



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



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

Foto: Rostislav Ageev

# GENERACIÓN DE INFORMACIÓN Y MONITOREO DEL FENÓMENO EL NIÑO

## ¿El océano, el cambio climático, y El Niño?

VOL. 6 N° 12 DICIEMBRE 2019

# Contenido

<b>3 - 4</b>	<b>Introducción</b>
<b>5 - 8</b>	<b>Artículo de divulgación científica</b>
<b>9 - 12</b>	<b>Avances científicos</b>
<b>13 - 17</b>	<b>Resumen del informe técnico PP N° 068 / El Niño- IGP/2019-11</b>
<b>18 - 19</b>	<b>Comunicado oficial del ENFEN</b>

---

# 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, Gerardo Rivera

Edición: Kobi Mosquera  
Diseño y Diagramación: Luis Miguel Ybañez

Carátula: Los arrecifes de coral son una de las especies calcificantes clave amenazadas por la acidificación del océano.  
Foto: Rostislav Ageev

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

Lima, junio de 2020

# 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 oceánico-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 documento 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://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/4594>



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

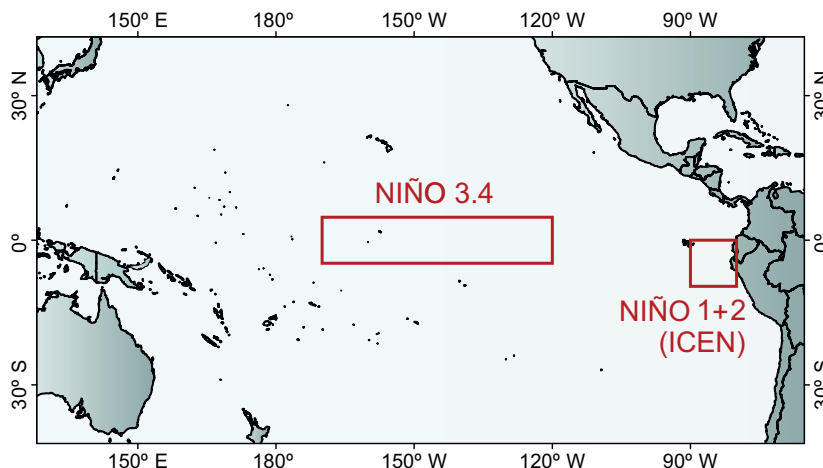
La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformada por representantes de IMARPE, DIHIDRONAV, IGP, SENAMHI, ANA, INDECI y CENEPRED, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del fenómeno El Niño y otros asociados.

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.

# ¿El océano, el cambio climático, y El Niño?



**Dra. Ivonne Montes**

INVESTIGADORA CIENTÍFICA DEL INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

Doctora en Oceanografía de la Universidad de Concepción (Chile) y Licenciada en Física de la Universidad Nacional del Callao. Desde el 2014, es investigadora científica en el IGP en donde uno de sus primeros objetivos fue conducir un proyecto para implementar un sistema de computación de alto rendimiento que, actualmente, forma parte del Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos Computacional del IGP, el cual está disponible para toda la comunidad científica. Es autora de varios artículos científicos y sus estudios están enfocados en entender el rol del océano sobre el clima y los procesos asociados al Cambio climático (tal como la desoxigenación).

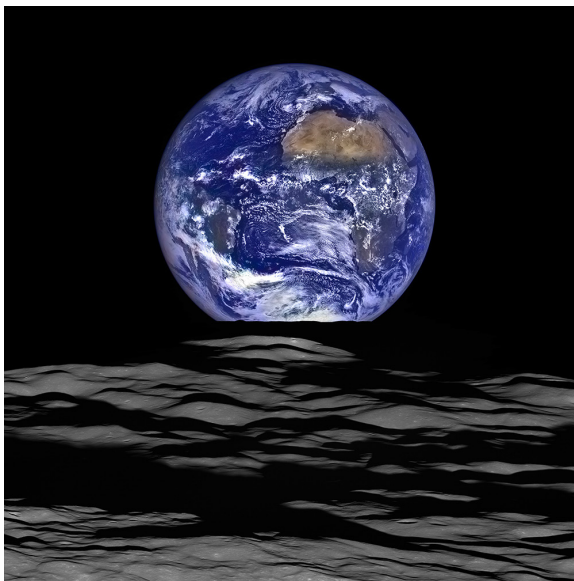


Figura 1. Vista de la Tierra desde el Orbitador de Reconocimiento Lunar de la NASA en diciembre 2015, <https://solarsystem.nasa.gov/resources/459/nasa-releases-new-high-resolution-earthrise-image/>

Nuestro planeta, denominado como Planeta Azul por el color que se evidencia en las fotografías tomadas desde el espacio (Foto 1), está cubierto por agua en un 71% de su superficie. Pero ¿por qué esta gran masa de agua, denominada océano, es tan importante y crucial para el desarrollo de la vida en nuestro planeta?

¡Por varias razones! El océano es el reservorio más importante de agua disponible en estado líquido del planeta que, a su vez, es crucial para el ciclo hidrológico del agua (Figura 2). Su combinación de ~97% de agua y 3% de sales disueltas, partículas, material orgánico y gases disueltos mantiene una inmensurable riqueza biológica que lo convierte en una de las principales

fuentes de vida animal y vegetal. El océano además soporta el funcionamiento y la estabilidad de los ecosistemas a través de la diversidad biológica que alberga, donde muchas de las especies marinas son fuente de alimentación y sustentan la pesca artesanal e industrial la que, por consiguiente, contribuye a la seguridad alimentaria de las diferentes naciones así como son fuente importante de divisas. Asimismo, la extracción de recursos naturales tales como el petróleo, gas y minerales que están en el lecho oceánico también contribuye a la economía de las naciones, al igual que la recreación y el turismo. El océano además es el medio principal para la globalización, ya que es utilizado diariamente para el transporte de mercancías. Último, pero no menos importante, el océano brinda más del 60% del oxígeno que respiramos y actúa como un regulador del clima del planeta. Esto último se debe a que distribuye el calor a través de las corrientes marinas y absorbe el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ , gas de efecto invernadero) de la atmósfera ¿Cómo es posible esto?



Figura 2. Esquema de ciclo hidrológico del agua (<http://zonaeduca.aguasdecordoba.es/ciclo-hidrologico-natural-del-agua>)

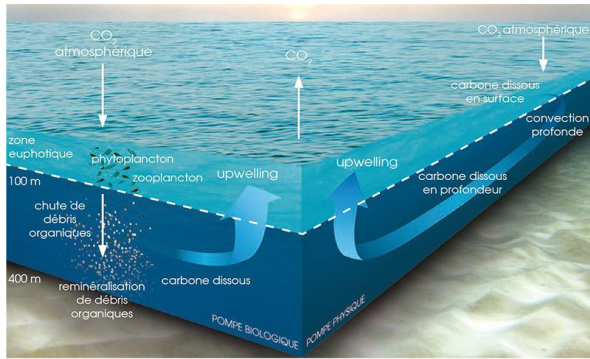


Figura 3. Representación de las bombas física y biológica ([https://ocean-climate.org/?attachment\\_id=1814](https://ocean-climate.org/?attachment_id=1814))

Se sabe que de manera natural, el océano y la atmósfera están en constante interacción (Figura 3). Desde el punto de vista físico, en las altas latitudes, donde el agua de mar de superficie tiene bajas temperaturas, el CO<sub>2</sub> atmosférico es transferido hacia el océano por el incremento de la solubilidad del gas, lo cual luego es transportado por las corrientes oceánicas hacia las zonas profundas del océano. A este proceso se le denomina "bombeo físico" (también identificado como "bomba física"). Desde el punto de vista biológico, las plantas del océano (es decir el fitoplancton) remueven el carbono inorgánico disuelto mediante el proceso de fotosíntesis, lo que genera materia orgánica rica en carbono - que constituye la base de la cadena trófica (es decir la fuente de alimentación para organismos no-fotosintéticos) - y oxígeno. Esto ocurre en un escala temporal que va de pocos días a varias semanas en la zona euphotica, es decir en las capas superficiales del océano donde hay disponibilidad de luz y nutrientes, y que se encuentra en constante comunicación con la atmósfera. Por tanto, al igual que los bosques, el fitoplancton absorbe CO<sub>2</sub> y produce oxígeno (O<sub>2</sub>), pudiendo ser considerado como el pulmón del planeta. Bajo la superficie, una parte del material orgánico producido en las capas superiores, que no se consume o muere en la columna de agua, se hunde hasta llegar al fondo marino donde se acumula formando parte del sedimento, lo cual a escala geológica (es decir periodos muy largos de tiempo) se convertirá en petróleo o gas (también conocidos como "depósitos de combustibles fósiles"). A este proceso se le denominada "bombeo biológico" (también identificado como "bomba biológica"). Ambos procesos, es decir los bombeos físico y biológico, se desarrollan como parte de la variabilidad natural de la Tierra y constituyen los mecanismos de mitigación más importante para reducir los efectos del cambio climático.

Pero ¿qué es el cambio climático? Según lo define el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), el cambio climático se refiere "a un cambio en el estado del clima que puede identificarse (por ejemplo, mediante el uso de pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o la variabilidad de sus propiedades y que persiste durante largos periodos de

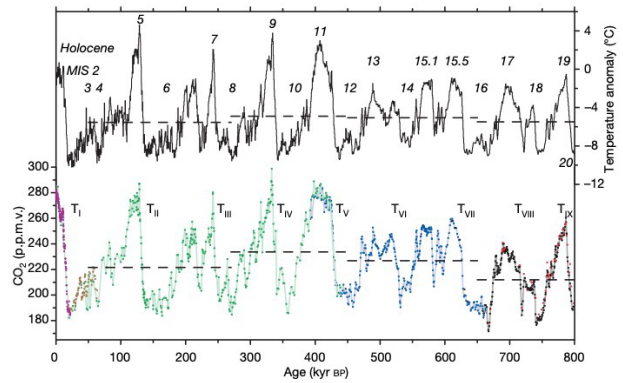


Figura 4. Compilación de registros de CO<sub>2</sub> y anomalías de temperatura en los últimos 800,000 años antes del presente extraído de Lüthi et al. (2008).

tiempo, generalmente décadas o periodos más largos", que "puede deberse a procesos internos naturales o forzamientos externos, tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas y cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo." El IPCC también considera tener en cuenta lo señalado en el artículo 1 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) que define el cambio climático como "cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables". Si tuviéramos que explicarlo, el clima de la Tierra ha cambiado a lo largo de la historia debido a las variaciones orbitales que han permitido recibir mayor o menor energía solar principalmente, lo cual ha estado asociado con ciertos niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera que está acompañado del aumento o disminución de la temperatura global del planeta (Figura 4). A partir de 1830 aproximadamente, los registros de CO<sub>2</sub> muestran un aumento gradual y significativo, es decir una tendencia positiva que llega a registrar en la actualidad concentraciones de casi el doble del máximo conocido antes de ese periodo, lo cual ha derivado en el aumento de la temperatura global del planeta (Figura 5), fenómeno conocido como Calentamiento Global.

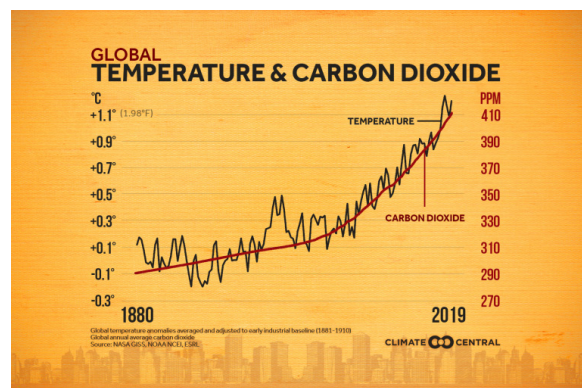


Figura 5. Anomalías de temperatura global y registro de CO<sub>2</sub> entre 1880 y 2019 (<https://www.climatecentral.org/gallery/graphics/global-temperatures-and-co2-concentrations-2020>)

Dicho periodo coincide con el inicio de la revolución industrial, donde se denota un fuerte incremento de la utilización de combustible fósil y, por consiguiente, de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al crecimiento industrial y a la demanda poblacional.

Cabe señalar que el IPCC es el organismo internacional para evaluar la ciencia relacionada con el cambio climático, creado y conformado por los gobiernos que son miembros de las Naciones Unidas (UN por sus siglas en inglés) o de la Organización Meteorológica Mundial (WMO por sus siglas en inglés) desde 1988; del cual el Perú es miembro. Básicamente, "el IPCC provee la base científica a los gobiernos para la formulación de políticas relacionadas con el clima, y sirven de apoyo para las negociaciones de la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Clima y la CMNUCC" (ver en <https://www.ipcc.ch/about/>). La integración del conocimiento sobre el cambio climático se presenta a través de los Informes de Evaluación (AR por sus siglas en inglés *Assessment Report*) elaborados cada 5 años por científicos expertos, siendo divididos en tres grupos de trabajo: Grupo I (base científica), Grupo II (Impactos, adaptación y vulnerabilidad) y Grupo III (Mitigación del cambio climático) y el equipo especial sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Adicionalmente a los AR, a solicitud de los gobiernos, el IPCC ha elaborado *Reportes Especiales* en temáticas específicas: "Calentamiento global de 1.5°C", el cual trata sobre los impactos del calentamiento global de 1.5 ° C por encima de los niveles preindustriales y las vías de emisión de gases de efecto invernadero globales relacionadas, en el contexto del fortalecimiento de la respuesta global a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos para erradicar la pobreza; "Cambio climático y la tierra", que trata sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres; y, finalmente, "Océanos y la criósfera en un clima cambiante", el cual evidencia que los océanos y la criósfera han sido afectados gravemente por el cambio climático causado por las emisiones de gases de efecto invernadero pasadas y presentes, lo cual ha promovido cambios en los ecosistemas y el clima, proyectándose consecuencias abrumadoras en los océanos y la criósfera y en el bienestar de la humanidad.

Según señala el reporte especial "Cambio Climático de 1.5°C" (IPCC SR1.5; 2018), la temperatura global del planeta ya registra un calentamiento por encima de 1°C respecto a los niveles preindustriales como resultado del incremento del CO<sub>2</sub> y otros gases. Todo esto producido por la actividad humana. También se indica en el reporte "Océanos y la criósfera en un clima cambiante" (IPCC SROCC, 2019) que entre 20 y 30% de las emisiones de CO<sub>2</sub> antropogénico han sido absorbidas por el océano desde la década de 1980. Por tanto, al absorber esta cantidad de CO<sub>2</sub>, el

océano ha contribuido a reducir el cambio climático inducido por los humanos (Bopp et al., 2002) pero, al mismo tiempo, ha provocado cambios considerables en la física y química del océano, lo cual ha causado alteraciones significativas en los sistemas marinos (incluyendo composición de especies, abundancia, producción de biomasa de los ecosistemas, estructura y funcionamiento); lo que representa una grave amenaza para la vida en nuestros mares y subsecuentes efectos en las naciones, tanto en lo económico como social. Cabe señalar que si el calentamiento global incrementa a 1.5°C los cambios descritos previamente continuarán, y si se sobrepasa los 2°C los cambios serán aún mayores y/o irreversibles (IPCC SR 1.5).

¿Cuáles son los cambios observados? Al absorber más CO<sub>2</sub>, la superficie del océano ha experimentado una reducción del pH (fenómeno denominado como acidificación marina) que reduce la disponibilidad de iones de carbono utilizados por los organismos marinos para construir sus esqueletos y caparazones. Asimismo, se ha registrado la pérdida de oxígeno oceánico sobre los 1000 m de la columna de agua, fenómeno denominado como desoxigenación marina, que es un factor determinante para los hábitats marino y en la regulación de los ciclos biogeoquímicos (tales como de los nutrientes y el carbono). Además, entre los cambios observados se incluyen el aumento del nivel del mar, el incremento del contenido de calor del océano, y el aumento de la frecuencia de las olas de calor marinas (*Marine heatwaves* en inglés). Estas últimas definen como los periodos de temperatura oceánica extremadamente alta cuyo generador principal es el evento El Niño, los cuales habrían duplicado su frecuencia e intensidad desde 1982, impactando negativamente a los organismos marinos y ecosistemas de todas las cuencas oceánicas en las últimas dos décadas según cita el IPCC SROCC (2019).

Por otro lado, los efectos del cambio climático en el océano no sólo estarían evidenciando cambios en las propiedades físicas y biogeoquímicas del agua de mar y los ecosistemas sino también en el clima del planeta. Según muestra el IPCC SROCC, los cambios incluyen el

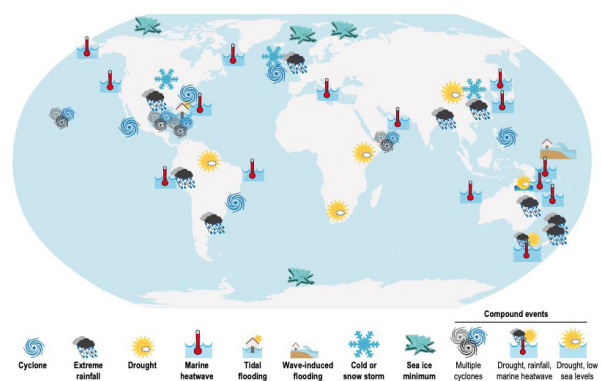


Figura 6. Localización de los eventos extremos vinculados a los cambios oceánicos producto del cambio climático extraído de Collins et al. (2019)

aumento en las precipitaciones, los vientos y los eventos extremos; este último definido como un evento que es raro en un lugar y época del año en particular tal como El Niño, La Niña, sequías, inundaciones, etc (Figura 6). Si nos referimos a los eventos El Niño, los desarrollados durante 1951–2000 fueron más altos en frecuencia e intensidad que los eventos desarrollados en el período 1901–1950. Mientras que, durante los últimos cincuenta años, se habrían producido los eventos más fuertes de El Niño y La Niña, tres de los cuales se desarrollaron entre 1982-1983, 1997-1998 y 2015-2016.

¿Qué se espera en el futuro? En base a las proyecciones climáticas generadas a partir de modelos numéricos, los cambios proyectados indican que el océano pasará a condiciones sin precedentes. Para el siglo XXI, en el caso de los eventos extremos de El Niño y La Niña, se prevé que aumenten su frecuencia y, como consecuencia, intensificarán los riesgos existentes, teniendo zonas más secas o húmedas en varias regiones del planeta según cita el IPCC SROCC.

Por tanto, si queremos reducir los riesgos actuales y cambios futuros en el océano y, subsecuentes cambios en las economías y las sociedades, entonces es necesario limitar el calentamiento global a través de la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> antropogénico. Según señala el IPCC SROCC es necesario tomar acciones coordinadas entre los diferentes actores que permitan recurrir a la mitigación para abordar las causas del cambio climático, pero también de adaptación para apoyar tanto en lo biológico y ecológico, como en lo social (Abram et al., 2019); todo lo cual debe estar sustentado en base a la investigación científica. Por tal motivo desde el IGP, siguiendo el método científico, establecemos las líneas de base del conocimiento sobre los diferentes componentes del sistema climático para estudiar los procesos y entender la naturaleza de las variaciones asociadas al cambio climático, así como los impactos en el Perú.

## BIBLIOGRAFÍA

Abram, N., J.-P. Gattuso, A. Prakash, L. Cheng, M.P. Chidichimo, S. Crate, H. Enomoto, M. Garschagen, N. Gruber, S. Harper, E. Holland, R.M. Kudela, J. Rice, K. Steffen, and K. von Schuckmann, 2019: Framing and Context of the Report. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

Bopp et al. The Ocean: a Carbon Pump, [https://ocean-climate.org/wp-content/uploads/2015/03/ocean-carbon-pump\\_ScientificItems\\_BD-2.pdf](https://ocean-climate.org/wp-content/uploads/2015/03/ocean-carbon-pump_ScientificItems_BD-2.pdf)

Collins M., M. Sutherland, L. Bouwer, S.-M. Cheong, T. Frölicher, H. Jacot Des Combes, M. Koll Roxy, I. Losada, K. McInnes, B. Ratter, E. Rivera-Arriaga, R.D. Susanto, D. Swingedouw, and L. Tibig, 2019: Extremes, Abrupt Changes and Managing Risk. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

IPCC, 2018: Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)]. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.

IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O.Pörtner,D.C.Roberts,V. Masson-Delmotte,P.Zhai,M.Tignor,E.Poloczanska,K. Mintenbeck,A.Alegría,M.Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

Lüthi, D. et al. (2008): High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000 - 800,000 years before present. *Nature*, 453, 379-382, <https://doi.org/10.1038/nature06949>

# Pronóstico de sequías estacionales en la cuenca amazónica durante eventos ENOS

*Carlos Enciso, Juan Sulca, Jhan Carlo Espinoza y Yamina Silva*  
*Investigador científico del Instituto Geofísico del Perú (IGP)*

## INTRODUCCIÓN

La cuenca Amazónica (CA), se extiende entre los 5°N y 20°S, y desde los Andes al océano Atlántico; cubriendo siete países en su extensión: Brasil (63%), Perú (16%), Bolivia (12%), Colombia (6%), Ecuador (2%), Venezuela y Guyana (1%) (Espinoza et al., 2009). La CA posee distintos regímenes de precipitación a lo largo de su territorio, con picos en el verano (diciembre-febrero) para el sur de la cuenca, y en el otoño (abril-junio) para la parte central (Figueroa y Nobre 1990; Nagy et al., 2016; Jiménez-Muñoz et al., 2019). Al oeste, la región ecuatorial del Amazonas presenta un régimen de precipitaciones más homogéneo a lo largo del año, mientras que en la parte ecuatorial de la región de transición entre la Amazonía y los Andes se observan regímenes bimodales (con picos de precipitación en marzo y octubre, durante los equinoccios), así como regímenes unimodales con picos de precipitación durante el invierno austral (Laraque et al., 2007; Espinoza et al., 2009; Segura et al., 2019).

Estos diferentes regímenes están asociados al alternado calentamiento existente en los dos hemisferios, y el ciclo anual del sistema monzónico de Sudamérica (Marengo et al., 2011; Vera et al., 2006); este último asociado a la migración estacional meridional de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

Además de su variabilidad estacional, diferentes estudios han documentado una intensificación de la frecuencia de eventos extremos como sequías e inundaciones en las últimas décadas (Barichivich et al., 2018), incluyendo un incremento en la duración del periodo seco en el sur de la cuenca amazónica (Fu et al., 2013; Espinoza et al., 2019). Las sequías han producido impactos en el sistema socioeconómico y en la ecología del bosque tropical más grande del planeta (Coelho et al., 2016, 2012; García et al., 2017; Jiménez-Muñoz et al., 2016, 19; Marengo et al., 2018). Esto ha llevado a que hoy en día la cuenca amazónica

sea considerada como un sistema biofísico en transición (Davidson et al., 2012; Marengo et al., 2019).

En particular, las sequías han sido una respuesta a las anomalías de circulación en niveles bajos y altos de la troposfera, como consecuencia de cambios de la temperatura superficial del mar (TSM) en el océano Pacífico tropical (i.e., El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)), en el Atlántico Tropical (AT), o como resultado de la interacción de ambos (Marengo et al., 2011; Espinoza et al., 2011; Sulca et al., 2018; Zeng et al., 2008; Jiménez-Muñoz et al., 2019). Estas teleconexiones atmosféricas son decisivas para la habilidad de predicción de sequías estacionales por medio de los modelos de circulación global.

En resumen, mecanismos climáticos asociados a las sequías en la Amazonía han sido identificados, no obstante, la previsibilidad estacional de las sequías es un tema que está aún en discusión. Bajo este contexto, en el presente trabajo, se intenta contestar la siguiente interrogante: ¿Es posible tener una previsibilidad de las sequías estacionales de verano en la cuenca Amazónica durante eventos ENOS usando las salidas de los modelos de circulación general (GCM, por sus siglas en inglés)?

## DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Se analizaron 29 años (1982-2010) de datos mensuales grillados, pudiendo ser agrupados en dos categorías:

### **a. Los datos modelados - El proyecto de ensamblaje de multi modelos de América del Norte (NMME)**

El NMME (North American Multi-Model Ensemble) es un sistema de pronóstico que se basa en un conjunto

de modelos acoplados provenientes de los centros de modelamiento de Estados Unidos y Canadá (Kirtman et al., 2014). Los datos de predicción retrospectiva, tienen una resolución horizontal de 1° x 1° (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.Models/.NMME/>). Ellos también cuentan con diferentes miembros para cada modelo y diferentes periodos de inicialización (Becker et al., 2014). En el presente trabajo se utilizaron los nueve (09) modelos del NMME, considerando el lead 1.5 (pronóstico realizado con condiciones iniciales del mes anterior), para las variables de precipitación total mensual (PP), temperatura superficial del mar (TSM) a nivel mensual, espesor de (200-500 hPa) altura geopotencial (HGT).

**b. Los datos grillados - GPCP - ERSSTv5 - NCEP/NCAR**

Los datos grillados mensuales de la GPCP v.7.0 proveen información de precipitación global en una grilla regular de 1.0° x 1.0° (Schneider et al., 2016). Así mismo, se utilizó la información de TSM mensual de ERSSTv5 (Huang et al., 2017), el cual tiene una resolución de 2.0° x 2.0°. Por último, la información de HGT a 200-500 hPa del reanálisis NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996), con resolución espacial de 2.5° x 2.5°. Se utilizó una interpolación bilineal tanto para los datos de TSM como HGT, hacia una grilla de 1.0°x1.0° para que estén acorde a los datos modelados del NMME.

**METODOLOGÍA**

Para definir una sequía meteorológica, nosotros utilizamos una variante del índice de precipitación estandarizada (SPI, siglas en inglés), el cual es sugerido por la Organización Mundial de Meteorología (WMO, 2012). Una sequía ocurre cuando el SPI promedio de tres meses consecutivos (SPI3) es igual o menor que 0.8 (Erfanian et al., 2017), denominado desde ahora SP3-sequía.

Para determinar el grado de habilidad o *skill* que poseen los modelos, nosotros calculamos la Correlación de Anomalías (AC, siglas en inglés) (Wilks, 2011).

Para determinar la influencia de ENOS sobre la habilidad de pronóstico de las sequías de verano en la CA, los 29 años de datos modelados y de validación se dividieron en tres categorías: El Niño, La Niña y Neutros. Las categorías están basadas en la intensidad del índice Niño 3.4 (Smith et al., 2008), donde las anomalías positivas (+0.5 °C) representan los eventos El Niño, negativas (-0.5°C) La Niña, y entre dicho intervalo los Neutros, calculados todos en base a una media móvil de 3 meses de anomalías de TSM en la región Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°W -170°W).

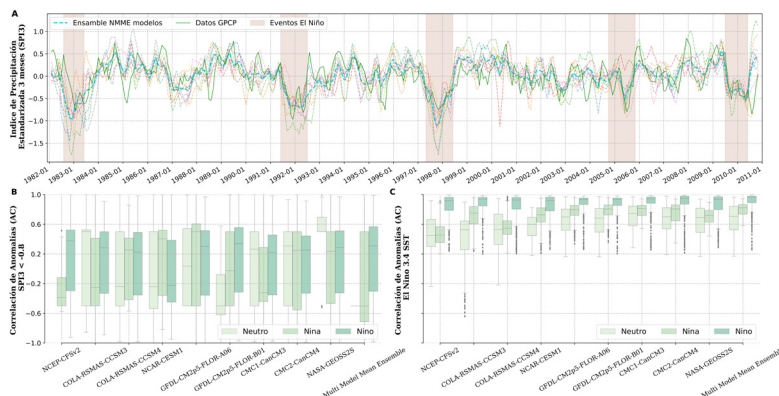
En este trabajo se utiliza uno de los enfoques más directos para investigar las teleconexiones entre el índice de El Niño 3.4 y las sequías en la CA, calculando correlaciones espaciales entre el espesor de altura geopotencial de la atmósfera alta y media (200-500 hPa) HGT y las anomalías de TSM de la región El Niño 3.4 y las sequías (SPI-sequías) en la cuenca amazónica, esto con el objetivo de evaluar la capacidad de los modelos atmosféricos en la simulación de las teleconexiones atmosféricas asociadas a las sequías en el periodo 1982-2010.

Por último, se utilizó el t-test Student para evaluar la significancia estadística (grado de significancia de 0.05) de los campos de correlación (Wilks, 2011).

**RESULTADOS**

Las sequías más resaltantes para el periodo 1982-2010 en la CA coinciden con los eventos El Niño (Figura 1a). La estacionalidad de la SPI3 es simulada por los modelos del NMME y su ensamble (Figura 1b). La correlación es más alta (>0.70 en el percentil 90 de toda la cuenca amazónica) para el ensamble de los modelos durante El Niño. Con respecto a la anomalía de la TSM, la Figura 1c muestra una correlación alta (>0.8,) de los modelos (más su ensamble) con los datos del ERSSTv5, sobre la región Niño 3.4, para los eventos El Niño mientras que los años neutrales y La Niña presentan correlaciones menores a 0.6.

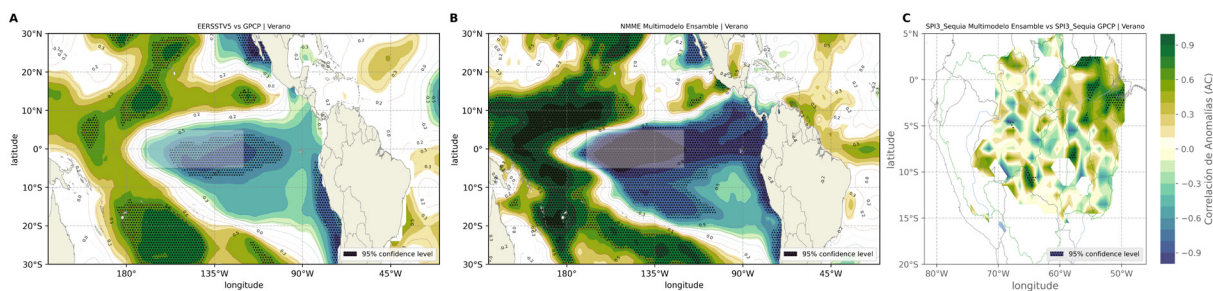
Las Figuras 2a y 2b muestran la alta correlación negativa (< -0.9) entre los eventos de anomalías de precipitación



**Figura 1.** (A) Series temporales del Índice de Precipitación Estandarizado de tres meses (SPI3) usando los nueve modelos del NMME (líneas de colores). El ensamble de los modelos del NMME es mostrado con líneas discontinuas y los valores calculados con GPCP en línea sólida. Los meses El Niño se muestran con rectángulos sombreados y rojos. (B) Coeficientes de correlación entre las anomalías de los datos simulados y del GPCP para sequías, SPI-sequías (SPI3 < -0.8). (C) Coeficiente de correlación entre las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W) y las sequías (SPI-sequías). (B) y (C) se analizaron en tres condiciones del ENOS (Niño, Niña y Neutral), utilizando un nivel de significancia del 95% en las correlaciones.

estandarizada (SPI-3), promediados en toda la CA, y las anomalías de TSM de verano (30°S-30°N, 160°E-40°W), tanto para los datos observados y del ensamble de los modelos, respectivamente. Estos resultados confirman que el Pacífico central y parte este del Pacífico (región Niño 3.4) están fuertemente relacionados con los eventos de anomalías de precipitación existentes sobre la CA, siendo concordante con previos estudios (Ronchail et al., 2002; Jiménez et al., 2019). Ellos resaltan que una de las señales

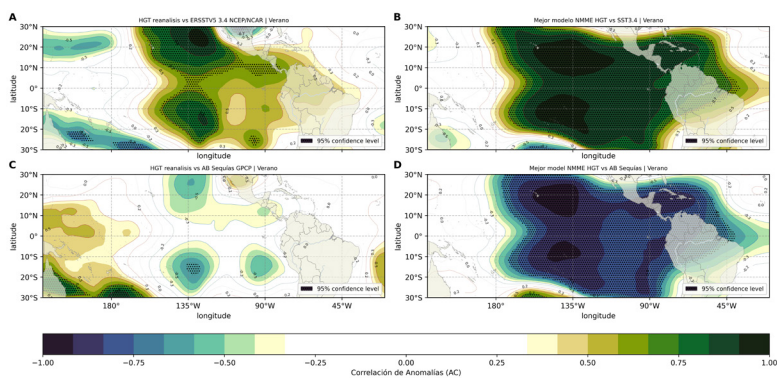
predominantes sobre las sequías en la Amazonía están dadas por las anomalías positivas de TSM en la región Niño 3.4 (Pacífico central), las cuales producen una alteración en las celdas de Walker y Hadley local. La Figura 2c muestra una correlación alta (>0.9) entre los datos observados del GPCP y los del ensamble de los modelos NMME para las sequías (SPI3-sequías) al noreste de CA, lo cual sugiere que el ensamble de los modelos del NMME tiene una mayor habilidad de pronóstico al noreste de la CA.



**Figura 2.** (A) Mapa de correlación entre las anomalías de precipitación estandarizada de tres meses (SPI3, GPCP) y las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM, ERSSTv5) para la región (30°S-30°N, 160°E-40°W), durante los veranos de periodos El Niño. El rectángulo sombreado representa la región Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°W-170°W). (B) es igual que (A), pero utilizando los datos modelados del ensamble de los modelos del NMME, tanto para anomalía de la TSM como para SPI3. (C) Correlación entre las anomalías de eventos de sequías (SPI3<-0.8) utilizando GPCP y los pronosticados por modelos del NMME. Nivel de significancia estadística al 95% (áreas sombreadas punteadas).

Las Figuras 3a y 3b, muestra altas correlaciones positivas (>0.9) entre las anomalías de la TSM en la región Niño 3.4 y las anomalías de espesor de altura geopotencial (500-200 hPa). Esto sería la respuesta de una onda Kelvin ecuatorial atmosférica al forzamiento convectivo generado en el Pacífico ecuatorial (Sulca et al. 2018), el cual se extiende hacia el este sobre la parte ecuatorial de Sudamérica. Las Figuras 3c y 3d reflejan la teleconexión atmosférica entre las

sequías (SPI3 < -0.8) en la CA y las anomalías en el espesor de la altura geopotencial de la atmósfera media y alta (500-200 hPa). La Figura 3d también muestra que el ensamble de los modelos de NMME simula el patrón observado de la onda Kelvin ecuatorial atmosférica; sin embargo esta incluso cubre toda la CA, sobreestimando los valores de correlación encontrados utilizando datos observados (Figura 3c).



**Figura 3.** Correlación de anomalías (AC) para el verano, entre los datos de anomalías de sequías (SPI-sequías), temperatura superficial del mar (TSM) y del espesor de la altura geopotencial (HGT), tanto para los datos observados (GPCP, ERSSTv5 y NCEP/NCAR), como para los modelados (NMME). Para los datos modelados se escogió a NASA-GEOSS2S, por tener un mejor skill del grupo NMME, referidos como "mejor NMME". (A y B) Correlación de anomalías entre HGT y anomalías de TSM en la región Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°W-170°W), calculado para los datos observados, como también para los modelados. (C y D) es igual que (A y B) pero correlacionando las anomalías de HGT y las anomalías de sequías estacionales (SPI3<-0.8) de la cuenca Amazónica. Las áreas sombreadas punteadas muestran correlaciones significativas estadísticamente al 95% de nivel de confianza, según la prueba t-Student.

## CONCLUSIONES

Tres (COLA-RSMAS-CCSM3, GFDL-CM2p5-FLOR-B01 y NASA-GEOSS2S) de los nueve modelos analizados, tienen la habilidad significativa para el pronóstico de las sequías de verano en la parte noreste de la cuenca Amazónica (CA); así mismo, el ensamble de todos los modelos NMME presenta una correlación mayor a 0.85 (percentil 90) para el periodo de 1982-2010. Además, la mayor habilidad de pronóstico de sequías en la CA se presenta para las condiciones El Niño, pudiendo obtenerse esta habilidad en el pronóstico utilizando el lead 1.5 (un mes de anticipación). Cabe mencionar que varias de las sequías más recientes en la Amazonía han sido atribuidas a una combinación de El Niño central (verano) y condiciones cálidas en el Atlántico tropical norte (otoño, invierno), por lo cual aún cuando el presente trabajo se enfocó en el El Niño central como principal manejador de dichos eventos extremos, para esfuerzos futuros, se recomienda un análisis combinado de la predictibilidad de los modelos en temperatura superficial del mar (TSM) sobre ambas regiones.

La habilidad de pronóstico de las sequías (SPI3<-0.8) sobre la CA de cada modelo, depende en gran medida de la capacidad de simular las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico central. Así mismo, su habilidad depende enormemente de la capacidad de simular las teleconexiones atmosféricas (propagación de ondas ecuatoriales). Los modelos que simulan una débil

teleconexión, no capturan el impacto de la circulación atmosférica a gran escala en la lluvia local sobre la cuenca amazónica y, por lo tanto, no tienen o tienen poca habilidad de predecir las sequías en dicha región.

Los datos observados y el ensamble de los modelos NMME (excepto: COLA-RSMAS-CCSM4, CMC1-CanCM3, CMC2-CanCM4, GFDL-CM2p5-FLOR-A06, NCAR-CESM1, NCEP-CFSv2), presentan correlaciones positivas entre el espesor de la altura geopotencial (HGT) y los periodos de sequías (SPI3-sequías) sobre la Amazonía ecuatorial (onda Kelvin atmosférica sobre la parte ecuatorial de América del Sur); pero el ensamble sobrestima la intensidad negativa observada, pudiendo estar ligado a un mayor calentamiento de la TSM sobre la parte del Pacífico oriental; llevando una deficiencia de los modelos del NMME en simular correctamente las teleconexiones atmosféricas existentes.

Finalmente, aun cuando la habilidad de los modelos NMME son limitadas para el pronóstico de sequías de verano, algunos de ellos (CMC2-CanCM4, NASA-GEOSS2S, CMC1-CanCM3) presentan mediana habilidad (correlaciones > 0.75) para el noreste de la CA, pudiendo reproducir las teleconexiones con la TSM del Pacífico central. Diferentes investigaciones requieren ser realizadas para mejorar esta predicción, y por ahora se está evaluando los esquemas convectivos de estos modelos y estudiando otros forzantes locales y regionales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Barichivich, J., Gloor, E., Peylin, P., Brienen, R. J. W., Schönegart, J., Espinoza, J.C., Pattayak, K.C. 2018. Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation, *Science Advances*, 4, doi:10.1126/sciadv.aat8785
- Becker, E., Dool, H.V. den, Zhang, Q., 2014. Predictability and forecast skill in NMME. *J. Clim.* 27, 5891–5906. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00597.1>
- Coelho, C.A.S., Cavalcanti, I.A.F., Costa, S.M.S., Freitas, S.R., Ito, E.R., Luz, G., Santos, A.F., Nobre, C.A., Marengo, J.A., Pezza, A.B., 2012. Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions. *Meteorol. Appl.* 19, 237–255. <https://doi.org/10.1002/met.1324>
- Coelho, C.A.S., de Oliveira, C.P., Ambrizzi, T., Reboita, M.S., Carpenedo, C.B., Campos, J.L.P.S., Tomaziello, A.C.N., Pampuch, L.A., Custódio, M. de S., Dutra, L.M.M., Da Rocha, R.P., Rehbein, A., 2016. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Clim. Dyn.* 46, 3737–3752. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2800-1>
- Davidson EA, de Araújo AC, Artaxo P, Balch JK, Brown IF, Busta- mante MMC, Coe MT, DeFries RS, Keller M, Longo M, Munger JW, Schroeder W, Soares-Filho BS, Souza CM Jr, Wofsy SC. 2012. The Amazon basin in transition. *Nature* 481: 321–328, doi: 10.1038/nature10717.
- Erfanian, A., Wang, G., Fomenko, L., 2017. Unprecedented drought over tropical South America in 2016: Significantly under-predicted by tropical SST. *Sci. Rep.* 7, 22–24. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05373-2>
- Espinoza, J.C., Ronchail, J., Guyot, J.L., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., Oliveira, E.D., Pombosa, R., Vauchel, P., 2009. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *Int. J. Climatol.* 29, 1574–1594. <https://doi.org/10.1002/joc.1791>
- Espinoza JC., Ronchail J., Marengo JA., Segura H. 2019. Contrasting North–South changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Climate Dynamics*. doi: 10.1007/s00382-018-4462-2
- Figueroa SN, Nobre CA. 1990. Precipitation distribution over central and western tropical South America. *Climanalise* 6: 36–40
- Fu, R., Yin, L., Li, W., Arias, P.A., Dickinson, R.E., Huang, L., Fernandes, K., Liebmann, B., Fisher, R., Myneni, R.B., 2013. Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 18110–18115.
- Garcia, B.N., Libonati, R., Nunes, A., 2017. Extreme drought events over the Amazon basin : The perspective from the reconstruction of South American hydroclimate 1, 12–16.
- Huang, B., Peter W. Thorne, et. al, 2017: Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5), Upgrades, validations, and intercomparisons. *J. Climate*, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1
- Jiménez-Muñoz, J.C., Mattar, C., Barichivich, J., Santamaría-Artigas, A., Takahashi, K., Malhi, Y., Sobrino, J.A., Schrier, G.V.D., 2016. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015-2016. *Sci. Rep.* 6, 1–7. <https://doi.org/10.1038/srep33130>
- Jimenez JC, Marengo JA, Alves LM, Sulca JC, Takahashi K., 2019. The role of ENSO flavours and TNA on recent droughts over Amazon forests and the Northeast Brazil region. *Int J Climatol*; 1–20. <https://doi.org/10.1002/joc.6453>
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, B. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, R. Jenne, and D. Joseph. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, March, 1996
- Kirtman, Ben P., and Coauthors, 2014: The North American Multimodel Ensemble: Phase-1 seasonal-to-interannual prediction; Phase-2 toward developing intraseasonal prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 95, 585–601. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00050.1>
- Marengo, J. A., Tomasella, J., Alves, L. M., Soares, W. R. & Rodriguez, D. A., 2011. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophys. Res. Lett.* 38, L12703
- Marengo JA Jr, Souza C, Thonicke K, Burton C, Halladay K, Betts RA, Alves LM and Soares WR., 2018. Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. *Front. Earth Sci.* 6:228. doi: 10.3389/feart.2018.0022
- Nagy, L., Artaxo, P., Forsberg, B.R., 2016. Interactions Between Biosphere, Atmosphere, and Human Land Use in the Amazon Basin: An Introduction. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-49902-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49902-3_1).
- Laraque A, Ronchail J, Cochonneau G, Pombosa R, Guyot JL., 2007. Heterogeneous distribution of rainfall and discharge regimes in the Ecuadorian Amazon basin. *Journal of Hydrometeorology* 8: 1364 – 1381
- Ronchail J, Cochonneau G, Molinier M, Guyot JL, de Miranda Chaves AG, Guimarães V, de Oliveira E., 2002. Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea-surface temperatures in the equatorial Pacific and tropical Atlantic Oceans. *Int. J. Climatol.* 22: 1663–1686, doi: 10.1002/joc.815.
- Schneider, U., Becker, A., Finger, P., Meyer-Christoffer, A., Rudolf, B., Ziese, M., 2016. GPCC Full Data Reanalysis Version 7.0: Monthly Land-Surface Precipitation from Rain Gauges built on GTS based and Historic Data. <https://doi.org/10.5065/D6000072>
- Segura H., Junquas C., Espinoza JC., Vuille M., Jauregui YR., Rabatel A., Condom T., Lebel T., 2019. New insights into the rainfall variability in the tropical Andes on seasonal and interannual time scales. *Climate Dynamics*. doi: 10.1007/s00382-018-4590-8.
- Smith, T.M., Reynolds, R.W., Peterson, T.C., Lawrimore, J., 2008. Improvements to NOAA’s Historical Merged Land–Ocean Surface Temperature Analysis (1880–2006). *J. Clim.* 21, 2283–2296. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI2100.1>
- Sulca, J., Takahashi, K., Espinoza, J.-C., Vuille, M., Lavado Casimiro, W., 2018. 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.* 38, 420–435. <https://doi.org/10.1002/joc.5185>
- Vera, C., Higgins, W., Amador, J., Ambrizzi, T., Garreaud, R., Gochis, D., Gutzler, D., Lettenmaier, D., Marengo, J., Mechoso, C.R., Nogues-Paegle, J., Dias, P.L.S., Zhang, C., 2006. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. *J. Clim.* 19, 4977–5000. <https://doi.org/10.1175/JCLI3896.1>
- Wilks, D.S., 2011. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press.
- World Meteorological Organization, 2012. Standardized precipitation index user guide.

# Resumen del informe técnico PP N° 068 / El Niño- IGP/2019-11

**Advertencia:** El presente informe sirve como insumo para la Comisión Multisectorial encargada del 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 los valores del Índice Costero El Niño (ICEN), basado tanto en los datos de ERSSTv3b (ICENv3) y ERSSTv5 (ICENv5) indican la condición climática Neutra frente a la costa peruana con valores de -0.87 y -0.60, respectivamente; sin embargo, el ICEN estimado con datos de OISSTv2 (ICENOI) indica condiciones Frías Débiles (-1.07). Los valores temporales del ICEN (ICENtmp), de ERSSTv3, ERSSTv5 y OISSTv2 para los meses de noviembre y diciembre, coinciden en indicar condiciones Neutras. Con respecto al Pacífico Central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) muestran condiciones Neutras para el mes de octubre (0.30°C) y, según la información de los valores temporales, se esperaría condiciones cálidas débiles para los meses de noviembre y diciembre.

En base a los datos de altimetría satelital (producto DUACS), la onda Kelvin fría, llegaría a la costa peruana en el mes de diciembre y, por otro lado, según los modelos simples y el análisis de la data observada, una onda Kelvin cálida debería arribar a la costa americana entre los meses de enero y febrero del 2020.

Según el promedio de los siete modelos numéricos climáticos de NMME, inicializados con condiciones oceánicas y atmosféricas del mes de diciembre de 2019, se mantendrían las condiciones Neutras para el periodo que va de enero a junio de 2020, tanto para el Pacífico central como oriental.

## ÍNDICE COSTERO EL NIÑO

Utilizando los datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM), promediados sobre la región Niño1+2 y actualizados hasta el mes de noviembre de 2019 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 2019 y cuyos valores se muestran en la Tabla

1 (columnas 3 y 4), en donde el valor para el mes de octubre corresponde a una condición Neutra. Los valores del ICEN, usando ERSST v3b, se pueden obtener del siguiente link: <http://www.met.igp.gob.pe/datos/icen.txt>.

Los valores del ICENOI, calculado de la misma forma que el ICEN pero usando los datos mensuales de OISST v2 y las climatologías de ERSST v3b, las cuales se pueden obtener del siguiente link: <http://www.met.igp.gob.pe/datos/climNino12.txt>, se muestran en la columna 5 y 6 de la Tabla 1. Este índice corresponde a condiciones Frías Débiles.

Otra fuente de datos para calcular el ICEN es la de ERSSTv5 (ICENv5), la cual es generada por el *Climate Prediction Center* (CPC) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, EEUU, <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst5.nino.mth.81-10.ascii>). Los valores de este ICEN se muestran en la columna 7 y 8 de la Tabla 1. El ICENv5 indica condiciones Neutras para el mes de octubre.

Hay que señalar que para calcular el ICEN actual; tanto para ICENv3, ICENOI e ICENv5; se utilizan los datos que son denominados, en cada una de estas bases de datos, como "datos en tiempo real", los cuales se caracterizan por cambiar ligeramente su valor en el transcurso de los siguientes meses. Es por esto que pueden existir pequeñas discrepancias en el cálculo del ICEN para los meses anteriores cuando se use la data actualizada.

Valores del Índice Costero El Niño							
Año	Mes	ICENv3	Categoría	ICENOI	Categoría	ICENv5	Categoría
2019	Julio	-0.62	Neutra	-0.63	Neutra	-0.54	Neutra
2019	Agosto	-0.86	Neutra	-0.97	Neutra	-0.73	Neutra
2019	Setiembre	-1.03	Fría Débil	-1.16	Fría Débil	-0.78	Neutra
2019	Octubre	-0.87	Neutra	-1.07	Fría Débil	-0.60	Neutra

**Tabla 1.** Valores recientes del ICEN obtenidos de ERSST v3b (columna 3 y 4), OISST.v2 (columnas 5 y 6) y ERSST v5 (columnas 7 y 8).

## ÍNDICE OCEÁNICO NIÑO (ONI)

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 octubre de 2019, es de 0.30 °C, correspondiente a una condición Neutra<sup>1</sup>.

## DIAGNÓSTICO DEL PACÍFICO ECUATORIAL

En el mes de noviembre las anomalías de la TSM diaria observada según los datos (IR, MW, OSTIA), en la región Niño 3.4 indicaron condiciones alrededor de lo normal, observándose anomalías positivas en todo el mes, siendo las máximas (0.9 y 0.7 °C) en la segunda y tercera semana. Para la región Niño 1+2, la ATSM mostró anomalías cercanas a cero en los primeros días del mes, sin embargo, terminando este se observó un incremento de las anomalías que alcanzaron 1°C. En promedio, las anomalías de la TSM se mantuvieron dentro de las condiciones neutras.

Según la información de las boyas instaladas a lo largo del Pacífico Ecuatorial del proyecto TAO, en el mes de noviembre, se mantienen los vientos anómalos del este al oeste de 140°W. Los vientos del oeste han disminuido en intensidad con respecto al mes anterior. La profundidad de la termoclina en promedio se mantiene positiva al este de 140°W. En lo que respecta a la ATSM, se observan anomalías positivas en toda la franja ecuatorial y con un máximo al oeste de la línea de cambio de fecha.

<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).

En la información del esfuerzo de viento zonal ecuatorial, tanto del producto WindSat como el de reanalysis de NCEP, se observó un pulso de viento del oeste a fines de noviembre, el cual se localizó entre 130° y 170°E.

Basado en los datos de TAO, la inclinación de la termoclina y el contenido de calor en la franja ecuatoriales mostraron, en promedio, valores alrededor de su climatológicos durante todo el mes de noviembre. Solo a fines de noviembre se observó el incremento del contenido de calor, como consecuencia de la presencia de una onda cálida. La boya ubicada en la región oriental (95°W) indica anomalías positivas de la profundidad de la isoterma de 20°C que alcanzaron el valor de 20m.

La información de OLR (relacionada con la actividad convectiva) para el mes de noviembre en la zona A (170°E – 140°W, 5°S-5°N) y B (170°W – 100°W, 5°S-5°N), continúa indicando valores superiores a su climatología, lo cual está relacionado con deficiencia de precipitación en dichas regiones.

La actividad de las ondas Kelvin, tanto cálidas como frías, aún se observa a lo largo de la costa americana. Según los datos observados del nivel del mar e información *in situ*, la onda Kelvin fría estaría cerca a la costa, mientras que la cálida está localizada, aproximadamente, en 160°W (Figuras 1).

## ONDAS KELVIN A LO LARGO DE LA COSTA PERUANA

A lo largo de la costa peruana, según la información de DUACS (basada en altimetría satelital), el núcleo de la onda Kelvin cálida ya habría pasado por la costa peruana, aunque aún se observa la influencia de su señal a lo largo de la costa. Según la información del flotador ARGO (No.

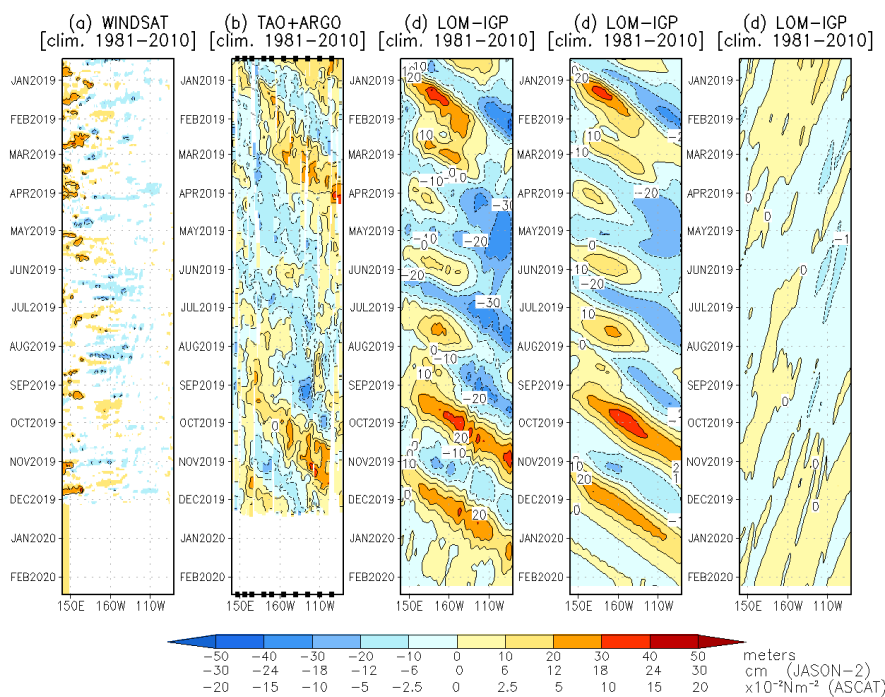


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos de WINDSAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO y los derivados de ARGO (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y finalmente diagrama de la onda Rossby, calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por WINDSAT, 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.

3901231), el cual se localizó durante noviembre entre 83.3–82.8°W y 3.5-4.3°S (entre las 100 y 200 millas náuticas frente a la costa norte del Perú), las anomalías positivas se observaron tanto en la superficie como debajo de esta. En la primera se aprecian anomalías de hasta de 2°C, dentro de los 50 metros de profundidad y después de la quincena del mes de noviembre. Por otro lado, debajo de la superficie las anomalías positivas se observaron desde los 300 y 500 metros de profundidad (ver Figura 2c).

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

Se espera que la onda Kelvin fría, que arribaría a las costas peruanas en las siguientes semanas, contribuya a disminuir las condiciones cálidas observadas desde mediados de noviembre. Se espera que la onda Kelvin cálida arribe a la costa americana entre enero y febrero de 2020, con lo cual podrían volverse a observar condiciones cálidas anómalas de la temperatura superficial y subsuperficial del mar (ver figura 1).

## PRONÓSTICO ESTACIONAL CON MODELOS CLIMÁTICOS

Para el Pacífico oriental (región Niño 1+2), según siete modelos climáticos integrantes de NMME (CFSv2,

CanCM4i, GEM\_NEMO, GFDL, NASA, GFDL\_FLOR y NCAR\_CCSM4), con condiciones iniciales del mes de diciembre de 2019, se esperan en promedio condiciones Neutras entre los meses de diciembre y junio de 2020. Es importante señalar que los modelos CFS2, GFDL y NCAR\_CCSM4 indican condiciones cálidas débiles para los meses de enero y febrero (ver figura 3).

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), según los mismos modelos climáticos descritos en el párrafo anterior, también indican, a excepción de diciembre, condiciones Neutras hasta junio de 2020. Viendo en detalle, los modelos CanCM4i, GFDL y NCAR\_CCSM4 indica condiciones cálidas débiles para los meses de enero y febrero, aunque el último modelo mencionado muestra condiciones cálidas débiles hasta el mes de junio de 2020.

## CONCLUSIONES

1. El ICEN (SSTOI) para octubre de 2019 fue de -1.07 (Fría débil), los ICENtmp para noviembre y diciembre corresponde a condiciones neutras: -0.50 y -0.03, respectivamente. Usando ERSSTv3 mensual para el cálculo del ICEN, los valores correspondientes son -0.87 (Neutro), y los temporales para noviembre y diciembre también son Neutros, -0.47 y 0.13 respectivamente. El ICEN calculado con la versión 5 de ERSST para octubre es -0.60 (Neutro) y los temporales también se encuentran en el rango de Neutro para los meses de noviembre y diciembre, -0.26 y -0.14, respectivamente.

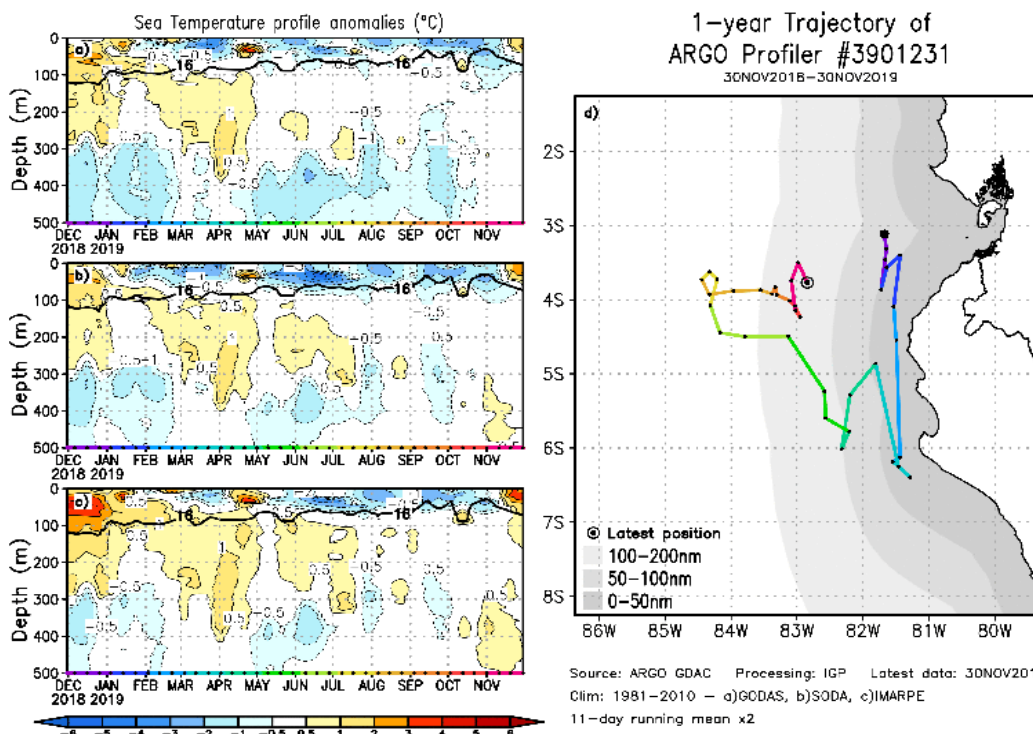


Figura 2. A la izquierda se aprecia la anomalía de la temperatura del mar hasta los 500 metros de profundidad calculada de los datos del flotador ARGO No. 3901231. Esta anomalía se calcula en base a la climatología (1981-2010) de: (a) GODAS, (b) SODA e (c) IMARPE. A la derecha se aprecia la trayectoria del flotador en el último año. Cada color indica un periodo de aproximadamente 30 días, en donde el círculo abierto indica la última posición del flotador.

Pronóstico con modelos del ICEN CI 201912

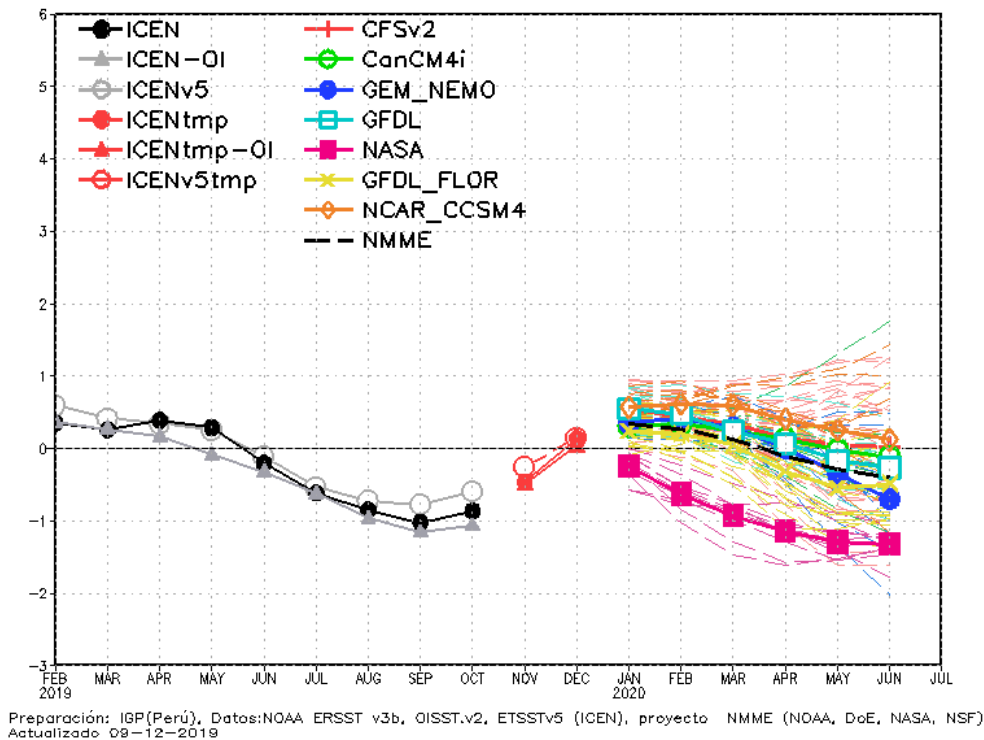


Figura 3. Índice Costero El Niño (ICEN negro con círculos llenos, fuente ERSSTv3; ICEN gris con triángulos, fuente OISSTv2; ICEN gris con círculos, fuente ERSSTv5) y sus valores temporales (ICENtmp, rojo con círculo lleno, ICENtmp-OI, rojo con triángulos llenos, ICENv5tmp, rojo con círculo). Además, 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, CanCM4i, GEM\_NEMO, GFDL, NASA, GFDL\_FLOR y NCAR\_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de diciembre de 2019. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

2. En el Pacífico central, el ONI de setiembre (SON) es 0.30 y corresponde a condiciones Neutras y el estimado para noviembre y diciembre corresponde condiciones Cálidas Débiles.

3. La información de OLR (relacionada con la actividad convectiva) en las regiones (170°E–140°W, 5°S-5°N) y (170°W–100°W, 5°S-5°N) indica valores superiores a su climatología, es decir existe poca o escasa precipitación.

4. Según la información de TAO en la franja ecuatorial, en el mes noviembre, se mantienen los vientos anómalos del este al oeste de la línea de cambio de fecha. La profundidad de la termoclina en promedio se mantiene positiva al este de 140°W. Las anomalías positivas de la TSM se observan en toda la franja ecuatorial y con un máximo al oeste de la línea de cambio de fecha.

5. A fines de noviembre, según la información satelital y de reanalysis, se desarrolló un pulso de viento del oeste entre 130°E y 170°E.

6. Basado en los datos de TAO, la inclinación de la termoclina y el contenido de calor en la franja ecuatorial mostraron, en promedio, valores alrededor de su climatológicos durante todo el mes de noviembre. Solo a fines de noviembre se observó el incremento del contenido de calor, como consecuencia de la presencia de una onda Kelvin cálida.

7. Los flotadores ARGO localizados entre las 100 y 200 mn de la costa y a lo largo de esta última, muestran en promedio para el mes de noviembre, usando la climatología de IMARPE, condiciones cálidas por encima de los 100 metros. El flotador ubicado frente a Paita mostró una anomalía positiva durante todo el mes de noviembre por debajo de los 300 m de profundidad. Esto podría deberse al paso de la onda Kelvin cálida.

8. En las siguientes semanas se espera el arribo de la onda Kelvin fría. Por otro lado, una onda Kelvin cálida debería arribar, según los modelos simples y el análisis de la data observada, a la costa americana durante el mes de enero.

9. Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los modelos de NMME con condiciones iniciales de diciembre, indican en promedio condiciones NEUTRAS entre los meses de diciembre de 2019 y junio de 2020, los modelos CFSv2, GFDL y NCAR CCSM4 indican condiciones cálidas débiles para los meses de enero y febrero de 2020.

10. Para el Pacífico central (Región Niño 3.4), el promedio de los modelos de NMME indica condiciones Neutras entre los meses de enero y junio de 2020, los modelos CanCM4i, GFDL, GFDL\_FLOR y el NCAR CCSM4 indican condiciones cálidas débiles para los meses de diciembre y enero. Además, el modelo NCAR CCSM4 indica condiciones cálidas débiles hasta junio de 2020.

## BIBLIOGRAFÍA

- 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 Meteorología*, 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° 15-2019  
**Estado del sistema de alerta: No Activo<sup>1</sup>**

*La Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el sistema de Alerta "No Activo", debido a que es más probable que se desarrollen condiciones neutras en la temperatura superficial del mar frente a la costa peruana durante el verano 2019-2020. Sin embargo, debido a la llegada de una onda Kelvin cálida entre enero y febrero de 2020, que podría producir un calentamiento superficial temporal en la costa norte del Perú, no se descarta la ocurrencia de lluvias episódicas, principalmente en Tumbes, por encima de lo normal pero sin llegar a ser extraordinarias.*

*Frente a este panorama, se recomienda a las entidades competentes considerar la vulnerabilidad para la estimación de riesgo y adoptar las medidas que correspondan.*

La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) se reunió para analizar la información oceanográfica, atmosférica, biológico-pesquera e hidrológica hasta la primera semana de diciembre de 2019, así como sus perspectivas.

En el Pacífico ecuatorial la anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) se mostró por encima de su normal en las regiones occidental-central y oriental. En comparación al mes de octubre, en la región Niño 3.4 la anomalía se mantuvo en +0,6 °C, mientras que, en Niño 1+2 (la cual incluye la costa peruana) la anomalía se redujo de -0,8 a -0,4°C, aunque desde la última semana de noviembre se registraron anomalías positivas en esta última región.

El Índice Costero El Niño (ICEN) para el mes de octubre y el ICEN temporal (ICEN-tmp) para noviembre, indican condiciones neutras, frente a la costa norte y central del Perú.

En el Pacífico ecuatorial, durante noviembre, los indicadores atmosféricos El Niño Oscilación Sur mostraron condiciones próximas a sus rangos normales. Entre ellos, la convección tropical continuó suprimida sobre la región central e Indonesia, para luego recuperarse y prolongarse ligeramente hacia el oeste del meridiano de 180°. Esto último fue influenciado por la propagación débil de ondas ecuatoriales atmosféricas del extremo oeste del Pacífico. En esta región, se evidenciaron anomalías de vientos zonales del este y oeste sobre niveles altos y bajos, respectivamente.

A nivel oceánico, en el Pacífico ecuatorial se sigue observando la presencia de ondas Kelvin oceánicas acercándose a la costa americana: una onda Kelvin fría, localizada en 120°W y otra cálida ubicada en 160°W, esta última generada en octubre. Asimismo, el pulso de viento del oeste, el cual se desarrolló a fines de noviembre en la zona occidental del

Pacífico, se habría proyectado en otra onda Kelvin cálida, según los resultados de los modelos numéricos.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS), respecto al mes anterior, continuó mostrando espacialmente una configuración zonal con un debilitamiento al sur de su posición habitual. Durante el mes de noviembre, en promedio, hubo muy poca influencia del APS sobre la costa peruana, lo cual se manifestó en vientos costeros débiles frente al litoral del centro y sur, principalmente en la segunda y tercera semana. Por otro lado, de acuerdo a la información satelital, durante la primera semana de diciembre, la nueva configuración espacial del APS mantuvo, de forma episódica, vientos intensos a lo largo de la costa, especialmente en el norte, alternados con debilitamientos, principalmente, frente al centro y sur.

Durante noviembre, los valores de las temperaturas extremas del aire en la costa peruana se mantuvieron, en promedio, dentro de sus rangos normales; no obstante, en la primera semana de diciembre, se observaron anomalías cálidas, principalmente de la temperatura nocturna, entre la costa norte y centro.

Tal como se mencionó en el último comunicado de la comisión ENFEN, desde fines de octubre e inicios de noviembre se detectó, en la información del nivel del mar, la presencia de la onda Kelvin cálida frente a la costa norte, pero el impacto de esta onda no se manifestaba aún, en forma de anomalías cálidas de la TSM. Sin embargo, durante la quincena del mes de noviembre, los datos muestran un rápido calentamiento por encima de lo normal de la TSM frente a la costa norte, comportamiento que se extendió a la costa central desde la última semana del mes, lo cual refleja

<sup>1</sup> El Estado del 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.



IMARPE  
INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ



IGP  
INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ



Senamhi  
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA  
E HIDROLOGÍA DEL PERÚ



DIHIDRONAV  
DIRECCIÓN DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN  
MARINA DE GUERRA DEL PERÚ



INDECI  
INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL



ANA  
Autoridad Nacional del Agua



CENEPRED  
CENTRO NACIONAL DE ESTUDIOS Y PRONÓSTICOS DE FENÓMENOS DE IMPACTO REGIONAL

el impacto de la onda Kelvin cálida en la TSM. Asimismo, según la información satelital, el máximo calentamiento se produjo en la tercera semana de noviembre, ya que se muestra una reducción significativa en los últimos días.

Principalmente, como consecuencia del paso de la onda Kelvin cálida, en Paita, la anomalía de la TSM alcanzó +4 °C el 20 de noviembre y aproximadamente +2 °C en los últimos días. En Chicama se registró un pico de +4 °C el 25 de noviembre y otro similar el 06 de diciembre, con tendencia a disminuir. Actualmente, anomalías cálidas encima de +1 °C han alcanzado hasta Chimbote, mientras que en Huacho se registran ligeras anomalías positivas (+0,4 °C al 09 de diciembre) y desde el Callao hasta la costa de Arequipa no se detectan anomalías positivas.

En la capa subsuperficial, entre fines de noviembre e inicios de diciembre, el núcleo principal de calentamiento, mayor a +1 °C, se detectó hasta los 100 m de profundidad frente a Paita dentro de las 100 millas náuticas de la costa y hasta los 50 m frente a Chicama, dentro de las 80 millas náuticas. Otro núcleo de calentamiento, de +1 °C, se detectó en ambas áreas a 250 – 300 m de profundidad junto al talud continental, señal asociada a la intensificación de la extensión sur de la Corriente de Cromwell. Hacia el sur, dicho núcleo se detectó frente a Callao y San Juan, en este último punto alcanzó +2 °C entre los 250 y 350 m dentro de las 30 millas náuticas de la costa.

Asimismo, la información disponible indica que el calentamiento ha estado acompañado por el desplazamiento de una delgada capa de aguas ecuatoriales superficiales, de baja salinidad, que se acercan hacia la costa de norte a sur, alcanzando Casma (< 5 m) dentro de las 30 millas náuticas a fines de noviembre. En tanto, las aguas subtropicales superficiales, de alta salinidad, se localizaron a más de 50 millas frente a la mayor parte de la costa.

La concentración de la clorofila-a (indicador de la producción del fitoplancton) en la capa superficial presentó un incremento significativo, desarrollándose núcleos con concentraciones mayores a 10 mg.m<sup>-3</sup> entre Chicama y Pisco, dentro de las primeras 60 millas náuticas de la costa, que persistieron inclusive hasta la primera semana de diciembre.

Durante el mes de noviembre, las zonas de pesca de la anchoveta se localizaron entre Salaverry (08°S) a Chimbote (09°S), dentro de las 40 millas de la costa. Los índices reproductivos de la anchoveta peruana del stock norte-centro en el mes de noviembre, mostraron la declinación de su periodo principal de desove.

Los caudales de los principales ríos de las regiones hidrográficas del Pacífico, Amazonas y Titicaca presentaron un comportamiento ascendente, el cual es propio del inicio del periodo húmedo. En la Región Hidrográfica Amazonas, los niveles de los ríos superaron su valor normal, habiéndose presentado, en el río Huallaga, niveles superiores al umbral de emergencia. Las reservas hídricas de los principales embalses de la costa norte y sur se encuentran, en promedio, al 63 % y 42 % de su capacidad de almacenamiento, respectivamente. En promedio a nivel nacional las reservas se encuentran al 49 %, lo que representa un estado normal.

En las regiones de Piura y Lambayeque, las temperaturas diurnas con valores entre normales y superiores a su promedio histórico, favorecieron la etapa de fructificación y cosecha del mango Edward, Kent y Criollo; mientras que en el departamento de Tacna ("Irrigación La Yarada"), las temperaturas nocturnas, ligeramente frías, retrasaron la fructificación del olivo. En cuanto al cultivo de arroz, en la región Piura ("Partidor"), los días cálidos promovieron la maduración del grano; en tanto que en Lambayeque, las condiciones térmicas diurnas y nocturnas de normales a cálidas favorecieron el desarrollo vegetativo.

## PERSPECTIVAS

En las siguientes semanas del mes de diciembre se espera el arribo de la onda Kelvin fría que contribuiría a disminuir las condiciones cálidas anómalas observadas desde mediados de noviembre. Por otro lado, la llegada entre enero y febrero de la onda Kelvin cálida, localizada actualmente en 160 °W, volvería a producir condiciones cálidas anómalas de la temperatura del mar en la capa superficial y subsuperficial, las cuales, en función del comportamiento de los vientos costeros, podrían estar acompañadas por el desplazamiento de aguas ecuatoriales superficiales desde el norte o de aguas subtropicales superficiales desde el oeste. El calentamiento superficial del mar podría favorecer, en la costa norte del Perú, principalmente en Tumbes, la ocurrencia de lluvias episódicas por encima de lo normal, sin llegar a ser extraordinarias.

El pronóstico de los modelos climáticos internacionales para el Pacífico ecuatorial central (región Niño 3.4) y para el Pacífico oriental (región Niño 1+2, el cual incluye la costa peruana, tal como se observa en la Figura 1) continúa indicando, en promedio, condiciones neutras hasta junio de 2020.

Debido a 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 (ver Tabla 1 y 2) para el próximo verano (diciembre 2019-marzo 2020). El análisis indica que para el Pacífico central (Niño 3.4) son más probables las condiciones Neutras (70 %), seguidas de condiciones El Niño débil (21 %); en tanto que, para el Pacífico oriental (Niño 1+2) son más probables las condiciones Neutras (69 %), seguidas de condiciones El Niño débil (23 %).

Por lo expuesto, la Comisión Multisectorial ENFEN mantiene el Estado de Alerta de El Niño en "No Activo"; sin embargo, las entidades competentes deberán considerar la vulnerabilidad para la estimación de riesgo y adoptar las medidas que correspondan frente a las potenciales lluvias episódicas, por encima de lo normal pero no extraordinarias.

La Comisión Multisectorial ENFEN continuará monitoreando e informando sobre la evolución de las condiciones actuales y actualizando las perspectivas cuando sean requeridas.

La emisión del próximo comunicado ENFEN será el día lunes 13 de enero de 2020.

Callao, 12 de diciembre de 2019



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

<https://www.gob.pe/igp>

[f http://www.facebook.com/igp.peru](http://www.facebook.com/igp.peru)

[t http://twitter.com/igp\\_peru](http://twitter.com/igp_peru)

[y https://www.youtube.com/c/igp\\_videos](https://www.youtube.com/c/igp_videos)

En el marco del:



**EL PERÚ PRIMERO**