

**PP 068 "Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencia por Desastres" Producto:  
"Estudios para la estimación de los riesgos de desastres"**

**Actividad: "Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño"**

**Instituto Geofísico del Perú**

**INFORME TÉCNICO N° PpR/EI Niño-IGP/2017-02  
13/03/2017**

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

## **Resumen**

Según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), para el mes de enero de 2017 las condiciones climáticas de la costa peruana fueron cálidas débiles (+0.60°C), aunque hay indicaciones de que esto podría estar subestimado. Los valores temporales del ICEN (ICEN<sub>tmp</sub>) indican condiciones Cálidas Débiles para el mes de febrero y condiciones Cálidas moderadas para el mes de marzo. Para el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA de enero 2017 corresponde a condiciones neutras, indicando que el evento La Niña en el Pacífico Central finalizó en diciembre, los valores estimados para los meses de febrero y marzo también corresponden a condiciones neutras.

Para el mes de abril, tres de los siete modelos numéricos internacionales de NMME con condiciones iniciales del mes de marzo pronostican condiciones cálidas débiles y cuatro modelos indican condiciones cálidas moderadas ; para el mes de mayo un modelo indican condiciones cálidas débiles y seis modelos indican condiciones cálidas moderadas. En el Pacífico central para el mes de abril, uno de los siete modelos de NMME indica Condición Neutra y los otros seis condiciones cálidas débiles. Para los meses de mayo y junio indican condiciones cálidas débiles en promedio.

La onda Kelvin cálida, producto de la reflexión de una onda Rossby cálida en el extremo occidental, según los datos observados, habría llegado al extremo oriental del Pacífico ecuatorial a partir de fines de febrero ayudada por anomalías de viento del oeste en el Pacífico oriental. La intensidad de la onda es de alrededor de 10 metros en la profundidad de la isoterma de 20°C.

## **Introducción**

Empezando el año 2016, en el marco del programa presupuestal 068 "Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencia por Desastres", algunas instituciones que conforman el Comité Multisectorial para el Estudio del Fenómeno El Niño (ENFEN), bajo la coordinación del IMARPE, participan en el producto "Estudios para la estimación de los riesgos de desastres", en el cual el IGP contribuye con la actividad denominada "Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño". El presente informe técnico es generado en el marco de esta actividad, el cual es entregado al IMARPE, como coordinador de la actividad y presidencia del ENFEN, para ser utilizado como insumo en la evaluación periódica que realiza el ENFEN. El informe técnico generado posteriormente por el ENFEN será la información oficial sobre el monitoreo y pronóstico del Fenómeno El Niño y asociados en el Perú

## Índice Costero El Niño

Utilizando los datos de Temperatura Superficial del Mar (TSM) promediados sobre la región Niño1+2, actualizados hasta el mes de febrero de 2017 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 enero de 2017. Los valores se muestran en la Tabla 1.

Año	Mes	ICEN (°C)	Condiciones costeras del Mes
2016	Octubre	<b>0.22</b>	Neutra
2016	Noviembre	<b>0.37</b>	Neutra
2016	Diciembre	<b>0.43</b>	Cálida Débil
2017	Enero	<b>0.60</b>	Cálida Débil

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

El valor del ICEN para el mes de enero de 0.60 indica condición **Cálida Débil**. Al igual que el valor de diciembre de 2016, este es sustancialmente menor al ICEN<sub>tmp</sub> previamente estimado para este mismo mes debido a los bajos valores de las anomalías mensuales de ERSST v3b tanto de enero como de febrero de 2017. Vease el Anexo para mayor información.

Para los meses más recientes se generan versiones preliminares y temporales de este índice (ICEN<sub>tmp</sub>) combinando ERSST con otras fuentes.

Año	Mes	ICEN <sub>tmp</sub>	Condiciones costeras del mes	Fuente
2017	Febrero	0.92	Cálida Débil	2017/01-02: ERSST; 2017/03: NMME
2017	Marzo	1.10	Cálida Moderada	2017/02: ERSST; 2017/03-04: NMME

Tabla 2. Estimados preliminares del ICEN (ICEN<sub>tmp</sub>)

Según los valores del ICENtmp, se estima que en febrero y marzo 2017 las condiciones serían CÁLIDAS DÉBILES Y CÁLIDAS MODERADAS, respectivamente, aunque estos podrían estar subestimados. El ICENtmp de febrero será confirmado cuando se disponga del valor de ERSST para el mes de marzo de 2017. De confirmarse esto, se cumpliría el criterio de ENFEN (2012), para confirmar El Niño costero, el cual ya fue anunciado al activarse la Alerta de El Niño Costero (CO ENFEN N°03-2017) mediante el sistema de alerta de El Niño/La Niña costero (ENFEN, 2015).

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 enero de 2017, es de  $-0.41^{\circ}\text{C}$ , correspondiente a condiciones Neutras<sup>1</sup>, con este índice se confirma el fin del evento La Niña en el Pacífico central, que terminó en diciembre.

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>ONI (°C)</b>	<b>Categoría</b>
2016	Octubre	<b>-0.84</b>	Fría Débil
2016	Noviembre	<b>-0.84</b>	Fría Débil
2016	Diciembre	<b>-0.73</b>	Fría Débil
2017	Enero	<b>-0.41</b>	Neutra

Tabla 3. Valores recientes del ONI.

(Descarga: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>)

Los valores estimados (ONItmp), combinando observaciones y pronósticos, indican condiciones neutras para los meses de febrero y marzo 2017 (Tabla 4).

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>ONItmp</b>	<b>Condiciones del mes</b>	<b>Fuente</b>
2017	Febrero	-0.06	Neutra	2017/01-02: ERSST; 2017/03: NMME
2017	Marzo	027	Neutra	2017/02: ERSST; 2017/03-04: NMME

Tabla 4. Estimados preliminares del ONI (ONItmp)

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

## **Diagnóstico del Pacífico Ecuatorial**

En la región Niño 3.4 las anomalías de la TSM (IR, MW, OSTIA) mostraron un cambio de valores negativos a positivos a mediados de mes y luego continuaron en sentido ascendente, alcanzando la anomalía de +0.3°C en la última semana del mes (ver Figura 7a). Sin embargo, la actividad convectiva continuó mostrándose anómalamente reducida, similares a los de La Niña débil en el océano Pacífico central, consistente con la respuesta a las anomalías negativas del gradiente zonal de TSM en el Pacífico central. (Figura 1 y 2). Esto es consistente con la propuesta de DiNezio (2016) de que estas condiciones atmosféricas responden más al gradiente zonal de TSM en el Pacífico occidental, no tanto al valor en sí de la TSM, el cual puede estar también afectado por el calentamiento global. Por otro lado, según estos datos satelitales, en la región Niño 1+2 la anomalía de la TSM se mantuvo en promedio dentro del rango de condiciones cálidas, pero aumentando rápidamente a lo largo del mes de valores cercanos a +2.0°C hasta casi +3.0°C y +2.7°C según los productos de microondas y OSTIA, respectivamente (Figura 7b).

El esfuerzo de viento zonal (este-oeste) en el Pacífico central (160°E-160°W; 5°S-5°N) continuó con anomalía mensual del este (Figura 3), siendo mayor al mes anterior. En el Pacífico oriental ecuatorial (al este de 160°W) se presentaron ligeras anomalías de vientos del este (Fig 13). El contenido de calor oceánico ecuatorial ha presentado valores ligeramente positivos, mientras que la inclinación de la termoclina se presentaron alrededor de lo normal (Figura 4). Por otro lado, la termoclina en el Pacífico oriental, en 110°W mostró anomalías positivas, cercanas a sus condiciones normales, mientras que en 95°W se observó anomalías positivas, próximo a los 20 m, según TAO y ARGO (Figuras 5 y 6).

Según los datos de ARGO+TAO (Fig 12b), se observan anomalías positivas débiles (alrededor de 15 metros en promedio) en la región oriental.

## **Pronóstico a corto plazo con modelo de ondas y observaciones**

La onda Kelvin cálida, producto de la reflexión de una onda Rossby cálida en el extremo occidental y reforzada por las anomalías de viento del oeste en el Pacífico oriental, según los datos observados, habría llegado al extremo oriental del Pacífico ecuatorial a partir de fines de febrero. La intensidad de la onda es de alrededor de 10 metros en la profundidad de 20°C. Los pulsos de viento del este a inicios de enero en el Pacífico central-occidental, habrían contribuido a aminorar la magnitud de esta onda Kelvin cálida, por medio de una onda Kelvin fría. Se espera que la onda Kelvin cálida se refleje en una onda Rossby cálida que contribuiría al incremento de la profundidad de la termoclina al este de 120°W, al menos hasta abril, según los modelos numéricos.

## **Pronóstico estacional con modelos climáticos**

Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los pronósticos de los modelos climáticos de NMME (CFSv2, NASA\_GEOS5, FLOR, CM2.1, NCAR\_CCM4, CMC1 y CMC2) inicializados en marzo indican condiciones cálidas para el mes de abril. 3 de 7 modelos indican condiciones cálidas débiles y 4 modelos indican

condiciones cálidas moderadas. Para el mes de mayo, 1 de 7 modelos indican condiciones cálidas débiles, 6 modelos predicen condiciones cálidas moderadas (Fig. 14 y Tabla 5). Para el verano (diciembre 2016-marzo 2017), los modelos en promedio predicen condiciones cálidas débiles y El Niño costero sería débil. Los pronósticos extienden el evento El Niño costero hasta al menos setiembre 2017, con magnitud moderada a partir de junio. Si bien los pronósticos para abril y mayo inicializados en marzo son relativamente confiables, la barrera de predictibilidad introduce incertidumbre para los siguientes meses (Reupo y Takahashi, 2014).

Para el Pacífico central (Niño 3.4), 1 de 7 modelos de NMME inicializados en marzo predicen condiciones neutras para el mes de abril y 6 modelos predicen condiciones cálidas débiles. Para el mes de mayo, se observan seis modelos con condiciones cálidas débiles y un modelo con condiciones cálidas moderadas (Tabla 6). Entre los meses de junio y setiembre se observa que los modelos incrementan sus anomalías, observándose dos modelos con condiciones cálidas fuertes en el mes de setiembre, pero en general esto debe tomarse con cuidado debido a la barrera de predictibilidad. Considerando 4 modelos inicializados en febrero, se observa condiciones neutras para el mes de abril y condiciones cálidas débiles para el mes de mayo (Tabla 6 y Fig.15).

Si bien El Niño costero en curso no sigue la dinámica ENOS tradicional, es consistente con el mecanismo físico propuesto para El Niño de 1925 asociado a una intensa Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) al sur del Ecuador y anomalías de viento del norte (Takahashi y Martínez, 2015). Esto se observa tanto en la distribución de precipitación y vientos actuales, aunque para el mes de abril el pronóstico de lluvias de los modelos NMME es más limitado a la costa norte de Perú (Fig. 19).

**Tabla 5.** Pronósticos del ICEN con diferentes modelos climáticos con condiciones iniciales de marzo de 2017

Modelo	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO
CFS2		1.23	1.34	1.25	1.09	0.89	0.73	0.61
CMC1		1.00	0.88	0.86	1.15	1.32	1.35	1.18
CMC2		1.30	1.49	1.51	1.59	1.48	1.36	1.25
GFDL		0.87	0.99	1.47	1.90	1.88	1.52	1.20
NASA		0.99	1.00	1.13	1.37	1.52	1.53	1.46
GFDL_FLOR		1.10	1.39	1.64	1.73	1.55	1.39	1.21
NCAR_CCISM4		1.25	1.49	1.69	1.88	1.85	1.66	1.44
NMME		1.11	1.23	1.36	1.53	1.50	1.36	1.19
ICENtmp	0.92							

Modelo	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO
CFS2		0.27	0.77	0.79	0.81	0.76	0.73	0.80
CMC1		0.28	0.52	0.62	0.78	0.98	1.10	1.15
CMC2		0.26	0.55	0.75	1.00	1.26	1.46	1.62
GFDL		0.36	0.75	1.06	1.32	1.54	1.58	1.41
NASA		0.15	0.36	0.51	0.75	1.06	1.32	1.50
GFDL_FLOR		0.27	0.57	0.77	0.94	1.05	1.10	1.08
NCAR_CCSM4		0.29	0.59	0.79	0.97	1.19	1.42	1.57
NMME		0.27	0.59	0.76	0.94	1.12	1.24	1.30
ONItmp	-0.06							

Tabla 6. Pronósticos del ONI con diferentes modelos climáticos con condiciones iniciales de marzo de 2017

### Conclusiones:

1. El **ICEN para enero de 2017** fue de 0.0.60 ( **Cálida Débil**) y el **ICENtmp** para febrero y marzo de 2017 **es 0.92 (cálida débil) y 1.10 (cálida moderado)**. El valor de ERSST v3b para enero y febrero utilizado para el cálculo del ICEN parece subestimar el calentamiento real.
2. En el Pacífico central, el ONI de enero (DEF) correspondió a condiciones neutras, lo cual indica el fin del evento La Niña en diciembre. El ONI estimado para febrero y marzo corresponde a condiciones neutras. La ATSM en la región Niño 3.4, durante este febrero, ha fluctuado alrededor de los -0.3°C.
3. El contenido de calor oceánico ecuatorial ha presentado valores ligeramente positivos, mientras que la inclinación de la termoclina se presentó dentro de su variación normal.
4. Los vientos zonales ecuatoriales en enero se mostraron cerca de lo normal, con anomalías del este en el Pacífico occidental y del oeste en el oriental (según TAO), consistente con una respuesta a los gradientes zonales de TSM. La persistencia de anomalías de viento del oeste en el Pacífico oriental puede haber contribuido a mantener las condiciones cálidas en la costa.
5. La actividad convectiva en el Pacífico central en febrero continuó mostrándose anómalamente reducida, similares a los de La Niña débil, consistente con la respuesta a las anomalías negativas del gradiente zonal de TSM en el Pacífico central.
6. En el Pacífico oriental ecuatorial (5°S-5°N), las anomalías de vientos del norte (calma en absoluto) son consistentes con la intensa (debilitada) ZCIT al sur (norte) del ecuador, así con el gradiente norte-sur en la ATSM (sur más cálido), indicando acoplamiento a través del mecanismo “wind-evaporation-SST” que puede hacer persistir esta situación.
7. La onda Kelvin cálida, producto de la reflexión de una onda Rossby cálida en el extremo occidental y ayudada por la anomalía de vientos del oeste en el Pacífico oriental, según los datos observados, habría llegado al extremo oriental del Pacífico ecuatorial a partir de fines

de febrero. La intensidad de la onda es de alrededor de 10 metros en la profundidad de 20°C. Los pulsos de viento del este a inicios de enero en el Pacífico central-occidental, habrían contribuido a aminorar la magnitud de esta onda Kelvin cálida, por medio de una onda Kelvin fría. Se espera que la onda Kelvin cálida se refleje en una onda Rossby cálida que contribuiría al incremento de la profundidad de la termoclina al este de 120°W, al menos hasta abril, según los modelos numéricos .

8. Se observa en la profundidad de 20°C en el Pacífico Central, la señal de la onda Kelvin fría formada por anomalías de viento del este de inicios de febrero junto con una onda Rossby fría, producto de la reflexión de una onda Kelvin fría en noviembre de 2016. Los resultados numéricos indican que la intensidad de esta onda se debilitaría y no alcanzaría el extremo oriental con magnitud relevante.
9. Asimismo, se observa una onda Kelvin cálida en el extremo oriental, producto de la reflexión de una onda Rossby cálida que se habría formado con el pulso de viento del este a inicios de enero. Esta onda, de darse condiciones favorables, arribaría al extremo oriental a fines de abril. Es posible que se de una interferencia constructiva a mediados de abril, alrededor de 115°W, con la onda Rossby cálida que se reflejaría en marzo.
10. Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los pronósticos de los modelos climáticos de NMME inicializados en marzo indican para el mes de abril 3 de 7 modelos indican condiciones cálidas débiles y 4 modelos indican condiciones cálida moderada. Para el mes de mayo, 1 de 7 modelos indican condiciones cálidas débiles, 6 modelos predicen condiciones cálidas moderadas (Fig. 14 y Tabla 5). Para el verano (diciembre 2016-marzo2017), los modelos en promedio predicen condiciones cálidas débiles y El Niño costero sería débil. Los pronósticos extienden el evento El Niño costero hasta al menos setiembre 2017, con magnitud moderada a partir de junio.
11. Para el Pacífico central (Niño 3.4), 1 de los 7 modelos de NMME inicializados en marzo predice condiciones neutras para el mes de abril y 6 modelos predicen condiciones cálidas débiles. Para el mes de mayo, se observan seis modelos con condiciones cálidas débiles y un modelo con condiciones cálidas moderada (Tabla 6) . Entre los meses de junio y setiembre se observa que los modelos incrementan sus anomalías, observándose tres modelos con condiciones cálidas fuertes en el mes de setiembre.

## 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*.
  - 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.
  - **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, K., 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.
  - **Takahashi, K., Martínez, A. G.**, 2016: The very strong El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. En revisión en Climate Dynamics.

Nota: Los Boletines Técnicos del IGP citados se pueden encontrar en:  
<http://www.met.igp.gob.pe/elniño/>

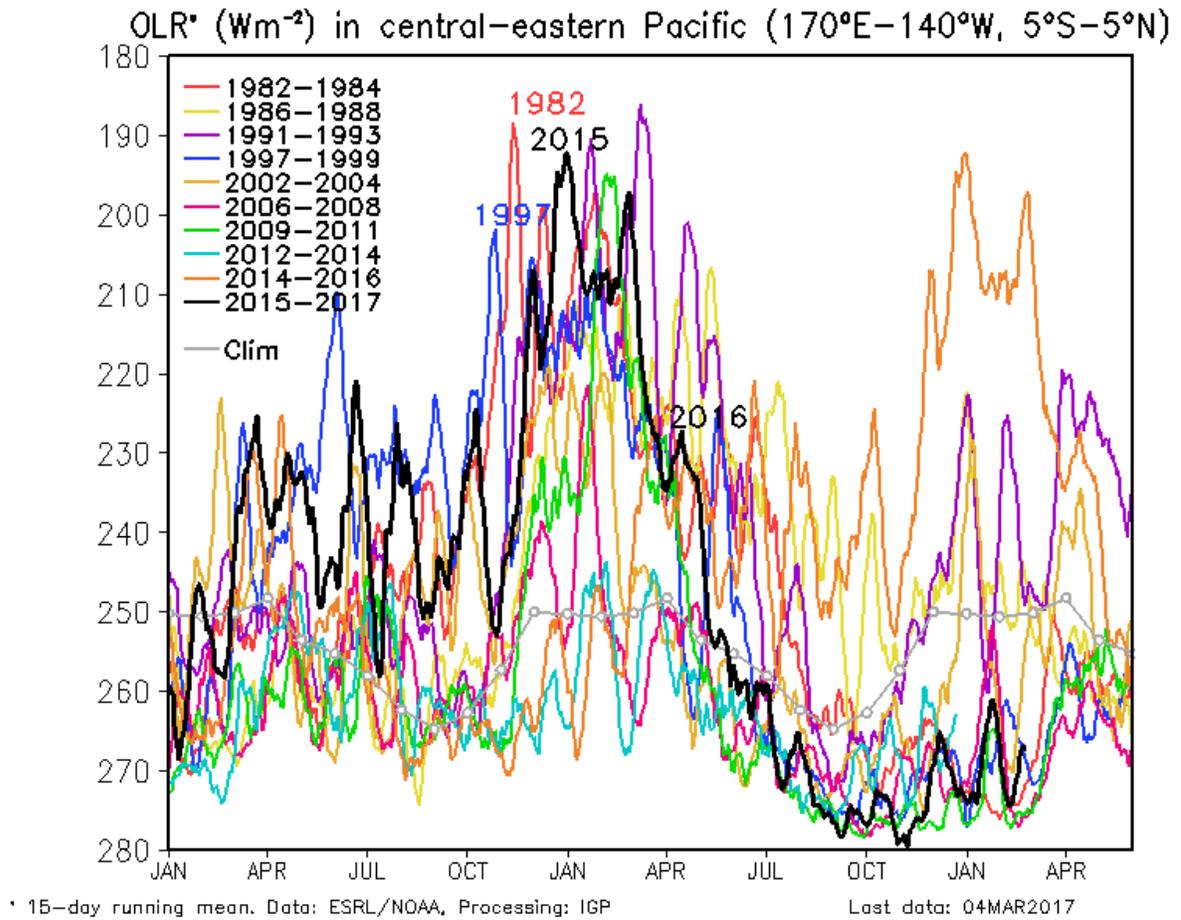
## Equipo

Ken Takahashi, Ph.D. (responsable)  
Kobi Mosquera, Dr.  
Jorge Reupo, Bach.

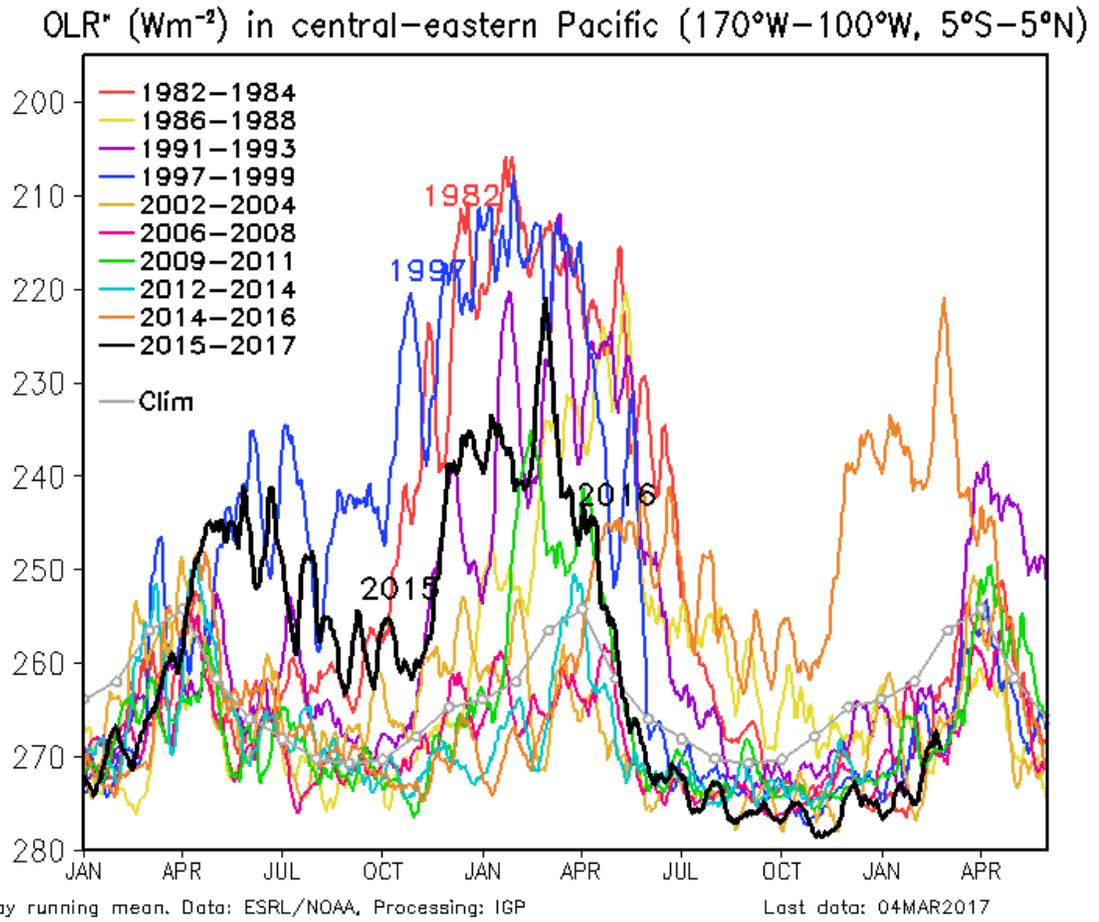
## Agradecimientos

A la Dra. Emily Becker (NOAA) y al Dr. Ben Kirtman (RSMAS) por su apoyo con los datos del proyecto NMME, a la Dra. Michelle L'Heureux (NOAA CPC) por su apoyo con los datos de Niño 1+2 para el cálculo del ICEN.

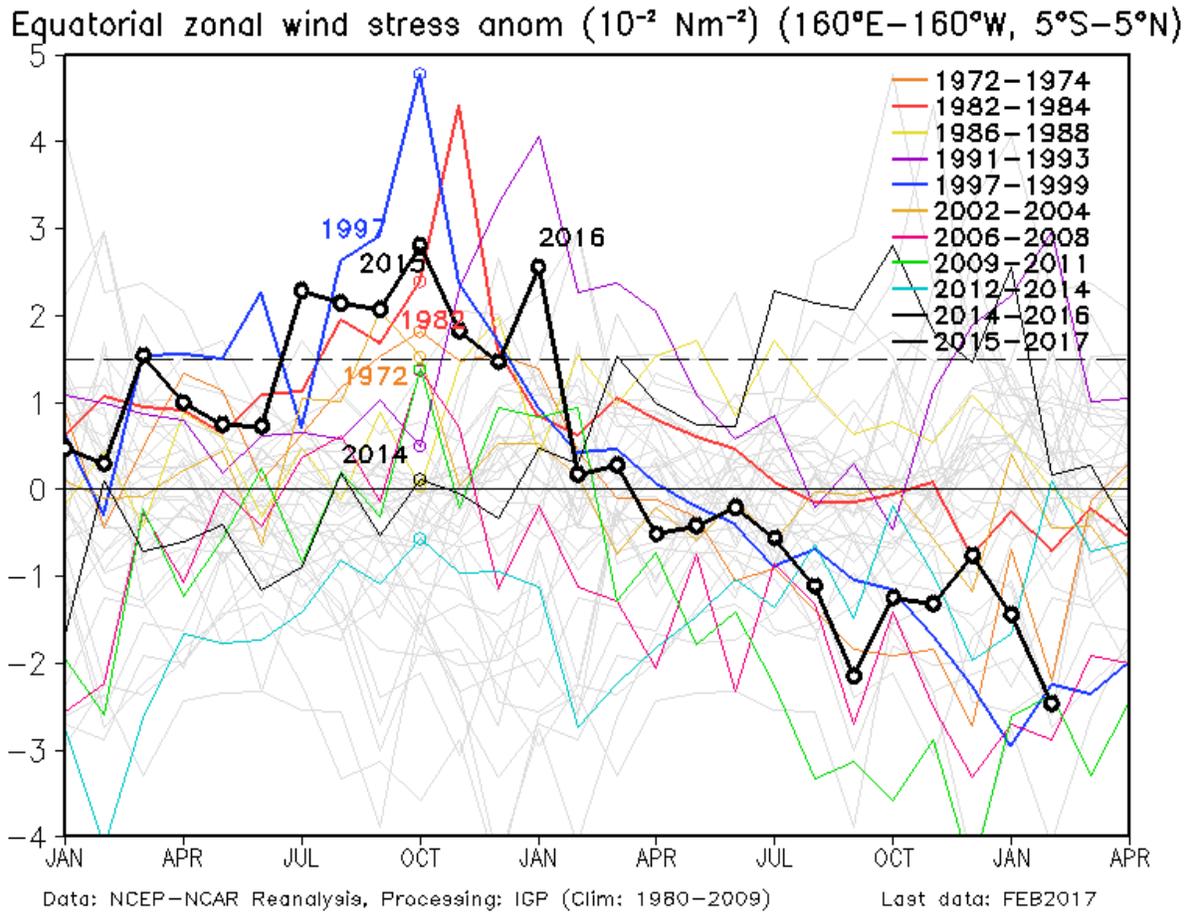
Figuras



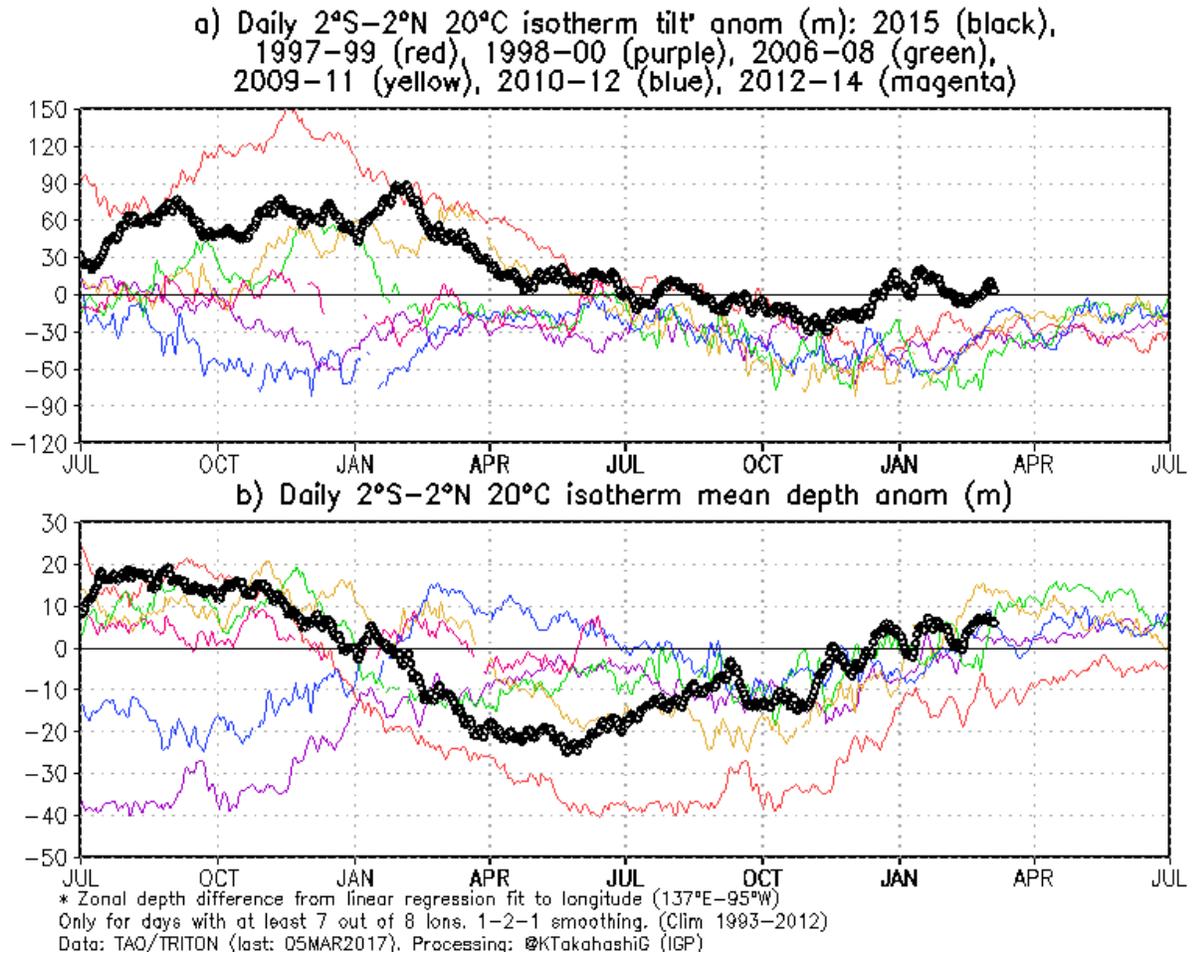
**Figura 1.** Actividad convectiva en el Pacífico Central Oriental ( $170^{\circ}-140^{\circ}W$  y  $5^{\circ}S-5^{\circ}N$ ) en base a la información de OLR (Outgoing Longwave Radiation). Elaboración: IGP



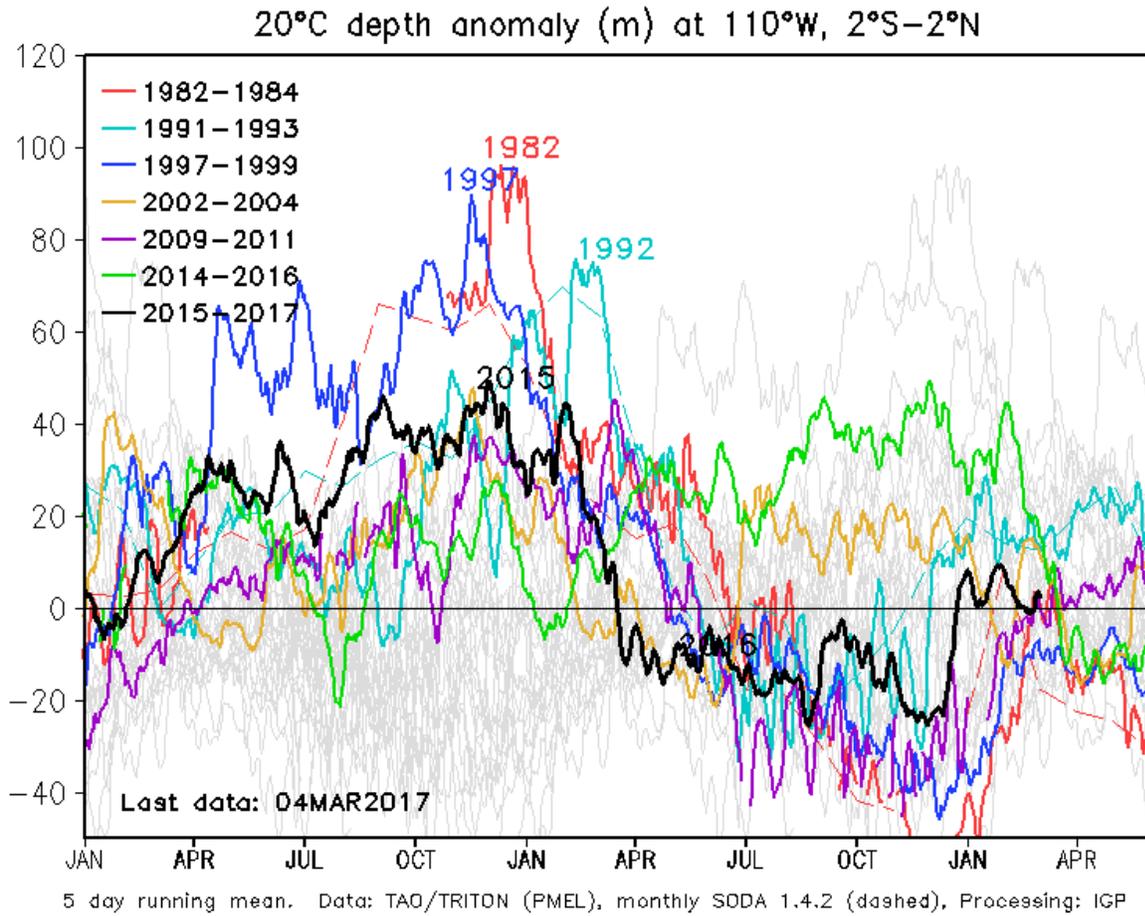
**Figura 2.** Actividad convectiva en el Pacífico Central Oriental ( $170^{\circ}-100^{\circ}\text{W}$  y  $5^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{N}$ ) en base a la información de OLR (Outgoing Longwave Radiation). Elaboración: IGP



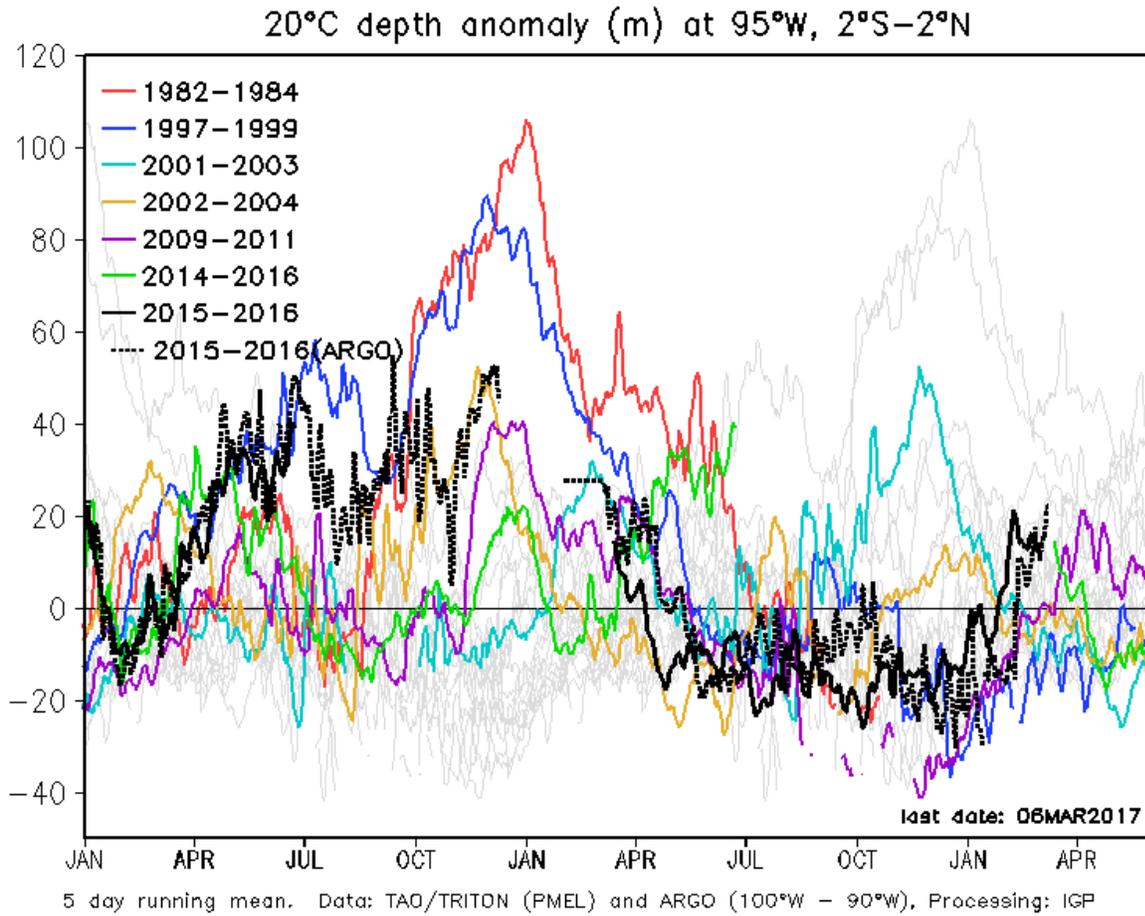
**Figura 3.** Promedio de la anomalía del esfuerzo de viento zonal en el Pacífico Ecuatorial ( $160^{\circ}\text{E}-160^{\circ}\text{W}$  y  $5^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{N}$ ) obtenido de los datos del reanálisis de NCEP-NCAR. Elaboración: IGP



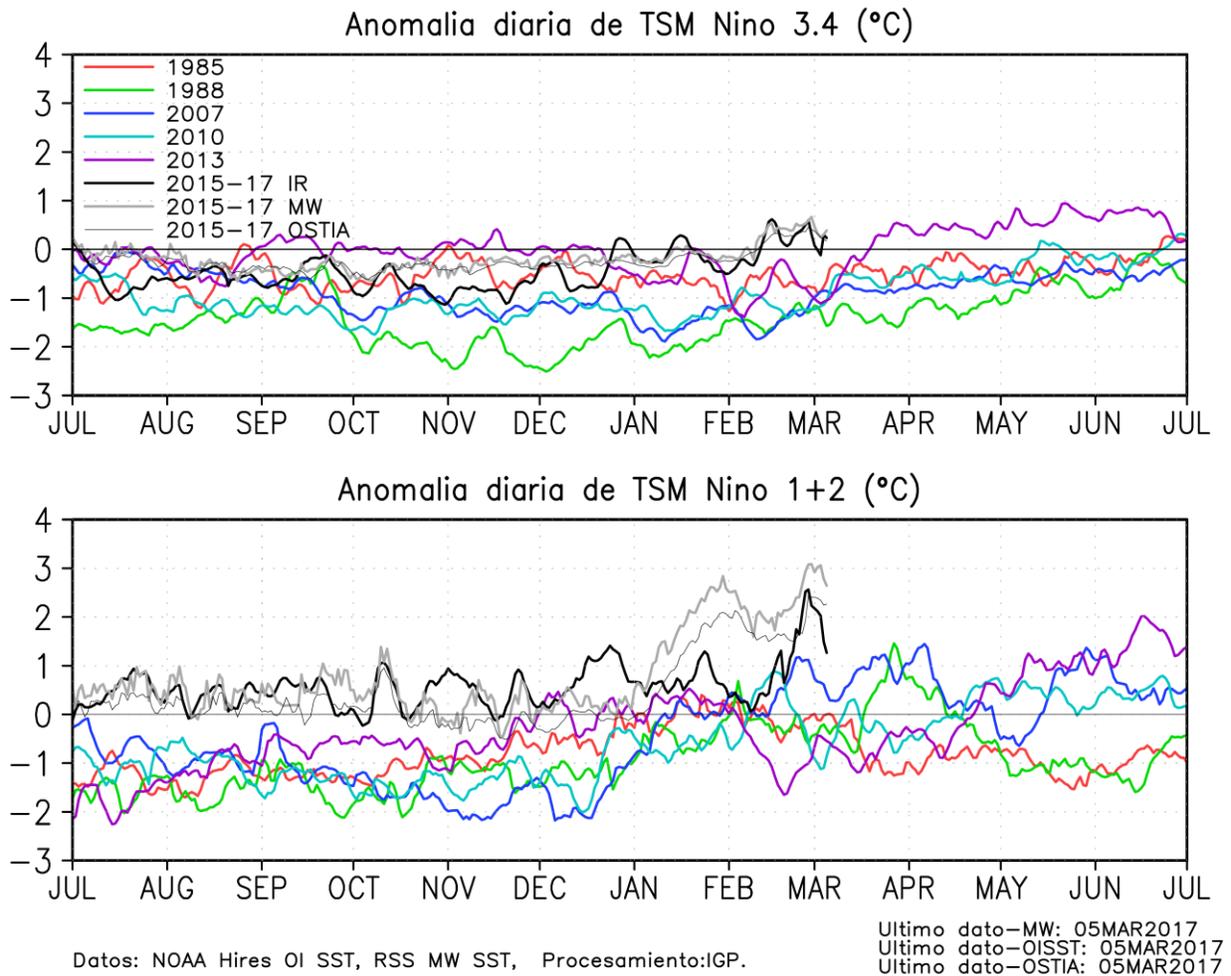
**Figura 4 a)** Inclinación de la termoclina en el Pacífico ecuatorial basado en los datos de las boyas TAO entre 2°N y 2°S. **b)** Contenido de calor en la región ecuatorial basado en los datos de las boyas TAO entre 2°N y 2°S. A diferencia de informes anteriores, se excluyen las boyas TRITON (Pacífico occidental) que ya no está operativas. Elaboración: IGP



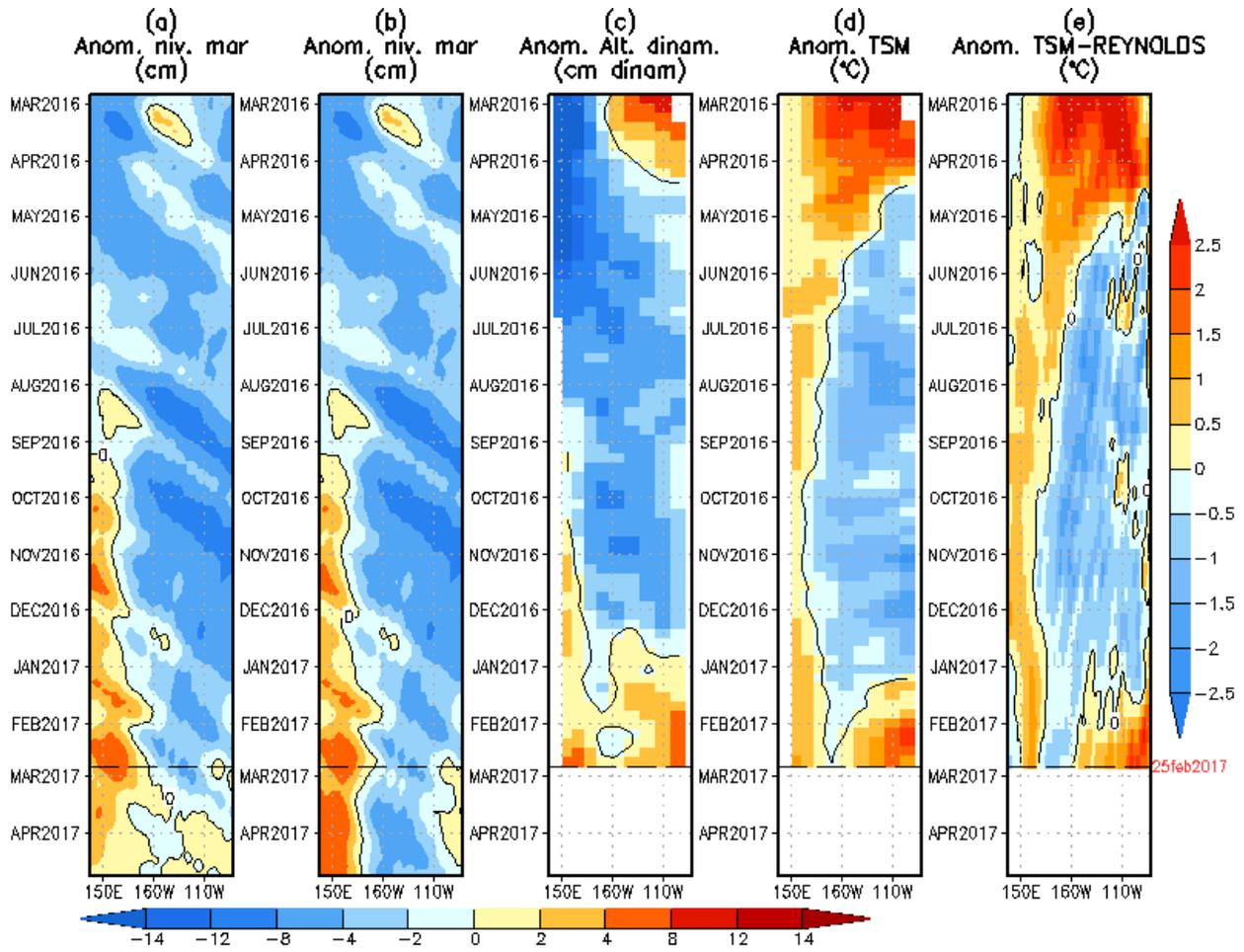
**Figura 5.** Anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C en la zona de 110°W en base a: i) la información de las boyas de TAO en 110°W y entre 2°S y 2°N; y ii) SODA. Elaboración: IGP



**Figura 6.** Anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C en la zona de 95°W en base a: i) la información de las boyas de TAO en 95°W y entre 2°S y 2°N; y ii) los flotadores de ARGO entre 100°-90°W y 2°S-2°N. Elaboración: IGP



**Figura 7.** Series de tiempo de la anomalía diaria de la TSM en la región Niño 3.4 (arriba) y en la región Niño 1+2 (abajo). Las líneas en color negro (guesa), gris y negro (fina) indican la evolución de la anomalía de la TSM en el presente año usando información infrarroja (IR), microondas (MW) y del producto OSTIA, respectivamente. Las líneas de color rojo, azul, celeste y verde, indican la evolución de la anomalía de la TSM para los años de Niña costera 1985, 2007, 2010 y 1988. Elaboración: IGP



**Figura 8.** Anomalías (a y b) del nivel medio del mar simulado con LOM1 (termoclina uniforme), (c) de la altura dinámica (TAO), (d y e) de la temperatura superficial del mar observada de TAO y Reynolds, respectivamente, en la región ecuatorial (2°S y 2°N). En (a) y (b) la línea cortada en color negro, indica el momento en que el modelo empieza a utilizar el esfuerzo de viento igual a cero (LOM1a) y persistida (LOM1b), respectivamente, para la predicción (ver fecha en color rojo a la derecha). La escala de (a), (b) y (c) se ubica abajo en forma horizontal, mientras que la escala de (d) y (e) está a la derecha (Fuente: IGP, ASCAT, climatología: 2008-2013).

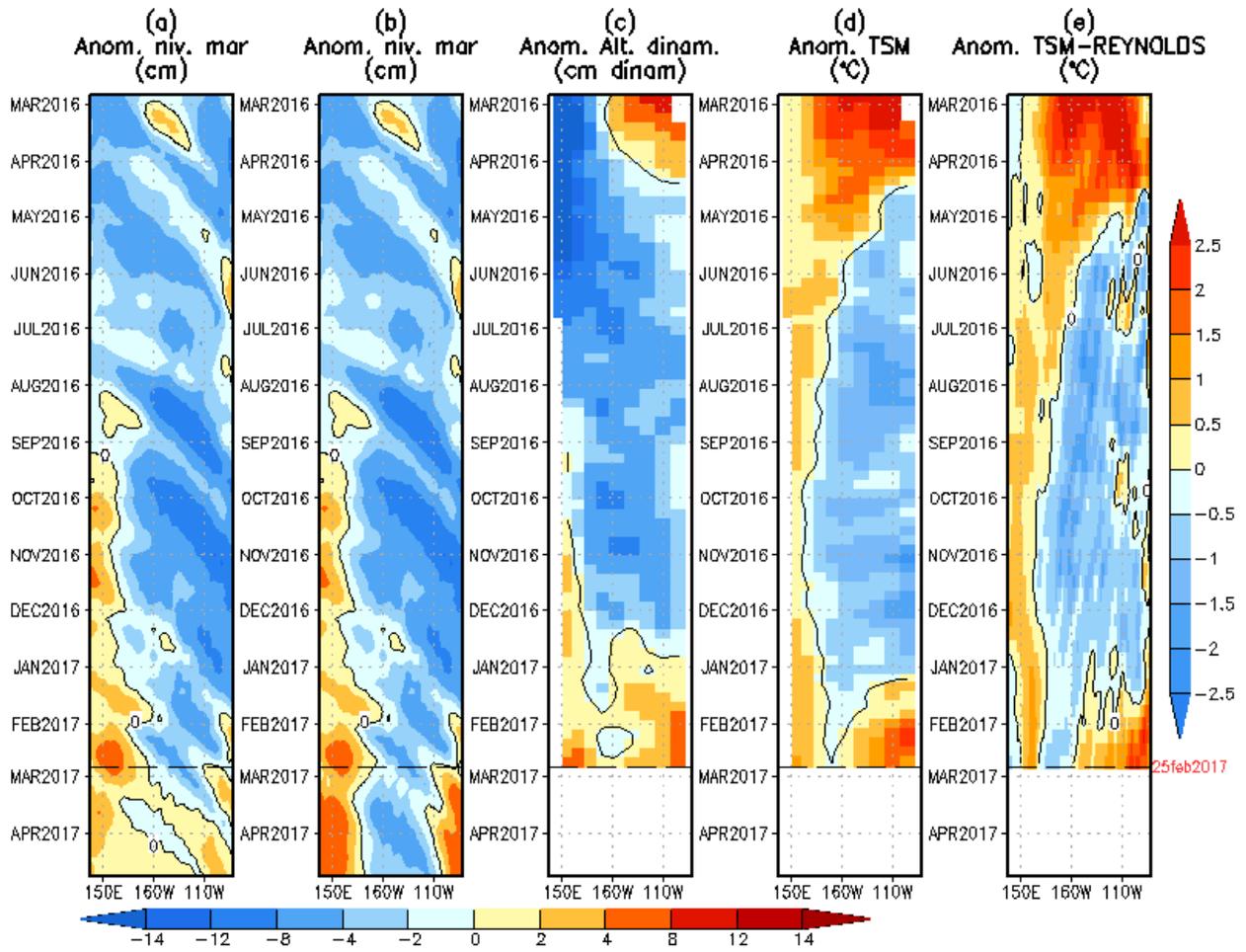
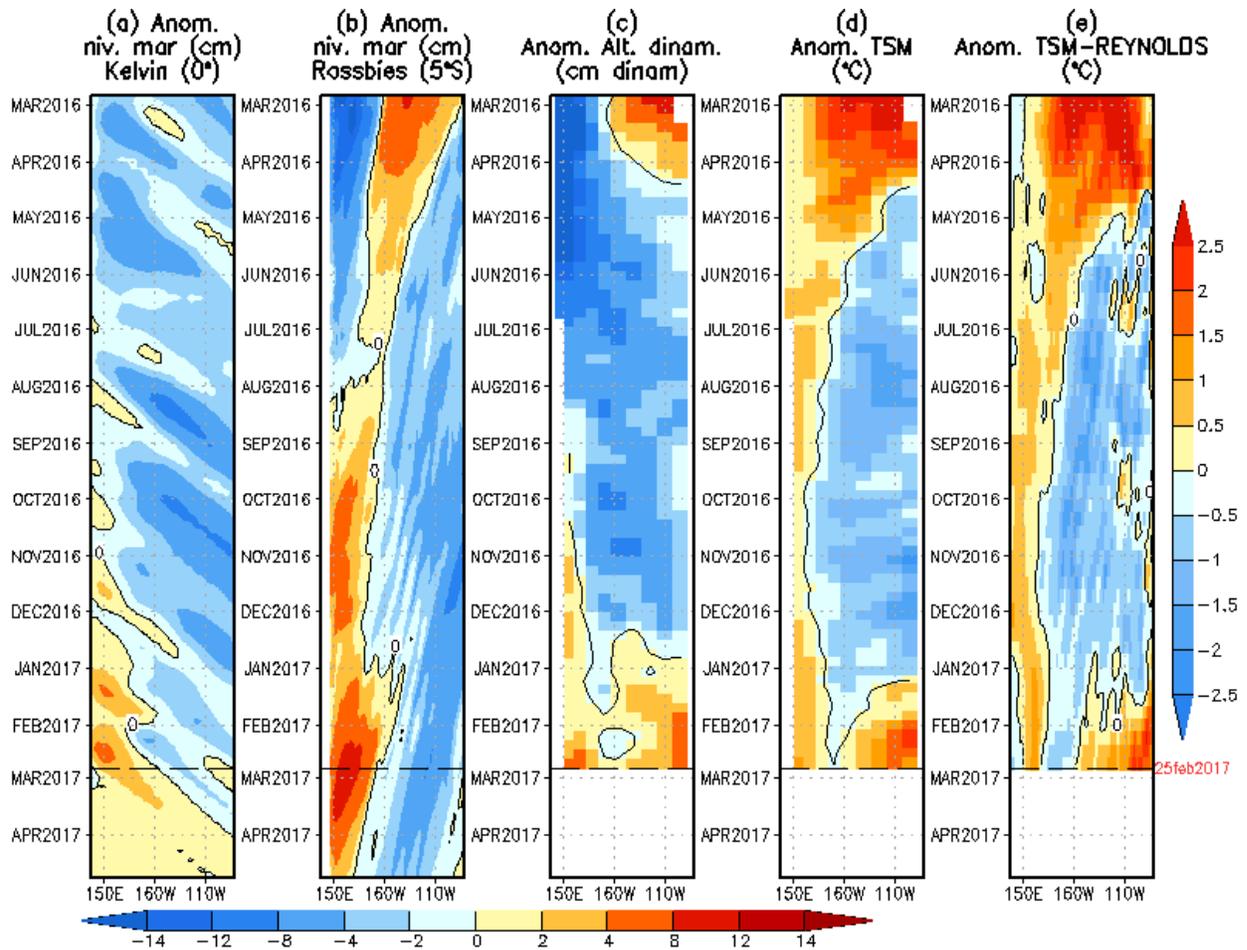


Figura 9. Similar a la Fig. 8 pero para LOM2 (termoclina variable).



**Figura 10.** (a) Contribución de la Onda Kelvin al nivel del mar y (b) Contribución de la onda Rossby al nivel del mar en 5°N obtenida de LOM1a. (c) anomalía de la altura dinámica (TAO), (d) y (e) anomalía de la temperatura superficial del mar observada de TAO y Reynolds, respectivamente en la región ecuatorial (Fuente: IGP, ASCAT, climatología: 2008-2013).

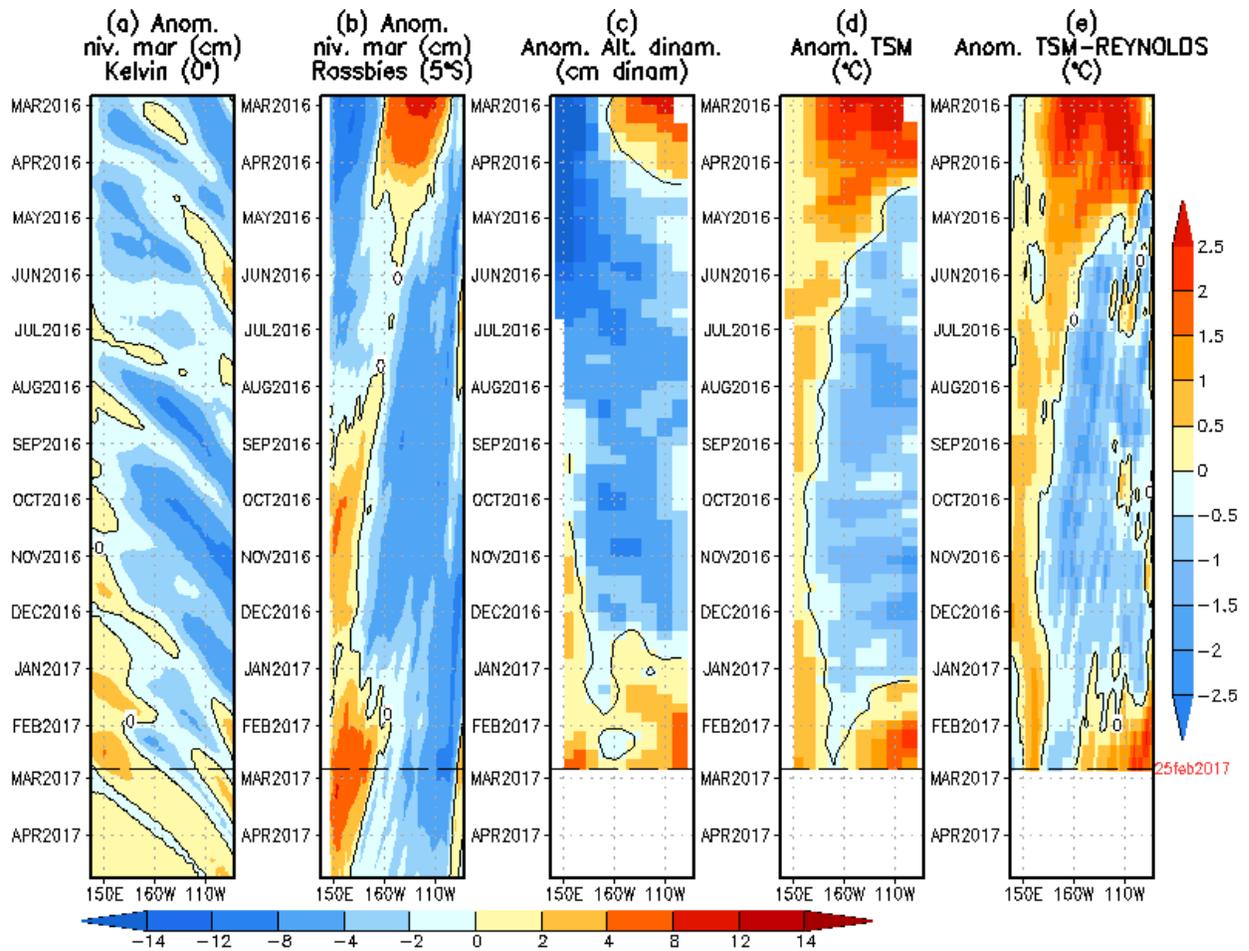
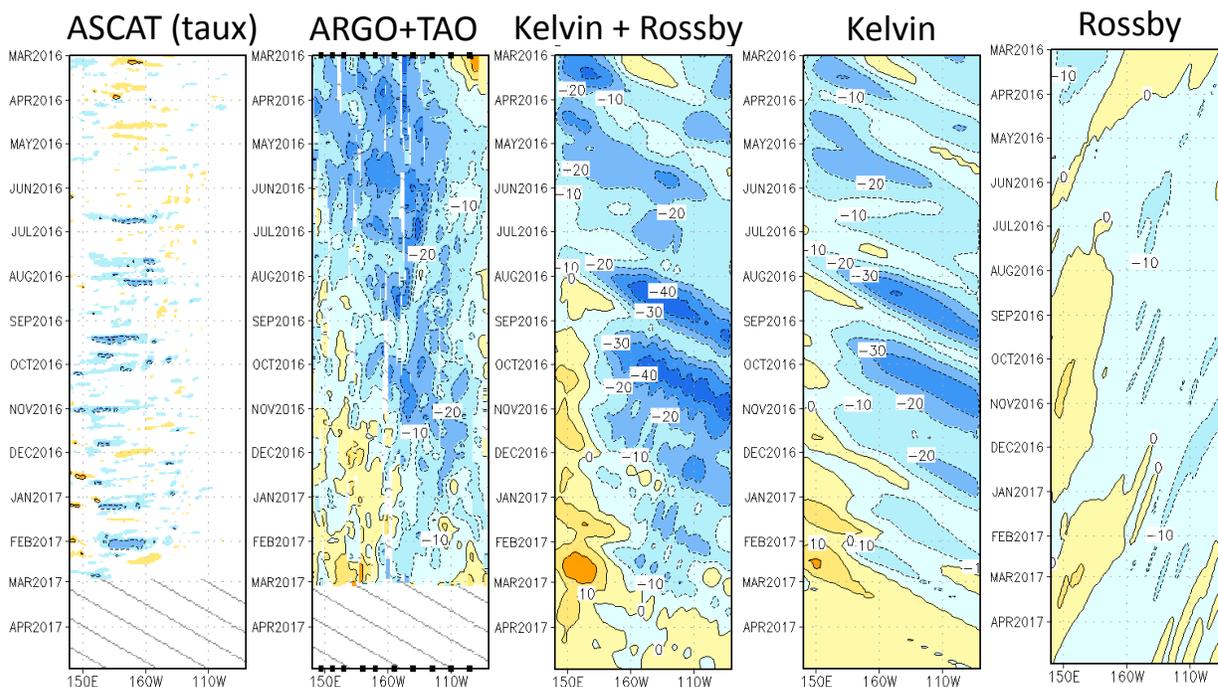
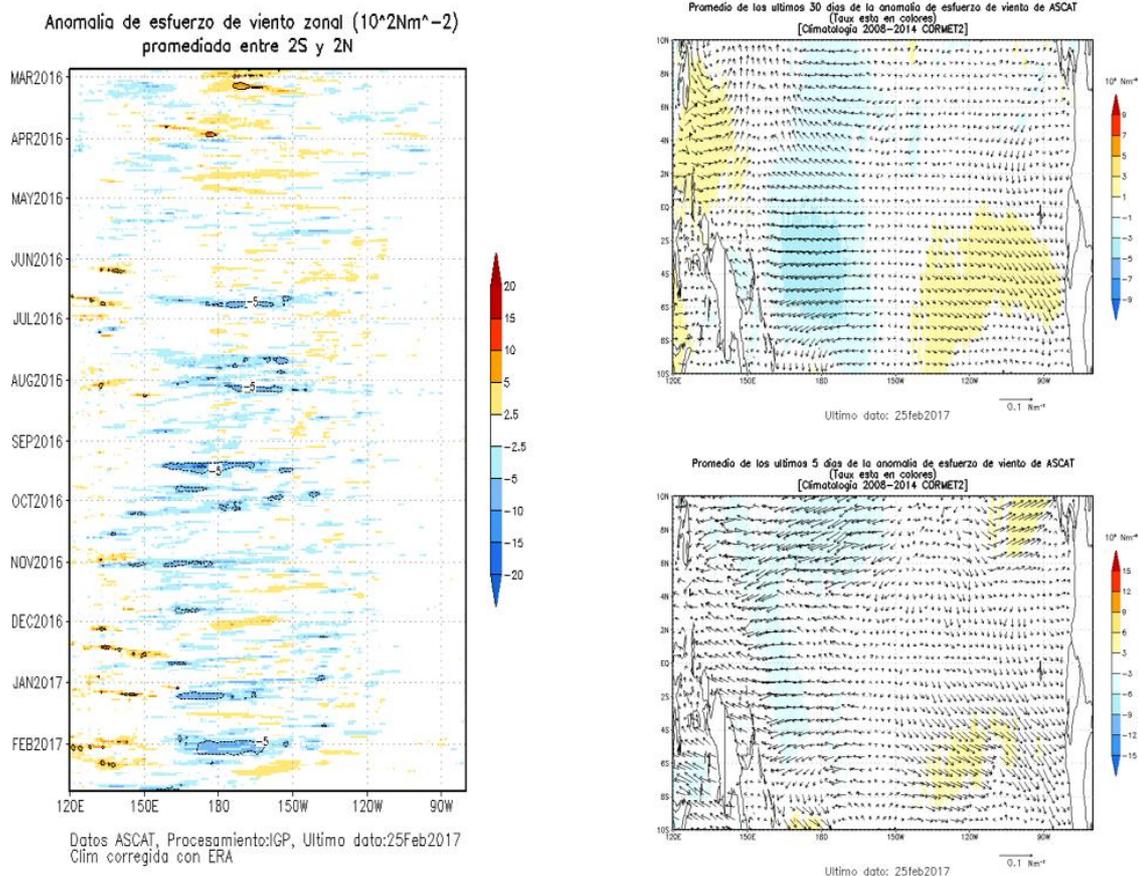


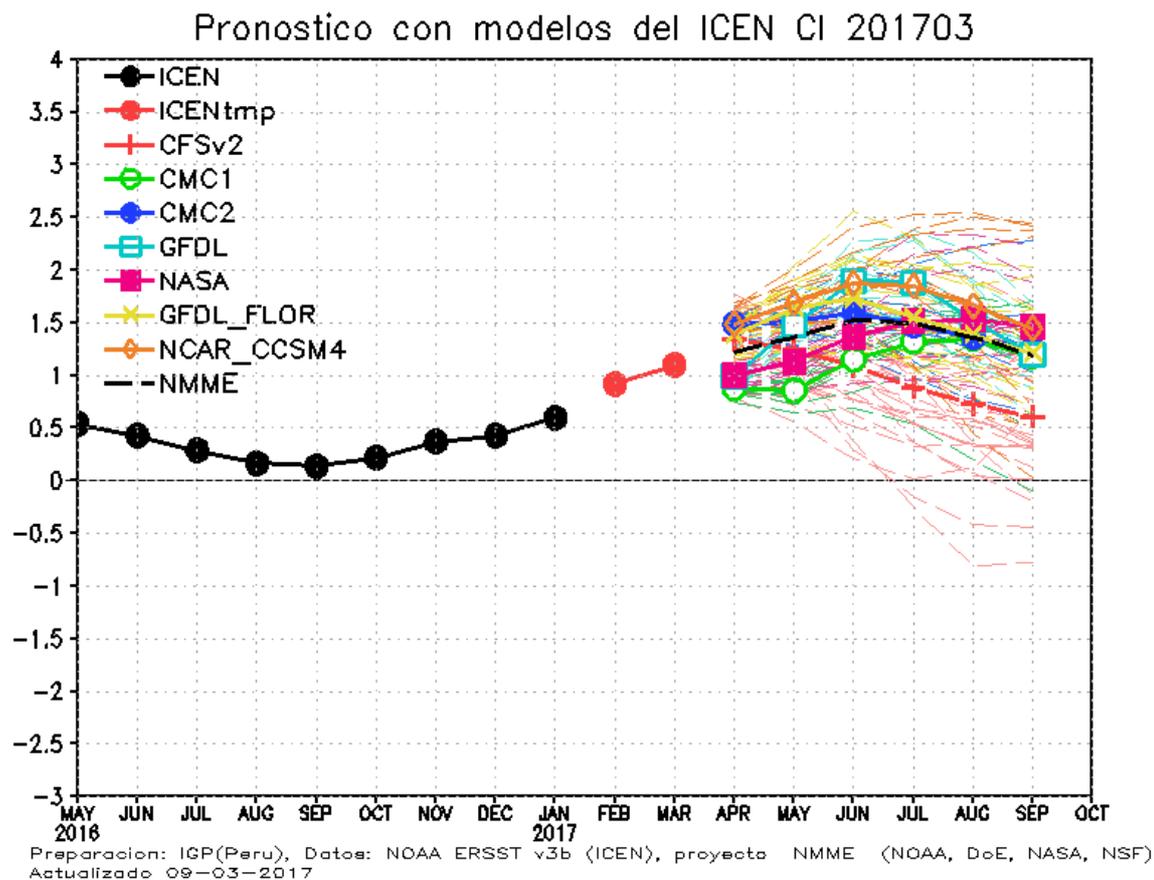
Figura 11. (a) Igual que la Figura 10, pero para LOM2a.



**Figura 12.** 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) , derivad , diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y finalmente diagramade la onda Rosbbby, calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por ASCAT, y tau=0 para el pronóstico). Las líneas diagonales representan una propagación hacia el este con velocidad de 2.6 m/s. (Elaboración: IGP)



**Figura 13.** Izquierda: Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT. Derecha (superior): Mapa del promedio de 30 días. Derecha (inferior): Mapa del promedio de 5 días, hasta el 25 de febrero de 2017, incluyendo los vectores de esfuerzo zonal. (Elaboración: IGP)



**Figura 14.** Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y su valor temporal (ICENtmp, rojo con círculo lleno). 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, GFDL\_FLOR y NCAR\_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de marzo de 2017. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

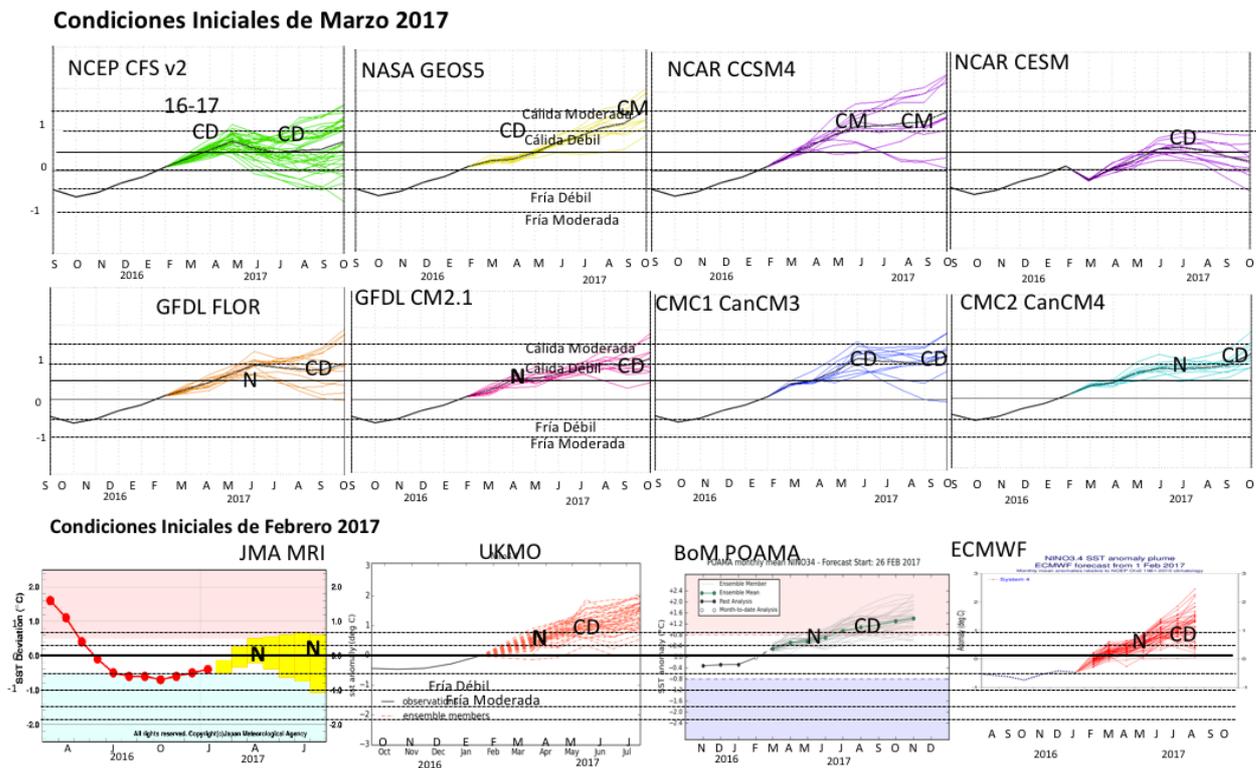
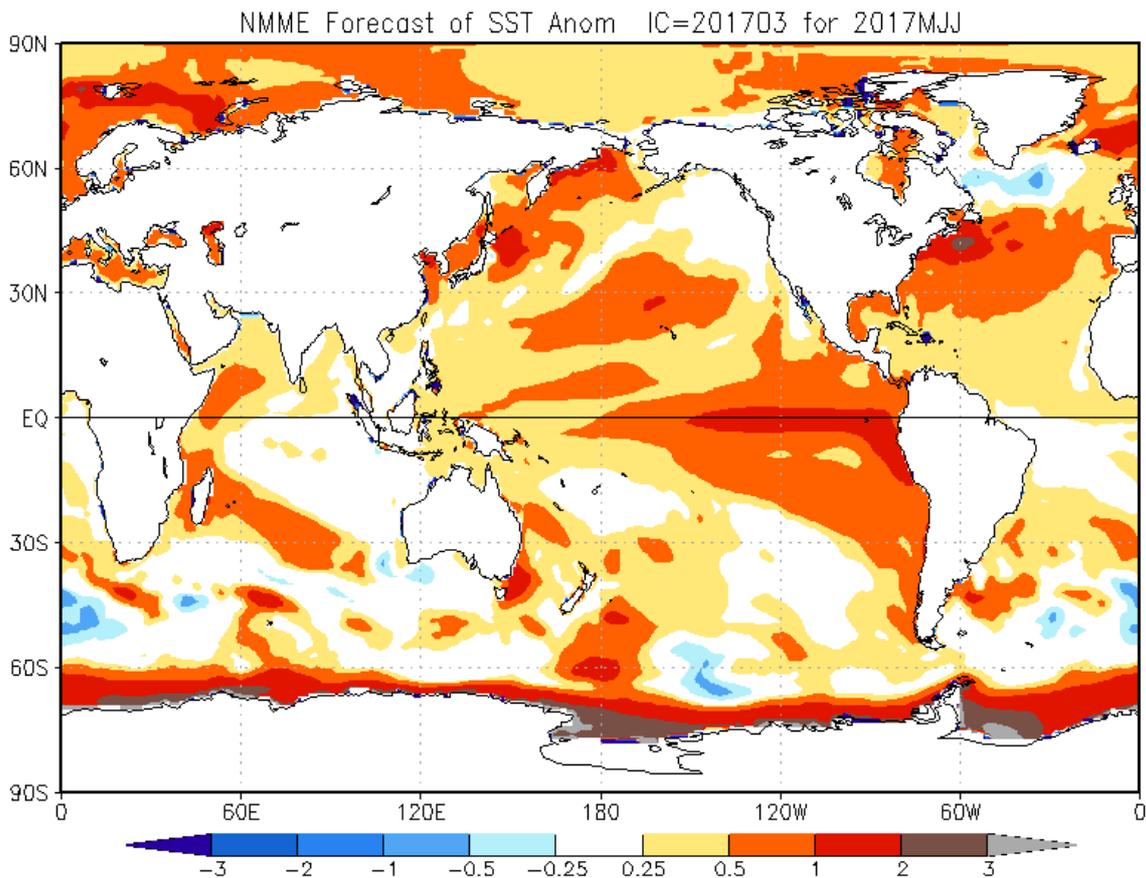


Figura 15. Índice Niño 3.4 mensual observado y pronosticado por los modelos de NMME y otros.



**Figura 16.** Pronóstico de la anomalía de temperatura superficial del mar promediado sobre los modelos del proyecto NMME (NCEP CFS2, CanCM3 CMC1 y 2, GFDL CM2.2, NASA, GFDL\_FLOR y NCAR\_CCISM4 para el trimestre mayo-julio de 2017 con condiciones iniciales de marzo de 2017. (Fuente: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/NMME/>)

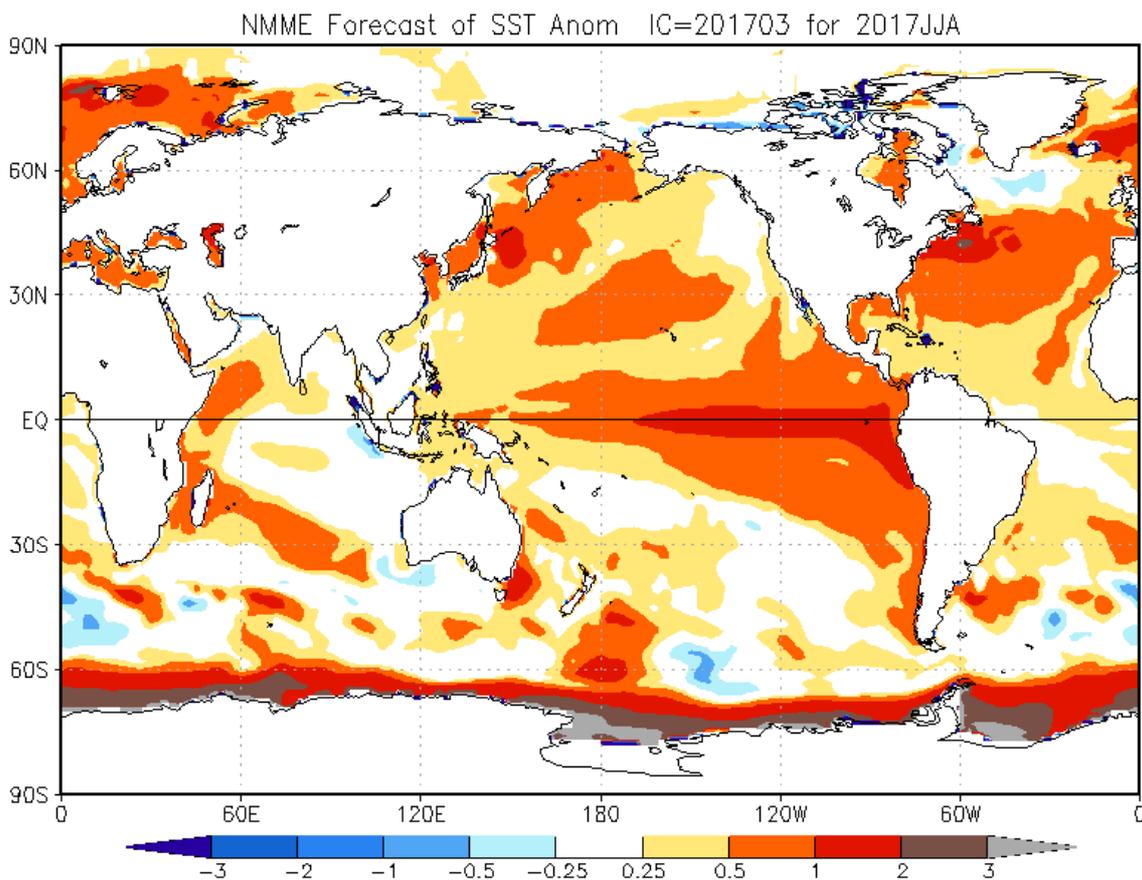
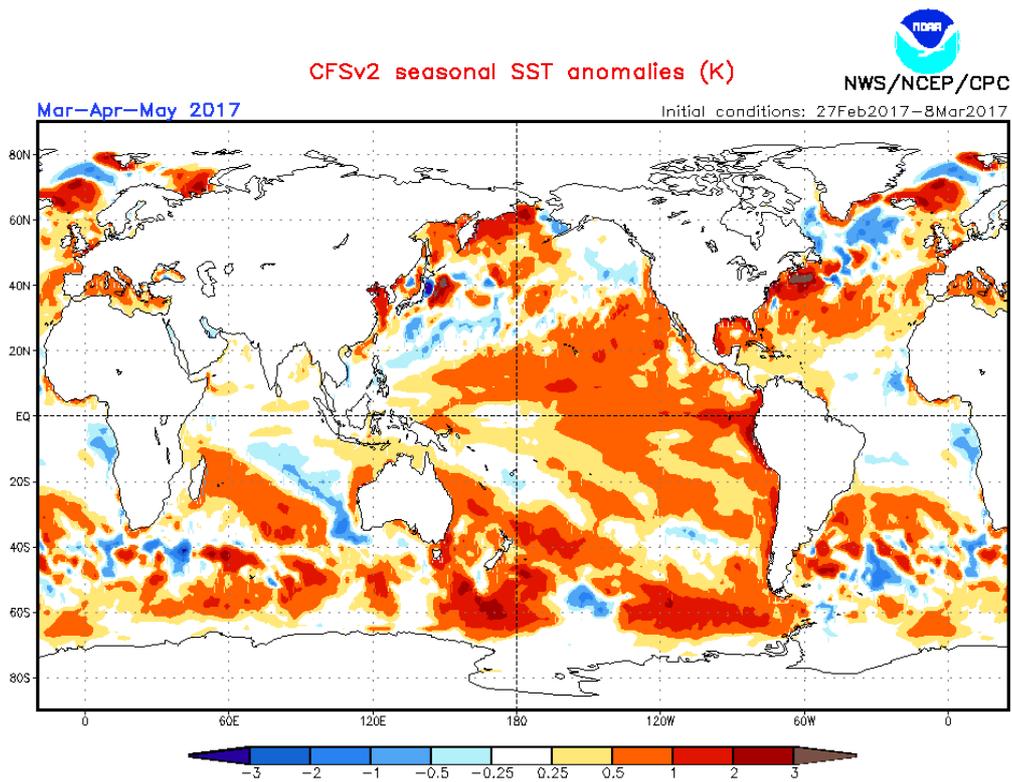
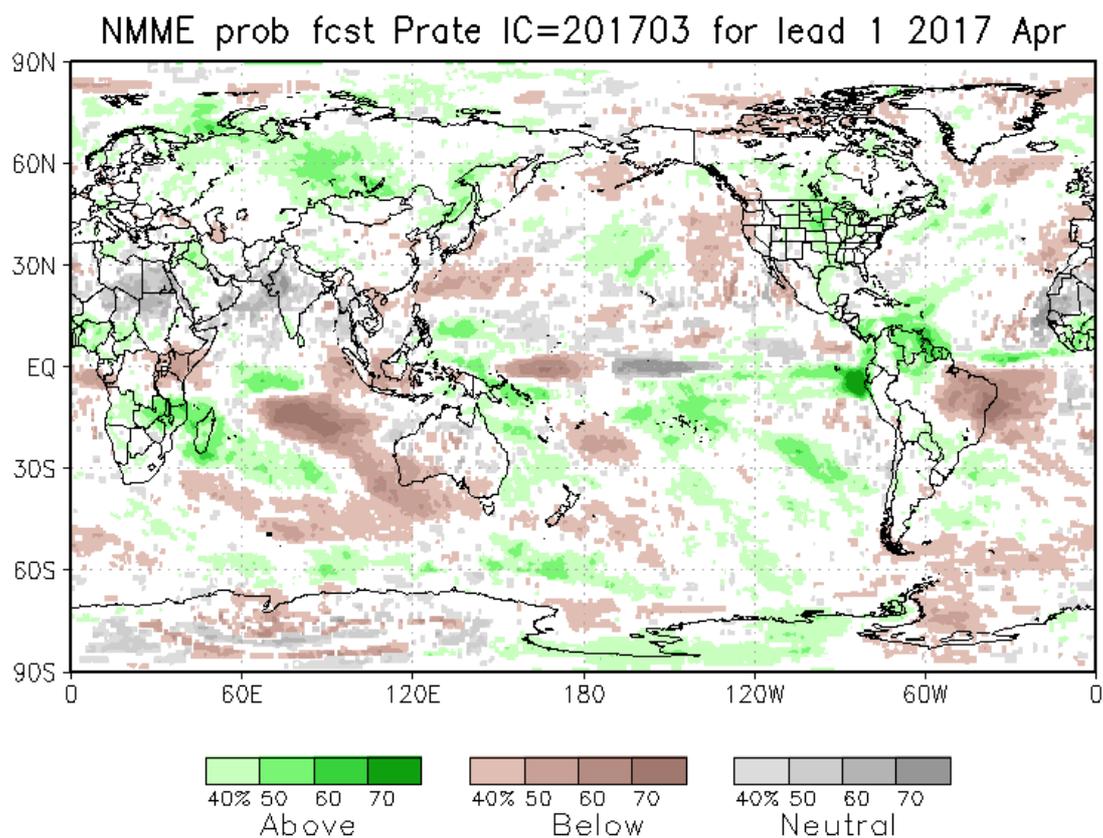


Figura 17. Similar a la Fig.16, pero para el trimestre junio-agosto 2017.



**Figura 18.** Pronósticos numéricos de anomalía de TSM para el periodo marzo - mayo 2017 por el modelo CFSv2 con condiciones iniciales entre el 27 de febrero al 08 de marzo 2017. (Fuente: NOAA).



**Figura 19.** Pronósticos probabilístico de precipitación para abril 2017 por modelos de NMME inicializados en febrero 2017. (Fuente: NOAA).



## Anexo

### **Informe preliminar sobre los problemas recientes en la estimación de la distribución mensual de la temperatura superficial del mar**

Ken Takahashi

Instituto Geofísico del Perú

13 de marzo de 2017

La temperatura de la superficie del mar (TSM) es una de las principales variables climáticas y es esencial para el pronóstico a escala interanual ya que determina en gran parte el estado instantáneo de la atmósfera, por ejemplo modulando la probabilidad de lluvias intensas en la costa de Perú, pero también porque es resultado de la dinámica oceánica lenta que es la que permite las predicciones con meses de anticipación (la atmósfera por sí sola no tiene “memoria”). Por esto, el ENFEN utiliza la TSM como la variable básica para caracterizar El Niño y La Niña, particularmente mediante la definición del Índice Costero El Niño que mide la anomalía trimestral de la TSM en la región Niño 1+2 frente a la costa norte de Perú (ICEN; ENFEN 2012, Takahashi et al, 2014).

En general, la TSM se puede medir de dos formas. La primera es la llamada *in situ*, es decir mediciones directas en el mismo sitio como las realizadas desde barcos o boyas, principalmente usando termómetros. La otra son las mediciones satelitales, que miden radiación emitidas por la superficie del mar en los rangos infrarrojo y microondas. Las mediciones *in situ* tienen la ventaja de ser mediciones directas pero sufren de algunas limitaciones, como la poca cobertura espacial y temporal (son datos puntuales) y las diferencias en las técnicas de medición que requieren correcciones, además de que la definición de la TSM es ambigua en relación a la profundidad y que varía con el ciclo diurno (Minnett & Kaiser-Weiss, 2012). Por otro lado, las mediciones satelitales tienen una excelente cobertura espacial y temporal, pero tienen la limitación de que las estimaciones pueden ser fuertemente afectadas por las condiciones atmosféricas, particularmente la presencia de lluvia, nubes, y vapor de agua, además de que sus registros se limitan a la década de los 80 en adelante y que pueden existir discontinuidades cuando se reemplaza un satélite por otro.

En la práctica, para poder producir mapas completos y contínuos en el tiempo de la TSM, se combina la información *in situ* y satelital mediante técnicas estadísticas o modelos numéricos que permiten completar los vacíos y corregir los posibles errores en las diferentes mediciones. Uno de los productos más utilizados es el Optimum Interpolation (OI) SST v.2 de NOAA/NCEP (Reynolds et al. 2002), que combina datos *in situ* con mediciones satelitales en el rango infrarrojo para producir mapas semanales en una grilla de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  que luego son promediados para generar mapas mensuales<sup>2</sup>. En aquellas regiones donde los datos *in situ* son escasos y/o la nubosidad contamina las mediciones infrarrojas, como es común en el mar peruano, el resultado depende sustancialmente de los métodos de interpolación utilizado. Además, si no se identifica bien que existe contaminación por la nubosidad, puede resultar en un sesgo frío (Reynolds et al. 2002). El problema de la nubosidad se reduce si se cuenta con mediciones satelitales en el rango de las microondas, ya que estas no son afectadas por las nubes aunque sí por la lluvia, y productos como OSTIA combinan todas las anteriores (Donlon et al, 2011), aunque las mediciones de microondas son menos frecuentes que las infrarrojas y tienen menor resolución espacial (no mide bien cerca de las costas). ERSST. Otros productos como el ERSST v3b (Smith et al, 2008), que son los utilizados por el ENFEN para el cálculo del ICEN (ENFEN 2012, Takahashi et al 2014),<sup>29</sup>

<sup>2</sup> <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html>

se basan exclusivamente en datos *in situ* y métodos empíricos, lo cual tiene la ventaja de producir datos relativamente homogéneos en el tiempo y de largo plazo (desde el año 1854 para ERSST v3b) que es importante para estudios climáticos, pero que es evidentemente más dependiente de la distribución de los datos *in situ*.

Operacionalmente, los datos *in situ* son transmitidos a través del Sistema de Telecomunicación Global (GTS en inglés) de la Organización Meteorológica Mundial (WMO 2015) y es a través de este canal que estos son incorporados a productos como NCEP OI SST v2 y ERSST v3b. Si bien hay datos que son transmitidos casi en tiempo real, como los datos de las boyas TAO/TRITON, en general existe un retraso entre el momento de las mediciones y su disponibilidad. Esto hace que productos diarios como OSTIA tenga menos datos *in situ* disponibles que un producto semanal como NCEP OI SST v2 y este, a su vez, menos que productos mensuales como ERSST v3b. Pero aún así, en el caso de ERSST v3b, existe una versión preliminar que se produce al final de cada mes y una versión final producida un mes después, que incluyen más datos *in situ*.

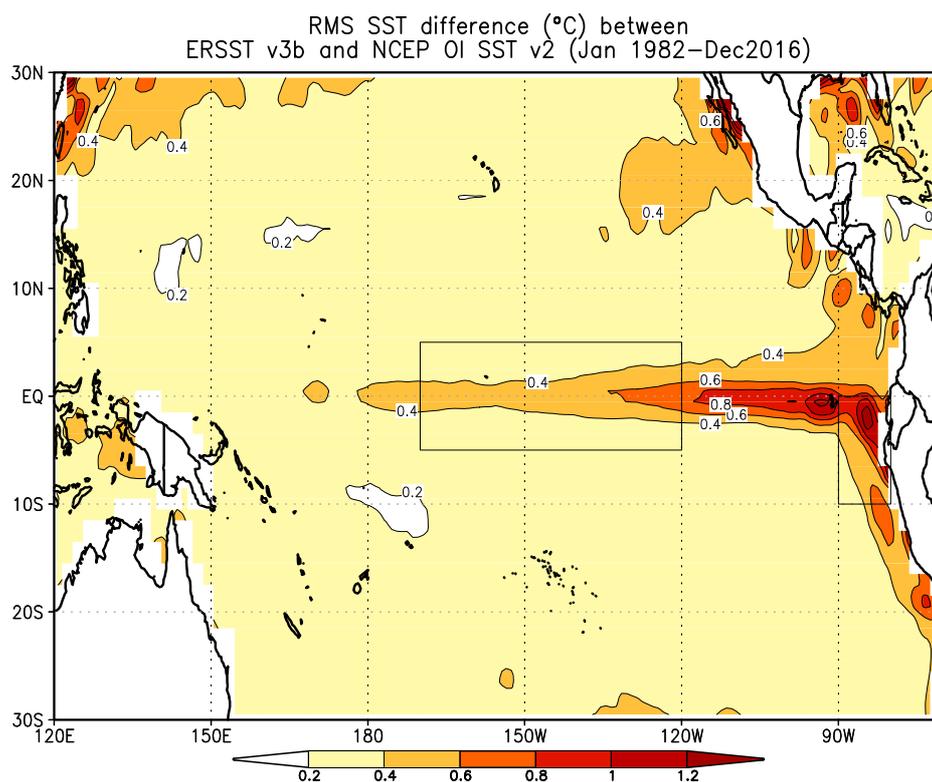
Si nuestro sistema observacional *in situ* fuera adecuado, tanto en cobertura espacial de las mediciones como en la transmisión oportuna, esperaríamos ver poca diferencia entre los productos NCEP OI SST v2 y ERSST v3b. Sin embargo, en la Figura A1 vemos que, en el Pacífico tropical, la diferencia cuadrática media entre estos dos productos a escala mensual, la cual mide la magnitud típica en términos absolutos de esta diferencia, es máxima en las zonas de afloramiento costero y ecuatorial, excediendo 1°C frente a la costa norte del Perú y sur de Ecuador. Así, esta diferencia es el doble en la región Niño 1+2 (0.39°C) que en la región Niño 3.4 en el Pacífico central (0.21°C). Esto probablemente se debe tanto a la escasez de datos *in situ* y a la persistencia de nubes bajas, como a la fuerte variabilidad temporal en el régimen de afloramiento en el Pacífico asociado a las ondas Kelvin interestacionales y forzantes de vientos locales (Takahashi et al., 2014).

Si bien en general no es posible saber, solo mirando estos dos productos, cuál está más cerca de la realidad ya que los datos satelitales también tienen errores, el ENFEN contrasta estos con otra información, como mediciones de cruceros o estaciones costeras, así como la coherencia de las variaciones de la TSM con otros factores como la presencia de ondas Kelvin o los cambios en los vientos. Un ejemplo reciente es el rápido calentamiento en el Pacífico oriental en enero del 2017 que dio inicio a El Niño costero en curso (ENFEN, 2017), que según los datos de ERSST v3b estuvo asociado a una anomalía mensual de +0.47°C en enero y +0.82°C en febrero, pero que según OI SST v2 más bien fueron de +1.02°C y +1.57°C, es decir aproximadamente el doble (Figura A2c,d). Por otro lado, el valor de diciembre de 2016 fue mayor según ERSST v3b (+0.62°C) que en NCEP OI SST (+0.32°C). La disminución de diciembre a enero y el bajo valor de enero indicados por ERSST es inconsistente con las otras observaciones analizadas por el ENFEN, por lo que en esta ocasión el dato de OI SST es considerado más realista. Por ejemplo, la subestimación por parte de ERSST no le permite identificar la presencia de aguas con TSM mayor que 26°C en enero (Figura A2a,b) que fue relevante para la formación de la segunda banda de la Zona de Convergencia Intertropical, o de 28°C en febrero (Figura A3a,b). Un resultado práctico de esta situación es que el ICEN estaría subestimado tanto en enero como probablemente febrero de 2017. Ahora bien, si bien esta discrepancia entre los dos productos es consistente con la diferencia cuadrática media histórica y se pueden encontrar casos donde más bien ERSST produjo anomalías de +1°C mientras que OI SST fue prácticamente 0°C, la discrepancia de febrero es de las mayores registradas en condiciones cálidas (Figura A4a). Por otro lado, en el Pacífico<sub>30</sub> central, la dispersión entre los productos es generalmente pequeña (Figura A4b).

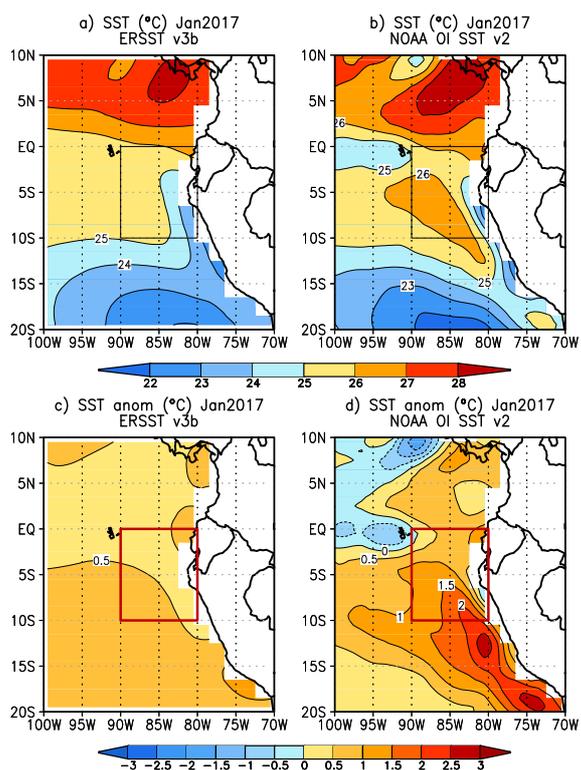
Es probable que la subestimación frente a Perú por ERSST v3b en el año 2017 esté asociado a los pocos datos *in situ* disponibles (Smith et al 2008). Si bien es posible desarrollar productos más confiables, como podría ser un producto mensual que incluya también mediciones satelitales de microondas, en general la limitación histórica que tenemos en el Pacífico Sudoriental no es la falta de mediciones sino que estas no son compartidas oportunamente e incorporadas en la preparación de los productos internacionales utilizados en el Perú. Esta no es tanto un problema técnico sino de decisión política y cooperación entre las instituciones relevantes en los países de la región y, como se discute en el reporte reciente del proyecto “Tropical Pacific Observing System 2020” (TPOS 2020) ya se están logrando algunos avances a través de mecanismos ya existentes (ver sección 7.7.2 en Cravatte et al, 2016), pero mientras los datos no fluyan sin trabas, no contaremos con un sistema observacional óptimo y seguiremos con incertidumbres incluso en variables críticas como la TSM.

## Referencias

- Donlon, C. J., M. Martin, J. D. Stark, J. Roberts-Jones, E. Fiedler and W. Wimmer, 2011: The Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice analysis (OSTIA). *Remote Sensing of the Environment*. doi: 10.1016/j.rse.2010.10.017 2011.
- ENFEN, 2012: Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú, Nota Técnica ENFEN.
- ENFEN, 2017: Comunicado Oficial ENFEN N°03-2017.
- Minnett, P. and Kaiser-Weiss, A., 2012: Near-surface oceanic temperature gradients. GHRSSST Discussion document, <https://www.ghrsst.org/wp-content/uploads/2016/10/SSTDefinitionsDiscussion.pdf>
- Reynolds, R.W., N.A. Rayner, T.M. Smith, D.C. Stokes, and W. Wang, 2002: An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J. Climate*, 15, 1609-1625.
- Smith, T.M., R.W. Reynolds, T.C. Peterson, and J. Lawrimore, 2008: Improvements NOAAs Historical Merged Land–Ocean Temp Analysis (1880–2006). *Journal of Climate*, 21, 2283–2296.
- Takahashi, K., Reupo, J., K. Mosquera, 2014: El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización, *Bol. El Niño* 1 (2), 8-9.
- Takahashi, K., Martínez, R., Montecinos, A., Dewitte, B., Gutiérrez, D., Rodríguez-Rubio, E., 2014: White Paper #8a Regional applications of observations in the eastern Pacific: Western South America, *Report of the Tropical Pacific Observing System 2020 Workshop (TPOS 2020)*, La Jolla, United States, 27-30 January 2014, GCOS report 184, vol. 2, 171-205.
- Cravatte, S., W. S. Kessler, N. Smith, S. E. Wijffels, and Contributing Authors, 2016: *First Report of TPOS 2020*. GOOS-215, 200 pp, <http://tpos2020.org/first-report/>
- WMO 2015: *Manual on the Global Telecommunication System. Annex III to the WMO Technical Regulations*, 2015 edition, WMO-N°386.



**Figura A1.** Diferencia cuadrática media en temperatura superficial del mar (°C) entre los productos mensuales NCEP OI SST v2 y ERSST v3b para el periodo 1982-2016. Las regiones Niño 3.4 (Pacífico central) y Niño 1+2 (Pacífico oriental) se indican con rectángulos.



**Figura A2.** Temperatura superficial del mar a,b) absoluta y c,d) su anomalía para el mes de enero de 2017 según los productos a,c) ERSST v3b y b,d) NCEP OI SST v2. Las anomalías son relativas al periodo 1981-2010 usando el promedio de los datos ERSST v3b. Las región Niño 1+2 se indica con rectángulos.

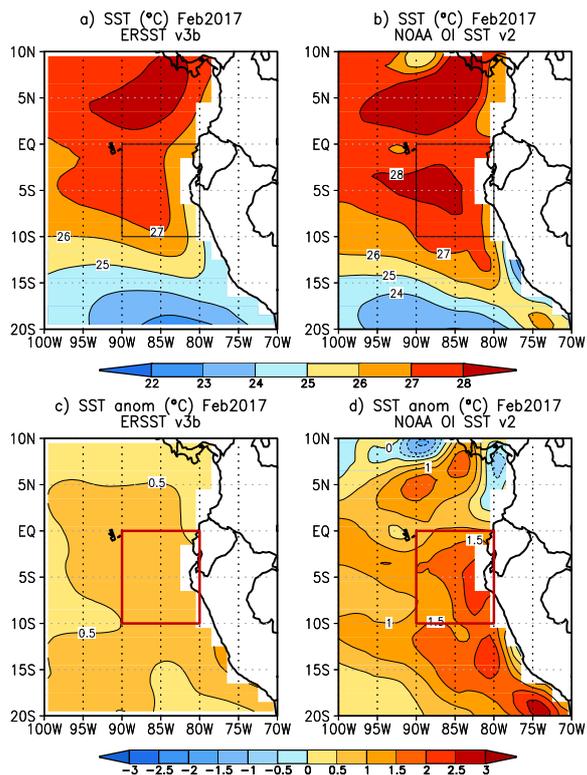
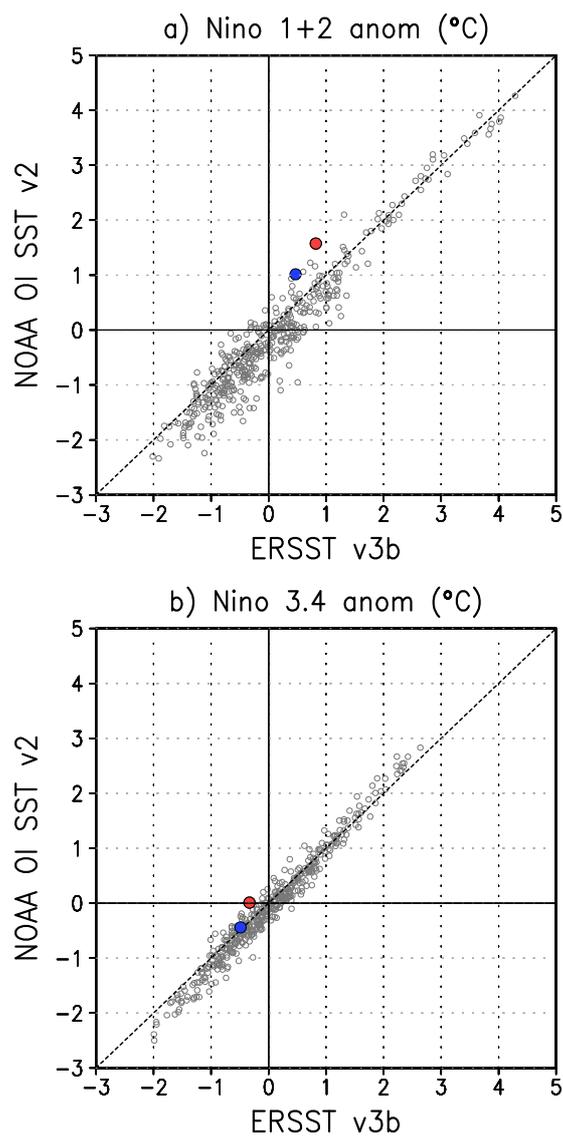


Figura A3. Similar a la Figura 2 pero para febrero 2017 (datos preliminares).



**Figura A4.** Diagramas de dispersión de la anomalía de la temperatura superficial del mar mensual entre enero de 1982 y enero de 2017 de los productos ERSST v3b y NCEP OI SST v2 en las regiones a) Niño 1+2 y b) Niño 3.4. Las anomalías son relativas al periodo 1981-2010 usando el promedio de los datos ERSST v3b. El valor de enero y febrero de 2017 se muestra en azul y rojo, respectivamente.