad de las soluciones. Es así que, actualmente, el IGP cuenta con una arquitectura computacional tipo *cluster* (obtenido mediante el proyecto "Impacto de la variabilidad y cambio climático en el ecosistema de manglares de Tumbes" y el proyecto de colaboración SPIRALES2012 IRD<sup>3</sup>-IGP) para la implementación de modelos numéricos paralelizados, es decir, que hacen uso del lenguaje de programación en paralelo (interface de programación de aplicaciones, OpenMP, para la programación multiproceso de memoria compartida e interface de paso de mensajes, MPI, para la ejecución de múltiples tareas, ambos creados por un único programa) para mejorar la eficiencia de cálculo y tener una mejor descripción de la evolución espacial y temporal del proceso geofísico.

Es así que en la actualidad contamos con:

- El modelo regional atmosférico WRF (*Weather Research and Forecasting*, Skamarock et al., 2008) para el estudio de nubes bajas sobre el Pacífico. WRF es un modelo numérico de mesoescala creado para el pronóstico y la investigación atmosférica. En el IGP ha sido implementado con una configuración que cubre el Pacífico Este (0°N-35°S/70°W-110°W) y la costa oeste de América, teniendo una resolución horizontal de 30 km. Para las condiciones iniciales y de frontera se usaron datos de reanálisis FNL (NCEP *Final Analysis*) cuyo periodo de estudio cubre los meses de abril y octubre del 2006. En una etapa inicial, se comparan los resultados de la simulación obtenida en el *cluster* IGP con el modelo WRF

<sup>1</sup>Estación de trabajo (workstation): minicomputador de alta rendimiento Digital Equipment Corporation dual - processor Alpha workstation

<sup>2</sup>FLOPS (Floating point operations per second): una medida del rendimiento de la computadora que representa las operaciones de coma flotante por segundo, siendo 1 gigaFLOP (GFLOPS) = 109FLOPS, 1 teraFLOP (TFLOPS) = 1012FLOPS.

<sup>3</sup>Institut de recherche pour le développement.

# Evolución del Sistema Computacional de Alto Rendimiento en el IGP para un mejor pronóstico y estudio de los fenómenos climáticos

Segura B., Montes I. y Mosquera K.

implementado en el *clúster* del IRD que usa diferente número y modelo de procesadores. Los resultados mostraron que, a pesar que las simulaciones tuvieron la misma configuración y condiciones iniciales y, además, usaron las mismas parametrizaciones físicas, hubo una diferencia significativa en la simulación de cobertura de nubes bajas. Esto se debería a que los modelos fueron corridos con distintas versiones de compiladores Fortran, librerías Netcdf y procesador (ver Figura 2).

- El Modelo Lineal Oceánico (LOM) para el estudio de ondas ecuatoriales (LOM, Mosquera, 2009; Mosquera et al., 2010; Mosquera, 2014) que ha sido diseñado usando el lenguaje de programación científico Fortran. Este modelo es forzado con diferentes esfuerzos de vientos provenientes del reanálisis NCEP/CDAS de baja resolución y ASCAT (dispersómetro *Advanced SCATterometer*) y WINDSAT (radiómetro polimétrico) de alta resolución (0.25°). El modelo da como resultado la anomalía del nivel del mar, que ha sido comparada con datos observados de altura dinámica de TAO y temperatura superficial del mar (TSM) de TAO y Reynolds.

- El Modelo Oceánico Regional (ROMS, Shchepetkin and McWilliams, 2009, 2005) para estudiar el rol del océano sobre el clima. ROMS ha sido configurado, en alta resolución (7km), para la región que cubre el Pacífico Tropical Este (12°N-40°S/90°W-67°W) y está siendo empleado para estudiar cómo la variabilidad remota

ejercida por las regiones tropicales (El Niño-Oscilación del Sur, ENOS) y extratropicales influye en la circulación y el clima frente al Perú. El modelo es corrido desde enero de 2000 y diciembre de 2008, siendo introducida la señal interanual relacionada a ENOS a través de las fronteras laterales, como el forzante oceánico remoto, y a través del viento regional, como el forzante local. Los resultados preliminares muestran que el modelo es capaz de reproducir la dinámica conocida de la región: el agua fría aflorada a lo largo de la costa, los filamentos extendidos desde el frente de afloramiento, la corriente hacia el Ecuador fluyendo a lo largo de la costa, la Corriente Ecuatorial Sur durante La Niña y aguas ligeramente más cálidas y una circulación más lenta durante El Niño del Pacífico Central.

En la actualidad, el desafío de la investigación en el área de Variabilidad y Cambio Climático está relacionado a la implementación de un modelo acoplado regional de la atmósfera y el océano (WRF-OASIS<sup>4</sup>-ROMS) para estudiar la dinámica de la interacción atmósfera-océano y la variabilidad climática en el Perú. Para ello se necesita implementar un módulo de acoplamiento (sistema de acoplamiento) para la interacción y la interpolación de los campos entre las componentes de los modelos atmosféricos y oceánicos. Asimismo, se viene trabajando en una serie de experimentos de sensibilidad tanto con el modelo atmosférico como el oceánico para obtener la mejor asignación de las parametrizaciones, así como los parámetros que resuelvan la dinámica de manera más realista; lo mismo que ha permitido medir la eficiencia de la implementación de los modelos numéricos en el *clúster* (ver ejemplo sobre el WRF en la Figura 2). Además, esto será la base para la implementación de un modelo climático que involucre la dinámica océano-atmósfera-tierra, lo que requiere, en consecuencia, de una arquitectura computacional moderna para integrar estas tres componentes. Por esta razón, nuestros proyectos futuros deberán contemplar el incremento de la capacidad computacional, es decir, la adición de nodos computacionales y/o adquisición de otras estructuras computacionales más eficientes.

Procesador	Cluster IRD Altix ICE 8200	Cluster IGP Intel Xeon
Aplicación	WRFv3.3.1	WRFv3.3.1
Compiladores fortran y lenguaje C	ifort v11.1 icc	ifort v13.0 gcc v4.7.1
Librerías Netcdf	Netcdf v4.0.1	Netcdf v3.6.3
Message Passing Interface (MPI)	MPI v3.2	Open MPI v1.6.3
Planificador de tareas	Portable Batch System PBS	SLURM v2.4.4

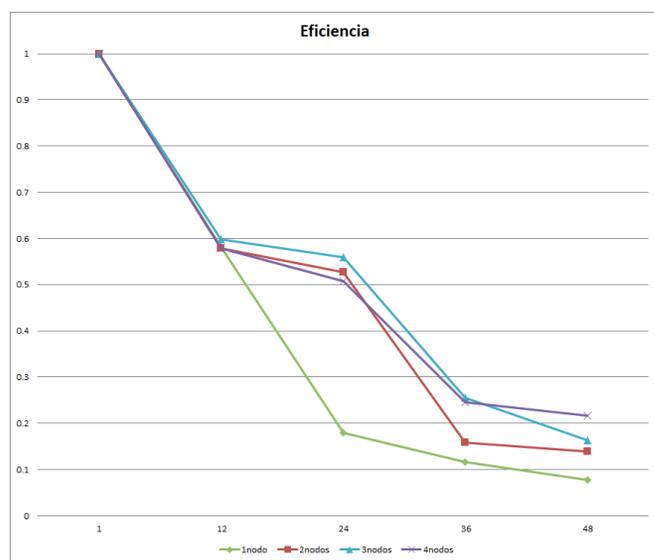


Figura 2. (Arriba) Los compiladores y librerías usados en los clusters IRD e IGP para la implementación del modelo WRF. (Abajo) Eficiencia de la implementación del modelo WRF en el cluster IGP usando MPI con 1 nodo (línea verde), 2 nodos (línea roja), 3 nodos (línea celeste) y 4 nodos (línea morada); mostrando que, aunque la eficiencia disminuye con el número de nodos, su nivel más significativo está asociado al uso de 2 y 4 nodos.

<sup>4</sup>Acoplador Ocean Atmosphere Sea Ice Surface (Valcke et al., 2006).

## Referencias

Figuroa, S. N., P. Lagos, J. P. Fernandez, y K. Takahashi, 1998: Aplicación Operacional del Modelo MM5 para el Pronóstico del Tiempo y la Modernización de la Meteorología en el Perú, Presented at the "VIII Congreso Latino-americano e Iberico de Meteorología y X Congreso Brasileiro de Meteorología".

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., 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, Lima, Año 5, No9, julio-diciembre de 2010, 55.

Mosquera, K., 2014: Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Vol. 1, No. 1, Enero, Instituto Geofísico del Perú4-7.

Quijano, J., 2013: Estudio numérico y observacional de la dinámica del viento Paracas, asociado al transporte eólico hacia el océano frente a la costa de Ica-Perú, Tesis para optar el grado de Magíster en Ciencias del Mar - Universidad Peruana Cayetano Heredia.

Shchepetkin, A. F., and J. C. McWilliams, 2005: The regional oceanic modeling system (ROMS): A split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model, *Ocean Modelling*, 9, 347-404.

Shchepetkin, A. F., and J. C. McWilliams, 2009: Correction and commentary for "Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the regional ocean modeling system" by Haidvogel et al., *Journal of Computational Physics*, 227, 3595-3624.

Skamarock, W., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. Barker, M. G. Duda, X.-Y. Huang, and W. Wang, 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR, DOI: 10.5065/D68S4MVH.

Valcke, S., R. Budich, M. Carter, E. Guilyardi, M-A Foujols, M. Lautenschlager, R. Redler, L. Steenman-Clark, N. Wedi, 2006: The PRISM software framework and the OASIS coupler, Proceedings of the eighteenth annual BMRC Modelling Workshop 'The Australian Community Climate and Earth System Simulator (ACCESS) - challenges and opportunities', A.J. Hollis and A.P. Karito editors, Melbourne, Australia.

## IGP participa en III Conferencia Internacional ENSO

Del 12 al 14 de noviembre, investigadores de las áreas de Variabilidad y Cambio Climático y Geofísica y Sociedad del Instituto Geofísico del Perú (IGP) participaron, con apoyo del Proyecto Manglares del IGP, en la *III International Conference on ENSO – Bridging the gaps between Global ENSO Science and regional processes, extremes and impact*, evento organizado por el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno El Niño (CIIFEN), en la ciudad de Guayaquil, Ecuador.

Dicha reunión este año se realizó con la finalidad de crear un espacio de encuentro donde científicos y expertos pudieran compartir los resultados de sus estudios y desarrollar nuevos conocimientos para mejorar los sistemas de predicción del fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), y sus impactos regionales.

Los especialistas del IGP realizaron tanto charlas científicas como presentaciones de posters a través de las cuales ilustraron los logros de sus investigaciones sobre dinámica, modelamiento, predicción e impactos del fenómeno El Niño, incluyendo resultados del Proyecto Manglares.



Los especialistas del IGP participaron en la III Conferencia Internacional ENSO del 12 al 14 de noviembre.

### Diversidad del fenómeno ENOS

Con la presentación "A view of ENSO diversity from the Eastern Pacific", el 13 de noviembre el Dr. Ken Takahashi, responsable del área de Investigación en Variabilidad y Cambio Climático del IGP, participó en la IV Sesión de la III Conferencia Internacional sobre ENSO que fue dedicada al tema "El Niño Oscilación Sur (ENOS) y procesos regionales".

Dentro de esta sesión, el especialista del IGP pudo exponer los resultados de su investigación sobre las características de ENOS desde el Pacífico Oriental. "En el Perú, El Niño

se entiende principalmente como un calentamiento anormal de la costa y sus efectos locales, pero el concepto ha sido tomado y modificado por la comunidad internacional para referirse a la fase cálida de El Niño-Oscilación Sur (ENOS) que se monitorea en el Pacífico central en lugar del oriental. Esta diferencia en los conceptos ha llevado a mucha confusión en nuestro país", resaltó el Dr. Takahashi, añadiendo que "El Niño y los eventos ENOS cálidos no coinciden necesariamente y que incluso los mecanismos físicos asociados pueden ser distintos en el Pacífico central y oriental".

### Avances en reformulación del sistema observacional del Pacífico Tropical

El día 14 de noviembre, en el marco de las actividades de la *III International Conference on ENSO*, el Dr. Ken Takahashi (IGP) realizó la presentación "Developing a tropical Pacific observing system for 2020 and beyond" sobre los avances en el proyecto TPOS 2020, de cuyo Comité Científico es miembro.

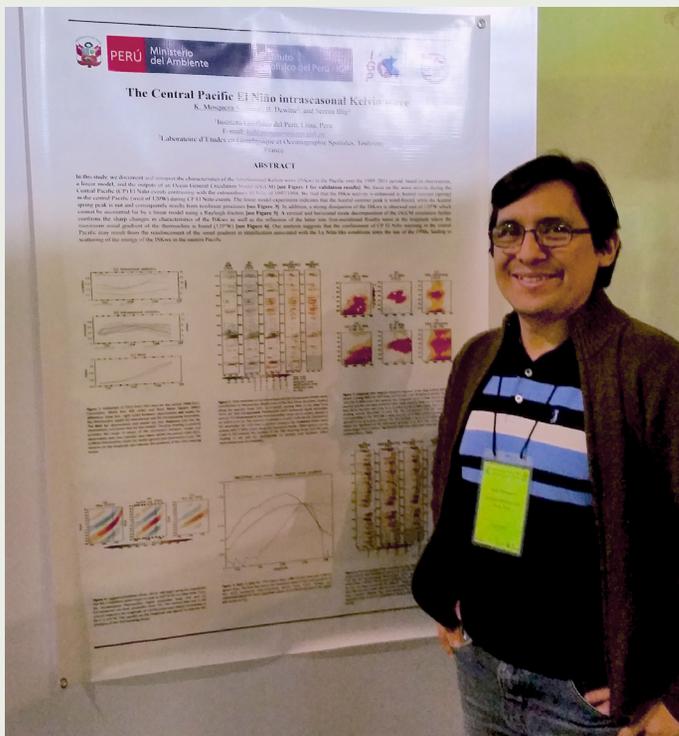
En la mencionada ponencia, el especialista del IGP resaltó como el sistema observacional en el Pacífico Tropical ha sido siendo un recurso esencial para la investigación y la predicción de El Niño pero que en los últimos años han surgido serios desafíos para su sostenibilidad, así como cambios en los requerimientos y tecnología disponibles para dichas observaciones.

Tras la ponencia, se desarrolló una animada discusión con representantes de la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS), la Comisión Colombiana del Océano (CCO), el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), la Alianza Regional GOOS para el Pacífico Sudeste (GRASP), el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno El Niño (CIIFEN), entre otros, así como varios expertos científicos internacionales.

En este debate, el Dr. Takahashi enfatizó la necesidad de que los países de la costa sudamericana tomen un rol de liderazgo en los esfuerzos para mejorar las observaciones en nuestra región, así como para integrar y hacer fácilmente accesibles los datos ya generados por estos, explicando que esto es necesario para que la comunidad científica internacional pueda trabajar en la mejora de los modelos y pronósticos que son particularmente deficientes para el Pacífico Oriental.

## Exhibición de posters

En el marco de la *III International Conference on ENSO*, los investigadores del IGP ilustraron los resultados de sus estudios también en las sesiones de posters incluidas en el programa.



Kobi Mosquera es candidato a doctor en Oceanografía Física de la Universidad Paul Sabatier (Francia).

El 12 de noviembre el Ph.D. (c) Kobi Mosquera, especialista del área de Variabilidad y Cambio Climático, presentó el poster “*The Central Pacific El Niño Intraseasonal Kelvin wave dentro de la Sesión ENSO: Dynamics*”.

Dicho poster está relacionado al paper de Mosquera et al. “*The Central Pacific El Niño intraseasonal Kelvin wave<sup>1</sup>*” que fue publicado online este año por el *Journal of Geophysical Research: Oceans* (JGR-Oceans), revista especializada de la *American Geophysical Union (AGU)*, e ilustra las características de la onda Kelvin intraestacional en el Pacífico durante el período 1989-2011, sobre la base de observaciones, un modelo oceánico lineal, y los resultados de un Modelo Oceánico de Circulación General. La presentación del poster se centró en la actividad de dichas ondas durante los eventos El Niño del Pacífico Central (CP) y realizó una comparación entre este caso y el de El Niño extraordinario de 1997/1998.

El análisis sugiere que la reducción en las variaciones asociadas a El Niño en el Pacífico oriental podría deberse a las condiciones frías tipo La Niña y a la mayor inclinación oeste-este de la termoclina ecuatorial que se viene dando desde finales de los años 90, lo cual impediría que las ondas Kelvin intraestacionales se propaguen eficientemente hacia el extremo del Pacífico Oriental.

En la Sesión “*ENSO modeling and prediction*” del día 13, el Dr. Ken Takahashi presentó en lugar de la Dra. Katerina Goubanova, el trabajo que realizan en conjunto titulado “*Strong sensitivity to parameterization schemes in simulations of the vertical motion in the Eastern Pacific ITCZ during El Niño 97/98 with the WRF model*” en el que se muestra las grandes diferencias en la simulación de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ en inglés), el principal sistema de lluvias en el Pacífico oriental, que resultan de escoger diferentes esquemas de parametrización física en el modelo atmosférico WRF. Este trabajo es importante para el modelado del sistema acoplado oceano-atmósfera en el Pacífico oriental, ya que la ITCZ juega un rol clave en el desarrollo de El Niño en nuestra región. La Dra. Goubanova es investigadora postdoctoral del IGP y del *Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales* (Francia) financiada por el IRD de Francia.

Finalmente, el día 14, los especialistas del IGP Ken Takahashi y Alejandra Martínez estuvieron a cargo de las exposiciones de los posters “*El Niño and the mangroves in northern Peru*” y “*Artisanal extraction of aquatic resources in the protected mangroves of northern Peru, conservation of the resources and impacts of El Niño*”, respectivamente, que se desarrollaron dentro de la sesión “*ENSO impacts*” y resaltaron algunos de los resultados más importantes logrados en el marco del Proyecto Manglares. Cabe mencionar que El Niño tiene un efecto muy fuerte en la región Tumbes y una diversidad de impactos en el ecosistema de manglares, particularmente a través del aumento de los caudales de los ríos que cambian la salinidad y otras propiedades de las aguas de los manglares, y el fuerte aumento en los sedimentos que son traídos por los ríos y que producen colmatación de los canales del manglar. Además, el aumento en el nivel del mar durante El Niño produce una alteración en el régimen de mareas que afecta directamente las actividades socioeconómicas en el manglar. Los efectos de El Niño dan una idea de lo que se podría esperar con el cambio climático futuro. Por otro lado, los aspectos socioeconómicos son al menos tan importantes como los climáticos y deben ser considerados cuidadosamente para plantear las medidas de adaptación al cambio climático.

<sup>1</sup>Mosquera-Vásquez, K., B. Dewitte, and S. Illig, 2014: *The Central Pacific El Niño intraseasonal Kelvin wave*, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, doi: 10.1002/2014JC010044.

# Resumen del Informe Técnico

## PPR/El Niño - IGP/ 2014 - 11

**Advertencia:** El presente informe sirve como insumo para el Comité Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). El pronunciamiento colegiado del ENFEN es la información oficial definitiva.

La presente información podrá ser utilizada bajo su propia responsabilidad.

### Resumen

Según el Índice Costero El Niño (ICEN), las condiciones climáticas frente a la costa peruana son cálidas débiles para el mes de octubre de 2014, las cuales se proyectarían hasta el verano del 2015, según los modelos numéricos. Estos últimos señalan, en el mismo periodo, que las condiciones en el Pacífico Central serán alrededor de cálidas débiles. Actualmente existe la presencia de una onda Kelvin cálida en el Pacífico Ecuatorial Central que debe impactar la costa peruana a lo largo del mes de diciembre.

### Índice Costero El Niño

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

Año	Mes	ICEN	Condiciones costeras del mes
2014	Julio	1.19	Cálida Moderada
2014	Agosto	1.02	Cálida Moderada
2014	Setiembre	0.69	Cálida Débil
2014	Octubre	0.52	Cálida Débil

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

**El ICEN del mes de octubre de 2014 indica que la condición cálida para este mes clasifica como débil.** 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 (Fig. 1d; Mosquera et al., 2014), de la profundidad de la isoterma de 20°C calculada de Argo (Fig. 1c; Aparco et al., 2014) y esfuerzo de viento zonal. Tanto los datos *in situ* (TAO y Argo) como remotos (JASON-2) indican la presencia de una onda Kelvin que debe arribar en diciembre.

Los modelos oceánicos lineales del IGP (Mosquera, 2009; 2014 y Mosquera et al., 2011) con la profundidad referencial de la termoclina uniforme (LOM1) y profundidad variable (LOM2), fueron forzados con anomalías de vientos superficiales obtenidas de ASCAT hasta el 02 de diciembre de 2014. Este modelo es luego corrido en modo de pronóstico con las anomalías de viento i) igualadas a cero (LOM1a y LOM2a), y ii) iguales al promedio de los últimos 30 días (LOM1b y LOM2b).

En general, los modelos lineales y los productos observacionales indican la llegada de una onda Kelvin cálida a la costa sudamericana para el mes de diciembre. Esta onda se habría formado por anomalías de viento del oeste en la región del Pacífico Central (alrededor de la línea de fecha) a mediados de octubre (ver Fig. 1a).

### Pronóstico estacional con modelos climáticos

Para los próximos meses, que incluyen el verano 2015, los pronósticos de la ATSM en el Pacífico oriental (Niño 1+2, ICEN) indican principalmente condiciones cálidas débiles, lo que formalmente significa que el evento El Niño costero se extendería por cuatro meses más, sin cambios en su magnitud (ver Fig. 2). Los pronósticos para meses posteriores a enero tienen baja confiabilidad (Reupo y Takahashi, 2014).

Para los próximos meses, que incluyen el verano de 2015, los pronósticos de la ATSM en el Pacífico Central (Niño 3.4) por los modelos numéricos de las agencias

# Resumen del Informe Técnico PPR/El Niño - IGP/ 2014 - 11

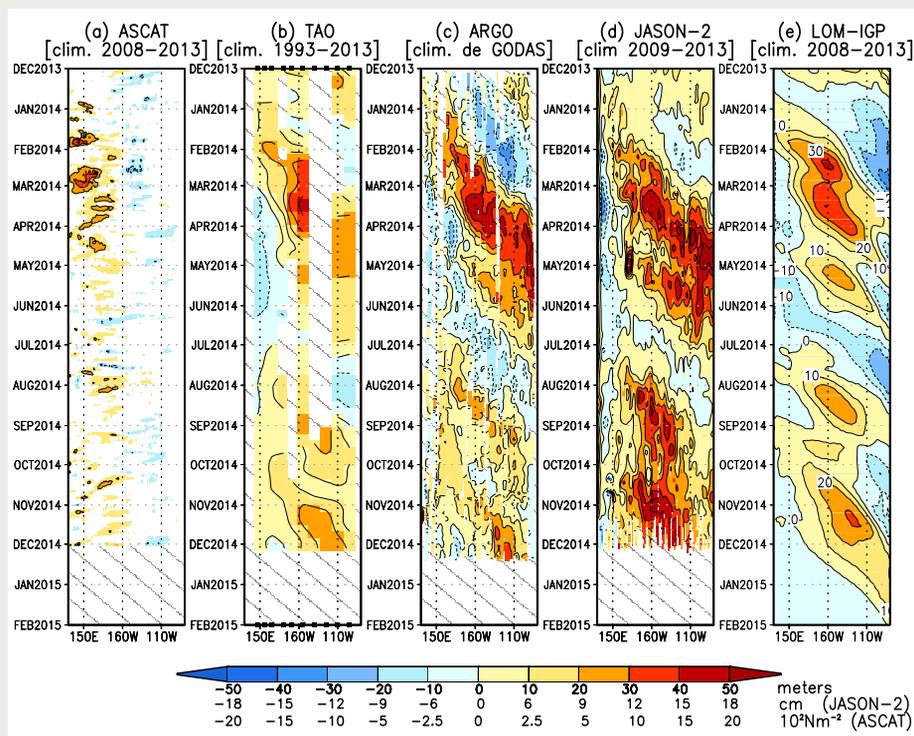


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C de los datos de TAO (b) y los derivadores de Argo (c), datos del nivel del mar de JASON-2 (d). Finalmente en (e) se 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)

internacionales indican condiciones alrededor de cálidas débiles.

## Conclusiones

1. El ICEN para el mes de octubre fue de 0.52°C (cálida débil). Se aprecia que el evento El Niño, de magnitud moderada, que ha afectado la costa peruana, viene disipándose lentamente.

2. Para los próximos tres meses, los pronósticos de la ATSM en el Pacífico Oriental (Niño 1+2, ICEN) de todos los modelos numéricos de las agencias internacionales analizados con condiciones iniciales de noviembre indican condiciones cálidas débiles.

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

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.

Modelo	Inicio	Extremo	Final
CFS2	Mayo 2014	Julio 2014	Mayo 2015
CMC1	Mayo 2014	Julio 2014	Mayo 2015
CMC2	Mayo 2014	Julio 2014	Mayo 2015
GFDL	Mayo 2014	Julio 2014	Mayo 2015
NASA	Mayo 2014	Julio 2014	Mayo 2015
NCAR	Mayo 2014	Julio 2014	-
GFDL_FLOR	Mayo 2014	Julio 2014	Mayo 2014
NCAR_CCSM4	Mayo 2014	-	Mazo 2015
NMME(prom)	Mayo 2014	Julio 2014	Abril 2015
ECMWF	-	Julio 2014	Marzo 2015

Tabla 2. Pronósticos de evento El Niño/La Niña en la costa según modelos climáticos con condiciones iniciales de noviembre de 2014. Los valores extremos no consideran los valores del 2015 por su baja confiabilidad (Reupo y Takahashi, 2014).

# Resumen del Informe Técnico PPR/EI Niño - IGP/ 2014 - 11

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 debe arribar en el mes de diciembre. Actualmente la intensidad de la onda es menor a la de las ondas que arribaron entre abril y mayo de este año. Asimismo, no se observa, hasta la fecha, actividad relevante de los vientos del oeste en el Pacífico Central y Occidental que puedan generar más ondas de Kelvin cálidas.

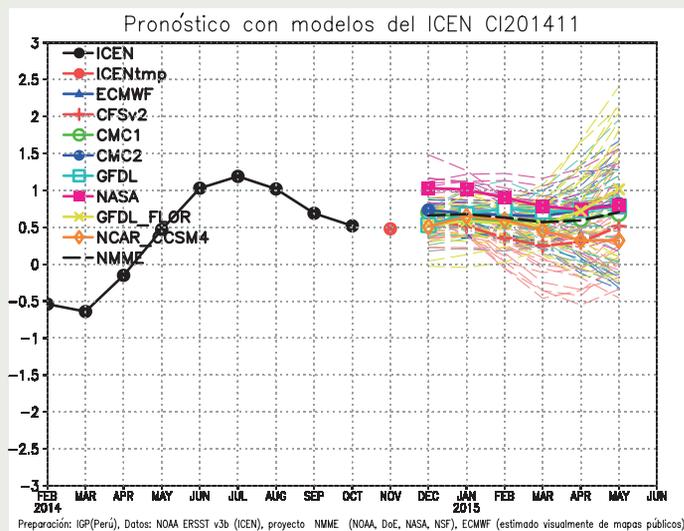


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y sus valores temporales (ICENtmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de tres meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Las líneas entrecortadas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

## Referencias

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

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.

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

Mosquera, K., 2014: Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Vol. 1, No1, Enero, Instituto Geofísico del Perú.

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

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

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

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, No. 1, Enero, Instituto Geofísico del Perú.

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

# Comunicado Oficial ENFEN

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



### COMUNICADO OFICIAL ENFEN N° 16- 2014 SE ESPERAN CONDICIONES EL NIÑO DÉBIL 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 noviembre.

El Índice Costero El Niño (región Niño 1+2) indica que en octubre se presentó una condición *cálida débil* del evento El Niño.

A lo largo de la costa peruana, continuaron las condiciones neutras de la temperatura superficial del mar, de la temperatura del aire y del nivel medio del mar, con alta variabilidad dentro del mes.

En los siguientes días se espera el arribo de una onda Kelvin cálida, descartándose el desarrollo de un evento El Niño fuerte o extraordinario para el verano de 2015.

Durante el mes de noviembre, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) presentó una configuración zonal y un repliegue hacia el sureste del litoral costero con una anomalía de hasta +3 hPa en su núcleo. En promedio, el desplazamiento del APS hacia el sur, mantuvo la baja intensidad de los vientos del sur en la costa peruana.

La temperatura superficial del mar se mantuvo alrededor de su valor normal, ampliando su cobertura hacia el oeste. Asimismo, la temperatura del aire y el nivel medio del mar presentaron, en promedio, valores alrededor de lo normal, aunque con alta variabilidad durante el mes.

Las condiciones en el mar peruano vienen favoreciendo una mayor presencia de la anchoveta en sus áreas tradicionales con respecto al mes anterior, mostrando una tendencia gradual a la declinación del desove.

El Índice Costero El Niño (ICEN), cuyo monitoreo se realiza en la región Niño 1+2, indicó un valor de 0.52oC para el mes de octubre, continuando dentro del rango *cálido débil*.

Las condiciones hidrológicas de los ríos, tanto de la costa norte como de la costa sur, se han caracterizado por estar dentro de sus valores normales. Los principales reservorios en la costa norte registraron 40 % y en la costa sur 29 % de capacidad de almacenamiento. Los reservorios están entregando recurso hídrico a los valles, reduciendo sus volúmenes de almacenamiento.

#### PERSPECTIVAS

En el océano Pacífico ecuatorial, continúa la propagación de la onda Kelvin cálida, cuyo núcleo estaría arribando a la costa peruana el presente mes.

En la costa peruana se espera que durante el mes de diciembre la temperatura superficial del mar, la temperatura del aire y el nivel medio del mar muestren un incremento, principalmente en la costa norte, debido al arribo de la onda Kelvin cálida prevista.

Para el verano del 2015, en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4, los modelos numéricos globales indican mayores probabilidades de presentar condiciones *cálidas débiles*.

El Comité Multisectorial ENFEN, de acuerdo con el análisis de las condiciones actuales y los resultados de los modelos numéricos globales, prevé la continuación de condiciones *cálidas débiles* en la región Niño 1+2 para el verano.

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

Callao, 10 de diciembre de 2014





© 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:

