



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

Foto: Creative Commons

GENERACIÓN DE INFORMACIÓN Y MONITOREO DEL FENÓMENO EL NIÑO

**Una revisión sobre los Sistemas de Afloramiento
de Bordes Orientales: diversidad, dinámica
acoplada y sensibilidad al cambio climático**

VOL. 5 N° 6 JUNIO 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: Reserva Nacional de Paracas,
Ica - Perú.

Foto: Creative Commons

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, noviembre 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/>



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

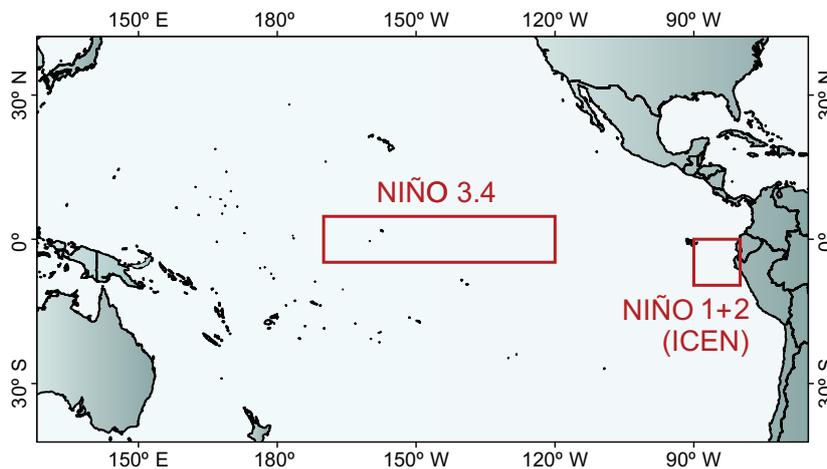
La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformada por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA, INDECI y CENEPRED, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

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.

Una revisión sobre los Sistemas de Afloramiento de Bordes Orientales: diversidad, dinámica acoplada y sensibilidad al cambio climático



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 Flúidos 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).



Dr. Ruben Escribano
DIRECTOR ALTERNO EN
EL INSTITUTO MILENIO DE
OCEANOGRAFÍA (IMO)

Las regiones localizadas en los bordes orientales de los océanos del mundo, conocidas como EBUS (Eastern boundary upwelling systems, Figura 1), se caracterizan por manifestar una serie de procesos dinámicos complejos que abarcan una amplia gama de escalas espaciales y temporales debido al fuerte acoplamiento entre el océano, la atmósfera y el continente. Asimismo, las regiones identificadas dentro de este grupo (la costa oeste de América del Norte y del Sur, Sudoeste de África y Noroeste de África/Ibérica) se encuentran entre los ecosistemas

marinos de mayor productividad biológica del mundo (por ejemplo, Pauly and Christensen, 1995), los cuales sustentan algunas de las principales pesquerías mundiales, a pesar de que ocupan tan solo el 1% de la superficie de los océanos del mundo. Esto se debe principalmente a la interacción aire-mar que se activa cuando los vientos alisios del sudeste, que soplan constantemente hacia el ecuador a lo largo de la costa, desplazan las capas superficiales del océano y, por conservación de masa y para restablecer el equilibrio geostrófico en las fronteras orientales, afloran aguas

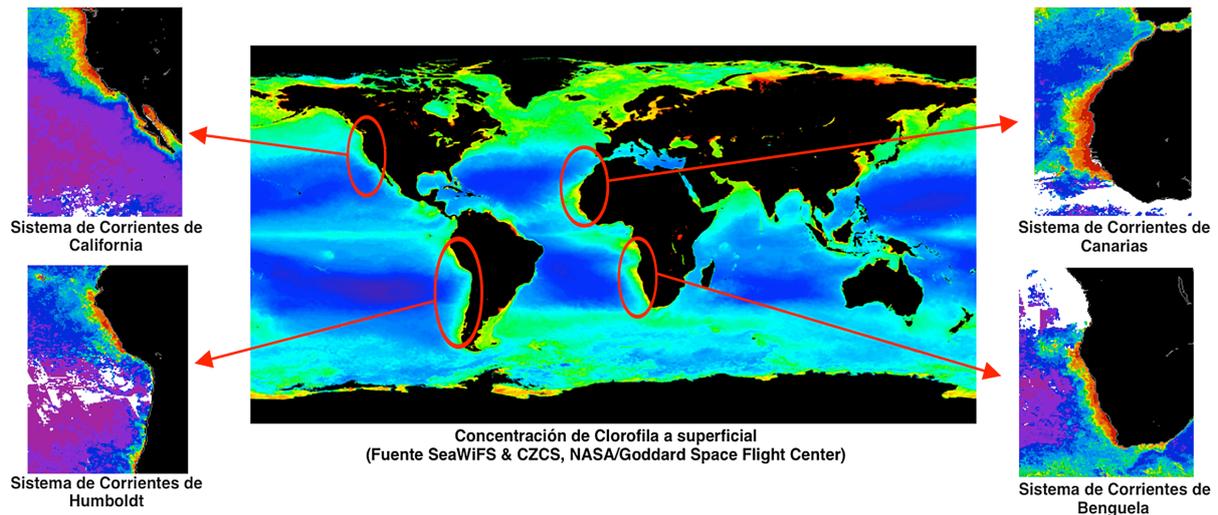


Figura 1. Concentración de Clorofila extraída de los datos satelitales SeaWiFS. Los recuadros destacan las áreas definidas como Sistemas de Afloramiento de Bordes Orientales (EBUS por sus siglas en inglés).

más profundas (frías y ricas en nutrientes, Figura 2) a condiciones favorables de luz las que sostienen el crecimiento del fitoplancton y determinan, finalmente, el clima de la región.

En estas áreas (Sistemas de Corrientes de California, Humboldt, Benguela y Canarias) también se desarrollan o identifican procesos físicos tales como: corrientes superficiales lentas a lo largo de la costa, corrientes subsuperficiales hacia el polo, filamentos, chorros, remolinos de mesoescala y ondas internas, que también son impulsadas, activadas y moduladas por la respuesta del viento que va de una escala local a regional (por ejemplo, Chelton et al., 2007). Estos procesos interactúan en diferentes escalas de tiempo, enriqueciendo así la dinámica del afloramiento costero que, al mismo tiempo, influyen en la producción pesquera marina (tamaño de células de fitoplancton (por ejemplo, Van der Lingen et al., 2009), en el plancton y la estructura de la comunidad de peces (por ejemplo, Van del Lingen et al., 2006) y en los ciclos biogeoquímicos (por ejemplo, Woodson y Litvin, 2015). Localmente, la circulación atmosférica de nivel bajo también puede verse afectada por las interacciones aire-mar-tierra, lo que puede afectar el afloramiento, la productividad y el clima.

La combinación de la circulación lenta y la alta productividad biológica en la capa superficial impulsa tasas elevadas de descomposición de la materia orgánica y el consumo de oxígeno disuelto, lo que resulta en el desarrollo de las denominadas Zonas Mínimas de Oxígeno (OMZ, por ejemplo, Breitburg et al., 2018). Las cuatro EBUS muestran niveles variables en el desarrollo de las OMZs (Figura 2) que van desde el sistema *anóxico* somero de Perú-Chile al sistema *hipóxico* más profundo de California (Chavez y Messié, 2009). Las áreas con bajo nivel de oxígeno son críticas para los macroorganismos que no pueden sobrevivir en condiciones pobres de oxígeno. Los eventos *anóxicos* extremos pueden tener serios impactos, ya sea a través de la estructuración o reducción del hábitat (por ejemplo, en la región del sistema de corrientes de Humboldt que muestra una

capa habitable poco profunda lo cual tiene consecuencias sobre la capacidad de captura) o sobre la mortalidad, y que ocasionalmente se manifiesta con mortandades masivas de peces, crustáceos y moluscos en la zona costera. También se producen procesos biogeoquímicos específicos a bajas concentraciones de oxígeno que influyen en los ciclos globales de los nutrientes del océano y en las condiciones químicas de aguas superficiales, así como en la producción de gases de efecto invernadero (por ejemplo, Stramma et al., 2010). Sobre esto último, cuando las aguas ascienden hacia la superficie liberan CO_2 y N_2O (potentes gases de efecto invernadero) hacia la atmósfera, los cuales pueden impactar la química atmosférica, el clima y tener una retroalimentación positiva con el calentamiento global. Asimismo, la sobresaturación de CO_2 en aguas superficiales también genera condiciones de mayor acidez.

Los mecanismos básicos de forzamiento son similares en las diferentes EBUS y establecen similitudes en la dinámica física esencial así como en la estructura del ecosistema, y hasta la fecha se han logrado avances en la comprensión de la dinámica de la EBUS desde una perspectiva integradora y comparativa (por ejemplo, Pegliasco et al., 2015; Capet et al., 2014; Lackar y Gruber, 2012; Gruber et al., 2011; Chavez and Messie, 2009; Capet et al., 2008; Carr and Kearns, 2003). Sin embargo, aún quedan muchas dudas sobre los procesos específicos asociados con las EBUS individualmente (como el caso de la solidez de la teleconexión ecuatorial) y su sensibilidad al cambio climático (por ejemplo, Wang et al., 2015; Bakun et al., 2015; Mackas et al., 2006). Por ejemplo, el sector peruano del sistema de Humboldt es una de las EBUS más productivas, aunque experimenta las mayores fluctuaciones en escalas de tiempo interanual (es decir, El Niño) en comparación con los otras EBUS.

En la EBUS del Océano Índico, el sistema de surgencia Sumatra-Java está relativamente menos estudiada, aunque juega un papel importante en el desarrollo del Dipolo del Océano Índico (Saji et al., 1999). La

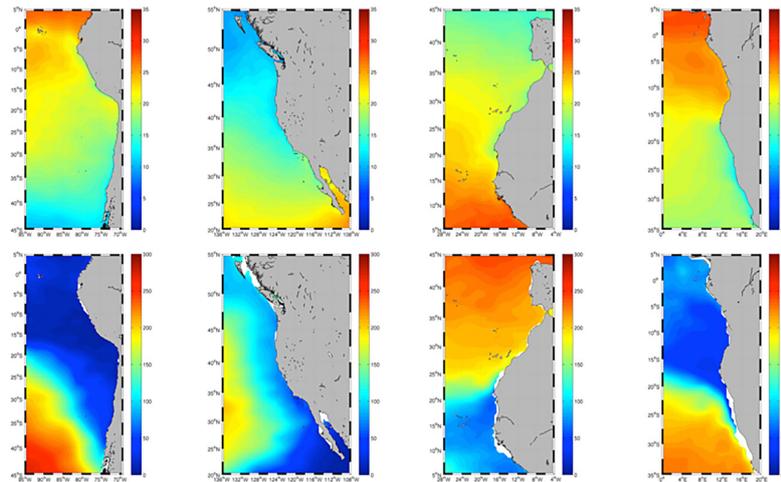


Figura 2. Promedio anual de la Temperatura superficial del mar (arriba) y concentración de oxígeno a 300m (abajo) para cada Sistema de Afloramiento de Bordes Orientales extraído de la base de datos CARS (CSIRO Atlas Regional Seas).

diferencia en sus posiciones latitudinales (Figura 1) implica que algunas EBUS o subcomponentes de las EBUS son más manejados/impulsados por el viento (los de latitudes altas) mientras que otros experimentan más teleconexiones oceánicas tropicales, aunque la EBUS de Benguela también está influenciada por parte de la corriente de Agulhas. Por lo tanto, si bien los puntos comunes en la naturaleza del forzamiento han sugerido que se podría plantear una teoría común de la circulación y su papel en las propiedades biogeoquímicas (por ejemplo, OMZ), las características actuales del forzamiento (amplitud, frecuencia, persistencia, asimetría) vinculadas a las no-linealidades inherentes de los sistemas requieren una revisión de este paradigma.

Además, el progreso en el modelado numérico regional ha dado luces sobre los procesos potencialmente importantes que solo se infirieron hasta hace poco, por ejemplo, el efecto de la disminución del viento en la dinámica del afloramiento (Capet et al., 2004; Renault et al., 2015, 2016); acoplamiento viento-corriente (Chelton et al., 2007); transporte inducido por remolinos (Bettencourt et al., 2015; Vergara et al., 2016; Gruber et al., 2011; Rossi et al., 2008) y que son, hasta ahora, difíciles de abordar solo con observaciones o con modelos globales. Estos últimos, en particular, siguen sufriendo sesgos cálidos persistentes (Richter, 2015; Zuidema et al., 2016) que han limitado la capacidad predictiva de la evolución de las EBUS en diversas escalas de tiempo (desde intraestacional pasando por decadal y más) (Cabré et al., 2015; Stramma et al., 2012). Aunque la mayoría de los estudios de modelado regional se han orientado a los procesos, se están haciendo algunas simulaciones de *hindcast* regionales a largo plazo (Dewitte et al., 2012; Franks et al., 2013; Combes et al., 2015) y las simulaciones de modelos regionales, con datos asimilados, han sido puestas a disposición de la comunidad científica (Neveu et al., 2016). Aunque aún no incluyen todos los procesos relevantes (por ejemplo, el acoplamiento aire-mar en la mesoescala) y en su mayoría están limitados al componente físico del sistema, sin

embargo, los resultados de los modelos permiten la investigación de procesos en escalas de tiempo de baja frecuencia y dentro de un marco climático deseado, superando algunos de las limitaciones de los estudios observacionales y de modelado basados en modelos globales de baja resolución. Hasta ahora, la atención se ha centrado en las cuatro principales EBUS (California, Canary, Humboldt, Benguela) sin embargo, también es interesante contrastar las EBUS con los sistemas de afloramiento de bordes orientales débiles y menos productivos, como los sistemas de Corriente Ibérica y Corriente de Leeuwin, para comprender mejor los procesos transitorios en el contexto del calentamiento global.

Esto ha estimulado en los últimos años una serie de esfuerzos individuales para comprender la dinámica de las EBUS desde una perspectiva observacional, por ejemplo, el programa internacional CLIVAR 'VOCALS' (VAMOS Ocean-Cloud-Atmosphere-Land Study) implementado para desarrollar y promover actividades científicas que conduzcan a una mejor comprensión del sistema acoplado océano-atmósfera del Pacífico suroriental, desde escalas de tiempo diurno a interanual. El proyecto *transdisciplinario* AMOP (Actividades de investigación dedicadas a la Zona Mínima de Oxígeno en el Pacífico oriental) se lanzó para investigar los mecanismos que conducen a la formación de la existencia de OMZ en el Perú y su variabilidad en las escalas de tiempo que van desde horas hasta centenarias. La iniciativa alemana SFB754 "Interacciones entre clima y biogeoquímica en el océano tropical" abordó la amenaza recientemente reconocida de la desoxigenación de los océanos, su posible impacto en las OMZs tropicales y sus implicancias para el sistema global clima-biogeoquímica. El proyecto recientemente iniciado TPOS2020 (<http://tpos2020.org/>) tiene como objetivo diseñar un futuro sistema de observación en el Pacífico tropical que incluya el monitoreo del borde oriental y el tratamiento de la dinámica de surgencias costeras (Takahashi et al., 2014). Un enfoque de investigación CLIVAR/SOLAS/IMBER sobre sistemas de

afloramiento también se ha iniciado recientemente con el objetivo de avanzar en la comprensión de la dinámica de las EBUS desde la física hasta la pesca.

Estos programas de observación, junto con el progreso reciente en el modelado regional acoplado, ofrecen una nueva perspectiva para comprender las EBUS que pueden revitalizar el enfoque de intercomparación. En particular, la perspectiva de las simulaciones regionales a largo plazo (no solo climatológicas) es una ventaja para abordar las interacciones a escala temporal y espacial (procesos de mejora de escala, rectificación) y su sensibilidad a los cambios de baja frecuencia en las condiciones ambientales, proporcionando material para revisar la interpretación de datos históricos. El esfuerzo internacional en curso para intensificar los sistemas de observación oceánica (por ejemplo, Argo, IOCCP, misión SWOT, misiones Sentinel), que permita abordar pequeñas escalas espaciales de variabilidad, también establece condiciones favorables para documentar cuantitativamente el continuo de escalas pequeñas (desde mesoescala a submesoescala) y su impacto en la dinámica del ecosistema.

En resumen, hay varios procesos regionales en las EBUS que los estudios con modelos numéricos sugieren que son importantes, pero que no han sido documentados por las observaciones (por ejemplo, impactos de los jets atmosféricos de mesoescala costeros, transporte de propiedades del agua por remolinos intra-termoclinos, jets zonales oceánicos profundos, interacciones aire-mar, etc.). Esto requiere evaluaciones más cuantitativas del rol de dichos procesos en la dinámica de las EBUS, ya sea desde plataformas de modelado integrado, es decir, que tengan en cuenta las retroalimentaciones complejas y las interacciones de escalas (espaciales y temporales), y operen desde una perspectiva climática, es decir, a partir de simulaciones a largo plazo (multidecadales). La importancia socioeconómica de las EBUS (ocupan 1% del área oceánica mundial que sostiene el 20% de las capturas de peces del mundo) motiva aún más a investigar el rol de estos procesos regionales en la biogeoquímica de las OMZ. Este es un requisito previo para mejorar las capacidades predictivas de la evolución de los ecosistemas marinos en estas regiones económicas claves, y anticipar cambios en la naturaleza de eventos extremos (por ejemplo, hipoxia).

Por tanto, reconociendo que las EBUS son laboratorios naturales para estudiar la amplitud de los procesos interactivos entre la tierra, el océano y la atmósfera a escala regional, en el 2018 nace el grupo de trabajo 155 de SCOR (Scientific Committee on Oceanic Research, http://www.scor-int.org/SCOR_WGs.htm, identificado por sus siglas en inglés como SCOR WG 155). El SCOR WG 155, denominado "*Eastern boundary upwelling systems (EBUS): diversity, coupled dynamics and sensitivity to climate change*", tiene como objetivo la integración del conocimiento existente sobre las EBUS para formular un documento técnico de recomendaciones estratégicas para establecer sistemas

regionales de observación y enfoques de modelado climático que monitoree y comprenda las interacciones físicas y biogeoquímicas océano-atmósfera. Estos sistemas de observación serán fundamentales para mejorar el rendimiento y la confiabilidad de los modelos climáticos en estas regiones socioeconómicamente relevantes de los océanos del mundo. Este grupo de trabajo también revisará y evaluará críticamente los diferentes enfoques de "ciencia dura" que se aplican con respecto a los beneficios socioeconómicos que podrían aportar.

Para lograr estos objetivos, el grupo científico está integrado por un equipo único de científicos que son expertos en las diferentes EBUS del mundo e involucrados en importantes programas nacionales e internacionales. Este grupo se ha compuesto para cubrir temas de observaciones y modelado, y, además, reunir a científicos de diferentes disciplinas provenientes de una variedad de países desarrollados y en vías de desarrollo. En ese sentido, el grupo SCOR es oportuno y está dirigido a facilitar las interacciones entre modeladores y expertos en observaciones. Esto asegurará 1) la comunicación de los resultados a la comunidad de investigación en general, y 2) la alineación con las plataformas de investigación tanto nacionales como mundiales. Para más detalles ir a: <http://intranet.igp.gob.pe/scor/preamble.php>

REFERENCIAS

- Bakun, A., et al. (2015). Anticipated Effects of Climate Change on Coastal Upwelling Ecosystems, *Curr. Clim. Change Rep.*, 1, 85–93.
- Bettencourt, J.H., et al. (2015). Boundaries of the Peruvian Oxygen Minimum Zone shaped by coherent mesoscale dynamics, *Nature Geosci.*, 8, 937–940.
- Breitburg, D., A. Levin, A. Oschlies, M. Grégoire, F.P. Chavez, D.J. Conley, V. Garçon, D. Gilbert, D. Gutiérrez, K. Isensee, G.S. Jacinto, K.E. Limburg, I. Montes, S.W.A. Naqvi, G.C. Pitcher, N.N. Rabalais, M.R. Roman, K.A. Rose, B.A. Seibel, M. Telszewski, M. Yasuhara, J. Zhang. (2018). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters, *Science*, 359, doi:10.1126/science.aam7240.
- Cabré, A., et al. (2015). OMZs in the tropical Pacific across CMIP5 models: mean state differences and climate change trends, *Biogeosciences*, 12, 6525–6587.
- Capet, A., et al. (2014). Implications of refined altimetry on estimates of meso-scale activity and eddy-driven offshore transport in the Eastern Boundary Upwelling Systems, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 7602–7610.
- Capet, X., et al. (2008). Mesoscale to Submesoscale Transition in the California Current System. Part I: Flow Structure, Eddy Flux, and Observational Tests, *J. Phys. Oceanogr.*, 38, 29–43.

- Capet, X.J., et al. (2004). Upwelling response to coastal wind profiles, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13311.
- Carr, M.-E., and E. J. Kearns. (2003). Production regimes in four Eastern Boundary Current systems, *Deep Sea Res. Part II*, 50(22–26), 3199–3221.
- Chavez, F.P., and M. Messie. (2009). A comparison of Eastern Boundary Upwelling Ecosystems, *Prog. Oceanogr.*, 83(1–4), 80–96.
- Chelton, D.B., et al. (2007). Summertime coupling between sea surface temperature and wind stress in the California Current System, *J. Phys. Oceanogr.*, 37, 495–517.
- Combes, V., et al. (2015). Interannual variability of the subsurface eddy field in the Southeast Pacific, *J. Geophys. Res. Oceans*, 120, 4907–4924, doi:10.1002/2014JC010265.
- Dewitte B., et al. (2012). Change in El Niño flavours over 1958–2008: Implications for the long-term trend of the upwelling off Peru, *Deep Sea Research II*, doi:10.1016/j.dsr2.2012.04.011.
- Franks, P.J.S., et al. (2013). Modeling Physical-Biological Responses to Climate Change in the California Current System, *Oceanography*, 26(3), 26–33.
- Gruber, N., et al. (2011). Eddy-induced reduction of biological production in eastern boundary upwelling systems, *Nature Geosci.*, 4, 787–792.
- Lachkar, Z., and N. Gruber. (2012). A comparative study of biological production in eastern boundary upwelling systems using an artificial neural network, *Biogeosciences*, 9, 293–308.
- Mackas, D.L., et al. (2006). Eastern ocean boundaries – pan regional overview. In: *The Global Coastal Ocean: Interdisciplinary Regional Studies and Syntheses – PanRegional Syntheses and the Coasts of North and South America and Asia*, The Sea, vol 14A. Robinson, A. R., and K. H. Brink (eds.), Harvard University Press., 2, 21–60.
- Neveu, E., et al. (2016). An historical analysis of the California Current circulation using ROMS 4D-Var: System configuration and diagnostics, *Ocean Modelling*, 99, 133–151.
- Pauly, D., and V. Christensen. (1995). Primary production required to sustain global fisheries, *Nature*, 374, 255–257.
- Pegliasco, C., et al. (2015). Main eddy vertical structures observed in the four major Eastern Boundary Upwelling Systems, *J. Geophys. Res.*, 120, 6008–6033.
- Renault, L., et al. (2016). Partial decoupling of primary productivity from upwelling in the California Current system, *Nature Geoscience*, 9, 505–508 doi:10.1038/ngeo2722
- Renault, L., et al. (2015). Orographic shaping of US West Coast wind profiles during the upwelling season, *Clim Dyn*, 46(1–2), pp.273–289.
- Richter, I. (2015). Climate model biases in the eastern tropical oceans: causes, impacts and ways forward, *WIREs Clim Change*, 6, 345–358.
- Rossi, V., et al. (2008). Comparative study of mixing and biological activity of the Benguela and Canary upwelling systems, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L11602.
- Saji, N.H., et al. (1999). A dipole mode in the tropical Indian Ocean, *Nature*, 401, 360–363
- Stramma, L., et al. (2010). Ocean oxygen minima expansions and their biological impacts, *Deep-Sea Res. Part I-Oceanographic Res. Papers*, 57, 587–595.
- Stramma, L., et al. (2012). Mismatch between observed and modeled trends in dissolved upper-ocean oxygen over the last 50 yr, *Biogeosciences*, 9(10), 4045–4057, doi:10.5194/bg-9-4045-2012.
- Takahashi K., et al. (2014). TPOS White Paper #8a – Regional applications of observations in the eastern Pacific: White Paper #8a- Report of the Tropical Pacific Observing System 2020 Workshop (TPOS 2020) GCOS-184, 2, 171–205, http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/Publications/gcos-184_II.pdf.
- Van der Lingen, C.D., et al. (2009). Chapter 8: Trophic dynamics of small pelagic fish. In: Checkley DM Jr, Roy C, Alheit J, Oozeki Y (Eds) *Climate Change and Small Pelagic Fish*. Cambridge University Press, 112–157.
- Van der Lingen, C.D., et al. (2006). Comparative trophodynamics of anchovy *Engraulis encrasicolus* and sardine *Sardinops sagax* in the southern Benguela: are species alternations between small pelagic fish trophodynamically mediated?, *African Journal of Marine Science*, 28 (3–4), 465–477, <http://dx.doi.org/10.2989/18142320609504199>.
- Wang, D., et al. (2015). Intensification and spatial homogenization of coastal upwelling under climate change, *Nature*, 518(7539), 390–394.
- Woodson, and Litvin, (2015). Ocean fronts drive marine fishery production and biogeochemical cycling, *PNAS*, 112 (6), 1710–1715, doi:10.1073/pnas.1417143112
- Zuidema et al. (2016). Challenges and Prospects for Reducing Coupled Climate Model SST Biases in the Eastern Tropical Atlantic and Pacific Oceans: The U.S. CLIVAR Eastern Tropical Oceans Synthesis Working Group. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 97, 2305–2328, doi:10.1175/BAMS-D-15-00274.1.

La importancia de monitorizar el océano en una región de alta variabilidad espacio-temporal

*Eva Prieto & Ivonne Montes
Instituto Geofísico del Perú*

INTRODUCCIÓN

La Temperatura Superficial del Mar (TSM) en la costa oeste de América del Sur oscila en escala interanual, modulada por procesos tropicales asociados a El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), y en escala interdecadal influenciada por procesos asociados a la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés), que afecta a escalas de cuenca oceánica, incluso a escalas globales (Montecinos et al., 2003). La circulación en el Océano Pacífico Sur Este está dominada por la circulación de gran escala del anticiclón subtropical del Pacífico Sur (South Pacific Subtropical Anticyclone, SPSA), cuya rama más oriental es la corriente de Humboldt (o corriente de Perú-Chile). En escala interanual, durante la fase cálida del ENSO, es decir El Niño, la intensidad del SPSA y de los vientos asociados disminuye y, por lo tanto, también, la cantidad de agua fría que es aflorada a la superficie, debido a la profundización de la termoclina en el Pacífico sureste (Carr et al., 2002). Este mecanismo, junto con la mayor advección de aguas cálidas ecuatoriales, contribuye a calentar las aguas superficiales de las costas de América del Sur. Durante la fase fría del ENSO, es decir La Niña, la intensidad del SPSA aumenta, intensificándose los vientos, elevándose la termoclina en la columna de agua y enfriándose las aguas superficiales. En escala interdecadal, durante la fase cálida/fría de PDO se

observan anomalías positivas/negativas de la TSM a lo largo de las costas de América del Sur (Mantua and Hare, 2002). Por tanto, superpuesta a la variabilidad interanual asociada al ENSO encontramos una variabilidad de escala mayor (decadal o interdecadal), cuyos efectos pueden sumarse o contrarrestarse, amplificando o amortiguando estas anomalías.

En las últimas décadas la TSM y la salinidad superficial en el Pacífico sureste ha disminuido como consecuencia de la intensificación de la circulación del SPSA (Schneider et al., 2007). Desde los años 1950, la región del margen continental del centro-sur de Perú se caracterizó por una disminución de la TSM del orden de 0.02-0.04 °C/año, un enfriamiento no lineal de la superficie del mar que se asoció a una intensificación de los vientos alisios con el consiguiente incremento del afloramiento y de la productividad en la región (Gutiérrez et al., 2011). En la región de afloramiento del centro-sur de Chile los cambios se caracterizaron de igual forma por un enfriamiento de toda la columna de agua, asociado a la intensificación pero también al desplazamiento hacia el sur del SPSA (Schneider et al., 2017). Este enfriamiento parece contradecir el calentamiento que se ha venido observando en el océano a nivel mundial desde los años 1970 (IPCC, 2014).

El océano representa más del 80% de la energía acumulada por el sistema climático terrestre, y en

particular, el océano profundo (las capas que no están en contacto directo con la atmósfera) juegan un papel relevante, por lo que es necesario monitorizar estas capas profundas. Disponer de datos observados *in situ* por debajo de la superficie del mar permite trazar los cambios que sufren las propiedades de las masas de agua oceánicas; estos cambios pueden deberse a (1) cambios en los flujos océano-atmósfera en sus regiones de formación o a la llegada de masas de agua con diferentes propiedades hacia la zona de estudio, y son cambios observados en superficies de densidad constante reflejados como desplazamientos en el diagrama T-S. Por otro lado, las propiedades de las masas de agua pueden variar asociados a (2) la profundización o elevación de las superficies de densidad en el tiempo, por cambios en la circulación o por cambios en las tasas de renovación (volumen de masa de agua generado en la región de formación) debido a cambios en los vientos. En la realidad, los mecanismos físicos (1) y (2) se encuentran entrelazados en el sistema océano-atmósfera, pero pueden separarse y cuantificarse usando la aproximación matemática de Bindoff & McDougall (1994), que trabaja en la variable densidad neutra del agua de mar (Jackett & McDougall, 1997).

RESULTADOS PRELIMINARES

Gracias a la accesibilidad de datos históricos disponibles a través de base datos internacionales, por ejemplo World Ocean Data Base 2013 (WODB13, Boyer et al., 2013), se realiza un análisis retrospectivo de la temperatura superficial del mar (TSM) que abarca el periodo 1961-2005. En este trabajo, usando datos de estaciones oceánicas (que incluyen datos de CTDs de baja resolución y Expendable CTD (XCTD) tomados desde barcos), se calculan y analizan las tendencias lineales de la TSM en distintas localizaciones a lo largo de la costa peruana. Las estaciones seleccionadas están separadas aproximadamente 0.3° en latitud. Para cada estación más próxima a la costa y más muestreada, se obtuvo la serie temporal de la TSM, y se interpoló de manera diaria entre el 1 de enero de 1961 y 31 de diciembre de 2005 para extraer su tendencia lineal en $^\circ\text{C}/\text{año}$.

El análisis de la TSM a lo largo de la costa peruana evidenció una gran variabilidad latitudinal de las tendencias en 1961-2005. Mientras que en la región centro-sur predomina una tendencia al enfriamiento de la superficie del océano, en la región norte (al norte de $\sim 8^\circ\text{S}$) la tendencia es al calentamiento (Figura 1a). En general, las tendencias de calentamiento encontradas para la TSM en la región norte de Perú ($\sim 0.1^\circ\text{C}/\text{año} \Rightarrow 1^\circ\text{C}/\text{década}$, Figura 1b) casi triplican, y con signo opuesto, las tendencias al enfriamiento encontradas en la región centro-sur de Perú en estudios previos ($\sim 0.36^\circ\text{C}/\text{década}$), poniendo en evidencia la alta variabilidad latitudinal en esta región y por tanto la importancia de aumentar la resolución espacial de las observaciones a lo largo de la costa.

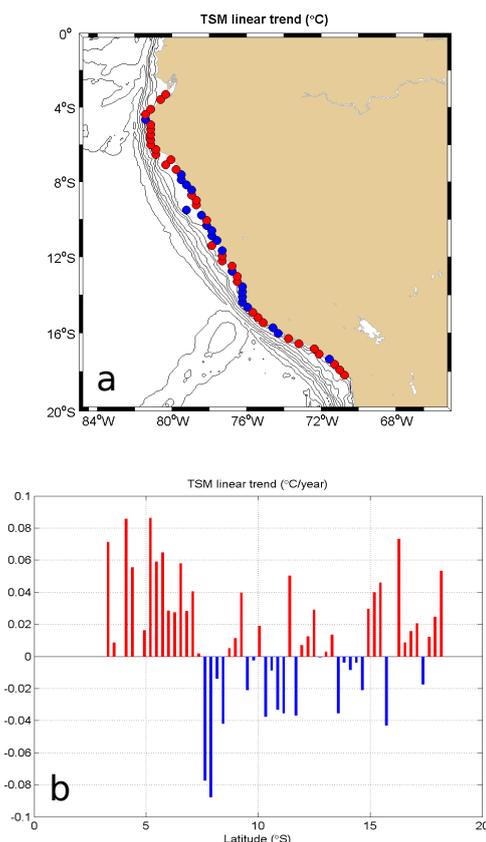


Figura 1. a) Estaciones más cercanas a la costa: el color indica el signo de las tendencias encontradas para la TSM en el periodo 1961-2005. Rojo (positivo) / azul (negativo) indica tendencia al aumento/diminución de la TSM. b) Cuantificación de estas tendencias lineales ($\Delta\text{TSM}/\text{año}$). Barras en rojo / azul indican tendencia lineal positiva / negativa o aumento/diminución de TSM.

Para cuantificar los cambios de temperatura y salinidad hasta las profundidades intermedias (~ 0 -1000 m) de una sección costera entre 3°S - 42°S (extensión al norte de la sección KRILL de Silva et al., 2009) se usaron datos de CTD disponibles en WODB13 durante el periodo 1967-2017, en la región 3° - 42°S , 70° - 85°W . Como cada perfil está disponible para diferentes niveles observados y los datos están distribuidos de manera dispersa, primero se interpolaron verticalmente los perfiles cada 1 m entre superficie-fondo, y bidimensionalmente a las posiciones (longitud, latitud) de la isóbata de 1500 m de profundidad a lo largo de las costas de Perú y Chile. El análisis de los cambios promediados a lo largo de la sección costera evidencia un enfriamiento y disminución de la salinidad en las capas más superficiales (en concordancia con estudios anteriores), y la presencia de aguas intermedias (>200 m) más cálidas/ salinas y menos densas después del año 2000, debido a cambios en la circulación de gran escala.

Sin embargo, los cambios a lo largo de la sección evidencian también una alta variabilidad latitudinal sobretodo en las capas superiores del océano (< 100 -150 m), como es el caso de la temperatura (Figura 2). Esto podría deberse a la distribución dispersa (temporal y espacial) de los datos disponibles o, tal y

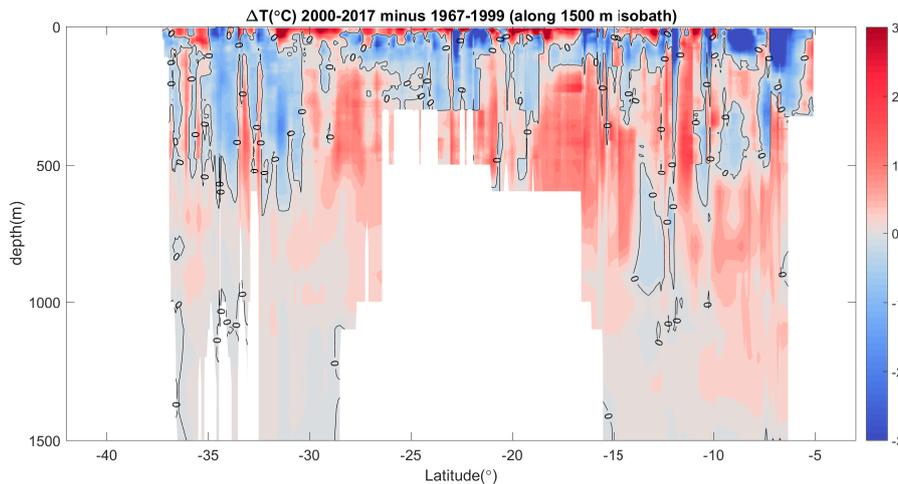


Figura 2. Sección vertical (0-1500 m) de las diferencias de temperatura (°C) en función de la latitud a lo largo de una sección costera frente a las costas de Perú y Chile (siguiendo sección KRILL de Silva et al., 2009), usando datos de CTD disponibles en WODB13 para los periodos 1967-1999 y 2000-2017.

como observamos en la Figura 1 analizando una base de datos independiente, a una variabilidad local que depende de la latitud en que se mida, y que el punto de muestreo sea más cercano o alejado de la costa.

Frente a estos resultados preliminares, sería necesario replantear la forma de monitorizar la costa peruana, de tal manera que se pueda cubrir, en lo posible, las escalas espaciales y temporales para no tener estas incertidumbres en el análisis de los datos. Por tal motivo, se ha propuesto monitorizar la costa siguiendo la isobata de 1500m durante la travesía del BAP Carrasco hacia la Antártida (aprox. fin de noviembre) y a su retorno (aprox. fin de febrero); es decir durante las Campañas ANTAR. Al tener doble registro durante los meses más cruciales del desarrollo del Fenómeno El Niño, se podrá entender tanto los procesos de acoplamiento océano-atmósfera como los procesos advectivos y la respuesta del océano profundo en un contexto de cambio climático.

REFERENCIAS

Bindoff, N.L. and T.J., McDougall. (1994). Diagnosing Climate Change and Ocean Ventilation Using Hydrographic Data. *J. Phys. Oceanogr.*, 24, 1137-1152, doi: 10.1175/1520-0485(1994)024<1137:DCCAOV>2.0.CO;2

Boyer, T.P. et al. (2013). *World Ocean Database 2013*. Sydney Levitus, Ed.; Alexey Mishonov, Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS 72, 209 pp.

Carr, M.E. et al. (2002). Evolution of 1996-1999 La Niña and El Niño conditions off the western coast of South America: A remote sensing perspective. *J. Geophys. Res.* 107(C12): 29-1-29-16

Gutiérrez, D. et al. (2011). Coastal cooling and increased productivity in the main upwelling zone off Peru since

the mid-twentieth century, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L07603, doi: 10.1029/2010GL046324.

IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Jackett, D.R. and T.J., McDougall. (1997). A neutral density variable for the world's oceans, *Journal of Physical Oceanography*, vol. 27, pp. 237 - 263, doi: 10.1175/1520-0485(1997)027<0237:ANDVFT>2.0.CO;2

Mantua, N.J. and S.R., Hare. (2002). The Pacific Decadal Oscillation. *J. Oceanogr.* 58: 35-44. doi: 10.1023/A:1015820616384

Montecinos, A. et al. (2003). Interannual-to-interdecadal sea surface temperature variability along the western coast of South America. *Geophys. Res. Lett.* 30(11). doi: 10.1029/2003GL017345

Schneider, W. et al. (2007). Spin-up of South Pacific subtropical gyre freshens and cools the upper layer of the eastern South Pacific Ocean. *Geophys. Res. Lett.* 34(24).

Schneider, W. et al. (2017). Water-column cooling and sea surface salinity increase in the upwelling region off central-south Chile driven by a poleward displacement of the South Pacific High. *Prog. Oceanogr.* 151, 38-48. doi: 10.1016/j.pocean.2016.11.004

Silva, N. et al. (2009). Water masses in the Humboldt Current System: Properties, distribution, and the nitrate deficit as a chemical water mass tracer for equatorial subsurface water off Chile. *Deep-Sea Res. II* 56: 1004-1020, doi:10.1016/j.dsr2.2008.12.0

Resumen del Informe Técnico PP N° 068 / El Niño- IGP/2018-05

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 ERSST v3b, para el mes de abril de 2018 la condición climática fue de Fría Débil (-1.17°C), mientras que el valor del ICENOI, estimado con datos de OISSTv2, mostró la condición Neutra

(-0.78°C). Los valores temporales del ICEN (ICENtmp) y el ICENOI (ICENOItmp) para los meses de mayo y junio coinciden en que se tendrían condiciones Neutras. En lo que respecta al Pacífico Central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA indica que abril de 2018 tuvo la condición climática Neutra (-0.42°C); los índices temporales estimados para mayo y junio, indican condiciones Neutras.

De acuerdo al análisis de los datos observados y resultados de los modelos oceánicos simples, se espera que la presencia de ondas Kelvin Cálidas se mantengan hasta agosto en el extremo oriental.

Según el promedio de los siete modelos numéricos de NMME, inicializados con condiciones del mes de junio de 2018, para el Pacífico oriental predicen condiciones Neutras hasta el mes de setiembre, y condiciones Cálidas Débiles entre los meses de octubre y diciembre. En lo que respecta a la región del Pacífico central ecuatorial, el promedio de los modelos de NMME muestran condiciones Cálidas Débiles entre los meses de julio y octubre de 2018 y, condiciones Cálidas Moderadas entre los meses de noviembre y diciembre de 2018

ÍNDICE COSTERO EL NIÑO

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

Año	Mes	ICEN (°C)	Condiciones
2018	Enero	-1.71	Fría Fuerte
2018	Febrero	-1.70	Fría Fuerte
2018	Marzo	-1.48	Fría Fuerte
2018	Abril	-1.17	Fría Débil

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

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

Según los datos de OI La Niña Costera habría terminado en el mes de enero y habría sido de magnitud Moderada, mientras que con la data de ERSST v3, hasta abril, se mantiene un evento La Niña Costera, que habría alcanzado la magnitud Fuerte.

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 abril de 2018, es de -0.42°C , correspondiente a condición Neutra¹.

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

DIAGNÓSTICO DEL PACÍFICO ECUATORIAL

En la región Niño 3.4, según los datos (IR, MW, OSTIA) las anomalías de la TSM diaria presentaron valores de condiciones Neutras, manteniéndose en el orden de -0.4°C a -0°C y con una tendencia positiva en primeros días del mes de junio. Para la región Niño

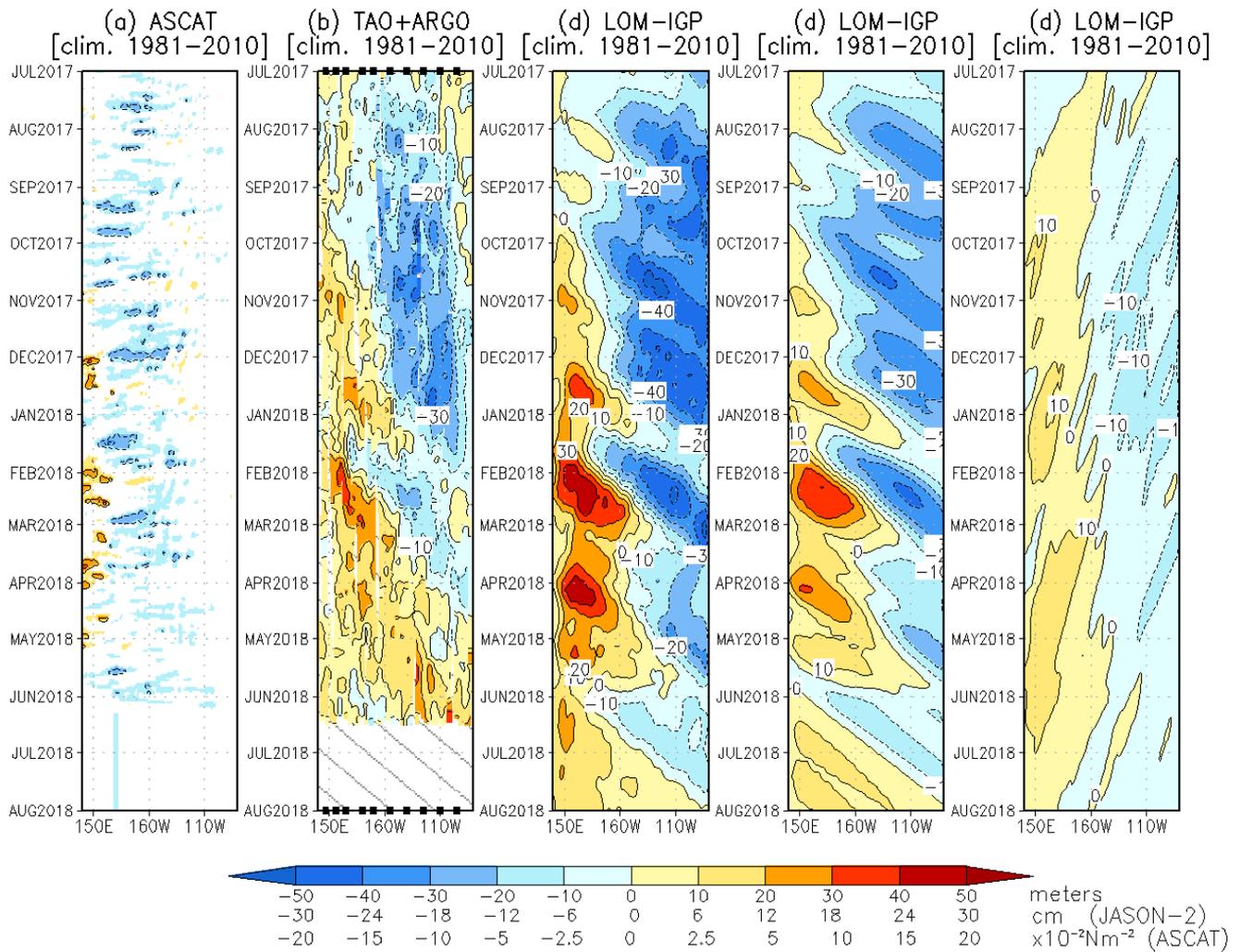


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escalerómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO y los derivados de ARGO (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y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

1+2, la anomalía de la TSM también indicó valores entre -0.7°C a -0.1°C .

El promedio mensual de las anomalías de esfuerzo de viento zonal en el Pacífico central (160°E - 160°W ; 5°S - 5°N) continuó con anomalía del este, mostrando mayor magnitud que el mes anterior; las anomalías negativas fueron de baja magnitud y se observaron casi todo el mes en el Pacífico central entre (170°E - 170°W ; 2°S - 2°N), por otro lado, también se observaron anomalías positivas en la primera semana del mes de mayo entre (130°E - 150°E ; 2°S - 2°N). La actividad convectiva en el

Pacífico ecuatorial central-oriental, continuó inferior a su climatología y el patrón anómalo de convección ecuatorial siguió indicando un desplazamiento hacia el Pacífico occidental. La inclinación de la termoclina ecuatorial se presentó dentro de su posición normal, sin embargo, el contenido de calor se mantiene positiva y aparentemente constante durante el mes de mayo.

La presencia de ondas Kelvin cálidas, producidas por pulsos de viento del oeste entre marzo y junio continúan observándose tanto en la profundidad de la termoclina como en el nivel del mar (Figuras 1).

Pronóstico con modelos del ICEN CI 201806

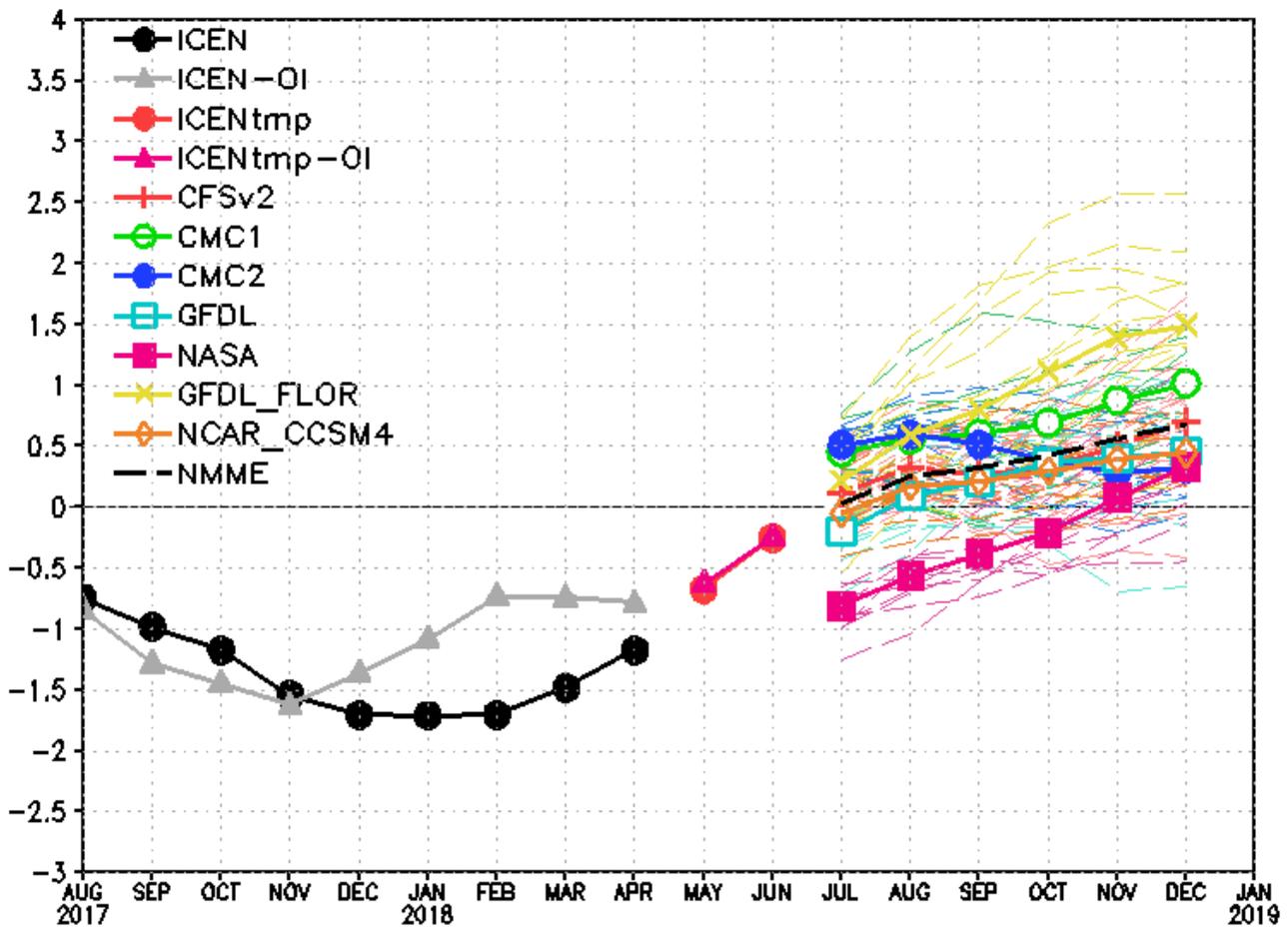


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN negro con círculos llenos, fuente ERSSTv3; ICEN gris con triángulos, fuente OISSTv2) y sus valores temporales (ICENtmp, rojo con círculo lleno y ICENtmp-OI, rojo con triángulos llenos). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías 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_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de junio de 2018. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

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

PRONÓSTICO A CORTO PLAZO CON MODELO DE ONDAS Y OBSERVACIONES

De mantenerse el patrón de viento del oeste en la franja ecuatorial y sumado a que el pronóstico de vientos del modelo GFS en el Pacífico ecuatorial central indica vientos del oeste entre la línea de cambio de fecha (180°) y 155°W en las siguientes semanas, la presencia de las ondas Kelvin cálidas se extendería, por lo menos, hasta agosto en la región Oriental (Figura1).

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 junio, se espera en promedio condiciones Neutras de julio a setiembre de 2018, (Fig. 2), sin embargo hay que indicar que las dos versiones del modelo CMC indican condiciones Cálidas Débiles entre los meses de julio y setiembre y el GFDL_FLOR para los meses de agosto y setiembre. El promedio de NMME indica condiciones Cálidas Débiles entre los meses de octubre y diciembre.

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

CONCLUSIONES

1. El ICEN para abril de 2018 fue de -1.17 (Fría Débil) y el ICEN_{tmp} para mayo y junio es -0.67 y -0.25 (Neutro). Usando OI mensual para el cálculo (ICENOI), los valores correspondientes son -0.78 (Neutro), y los temporales para mayo y junio son neutros -0.63 y -0.24 respectivamente. El ICEN calculado con la versión 5 de ERSST para marzo es -0.97 (Neutro) y los temporales son Neutro -0.67 y -0.27.

2. En el Pacífico central, el ONI de abril (MAM) es -0.42 y corresponde a condiciones Neutras y el estimado

para mayo también sería de condiciones Neutra. La ATSM en la región Niño 3.4, fue, en promedio, -0.2.

3. Durante el mes de mayo e inicios de junio y en la franja ecuatorial, según TAO, el viento zonal mensual mantuvo, en promedio, una anomalía del este. Tanto en el extremo occidental (al oeste de 160°E) como alrededor de 180°W se siguen observando anomalías de viento del oeste. Los valores negativos de la ATSM vienen desapareciendo y la anomalía de la profundidad de la termoclina continúa con valores por encima de lo normal.

4. Según TAO, durante la primera semana del mes de mayo se observaron pulsos de viento del oeste en el extremo oriental así como uno alrededor de la línea de cambio de fecha. Aunque ambos no tan intensos como los que se dieron entre febrero y marzo. TAO muestra en la primera semana de junio la presencia de anomalías de viento zonal del oeste entre la línea de cambio de fecha y 120°W, aunque habría que esperar para ver, en los siguientes días, si ese patrón se mantiene.

5. El patrón anómalo de convección ecuatorial sigue indicando un desplazamiento hacia el Pacífico occidental.

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 mayo.

7. La presencia de ondas Kelvin cálidas, producidas por pulsos de viento del oeste entre marzo y junio continúan observándose tanto en la profundidad de la termoclina como en el nivel del mar.

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

9. De mantenerse el patrón de viento del oeste en la franja ecuatorial, esto extendería la presencia de las ondas Kelvin cálidas en dicha región.

10. Se espera que la presencia de ondas Kelvin cálidas se mantengan hasta el mes de agosto en el extremo oriental.

11. Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los modelos de NMME en promedio indican condiciones Neutras de julio a setiembre de 2018; sin embargo las dos versiones del modelo CMC indica condiciones Cálidas Débiles entre los meses de julio y setiembre. El promedio de NMME indica condiciones Cálidas Débiles entre los meses de octubre y diciembre.

12. Para el Pacífico central (Región Niño 3.4), el promedio de los modelos de NMME indican condiciones Cálidas Débiles entre los meses de julio a octubre, y condiciones Cálidas Moderadas para los meses de noviembre y diciembre.

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 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°07-2018
Estado del sistema de alerta: No Activo¹

La Comisión Multisectorial ENFEN informa que la temperatura superficial del mar frente a la costa peruana y en el Pacífico central se encuentra dentro del rango normal, con tendencia a ligero calentamiento en los meses de invierno de esta última.

Se espera que continúe el arribo de ondas Kelvin cálidas en la costa norte del Perú hasta el mes de agosto, que podrían generar anomalías positivas débiles de la temperatura del mar, del aire y del nivel del mar.

La Comisión 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 junio de 2018.

En las regiones Pacífico ecuatorial occidental y central se vienen presentando condiciones normales, mientras que en la región oriental aún se mantienen condiciones ligeramente frías. En el Pacífico central (Niño 3.4) y en el extremo oriental (Niño 1+2) la anomalía de mayo de la temperatura superficial del mar (TSM) respecto abril, disminuyó de $-0,41^{\circ}\text{C}$ a $-0,13^{\circ}\text{C}$, y de $-1,02^{\circ}\text{C}$ a $-0,53^{\circ}\text{C}$, respectivamente (Figura 1). Asimismo, en la región ecuatorial, se mantiene la propagación de ondas Kelvin cálidas hacia la costa de Sudamérica.

El Índice Costero El Niño (ICEN²) en abril presenta el valor $-0,78^{\circ}\text{C}$ (fuente NCEP OI SST v2), y el valor temporal (ICEN_{tmp}) de mayo de $-0,63^{\circ}\text{C}$; éste último dentro del rango normal. (Figura 2).

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) mantuvo una configuración meridional con valores anómalos de presión, ubicado hacia el noreste y sureste de su posición habitual. El acercamiento del APS frente a la costa sur de Perú (desde quincena de mayo) contribuyó al incremento anómalo del viento costero (>4 m/s), y éstas al incremento de las anomalías negativas de la TSM (junio), por fuera de las 50 millas de costa.

En mayo, la anomalía media mensual de las temperaturas máximas y mínimas del aire se incrementaron ligeramente en las regiones centro y sur de la costa peruana. En la costa norte se mantuvieron condiciones ligeramente frías; mientras que, en la costa sur continuaron las anomalías positivas del orden de $+0,7^{\circ}\text{C}$ (máxima) y de $+0,5^{\circ}\text{C}$ (mínima), en promedio (Cuadro 1).

Las anomalías de la TSM en el litoral norte y centro disminuyeron, con fluctuaciones entre positivos y negativos mientras que en el sur las anomalías fueron cercanas al valor cero. Por otro lado, las anomalías negativas del nivel medio del mar disminuyeron, inclusive hasta cambiar a positivas en Talara. Estas condiciones se asocian al paso de la onda Kelvin cálida.

Dentro de las 100 millas del mar peruano, entre el 19 de mayo y 05 de junio, (Crucero Demersal 1805-06) predominaron aguas costeras frías desde el norte de Talara hasta Salaverry (límite sur de la evaluación), aguas ecuatoriales al norte de Talara y tropicales al norte de Punta Sal.

Frente a Paita (05°S) y Chicama (08°S), se observó un incremento térmico respecto al mes anterior, pasando de una condición fría a una cálida ($+1^{\circ}\text{C}$) sobre los 50 m frente a Paita, manteniéndose la condición fría frente a Chicama, aunque de menor magnitud (sobre los 30 m) con núcleos cálidos por fuera de las 60 millas. También, se observó la intensificación de los flujos al sur (Extensión Sur de la Corriente Cromwell y de la Contra Corriente Peruana Chilena) en más de 10 cm/s y la profundización de la zona de mínimo de oxígeno (ZMO) respecto a abril. Por otro lado, en la zona más costera (10 millas) de Paita, Chicama y Callao, se presentó un incremento térmico (profundización de las isotermas) predominando condiciones neutras la segunda quincena de mayo, exceptuando la capa por debajo de los 50 m frente a Paita donde se presentaron condiciones cálidas asociadas a la presencia de ondas Kelvin.

Durante mayo, los caudales de los ríos del país descendieron en la costa norte manteniéndose por debajo de lo normal a excepción de los ríos Chancay-Lambayeque y Jequetepeque, al igual que los ríos de la costa centro; mientras que, los caudales de los ríos de la costa sur se ubicaron dentro del rango de lo normal, y los ríos de la región hidrográfica del Titicaca por debajo de éste. Las reservas hídricas en el norte en promedio presentaron el 83% de la capacidad hidráulica de los principales embalses; en el sur el sistema hidráulico Colca-Chili operó en promedio al 89%, mientras que Pasto Grande al 64%. En promedio, las reservas a nivel nacional son de 87%.

¹ 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": Según los modelos y observaciones, usando criterio experto en forma colegiada, el Comisión ENFEN estima que es más probable que ocurra La Niña costera a que no ocurra (Nota Técnica ENFEN 01-2015). Se denomina "Evento La Niña en la región costera de Perú" o "La Niña Costera" al periodo en el cual el ICEN indique "condiciones frías" durante al menos tres (3) meses consecutivos. (Nota Técnica ENFEN 01-2012).

² ICEN corresponde a la región Niño 1+2.



IMARPE
INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ



En la primera semana de mayo, la clorofila-a (indicador de la producción del fitoplancton), presentó concentraciones superiores de 3 mg/m3 entre San José y Pisco, disminuyendo progresivamente hasta concentraciones de 1 mg/m3 a finales de mayo e inicios de junio.

Durante mayo, la anchoveta en la región norte y centro presentó amplia distribución, dentro de las 70 millas de costa, desde Paita (05°S) hasta San Juan de Marcona (15°S). Los índices reproductivos de este recurso (stock norte y centro) muestran un comportamiento de acuerdo con su patrón histórico. Por otro lado, entre Salaverry y Chimbote el jurel y la caballa se ubicaron entre 60 millas y 90 millas, y la merluza presentó una distribución normal desde Puerto Pizarro (03,30°S) hasta Punta La Negra (06°S), con mayores capturas entre Paita y Punta Gobernador.

En los valles de la costa norte se presentaron temperaturas mínimas por debajo de los valores habituales, favorecieron la maduración de brotes en las plantaciones de mango y el inicio anticipado del periodo de inducción floral en sus variedades de exportación. En la costa sur, la normalización de las temperaturas mínimas contribuyó a la maduración de la aceituna en la zona productora de La Yarada (Tacna).

PERSPECTIVAS

Se espera que continúe el arribo de ondas Kelvin cálidas en la costa norte del Perú hasta el mes de agosto, que podrían generar anomalías positivas débiles de la temperatura del mar, del aire y del nivel del mar.

Para el Pacífico central (Niño 3.4), los resultados de los modelos de las agencias internacionales indican en promedio condiciones Cálidas Débiles de julio a octubre, y condiciones Cálidas Moderadas de noviembre a diciembre. Para el Pacífico oriental (Niño 1+2) estos mismos modelos señalan en promedio condiciones Neutras de julio a setiembre de 2018 y condiciones Cálidas Débiles entre octubre y diciembre.

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 presenten condiciones cálidas en el Pacífico central, sin descartar el desarrollo de un evento El Niño. Mientras que en la región Niño 1+2, frente a la costa norte de Perú y la costa de Ecuador, se esperarían condiciones normales hasta 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). El análisis indica que para el Pacífico central (Niño 3.4) son más probables las condiciones El Niño débil (40%), seguidas de condiciones neutras (29%); en tanto que, para el Pacífico oriental (Niño 1+2) son más probables las condiciones neutras (63%), seguidas de condiciones El Niño (30%).

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

Callao, 14 de junio del 2018

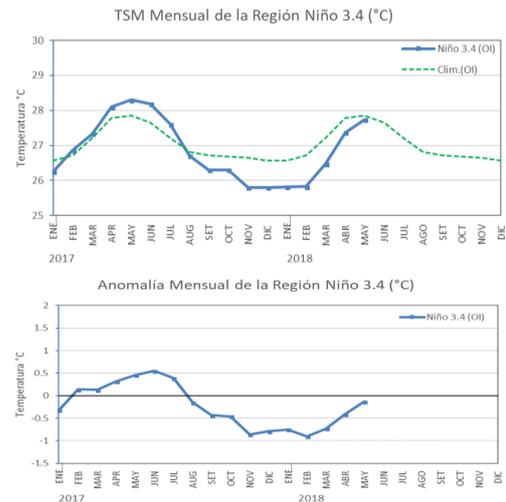


Figura 1. Temperatura y anomalía superficial del mar mensual: Región Niño 3.4 (5°N - 5°S) / (170°W - 120°W), enero 2017 - mayo 2018 Fuente: Datos: OISST.V2/NCEP/NOAA, Gráfico DHN.

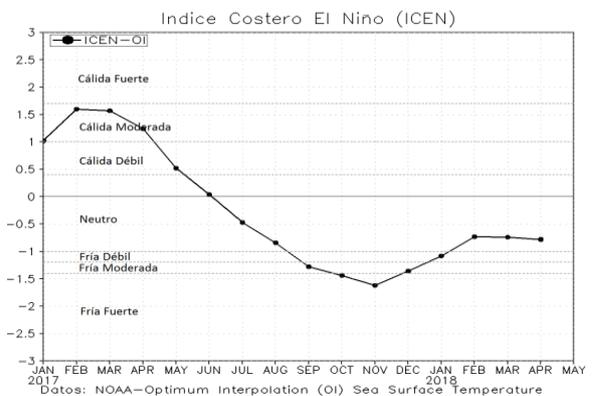


Figura 2. Serie del Índice Costero El Niño (ICEN) desde enero 2017 hasta mayo 2018. Fuente: Datos: OISST.V2/NCEP/NOAA, Gráfico IGP.

Cuadro 1. Anomalía media mensual de las temperaturas extremas del aire (a) máximo y (b) mínimo desde febrero 2017 a mayo 2018 para las regiones costeras norte, centro y sur del litoral peruano. Fuente: SENAMHI.

a) Región	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE 18	FEB	MAR	ABR	MAY
Costa Norte	1.2	1.0	0.9	1.2	1.0	0.9	0.6	0.6	0.5	-0.6	0.0	-0.2	0.2	-0.3	0.2	-0.3
Costa Centro	1.9	2.2	1.5	2.2	1.6	0.3	0.5	0.0	0.3	-0.2	-0.1	-0.4	0.5	-0.5	0.7	0.6
Costa Sur	1.2	1.0	0.8	1.6	0.9	0.5	0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.4	-0.2	0.2	0.0	0.6	0.7

b) Región	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE 18	FEB	MAR	ABR	MAY
Costa Norte	1.1	1.4	1.2	1.3	0.4	0.1	0.2	-0.1	-0.1	-1.2	-0.6	-1.3	-1.2	-1.3	-0.5	0.3
Costa Centro	2.0	2.4	2.0	3.1	1.8	1.1	0.7	0.4	0.4	0.0	0.2	-0.2	-0.2	-0.3	0.5	0.8
Costa Sur	0.8	1.0	1.2	1.7	1.4	0.9	0.1	0.0	0.1	0.7	-0.6	-1.1	-0.5	-0.3	-0.1	0.9

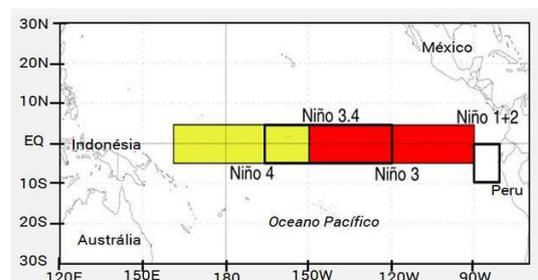


Figura 3. Áreas de monitoreo a) Región Niño 3.4 (5°N-5°S / 170°W-120°W) y b) Región Niño 1+2 (0°-10°S / 90°W-80°W) Fuente: NOAA



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

https://www.youtube.com/c/igp_videos

En el marco del:



EL PERÚ PRIMERO