

**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/2016-12

10/01/2017

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), las condiciones climáticas de la costa peruana son Neutras, con el valor del ICEN de $+0.37^{\circ}\text{C}$ para el mes de noviembre, pero cerca del umbral de $+0.40^{\circ}\text{C}$ para condiciones cálidas. En cambio, los valores temporales del ICEN (ICENTmp) indican condiciones Cálidas Débiles para los meses de diciembre y enero 2017. Para el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA corresponde a condiciones frías débiles. El ONI estimado para el mes de diciembre también corresponde a condiciones frías débiles.

El pronóstico de la temperatura superficial del mar de los siete modelos numéricos internacionales de NMME, con condiciones iniciales del mes de enero 2017, para la región del Pacífico oriental, indican en promedio condiciones Cálidas Débiles para el verano (diciembre 2016-marzo 2017), si bien dos de ellos indican condiciones Neutras en febrero y marzo. En consecuencia, cinco de siete modelos pronostican El Niño costero en el verano (diciembre 2016-marzo 2017), y solo dos modelos pronostican un verano neutro, a diferencia del mes anterior en el que todos los modelos pronosticaron neutro. Para la región del Pacífico central, los siete modelos predicen que el verano será neutro.

Se observa aún la señal de la onda Kelvin fría al este de 160°W , la que puede continuar influyendo en la temperatura del mar en la costa norte de Paita, pero en menor grado que los meses anteriores. Asimismo, continúa la propagación de la onda Kelvin cálida, producto aparentemente de la reflexión de una onda Rossby cálida en el extremo occidental, y podría alcanzar la costa en marzo.

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 diciembre de 2016 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 noviembre de 2016. Los valores se muestran en la Tabla 1.

Año	Mes	ICEN (°C)	Condiciones costeras del Mes
2016	Agosto	0.17	Neutra
2016	Setiembre	0.14	Neutra
2016	Octubre	0.22	Neutra
2016	Noviembre	0.37	Neutra

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

El valor del ICEN para el mes de noviembre indica condición Neutra.

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

Año	Mes	ICENTmp	Condiciones costeras del mes	Fuente
2016	Diciembre	0.48	Cálida Débil	2016/11-12: ERSST; 2017/01: NMME
2017	Enero	0.54	Cálida Débil	2016/12: ERSST; 2017/01-02: NMME

Tabla 2. Estimados preliminares del ICEN (ICENTmp)

Según estos valores del ICENTmp, se estima que en diciembre de 2016 y enero 2017 las condiciones serían CÁLIDAS DÉBILES. El ICENTmp de diciembre será confirmado cuando se disponga del valor de ERSST para el mes de enero de 2017.

Según el criterio de ENFEN (2012), para confirmar El Niño o La Niña en la costa, las condiciones costeras deben ser cálidas o frías durante al menos 3 meses consecutivos. Según el sistema de alerta de El Niño/La Niña costero (ENFEN, 2015), dado que el valor del ICENTmp de diciembre 2016 es cálido, el ENFEN podría declarar presencia de El Niño costero si estimara que estas condiciones persistirán durante al menos tres meses consecutivos.

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 noviembre de 2016, es de -0.84°C , correspondiente a condiciones Frías Débiles¹, siendo el cuarto mes con condiciones frías débiles, e indicando la continuación de La Niña en el Pacífico central al menos hasta noviembre.

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).

Año	Mes	ONI (°C)	Categoría
2016	Agosto	-0.59	Fría Débil
2016	Setiembre	-0.75	Fría Débil
2016	Octubre	-0.84	Fría Débil
2016	Noviembre	-0.84	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 frías débiles para el mes de diciembre, mientras que para enero 2017 se espera condiciones neutras (Tabla 4). De cumplirse esto, el evento La Niña débil en el Pacífico central concluiría en diciembre, por lo que el verano se consideraría neutral.

Año	Mes	ONItmp	Condiciones del mes	Fuente
2016	Diciembre	-0.65	Fría Débil	2016/11-12: ERSST; 2017/01: NMME
2017	Enero	-0.35	Neutra	2016/12: ERSST; 2017/01-02: NMME

Tabla 4. Estimados preliminares del ONI (ONItmp)

Diagnóstico del Pacífico Ecuatorial

Las principales variables climáticas continúan mostrando valores correspondientes a un evento La Niña de magnitud débil. La actividad convectiva continuó mostrándose anómalamente reducida, lo que junto con los vientos anómalos del este, indican el acoplamiento de la atmósfera a las condiciones oceánicas frías. Este comportamiento es similar al de años La Niña en el Pacífico central observados (Figura 1 y 2). La región Niño 3.4 continúa con anomalías de la TSM (IR, MW, OSTIA) negativas, en promedio -0.5°C , es decir en el umbral entre condiciones frías y neutras (ver Figura 7a). 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 neutral, pero fluctuando a nivel interdiario entre -0.1°C y $+1.2^{\circ}\text{C}$ (Figura 7b). Por otro lado, la anomalía mensual de diciembre presentó el valor de $+0.59^{\circ}\text{C}$ según los datos ERSST v3b (los usados para calcular el ICEN), superior al valor de $+0.29^{\circ}\text{C}$ de noviembre y excediendo el umbral de $+0.40^{\circ}\text{C}$ para que el ICEN sea considerado cálido.

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), sin embargo se observaron ligeras anomalías promedio del viento del oeste en el Pacífico central-oriental según los datos de TAO. El contenido de calor oceánico ecuatorial y la inclinación de la termoclina se presentaron alrededor de lo normal tras un periodo de normalización progresivo (Figura 4). Se nota que debido al colapso previsto del arreglo de boyas TRITON en el Pacífico occidental (Cravatte et al, 2016), se ha recalculado estos índices excluyendo las boyas que ya no están operativas. Por otro lado, la termoclina en el Pacífico oriental, en 110°W y 95°W ,

continuó mostrando anomalías negativas, sin embargo entre finales de diciembre e inicios de enero mostró condiciones normales (Figuras 5 y 6).

Se observa aún la señal de la onda Kelvin fría al este de 160°W, así como la señal de la onda Kelvin cálida, la cual aparentemente se formó como reflexión de una onda Rossby cálida producida por anomalías de vientos del oeste de fines de julio, la cual, en la actualidad, muestra una disminución en su magnitud. Asimismo, a inicios de enero de 2017, se observó una anomalía de viento del este en el Pacífico Ecuatorial (principal forzante de la onda Kelvin fría) que se ubicó entre 160°E y 160°W.

Pronóstico a corto plazo con modelo de ondas y observaciones

La presencia de la onda Kelvin fría al este de 160°W sugiere que ésta continuaría influyendo la temperatura del mar en la costa norte de Paíta, aunque en menor grado que los meses anteriores. La onda cálida debería arribar en el mes de marzo, probablemente, con una magnitud menor a la actual. De formarse la onda Kelvin fría, como consecuencia del pulso de viento del este a inicios de enero de 2017, ésta se superpondría a la onda Kelvin cálida descrita líneas arriba. Lo anterior sugiere la normalización de la TSM frente a la costa norte (sin descartar un calentamiento anómalo) en el transcurso del verano, así como la continuación (y quizás aumento) de las anomalías cálidas frente al resto de la costa, particularmente hacia fines de verano que corresponde al periodo de lluvias en la costa norte (Fig. 13)

Pronóstico estacional con modelos climáticos

Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los pronósticos de los 7 modelos climáticos de NMME (CFSv2, NASA_GEOS5, FLOR, CM2.1, NCAR_CCM4, CMC1 y CMC2) inicializados en enero, 5 modelos indican que en el mes de febrero y marzo, las anomalías de TSM serían cálidas débiles, 2 modelos indican condiciones neutras (Fig. 14). Para el verano (diciembre 2016- marzo 2017), los modelos en promedio predicen condiciones cálidas Débiles y que El Niño costero débil se establecería en el verano, empezando en diciembre 2016 y extendiéndose al menos hasta mayo 2017 (en tres modelos se extendería al menos hasta julio). Es importante notar que con respecto al mes anterior hubo un aumento notable en la temperatura de estos pronósticos (los siete modelos pronosticaron condiciones neutras). Si bien la barrera de predictibilidad dificulta pronosticar a plazos de varios meses (Reupo y Takahashi, 2014), los pronósticos para febrero y marzo inicializados en enero son relativamente más confiables. Por otro lado, ha ocurrido en el año 2015 que los pronósticos de los modelos de NOAA y NCAR cambiaron en forma similar y abrupta debido a un error común en los datos de entrada (M. L'Heureux, comunicación personal), pero en esta ocasión son cinco modelos los que han cambiado sustancialmente, lo cual hace más difícil que sea por errores comunes.

Para el Pacífico central (Niño 3.4), los siete modelos de NMME inicializados en enero predicen condiciones neutras para los meses de febrero y marzo, por lo tanto, serían condiciones neutras para el verano (diciembre 2016-marzo 2017). Considerando 4 modelos inicializados en diciembre, se observa que el modelo JMA MRI, predice condiciones frías para los meses de febrero y marzo, mientras que los otros tres modelos indican condiciones neutras.

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.

Una consideración particular para la situación actual es que el patrón espacial de anomalía de TSM actual, así como los pronosticados (Fig. 16-19), no reflejan únicamente condiciones ENOS sino anomalías cálidas en casi todo el planeta, incluyendo la costa peruana. Además, el índice de la Oscilación Decadal del Pacífico (<http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest.txt>) se mantiene positivo desde el año 2014. Esto sugiere que otros procesos además de ENOS afectan el pronóstico de las temperaturas en el Pacífico ecuatorial y los impactos de El Niño y La Niña en el Perú. En particular, el mantenimiento de anomalías positivas frente a la costa peruana desde el final de El Niño 2015-2016 a pesar de la llegada de ondas Kelvin frías y de vientos costeros generalmente más fuertes aún no cuenta con una explicación conclusiva.

Modelo	NDE	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA
CFS2		0.62	0.55	0.54	0.55	0.49	0.37	0.24
CMC1		0.50	0.35	0.26	0.23	0.32	0.49	0.59
CMC2		0.65	0.67	0.73	0.87	1.16	1.47	1.69
GFDL		0.42	0.28	0.24	0.35	0.50	0.55	0.48
NASA		0.55	0.52	0.57	0.74	1.07	1.44	1.62
GFDL_FLOR		0.51	0.40	0.44	0.66	0.86	1.00	0.97
NCAR_CCSM 4		0.59	0.61	0.73	0.76	0.72	0.60	0.35
NMME		0.55	0.48	0.50	0.59	0.73	0.85	0.85
ICENtmp	0.48							

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

Modelo	NDE	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA
CFS2		-0.26	0.25	0.29	0.34	0.36	0.33	0.28
CMC1		-0.37	-0.12	-0.02	0.05	0.18	0.43	0.70
CMC2		-0.34	0.00	0.28	0.57	0.87	1.22	1.53
GFDL		-0.29	0.05	0.25	0.41	0.47	0.52	0.54
NASA		-0.48	-0.23	0.01	0.25	0.50	0.82	1.20

GFDL_FLOR		-0.38	-0.14	0.00	0.15	0.35	0.57	0.76
NCAR_CCSM 4		-0.30	-0.01	0.14	0.25	0.37	0.45	0.50
NMME		-0.35	-0.03	0.14	0.29	0.44	0.62	0.79
ONItmp	-0.65							

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

Conclusiones:

1. El **ICEN para noviembre** de 2016 fue de 0.37 (**Neutro**) y el **ICENtmp** para diciembre y enero 2017 **es 0.48 y 0.54**, respectivamente, ambos siendo condiciones **Cálidas Débiles**. Los valores de la anomalía de la TSM en la región Niño 1+2 se ha mantenido, mayormente, con valores positivos aunque dentro del rango normal.
2. En el Pacífico central, el ONI de octubre (SON) correspondió a condiciones frías débiles. Siendo el cuarto mes con condiciones frías débiles; el ONI estimado para Diciembre también corresponde a condiciones frías débiles, con una tendencia a disminuir a neutro en enero. La ATSM en la región Niño 3.4, durante este diciembre, ha fluctuado alrededor de los -0.5°C.
3. El impacto de la última onda Kelvin fría en la profundidad de la termoclina se observa al este de 160°W y se espera que continúe influenciando la TSM en la costa al norte de Paita, aunque en menor grado que los meses anteriores, hasta fines de febrero de 2017. Por otro lado, la onda Kelvin cálida que se habría formado por la reflexión de ondas Rossby cálidas en el Pacífico occidental, alcanzaría la costa en marzo.
4. El contenido de calor oceánico ecuatorial la inclinación de la termoclina se presentaron alrededor de lo normal.
5. La actividad convectiva en noviembre continuó mostrándose anómalamente reducida, consistente con la respuesta a las anomalías negativas de TSM.
6. Los vientos zonales ecuatoriales en diciembre se mostraron cerca de lo normal, con anomalías del este en el Pacífico occidental y del oeste en el oriental (según TAO).
7. En enero se viene presentando un nuevo pulso de viento del este en el Pacífico central (160°E-160°W), que podría generar una nueva onda Kelvin fría que podría superponerse a la onda cálida.
8. Lo anterior sugiere la normalización de la TSM frente a la costa norte (sin descartar un calentamiento anómalo) en el transcurso del verano, así como la continuación (y quizás aumento) de las anomalías cálidas frente al resto de la costa, particularmente hacia fines de verano que corresponde al periodo de lluvias en la costa norte.
9. Para el Pacífico oriental (Niño 1+2), de los 7 modelos inicializados en enero, 5 indican que

el mes de febrero presentaría condiciones cálidas débiles y 2 condiciones neutras. Para el verano (diciembre 2016-marzo 2017), los modelos en promedio predicen condiciones cálidas Débiles.

10. Para el Pacífico central (Niño 3.4), los 8 modelos de NMME inicializados en enero predicen condiciones neutras para los meses de febrero y marzo (o sea, verano neutral). Considerando 4 modelos inicializados en diciembre, se observa que el modelo JMA MRI, predice condiciones frías para los meses de febrero y marzo, mientras que los otros 3 modelos indican condiciones neutras.
11. Considerando los valores de ICENtmp para diciembre y enero, así como los pronósticos para febrero y marzo, **5 de 7 modelos de NMME predicen El Niño débil en el verano 2016-17**, y 2 predicen condiciones neutras.

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>]
- 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

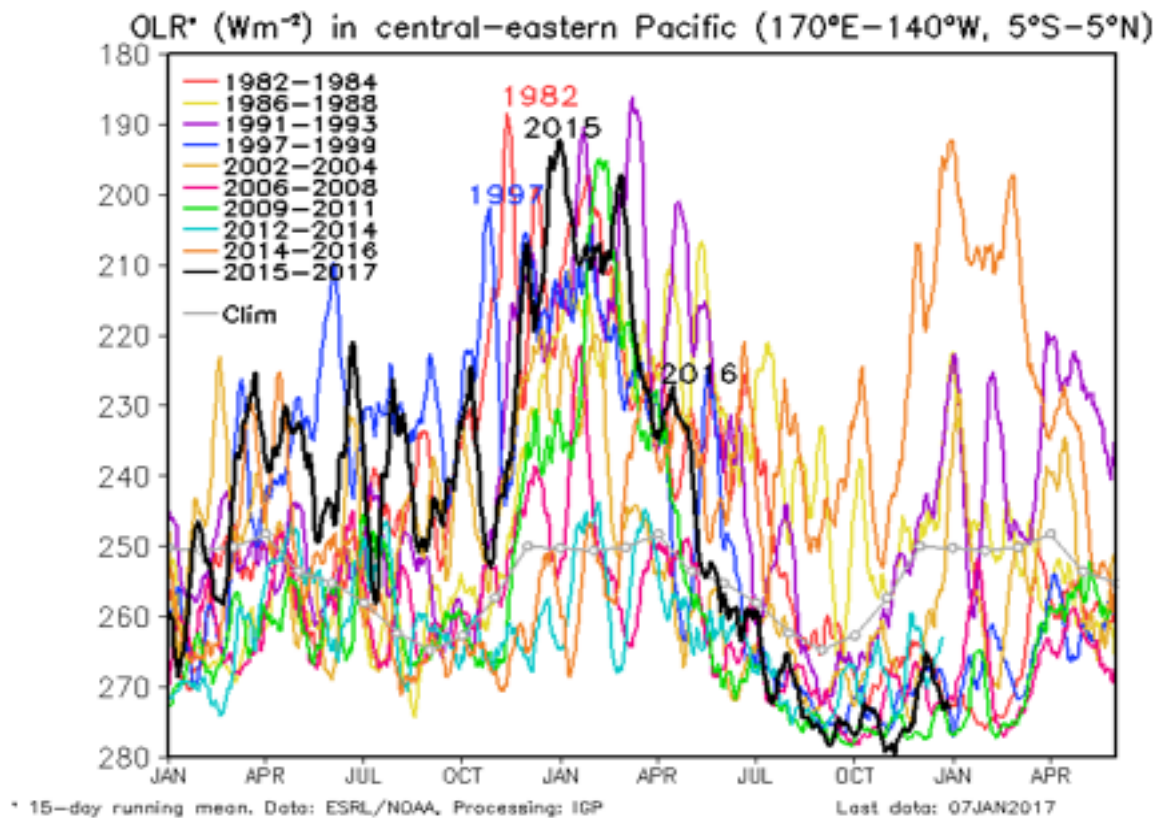


Figura 1. Actividad convectiva en el Pacífico Central Oriental (170° - 140°W y 5°S - 5°N) en base a la información de OLR (Outgoing Longwave Radiation). Elaboración: IGP

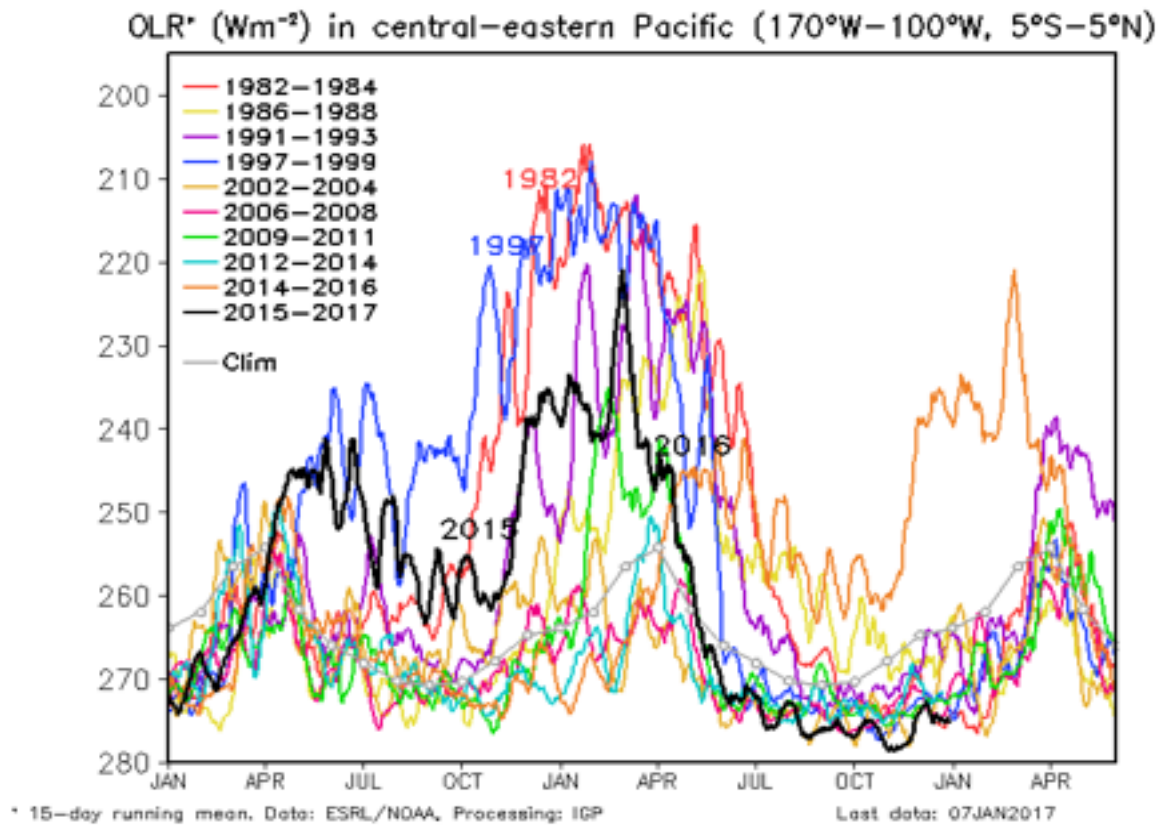


Figura 2. Actividad convectiva en el Pacífico Central Oriental (170° - 100°W y 5°S - 5°N) en base a la información de OLR (Outgoing Longwave Radiation). Elaboración: IGP

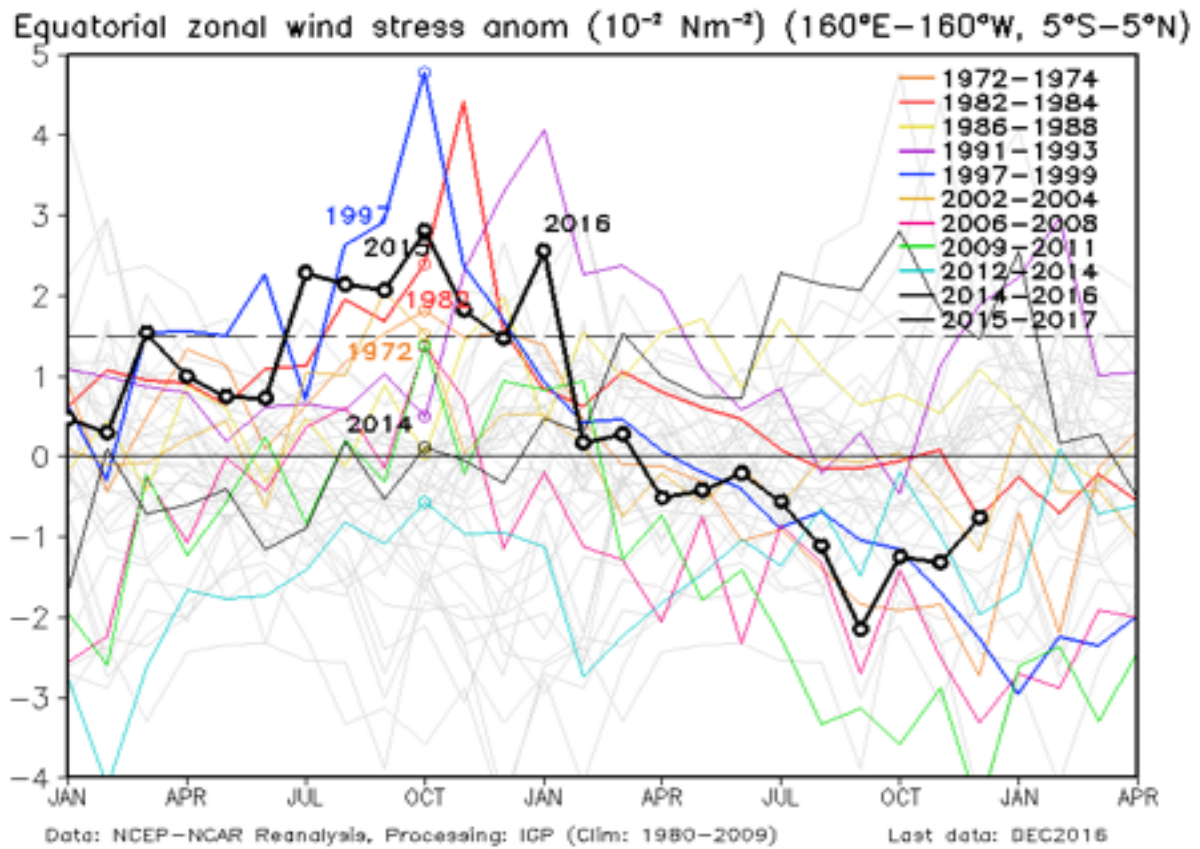


Figura 3. Promedio de la anomalía del esfuerzo de viento zonal en el Pacífico Ecuatorial ($160^{\circ}\text{E}-160^{\circ}\text{W}$ y $5^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{N}$) obtenido de los datos del reanálisis de NCEP-NCAR. Elaboración: IGP

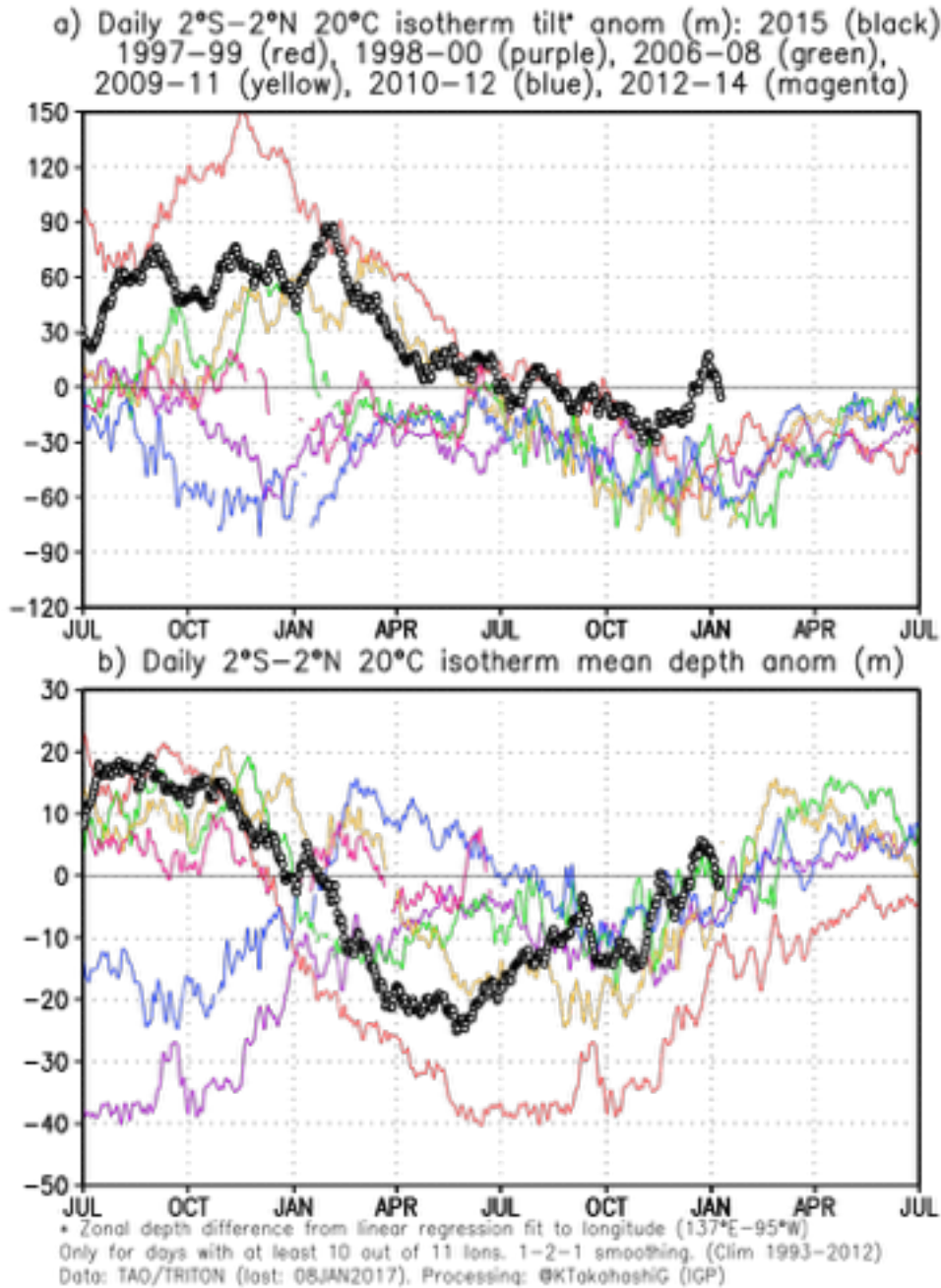


Figura 4 a) Inclinación de la termoclina en el Pacífico ecuatorial basado en los datos de las boyas TAO entre 2°N y 2°S. **b)** Contenido de calor en la región ecuatorial basado en los datos de las boyas TAO entre 2°N y 2°S. A diferencia de informes anteriores, se excluyen las boyas TRITON (Pacífico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

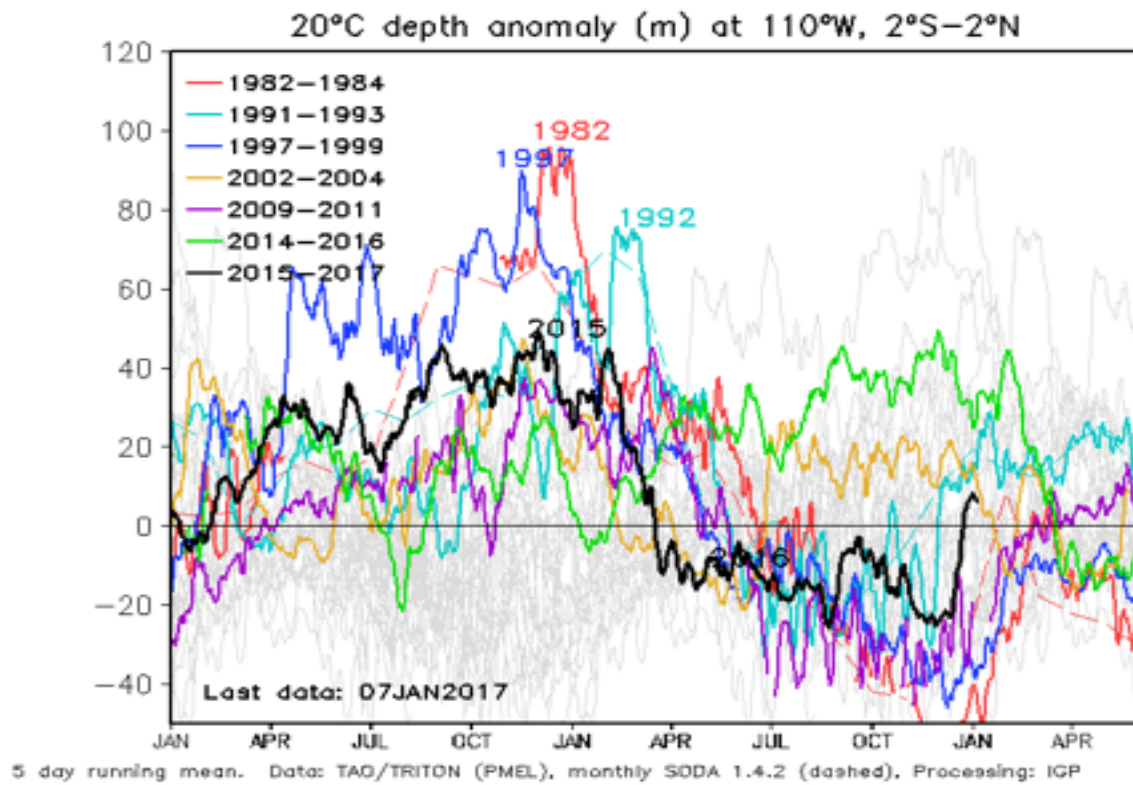


Figura 5. Anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C en la zona de 110°W en base a: i) la información de las boyas de TAO en 110°W y entre 2°S y 2°N; y ii) SODA. Elaboración: IGP

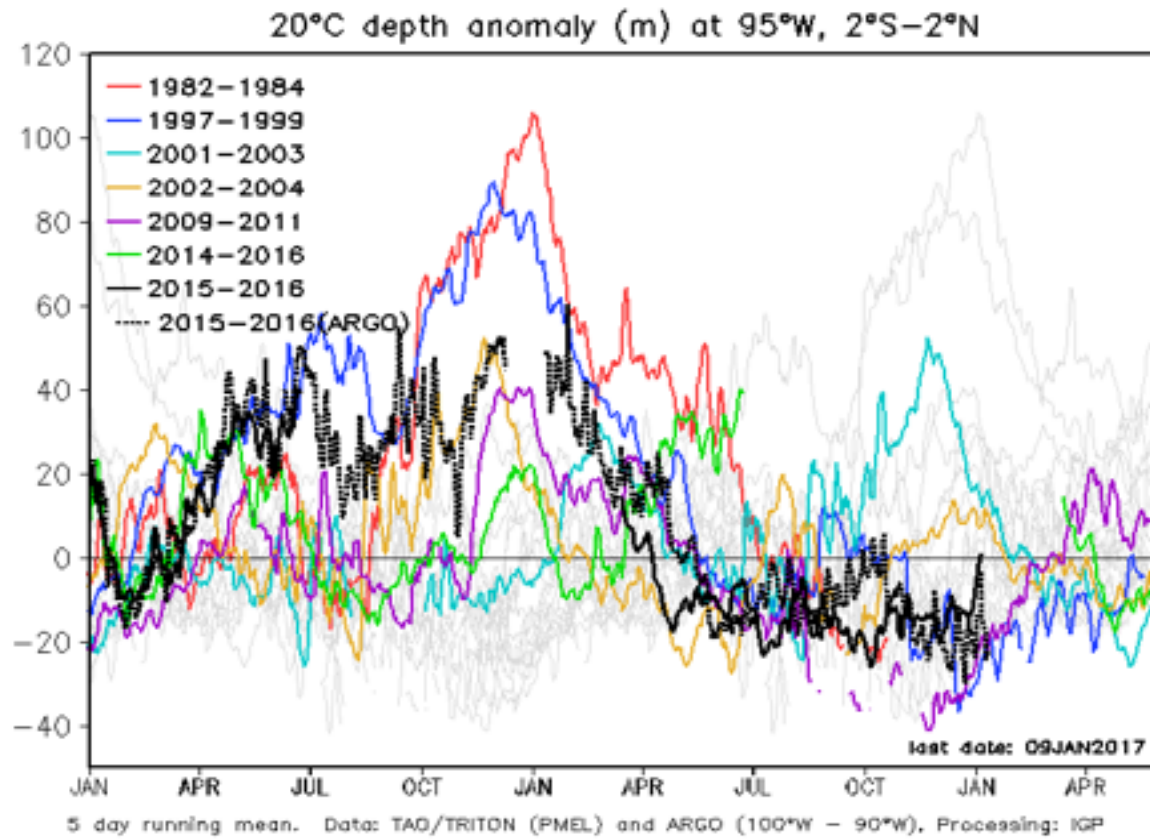


Figura 6. Anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C en la zona de 95°W en base a: i) la información de las boyas de TAO en 95°W y entre 2°S y 2°N; y ii) los flotadores de ARGO entre 100°-90°W y 2°S-2°N. Elaboración: IGP

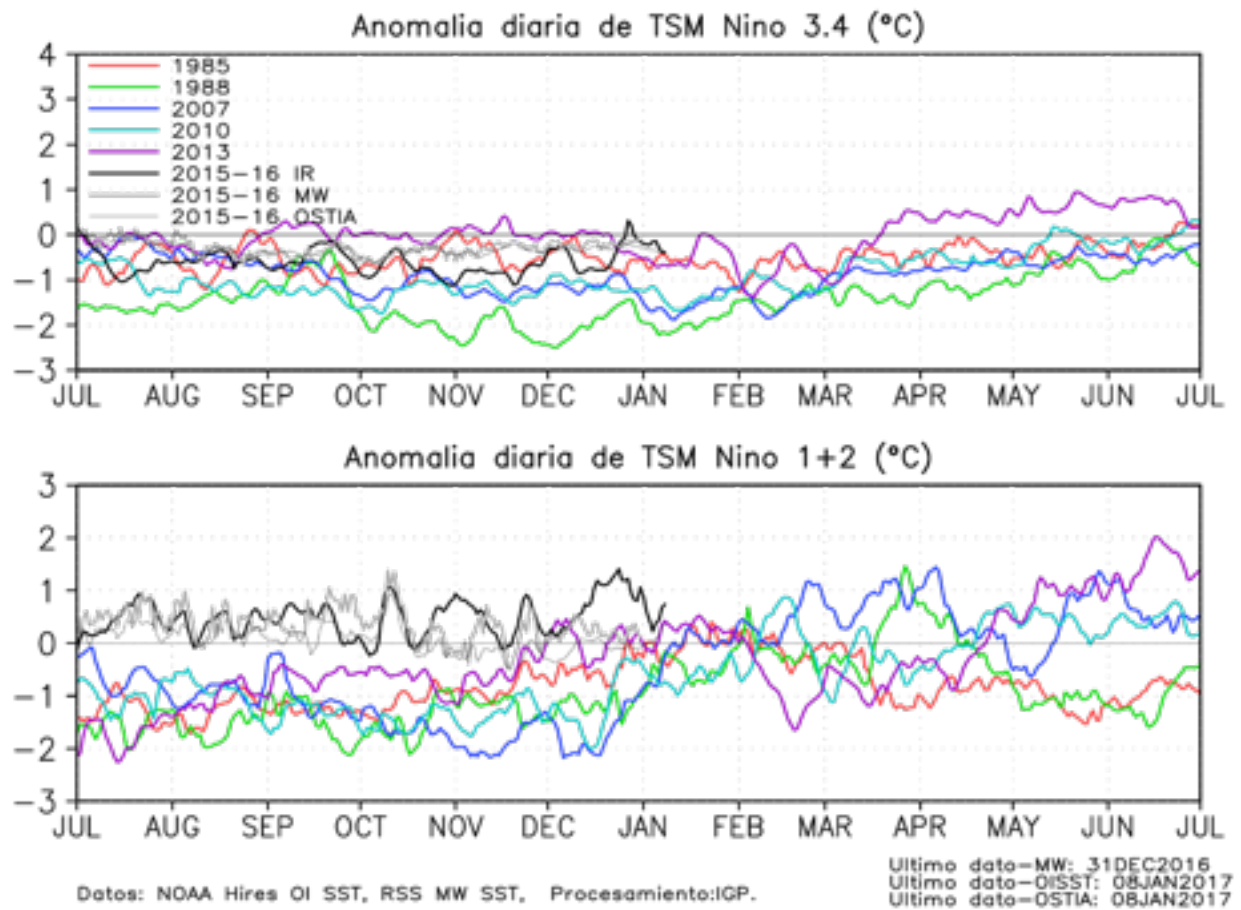


Figura 7. Series de tiempo de la anomalía diaria de la TSM en la región Niño 3.4 (arriba) y en la región Niño 1+2 (abajo). Las líneas en color negro (gruesa), gris y negro (fina) indican la evolución de la anomalía de la TSM en el presente año usando información infrarroja (IR), microondas (MW) y del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

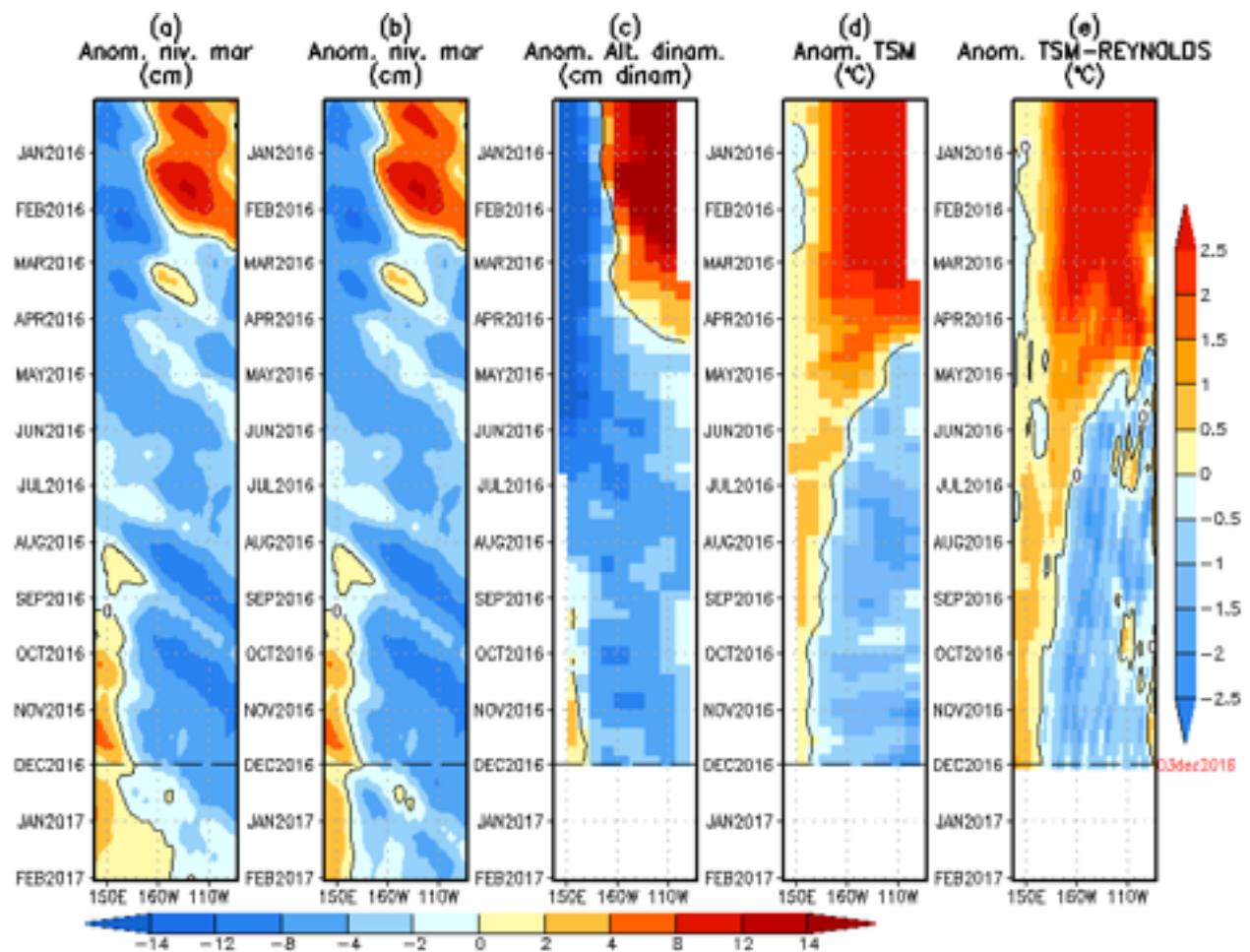


Figura 8. Anomalías (a y b) del nivel medio del mar simulado con LOM1 (termoclina uniforme), (c) de la altura dinámica (TAO), (d y e) de la temperatura superficial del mar observada de TAO y Reynolds, respectivamente, en la región ecuatorial (2°S y 2°N). En (a) y (b) la línea cortada en color negro,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

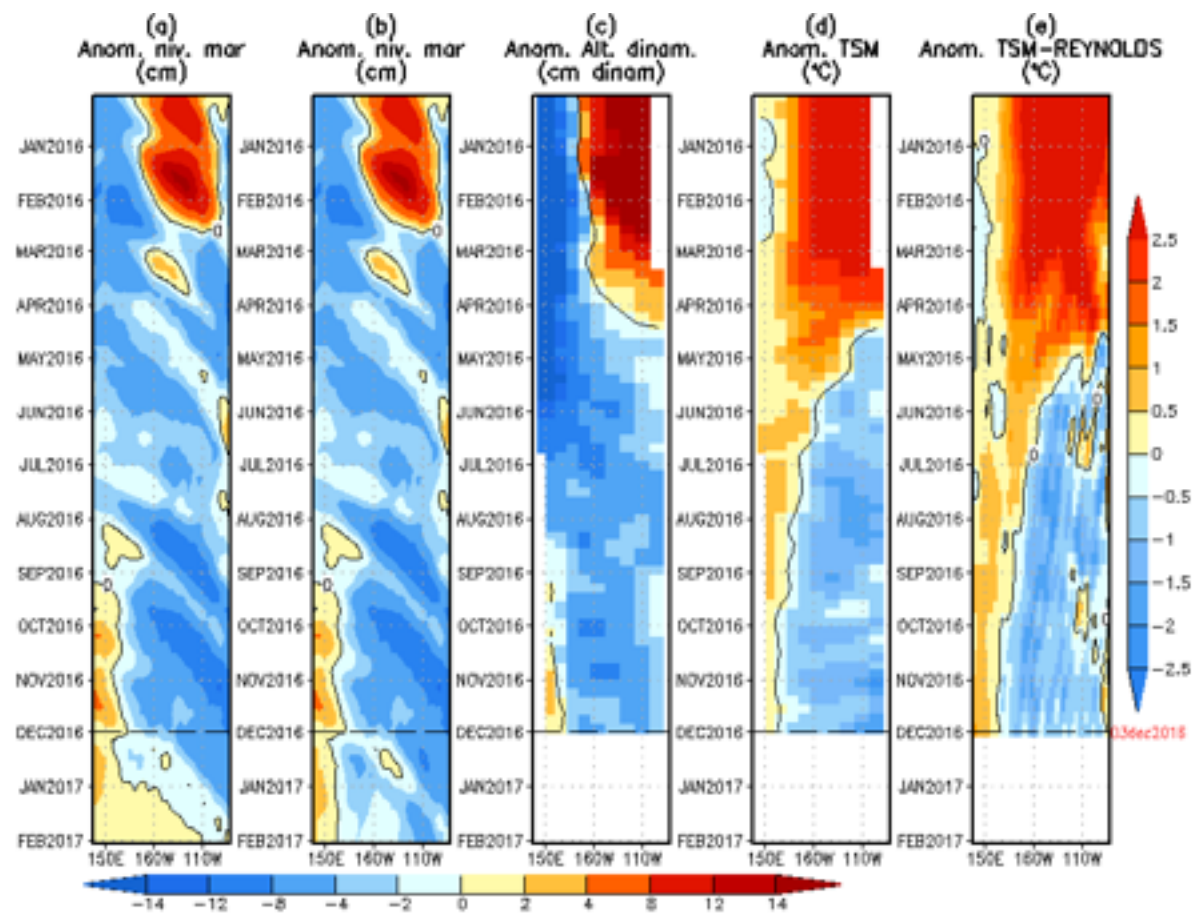


Figura 9. Similar a la Fig. 8 pero para LOM2 (termoclina variable).

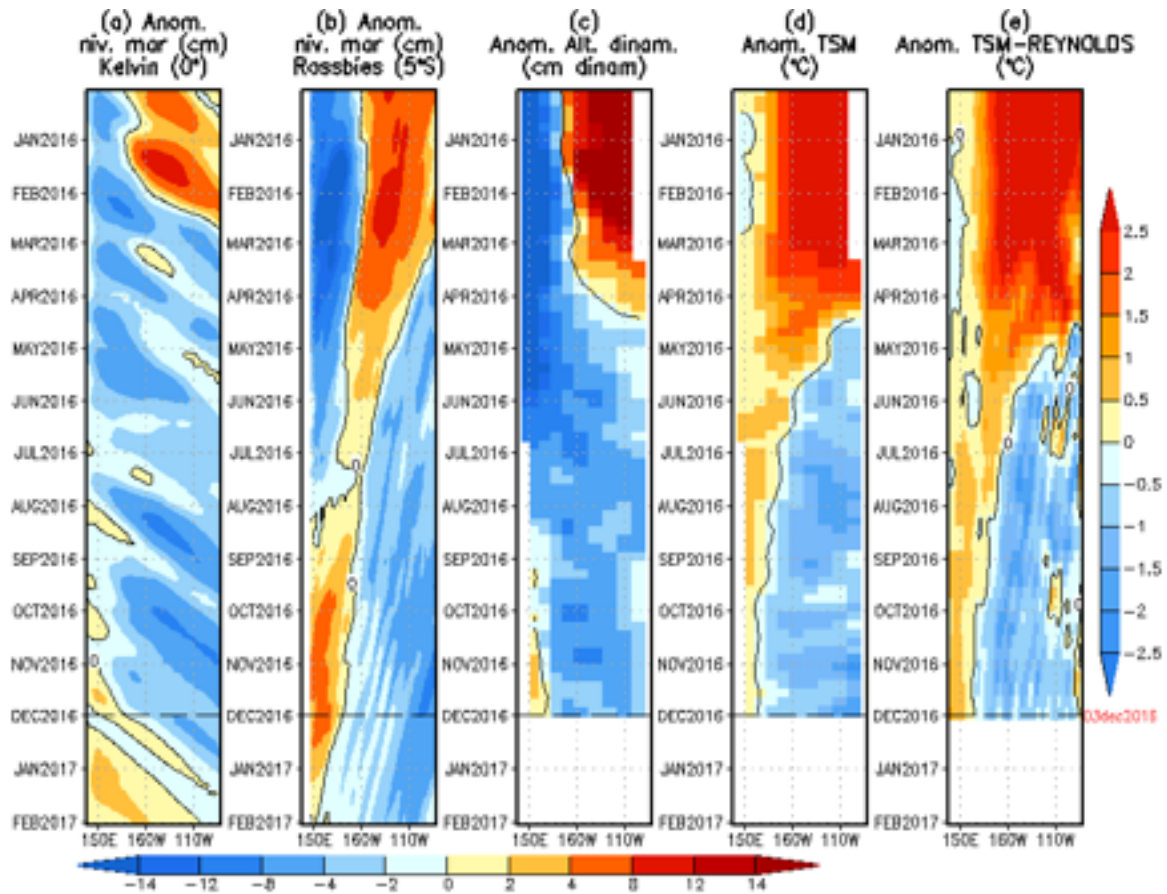


Figura 10. (a) Contribución de la Onda Kelvin al nivel del mar y (b) Contribución de la onda Rossby al nivel del mar en 5°N obtenida de LOM1a. (c) anomalía de la altura dinámica (TAO), (d y e) anomalía de la temperatura superficial del mar observada de TAO y Reynolds, respectivamente en la región ecuatorial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

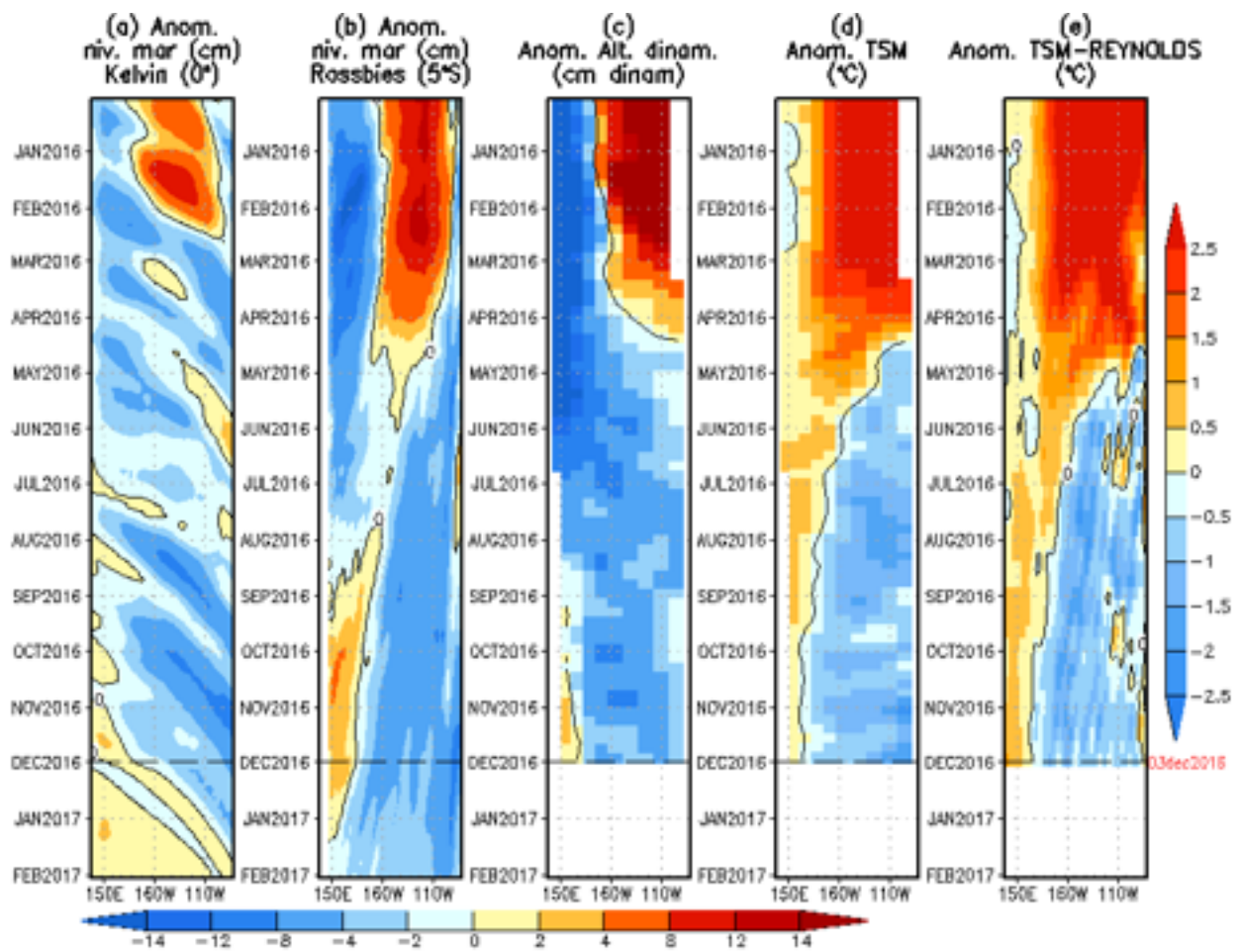


Figura 11. (a) Igual que la Figura 10, pero para LOM2a.

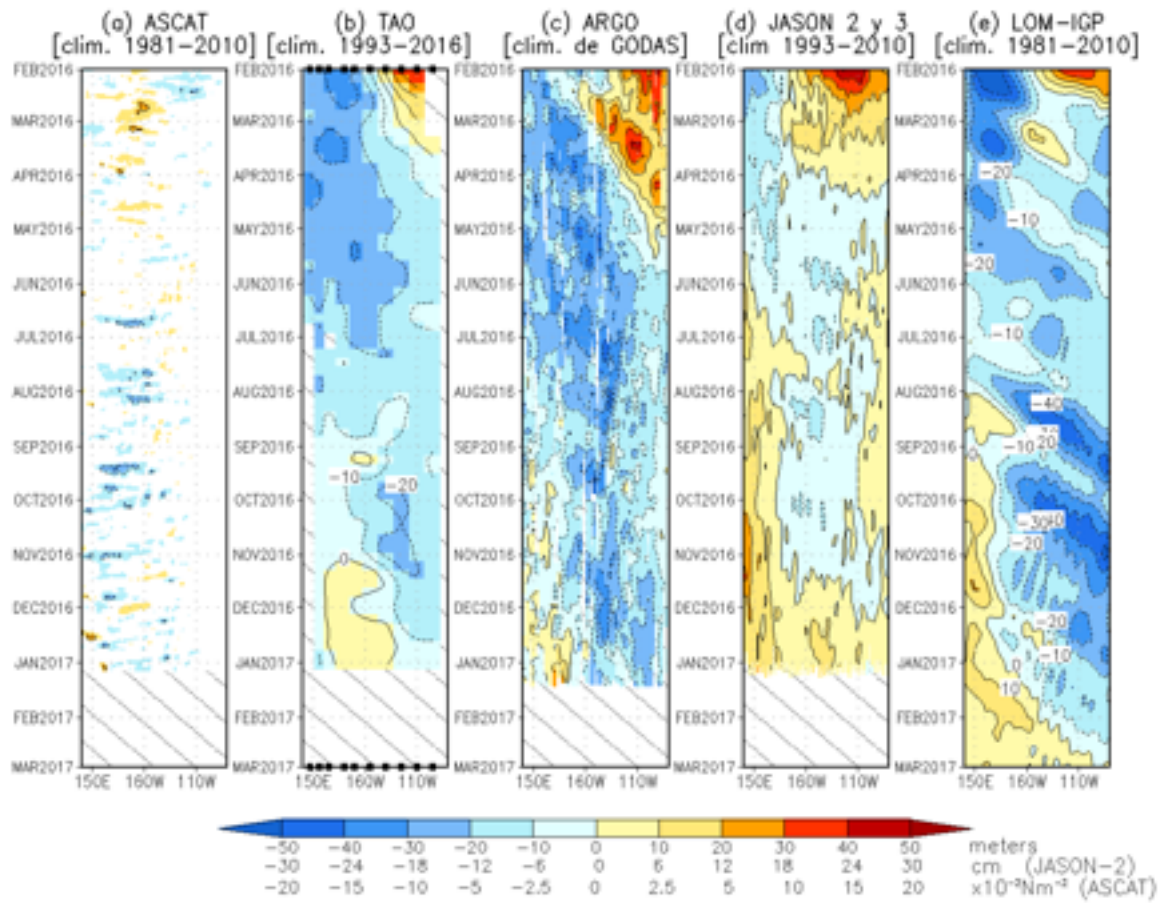


Figura 12. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO (b) y los derivadores de Argo (c), datos del nivel del mar de JASON-2 (d). Finalmente, en (e) se muestra la anomalía de la profundidad de la termoclina calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por ASCAT, y $\tau_{\text{aux}}=0$ para el pronóstico). Las líneas diagonales representan una propagación hacia el este con velocidad de 2.6 m/s. (Elaboración: IGP)

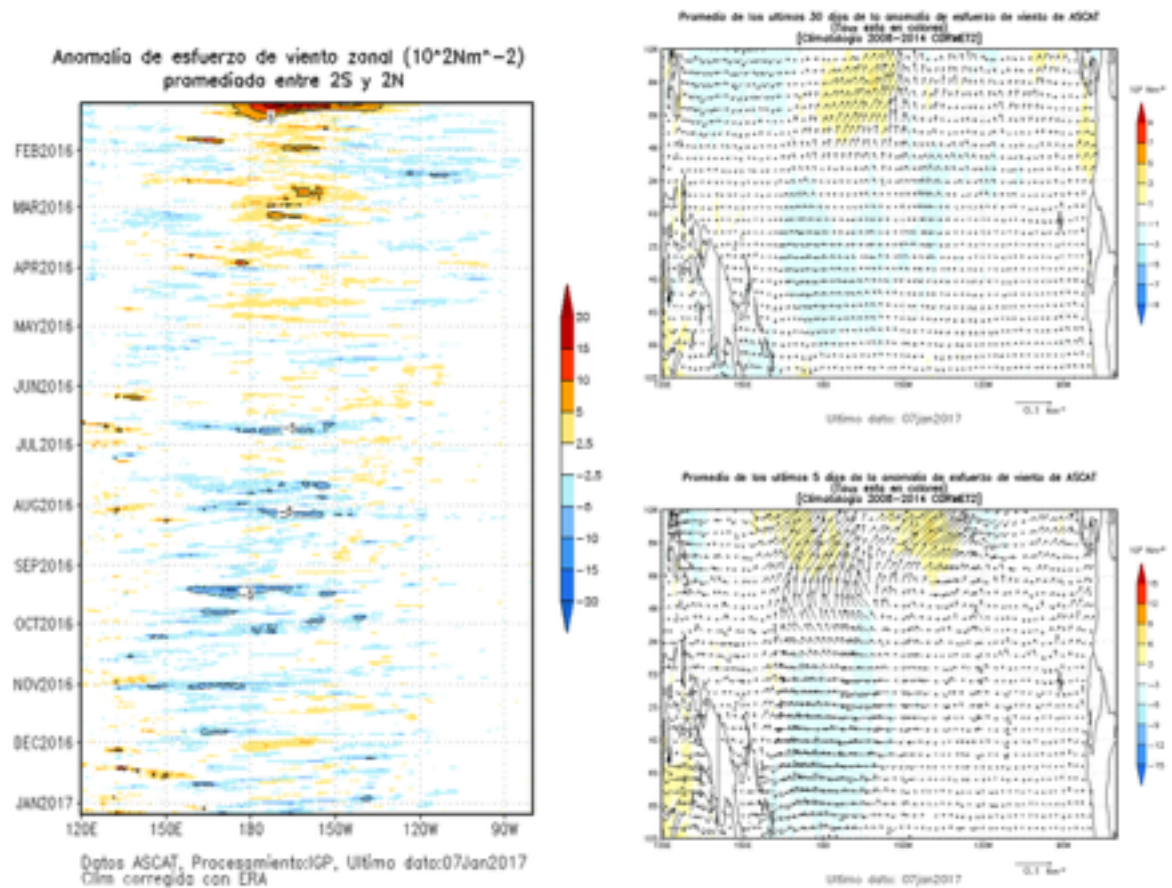


Figura 13. Izquierda: Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT. Derecha (superior): Mapa del promedio de 30 días. Derecha (inferior): Mapa del promedio de 5 días, hasta el 07 de enero de 2017, incluyendo los vectores de esfuerzo zonal. (Elaboración: IGP)

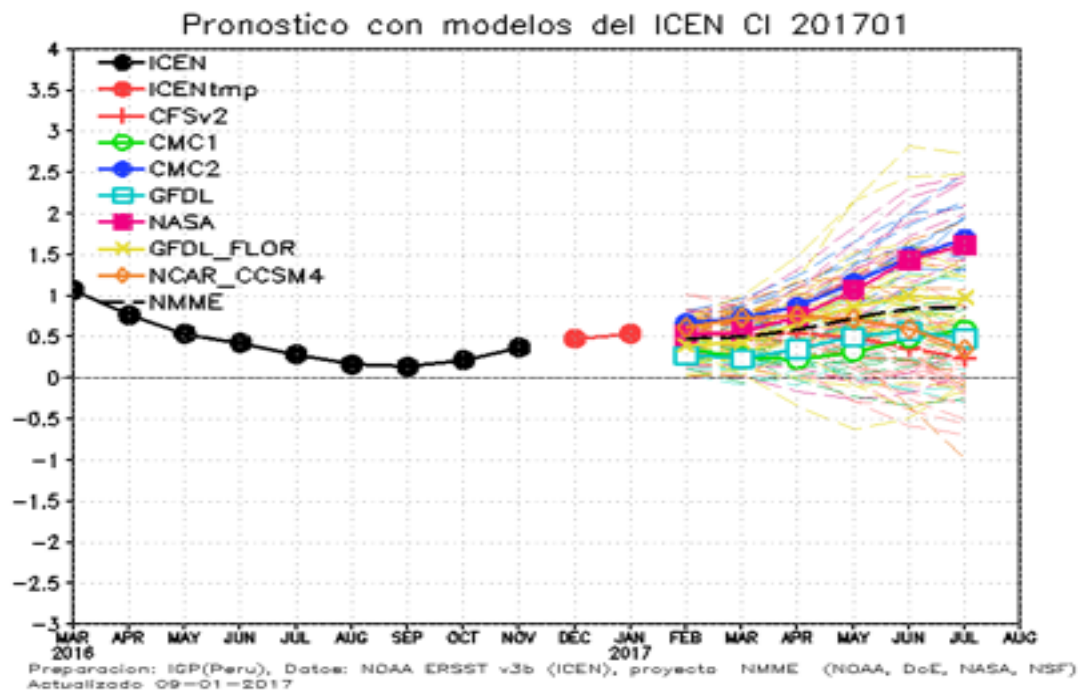
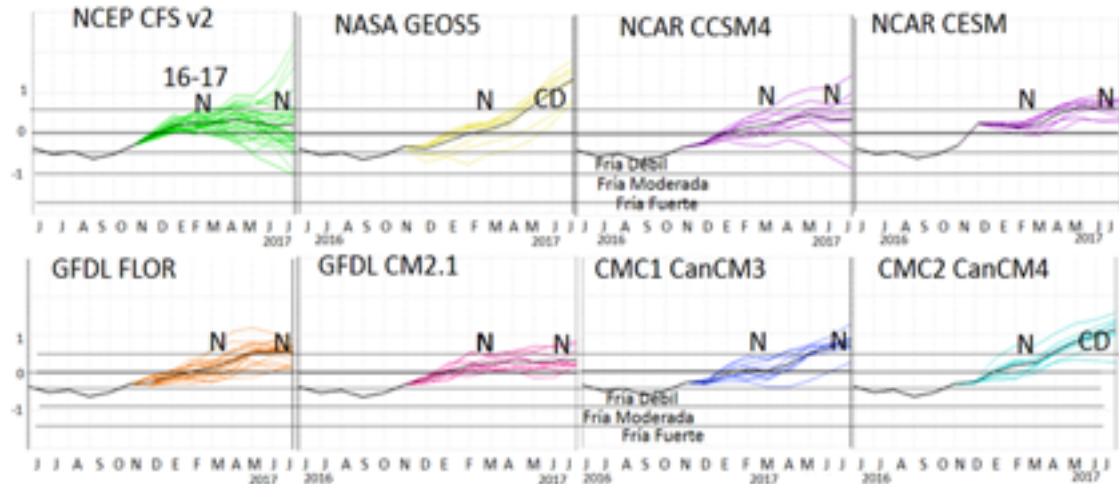


Figura 14. Índice Costero El Niño (ICEN, negro con círculos llenos) y su valor temporal (ICENtmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, NASA, GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4 tienen como condición inicial el mes de enero de 2017. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

Condiciones Iniciales de Enero 2017



Condiciones Iniciales de Diciembre 2016

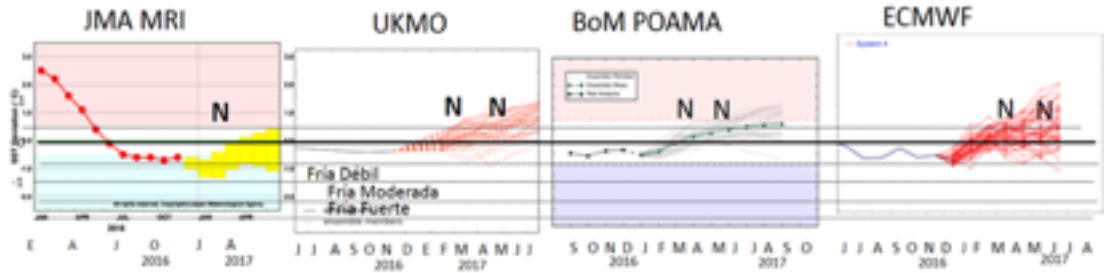


Figura 15. Índice Niño 3.4 mensual observado y pronosticado por los modelos de NMME y otros.

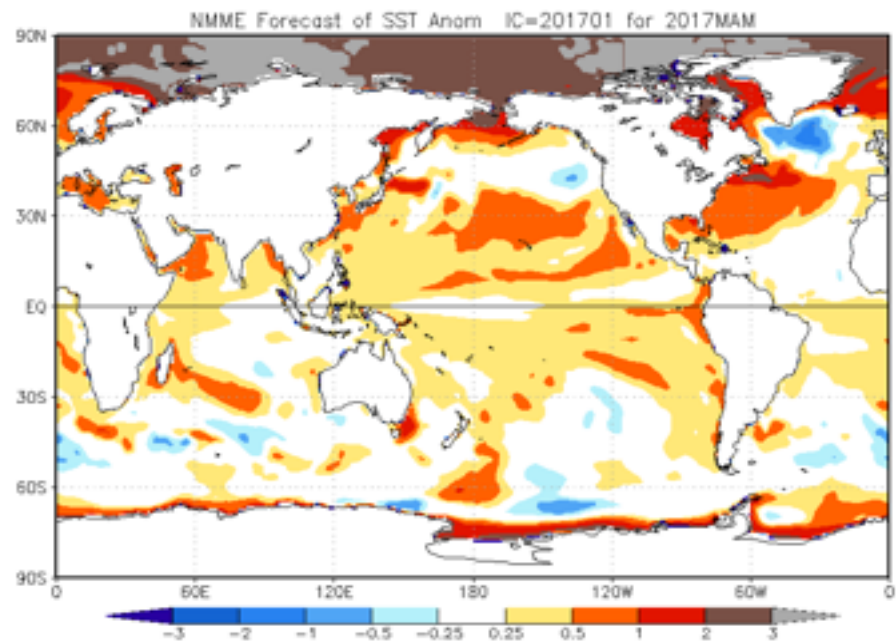


Figura 16. Pronóstico de la anomalía de temperatura superficial del mar promediada sobre los modelos del proyecto NMME (NCEP CFS2, CanCM3 CMC1 y 2, GFDL CM2.2, NASA, GFDL_FLOR y NCAR_CCSM4 para el trimestre marzo-mayo de 2017 con condiciones iniciales de enero de 2017. (Fuente: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/NMME/>)

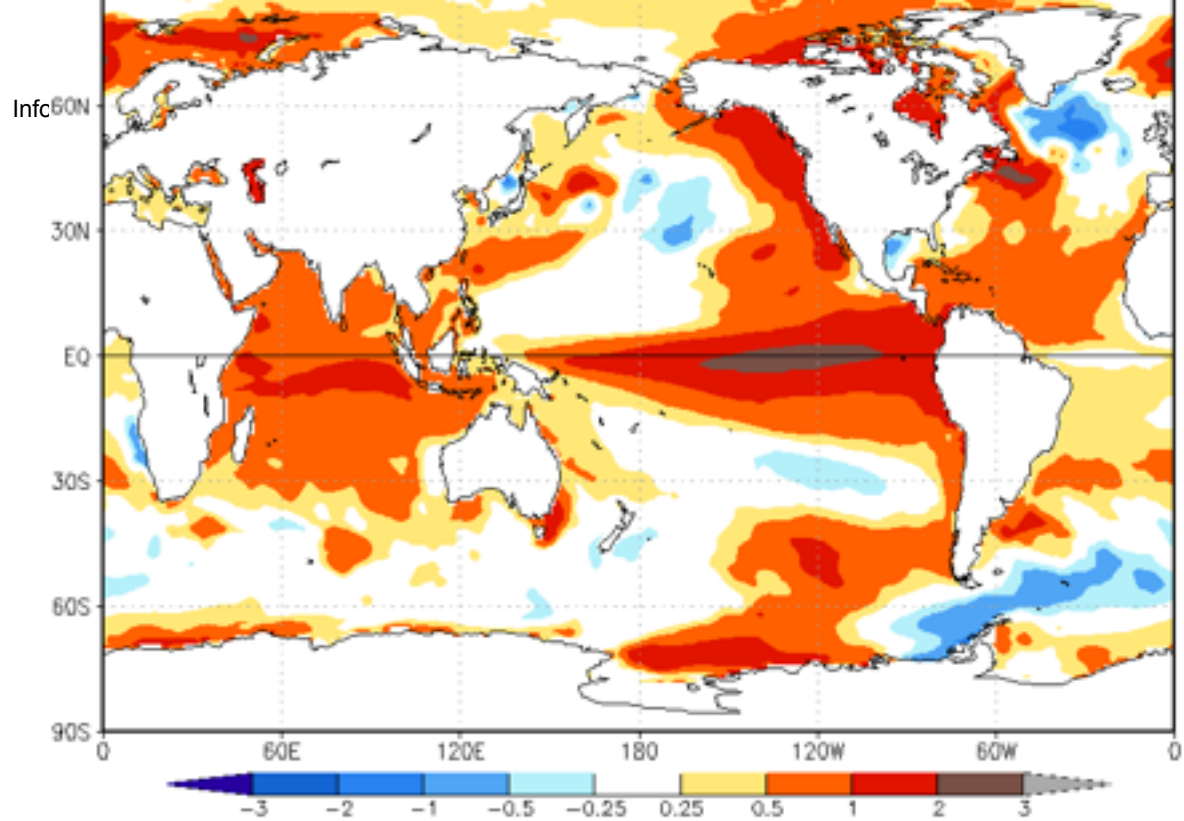


Figura 17. Similar a la Fig.16, pero para el trimestre abril-junio 2017.

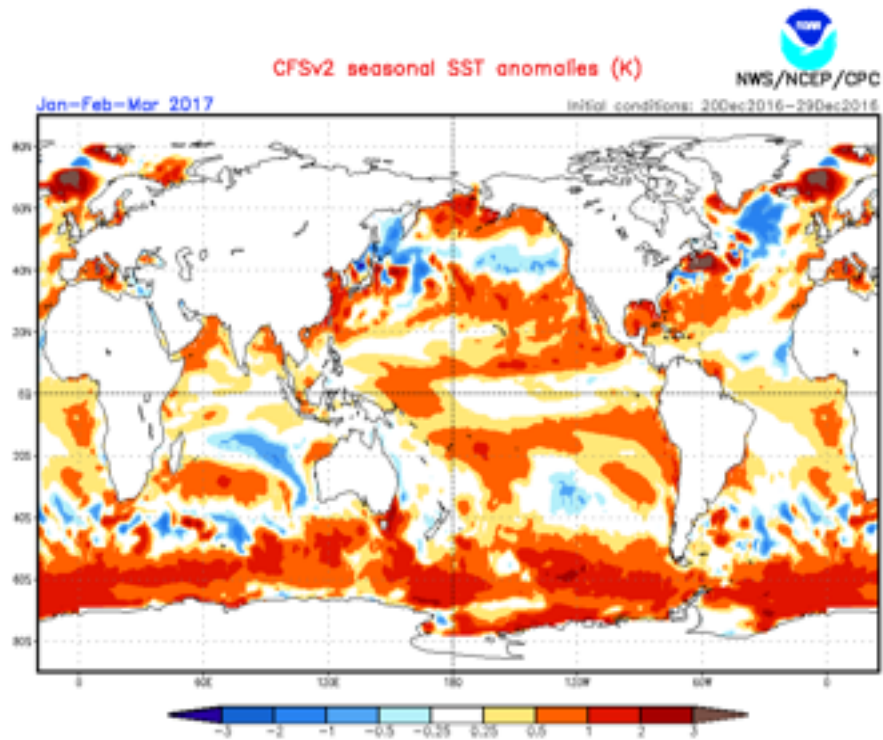


Figura 18. Pronósticos numéricos de anomalía de TSM para el periodo enero - marzo 2017 por el modelo CFSv2 con condiciones iniciales entre el 20 al 29 de diciembre 2016. (Fuente: NOAA).