



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú - IGP



Programa Presupuestal por Resultados N° 068
"Reducción de vulnerabilidad y atención de
emergencias por desastres".
Producto: "Estudios para la estimación
del riesgo de desastres"

BOLETÍN TÉCNICO

GENERACIÓN DE INFORMACIÓN Y MONITOREO DEL FENÓMENO EL NIÑO

Influencia de la dinámica oceánica relacionada al ENSO en la modulación de la actividad de los Ciclones Tropicales en el Pacífico Oriental

VOL. 5 N° 5 MAYO 2018

Contenido

3 - 4

Introducción

5 - 12

Artículo de Divulgación Científica

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: Visita de supervisión por Huracán Patricia a Colima.

Foto: Presidencia de la República Mexicana / 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

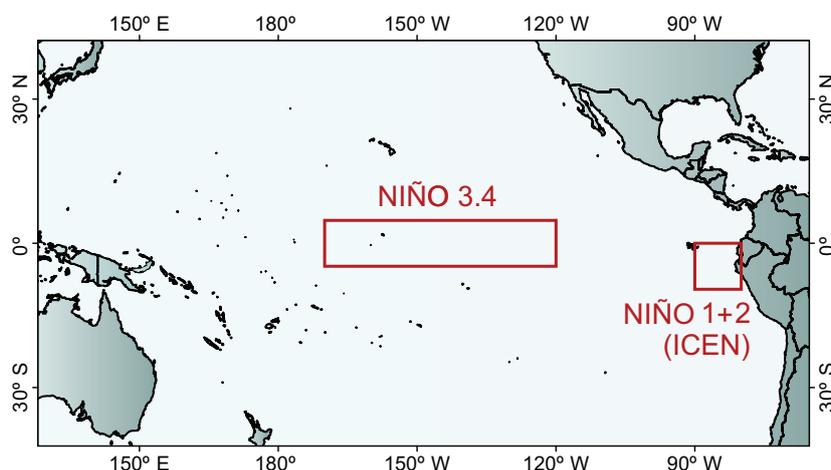
La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), conformada por representantes de IMARPE, DHN, IGP, SENAMHI, ANA, INDECI y CENEPRED, es el ente que genera la información oficial de monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y otros asociados.

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.

Influencia de la dinámica oceánica relacionada al ENSO en la modulación de la actividad de los Ciclones Tropicales en el Pacífico Oriental



Dr. Julien Boucharel

LEGOS , UNIVERSIDAD DE TOULOUSE (FRANCIA)

Es doctor en Oceanografía Física, trabaja en el Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales en Toulouse, Francia y en la Universidad de Hawái, Manoa, Honolulu. Su investigación se centra principalmente en la dinámica de El Niño - Oscilación del Sur (ENOS) y en cómo se ve afectada por el aumento continuo de los gases de efecto invernadero. Además, utiliza una variedad de resultados de modelos climáticos (desde complejidad intermedia hasta modelos de circulación general de tecnología de punta y completamente acoplados) para evaluar los procesos físicos relevantes involucrados en la dinámica ENOS, particularmente en la cuenca del Pacífico Oriental Tropical. Actualmente, investiga las relaciones entre la fase ENOS y la actividad de los ciclones tropicales en esta región clave, así como en la cuenca atlántica. Recientemente, recibió una beca muy importante del departamento francés de investigación y educación bajo la iniciativa "Haz que nuestro planeta vuelva a ser grande".

Los huracanes son de los fenómenos más destructivos que hay en la Tierra y afectan a millones de personas, principalmente en la región de Asia-Pacífico, las costas occidentales y centrales de Norteamérica, así como en las islas del Atlántico y Pacífico. La variabilidad climática natural modula fuertemente la estadística de la actividad de los huracanes en varias escalas de tiempo. En particular, la conexión entre El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) y la actividad de los huracanes ha sido ampliamente estudiada en las últimas décadas en todas las regiones oceánicas. Sin embargo, los mecanismos relacionados al ENSO que controlan tanto en la génesis e intensificación de los huracanes continúan siendo inciertos. En este artículo se hará una revisión de los recientes progresos alcanzados para comprender la influencia de la dinámica del océano superior, en particular relacionada al ENSO,

en la actividad de los huracanes en el Pacífico Central-Oriental. Asimismo, se examinará cómo estos avances puede ser de suma utilidad para mejorar el pronóstico de huracanes.

INTRODUCCIÓN

El Pacífico Central-Oriental (CEP, por sus siglas en inglés), el cual abarca tanto las regiones del Pacífico Central y Oriental (ver en la Figura 1a), es la segunda región en donde existe mayor actividad de los Ciclones Tropicales (TC, por siglas en inglés), con un promedio de 17 huracanes por temporada (Neumann, 1993). Sin embargo, los factores circundantes que regulan esta actividad en escalas de tiempo que van desde las sub-estacionales hasta las decadales siguen siendo inciertos

(Dong y Holland, 1994; Peduzzi et al., 2012; Wang y Lee, 2009). Los TC en la región CEP pueden tener consecuencias económicas muy fuertes en la costa sur-occidental de Estados Unidos, México, Hawái, así como afectar las rutas marítimas militares y comerciales entre estas áreas (Court, 1980; Englehart y Douglas 2001; Jauregui, 2003; Corbosiero et al., 2009; Ritchie et al., 2011; Raga et al., 2013; Wood y Ritchie, 2013). En las últimas cuatro temporadas (2014-2017), todas han estado por encima del percentil 75 de la "Energía Ciclónica Acumulada" (ACE, por sus siglas en inglés), el cual es un clásico proxy de la actividad de los TC (Bell et al., 2000), desde el año 1960 (ver Figura 1b). Algo sin precedentes sucedió en setiembre del año 2015, tres huracanes de Categoría 4 se desarrollaron en los alrededores de Hawái, sin causar daños significativos en la región. Algunas semanas después el huracán Patricia se desarrolló rápidamente frente a las costas de México como el huracán más intenso jamás registrado, con vientos que alcanzaban magnitudes por encima de 185 nudos (Huang et al., 2017). El Niño Extremo 2015/2016 habría provocado en el año 2016 una temporada de huracanes de mucha actividad, con una intensidad incrementada en el Pacífico Central (Boucharel et al., 2016c). Esto resalta la importancia de comprender el

entorno que controla la actividad de los huracanes para la mejora de los pronóstico en esta región.

Se sabe que la variabilidad climática natural modula fuertemente la estadística de la actividad de los TC en múltiples escalas de tiempo (Elsberry, 1987). En particular, el ENSO, que es la fuente más grande de variabilidad climática interanual en el mundo (McPhaden et al., 1998). La conexión entre los índices de la actividad de los TC (por ejemplo, cantidad, intensidad, etc.) y ENSO viene principalmente de estudios empíricos que han sido derivados en relaciones estadísticas (Camargo et al., 2010). Los mecanismos físicos de fondo responsables de esta relación han sido estudiados pero aún la comprensión de estos procesos es limitado.

Lo que se conoce es que ENSO modula fuertemente la actividad de los TC en la región CEP, con una alta actividad durante la fase de desarrollo de El Niño (Chu y Wang, 1997; Toma and Webster, 2010; Wood and Ritchie, 2013; Huang et al., 2017). Los cambios provocados por El Niño sobre la anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) pueden alterar las condiciones atmosféricas, tal como su estabilidad, la cizalladura vertical del viento y la humedad relativa (Chu y Wang, 1997; Collins y

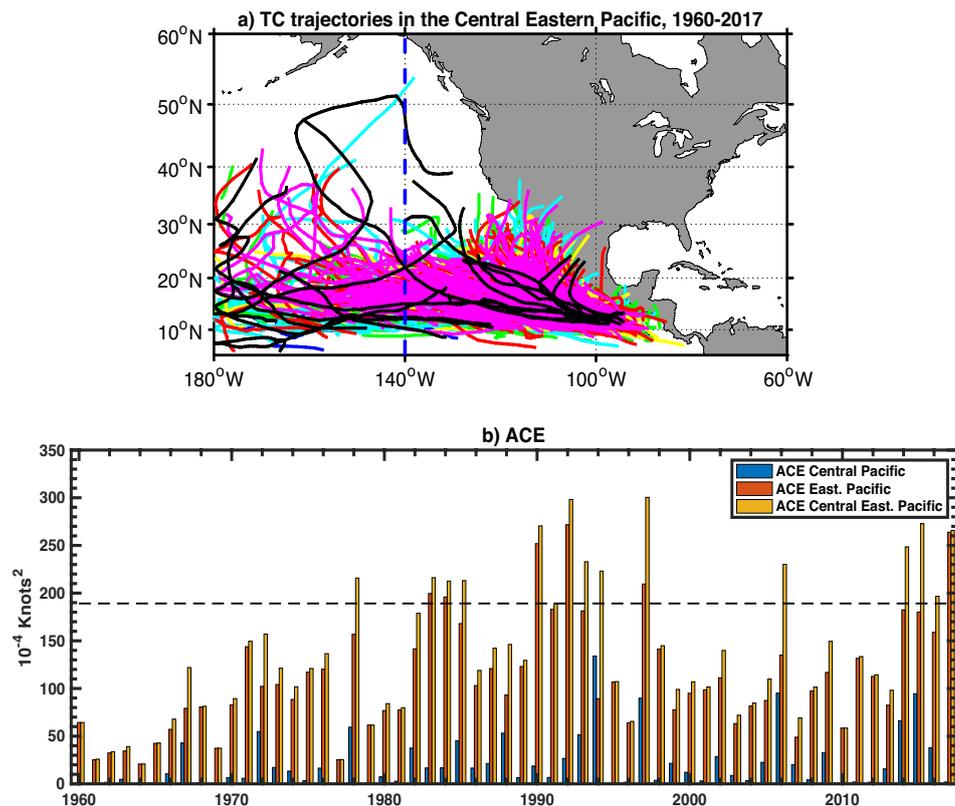


Figura 1. Actividad de los huracanes en la cuenca del Pacífico Central-Oriental (CEP)

Panel a. Trayectorias de los Ciclones Tropicales en las cuencas del Pacífico Central (a la izquierda de la línea vertical cortada de color azul) y Oriental (a la derecha de la línea vertical cortada de color azul) durante el periodo 1960-2017. Las líneas de color azul son para Depresiones Tropicales y cian para Tormentas Tropicales. Para el caso de Huracanes, su categoría se representan por las líneas de color: verde (Categoría 1), amarillo (Categoría 2), rojo (Categoría 3), magenta (Categoría 4) y negro (Categoría 5).

Panel b. Energía Ciclónica Acumulada (ACE, por sus siglas en inglés) calculada sobre las cuencas del Pacífico: Central (barras azules), Oriental (barras anaranjadas) y Central-Oriental (barras amarillas). Las líneas cortadas horizontal de color negro representa el valor del percentil 75th de la ACE. La ACE es calculada para cada TC como la suma de los cuadrados de las velocidades máximas de los vientos superficiales sostenidas durante 1 minuto por encima de 35 nudos a intervalos de seis horas durante el tiempo de vida de la tormenta (Bell et al., 2000). La información es obtenida de los mejores archivos de trayectorias de NOAA's Tropical Prediction Center.

Mason, 2000; Collins 2007; Camargo et al., 2008). ENSO tiende a promover un aumento general del número de TC intensos (Gray and Sheaffer, 1991), así como el desplazamiento de sus trayectorias hacia el oeste, esto como consecuencia de un cambio longitudinal de la región principal de la génesis de los huracanes durante el desarrollo de los eventos El Niño (Irwin y Davis, 1999; Kimberlain, 1999; Chu y Zhao, 2007; Wu y Chu, 2007; Camargo et al., 2008). Usando composites del índice potencial de la génesis de los huracanes para diferentes fases del ENSO, Camargo et al. (2007) concluyen que la cizalladura vertical del viento es el principal contribuyente que modula la actividad de los TC durante el ENSO en esta región. Sin embargo, el análisis de la modulación que ejerce el ENSO en el entorno y en la actividad de los TC pueden depender de la elección de un sub-dominio del CEP (Collins y Mason 2000).

Recientemente se ha iniciado una línea de investigación que sugiere que la capa superior del océano puede generar una reserva de calor relevante que permite una mejor estimación teórica de la máxima intensidad de los TC (Lin et al., 2008 y 2013). Después de esto, tanto en los estudios de modelados como observacional, se resalta un rol importante de las propiedades subsuperficiales (tales como la profundidad de la termoclina, salinidad y estratificación) en la intensificación de los TC (e.g. Balaguru et al., 2012 y 2013; Lin et al., 2013b; Vincent et al., 2014), predominantemente en la zona CEP. De hecho, la región de influencia de los TC en esta cuenca se ubica encima de una zona de poco contenido de calor (Boucharel et al., 2015). El contenido de calor en esta región es usualmente muy baja para influir en la

intensificación de los TC, pero la estructura vertical es fuertemente estratificada, tal que pequeñas variaciones en la profundidad de la termoclina puede contribuir significativamente a anomalías subsuperficiales. En particular, la modulación de la actividad de los TC en esta región es fundamentalmente afectada por los procesos de la capa superior del océano relacionada a la variabilidad del ENSO y, en líneas generales, a la dinámica del océano tropical en un rango amplio de escalas de tiempo (Jin et al., 2014 y 2015; Boucharel et al., 2016abc; Huang et al., 2017).

En lo siguiente, se examinará algunos de los últimos avances relacionados a la comprensión de la conexión entre la dinámica de la capa superior del océano durante eventos ENSO y la modulación de la actividad de los huracanes a escalas de tiempo tanto subestacional como estacional en el Pacífico Central-Oriental. Adicionalmente, se destacará cómo estos avances pueden conducir a mejoras considerables del pronóstico estadístico de la actividad estacional de los TC.

ESCALAS DE TIEMPO ESTACIONAL: ENSO COMO FUENTE DE ENERGÍA PARA LOS HURACANES

Jin et al. (2014) descubrieron un mecanismo dinámico fundamental que tiene un rol, como “combustible”, en la temporada de actividad de los TC en la región CEP que sigue a El Niño. Ellos argumentan que la teoría clásica de la Recarga-Descarga (RD, Jin 1997),

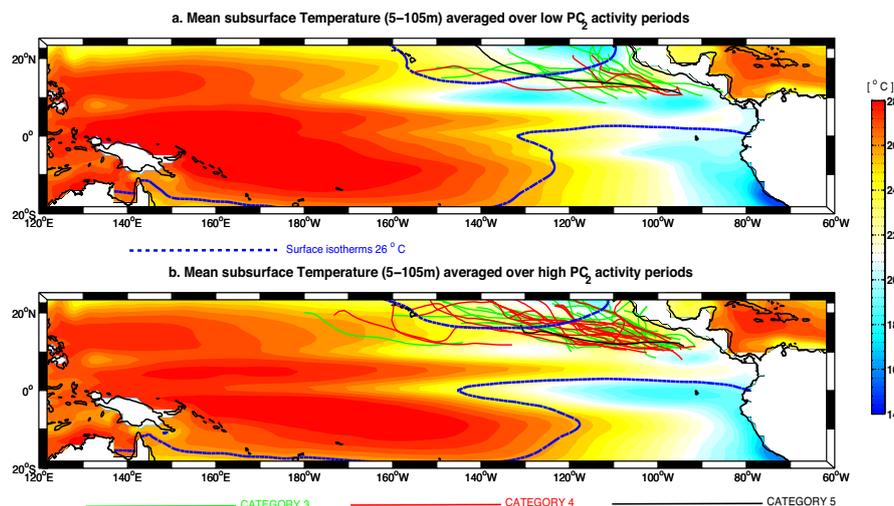


Figura 2. Trayectorias de los mayores Ciclones Tropicales para periodos de alto y bajo contenido de calor subsuperficial in el Pacífico Central-Oriental.

El mecanismo de Recarga-Descarga es descrito por la variabilidad de la segunda componente principal (PC2) de la descomposición, usando Funciones Empíricas Ortogonales (EOF), de las anomalías mensual del contenido de calor subsuperficial (típicamente promediado entre los 80 y 100 metros de profundidad). Durante periodos positivos de la PC2, durante el ENSO, el contenido de calor subsuperficial en invierno (del Hemisferio Norte) es meridionalmente descargado desde el Pacífico Ecuatorial Oriental en la región de los TC y es subsecuentemente disponible luego de 2 – 3 estaciones en el pico de la época de huracanes como combustible potencial para las tormentas. En el panel (a) los colores indican la media de la temperatura subsuperficial promediada sobre el periodo de baja actividad del PC2 (esto es $PC2 < std(PC2)$) entre los meses de junio y noviembre. El panel (b) es igual al de (a) pero para alta actividad de PC2 ($PC2 > std(PC2)$). Las líneas azules gruesas indican la isoterma de 26°C promediada en periodos de baja (a) y alta (b) actividad de la PC2. En cada panel, las líneas de color representan las trayectorias de los mayores TC que ocurrieron el periodo correspondiente. Para la trayectoria de los huracanes, las líneas verdes, rojas y negras representan a los de Categoría 3, 4 y 5, respectivamente (Esta figura es originalmente de Jin et al., 2014).

la cual proporciona una comprensión esencial de la variabilidad de ENSO, es fundamental para controlar las variaciones interanuales de la actividad de los TC en esta región. Este control térmico ocurre por medio de la redistribución meridional de calor subsuperficial que sigue a un evento El Niño. Esto puede, potencialmente, suministrar suficiente energía para que las tormentas se conviertan en huracanes mayores durante la estación de los TC, la cual sigue al pico invernal (Hemisferio Norte) de El Niño. La Figura 2 resume la dinámica encontrada. El mecanismo de RD se describe por la variabilidad de la segunda componente principal (PC2), la cual es obtenida de la descomposición en funciones empíricas ortogonales (EOF) de las anomalías de calor subsuperficiales (típicamente promediadas dentro de los primeros 80 y 100m de profundidad). Durante los períodos altos del PC2, el calor subsuperficial en el invierno boreal en eventos ENSO, se descarga meridionalmente desde el Pacífico oriental ecuatorial hacia la región de los TC, y está disponible durante las siguientes 2 o 3 temporadas, justo en el pico máximo de la temporada de huracanes, para suministrar potencial “combustible” (fuente de calor) a las tormentas (Figura 2b). Este mecanismo diferido juega un papel crucial durante la temporada de huracanes luego de los eventos El Niño canónico o del Pacífico Oriental (EP, por sus siglas en inglés), tal como el evento del 2015/2016, el cual tiene una gran influencia en el EP pero se mantiene aislado después de un evento El Niño del Pacífico Central (CP, por sus siglas en inglés) (Ren y Jin 2013; Jin et al., 2015; Boucharel et al., 2016a). En general, este proceso de suministrar “combustible” a los huracanes explica el 20-40% de la variabilidad de año a año de la actividad de los TC, la cual es diagnosticada por el índice ACE.

En contraste a los ENSO EP, los controles atmosféricos de la actividad de los TC son más dominantes durante la fase de desarrollo y decaimiento de El Niño CP. El desplazamiento hacia el oeste de las anomalías positivas de la TSM asociada a estos eventos induce un movimiento descendente de aire seco en el Pacífico Oriental y la supresión de la actividad de los TC en el CEP durante el desarrollo de El Niño (Kim et al., 2011). La temporada de los TC, cuando sigue al pico de El Niño CP, es cercana a lo normal debido a un efecto compensatorio relacionado al bajo contenido de calor y la reducida cizalladura del viento (Boucharel et al., 2016a).

ESCALAS DE TIEMPO SUBESTACIONAL: LA INFLUENCIA DE LAS ONDAS KELVIN OCEÁNICAS.

La actividad de los TC en estas escalas de tiempo pueden ser atribuidas a cambios en los factores ambientales relacionadas a las Oscilaciones de Madden-Julian (MJO; Madden and Julian, 1994). Algunos estudios previos señalan un link entre las

ondas Kelvin atmosféricas intraestacionales, la MJO y la modulación de la actividad de los TC en el CEP y, en particular, la probabilidad de la ciclogénesis. (Molinari et al., 1997; Maloney and Hartmann, 1998 y 2000a; Aiyer y Molinari, 2008; Jiang et al., 2012). Los eventos MJO han sido propuestos como mecanismos desencadenadores para la propagación hacia el este de ondas Kelvin atmosféricas, las que intensifican la convección y refuerzan, en estas escalas de tiempo, las anomalías zonales de viento del oeste sobre la región CEP, la cual, finalmente, resulta en una amplificación de la vorticidad que es favorable para la génesis de los TC. En general, las fases convectivamente activas de la variabilidad intraestacional puede incrementar la frecuencia de la ciclogénesis hasta en cuatro veces (Barrett and Leslie, 2009). Se sabe que aún la predictibilidad intrínseca de la MJO y variabilidad intraestacional, en general, está limitada a algunas semanas (Waliser, 2006; Vitart, 2009; Kim et al., 2014), por lo cual no es tan útil para pronosticar la actividad de los TC con mucha antelación. Por otro lado, la variabilidad atmosférica, como las MJO, generan ondas Kelvin oceánicas ecuatoriales (EKW) subanuales e intraestacionales, las cuales participan en el proceso de crecimiento de El Niño, además modulan la intensidad de los huracanes en el CEP en escalas de tiempo estacional y mensual (Boucharel et al., 2016b). Estas ondas oceánicas son una característica importante en la dinámica del Pacífico Tropical en una variedad de escalas de tiempo porque transfiere de forma rápida (en algunos meses) y eficientemente la variabilidad desde el extremo occidental al oriental de la cuenca del Pacífico. A pesar de los complejos mecanismos atmosféricos así como de acoplamiento que “gatillan” las EKW (Puy et al., 2015), cuya dinámica es relativamente bien comprendida, estas son muy bien monitorizadas por medio de observaciones satelitales. A pesar que existe dispersión a través de su trayectoria, estas ondas oceánicas tienen una señal marcada en la capa superior del océano (profundidad de la termoclina y contenido de calor), en particular en la región CEP y durante la estación (temporada) boreal de los TC. La Figura 3 (de Boucharel et al., 2016b) muestra la propagación de la correlación significativa entre las series de tiempo mensual de las anomalías de la profundidad de la termoclina y la señal de la ACE que no está relacionada a la influencia del ENSO y tiene la forma de ondas: Kelvin subanual, atrapada a la costa y Rossby. Como se puede ver en la figura, esta señal se origina en el Pacífico Central-Occidental durante el invierno boreal (Figura 3a-d) y alcanza la región de la “Lengua Fría” (región de afloramiento ecuatorial) en mayo (Figura 3e), que es el inicio de la temporada de los TC. Entonces, esta relación coherente entre la profundidad de la termoclina y la intensidad de los huracanes empieza a esparcirse hacia los polos a lo largo de las costas americanas (Figura 3f y g) y es subsecuentemente irradiado hacia el oeste cubriendo la región CEP durante la temporada de huracanes. De la misma forma en que el ENSO influye, remota y retardadamente por medio de la descarga de calor, en

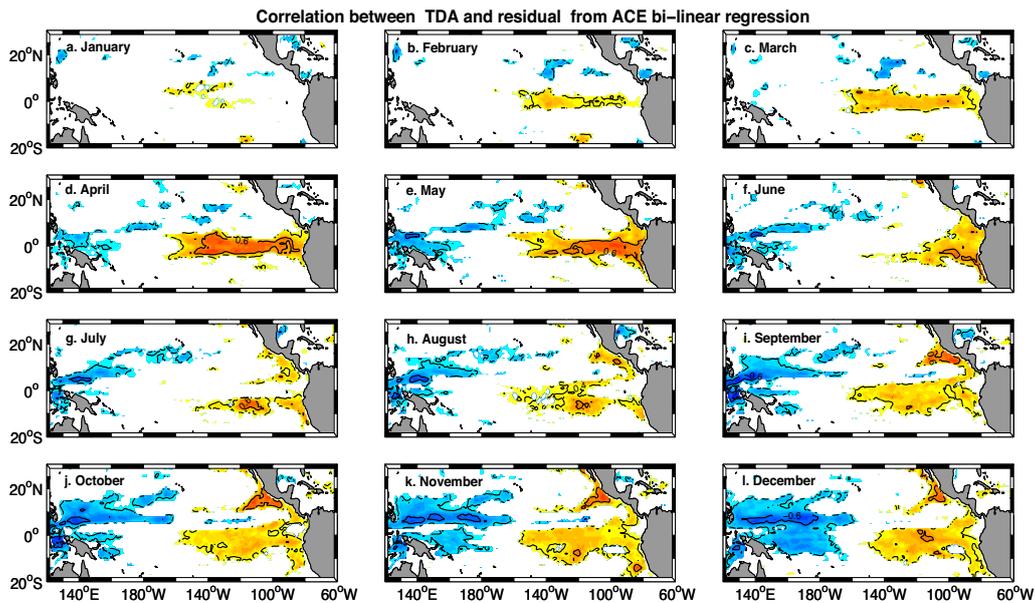


Figura 3. Correlación significativa, a un nivel de confianza del 93%, entre las anomalías anuales de la profundidad de la termoclina (TDA), de cada mes del calendario desde enero (a) hasta diciembre (l), y el residual anual de la regresión bilineal de la ACE en Niño 3.4 y el índice T_{sub} [que representa las anomalías mensuales de temperatura promediadas en la región de TC (5–25°N, 160–90°W), entre 5 y 80 m de profundidad, y durante la temporada de huracanes (May–Nov)]. Los contornos son cada 0.2. (Figura original de Boucharel et al., 2016b).

la actividad de los TC a escala estacional, estas EKW subanuales ejercen un fuerte control en la intensidad de los huracanes y su variación anual (explicación de hasta el 30% del residual ACE, es decir, el 15% de la actividad estacional total de los TC). La escala de tiempo involucrada en esta propagación ondulatoria permite anticipar su influencia en la variabilidad de la capa superior del océano y en la actividad de las tormentas con algunos meses de anticipación, ofreciendo de este modo un tiempo considerable para predecir una fracción sustancial de la actividad estacional de los TC.

El uso de los productos diarios de la profundidad de la termoclina permitió, además, que Boucharel et al. (2016b) investigaran el impacto de la variabilidad de alta frecuencia en el océano superior sobre la actividad de los huracanes en la CEP. Ellos resaltan el fuerte potencial de pronóstico de la actividad de los TC en escalas de tiempo estacional y subestacional, por medio de las EKW subanuales e intraestacionales, respectivamente.

PRONÓSTICOS ESTADÍSTICOS DE LA ACTIVIDAD DE LOS HURACANES

De manera oportuna, uno de los El Niño EP más fuerte que la historia ha registrado ocurrió durante el invierno (del Hemisferio Norte) del 2015/2016 (Jacox et al., 2016) y brindó una oportunidad temprana para comprobar el mecanismo que alimenta la intensidad de los huracanes propuesto por Jin et al. (2014). Boucharel et al. (2016c) construyeron un modelo de pronóstico simple de regresión multi-lineal de los dos primeros

EOF obtenidos de la variabilidad, año a año, de ACE. El primer modo, más activo durante la última parte de la temporada de TC (septiembre-noviembre), está vinculado a El Niño EP, principalmente a través del mecanismo de Jin et al. (2014) para los huracanes. El segundo modo, el cual domina durante la temporada inicial, está relacionado con El Niño CP y a los cambios asociados a la variabilidad atmosférica. Boucharel et al. (2016c) evaluaron además que el estado subsuperficial durante el invierno del Hemisferio Norte en la región del Pacífico ecuatorial oriental (caracterizado por la descarga térmica del ENSO y el mecanismo de intensificación de los huracanes), la inclinación este-oeste de la termoclina (que describe la fase de transición del ENSO) y las condiciones anómalas de la superficie del océano en la región de TC durante la primavera del Hemisferio Norte (representando los cambios atmosféricos inducidos por la persistencia de las anomalías de TSM locales), son buenos predictores dinámicos independientes de estos dos modos dominantes de la variabilidad de la actividad TC. Los resultados de este modelo estadístico muestran que el mecanismo que “alimenta” la intensificación de los huracanes conduce claramente a una temporada de TC más activa, posterior a El Niño 2016, y supera las condiciones atmosféricas desfavorables relacionadas a la transición del ENSO hacia La Niña. A diferencia de la perspectiva de la NOAA (a finales de mayo), que no tiene en cuenta el mecanismo de abastecimiento de energía propuesto, y que indicó una temporada promedio de TC, este simple modelo predijo en marzo, con éxito, una intensa temporada de huracanes del año 2016.

Adicionalmente, la metodología adoptada en Jin et al. (2014) y Boucharel et al. (2016b,c) permite derivar nuevos y revolucionarios productos espaciales de información de peligros. En estos estudios, a partir de

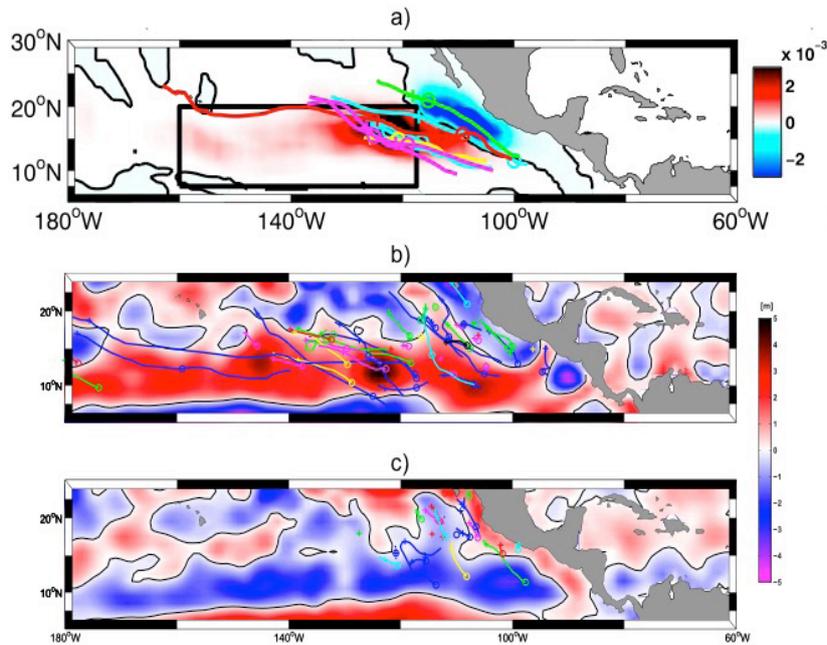


Figura 4. (a) Reconstrucción de las anomalías normalizadas de ACE durante la temporada de TC para el año 2016 (junio-noviembre) obtenidas del pronóstico de los PC's (de Boucharel et al., 2016c). (b) Compuesto de la anomalía de la profundidad de la termoclina (m) reconstruida de los tres primeros CEOF (EOF Complejos) promediados sobre la fase de hundimiento de la onda Rossby (mayo-agosto). (c) Igual que (b) pero para la fase de afloramiento de la onda Rossby (setiembre-noviembre). Las manchas rojas (magentas) representan una termoclina anormalmente profunda (superficial) (de Boucharel et al 2016b). Líneas coloreadas muestran trayectorias de los TC que ocurrieron en junio/julio de 2016: cian para tormentas tropicales y, para los huracanes, verde para Categoría 1, Amarillo para Categoría 2, rojo para Categoría 3 y magenta para Categoría 4. Los círculos indican la máxima intensificación de los vientos durante cada tiempo de vida de las tormentas y las cruces la localización en donde se alcanza la máxima velocidad del viento.

un análisis estadístico de EOF, se infiere un índice de actividad de los huracanes o un mecanismo dinámico relacionado con la variabilidad de huracanes en la región CEP. Los correspondientes componentes principales (PCs) que son pronosticados se pueden proyectar en patrones espaciales EOF fijos. Por ejemplo, Boucharel et al. (2016c) proyectaron los PCs pronosticados del ACE, para el año 2016, en sus patrones respectivos y reconstruyeron el campo de la anomalía estacional bidimensional del ACE que está asociado con los modos dominantes de la actividad de los TC (Figura 4a). Los resultados indicaron con precisión que la temporada 2016 sería más (menos) activa en el Pacífico Central (Este), con la posibilidad de que fuertes huracanes lleguen más al oeste hacia Hawaii. Asimismo, la distribución espacial de las trayectorias de los huracanes, en el periodo 2012-2015, tiende a coincidir con el campo de anomalías intraestacionales de la profundidad de la termoclina proyectada en el patrón EOF de la amplitud de la EKW (Boucharel et al., 2016b). Una termoclina más profunda, relacionada a la fase de la onda Kelvin ecuatorial o Rossby de hundimiento (*downwelling*), parece indicar un camino oceánico para el fortalecimiento de los huracanes, ya que ofrece agua subsuperficial más caliente (Figura 4c). Por otro lado, una termoclina más somera tiende a inhibir el desarrollo de los TC (Figura 4c).

CONCLUSIONES

A pesar que el control de la actividad de los huracanes por la dinámica de la parte superior del océano es un

campo de investigación bastante nuevo, este ya ha proporcionado información muy importante sobre los mecanismos que controlan la modulación de la actividad de TC en escalas de tiempo estacionales y subestacionales. En particular, la termoclina poco profunda y la fuerte estratificación del CEP hacen que esta región de desarrollo de los huracanes sea considerablemente sensible a la variabilidad del océano tropical vinculada a ENSO y MJO (es decir, EKW). Sin embargo, a pesar de estas perspectivas prometedoras, la comunidad encargada de los pronósticos de TC aún tiene que incluir, en sus esquemas de predicción, los precursores relacionados con esta dinámica altamente predecible. Esto puede explicar, en parte, el *skill* limitado de los pronósticos estacionales en esta región en la actualidad.

REFERENCIAS

- Aiyyer, A., and J. Molinari, MJO and Tropical Cyclogenesis in the Gulf of Mexico and Eastern Pacific: Case Study and Idealized Numerical Modeling. *J. Atmos. Sci.*, 65, 2691–2704, (2008).
- Balaguru, K., P. Chang, R. Saravanan, L. R. Leung, Z. Xu, M. Li, and J. S. Hsieh. Ocean barrier layers' effect on tropical cyclone intensification, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 109(36), 14,343–14,347, (2012).
- Balaguru, K., R.L. Leung, and J.-H. Yoon, Oceanic control of northeast Pacific hurricane activity at interannual timescales. *Environ. Res. Lett.* 8, 044009, (2013).

- Barrett, B.S., and L.M. Leslie, Links between Tropical Cyclone Activity and Madden-Julian Oscillation Phase in the North Atlantic and Northeast Pacific Basins. *Mon. Wea. Rev.*, 137, 727-744, (2009).
- Bell, G.D., M.S. Halpert, R.C. Schnell, R.W. Higgins, J. Lawrimore, V.E. Kousky, R. Tinker, W. Thiaw, M. Chelliah, and A. Artusa, Climate assessment for 1999. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 81, S1-S50, (2000).
- Boucharel, J., A. Timmermann, A. Santoso, M.H. England, F.-F. Jin, and M.A. Balmaseda, A surface layer variance heat budget for ENSO. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 3529–3537, doi:10.1002/2015GL063843, (2015).
- Boucharel, J., F.-F. Jin, I.-I. Lin, S.-C. Huang, and M. H. England. Different Control of Tropical Cyclone Activity in the Eastern Pacific for two types of El Niño. *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2016GL067728, (2016a).
- Boucharel, J., F.-F. Jin, M.E. England, B. Dewitte, I.-I. Lin, S.-C. Huang, and M.A. Balmaseda. Influence of intraseasonal oceanic Kelvin waves on the Eastern Pacific hurricane activity. *J. Climate*, doi:10.1175/JCLI-D-16-0112.1y, (2016b).
- Boucharel, J., F.-F. Jin, M.E. England, and I.-I. Lin. Modes of hurricane activity variability in the Eastern Pacific: implications for the 2016 season. *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2016GL070847, (2016c).
- Camargo, S.J., K.A. Emanuel, and A.H. Sobel, Use of a genesis potential index to diagnose ENSO effects on tropical cyclone genesis. *J. Climate*, 20, 4819-4834, (2007a).
- Camargo, S.J., Sobel, A.H., Barnston, A.G. & Ghil, M. Clustering of eastern north Pacific tropical cyclone tracks: ENSO and MJO effects. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 9, Q06V05, (2008).
- Camargo, S.J., A.H. Sobel, A.G. Barnston, and P.J. Klotzback, The influence of natural climate variability on tropical cyclones, and seasonal forecasts of tropical cyclone activity *Global Perspectives on Tropical Cyclones: From Science to Mitigation* (World Scientific Series on Asia-Pacific Weather and Climate vol. 4) ed. J C L Chan and J D Kepert (Singapore: World Scientific) pp 325–60, (2010).
- Chu, P.S. and J. Wang, Tropical cyclone occurrences in the vicinity of Hawaii: are the differences between El Niño and non-El Niño years significant? *J. Climate*, 10, 2683–2689, (1997).
- Chu, P.S., and X. Zhao, A Bayesian regression approach for predicting seasonal tropical cyclone activity over the Central North Pacific. *J. Climate*, 20, 4002-4013, (2007).
- Collins, J.M. and I.M. Mason, Local environmental conditions related to seasonal tropical cyclone activity in the northeast Pacific basin. *Geophys. Res. Lett.*, 27, 3881–3884, (2000).
- Collins, J.M. The relationship of ENSO and relative humidity to interannual variations of hurricane frequency in the north-east Pacific Ocean. *Pap. Appl. Geogr. Conf.*, 30, 324–333, (2007).
- Court, A., Tropical Cyclone Effects on California. National Oceanic and Atmospheric Administration Tech. Memo, NWS WR-159, (1980).
- Dong, K., and G.J. Holland, A global view of the relationships between ENSO and tropical cyclone frequencies. *Acta Met. Sin.*, 8, 19–29, (1994).
- Englehart, P.J., and A.V. Douglas, The role of eastern North Pacific tropical storms in rainfall climatology of western Mexico. *Int. J. Climatol.*, 21, 1357-1370, (2001).
- Gray, W.M., and J.D. Sheaffer, El Niño and QBO influences on tropical cyclone activity, in *Teleconnections linking worldwide anomalies*. M.H. Glanz, R.W. Katz, and N. Nicholls, eds., pp. 257–284, Cambridge University Press, New York, (1991).
- Huang, S.-C., J. Boucharel, I.-I. Lin, I.F. Pun, and F.-F. Jin. Air-sea fluxes for Hurricane Patricia (2015): Comparison with super typhoon Haiyan (2013) and for different ENSO conditions. *J. Geophys. Res. Oceans*, 122, doi:10.1002/2017JC012741, (2017).
- Irwin, R.P., and R. Davis, The relationship between the southern oscillation index and tropical cyclone tracks in the eastern North Pacific. *Geophys. Res. Lett.*, 26, 2251–2254, (1999).
- Jacox, M. G., E. L. Hazen, K. D. Zaba, D. L. Rudnick, C. A. Edwards, A. M. Moore, and S. J. Bograd, Impacts of the 2015–2016 El Niño on the California Current System: Early assessment and comparison to past events, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 7072–7080, doi:10.1002/2016GL069716, (2016).
- Jauregui, E., Climatology of landfalling hurricanes and tropical storms in Mexico. *Atmosfera*, 16 (4), 193–204, (2003).
- Jiang, X., M. Zhao, and D.E. Waliser, Modulation of tropical cyclones over the eastern Pacific by intraseasonal variability simulated in an AGCM. *J. Climate*, 25, 6524–6538, (2012).
- Jin, F.-F. An equatorial ocean recharge paradigm for ENSO. Part I: conceptual model. *J. Atmos. Sci.*, 54, 811–829, (1997).
- Jin, F.-F., J. Boucharel, and I.I. Lin, Eastern Pacific Tropical Cyclones intensified by El Niño delivery of subsurface ocean heat, *Nature*, 516, 82–85, (2014).

- Jin, F.-F., J. Boucharel, and I.I. Lin, Reply to Moon, I.J., Kim, S.H. & Wang, C. *Nature*, 526, <http://dx.doi.org/10.1038/>, (2015).
- Kim, H.M., P.J. Webster, and J.A. Curry, Modulation of North Pacific tropical cyclone activity by three phases of ENSO. *J. Climate*, 24, 1839–1849, (2011).
- Kim, H.M., P.J. Webster, V.E. Toma, and D. Kim, Predictability and Prediction Skill of the MJO in Two Operational Forecasting Systems. *J. Climate*, 27, 5364–5378, (2014).
- Kimberlain, T.B., The effects of ENSO on North Pacific and North Atlantic tropical cyclone activity, in Proc. 23rd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Dallas, TX, AMS, Boston, (1999).
- Lin, I.I., C.C. Wu, I.F. Pun, and D.S. Ko, Upper Ocean Thermal Structure and the Western North Pacific Category-5 Typhoons, Part I: Ocean Features and Category-5 Typhoon's Intensification, *Mon. Wea. Rev.*, 136, 3288–3306, (2008).
- Lin, I.I., P. Black, J.F. Price, C.-Y. Yang, S.S. Chen, C.-C. Lien, P. Harr, N.-H. Chi, C.-C. Wu, and E. A. D'Asaro, An ocean coupling potential intensity index for tropical cyclones, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 1878–1882, doi:10.1002/grl.50091, (2013).
- Lin, I.I., G.J. Goni, J.A. Knaff, C. Forbes, and M.M. Ali, Ocean heat content for tropical cyclone intensity forecasting and its impact on storm surge, *Natural Hazards*, 66, 1481–1500, (2013b).
- Madden, R.A., and P.R. Julian, Observations of the 40–50 day tropical oscillation—A review. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 814–837, (1994).
- Maloney, E.D., and D.L. Hartmann, Frictional moisture convergence in a composite life cycle of the Madden–Julian oscillation. *J. Climate*, 11, 2387–2403, (1998).
- Maloney, E.D., and D.L. Hartmann, Modulation of Eastern North Pacific hurricanes by the Madden–Julian oscillation. *J. Climate*, 13, 1451–1460, (2000a).
- McPhaden, M. J., et al., The Tropical Ocean-Global Atmosphere (TOGA) observing system: A decade of progress, *J. Geophys. Res.*, 103(14), 169–240, (1998).
- Molinari, J., D. Knight, M. Dickinson, D. Vollaro, and S. Skubis, Potential vorticity, east-erly waves, and eastern Pacific tropical cyclo-genesis. *Mon. Wea. Rev.*, 125, 2699–2708, (1997).
- Neumann, C.J. Global overview in Global guide to tropical cyclone forecasting, edited by G. J. Holland, 1.1–1.56. Technical Document WMO/TC-No. 560, Report No. TCP-31. Geneva: World Meteorological Organization, (1993).
- Peduzzi, P.B., B. Chatenoux, H. Dao, A. De Bono, C. Herold, J. Kossin, F. Mouton, and O. Nordbeck, Global trends in tropical cyclone risk. *Nature Climate Change*, 2, 289–294, (2012).
- Puy, M., J. Vialard, M. Lengaigne, and E. Guilyardi, Modulation of equatorial Pacific westerly/easterly wind events by the Madden-Julian oscillation and convectively-coupled Rossby waves. *Clim. Dynam.*, doi:10.1007/s00382-015-2695-x, (2015).
- Raga, G.B. Bracamontes-Ceballos, L.M Farfan, and R. Romero-Centeno, Landfalling tropical cyclones on the Pacific coast of Mexico: 1850–2010. *Atmósfera*, 26(2), 209–220, (2013).
- Ren, H.L., and F-F Jin, Recharge Oscillator Mechanisms in Two Types of ENSO. *J. Climate*, 26, 6506–6523, (2013).
- Ritchie, E.A., K.M. Wood, D.S. Gutzler, and S. R. White, The Influence of Eastern Pacific Tropical Cyclone Remnants on the Southwestern United States. *Mon. Wea. Rev.*, 139, 192–210, (2011).
- Toma, V. and P.J. Webster, Oscillations of the intertropical convergence zone and the genesis of easterly waves. Part I: diagnostics and theory. *Clim. Dyn.*, 34, 587–604, (2010).
- Vincent E.M., K.A. Emanuel, M. Lengaigne, J. Vialard, and G. Madec, Influence of upper-ocean stratification interannual variability on Tropical Cyclones. *J. Adv. Model. Earth Syst*, 6, 680–699, doi:10.1002/2014MS00032, (2014).
- Vitart, F., Impact of the Madden Julian Oscillation on tropical storms and risk of landfall in the ECMWF forecast system. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L15802, doi:10.1029/2009GL039089, (2009).
- Wang, C., and S. Lee, Co-variability of tropical cyclones in the north Atlantic and the eastern North Pacific. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L24702, (2009).
- Waliser, D.E., Predictability of tropical intraseasonal variability. Predictability of weather and climate, T. Palmer and R. Hagedorn, Eds., Cambridge University Press, 275–365, (2006).
- Wood K.M., and E.A. Ritchie, An Updated Climatology of Tropical Cyclone Impacts on the Southwestern United States. *Mon. Wea. Rev.*, 141, 4322–4336, (2013).
- Wu, P., and P.S. Chu, Characteristics of tropical cyclone activity over the eastern North Pacific: The extremely active 1992 and the inactive 1977. *Tellus*, 59A, 444454, (2007).

Resumen del Informe Técnico PP N° 068 / El Niño- IGP/2018-04

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

Para el mes de marzo de 2018, el Índice Costero El Niño (ICEN), basado en los datos de ERSST v3b indicó la condición climática Fría Fuerte (-1.48°C), mientras que el valor del ICENOI, estimado con datos de OISSTv2, mostró la condición Neutra (-0.74°C). Los valores temporales del ICEN (ICENtmp) y el ICENOI (ICENOItmp) para el mes de abril son Frías Débiles y Neutras, respectivamente, y para el mes de mayo coinciden en condición Neutra. En lo que respecta al Pacífico Central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA indica que marzo de 2018 tuvo una condición Fría Débil (-0.62°C); los índices temporales estimados para abril y mayo, indican condiciones Frías Débiles.

Según el promedio de los siete modelos numéricos de NMME, inicializados con condiciones del mes de mayo de 2018, se predice, a pesar de mostrar anomalías ligeramente negativas, condiciones del tipo Neutral en el Pacífico oriental hasta el mes de setiembre de 2018, con una tendencia a condiciones cálidas.

En la región del Pacífico central ecuatorial, el promedio de los modelos de NMME muestran condiciones Neutras desde el mes de mayo hasta el mes de octubre de 2018 y, al igual que en la región Niño 1+2, mantiene una tendencia hacia condiciones cálidas.

Entre mayo y julio se espera el arribo de un paquete de ondas Kelvin cálidas en la costa norte del Perú, que podrían contribuir en la generación de anomalías positivas de la temperatura del mar.

ÍNDICE COSTERO EL NIÑO

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

| Año | Mes | ICEN (°C) | Condiciones |
|------|-----------|-----------|-------------|
| 2017 | Diciembre | -1.70 | Fría Fuerte |
| 2018 | Enero | -1.71 | Fría Fuerte |
| 2018 | Febrero | -1.70 | Fría Fuerte |
| 2018 | Marzo | -1.48 | Fría Fuerte |

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

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

Según los datos de OI la Niña habría terminado en el mes de enero con la magnitud de Moderada, mientras que con la data de ERSST v3, hasta marzo, se mantiene un evento La Niña, habiendo alcanzado la magnitud de Niña 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 marzo de 2018, es de -0.62°C , correspondiente a condición Fría Débil¹.

DIAGNÓSTICO DEL PACÍFICO ECUATORIAL

Según los datos (IR, MW, OSTIA), en el Pacífico central las anomalías de la TSM diaria presentaron valores entre condiciones Frías y Neutras, manteniéndose en el orden de -0.5°C a -0.2°C y con una tendencia positiva en los

últimos días del mes e inicios de mayo. Para la región Niño 1+2, la anomalía de la TSM también indicó valores entre -0.5°C a 0.2°C , con persistencia de anomalías positivas en los primeros días del mes de mayo.

El promedio mensual de las anomalías de esfuerzo de viento zonal en el Pacífico central ($160^{\circ}\text{E}-160^{\circ}\text{W}$; $5^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{N}$) continuó con anomalía del este, mostrando menor magnitud que el mes anterior; las anomalías negativas fueron de baja magnitud y se observaron casi todo el mes en el Pacífico central entre ($170^{\circ}\text{E}-110^{\circ}\text{W}$; $2^{\circ}\text{S}-2^{\circ}\text{N}$), por otro lado, también se observaron anomalías positivas en la primera, tercera y cuarta semana del mes entre ($130^{\circ}\text{E}-160^{\circ}\text{E}$; $2^{\circ}\text{S}-2^{\circ}\text{N}$). 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

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).

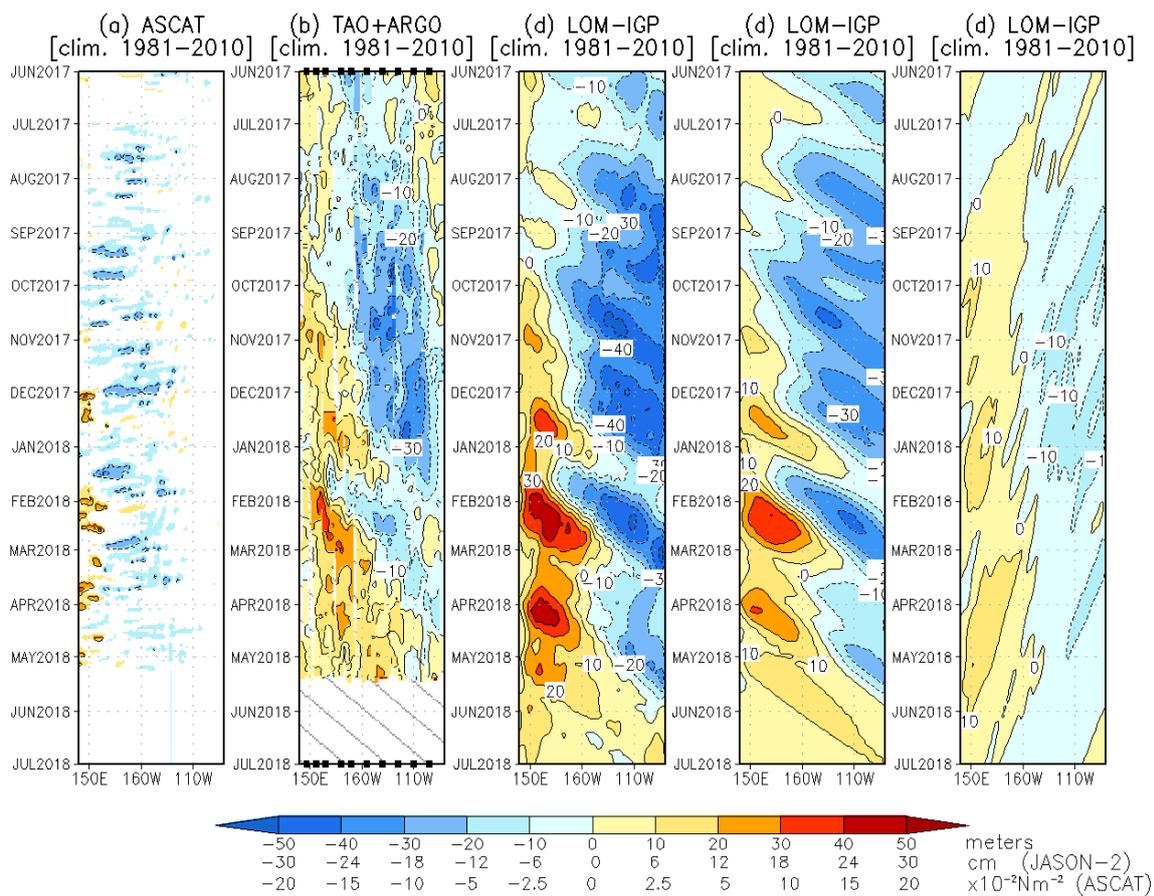


Figura 1. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO y los derivados de ARGO (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y finalmente diagrama de la onda Rosbby, 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)

el Pacífico occidental. La inclinación de la termoclina ecuatorial se presentó dentro de su posición normal, mientras que el contenido de calor es positivo y aparentemente constante durante el mes de abril.

La onda Kelvin cálida, formada por la combinación de pulsos de vientos del oeste durante el mes de febrero y la aparente reflexión de ondas Rossby en el extremo occidental, habría alcanzado la costa americana aparentemente debilitada, esto según la información obtenida de ARGO+TAO (Figuras 1). El debilitamiento podría deberse a la inclinación de la termoclina y/o a la presencia de pulsos de viento del este que, según el modelo lineal, habrían generado una onda Kelvin fría que interfirió de manera negativa sobre la onda Kelvin cálida.

Se observa que la onda Kelvin cálida, formada por pulsos de viento durante el mes de marzo, se localiza en 120°W, según los datos de profundidad de termoclina y altimetría.

PRONÓSTICO A CORTO PLAZO CON MODELO DE ONDAS Y OBSERVACIONES

La onda Kelvin (localizada en 120°W) debe llegar entre mayo y junio a la costa americana; según la información de TAO se observa un pulso de viento del este alrededor de 125°W, el cual podría intensificar la magnitud de la onda Kelvin.

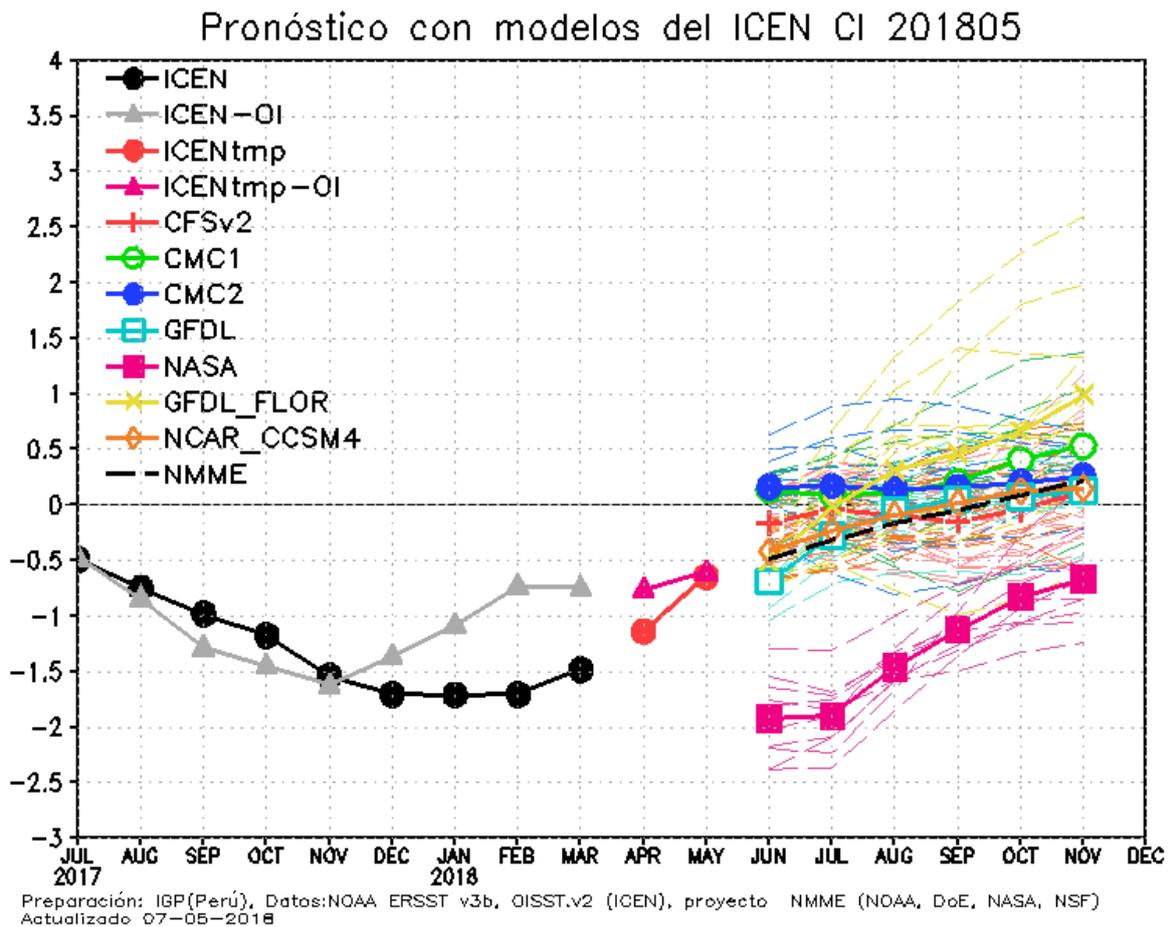


Figura 2. Índice Costero El Niño (ICEN negro con círculos llenos, fuente ERSSTv3; ICEN gris con triángulos, fuente OISSTv2) y sus valores temporales (ICENtmp, rojo con círculo lleno y ICENtmp- OI, rojo con triángulos llenos). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías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

A finales de abril se observó un pulso de viento de oeste, al oeste de 160°E y a inicios de mayo se observa el desarrollo de un pulso de viento del oeste alrededor de la línea de cambio de fecha, es posible que estos dos pulsos de vientos se proyecten en una onda Kelvin cálida que llegaría en julio. Según el pronóstico de vientos del modelo GFS en el Pacífico ecuatorial central, se observa vientos del este de baja intensidad en la tercera semana del mes de mayo (160°W).

indica condición fría fuerte y 6 modelos condiciones neutras.

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 mayo, indican en promedio condiciones neutras de junio a noviembre de 2018, (Fig. 2); sin embargo, estos índices son negativos hasta el mes de setiembre. Para los meses de junio a agosto, uno (NASA_GEOS5v2) de los 7 modelos indica condición fría fuerte y 6 modelos condiciones neutras.

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), según los modelos de NMME inicializados en mayo, el promedio de los 7 modelos indican condiciones Neutras desde el mes de junio hasta el mes de octubre, solo el modelo NASA es que indica condiciones Frías Débiles; los modelos GFDL y GFDL_FLOR indican condiciones Cálidas Débiles a partir de los meses de julio y agosto respectivamente.

CONCLUSIONES

1. El ICEN para marzo de 2018 fue de -1.48 (Fría Fuerte) y el ICENtmp para abril y mayo es -1.14 (Fría Débil) y -0.63 (Neutro). Usando OI mensual para el cálculo (ICENOI), los valores correspondientes son -0.74 (Neutro), y los temporales para abril y mayo son neutros -0.80 y -0.99 respectivamente. El ICEN calculado con la versión 5 de ERSST para marzo es -1.08 (Fría Débil) y los temporales son Neutro -0.92 y -0.61.

2. En el Pacífico central, el ONI de marzo (FMA) es -0.62 y corresponde a condiciones Frías Débiles y el estimado para abril también sería de condiciones Fría Débil. La ATSM en la región Niño 3.4, fue, en promedio, -0.5.

3. Durante el mes de abril e inicios de mayo, según TAO, el viento zonal mensual ecuatorial mantuvo,

en promedio, una anomalía del este a lo largo del Pacífico ecuatorial. Solo en el extremo occidental (al oest de 160°E) se sigue observando vientos del oeste. La ATSM también mostró valores negativos al este de 180°, aunque con una tendencia a la normalización. Finalmente, la anomalía de la profundidad de la termoclina fue positiva en casi toda la región ecuatorial.

4. Según los datos de ASCAT, NCEP y TAO; se observaron pulsos de viento del oeste en el extremo occidental (al este de 160°E). En los primeros días del mes de mayo, TAO muestra el desarrollo de un pulso de viento del oeste alrededor de la línea de fecha.

5. El patrón anómalo de convección ecuatorial sigue indicando 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 abril.

7. La onda Kelvin cálida formada por los pulsos de viento del oeste durante el mes de febrero y la aparente reflexión de ondas Rossby en el extremo occidental, habría alcanzado la costa americana aparentemente debilitada según información de ARGO+TAO.

8. Se observa que la onda Kelvin cálida, formada por pulsos de viento durante el mes de marzo, se localiza en 120°W, según los datos de profundidad de la termoclina y altimetría.

9. A finales de abril se observó un pulso de viento de oeste, al oeste de 160°E y a inicios de mayo se observa el desarrollo de un pulso de viento del este alrededor de la línea de cambio de fecha, es posible que estos dos pulsos de vientos se proyecten en una onda Kelvin cálida que llegaría en julio.

10. Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los modelos de NMME en promedio indican condiciones Neutras de junio a noviembre de 2018; sin embargo este promedio continua siendo negativos hasta el mes de setiembre. El modelo NASA es el único que indica condiciones Frías Fuertes hasta agosto y condición Fría Débil para setiembre.

11. Para el Pacífico central (Región Niño 3.4), el promedio de los modelos de NMME indican condiciones Neutras para los meses de junio hasta octubre, solo el modelo NASA es que indica condiciones Frías Débiles; los modelos GFDL y GFDL_FLOR6 indican condiciones Cálidas Débiles a partir de los meses de julio y agosto respectivamente.

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°06-2018
Estado del sistema de alerta: No Activo¹

La Comisión Multisectorial ENFEN informa que continúa el proceso de normalización de la temperatura superficial del mar frente a la costa peruana y en el Pacífico central.

Entre mayo y julio se espera el arribo de ondas Kelvin cálidas en la costa norte del Perú, 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 mayo del 2018.

Durante el mes de abril predominaron condiciones normales en el Pacífico ecuatorial occidental y central, mientras que en la región oriental aún se mantienen condiciones ligeramente frías. En el Pacífico central (región Niño 3.4), la anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) disminuyó de $-0,7^{\circ}\text{C}$ en marzo a $-0,4^{\circ}\text{C}$ en abril (Figura 1). Así mismo, en la región ecuatorial, se observa la presencia ondas Kelvin cálidas propagándose hacia la costa de Sudamérica.

El Índice Costero El Niño (ICEN)², que filtra las fluctuaciones de corto plazo de la anomalía de la temperatura superficial del mar, alcanzó $-0,74^{\circ}\text{C}$ (fuente NCEP OI SST v2) en marzo (Figura 2) y su valor temporal (ICENtmp) en abril fue $-0,76^{\circ}\text{C}$; como parte del proceso de normalización de la TSM.

El Anticiclón del Pacífico Sur en abril y parte de mayo mantuvo una configuración meridional con presiones sobre su patrón climático y hacia el suroeste de su posición habitual. Esta configuración mantuvo los vientos débiles (menores de 4 m/s) a lo largo de la costa peruana.

Las anomalías media mensual de las temperaturas máximas y mínimas del aire se incrementaron ligeramente a lo largo de la costa peruana, alcanzando el valor promedio de $+0,7^{\circ}\text{C}$ en la región costa centro para la temperatura máxima y un valor de $+0,5^{\circ}\text{C}$ en la región costa centro para la temperatura mínima (Cuadro 1).

Las anomalías negativas de la TSM en el litoral norte durante abril disminuyeron, en promedio $1,5^{\circ}\text{C}$, hasta alcanzar valores $+0,2^{\circ}\text{C}$ (Talara) y $+0,3^{\circ}\text{C}$ (Paita) en la

primera semana de mayo. Por otro lado, desde la última semana de abril hasta lo que va de mayo en promedio en la zona norte el nivel del mar aumentó 7 cm, asociado al paso de la onda kelvin cálida.

En el mar peruano, en abril se detectó el predominio de aguas costeras frías a lo largo de toda la zona costera, distribución típica de otoño (repliegue de las Aguas Ecuatoriales Superficiales AES al norte de Paita y al oeste de las Aguas Subtropicales Superficiales ASS), presentándose las ASS por fuera de las 60 millas frente a Chicama y a 40 millas de Pisco.

En cuanto a la temperatura subsuperficial (TSS), en la costa norte del Perú, a partir del Callao, se mantienen condiciones frías con anomalías negativas de hasta -2°C sobre los 50 mts de profundidad, menor en promedio respecto al mes de marzo. La última semana de abril, en la zona costera dentro de las 10 millas, persistieron condiciones frías, pero con menores anomalías respecto a la primera quincena de abril. Estas condiciones podrían estar asociadas al paso de la onda kelvin cálida.

En el mes de abril los ríos de la costa norte han presentado caudales por debajo de sus valores normales a excepción de los ríos Chancay-Lambayeque y Jequetepeque que se encuentran en su rango normal. Los ríos de la costa centro han superado los promedios normales, mientras que, en la costa sur, así como en la región hidrográfica del Titicaca

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



los caudales están por debajo de los valores normales con tendencia al descenso. Los ríos amazónicos muestran hidrogramas ascendentes, incluso llegando a niveles de alerta (ríos Marañón y Napo).

Las reservas hídricas en la costa norte se encontraron en un promedio de 73% respecto a la capacidad hidráulica de los principales embalses, a excepción del reservorio Tinajones que se encuentra en 39% de su capacidad. En el sur el sistema hidráulico Colca-Chili operó en promedio al 89%, mientras que Pasto Grande al 65%. En promedio, a nivel nacional, las reservas se encuentran al 87%.

La clorofila-a, indicador de la producción del fitoplancton (fuente de alimento de los recursos vivos), en abril 2018 mostró valores alrededor de lo normal, con una predominancia de nivel de productividad intermedia entre Paita a Ilo (> 2,5 mg/m3), más extenso de lo observado en marzo 2018.

Durante el mes de abril, la anchoveta en la región Norte-Centro presentó una amplia distribución desde punta La Negra (6°S) hasta San Juan de Marcona (15°S) dentro de las 60 millas de costa. Los índices reproductivos de este recurso del stock Norte-Centro mostraron la culminación del periodo secundario de desove. Por otro lado, frente a Chimbote, la caballa se presentó por fuera de las 60 millas.

Si bien las temperaturas mínimas del aire presentan a la fecha una tendencia a la normalización, durante abril, las zonas productoras de mango en la costa norte (Olmos y Jayanca - Lambayeque) evidenciaron temperaturas nocturnas frías, las cuales ralentizaron el desarrollo de brotes vegetativos; similares condiciones térmicas se observaron en la costa sur (La Yarada -Tacna) retrasando las labores de cosecha de la aceituna negra.

PERSPECTIVAS

Entre mayo y julio se espera el arribo de ondas Kelvin cálidas en la costa norte del Perú, que podrían generar anomalías positivas débiles de la temperatura del mar, del aire y del nivel del mar.

Tomando en consideración el monitoreo y el análisis de la Comisión Multisectorial ENFEN, así como los pronósticos de las Agencias Internacionales, se espera que entre mayo y julio se presenten condiciones neutras, pero con una tendencia hacia condiciones cálidas en la región del Pacífico central (región Niño 3.4). En la región Niño 1+2, frente a la costa norte del Perú y la costa del Ecuador, se esperan ligeras anomalías positivas en la temperatura de la superficie del mar.

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

Callao, 15 de mayo del 2018

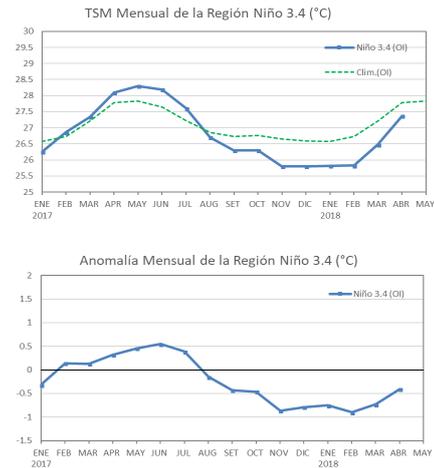


Figura 1. Temperatura y anomalía superficial del mar mensual: Región Niño 3.4 (5°N - 5°S) / (170°W - 120°W), enero 2017 - abril 2018 Fuente: Datos: OISST.V2/NCEP/NOAA, Gráfico DHN.



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

Cuadro 1. Anomalía media mensual de las temperaturas extremas del aire, (a) máximo y (b) mínimo, desde febrero 2017 a abril 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 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|--------|-----|------|-----|
| 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 |
| 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 |
| 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 |

| b) Región | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | ENE 18 | FEB | MAR | ABR |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|--------|------|------|------|
| 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 |
| 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 |
| 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 |

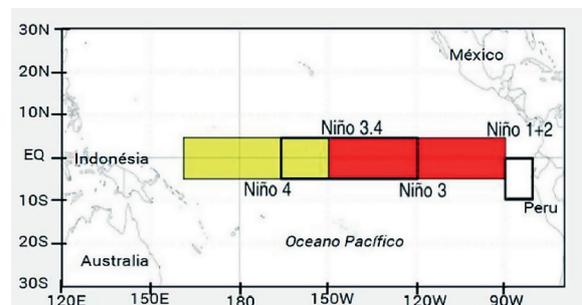


Figura 3. Áreas de monitoreo a) Región Niño 3.4 (5°N-5°S / 170°W-120°W) y b) Región Niño 1+2 (0°-10°S / 90°W-80°W) Fuente: NOAA



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