



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: "Estudios para la estimación  
del riesgo de desastres"

## BOLETÍN TÉCNICO



# GENERACIÓN DE INFORMACIÓN Y MONITOREO DEL FENÓMENO EL NIÑO

Lluvias a lo largo de la costa del Perú  
durante los eventos fuertes de El Niño

VOL. 5 N° 8 AGOSTO 2018

# Contenido

3 - 4

Introducción

5 - 9

Artículo de Divulgación Científica

10 - 12

Avances Científicos

13 - 17

Resumen del Informe Técnico

18 - 19

Comunicado Oficial ENFEN

---

# Créditos

Programa Presupuestal N° 068 "Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres".  
Producto: "Estudios para la estimación del riesgo de desastres".  
Actividad: "Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño".

**Fabiola Muñoz**  
Ministra del Ambiente

**Hernando Tavera**  
Presidente Ejecutivo IGP

**Danny Scipión**  
Director Científico IGP

**Yamina Silva**  
Directora de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

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

Equipo científico: Kobi Mosquera, Jorge Reupo, Berlín Segura, Andréé Galdós

Edición: Katherine Morón  
Diseño y Diagramación: Luis Miguel Ybañez

Carátula: Desde mediados de enero, el Fenómeno El Niño Costero afecta a Perú y Ecuador. Las lluvias, huaicos y desbordes de ríos golpean el norte y centro del país. Foto: ANDINA

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

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

Lima, octubre de 2018

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

# Introducción

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

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

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

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

Los resultados de esta actividad están disponibles en: <http://intranet.igp.gob.pe/productonino/>



# IGP

El Instituto Geofísico del Perú es una institución pública al servicio del país, adscrito al Ministerio del Ambiente, que genera, utiliza y transfiere conocimientos e información científica y tecnológica en el campo de la geofísica y ciencias afines, forma parte de la comunidad científica internacional y contribuye a la gestión del ambiente geofísico con énfasis en la prevención y mitigación de desastres naturales y de origen antrópico.

En el marco de la Comisión Multisectorial para el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), el IGP rutinariamente aporta información experta sobre modelos y pronósticos relacionados con El Niño y fenómenos asociados.



# ENFEN

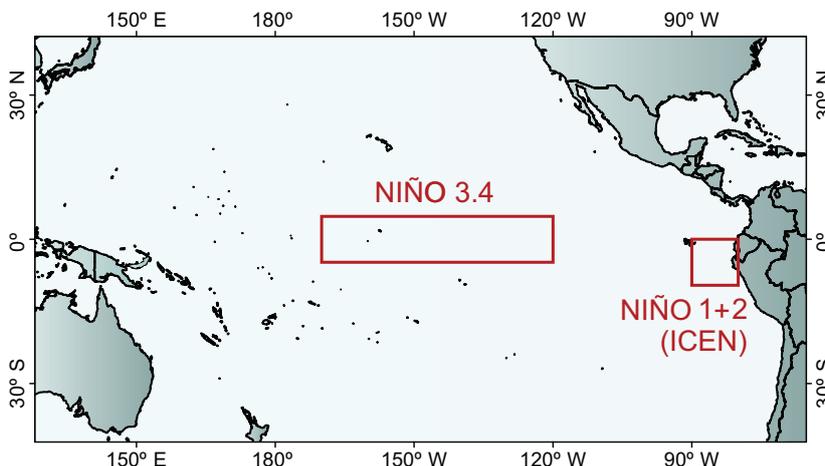
La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformada por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA, INDECI y CENEPRED, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

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

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

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

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



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

# Lluvias a lo largo de la costa del Perú durante los eventos fuertes de El Niño



**Janeet Sanabria Quispe, Ph.D**  
INVESTIGADORA CIENTÍFICA

*Es Ph.D en Océano, Atmósfera y Clima de la Univeristé Paul Sabatier Toulouse III-Francia. Además, es ingeniera meteoróloga de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Es autora de numerosos artículos publicados en revistas internacionales y nacionales en el dominio variabilidad interanual- ENSO (El Niño), climatología, agrometeorología, cambio climático y eventos extremos.*

## INTRODUCCIÓN

La vertiente Pacífico-peruana, climáticamente de características áridas y semiáridas, durante los eventos Fuertes de El Niño (FEN), es afectada por lluvias fuertes e inundaciones con severas implicancias socioeconómicas. El Niño, que es la fase cálida del ENOS (El Niño - Oscilación del Sur), influye en el clima regional a través de las llamadas teleconexiones atmosféricas (Bjerknes, 1969; Horel and Wallace, 1981; Trenberth et al., 1998; Diaz et al., 2001) y oceánicas (i.e. Ondas Kelvin). Al sur de los 7°S de la costa del Perú, donde usualmente prevalecen condiciones secas, durante los FEN, esta región experimenta lluvias fuertes (Takahashi y Martínez, 2017). Mientras el impacto de estos FEN es esperado en el norte del Perú, todavía hay incertidumbre sobre la magnitud y extensión de los patrones de anomalías de lluvia durante estos eventos (Rau et al., 2017). Esto ocurre debido a los complejos procesos físicos y al limitado número de FEN, así como a su diversidad. Estudios recientes señalan que ENOS puede entenderse como el resultado de dos regímenes distintos: El Niño del Pacífico Este (EP) y Central (CP), los cuales se caracterizan por tener los máximos de las anomalías de la Temperatura Superficial

del Mar (TSM) en el Pacífico Este y Central (Kug et al., 2009), respectivamente, y que están asociados a una teleconexión atmosférica distinta (Hastenrath, 1978; Ropelewski y Halpert, 1987; Frauen et al., 2014; Capotondi et al., 2015).

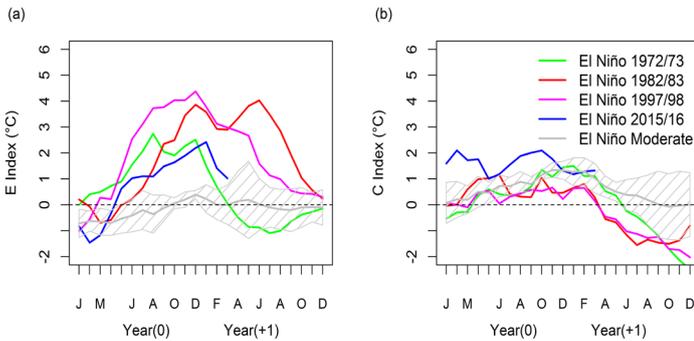
El impacto en la lluvia a lo largo de la costa del Perú es distinto durante estos dos tipos de eventos El Niño (Lavado y Espinoza, 2014; Bourrel et al., 2015; Rau et al., 2017). Los eventos de El Niño EP están asociados con lluvias fuertes en el norte del Perú, mientras que El Niño CP produce condiciones más secas en tierras altas a lo largo de la vertiente del Pacífico. Estos estudios se centraron en el promedio de la estación lluviosa y en la fase pico del ENOS, aunque es necesario indicar que estos eventos pueden diferir en su evolución. En este punto se evidencia la relación entre el ENOS y la lluvia durante los FEN, pero observando que estos eventos tienen diferentes evoluciones. Cuatro FEN, comparables en la región Niño 3.4, tomaron lugar sobre las cinco últimas décadas y produjeron lluvias notables en el Perú: El Niño 1972/73, 1982/83, 1997/98 y 2015/16. Si bien estos eventos muestran magnitudes comparables (región Niño 3.4), su evolución y proyección en las anomalías de la TSM en el Pacífico tropical son diferentes (Ver Figura 1), lo cual se cree

que influye en sus teleconexiones sobre el Perú. Esta evolución de FEN es descrita por los índices\* C y E que caracteriza la variabilidad en El Niño EP o CP, respectivamente. También, un *composite* de evolución de 12 eventos moderados de El Niño del período 1950-2016 es analizado como un punto de referencia para la comparación.

el propósito de este artículo es documentar la variabilidad de la precipitación sin asumir ninguna relación *a priori* con la diversidad del ENOS. El estudio está motivado por la demanda social y la necesidad de proporcionar una interpretación de las recientes condiciones de precipitación en el Perú asociadas con el evento El Niño 2015/2016, las cuales se han categorizado como un evento fuerte por la comunidad internacional (L'Heureux et al., 2017), pero tuvo mucho menos impacto que el Niño de 1997/1998 (SENAMHI, 2015). En ese sentido, este estudio también tiene como objetivo evaluar la no linealidad de la teleconexión de ENOS en el Perú durante un fuerte episodio de El Niño.

## MODOS DE LA VARIABILIDAD DE LLUVIAS

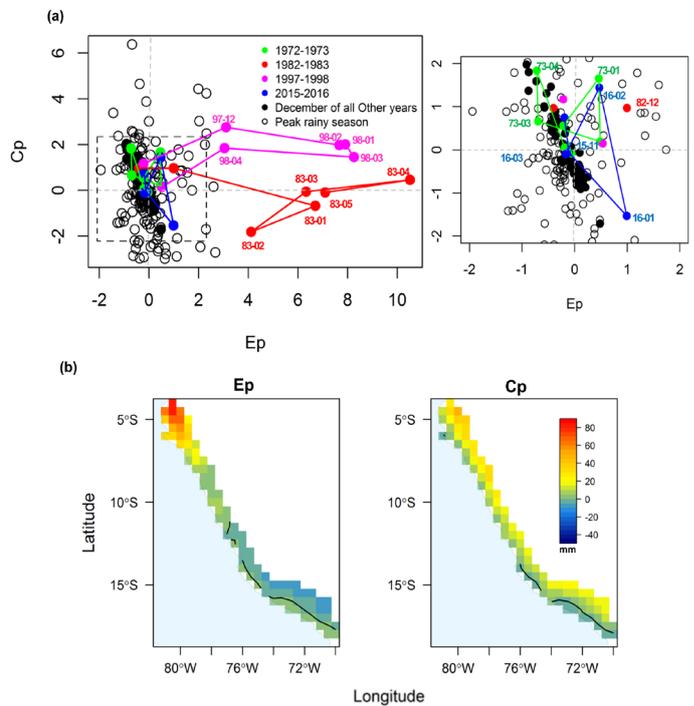
La variabilidad de la lluvia es descrita por los dos modos EOF rotados de la anomalía de la lluvia. La característica de la Figura 2 (a) es que solo los eventos El Niño 1997/1998 y 1982/1983 se alinean a lo largo del eje X durante su fase de desarrollo (con poco componente en el eje Y), mientras que los eventos El Niño 1972/1973 y 2015/2016 tienen su varianza explicada de manera dominante por el modo Cp (proyección principal a lo largo del eje Y). El evento El Niño 1972/1973 y 2015/2016 muestra anomalías de lluvia débiles o moderadas a lo



**Figura 1.** Evolución de los índices (a) E y (b) C de los cuatro eventos fuertes de El Niño (1972/1973, 1982/1983, 1997/1998 y 2015/2016) y el compuesto de eventos moderados. Los índices E y C se definen como en Takahashi et al. (2011) del conjunto de datos HadISST durante el período 1950-2016. El compuesto para eventos moderados incluye 12 eventos de 1950 a 2016 (1957/1958, 1963/1964, 1965/1966, 1968/1969, 1969/1970, 1977/1978, 1987/1988, 1991/1992, 1994/1995, 2002/2003, 2004/2005 y 2009/2010). La eclosión en línea gris representa la dispersión (desviación estándar) entre los 12 eventos moderados de El Niño.

La Figura 1 muestra la diferencia entre El Niño EP y El Niño CP, donde el índice E muestra grandes anomalías para El Niño EP. Este no es el caso para eventos El Niño CP. En cambio, en el índice C la magnitud es comparable para ambos tipos de eventos. La característica en esta figura es la gran dispersión en la evolución del índice E para eventos fuertes; por ejemplo, el evento El Niño 1997/1998 alcanzó su máximo en diciembre de 1997, mientras que El Niño 1982/1983 presenta un doble pico: uno en diciembre de 1982 y el otro en junio de 1983. El Niño de 1972/1973 alcanzó su punto máximo a principios en agosto del mismo año, incluyendo valores significativamente más bajos del índice E. El evento El Niño 2015/2016 es más comparable con El Niño 1972/1973 en términos de la magnitud del índice E.

Tal dispersión en la evolución y magnitud probablemente se refleje en la precipitación a lo largo de la costa, que es el foco de este artículo. Si bien previos estudios utilizaron los índices E y C para explicar la variabilidad de ENOS a escala de la cuenca del Pacífico e investigar cómo se proyectaron las precipitaciones en el Perú sobre estos índices,



**Figura 2.** (a) Fase espacial de la evolución de los modos Ep y Cp. La evolución de los cuatro eventos fuertes de El Niño se resalta con líneas que conectan los puntos para los meses entre enero (J) del primer año J (Y0) y diciembre (D) del segundo año D (Y1). (Y0: El Niño desarrollándose, Y1: El Niño en descomposición). Los puntos en negro corresponden al valor de diciembre (Y1) de todos los demás eventos de El Niño. Zoom: (a) en el intervalo [-2,2] (lado derecho). (b) Patrones asociados (Ep y Cp) de anomalías de lluvia durante el período 1964-2016. Modo Ep (primer modo) (lado izquierdo) y modo Cp (segundo modo) (lado derecho). La línea negra gruesa indica el contorno cero.

\*Índices C y E definidos por Takahashi et al. (2011) los cuales se basan en las dos primeras series cronológicas de PC del análisis de la función empírica ortogonal (EOF) de la TSM en el Pacífico tropical.

largo del modo  $C_p$ , mientras que los eventos El Niño 1997/1998 y 1982/1983 presentan condiciones de lluvia anómalas significativas a lo largo del modo  $E_p$  durante al menos 3 meses (enero - marzo). Los patrones de modo o lluvia (Figura 2b) revelan que el modo  $E_p$  es explicado por el 34% de la varianza con una fuerte carga en el norte del Perú (región de Piura) y consiste en un see-saw meridional con un nodo a la latitud de  $\sim 12^\circ\text{S}$  (Lima). Al sur de esta última, las anomalías de la precipitación durante los eventos extremos de El Niño tienden a ser negativas en las tierras altas, pero aún positivas cerca de la costa. El segundo patrón modal ( $C_p$ ) explica el 21% de la varianza en las anomalías de lluvia y se caracteriza por un gradiente zonal este-oeste que es más pronunciado al sur de  $15^\circ\text{S}$ . Este modo  $C_p$  indica que está más relacionado con la variabilidad de la precipitación en tierras altas. La serie temporal del modo  $E_p$  ( $C_p$ ) está correlacionada con el índice  $E$  ( $C$ ) al 44% (21%), que es significativo al nivel del 95%. Estos valores de correlación relativamente bajos están asociados, probablemente, con la distinta estacionalidad de las lluvias y las anomalías de la TSM en el Pacífico tropical durante el ENOS. Esto se investiga más a fondo en la sección siguiente.

## ESTACIONALIDAD Y VÍNCULO CON ENOS

Mientras que los eventos El Niño tienden a alcanzar su pico en el verano austral [septiembre (Y0) a enero (Y1)], la estación lluviosa en el norte del Perú se concentra alrededor de febrero (Y1) a abril (Y1) (Bourel et al., 2015). Durante los FEN existe una fuerte alteración estacional de la relación entre anomalías de lluvia y ENOS. Un análisis de regresión bilineal de los modos  $E_p$  y  $C_p$  en los índices  $E$  y  $C$  proporciona los índices aproximados de  $E_p$  y  $C_p$  explicados por  $E$  y  $C$ :  $E_p = 0.44 * E + 0.04 * C$  y  $C_p = 0.15 * E - 0.24 * C$ , que indica que el modo  $E_p$  está relacionado principalmente con el modo  $E$ , mientras que el modo  $C_p$  está influenciado por ambos modos ( $E$  y  $C$ ). Para  $C_p$ , el coeficiente negativo sobre  $C$  significa que durante un evento El Niño  $CP$  (es decir,  $C > 0$ ),  $C_p$  es negativo, de modo que las tierras altas a lo largo de la costa experimentan un déficit de precipitación (Figura 2b, derecha). Con el fin de refinar este análisis y tener en cuenta la marcada estacionalidad en ambos índices ENOS y lluvia, los coeficientes de regresión climatológica de los índices  $E_p$  y  $C_p$  sobre los índices  $E$  y  $C$  son estimados para cada mes calendario (Figura 3).

La Figura 3 indica que el modo  $E_p$  está estrechamente relacionado con el índice  $E$  en marzo, el cual es el mes pico de la temporada de lluvias. Curiosamente, el modo  $C_p$  también está fuertemente relacionado con el índice  $C$  en febrero, que consiste en una relación inversa. Los eventos extremos de El Niño tienden así a producir un déficit de precipitación al inicio de la temporada de lluvias en las tierras altas. El coeficiente de regresión que vincula el índice  $E_p$  con el índice  $C$

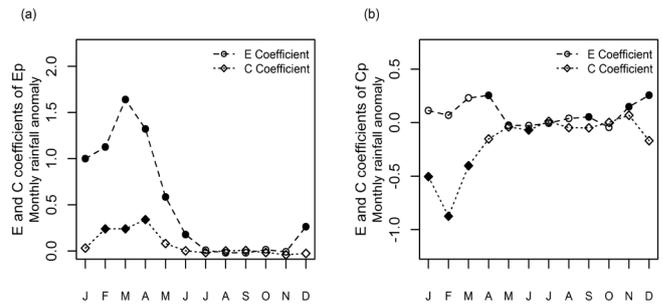


Figura 3. Coeficientes de regresión climatológica de los modos  $E_p$  (a) y  $C_p$  (b) con los índices  $E$  (redondos) y  $C$  (losange). Los valores del coeficiente que son estadísticamente significativos en el nivel de 0.05 (valor de  $p$ ) están con el símbolo de lleno.

alcanza su punto máximo en abril, lo que sugiere que la magnitud de las anomalías de la TSM en el  $CP$  (modo  $C$ ) tiende a determinar la persistencia de anomalías de lluvia durante un FEN en la región norte del Perú. Por otro lado, el FEN EP (índice  $E$ ) también puede influir en el modo  $C_p$ , que aumenta la precipitación en las tierras altas en abril y diciembre. A la luz de estos resultados, a continuación, observamos más de cerca las diferencias entre las evoluciones de los eventos fuertes.

## DIFERENCIAS ENTRE EVENTOS FUERTES

En la Figura 4 se pueden observar claras diferencias en la evolución de los FEN. Una diferencia llamativa, en el pico de los eventos, es la magnitud del índice  $E_p$ . En el FEN de 1997/1998 (1982/1983) el  $E_p$  fue aproximadamente de 8 (10) y se dio en marzo (enero y abril), los que estuvieron asociados con una anomalía de lluvia mucho más intensa en la parte norte del Perú y un período prolongado de condiciones anómalas de lluvia que duran hasta junio (julio) de 1998 (1983). Por otro lado, los FEN de 1972/1973 y 2015/2016 tuvieron valores de  $E_p$  menores e iguales a  $\pm 1$ . Estos dos últimos FEN difieren en términos de su proyección sobre el modo  $C_p$ . Por ejemplo, el de 1972/1973 exhibe un valor positivo del índice  $C_p$  en enero (Y1) mientras que el 2015/2016 tiene un valor negativo del índice  $C_p$ , una

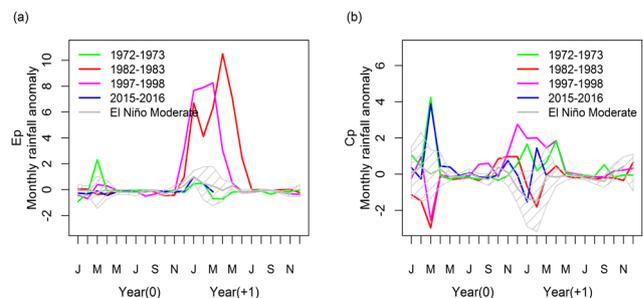


Figura 4. Evolución de los modos  $E_p$  y  $C_p$  durante los cuatro eventos fuertes de El Niño y el compuesto de eventos moderados: modo  $E_p$  (lado izquierdo) y modo  $C_p$  (lado derecho). La eclosión en línea gris representa la dispersión (desviación estándar) entre eventos moderados de El Niño.

situación que se invierte en el mes siguiente [febrero (Y1)]. La evolución de los FEN 1972/1973 y 2015/2016 cae así dentro del error para el compuesto de eventos moderados de El Niño. Nótese también que los FEN 1982/1983 y 2015/2016 tienen un valor negativo comparable del modo  $C_p$  en la fase pico, que es similar al compuesto de los eventos El Niño moderados. Esto significa que estos dos FEN están asociados con un déficit de lluvia en las tierras altas. Por otro lado, el FEN 1997/1998 también tiene una proyección marcada en el  $C_p$ , pero valores positivos durante la temporada de lluvias, lo que indica que las tierras altas están asociadas con el exceso de lluvia.

La evolución de los modos  $E_p$  y  $C_p$  durante los FEN capta, en general, las peculiaridades de las regiones homogéneas, en particular, el modo  $E_p$ , que en gran medida explica las anomalías de lluvia en regiones bajas durante los FEN 1997/1998 y 1982/1983, mientras que las anomalías de precipitación en las regiones de tierras altas evolucionan como el modo  $C_p$  para todos los eventos. Durante el evento 2015/2016, el modo  $C_p$  explica la evolución de las anomalías de lluvia solo en la región norte (ver detalles en Sanabria et al., 2017).

## CONCLUSIONES

Si bien los eventos El Niño generalmente se clasifican a partir de la amplitud de algunos índices en su fase máxima (clásicamente, el índice NIÑO3.4), estos pueden exhibir diferencias significativas en su evolución, lo cual influye sobre sus teleconexiones y, en consecuencia, en su impacto local. Se ha demostrado que los cuatro eventos más fuertes de El Niño de las últimas cinco décadas están asociados con una distinta evolución de la anomalía de las precipitaciones a lo largo de la Costa y la vertiente del Pacífico. La diferente evolución de la anomalía de lluvia durante estos eventos de El Niño se interpreta como resultado de la contribución de dos modos: el primer modo representa la precipitación intensa en la parte norte del Perú y las lluvias leves en las zonas costeras del sur, caracterizándose por un patrón de *see-saw* meridional ( $E_p$ ) con un nodo en la latitud de Lima (12°S); y el segundo modo asociado con alta variabilidad (condiciones de sequía y humedad) en las tierras altas a lo largo de la costa y caracterizado por un marcado contraste zonal ( $C_p$ ).

Los resultados ilustran la naturaleza no lineal de la teleconexión ENSO de las precipitaciones sobre la costa occidental del Perú y la dificultad para predecir condiciones de lluvia anómala durante los eventos de El Niño fuerte, la cual tiene una gran relevancia social. En

particular, los pequeños cambios en las precipitaciones en las zonas altas pueden afectar la agricultura, el nivel de almacenamiento de los depósitos de agua y los recursos hidroeléctricos (BCRP, 2016). El enfoque de este estudio ha sido modelar la complejidad de procesos físicos que operan en la naturaleza con una relación estadística lineal entre SST y variabilidad de lluvia durante ENOS que, aunque es conveniente para el propósito de pronóstico, puede considerarse simplificado en exceso debido a la diversidad en los mecanismos de forzamiento de la precipitación anómala en esta región. Sin embargo, este modelo tiene en cuenta la evolución no lineal de ENSO a través de la consideración de los dos regímenes ENSO que agregan una dimensión al enfoque comúnmente utilizado.

Del mismo modo, el patrón distinto de anomalías de la TSM entre los eventos podría conducir a la circulación atmosférica de bajo nivel a mesoescala e influir en la distribución de la convección profunda. Otros factores que explican las diferencias entre los eventos incluyen las características de procesos asociados con la variabilidad sinóptica debido a la oscilación Madden-Julian (Madden y Julian, 1972) o la actividad de tormentas extra-tropicales de latitudes medias, que son influyentes en los vientos a lo largo de la costa del Perú (Dewitte et al., 2011) o en el modo meridional del Pacífico Sur (Zhang et al., 2014). Asimismo, los procesos locales de interacción aire-mar están en acción durante los eventos de El Niño en esta región. Este estudio sugiere como siguiente paso investigar la sensibilidad de la distribución de la lluvia y su evolución frente a las condiciones oceánicas regionales, a través del uso de un modelo atmosférico regional. Cabe destacar que mientras la frecuencia del FEN podría aumentar en un clima más cálido (Cai et al., 2014), este estudio sugiere que podría no haber una relación directa con los eventos de lluvia en Perú considerando la dispersión entre los eventos documentados aquí sobre el registro observacional.

## REFERENCIAS

- Bjerknes, J. 1969. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon. Weather Rev.* 97: 163–172.
- Bourrel, L., Rau, P., Dewitte, B., Labat, D., Lavado, W., Coutaud, A., Vera, A., Alvarado, A., Ordoñez, J. 2015. Low-frequency modulation and trend of the relationship between ENSO and precipitation along the northern to centre Peruvian Pacific coast. *Hydrol. Processes* 29(6): 1252–1266.
- Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., van, Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G., Timmermann, A., Santoso, A., McPhaden, MJ., Wu, L., England, MH., Wang, G., Guilyardi, E., Jin, F-F. 2014. Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nat. Clim. Change* 5(2): 1–6. <https://doi.org/10.1038/nclimate2100>.
- Capotondi, A., Wittenberg, AT., Newman, M., Di Lorenzo, E., Yu, J-Y., Brannon, P., Cole, J., Dewitte, B., Giese, B., Guilyardi, E., Jin, F-F., Karnauskas, K., Kirtman, B., Lee, T., Schneider, N., Xue, Y., Yeh, S-W. 2015. Understanding ENSO diversity. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 96(June): 921–938.
- Dewitte, B., Illig, S., Renault, L., Goubanova, K., Takahashi, K., Gushchina, D., Mosquera, K., Purca, S. 2011. Modes of covariability between sea surface temperature and wind stress intraseasonal anomalies along the coast of Peru from satellite observations (2000-2008). *J. Geophys. Res.* 116: C04028. <https://doi.org/10.1029/2010JC006495>.
- Diaz, HF., Hoerling, MP., Eischeid, JK. 2001. ENSO variability, teleconnections and climate change climate variability; El Niño-Southern Oscillation (ENSO); teleconnections. *Int. J. Climatol.* 21(15): 1845–1862.
- Frauen, C., Dommenges, D., Tyrrell, N., Reznay, M., Wales, S. 2014. Analysis of the nonlinearity of El Niño-Southern Oscillation teleconnections. *J. Clim.* 27(16): 6225–6244.
- Hastenrath, S. 1978. On modes of tropical circulation and climate anomalies. *J. Atmos. Sci.* 35: 222–223.
- Horel, JD., Wallace, JM. 1981. Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation. *Mon. Weather Rev.* 109: 813–829.
- Kug, JS., Jin, FF., An, SI. 2009. Two types of El Niño events: cold tongue El Niño and warm pool El Niño. *J. Clim.* 22(6): 1499–1515.
- Lavado, W., Espinoza, JC. 2014. Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007). *Rev. Brasil. Meteorol.* 29(2): 171–182.
- L'Heureux, ML., Takahashi, K., Watkins, AB., Barnston, AG., Becker, EJ., Di Liberto, TE., Gamble, F., Gottschalck J., Halpert, MS., Huang, B., Mosquera-Vásquez, K., Wittenberg, AT. 2017. Observing and predicting the 2015–16 El Niño. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 98: 1363–1382. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0009.1>.
- Madden, R., Julian, P. 1972. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40–50 day period. *J. Atmos. Sci.* 29: 1109–1123.
- Ropelewski, CF., Halpert, MS. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Weather Rev.* 115: 1606–1626.
- Rau, P., Bourrel, L., Labat, D., Melo, P., Dewitte, B., Frappart, F., Lavado, W., Felipe, O. 2017. Regionalization of rainfall over the Peruvian Pacific slope and coast. *Int. J. Climatol.* 37(1): 143–158.
- Sanabria, J., Bourrel, L., Dewitte, B., Frappart, F., Labat, D. 2017. Rainfall along the coast of Peru during strong El Niño events (Published in International Journal of Climatology). Doi: 10.1002/joc.5292.
- SENAMHI. 2015. Escenarios de Peligros Hídricos en el Perú ante la ocurrencia de Eventos Niño Extraordinarios. Documento técnico elaborado por la Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Lima, Perú.
- Takahashi, K., Martinez, AG. 2017. The very strong El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Clim. Dyn.* <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3702-1>.
- Trenberth, KE., Branstator, GW., Karoly, D. 1998. Progress during TOGA in understanding and modeling global teleconnections associated with tropical sea surface temperatures. *J. Geophys. Res.* 103(C7): 14291–14324.
- Zhang, H., Clement, AC., DiNezio, P. 2014. The South Pacific meridional mode: a mechanism for ENSO-like variability. *J. Clim.* 27: 769–783. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00082.1>

# Observando las precipitaciones en Lima con un radar meteorológico

*Jairo Valdivia, Josep Prado, Yamina Silva y Danny Scipión*  
*Instituto Geofísico del Perú*

## INTRODUCCIÓN

Tras “El Niño Costero 2017”, el IGP desarrolló el proyecto “Modelado hidrodinámico (lluvias, huacos y deslizamientos) en Chosica, Lima”, cuyo objetivo fue desarrollar una campaña de medición de lluvias usando un radar meteorológico para el modelado de lluvias y huacos en la cuenca del río Rímac. Este proyecto; que contó con la participación de 3 direcciones del IGP: Ciencias de la Atmósfera e Hidrosfera (CAH), Ciencias de Tierra la Sólida (CTS) y el Radio Observatorio de Jicamarca; fue financiado por el Fondo para Intervenciones ante la ocurrencia de Desastres Naturales (Fondos) del Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci).

Para desarrollar el proyecto, el IGP, mediante colaboración con el Centro de Investigaciones Avanzadas de Radar (ARRC, por sus siglas en inglés), de la Universidad de Oklahoma, rentó un radar de doble polarización de banda X (PX-1000) para que se instale en la parte media de la cuenca del río Rímac, desde donde se monitoreó la atmósfera y los eventos meteorológicos durante los primeros meses de 2018.

En el presente trabajo, mostraremos la metodología para cuantificar las lluvias a partir de los datos del radar PX-1000 usando la relación de Marshall y Palmer (1948).

## CARACTERÍSTICAS DEL RADAR METEOROLÓGICO PX-1000

El radar meteorológico PX-1000 fue desarrollado por el ARRC de la Universidad de Oklahoma. Opera en la banda X a una frecuencia de 998 MHz, lo que lo hace sensible a precipitaciones y nubes con alto contenido de agua. Fue instalado específicamente a 55 km de la ciudad de Lima, en el Cerro Sucho (12.0° S, 76.5° W), provincia de Huarochirí y a 2910 msnm (Figura 1). Estuvo operativo desde el 26 de enero al 4 abril de 2018.

El radar PX-1000 tiene un alcance de un radio de 60 km a la redonda y fue configurado para realizar escaneos horizontales para elevaciones que van desde 0° a 20° sobre el plano horizontal. El PX-1000 permite cuantificar las precipitaciones y estudiar la estructura vertical de las tormentas, así como su origen y evolución.

## MÉTODO PARA CUANTIFICAR LA LLUVIA CON UN RADAR METEOROLÓGICO

Los radares miden la potencia de retorno una onda electromagnética producida por un objetivo volumétricamente desagregado, como son las gotas de agua que se encuentran en las nubes, las cuales pueden representarse como:

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 r^4} \sum_{i=1}^n \sigma_i$$

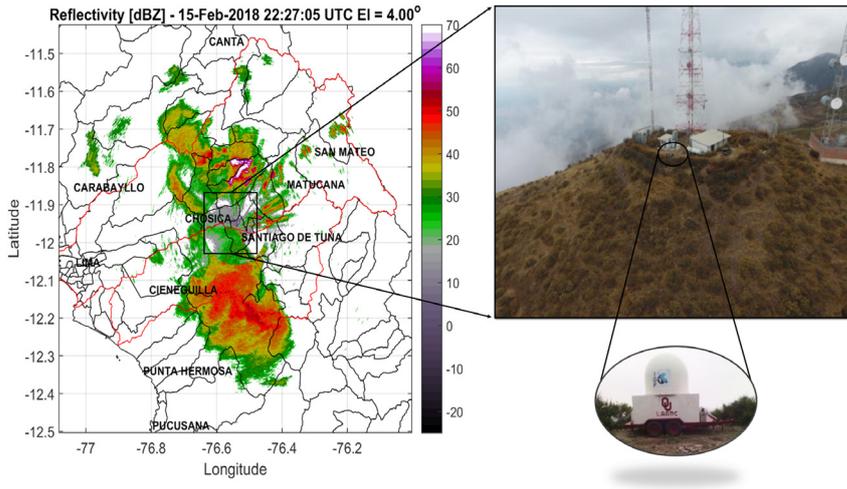


Figura 1. Ubicación del radar PX-1000 en el Cerro Sucho a 2910 msnm y 55 km de la ciudad de Lima.

Donde,  $P_t$  es la potencia transmitida por el radar,  $P_r$  es la potencia media de una serie de impulsos reflejados que llegan al receptor del radar,  $\lambda$  es la longitud de onda,  $G$  es una característica de la antena (llamada ganancia de la antena),  $r$  es el rango del objetivo y  $\sigma_r$  es la sección equivalente de retrodispersión, siendo  $n$  la cantidad de partículas disipadas por unidad de volumen.  $\sigma$  se mide en unidades de área, de tal forma que si asumimos que lo que estamos observando es perfectamente reflejante, podríamos medir el área de su sección transversal directamente. La eficiencia de un material para retornar la energía incidente se puede calcular resolviendo las ecuaciones de Maxwell. En la región Rayleigh (cuando  $x = \pi D/\lambda < 0.2$ ,  $D$  es el diámetro), el cálculo de las secciones equivalentes se puede realizar de la siguiente forma (Gunn and East, 1954):

$$\sigma = \frac{\lambda^2}{\pi} x^6 |K_m|^2 = \frac{\pi^5}{\lambda^4} |K_m|^2 D^6,$$

Donde  $|K_m|^2$  representa el índice complejo de refracción, para el agua  $|K_m|^2 \approx 0.93$ . De tal forma que cuando observamos precipitación con un radar, en realidad medimos la suma de la sexta potencia de sus diámetros, el cual se llama factor de reflectividad y es representado con la letra  $Z$ :

$$Z = \sum_{i=1}^n D_i^6$$

Una de las técnicas más utilizadas para estimar la precipitación a partir de la potencia, es la relación de Marshall-Palmer (Marshall and Palmer, 1948), que utilizaremos en el presente trabajo y que vincula el factor de reflectividad del radar ( $Z$ ) con la intensidad de lluvia ( $R$ ):

$$Z = a \cdot R^b$$

Los valores  $a$  y  $b$  dependen de las características de la precipitación, por lo que son ajustadas empíricamente. Con el objetivo de mostrar el desempeño del PX-1000 en Lima, optimizamos la relación de Marshall-Palmer utilizando datos de precipitación de las estaciones meteorológicas ubicadas en Lima en el radio de influencia del radar. Expresamos  $R$  como un término dependiente de la reflectividad  $Z$ :

$$R(Z) = aZ^b$$

Los valores de  $a$  y  $b$  fueron hallados como la solución del mínimo error entre la precipitación obtenida con el radar y la precipitación de la estación meteorológica como referencia:

$$[a, b] = \arg \min_{\{a, b\}} \frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^{N_r} (R(i) - \hat{R}(a, b))^2$$

Donde  $R$  expresa el valor medido por la estación,  $\hat{R}$  es la precipitación estimada dependiente de los parámetros  $a$  y  $b$ , mientras que  $N_r$  expresa la cantidad de datos.

## RESULTADOS

Para calcular los valores más óptimos de  $a$  y  $b$ , utilizamos los datos de las estaciones meteorológicas de Chosica (-11.9298, -76.6897) y Santa Eulalia (-11.9200, -76.6667), pertenecientes a SENAMHI, del periodo febrero a marzo. Los valores hallados fueron de  $a$  y  $b$ , 0.001 y 0.678, respectivamente, con un error medio de 0.3 mm. Encontramos que el radar ve más eventos de precipitación de los que normalmente registran las

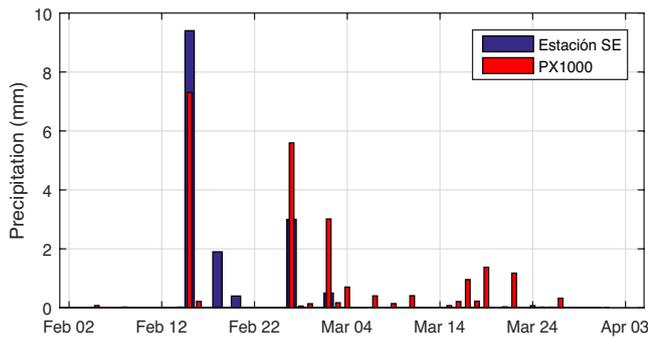


Figura 2. Precipitación diaria medida por la estación meteorológica de Chosica (barras azules) y el radar PX-1000 (barras rojas) en el año 2018.

estaciones, esto se puede observar especialmente cuando las precipitaciones son muy ligeras (Figura 2). Como era de esperarse, el radar brinda mejor información sobre la distribución espacial de la lluvia, que puede llegar a ser muy compleja. En la Figura 3 se muestra una comparación de la distribución espacial de lluvia para el día 11 de marzo de 2018, obtenida por el radar y la precipitación estimada por el algoritmo del Hydro-Estimador (Vicente, et al., 1998) del satélite GOES. Se puede observar que el Hydro-Estimador sobrestima excesivamente las precipitaciones, además, se puede ver una diferencia significativa en la resolución espacial que existe entre ambos.

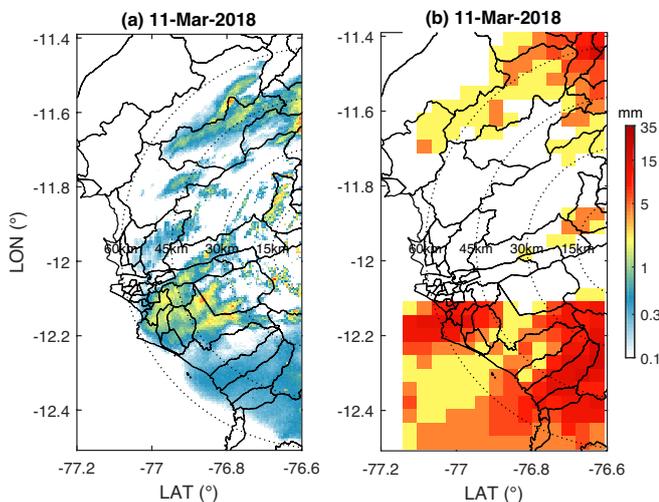


Figura 3. Precipitación acumulada para el día 11 de marzo, 2018. Obtenida por (a) PX-1000 y (b) Hydro-Estimador. Las circunferencias indican el rango del PX-1000.

## CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este artículo mostramos cómo se estima la precipitación con una radar, utilizando la relación de Marshall-Palmer, que relaciona el factor de reflectividad con la precipitación. El método no es perfecto debido a

que el factor de reflectividad depende más del tamaño de las gotas, que de su cantidad. Por lo que una buena estimación requiere conocer la distribución del tamaño de gotas de lluvia en la zona de estudio. Existen otros instrumentos, como los disdrómetros (Löffler-Mang and Joss, 2000) que nos ayudan con este objetivo.

A pesar que los radares proporcionan observación (directa) de la precipitación en alta resolución, su uso en hidrología no es tan extendido como uno esperaría. Los actuales retos son: estudios de validación, pronóstico de lluvias, estimaciones en topografía compleja, etc. (Berne and Krajewski, 2013).

Aún quedan muchas preguntas por responder, ¿cómo se forman las precipitaciones?, ¿cuál es su ciclo de vida?, ¿qué patrones influyen en su formación y cómo se alteran éstos en condiciones atmosféricas extremas, por ejemplo, durante El Niño?.

Analizar los datos de radar es un trabajo bastante arduo (ej. los datos ocupan mucho espacio de disco, existen muchos archivos, no están regularmente distanciados en el espacio ni tiempo, etc.), es por eso que el análisis de los mismos puede tomar bastante tiempo, y requiere amplios conocimientos sobre procesamiento de datos.

## REFERENCIAS

Berne, A., and Krajewski, W. F. (2013). Radar for hydrology: Unfulfilled promise or unrecognized potential? *Advances in Water Resources*, 51, 357–366. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.05.005>

Gunn, R., and East, T. (1954). The microwave properties of precipitation particles. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 80(346), 522–545. <https://doi.org/10.1002/qj.49708034603>

Löffler-Mang, M., and Joss, J. (2000). An optical disdrometer for measuring size and velocity of hydrometeors. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 17(2), 130–139. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2000\)017<0130:AODFMS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2000)017<0130:AODFMS>2.0.CO;2)

Marshall, J. S., and Palmer, W. M. (1948). The Distribution of Raindrops With Size. *Journal of Meteorology*, 5(4) (Shorter Contributions), 165–166.

Vicente, G. A., R. A. Scofield, and W. P. Menzel, 1998: The operational GOES infrared rainfall estimation technique. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 1883-1898. <https://www.star.nesdis.noaa.gov/>

# Resumen del Informe Técnico PP N° 068 / El Niño- IGP/2018-07

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

## RESUMEN

Según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), basado en los datos de ERSSTv3 para el mes de junio de 2018, la condición climática para la costa peruana es Neutra (ICEN = -0,60) al igual que el valor estimado con OISSTv2 (ICENOI = -0,66). Los valores temporales del ICEN (ICENtmp) y el ICENOI (ICENOItmp) para los meses de julio y agosto coinciden en condiciones Neutras. En lo que respecta al Pacífico Central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA indica que en junio de 2018 se tuvo una condición Neutra (0,06°C); la misma condición se tiene para los estimados temporales de julio y agosto.

En base al análisis de los datos y resultados de los modelos numéricos, se espera el arribo, primero, de una onda Kelvin fría en la segunda quincena de agosto y luego una onda Kelvin cálida para el mes de setiembre. Asimismo, de mantenerse los pronósticos de pulsos de vientos del oeste en el Pacífico Central, la onda Kelvin cálida podría verse fortalecida.

Según el promedio de los siete modelos numéricos de NMME, inicializados con condiciones del mes de agosto de 2018, se esperan condiciones Neutras para el Pacífico oriental hasta el mes de noviembre, y condiciones Cálidas Débiles entre los meses de diciembre de 2018 y febrero de 2019.

En la región del Pacífico central ecuatorial, el promedio de los modelos de NMME muestran condiciones Cálidas Débiles entre los meses de setiembre y octubre de 2018 y, condiciones Cálidas Moderadas entre los meses de noviembre y febrero de 2019.

## ÍNDICE COSTERO EL NIÑO

Utilizando los datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM) promediados sobre la región Niño1+2; actualizados hasta el mes de julio de 2018 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 junio de 2018 y cuyos valores se muestran en la Tabla 1. El valor de junio corresponde a una condición Neutra.

Año	Mes	ICEN (°C)	Condiciones
2018	Marzo	-1.48	Fría Fuerte
2018	Abril	-1.17	Fría Débil
2018	Mayo	-0.80	Neutra
2018	Junio	-0.60	Neutra

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

Los valores del ICENOItmp estimados para julio y agosto de 2018 corresponden a condiciones Neutras. El ICENOI de julio será confirmado cuando se disponga del valor de OISST v2 para el mes de agosto de 2018.

Por otro lado, para el Pacífico Central (Niño 3.4), el ONI (*Ocean Niño Index* en inglés; <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>), actualizado por la NOAA al mes de junio de 2018, es de 0,06°C, correspondiente a condición Neutra<sup>1</sup>.

## DIAGNÓSTICO DEL PACÍFICO ECUATORIAL

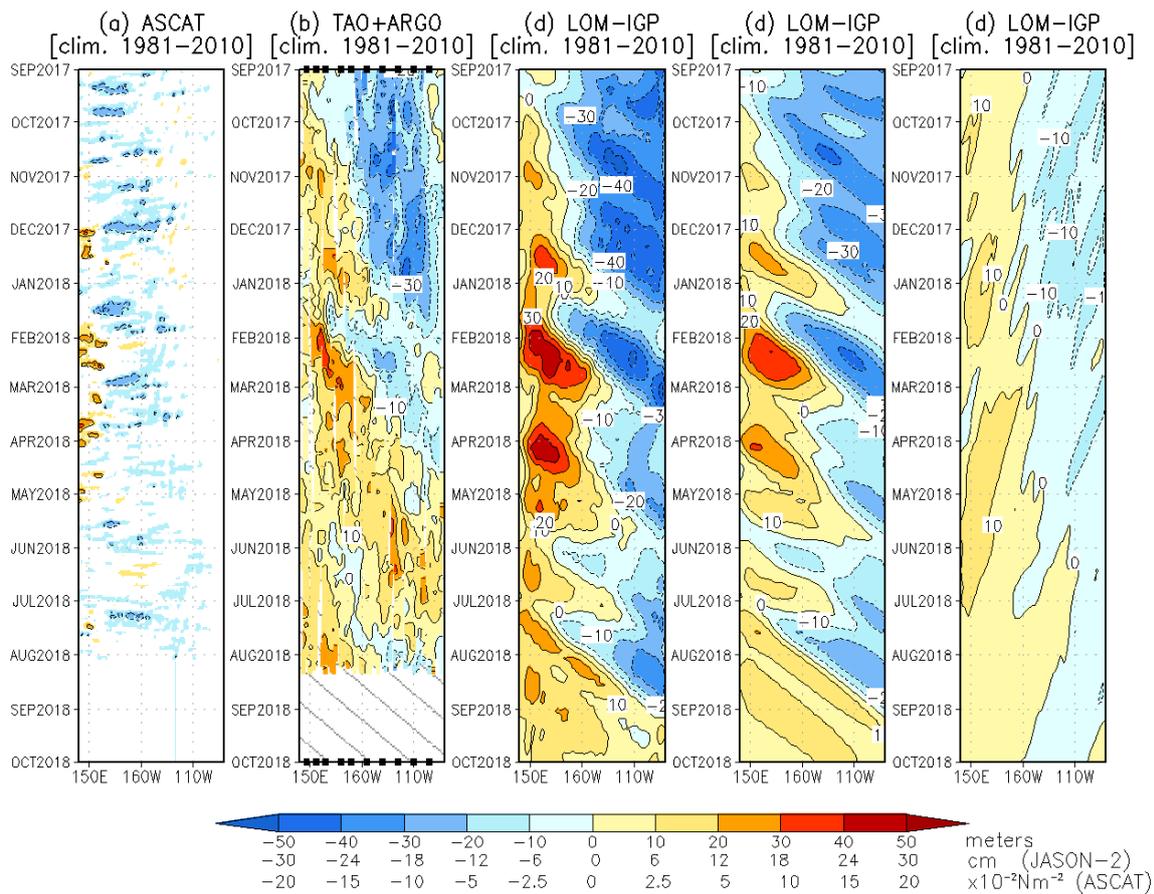
Durante el mes de julio, las anomalías de la TSM diaria, según los datos observados (IR, MW, OSTIA), en el Pacífico central se presentaron dentro de las condiciones Neutras, manteniéndose en el orden de 0.1 a 0.3°C, con valores constante en los primeros días del mes de agosto. Para la región Niño 1+2, la anomalía de la TSM también indicó valores entre -0.4 a 0.1°C.

El promedio mensual de las anomalías de esfuerzo de viento zonal en el Pacífico central (160°E-160°W;

<sup>1</sup> Los umbrales para establecer la categoría de condiciones cálidas o frías débiles, moderadas, fuertes, y muy fuertes usando el ONI son  $\pm 0.50$ ,  $\pm 1.00$ ,  $\pm 1.50$ , y  $\pm 2.00$ , respectivamente (Nota Técnica ENFEN, 02-2015).

5°S-5°N) continuó con anomalía del este, mostrando mayor magnitud que el mes anterior; en la primera semana de julio se observaron anomalías negativas de baja magnitud en el Pacífico central entre 170°E-150°W y 2°S-2°N. Por otro lado, también se observaron anomalías positivas en la segunda y tercera semana del mes de julio entre (149°E-151°E; 2°S-2°N). A partir de la última semana de julio la actividad convectiva en el Pacífico ecuatorial central-oriental, se encuentra cerca a sus valores climatológicos. La inclinación de la termoclina ecuatorial se presentó dentro de su posición normal, sin embargo, el contenido de calor es positivo y se mantiene constante durante el mes de julio.

Según los datos *in situ* y satelital, aún se observa la presencia de ondas Kelvin cálidas en la región oriental, como consecuencia de pulsos de viento del oeste que se dieron entre marzo e inicios de mayo.



**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 y los derivados de ARG0 (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y finalmente diagrama de la onda Rossby, calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por ASCAT, y  $\tau=0$  para el pronóstico). Las líneas diagonales representan la trayectoria de una onda Kelvin si tuviera una velocidad de 2.6 m/s. (Elaboración: IGP)

La presencia de ondas Kelvin cálidas, producidas por pulsos de viento del oeste entre marzo y junio continuaron observándose tanto en la profundidad de la termoclina como en el nivel del mar pero confinadas al Pacífico Oriental. Por otro lado, se observa la presencia de una onda Kelvin fría producidas por pulso de viento del Este durante el mes de julio entre 125° y 100°W. En el extremo oriental se observa la presencia de ondas Kelvin cálidas que se habrían producido por la reflexión de ondas Rossby cálidas. En la región Niño 1+2 se puede observar, según la información de los flotadores ARGO, que las ondas Kelvin cálidas han impactado la temperatura del mar, principalmente por debajo de la superficie incrementando sus valores en 1°C.

## PRONÓSTICO A CORTO PLAZO CON MODELO DE ONDAS Y OBSERVACIONES

Según el análisis de los datos observados y resultados de los modelos numéricos, se espera la llegada de una onda Kelvin fría en la segunda quincena de agosto y luego una onda Kelvin cálida para el mes de setiembre, esta última generada como consecuencia de la reflexión ondas Rossby, tal como se indicó en la sección anterior. (Figura 1).

Según el pronóstico de vientos del modelo GFS en el Pacífico ecuatorial central, se observa vientos del

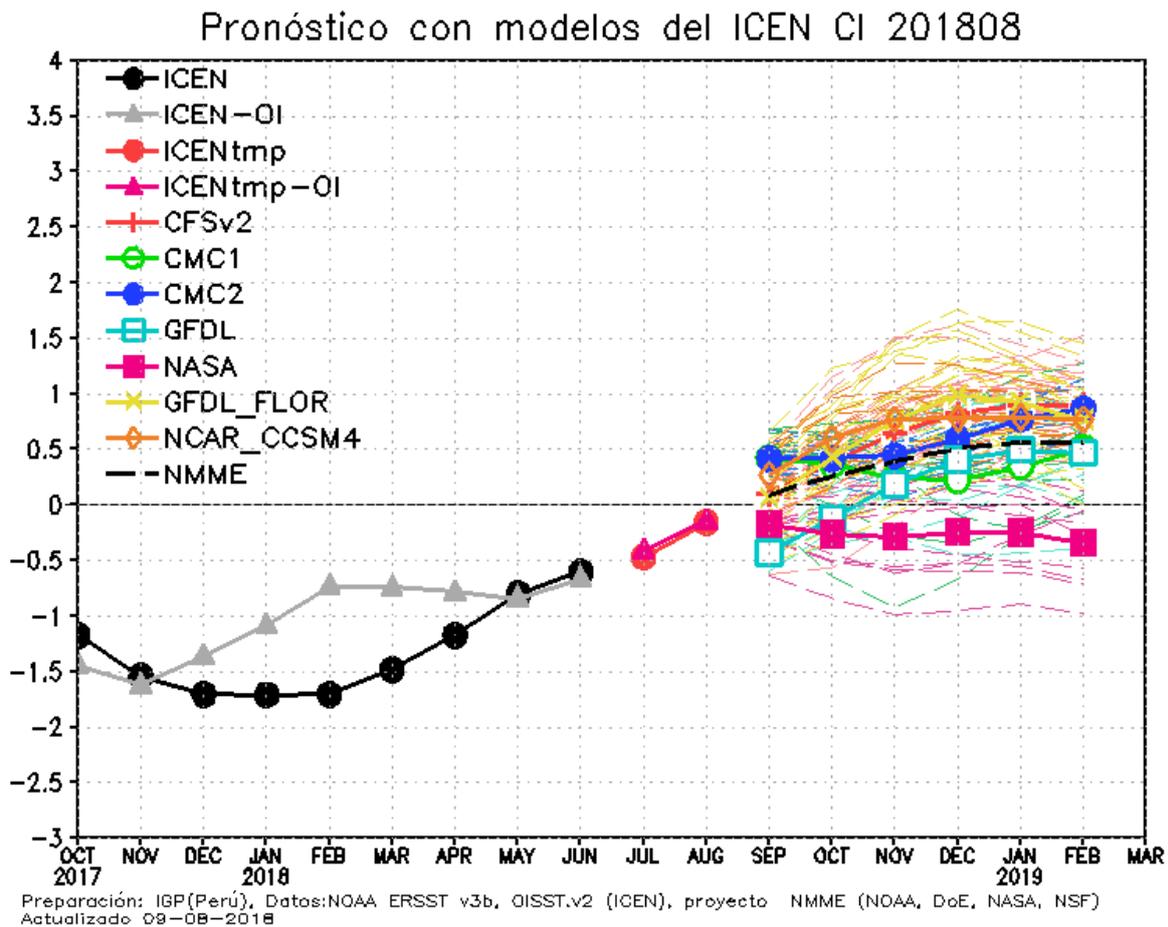


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN negro con círculos llenos, fuente ERSSTv3; ICEN gris con triángulos, fuente OISSTv2) y sus valores temporales (ICENtmp, rojo con círculo lleno y ICENtmp- OI, rojo con triángulos llenos). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA\_GEOS5v2 GFDL\_FLOR y NCAR\_CCISM4 tienen como condición inicial el mes de agosto de 2018. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

oeste entre 170°E y 150°W en la segunda semana de agosto. De mantenerse este patrón de vientos, es posible que se generen ondas Kelvin cálidas que profundicen la termoclina en la franja ecuatorial las que fortalecerían la onda Kelvin cálida que arribaría a partir de setiembre.

## PRONÓSTICO ESTACIONAL CON MODELOS CLIMÁTICOS

Para el Pacífico oriental (región Niño 1+2), según los 7 modelos climáticos de NMME (CFSv2, GFDL\_CMC2.1, GFDL\_FLOR, NASA\_GEOS5v2, NCAR\_CCM4, CMC1 y CMC2), con condiciones iniciales de agosto, indican en promedio condiciones Neutras de agosto a noviembre de 2018; sin embargo, en el mes de octubre y noviembre 3 y 4 modelos indica condición Cálidas Débiles (Fig. 2);. El promedio de NMME indica condiciones Cálidas Débiles entre los meses de diciembre y febrero de 2019.

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), según los modelos de NMME inicializados en agosto, el promedio de los 7 modelos indican condiciones Cálida Débiles en los meses de setiembre y octubre y condiciones Cálidas Moderadas entre los meses de noviembre a febrero de 2019.

## CONCLUSIONES:

1. El ICEN para junio de 2018 fue de -0.60 (Neutro) y el ICENtmp para julio y agosto es -0.47 y -0.16 (Neutros). Usando OI mensual para el cálculo (ICENOI), los valores correspondientes son -0.66 (Neutro) , y los temporales para julio y agosto son -0.41 y -0.14 (Neutros).
2. En el Pacífico central, el ONI de junio (MJJ) es 0.06 y corresponde a condiciones Neutras y el estimado para julio también sería de condiciones Neutra. La ATSM en la región Niño 3.4, fue, en promedio, 0.3.
3. Durante el mes de julio, según TAO, el promedio mensual mostró vientos del oeste no muy intenso en algunas zonas del Pacífico Ecuatorial. Asimismo, se mantuvieron anomalías positivas tanto de la TSM y de la profundidad de la termoclina, esta última con un máximo entre 120° y 95°W .
4. Según TAO, ASCAT y NCEP, durante julio se observó un pulso de viento del este entre la línea de cambio de fecha (180°) y 160°W.
5. El patrón anómalo de convección ecuatorial, en lugares estratégicos, muestra valores cercanos a su valor climatológico.

6. La inclinación de la termoclina ecuatorial se presentó dentro de su posición normal, sin embargo, el contenido de calor es positivo y aparentemente constante durante el mes de junio.

7. Se observa la presencia de una onda Kelvin fría producidas por pulso de viento del este durante el mes de julio.

8. Se observa la presencia de ondas Kelvin cálidas en el extremo occidental como consecuencia de la reflexión de ondas Rossby.

9. En la región Niño 1+2 se puede observar, según la información de los flotadores ARGO, que las ondas Kelvin cálidas han impactado la temperatura del mar, principalmente por debajo de la superficie incrementando sus valores en 1°C.

10. Se espera que continúe la presencia de ondas Kelvin cálidas en el extremo oriental.

11. La onda Kelvin fría debe arribar al extremo oriental durante la segunda quincena del mes de agosto.

12. Las ondas Kelvin en el extremo oriental producidas por la reflexión de ondas Rossby, de llegar al extremo oriental, lo harían en el mes de setiembre.

13. Para el Pacífico oriental (región Niño 1+2), los modelos de NMME en promedio indican condiciones neutras hasta noviembre y condiciones cálidas Débiles para el periodo de diciembre a febrero 2019.

14. Para el Pacífico central ( Región Niño 3.4), el promedio de los modelos de NMME indican para el Pacífico central condiciones cálidas débiles para los meses de setiembre y octubre y condiciones cálidas moderadas para el periodo noviembre febrero 2019.

## REFERENCIAS

- Aparco, J., K, Mosquera y K, Takahashi. 2014. Flotadores Argo para el cálculo de la anomalía de la profundidad de la termoclina ecuatorial (Aplicación Operacional), Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Mayo, 1, 5.
- Cravatte, S., W. S. Kessler, N. Smith, S. E. Wijffels, Ando, K., Cronin, M., Farrar, T., Guilyardi, E., Kumar, A., Lee, T., Roemmich, D., Serra, Y, Sprintall, J., Strutton, P., Sutton, A., Takahashi, K. y Wittenberg, A. 2016. First Report of TPOS 2020. GOOS- 215, 200 pp. [<http://tpos2020.org/first-report>]

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

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

ENFEN 2015: Pronóstico probabilístico de la magnitud de El Niño costero en el verano 2015-2016. Nota Técnica ENFEN 02-2015.

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

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

Lavado-Casimiro, W., Espinoza, J. C. 2014. Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007), *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29 (2), 171-182.

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

Morera, S. B., Condom, T., Crave, A., Steer, P., and Guyot, J. L. 2017 The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968-2012). *Scientific Reports*, v. 7, No. 1, p. 11947 DOI:10.1038/s41598-017-12220-x.

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

Mosquera, K., B. Dewitte y P. Lagos. 2010. Variabilidad Intra-estacional de la onda de Kelvin ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): simulación numérica y datos observados. *Magistri et Doctores*, Revista de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Año 5, No9, julio-diciembre de 2010, p. 55.

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

Reupo, J. y Takahashi, K. 2014. Validación de pronósticos con modelos globales: Correlaciones de TSM (1982-2010). Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Enero, 1, 1, 8-9.

Sulca, J. Takahashi, K. Espinoza, J.C. Vuille, M. and Lavado-Casimiro, W. 2017. Impacts of different ENSO flavors and tropical Pacific convection variability (ITCZ, SPCZ) on austral summer rainfall in South America, with a focus on Peru. *Int. J. Climatol.* Doi:10.1002/joc.5185

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

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

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

# Comunicado oficial ENFEN



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

COMUNICADO OFICIAL ENFEN N°09-2018  
**Estado del sistema de alerta: No Activo<sup>1</sup>**

La Comisión Multisectorial del ENFEN informa que, en la costa norte de Perú se espera en este mes la llegada de una onda Kelvin fría y en setiembre el arribo de una onda Kelvin cálida, esta última podría suscitar a un leve incremento de las anomalías de la temperatura y nivel del mar.

Para el próximo verano en el Pacífico central se espera la ocurrencia de condiciones El Niño con la probabilidad de 72%; mientras que, en la región oriental (Niño 1+2, que incluye la costa peruana) la probabilidad de 48%, frente a una probabilidad de 50% de condiciones neutras. Según esta evaluación, se esperan lluvias de normal a ligeramente superior a ésta, más no extraordinarias, en la costa norte del Perú.

La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño ENFEN se reunió para analizar la información de las condiciones meteorológicas, oceanográficas, biológico- pesqueras e hidrológicas actualizadas a la primera semana de agosto de 2018.

En el Pacífico ecuatorial central (Niño 3.4) la temperatura superficial del mar continuó con anomalías<sup>2</sup> positivas, en promedio +0,3°C, mientras que en el extremo oriental (Niño 1+2) presentó anomalía de -0,2°C, menos intensa respecto al mes anterior (-0,6°C) (Figura 1).

Durante el mes de julio en promedio, la circulación atmosférica ecuatorial (circulación de Walker) presentó condiciones propias de su patrón climático mensual, condiciones diferentes a los meses anteriores.

El valor del Índice Costero El Niño (ICEN3) de junio fue de -0,66°C (fuente NCEP OI SST v2), y el temporal (ICENtmp) de julio -0,30°C; ambos en el rango neutro. (Figura 2).

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se configuró zonalmente y al sur de su posición habitual, con valores anómalos positivos de presión frente a la costa de Perú. El acercamiento anómalo del APS frente a la costa peruana (segunda quincena de julio) contribuyó al incremento anómalo del viento costero (>5 m/s) y éstas a la persistencia del afloramiento a lo largo del litoral.

Las temperaturas máximas y mínimas promedio del aire se presentaron alrededor de lo normal (Cuadro 1). Los valores más altos alcanzados en las anomalías de la temperatura mínima y máxima se registraron en las estaciones de Puerto Pizarro (1,8°C) y Huarney (1,2°C), respectivamente. Mientras que, los valores de anomalías más bajas se registraron en la estación Alcantarilla (-0,8°C) para la temperatura máxima en

la costa central y en la estación La Esperanza (-0,5°C) para la temperatura mínima en la costa norte.

Las anomalías de la temperatura superficial del mar en el litoral norte y centro cambiaron de negativas a positivas, hasta +1°C (Paita); mientras que, en el sur se mantuvieron con anomalías negativas. Por otro lado, el nivel medio del mar presentó incrementos de anomalías durante las dos primeras semanas de julio, con propagación de norte a sur; para luego normalizarse en las siguientes semanas.

Frente a Paita (05°S) y Chicama (08°S), se mantuvo la profundización de la termoclina dentro de las 100 millas de la costa, hasta 160 y 120 m, respectivamente; esta misma tendencia se observó en la profundidad de la zona de mínimo de oxígeno, pero con menor intensidad. En la zona más costera, se detectó la profundización de la estructura térmica frente a Paita y Chicama. Esto, así como las anomalías del nivel medio del mar, mencionadas en el párrafo anterior, son consistentes con la continuidad del paso de las ondas Kelvin cálidas.

En julio, tanto en los ríos de la costa como los de la "Región Hidrográfica del Amazonas" los caudales tendieron al descenso, con valores ligeramente por debajo de lo normal,

<sup>1</sup> Definición de estado de Sistema de alerta "No activo": Se da en condiciones neutras o cuando la Comisión ENFEN espera que El Niño o La Niña costeros están próximos a finalizar; "Vigilancia de La Niña costera": Se denomina "Evento La Niña en la región costera de Perú" o "La Niña Costera" al período en el cual el ICEN indique "condiciones frías" durante al menos tres (3) meses consecutivos. (Nota Técnica ENFEN 01-2012).

<sup>2</sup> Anomalías positivas: es el valor positivo de diferencia del promedio del mes con el valor promedio multianual del mismo mes,

Anomalías negativas: es el valor negativo de diferencia del promedio del mes con el valor promedio multianual del mismo mes.

<sup>3</sup> ICEN corresponde a la región Niño 1+2.



**IMARPE**  
INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ



comportamiento propio de temporada seca. Las reservas hídricas de los principales embalses de la costa norte y sur vienen operando en promedio al 82% y 78% de su capacidad hidráulica, respectivamente.

La clorofila-a (indicador de la producción del fitoplancton), mostró valores ligeramente inferiores a su patrón normal.

Los índices reproductivos del stock norte – centro de la anchoveta muestran el inicio de la actividad desovante, de acuerdo con el patrón histórico.

## PERSPECTIVAS

En la costa norte de Perú se espera la llegada de una onda Kelvin fría en la segunda quincena de agosto y luego una onda Kelvin cálida a inicios de setiembre; esta última contribuirá a un leve incremento de las anomalías de la temperatura y del nivel del mar.

Para el Pacífico central (Niño 3.4), los resultados de los modelos de las agencias internacionales hasta la primera semana de agosto indican en promedio condiciones cálidas débiles hasta setiembre, y condiciones cálidas moderadas de octubre de 2018 a febrero de 2019. Para el Pacífico oriental (Niño 1+2), estos mismos modelos señalan en promedio condiciones neutras de setiembre a noviembre y condiciones cálidas débiles de diciembre de 2018 a febrero de 2019.

Tomando en consideración el monitoreo y el análisis de la Comisión Multisectorial ENFEN, así como los pronósticos de las agencias internacionales, se espera que para lo que resta del año se desarrollen condiciones de El Niño débil en el Pacífico central. Para la región Niño 1+2, se esperaría el desarrollo de condiciones cálidas débiles hacia fin de año.

En vista que los principales impactos de El Niño y La Niña suelen darse en la temporada de lluvias, durante el verano austral, el ENFEN proporciona una estimación de las probabilidades de ocurrencia de éstos (Tabla N°1 y Tabla N°2) para el próximo verano (diciembre 2018 - marzo 2019). En el Pacífico central, la ocurrencia de condiciones El Niño tiene la probabilidad de 72%, siendo la más probable la de magnitud débil (50%), seguidas de condiciones neutras (27%). En tanto que, para el Pacífico oriental (Niño 1+2) la probabilidad de ocurrencia de El Niño es de 48%, (40% en la categoría de Niño débil) frente a una probabilidad de 50% de condiciones neutras.

Considerando las probabilidades anteriormente descritas para el verano de 2019 se esperaría para la costa norte de Perú la ocurrencia de lluvias de normal a ligeramente superior a ésta, no significando la ocurrencia de lluvias extraordinarias como las de los años 1983, 1998 o 2017.

La Comisión Multisectorial ENFEN continuará informando sobre la evolución de las condiciones actuales y sus perspectivas.

Callao, 08 de agosto de 2018

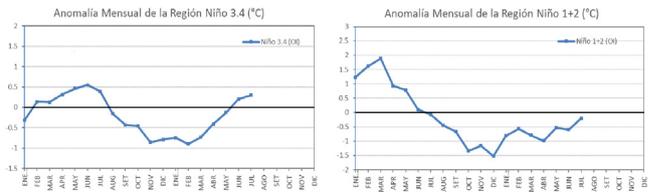


Figura 1. Anomalia superficial del mar mensual: Región Niño 3.4 (05°N - 0 5°S) / (170°W - 120°W) y Región Niño 1+2 (00° - 10°S) / (090°W - 080°W), enero 2017 - julio 2018. Fuente: Datos: OISST.V2/NCEP/NOAA, Gráfico DHN.1+2 (00° - 10°S) / (090°W - 080°W), enero 2017 - julio 2018. Fuente: Datos: OISST.V2/NCEP/NOAA, Gráfico DHN.

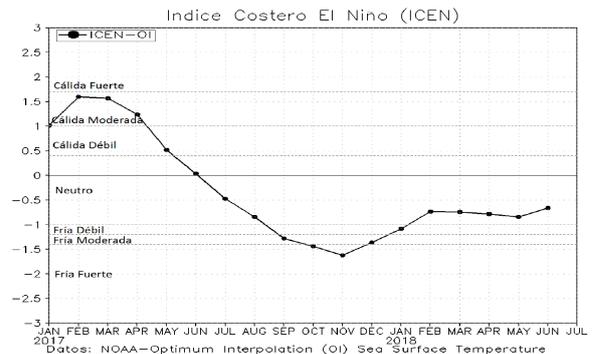


Figura 2. Serie del Índice Costero El Niño (ICEN), enero 2017 - julio 2018. Fuente: Datos: OISST.V2/NCEP/NOAA, Gráfico IGP.

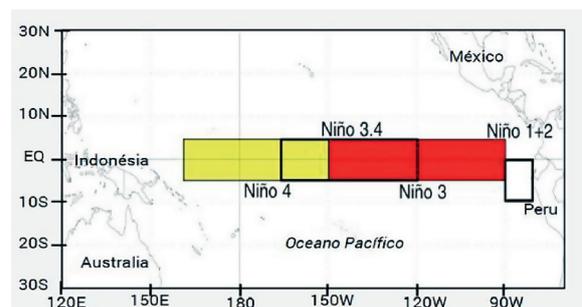


Figura 3. Áreas de monitoreo, Región Niño 3.4 (5°N-5°S / 170°W-120°W) y Región Niño 1+2 (0°-10°S / 90°W-80°W) Fuente: NOAA.

Tabla 1. Probabilidades estimadas de las magnitudes de El Niño – La Niña en el Pacífico oriental en el verano diciembre 2018 – marzo 2019.

Magnitud del evento diciembre 2018–marzo 2019	Probabilidad de ocurrencia
El Niño fuerte– extraordinario	0%
El Niño moderado	8%
El Niño débil	40%
Neutro	50%
La Niña débil	2%
La Niña moderada– fuerte	0%

Tabla 2. Probabilidades estimadas de las magnitudes de El Niño – La Niña en el Pacífico central en el verano diciembre 2018 – marzo 2019.

Magnitud del evento diciembre 2018 –marzo 2019	Probabilidad de ocurrencia
El Niño fuerte– extraordinario	3%
El Niño moderado	19%
El Niño débil	50%
Neutro	27%
La Niña débil	1%
La Niña moderada– fuerte	0%



**Instituto Geofísico del Perú**  
 Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa,  
 Ate, Lima, Perú  
 Central Telefónica: [511] 317 2300

- <http://www.igp.gob.pe>
-  <http://www.facebook.com/igp.peru>
-  [http://twitter.com/igp\\_peru](http://twitter.com/igp_peru)
-  [https://www.youtube.com/c/igp\\_videos](https://www.youtube.com/c/igp_videos)

En el marco del:

