

**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/El Niño-IGP/2017-01

08/02/2017

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 diciembre las condiciones climáticas de la costa peruana fueron cálidas débiles, con el valor del ICEN de $+0.43^{\circ}\text{C}$. Los valores temporales del ICEN (ICENTmp) indican condiciones Cálidas Débiles para los meses de enero y febrero 2017. Para el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA de diciembre 2016 corresponde a condiciones frías débiles, mientras que el valor estimado para el mes de enero 2017 corresponde a condiciones neutras.

Para el resto del verano (hasta marzo 2017), seis de los siete modelos numéricos internacionales de NMME con condiciones iniciales del mes de febrero 2017, pronostican condiciones Cálidas Débiles en el Pacífico oriental, además de un refuerzo de la Zona de Convergencia Intertropical frente a Perú y debilitamiento de la ZCIT al norte del Ecuador. Para el mes de abril de los siete modelos cuatro pronostican condiciones cálidas moderadas, dos modelos condición cálida débil y un modelo condición neutra. Para la región del Pacífico central, para el resto del verano los modelos predicen condiciones generalmente neutras. Para el mes de abril, cinco de los siete modelos indican condiciones neutras y dos modelos indican condiciones cálidas débiles.

Además, hay evidencia de que una onda Kelvin cálida, aparentemente asociada a las anomalías de vientos del oeste en el Pacífico Oriental, arribó a la costa durante el mes de enero, lo cual podría haber contribuido al calentamiento superficial observado. Por otro lado, la onda Kelvin cálida, producto de la reflexión de una onda Rossby cálida en el extremo occidental, podría llegar a partir de mediados de febrero. Por otro lado, los pulsos de viento del este recientes en el Pacífico central-occidental, podrían aminorar la magnitud de esta onda Kelvin cálida.

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 del producto, 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 enero 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 diciembre de 2016. Los valores se muestran en la Tabla 1.

Año	Mes	ICEN (°C)	Condiciones costeras del Mes
2016	Setiembre	0.14	Neutra
2016	Octubre	0.22	Neutra
2016	Noviembre	0.37	Neutra
2016	Diciembre	0.43	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 diciembre indica condición **Cálida Débil**. El valor de 0.43 es sustancialmente menor al ICEN_{tmp} previamente estimado para este mismo mes de 0.77, y esto se debe al sorprendentemente valor bajo (0.38°C) de la anomalía mensual de ERSST v3b para enero 2017, lo cual contrasta con el valor de aproximadamente 1°C calculado usando los datos semanales NOAA OI SST o los datos diarios de OSTIA. Además, este valor de 0.38°C en enero implica una reducción relativa al valor de diciembre de 2016 (0.60°C), contradiciendo la observación de un súbito calentamiento en la segunda quincena de enero en la región Niño 1+2 (Fig. 7) como en estaciones costeras de Imarpe y DHN. Una posible explicación a esta situación es que, debido a que los datos más recientes de ERSST v3b son estimados preliminares utilizando los datos de barcos y otros in situ disponibles en el momento y no usa datos satelitales, quizás en enero los datos disponibles fueron demasiado escasos para una buena estimación. Los datos de ERSST v3b tras unas semanas luego son mejorados conforme más datos de mediciones van llegando y es probable que más adelante el valor de enero aumente sustancialmente. Esta situación de una aparentemente errada estimación no es común, pero resalta la necesidad de mayor número de mediciones in situ de calidad (ej. cruceros oceanográficos) que sean transmitidas en tiempo real.

Para los meses más recientes se generan versiones preliminares y temporales de este índice (ICEN_{tmp}) combinando ERSST con otras fuentes.

Año	Mes	ICENTmp	Condiciones costeras del mes	Fuente
2017	Enero	0.74	Cálida Débil	2016/12-2017/01: ERSST; 2017/02: NMME
2017	Febrero	0.78	Cálida Débil	2017/01: ERSST; 2017/02-03:NMME

Tabla 2. Estimados preliminares del ICEN (ICENTmp)

Según estos valores del ICENTmp, se estima que en enero y febrero 2017 las condiciones serían CÁLIDAS DÉBILES. El ICENTmp de enero será confirmado cuando se disponga del valor de ERSST para el mes de febrero 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 diciembre de 2016, es de -0.73°C , correspondiente a condiciones Frías Débiles¹, siendo el quinto mes con condiciones frías débiles, e indicando la continuación de La Niña en el Pacífico central al menos hasta diciembre.

Año	Mes	ONI (°C)	Categoría
2016	Setiembre	-0.75	Fría Débil
2016	Octubre	-0.84	Fría Débil
2016	Noviembre	-0.84	Fría Débil
2016	Diciembre	-0.73	Fría Débil

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 enero y febrero 2017 (Tabla 4). De cumplirse esto, el evento La Niña débil en el Pacífico central habría concluido en diciembre (inclusive), por lo que el verano se consideraría neutral.

Año	Mes	ONItmp	Condiciones del mes	Fuente
------------	------------	---------------	----------------------------	---------------

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).

2017	Enero	-0.46	Neutra	2016/11-12: ERSST; 2017/01: NMME
2017	Febrero	-0.14	Neutra	2016/12: ERSST; 2017/01-02: NMME

Tabla 4. Estimados preliminares del ONI (ONItmp)

Diagnóstico del Pacífico Ecuatorial

En la región Niño 3.4 las anomalías de la TSM (IR, MW, OSTIA) fueron en promedio de $-0,35^{\circ}\text{C}$, dentro del rango de condiciones neutras (ver Figura 7a). Sin embargo, la actividad convectiva en el océano Pacífico ecuatorial central continuó mostrándose anómalamente reducida, lo que junto con los vientos anómalos del este, indican el acoplamiento de la atmósfera a las condiciones oceánicas, similares a las de un evento La Niña débil 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 $+0^{\circ}\text{C}$ hasta casi $+2.9^{\circ}\text{C}$ y $+2.0^{\circ}\text{C}$ 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 levemente mayores al mes anterior. En el Pacífico oriental ecuatorial (al este de 140°W) persistieron ligeras anomalías de vientos del oeste (según datos de TAO). Desde finales del mes de enero se viene presentando un nuevo pulso de vientos del este en el Pacífico central (160°E - 160°W), que podría generar una nueva onda Kelvin fría (Fig 13). El contenido de calor oceánico ecuatorial y la inclinación de la termoclina se presentaron alrededor de lo normal, aunque ligeramente positivas (Figura 4). Por otro lado, la termoclina en el Pacífico oriental, en 110°W mostró anomalías positivas pero cercanas a sus condiciones normales, en 95°W se observó condiciones próximas a su normal (Figuras 5 y 6).

Los datos de altimetría satelital (Fig. 12d) y de altura dinámica de TAO (Fig. 8c) indican anomalías positivas en el nivel del mar en el extremo central oriental en enero. Para el caso de la profundidad de la termoclina, según la información de ARGO, se observaron anomalías positivas débiles (alrededor de 15 metros en promedio) en la región oriental. Esto también se observa en la información de las boyas de TAO (Figura 12b).

Lo anterior podría haber sido causado por una onda Kelvin cálida forzada por las anomalías de vientos del oeste en el Pacífico oriental, pero esto sólo se aprecia con el modelo oceánico lineal forzado experimentalmente con vientos del *reanalysis* de NCEP/NCAR (Fig 13e), mas no con el modelo forzado con ASCAT (Fig. 12e). Por otro lado, si se considera el modelo con una termoclina promedio inclinada y forzado con ASCAT también muestra una señal positiva en el Pacífico oriental en enero, aunque no es claro si se debe al forzante de vientos del oeste en el Pacífico oriental o a la amplificación de una débil señal de onda Kelvin cálida debido a la somerización de la termoclina promedio.

Pronóstico a corto plazo con modelo de ondas y observaciones

Según la propagación observada de la onda Kelvin cálida, que se habría formado como consecuencia de la reflexión de las ondas Rossby cálidas en el extremo occidental, se podría esperar que alcance el

extremo oriental a partir de mediados de febrero (Figura 12c).

El modelo lineal con profundidad de termoclina constante, forzado con esfuerzo de vientos de ASCAT y ajustado en magnitud para representar la variación de la termoclina, solo muestra la señal de dicha onda Kelvin cálida en el Pacífico Central pero esta señal, que llegaría a la costa entre febrero y marzo, se ve debilitada e incluso cancelada hacia el extremo oriental. Además, el modelo predice la llegada de una onda Kelvin fría a mediados de febrero, la cual se habría formado con un pulso de viento del este a inicios de enero. Finalmente, debido a la anomalía de viento del este al este de 180° a inicios del mes de febrero, el modelo indica la formación reciente de una Kelvin fría que arribaría a mediados de marzo (Fig 10a).

Por otro lado, el mismo modelo pero con termoclina variable, la cual es somera en la zona oriental, muestra en dicha región una señal de onda Kelvin cálida en enero (Figura 9a y 11a) que continuaría afectando la profundidad de la termoclina hasta mediados de febrero. Este modelo también predice una atenuación de la onda Kelvin cálida esperada entre febrero y marzo.

Sin embargo, existe incertidumbre en los datos utilizados para forzar estos modelos, así como en los modelos mismos, por lo que es posible que la onda Kelvin cálida no sea atenuada tanto como estos indican.

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 febrero indican en general condiciones cálidas para el resto del verano. Para el mes de marzo, 6 de 7 modelos indican condiciones cálidas débiles y 1 modelo indica condición cálida moderada. Para el mes de abril, 4 de 7 modelos indican condiciones cálidas moderadas, 2 modelos predicen condiciones cálidas débiles y 1 modelo condición neutra (Fig. 15). 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 agosto 2017, con magnitud moderada a partir de mayo. Si bien los pronósticos para marzo y abril inicializados en febrero son relativamente confiables, la barrera de predictibilidad introduce incertidumbre para los siguientes meses (Reupo y Takahashi, 2014).

Para el Pacífico central (Niño 3.4), 6 modelos de NMME inicializados en febrero predicen condiciones neutras para el mes de marzo y un modelo predice condiciones cálidas débiles. Para el mes de abril, se observan cinco modelos con condiciones neutras y dos modelos indican condiciones cálidas débiles (Tabla 5). A partir de mayo, 5 de 7 modelos predicen condiciones cálidas, pero en general esto debe tomarse con cuidado debido a la barrera de predictibilidad. Considerando 4 modelos inicializados en enero, se observa condiciones neutras para los meses de marzo y abril (Tabla 6 y Fig.15)

Se hace notar que el NOAA CPC, quienes coordinan el proyecto NMME, presenta en su página web (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/NMME/current/plume.html>) una versión de los pronósticos de Niño 3.4 a la que aplican un ajuste basado en pronósticos previos (breve explicación en <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/NMME/current/plume.descr.html>). Esta tiene aproximadamente el efecto de reducir la amplitud de las anomalías, por lo que con el ajuste los pronósticos son menos fríos.

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, como en el pronóstico de lluvias de los modelos NMME para marzo (Fig. 20), el cual indica aumento de lluvias en la ZCIT al sur del ecuador extendiéndose a la costa norte de Perú, además de condiciones secas al norte del ecuador. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que en general los modelos climáticos tienden a sobre-estimar la ZCIT sur climatológicamente, lo cual podría tener impactos en los pronósticos. Por otro lado, los modelos pronostican la continuación de anomalías secas en el Pacífico central consistentes con La Niña en esta región.

Modelo	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS
CFS2		0.74	0.98	1.03	1.15	1.23	1.21	1.12
CMC1		0.64	0.58	0.38	0.44	0.54	0.63	0.69
CMC2		0.95	1.13	1.09	1.14	1.08	0.98	0.94
GFDL		0.77	0.82	0.81	1.07	1.24	1.24	1.08
NASA		0.85	0.96	1.02	1.33	1.74	1.97	1.95
GFDL_FLOR		0.72	0.88	1.11	1.35	1.46	1.39	1.27
NCAR_CCSM4		0.67	0.80	0.89	0.97	1.02	0.97	0.80
NMME		0.76	0.88	0.90	1.06	1.19	1.20	1.12
ICENtmp	0.74							

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

Modelo	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS
CFS2		0.02	0.74	0.80	0.94	1.02	1.12	1.14
CMC1		-0.11	0.12	0.17	0.22	0.34	0.49	0.64
CMC2		-0.02	0.28	0.45	0.56	0.77	0.94	1.05
GFDL		-0.24	0.09	0.42	0.74	1.07	1.38	1.56
NASA		-0.13	0.25	0.53	0.74	1.01	1.39	1.67
GFDL_FLOR		-0.31	-0.07	0.21	0.49	0.79	1.07	1.27
NCAR_CCSM4		-0.12	0.18	0.38	0.54	0.66	0.78	0.84
NMME		-0.13	0.23	0.42	0.60	0.81	1.02	1.17
ONItmp	-0.46							

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

Conclusiones:

1. El **ICEN para diciembre** de 2016 fue de 0.43 (**Cálida Débil**) y el **ICENTmp** para enero y febrero de 2017 **es 0.74 y 0.78**, respectivamente, ambos siendo condiciones **Cálidas Débiles**. El valor de ERSST v3b para enero utilizado para el cálculo del ICEN parece subestimar el calentamiento real.
2. En el Pacífico central, el ONI de diciembre (NDE) correspondió a condiciones frías débiles. El ONI estimado para enero y febrero corresponde a condiciones neutras, lo cual indicaría que La Niña habría concluido en diciembre (inclusive). La ATSM en la región Niño 3.4, durante este enero, ha fluctuado alrededor de los -0.3°C .
3. El contenido de calor oceánico ecuatorial y la inclinación de la termoclina se presentaron dentro de su variación normal, aunque ligeramente positivos.
4. La actividad convectiva en enero continuó mostrándose anómalamente reducida, similares a los de La Niña débil en el Pacífico central, consistente con la respuesta a las anomalías negativas del gradiente zonal de TSM en el Pacífico central.
5. 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).
6. Hay evidencia de que una onda Kelvin cálida, aparentemente asociada a las anomalías de vientos del oeste en el Pacífico Oriental, arribó a la costa durante el mes de enero, lo cual podría haber contribuido al calentamiento superficial observado.
7. Por otro lado, la onda Kelvin cálida, producto de la reflexión de una onda Rossby cálida en el extremo occidental, podría llegar a partir de mediados de febrero. Por otro lado, los pulsos de viento del este recientes en el Pacífico central-occidental, podrían aminorar la magnitud de esta onda Kelvin cálida y los modelos de propagación de ondas indican su atenuación en el Pacífico oriental.
8. La intensidad de la onda Kelvin cálida podría disminuir con la presencia de anomalías de viento del este ecuatoriales.
9. Para el Pacífico oriental (Niño 1+2), de los 7 modelos inicializados en febrero, 6 indican que el mes de marzo presentaría condiciones cálidas débiles y 1 condiciones cálidas moderadas. Para el verano (diciembre 2016-marzo 2017), los modelos en promedio predicen condiciones cálidas Débiles. En general, estos modelos predicen un reforzamiento de la ZCIT al sur del ecuador y debilitamiento al norte.
10. Para el el Pacífico central (Niño 3.4), los 8 modelos de NMME inicializados en febrero, para el mes de marzo 7 predicen condiciones neutras y un modelo condición cálida débil, para el mes de abril 6 modelos predicen condiciones neutras y 2 modelos condiciones cálidas

débiles. Para el verano, los modelos en promedio pronostican condiciones neutras. Considerando 4 modelos inicializados en enero predicen condiciones neutras para los meses de marzo y abril.

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 Peru. *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

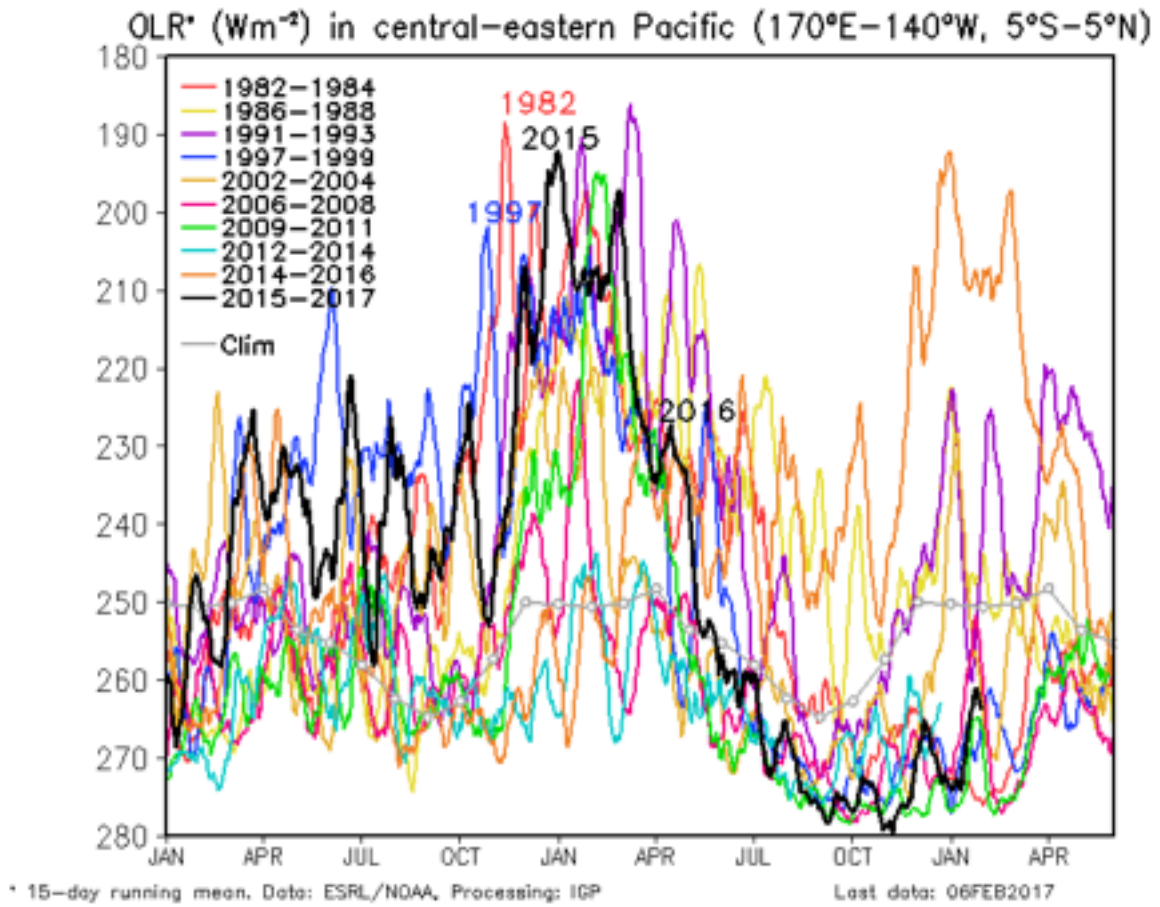


Figura 1. Actividad convectiva en el Pacífico Central Oriental ($170^{\circ}-140^{\circ}W$ y $5^{\circ}S-5^{\circ}N$) en base a la información de OLR (Outgoing Longwave Radiation). Elaboración: IGP

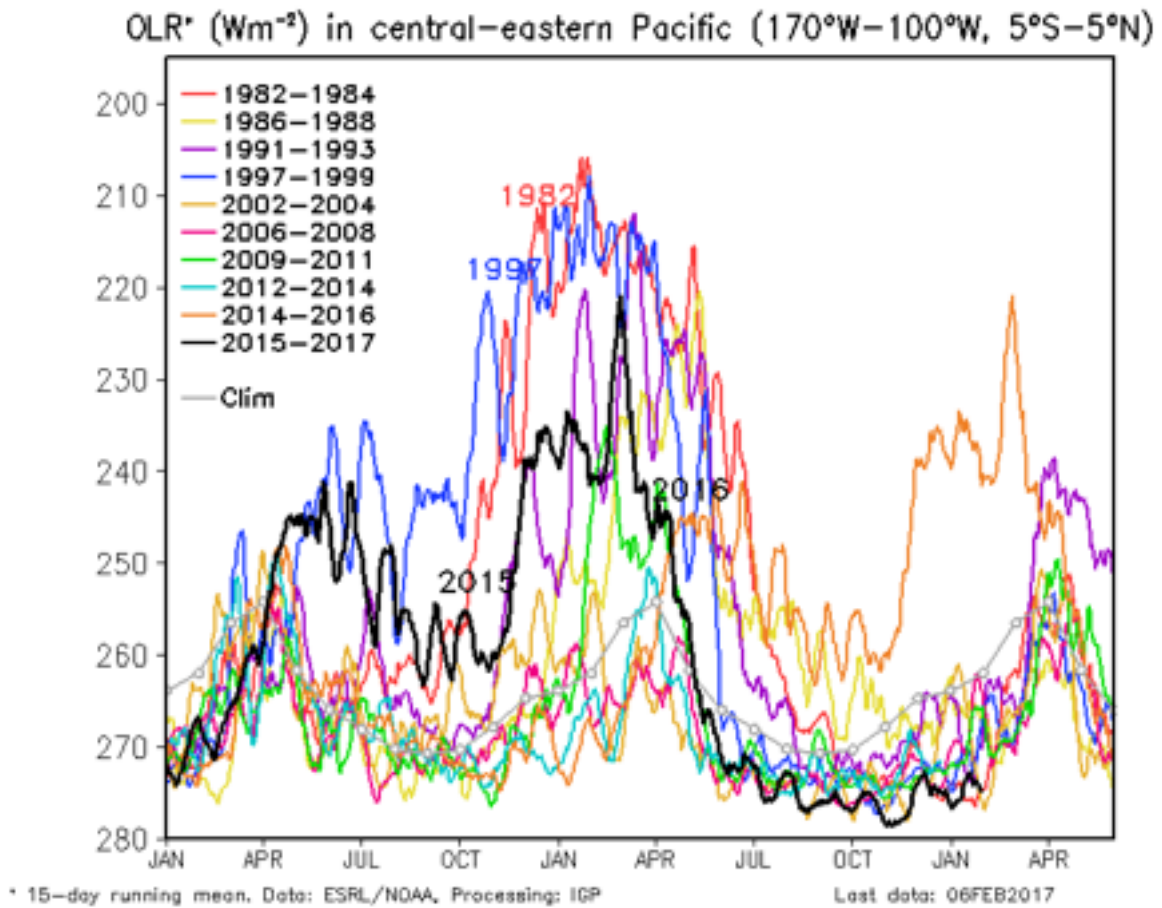


Figura 2. Actividad convectiva en el Pacífico Central Oriental ($170^{\circ}-100^{\circ}\text{W}$ y $5^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{N}$) en base a la información de OLR (Outgoing Longwave Radiation). Elaboración: IGP

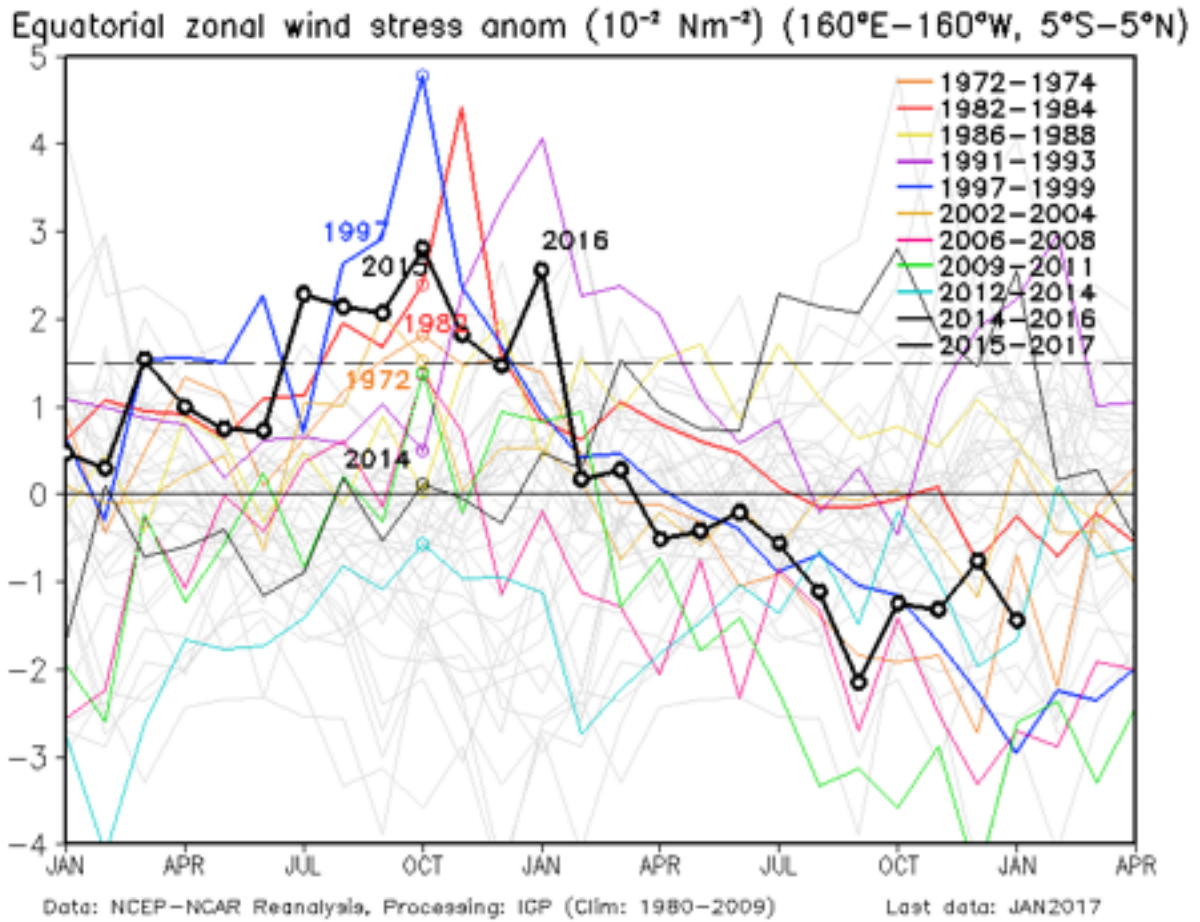


Figura 3. Promedio de la anomalía del esfuerzo de viento zonal en el Pacífico Ecuatorial ($160^{\circ}\text{E}-160^{\circ}\text{W}$ y $5^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{N}$) obtenido de los datos del reanálisis de NCEP-NCAR. Elaboración: IGP

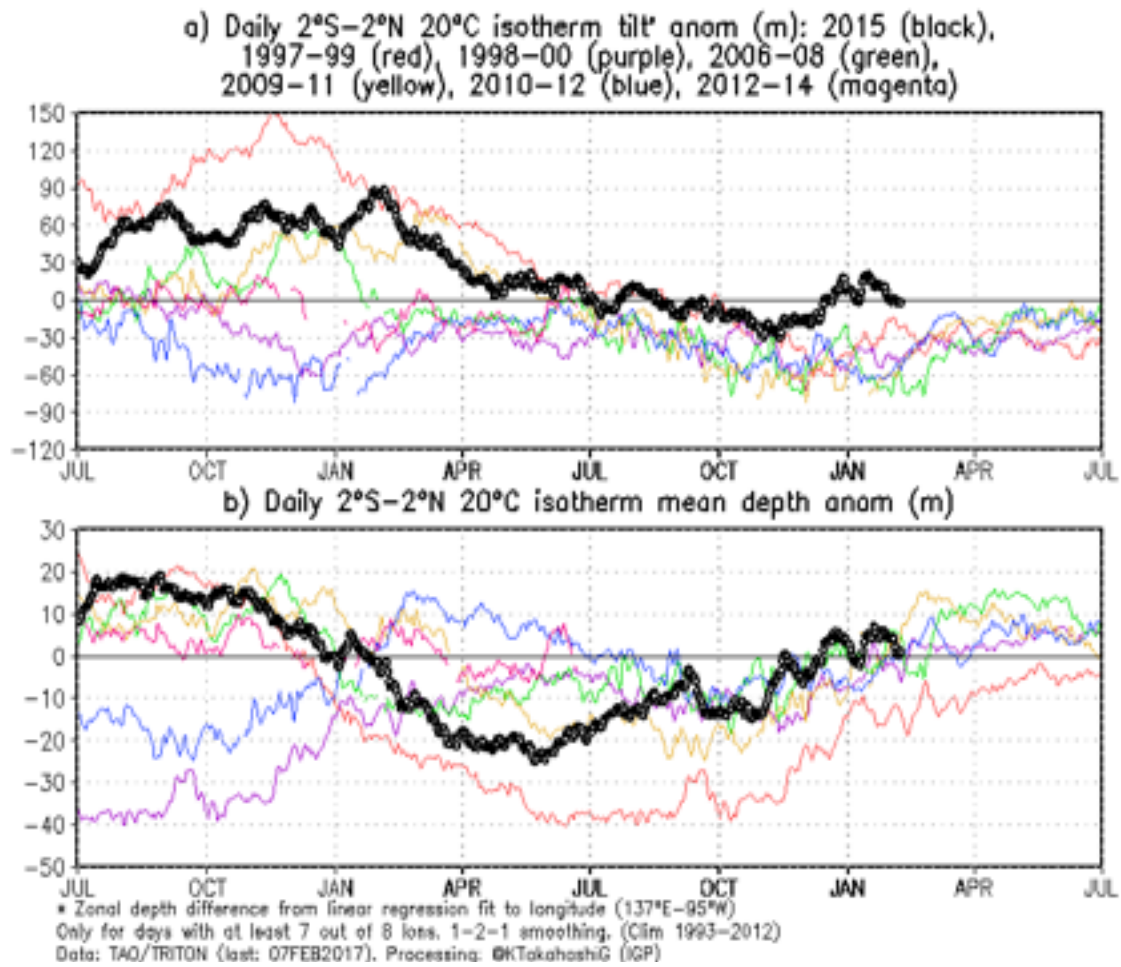


Figura 4 a) Inclinación de la termoclina en el Pacífico ecuatorial basado en los datos de las boyas TAO entre 2°N y 2°S. b) Contenido de calor en la región ecuatorial basado en los datos de las boyas TAO entre 2°N y 2°S. A diferencia de informes anteriores, se excluyen las boyas TRITON (Pacífico occidental)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

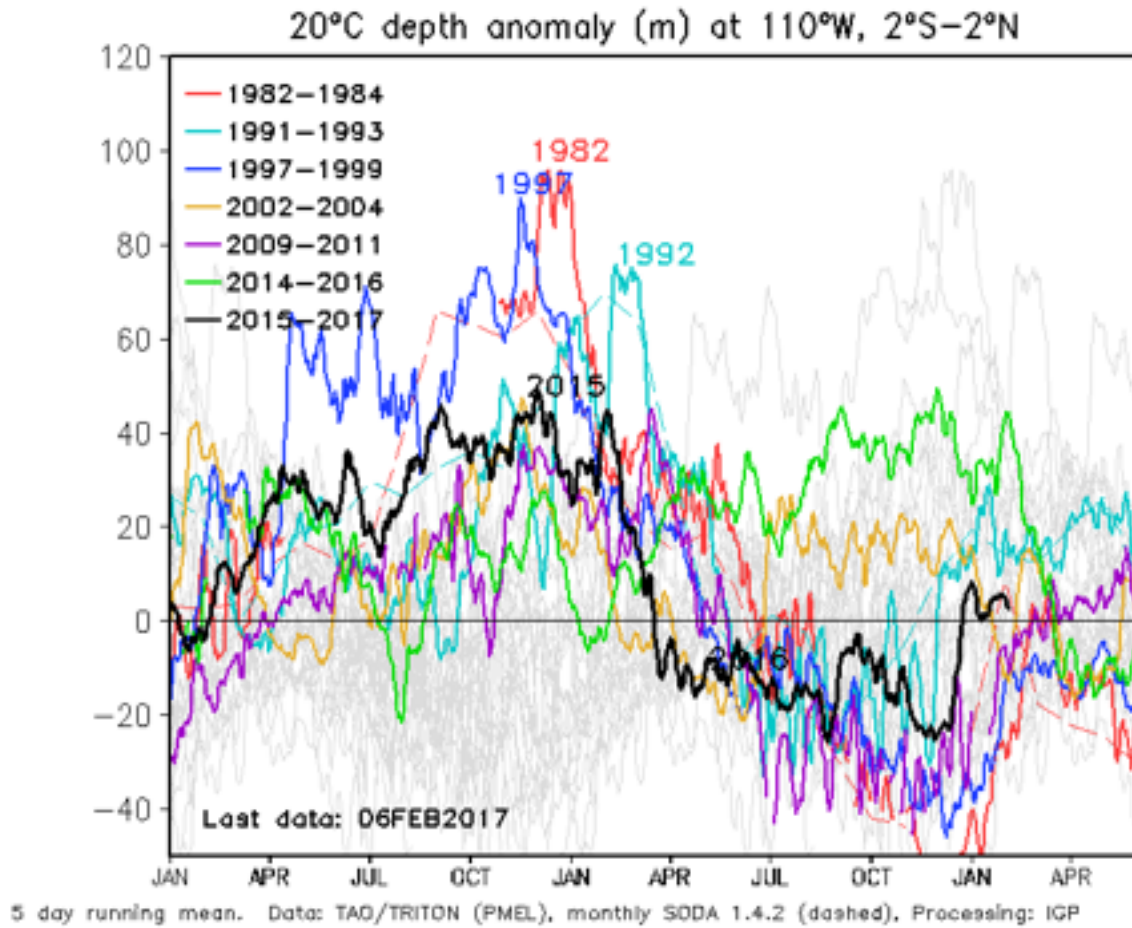


Figura 5. Anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C en la zona de 110°W en base a: i) la información de las boyas de TAO en 110°W y entre 2°S y 2°N; y ii) SODA. Elaboración: IGP

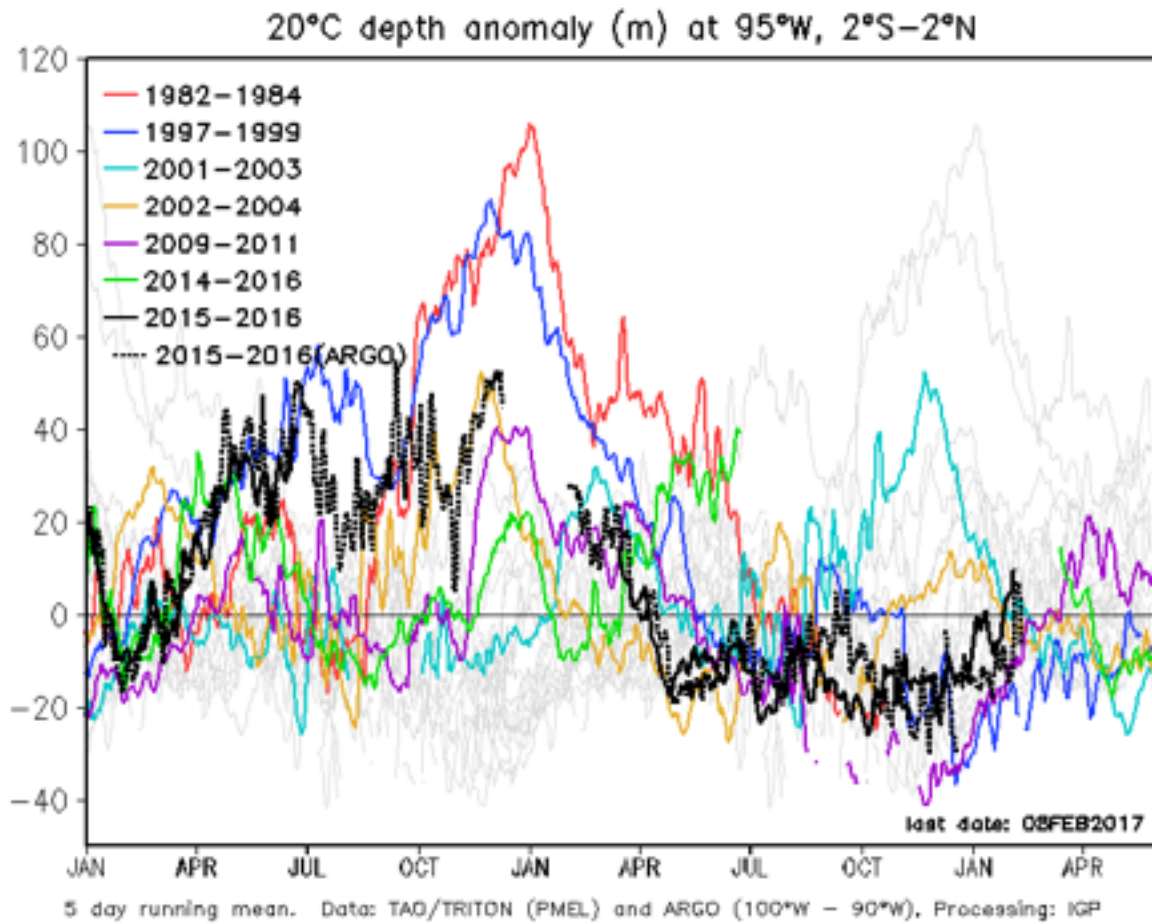


Figura 6. Anomalia de la profundidad de la isoterma de 20°C en la zona de 95°W en base a: i) la información de las boyas de TAO en 95°W y entre 2°S y 2°N; y ii) los flotadores de ARGO entre 100°-90°W y 2°S-2°N. Elaboración: IGP

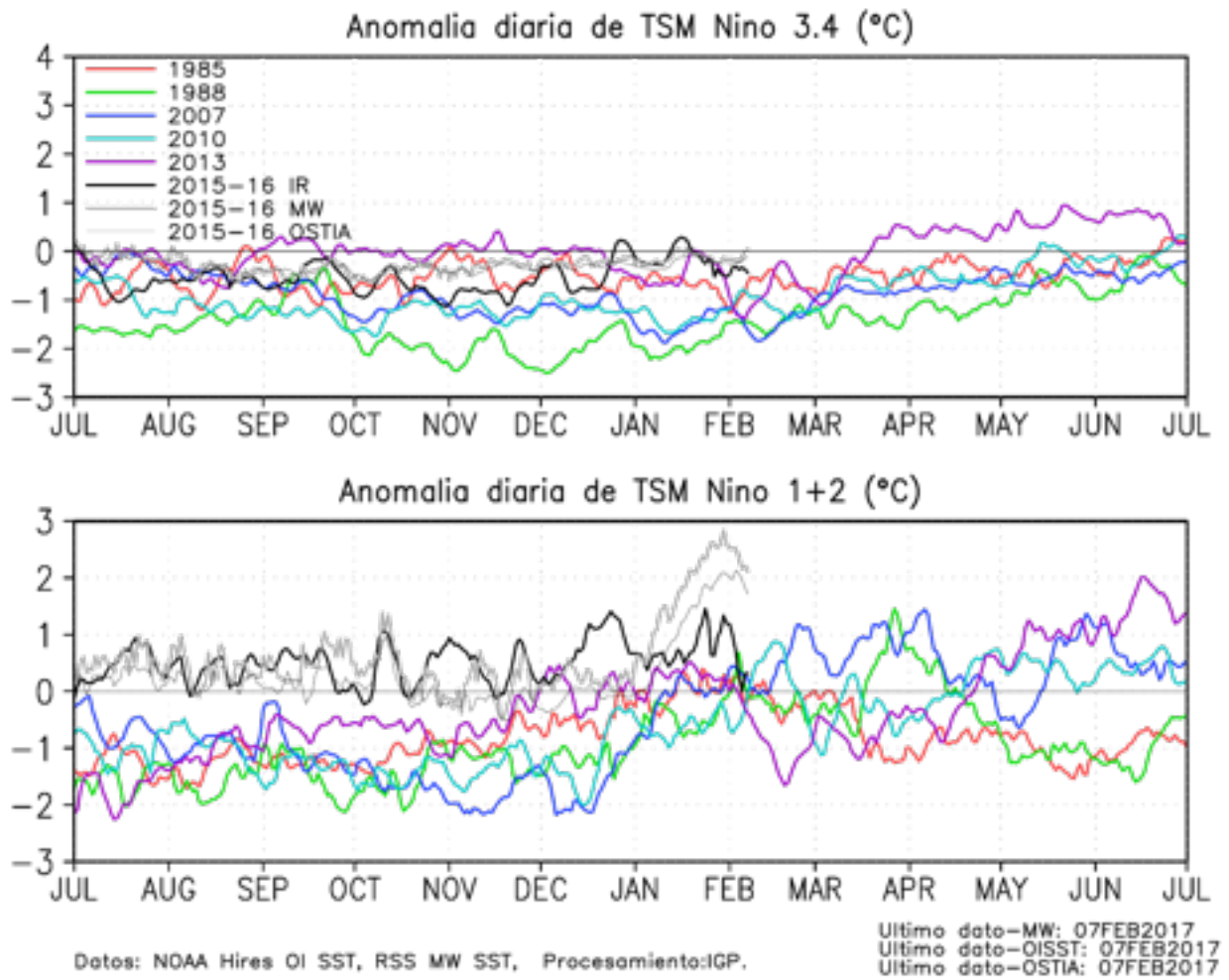


Figura 7. Series de tiempo de la anomalía diaria de la TSM en la región Niño 3.4 (arriba) y en la región Niño 1+2 (abajo). Las líneas en color negro (gruesa), gris y negro (fina) indican la evolución de la anomalía de la TSM en el presente año usando información infrarroja (IR), microondas (MW) y del 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

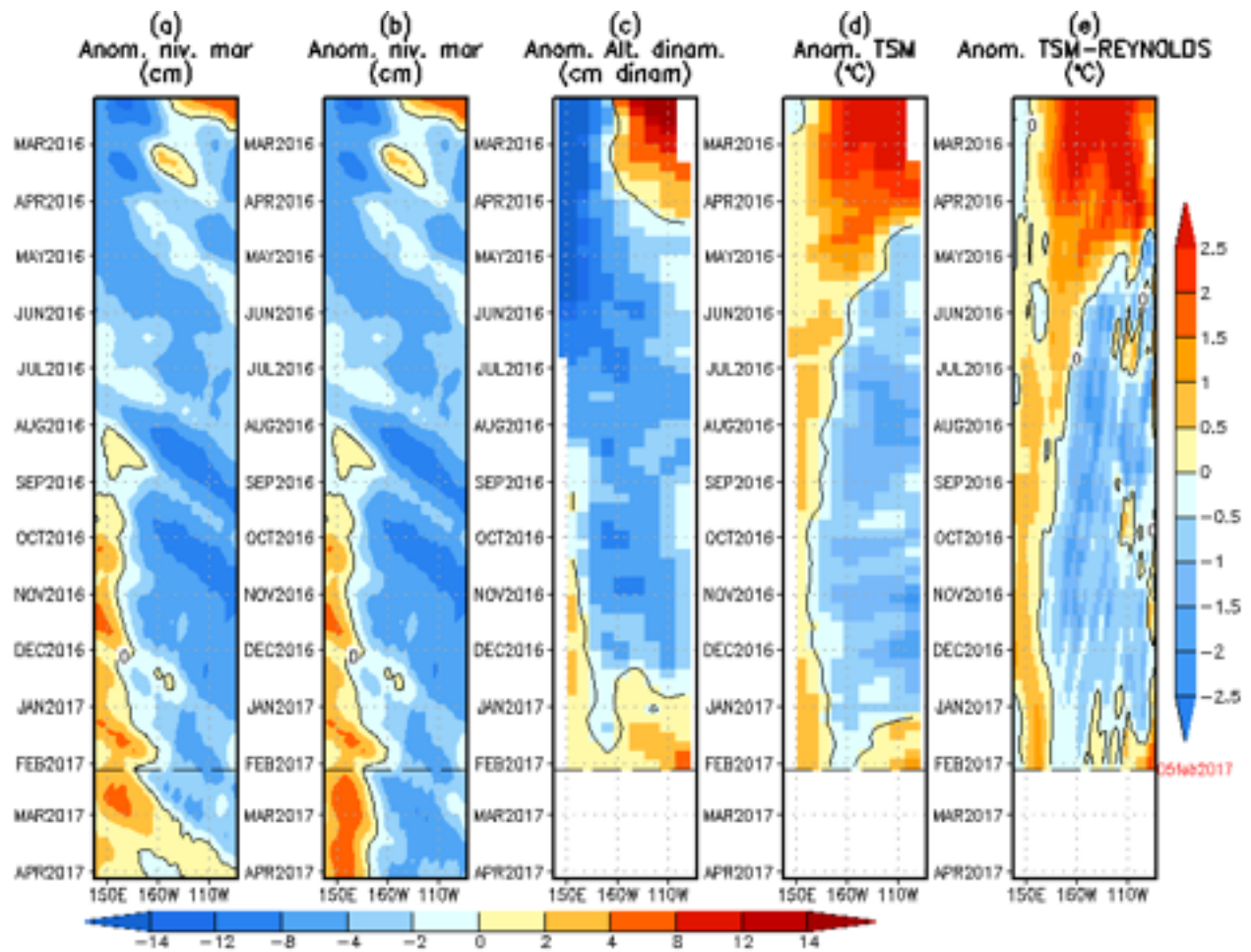


Figura 8. Anomalías (a y b) del nivel medio del mar simulado con LOM1 (termoclina uniforme), (c) de la altura dinámica (TAO), (d y e) de la temperatura superficial del mar observada de TAO y Reynolds, respectivamente, en la región ecuatorial (2°S y 2°N). En (a) y (b) la línea cortada en color negro, 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).

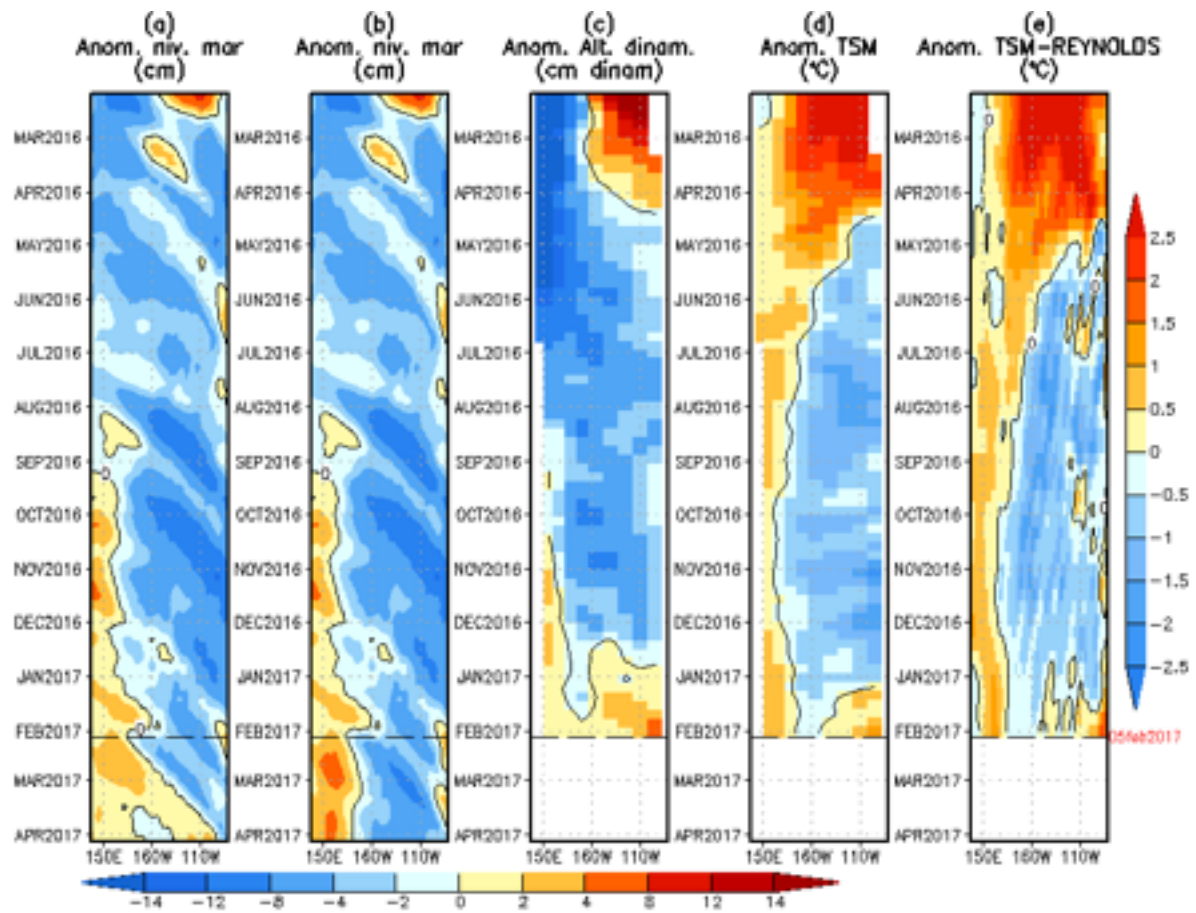


Figura 9. Similar a la Fig. 8 pero para LOM2 (termoclina variable).

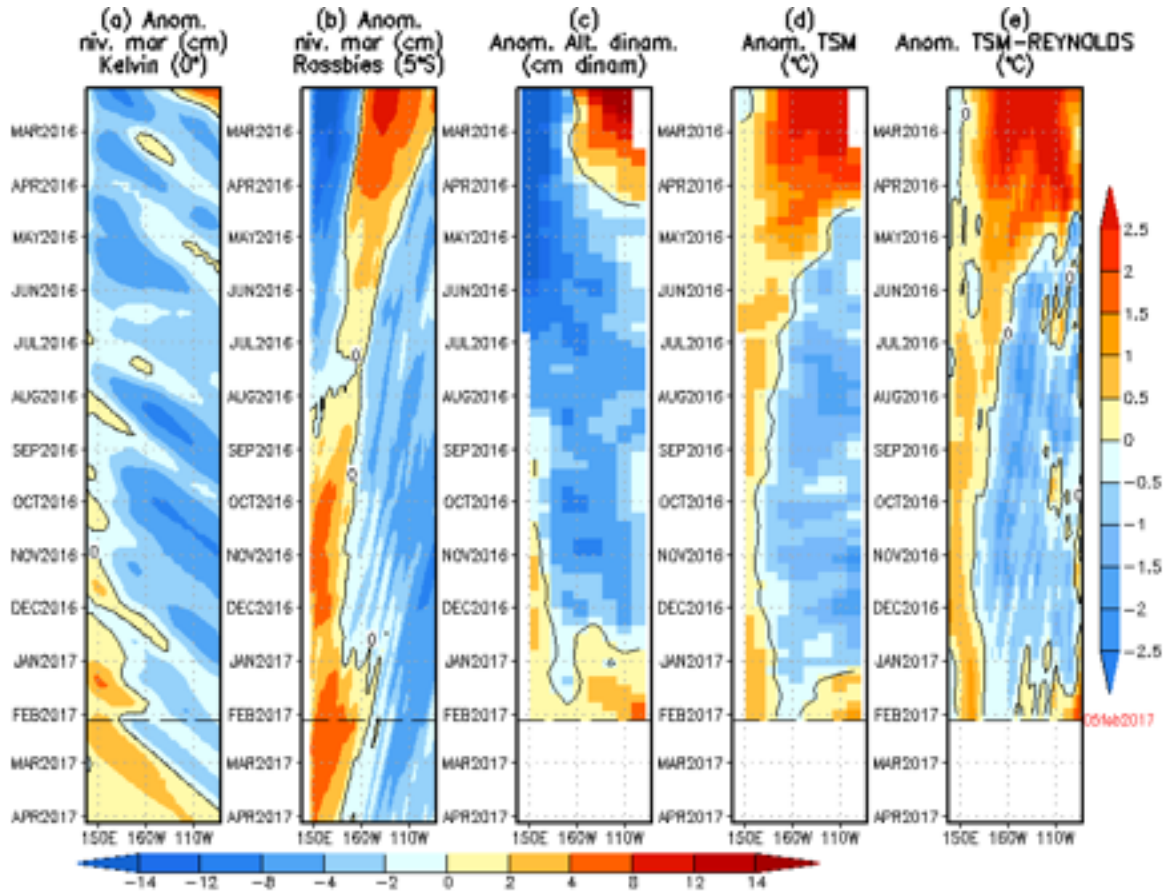


Figura 10. (a) Contribución de la Onda Kelvin al nivel del mar y (b) Contribución de la onda Rossby al nivel del mar en 5°N obtenida de LOM1a. (c) anomalía de la altura dinámica (TAO), (d) y (e) anomalía de la temperatura superficial del mar observada de TAO y Reynolds, respectivamente en la región ecuatorial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

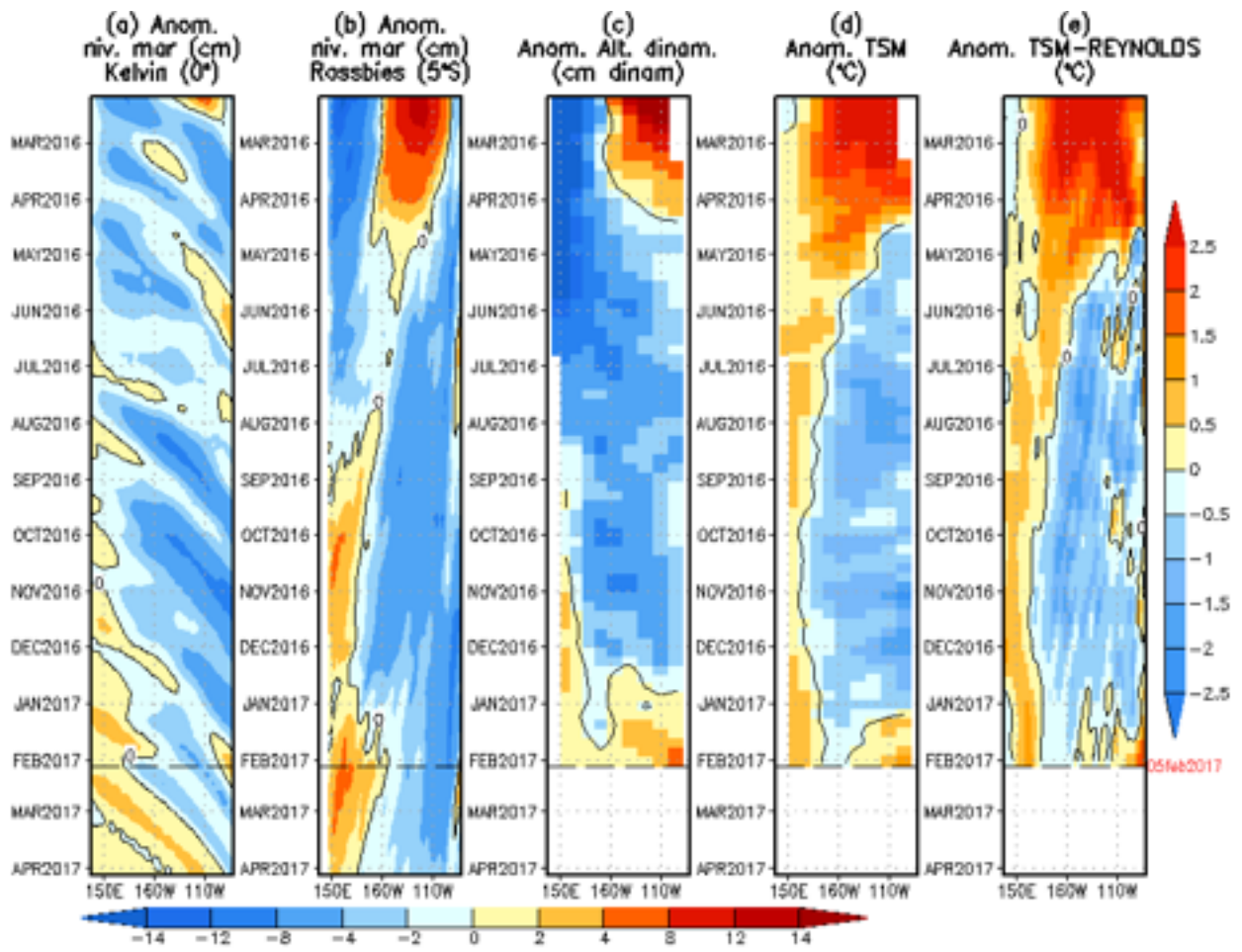


Figura 11. (a) Igual que la Figura 10, pero para LOM2a.

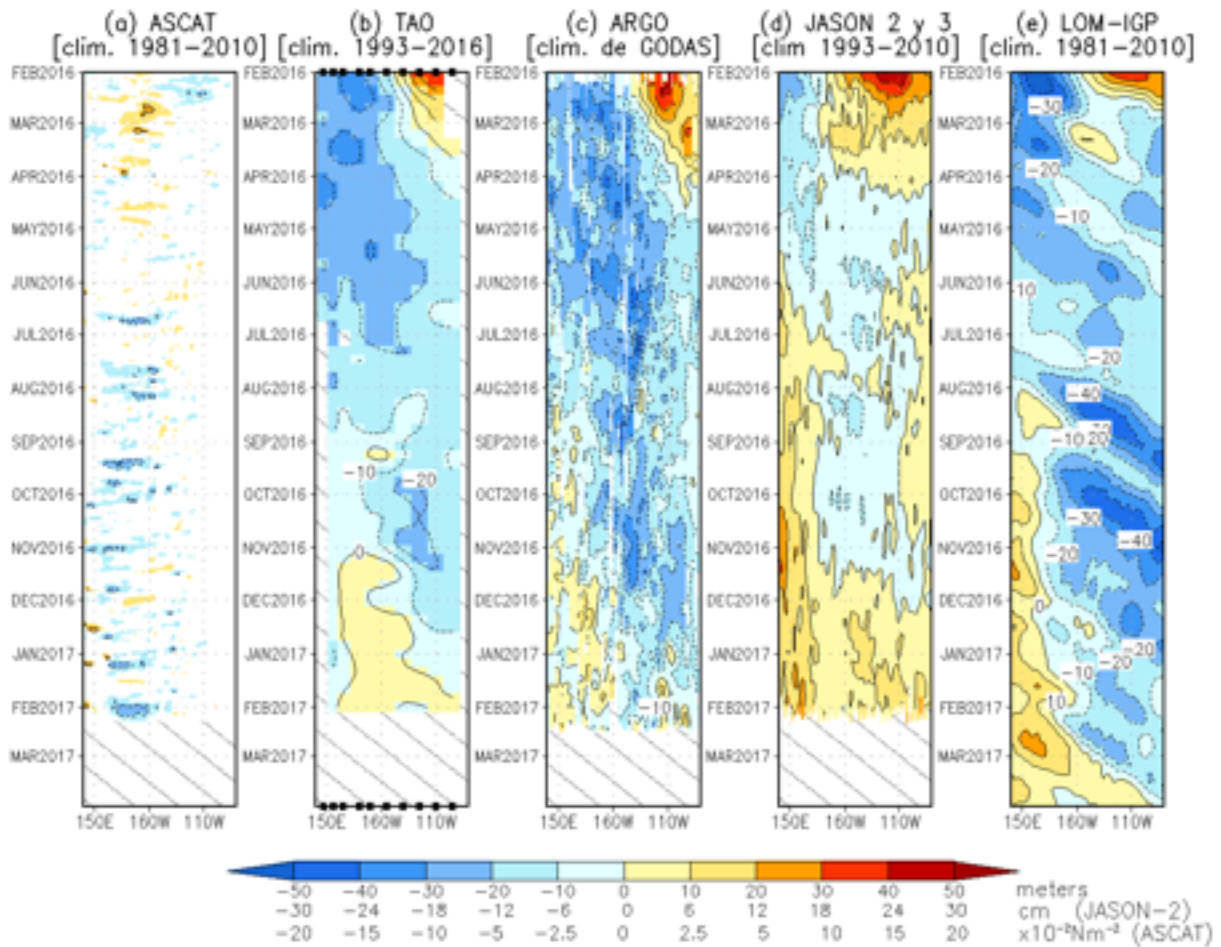


Figura 12. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO (b) y los derivadores de Argo (c), datos del nivel del mar de JASON-2 (d). Finalmente, en (e) se muestra la anomalía de la profundidad de la termoclina 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)

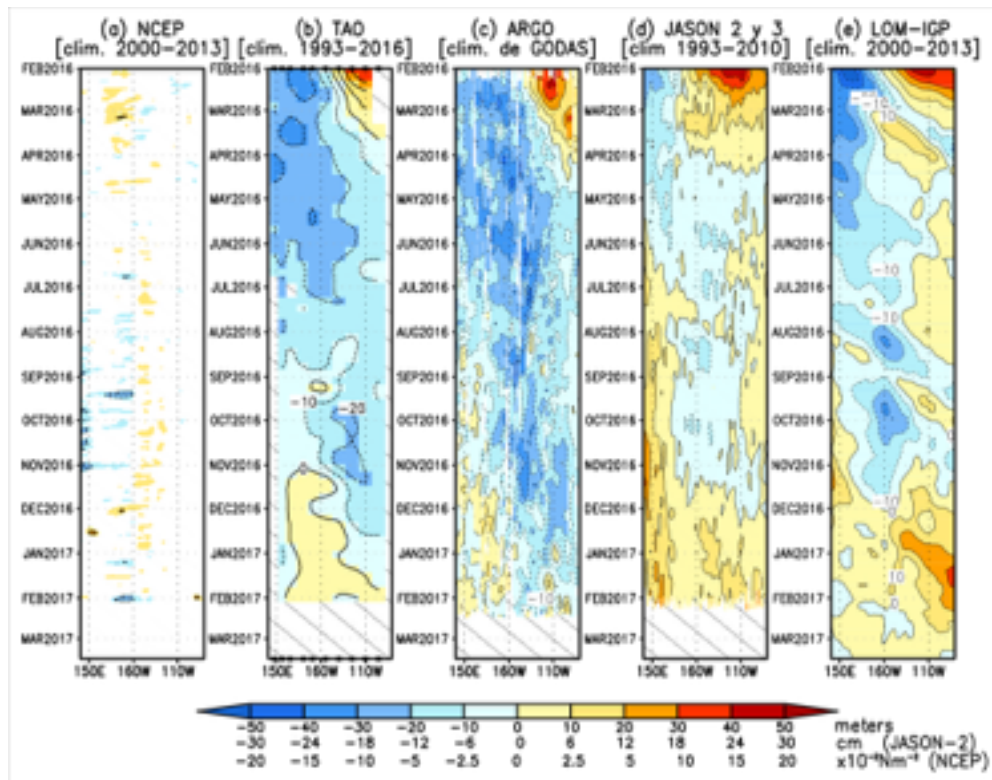


Figura 13. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO (b) y los derivadores de Argo (c), datos del nivel del mar de JASON-2 (d). Finalmente, en (e) se muestra la anomalía de la profundidad de la termoclina calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por NCEP, y tau=0 para el pronóstico). Las líneas diagonales representan una propagación hacia el este con velocidad de 2.6 m/s. (Elaboración: IGP)

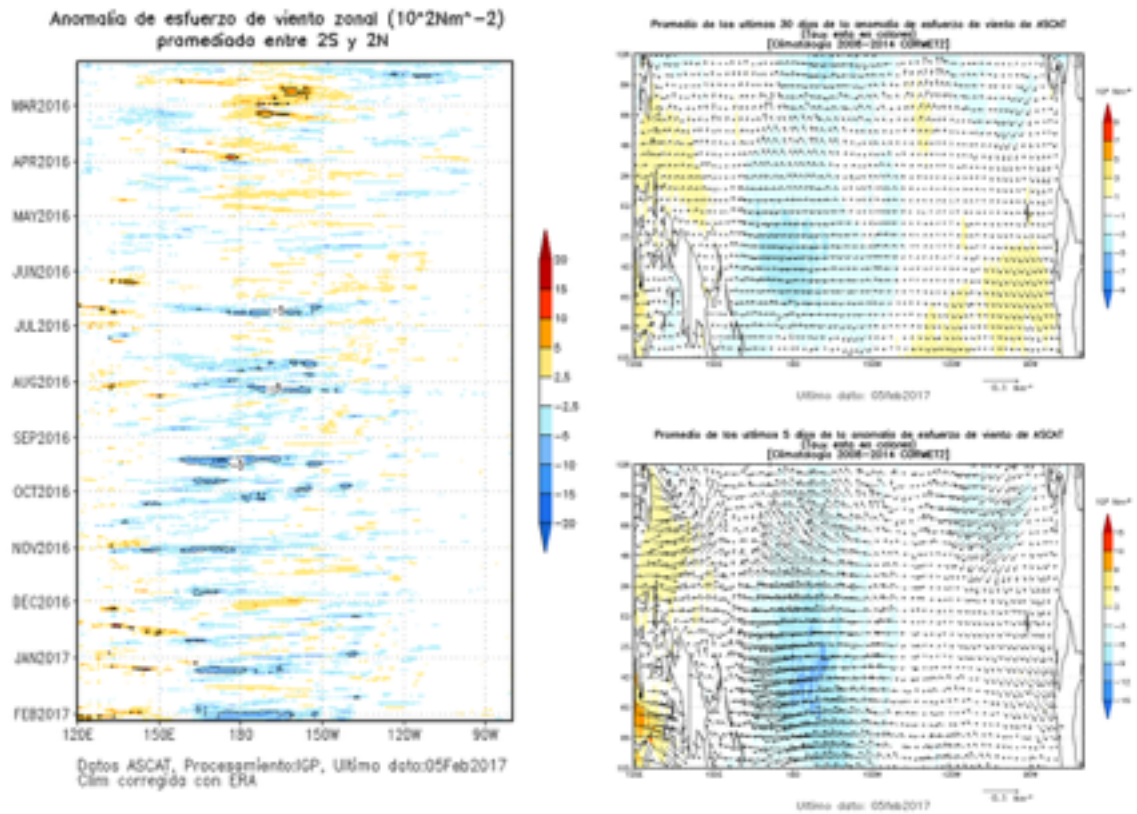


Figura 14. Izquierda: Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT. Derecha (superior): Mapa del promedio de 30 días. Derecha (inferior): Mapa del promedio de 5 días, hasta el 05 de febrero de 2017, incluyendo los vectores de esfuerzo zonal. (Elaboración: IGP)

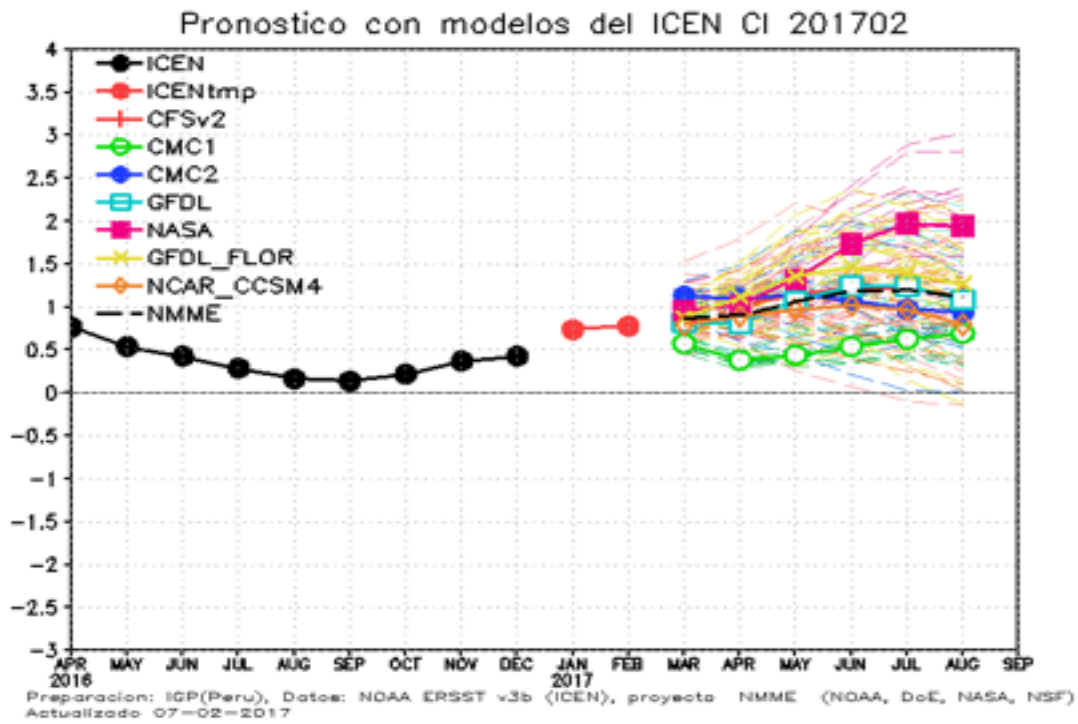


Figura 15. Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y su valor temporal (ICENtmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA, GFDL_FLOR y NCAR_CCISM4 tienen como condición inicial el mes de febrero de 2017. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

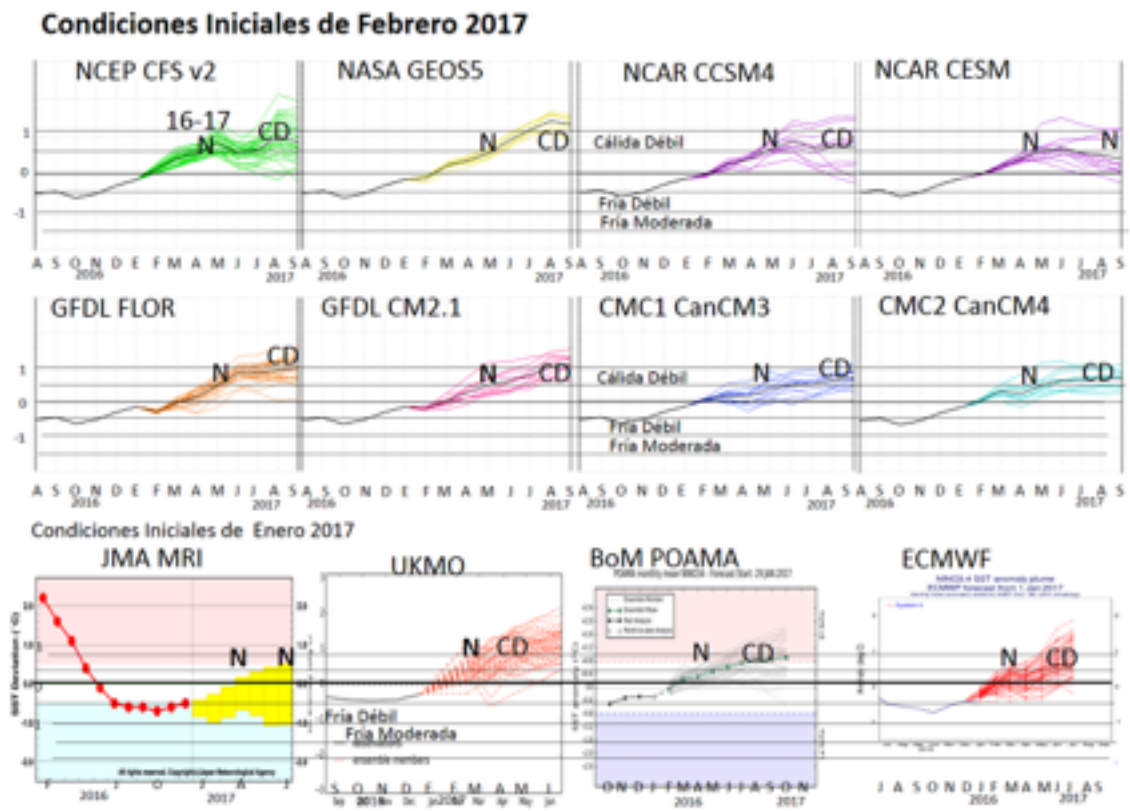


Figura 16. Índice Niño 3.4 mensual observado y pronosticado por los modelos de NMME y otros.

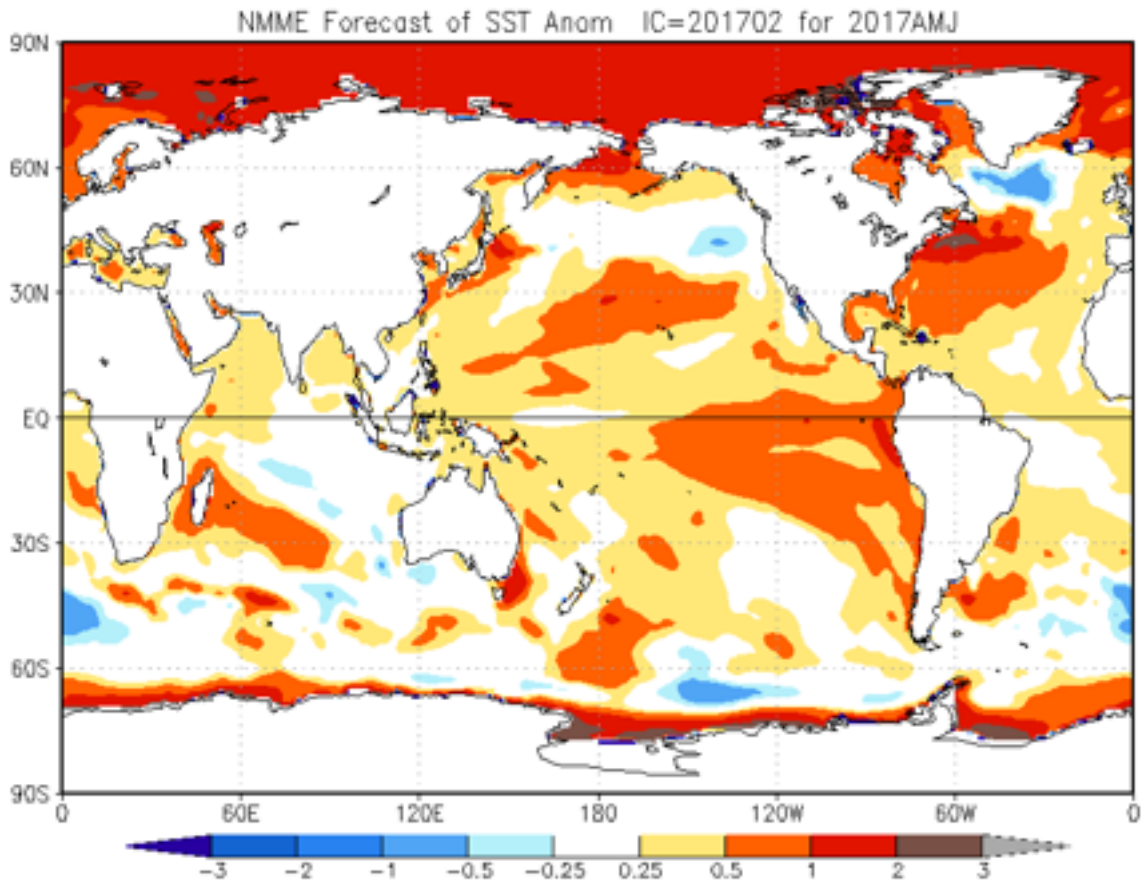


Figura 17. Pronóstico de la anomalía de temperatura superficial del mar promediado sobre los modelos del proyecto NMME (NCEP CFS2, CanCM3 CMC1 y 2, GFDL CM2.2, NASA, GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4 para el trimestre abril-junio de 2017 con condiciones iniciales de enero de 2017. (Fuente: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/NMME/>)

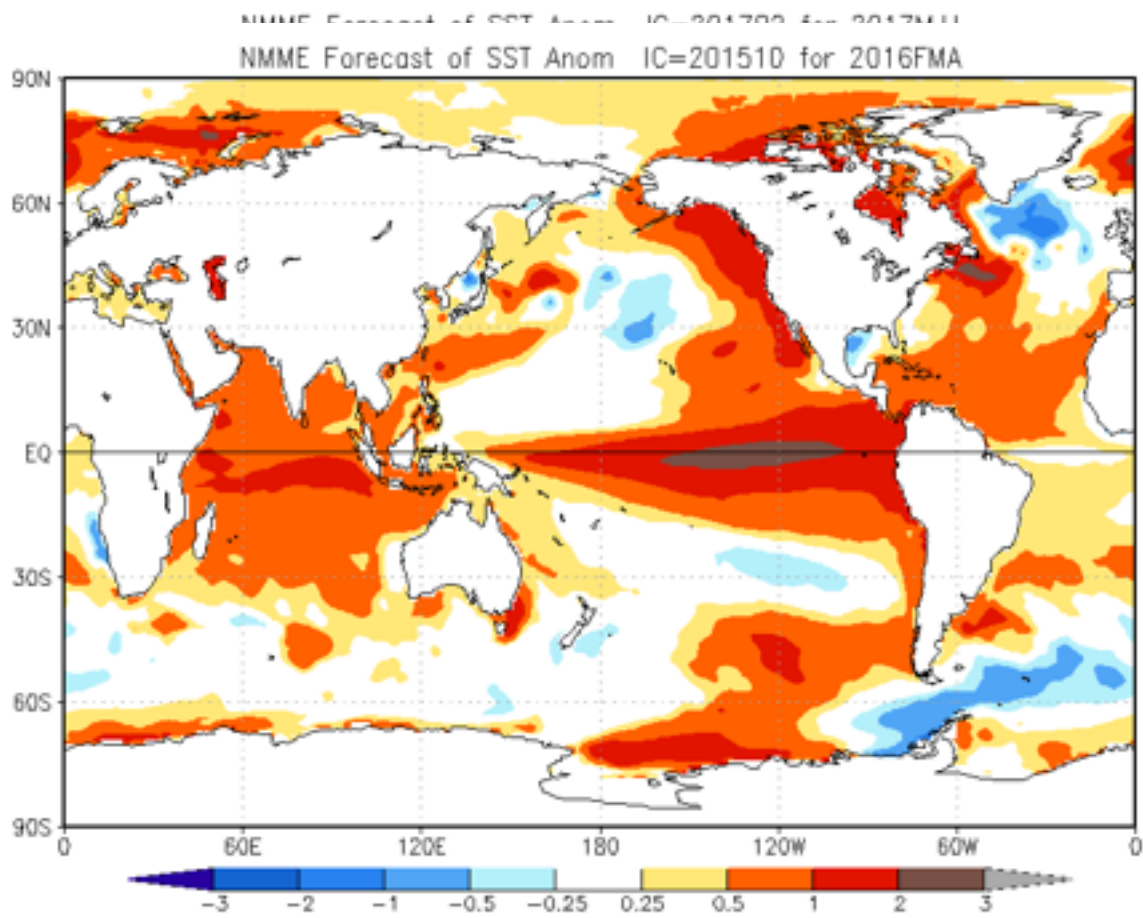


Figura 18. Similar a la Fig.17, pero para el trimestre mayo-julio 2017.

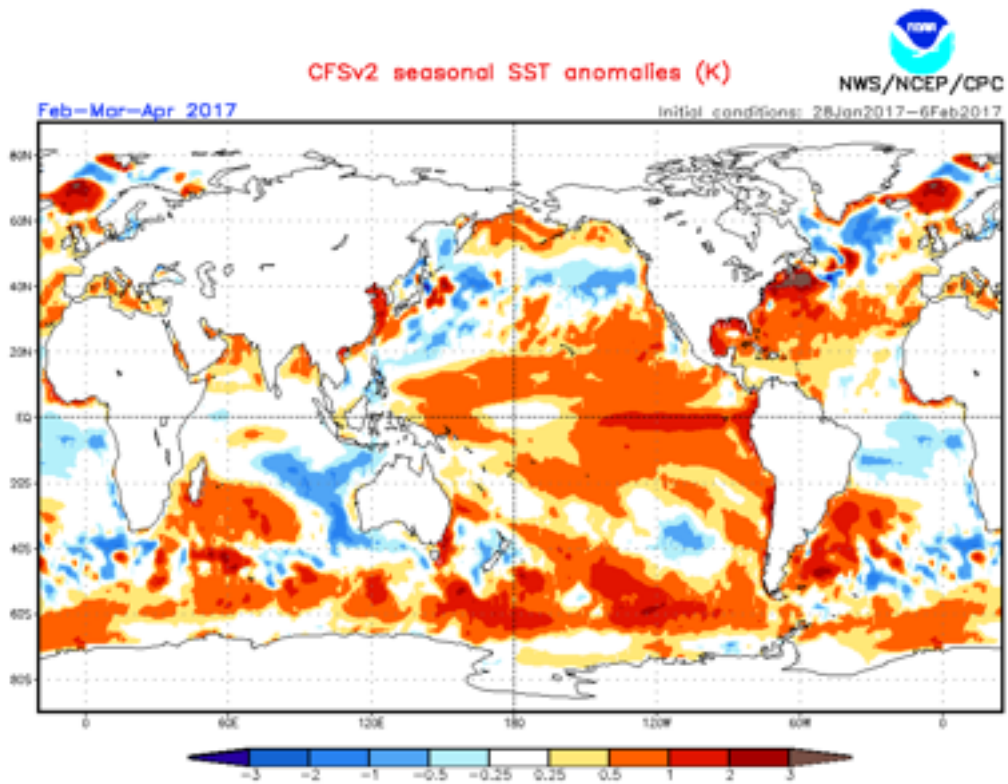


Figura 19. Pronósticos numéricos de anomalía de TSM para el periodo febrero - abril 2017 por el modelo CFSv2 con condiciones iniciales entre el 28 de enero y 06 de febrero 2017. (Fuente: NOAA).

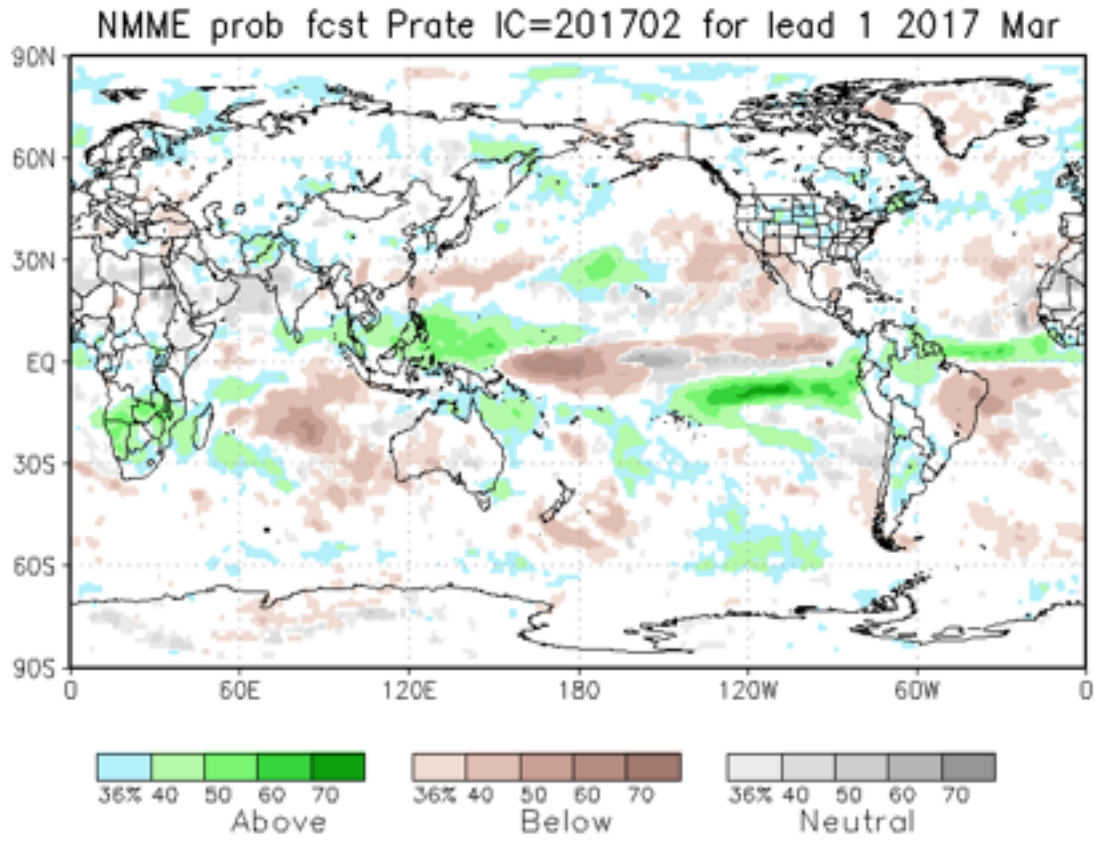


Figura 20. Pronósticos probabilístico de precipitación para marzo 2017 por modelos de NMME inicializados en febrero 2017. (Fuente: NOAA).