

**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 Nº PpR/EI Niño-IGP/2017-03 17/04/2017**

**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), con datos de anomalías de ERSST v3b para el mes de febrero de 2017 las condiciones climáticas de la costa peruana fueron Cálidas Débiles (+0.93°C), mientras que el ICENOI, usando datos de OI SST, indica Cálidas Moderadas (+1,60°C), al igual que en enero (+1,02°C). Los valores temporales del ICEN (ICENtmp) y el ICENOI (ICENOItmp) coinciden en mostrar condiciones Cálidas Moderadas para los meses de marzo y abril. Con tanto el ICEN o el ICENOI se confirma operacionalmente la presencia de El Niño costero iniciado en diciembre. La magnitud para el verano (diciembre-marzo) sería débil según ICEN, pero podría alcanzar moderada según ICENOI dependiendo de que se confirmen las condiciones moderadas en marzo.

Para el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI) de la NOAA de febrero 2017 corresponde a condiciones neutras, los valores estimados para los meses de marzo y abril también corresponden a condiciones neutras.

Para el mes de mayo, en el Pacífico oriental, tres de los siete modelos numéricos internacionales de NMME inicializados en abril predicen condiciones cálidas débiles, tres predicen cálidas moderadas y uno predice condiciones cálidas fuertes. Para el mes de junio, tres modelos predicen condiciones cálidas débiles, dos predicen condiciones cálidas moderadas y dos predicen condiciones cálidas fuertes. Para mayo en el Pacífico central, seis de los siete modelos de NMME predicen condiciones cálidas débiles y uno predice condiciones neutras. Los modelos climáticos de NMME coinciden en extender la duración de El Niño costero en curso hasta al menos octubre 2017, consistente con la predicción del desarrollo de El Niño en el Pacífico central. Sin embargo, debido a la barrera de predictibilidad de otoño y la falta de acoplamiento océano-atmósfera observado, estas predicciones son inciertas.

Durante el mes de marzo, los datos observacionales de la profundidad de la termoclina entre 0.5°S y 0.5°N, muestran una onda Kelvin cálida que habría llegado ya a la costa americana. Esta onda Kelvin intraestacional, habría sido producto de la reflexión, en el extremo occidental, de una onda Rossby cálida. Dicha onda Kelvin, que no presentó una propagación clara por la superposición a anomalías negativas interanuales en el Pacífico central, podría haberse amplificado como consecuencia de la presencia de anomalías de vientos del oeste en el Pacífico oriental y/o por la profundidad de la termoclina que es más somera cerca de la costa americana.

### **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 marzo 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 febrero de 2017. Los valores se muestran en la Tabla 1.

Año	Mes	ICEN (°C)	Condiciones
2016	Noviembre	<b>0.37</b>	Neutra
2016	Diciembre	<b>0.43</b>	Cálida Débil
2017	Enero	<b>0.60</b>	Cálida Débil
2017	Febrero	<b>0.93</b>	Cálida Débil

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

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

Año	Mes	ICENtmp	Condiciones	Fuente
2017	Marzo	1.34	Cálida Moderada	2017/02-03: ERSST; 2017/04: NMME
2017	Abril	1.42	Cálida Moderada	2017/03: ERSST; 2017/04-05:NMME

Tabla 2. Estimados preliminares del ICEN (ICENtmp)

Según los valores del ICENtmp, se estima que en marzo y abril 2017 las condiciones serían CÁLIDAS MODERADAS. El ICENtmp de marzo será confirmado cuando se disponga del valor de ERSST para el mes de abril de 2017.

Según el ICEN y el criterio de ENFEN (2012), El Niño costero habría empezado en diciembre 2016, verificando una magnitud débil para el verano (diciembre 2016-marzo 2017) y transicionando a condiciones cálidas moderadas de marzo 2017 a la fecha.

Como se indicó en el informe anterior (ver Anexo 1 en el Informe Técnico El Niño-IGP 2017-02), los

datos de ERSST v3b para la región Niño 1+2 habrían subestimado las temperaturas en este verano. Por ello, también se estimó el ICENOI, que se calcula igual que el ICEN pero usando los datos mensuales de OISST.v2 y las climatologías de ERSST v3b (<http://www.met.igp.gob.pe/datos/climNino12.txt>). Los valores resultantes se muestran en la tabla 3.

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>ICENOI (°C)</b>	<b>Condiciones</b>
2016	Noviembre	<b>0.06</b>	Neutra
2016	Diciembre	<b>0.42</b>	Cálida Débil
2017	Enero	<b>1.02</b>	Cálida Moderada
2017	Febrero	<b>1.60</b>	Cálida Moderada

Tabla 3. Valores recientes del ICENOI (OISST.v2).

También se generaron las versiones preliminares y temporales de este índice (ICENItmp), combinando los datos de OISSTv2 con otras fuentes.

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>ICENItmp</b>	<b>Condiciones</b>	<b>Fuente</b>
2017	Marzo	1.63	Cálida Moderada	2017/02-03: OISSTv2; 2017/04: NMME
2017	Abril	1.52	Cálida Moderada	2017/03: OISSTv2; 2017/04-05: NMME

Tabla 4. Estimados preliminares del ICENOI (ICENItmp)

Los valores del ICENItmp estimados para marzo y abril 2017 corresponden a condiciones CÁLIDAS MODERADAS. El ICENItmp de marzo será confirmado cuando se disponga del valor de OISST.v2 para el mes de abril de 2017.

Sobre la base de tanto el ICEN como el ICENOI, El Niño costero 2017 habría iniciado en diciembre 2016. Según el ICENOI, si el valor de marzo es cálido moderado, entonces la magnitud del evento El Niño costero sería moderada..

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 febrero de 2017, es de  $-0.18^{\circ}\text{C}$ , correspondiente a condiciones Neutras<sup>1</sup>.

<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).

Año	Mes	ONI (°C)	Categoría
2016	Noviembre	<b>-0.84</b>	Fría Débil
2016	Diciembre	<b>-0.67</b>	Fría Débil
2017	Enero	<b>-0.42</b>	Neutra
2017	Febrero	<b>-0.18</b>	Neutra

Tabla 5. Valores recientes del ONI.

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

Los valores estimados (ONI<sub>tmp</sub>), combinando observaciones y pronósticos, indican condiciones neutras para los meses de marzo y abril 2017 (Tabla 4).

Año	Mes	ONI <sub>tmp</sub>	Condiciones	Fuente
2017	Marzo	0.07	Neutra	2017/02-03: ERSST; 2017/04: NMME
2017	Abril	0.34	Neutra	2017/03: ERSST; 2017/04-05: NMME

Tabla 6. Estimados preliminares del ONI (ONI<sub>tmp</sub>)

### Diagnóstico del Pacífico Ecuatorial

En la región Niño 3.4 las anomalías de la TSM (IR, MW, OSTIA) mostraron condiciones neutras, alcanzando la anomalía promedio de +0.3°C (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), según la propuesta de DiNezio (2016), quien señala 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, mostrando sus anomalías máximas cercanas a +3.1°C, +2.4°C y +3.3°C según los productos de microondas, OSTIA, e IR 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 la de mayor magnitud del último año, a pesar de que la TSM en el Pacífico central se encuentra neutral. En el Pacífico oriental ecuatorial (al este de 160°W) se presentaron ligeras anomalías de vientos del este (Figura 10), continúan las anomalías del viento del norte y la intensa (debilitada) ZCIT al sur (norte) del Ecuador, así como el gradiente norte-sur en la ATSM, indicando continuación del acoplamiento a través del mecanismo “wind-evaporation-SST”, que puede hacer persistir esta situación. El contenido de calor oceánico ecuatorial ha presentado tendencia a disminuir en los últimos días del mes, 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, sin embargo, mostró disminución a finales del mes, llegando a valores negativos, según TAO y ARGO (Figuras 5 y 6).

Según los datos de ARGO+TAO (Figura 8b), se observan anomalías positivas débiles (alrededor de 15 metros en promedio) en la región oriental (110°W-90°W).

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

Los datos observacionales de la profundidad de la termoclina muestran una señal positiva en el extremo oriental, al este de 120°W, que podría estar relacionada con una onda Rossby cálida (Fig. 8b), la cual, según los modelos numéricos de ondas, sería producto de la reflexión de la onda Kelvin cálida que arribó a la costa de Sudamérica en el mes de marzo tras ser generada en el extremo occidental y reforzada por la anomalía de vientos del oeste en el Pacífico oriental. Esta onda Rossby cálida contribuiría a mantener el incremento de la profundidad de la termoclina, al menos hasta abril.

Durante el mes de marzo, los datos observacionales de la profundidad de la termoclina entre 0.5°S-0.5°N, muestran una aparente presencia de una onda Kelvin cálida en el extremo oriental que habría llegado a la costa americana (Figura 8b) y que según los resultados del modelo lineal, sería de una escala de tiempo intraestacional (periodos entre 30 y 120 días) que se habría formado como consecuencia de la reflexión, en el extremo occidental, de una onda Rossby cálida. Sin embargo, esta onda estuvo superpuesta a anomalías negativas interanuales en el Pacífico central (Fig. 9e), por lo que no presentó una propagación clara. no habrían permitido identificar esta onda claramente. Por otro lado, esta onda Kelvin cálida intraestacional podría haberse amplificado como consecuencia de la presencia de anomalías de vientos del oeste en el Pacífico oriental y/o por la profundidad de la termoclina que es más somera cerca de la costa americana.

En escalas de tiempo intraestacional (periodos entre 30 y 120 días), los modelos oceánicos lineales, forzados con vientos ASCAT, muestran la presencia de una onda Kelvin cálida débil que arribaría a la costa peruana a inicios de abril. Luego, usando los mismos resultados numéricos, llegaría una onda Kelvin fría, aparentemente también débil. Finalmente, exista la posibilidad que una onda Kelvin cálida, formada por la reflexión de una onda Rossby cálida en el extremo occidental durante marzo, alcance el extremo oriental en el mes mayo (ver quinto panel de la Figura 9)

### **Pronóstico estacional con modelos climáticos**

Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), para el mes de mayo, 1 de los 7 modelos climáticos de NMME (CFSv2, NASA\_GEOS5, FLOR, CM2.1, NCAR\_CCM4, CMC1 y CMC2) inicializados en abril indica condiciones cálidas fuertes, 3 modelos pronostican condiciones cálidas moderadas, y 3 modelos indican condiciones cálidas débiles. Para el mes de junio, 2 de 7 modelos indican condiciones cálidas fuertes, 2 modelos pronostican condiciones cálidas moderadas, y 3 modelos predicen condiciones cálidas débiles (Fig. 11y Tabla 7). El promedio de los modelos extiende el evento El Niño costero hasta al menos octubre 2017, con magnitud moderada hasta setiembre. Si bien los pronósticos para mayo y junio inicializados en abril 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 abril predicen condiciones neutras para el mes de mayo y 6 de 7 modelos predicen condiciones cálidas débiles. Para el mes de junio, se observan seis modelos con condiciones cálidas débiles y un modelo con condiciones cálidas

moderadas (Tabla 8 y Fig. 12) . Entre los meses de julio y octubre se observa que los modelos incrementan sus anomalías, observándose el modelo GFDL con condiciones cálidas fuertes entre los meses de julio y octubre, de forma similar para el modelo GFDL\_FLOR para los meses de setiembre y octubre, pero en general esto debe tomarse con cuidado debido a la barrera de predictibilidad, además de la falta de acoplamiento observada entre la atmósfera ecuatorial y las anomalías positivas de TSM, particularmente la falta de las anomalías de vientos del oeste características del proceso de retroalimentación de Bjerknes.

Para el mes de mayo, los modelos NMME pronostican lluvias sobre lo normal en la costa norte de Perú en mayo (Fig. 13), pero esto es dudoso ya que la TSM y precipitación en esta región no es bien representada por los modelos y en mayo estacionalmente se esperaría la desactivación del mecanismo de interacción océano-atmósfera asociada a la ZCIT (Takahashi y Martínez, 2016).

Modelo	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON
CFS2		1.45	0.93	0.82	0.62	0.51	0.44	0.44
CMC1		1.41	1.26	1.22	1.28	1.15	0.99	0.89
CMC2		1.65	1.51	1.36	1.29	1.23	1.17	1.10
GFDL		1.44	1.57	1.89	1.75	1.38	1.15	1.16
NASA		1.14	0.82	0.84	0.82	0.84	0.89	0.98
GFDL_FLOR		1.79	1.80	2.05	1.91	1.83	1.66	1.56
NCAR_CCSD4		1.19	0.91	0.98	1.14	1.17	1.02	0.82
NMME		1.44	1.26	1.31	1.26	1.16	1.05	0.99
ICENtmp	1.34							

Tabla 7. Pronósticos del ICEN con diferentes modelos climáticos con condiciones iniciales de abril de 2017

Modelo	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON
CFS2		0.38	0.84	0.83	0.78	0.76	0.78	0.90
CMC1		0.38	0.62	0.71	0.84	0.94	0.96	0.97
CMC2		0.41	0.73	0.93	1.10	1.18	1.24	1.39
GFDL		0.36	0.74	1.15	1.52	1.64	1.55	1.45
NASA		0.12	0.29	0.52	0.79	1.05	1.23	1.39
GFDL_FLOR		0.34	0.68	0.98	1.26	1.46	1.62	1.77
NCAR_CCSD4		0.35	0.63	0.80	0.87	0.89	0.90	0.91
NMME		0.33	0.65	0.85	1.02	1.13	1.18	1.25
ONItmp	0.07							

Tabla 8. Pronósticos del ONI con diferentes modelos climáticos con condiciones iniciales de abril de 2017

## Conclusiones:

1. El ICEN, según los datos ERSST v3b para febrero de 2017 fue de 0.93 (Cálida Débil) y el ICENtmp para marzo y abril de 2017 es 1.34 (cálida moderada) y 1.42 (cálida moderada). El ICENOI, estimado con los datos de OISSTv2 para el mes de febrero de 2017 es 1.60 (Cálida Moderada) y el ICENOItmp para marzo y abril de 2017 es 1.63 (cálida moderada) y 1.52 (cálida moderada).
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 marzo, 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. Según TAO y NCEP/NCAR reanalysis, las anomalías de viento del oeste en el Pacífico oriental ecuatorial se redujeron a inicios de marzo pero luego se recuperaron. Los datos de ASCAT, por otro lado, muestran mayor predominio de anomalías del este. La convección anómala en el extremo oriental está aumentando ligeramente, consistente con un acoplamiento incipiente que podría ayudar al mayor desarrollo de condiciones cálidas.
5. En el Pacífico occidental continuaron las anomalías del este, consistente con una respuesta a los gradientes zonales de TSM, con las anomalías más fuertes desde el 2016 a finales de febrero e inicios de marzo. Consistente con esto, la actividad convectiva en el Pacífico central en marzo continuó mostrándose anómalamente reducida, similares a los de La Niña débil.
6. En el Pacífico oriental ecuatorial (5°S-5°N), continúan las anomalías de vientos del norte y la intensa (debilitada) ZCIT al sur (norte) del ecuador, así como el gradiente norte-sur en la ATSM (sur más cálido), indicando continuación del acoplamiento a través del mecanismo “wind-evaporation-SST” que puede hacer persistir esta situación. Sin embargo, estacionalmente la presencia de la ZCIT sur no persiste más allá de abril, por lo que el acoplamiento podría desactivarse.
7. Se espera que la onda Kelvin cálida, producto de la reflexión de una onda Rossby cálida en el extremo occidental y aparentemente ayudada por la anomalía de vientos del oeste en el Pacífico oriental, 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 de ondas. Los datos observacionales de la profundidad de la termoclina muestran una señal positiva en el extremo oriental que podría estar relacionada con la onda Rossby cálida en mención.
8. Durante el mes de marzo, los datos observacionales de la profundidad de la termoclina entre 0.5°S-0.5°N, muestran una aparente llegada a la costa americana de una onda Kelvin cálida intraestacional en el extremo oriental que, según los resultados de los modelos lineales, se habría generado por reflexión de una onda Rossby en el extremo occidental y amplificada por anomalías de vientos del oeste en el Pacífico oriental y por la menor profundidad de la termoclina cerca de la costa americana. Esta onda estuvo superpuesta a anomalías negativas interanuales en el Pacífico central, por lo que no presentó una propagación clara.
9. Los modelos numéricos oceánicos lineales, forzados con productos de viento de ASCAT, indican la presencia de una onda Kelvin cálida débil intraestacional que arribaría a la costa peruana a inicios de abril. Luego llegaría una onda Kelvin fría intraestacional de magnitud débil. Finalmente, exista la posibilidad que una onda Kelvin cálida, formada por la reflexión de una onda Rossby cálida en el extremo occidental durante marzo, alcance el extremo oriental en el mes de mayo.

10. Para el Pacífico Oriental (región Niño 1+2), los pronósticos de los modelos climáticos de NMME inicializados en abril para el mes de mayo indican: 1 de 7 modelos predicen condiciones cálidas fuertes, 3 modelos pronostican condiciones cálidas moderadas, y 3 modelos predicen condiciones cálidas débiles. Para el mes de junio, 2 de 7 modelos predicen condiciones cálidas fuertes, 2 modelos pronostican condiciones cálidas moderadas, y 3 modelos predicen condiciones cálidas débiles (Fig. 10 y Tabla 5). Los pronósticos extienden el evento El Niño costero hasta al menos octubre 2017.
11. Para el Pacífico central (Niño 3.4), para el mes de mayo, 1 de los 7 modelos de NMME predicen condiciones neutras y 6 modelos predicen condiciones cálidas débiles. Para el mes de junio, se observan 6 modelos con condiciones cálidas débiles y 1 modelo con condiciones cálidas moderadas (Tabla 6) . Entre los meses de julio y octubre se observa que los modelos incrementan sus anomalías, observándose el modelo GFDL con condiciones cálidas fuertes entre los meses de julio y octubre , de forma similar para el modelo GFDL\_FLOR para los meses de setiembre y octubre, pero en general esto debe tomarse con cuidado debido a la barrera de predictibilidad y la falta de acoplamiento océano-atmósfera observado. Considerando 4 modelos inicializados en marzo, se observa condiciones cálidas débiles para los meses de mayo y junio
12. Si bien varios modelos pronostican el desarrollo de El Niño en el Pacífico central y la persistencia de El Niño costero, este pronóstico parece basarse en la expectativa de que el calentamiento en el Pacífico oriental ecuatorial active la convección profunda en esta región y los vientos del oeste asociados. Sin embargo, la configuración atmosférica actual a gran escala continúa similar a la de La Niña a pesar del calentamiento. Los modelos hicieron un pronóstico similar en el año 2014 que no se concretó, a pesar de que ese año las condiciones eran más favorables a El Niño que en este. En general, asociado con la llamada barrera de predictibilidad de otoño, los pronósticos numéricos son más confiables a partir de mayo.

## 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 llluvias 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/elnino/>

### **Equipo**

Ken Takahashi, Ph.D. (responsable)

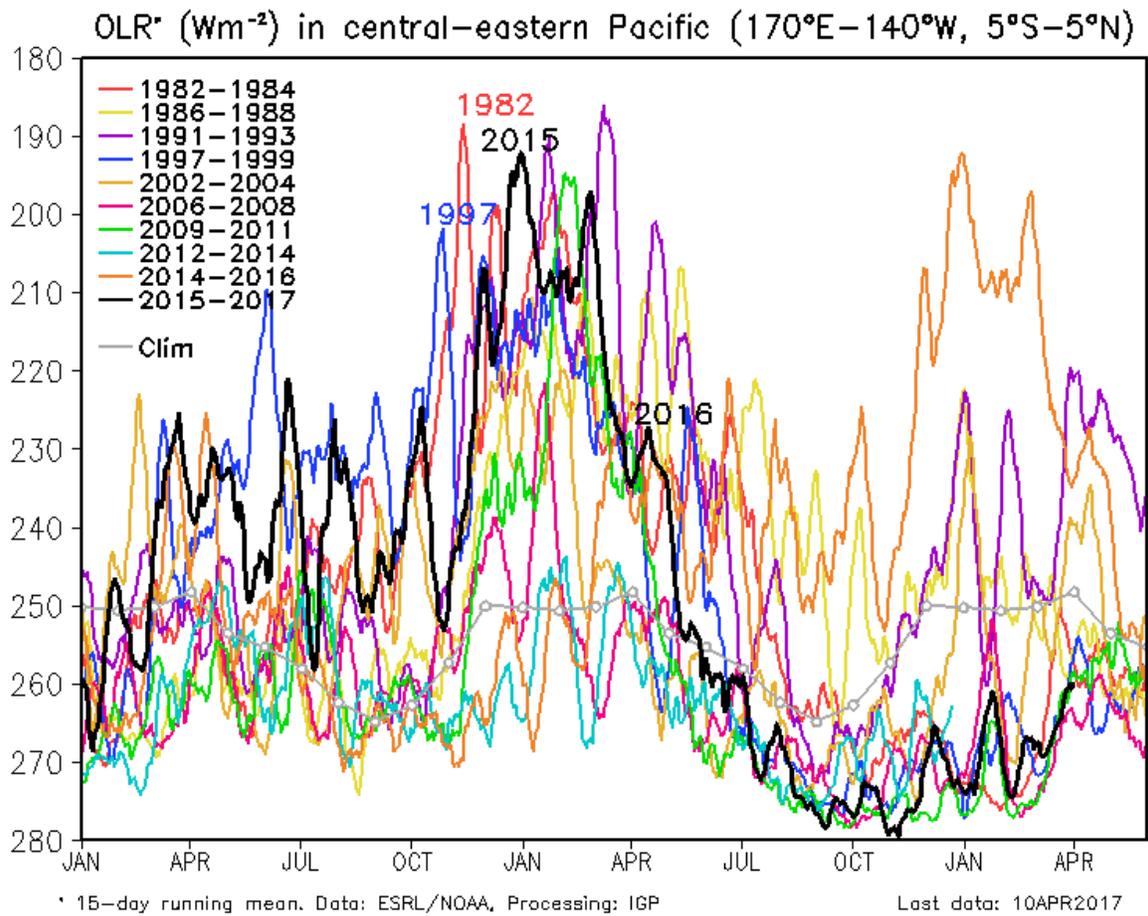
Kobi Mosquera, Dr.

Jorge Reupo, Bach.

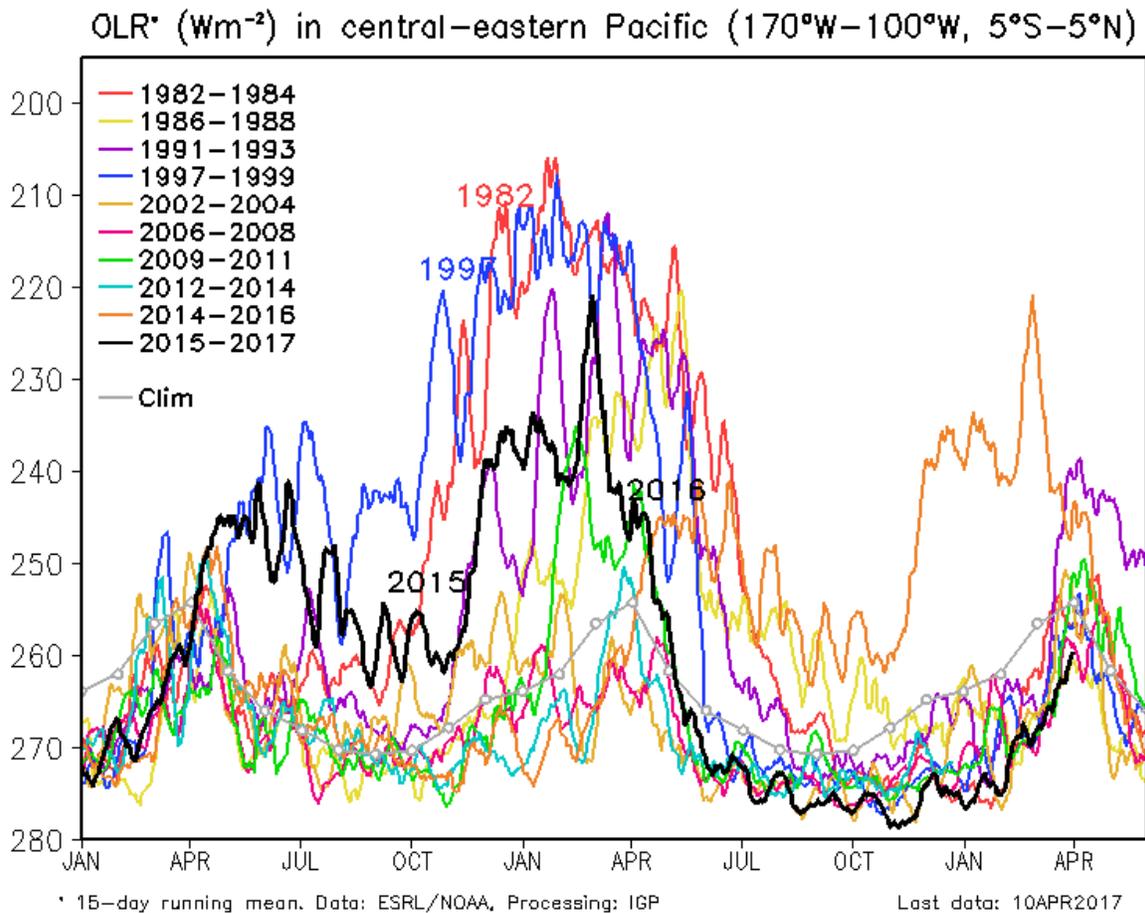
### **Agradecimientos**

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.

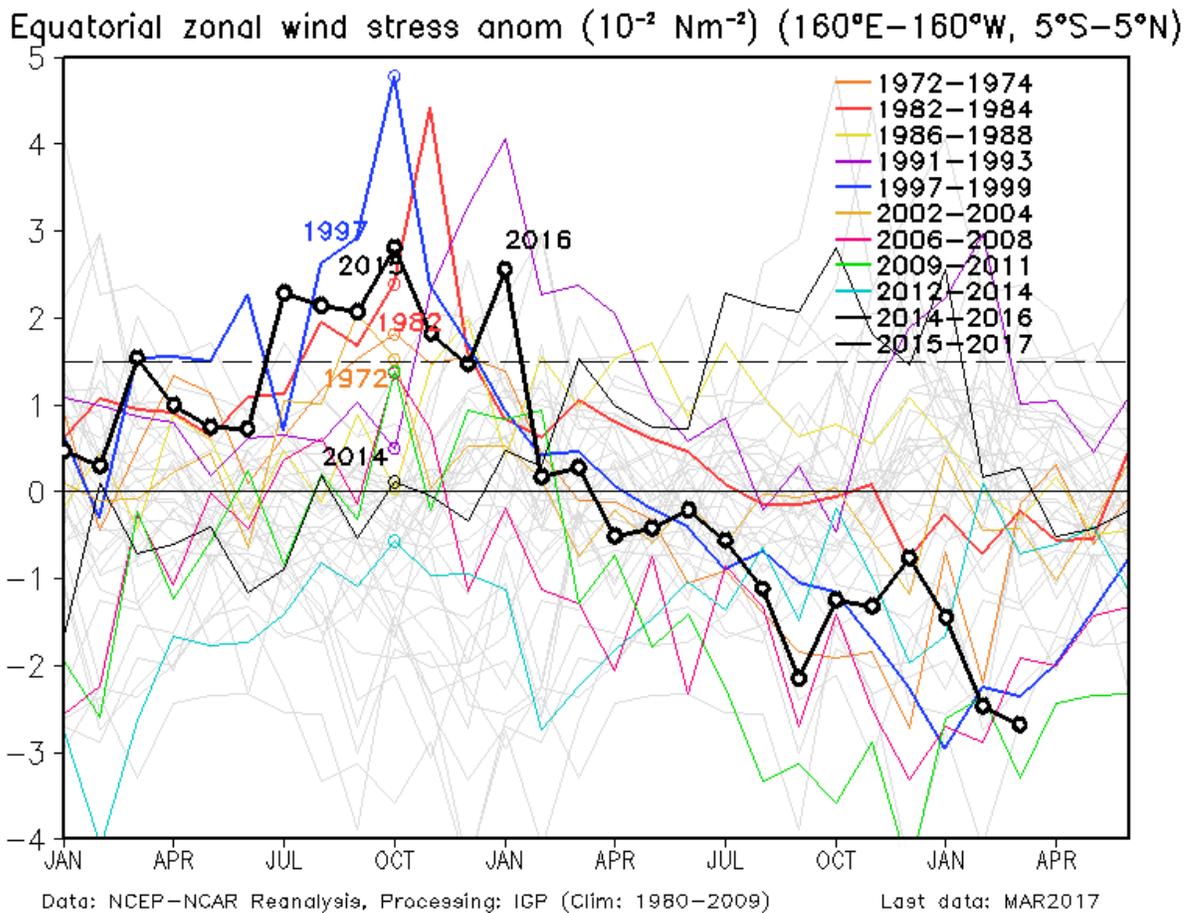
**Figuras**



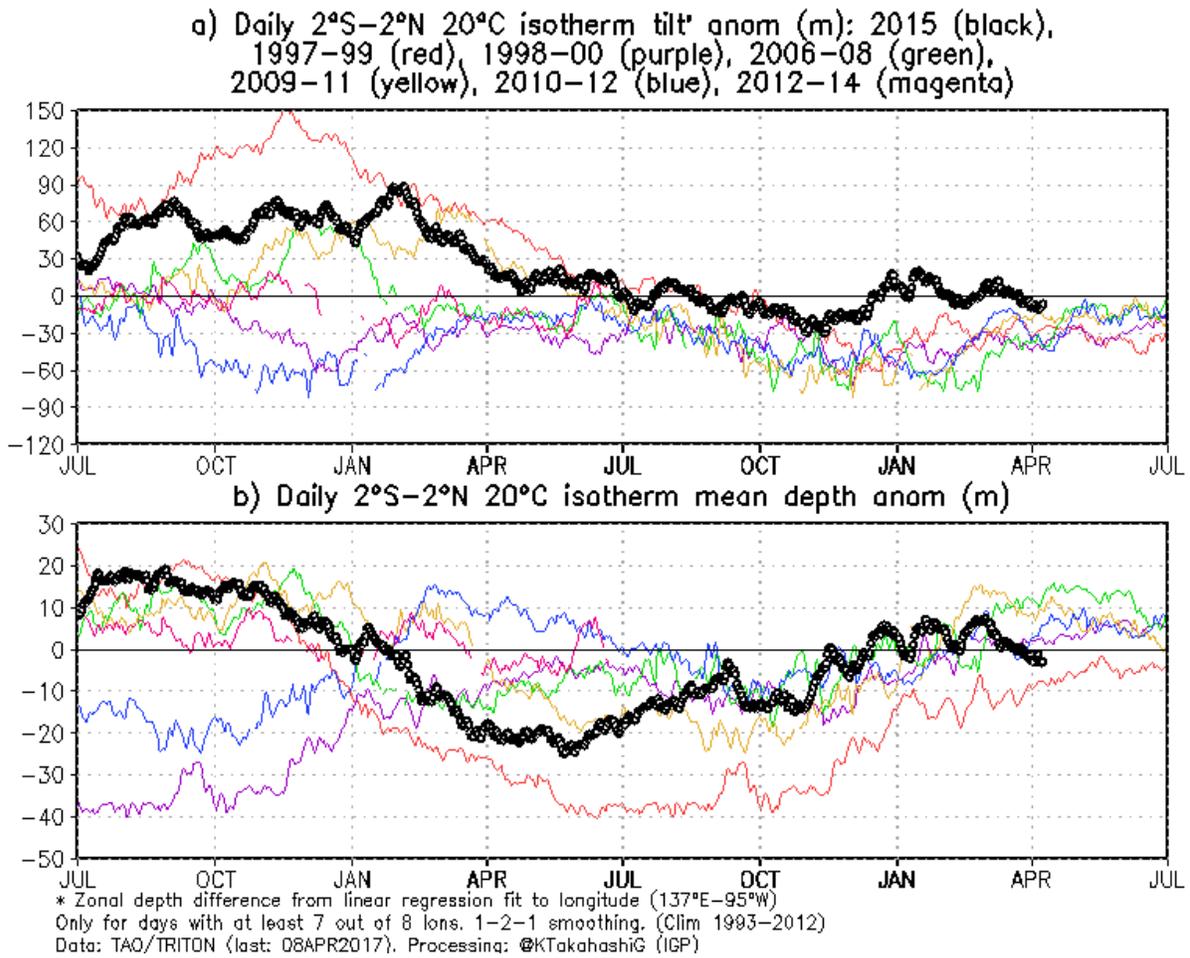
**Figura 1.** Actividad convectiva en el Pacífico Central Oriental ( $170^{\circ}$ - $140^{\circ}W$  y  $5^{\circ}S$ - $5^{\circ}N$ ) en base a la información de OLR (Outgoing Longwave Radiation). Elaboración: IGP



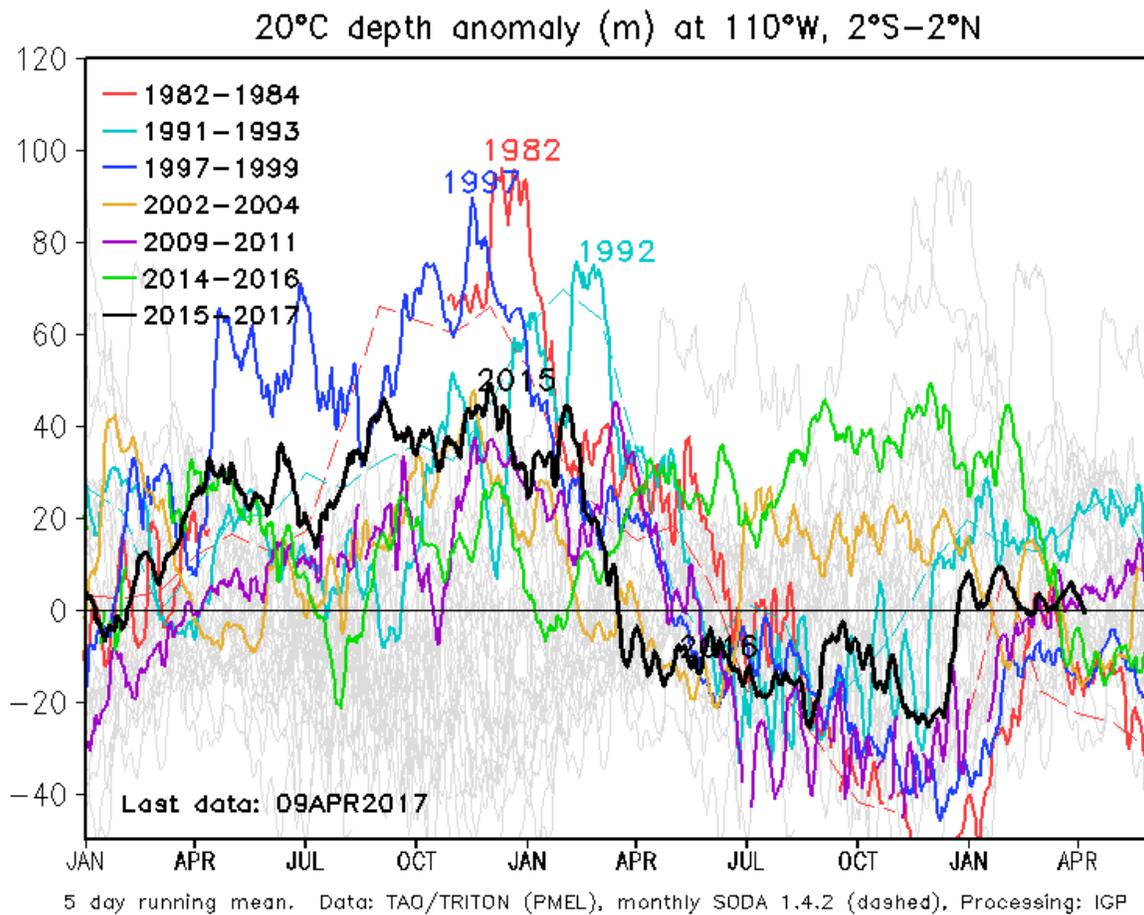
**Figura 2.** Actividad convectiva en el Pacífico Central Oriental ( $170^{\circ}\text{W}-100^{\circ}\text{W}$  y  $5^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{N}$ ) en base a la información de OLR (Outgoing Longwave Radiation). Elaboración: IGP



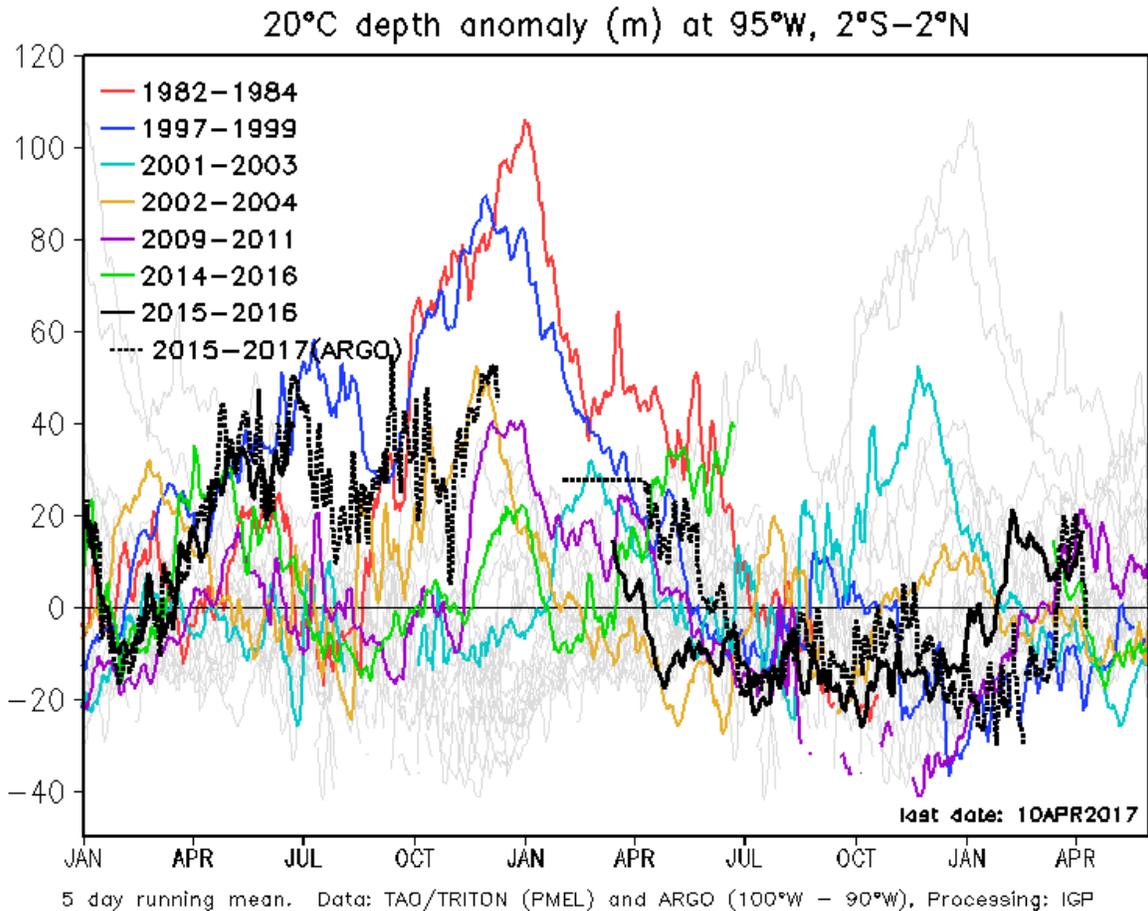
**Figura 3.** Promedio de la anomalía del esfuerzo de viento zonal en el Pacífico Ecuatorial ( $160^{\circ}\text{E}-160^{\circ}\text{W}$  y  $5^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{N}$ ) obtenido de los datos del reanálisis de NCEP-NCAR. Elaboración: IGP



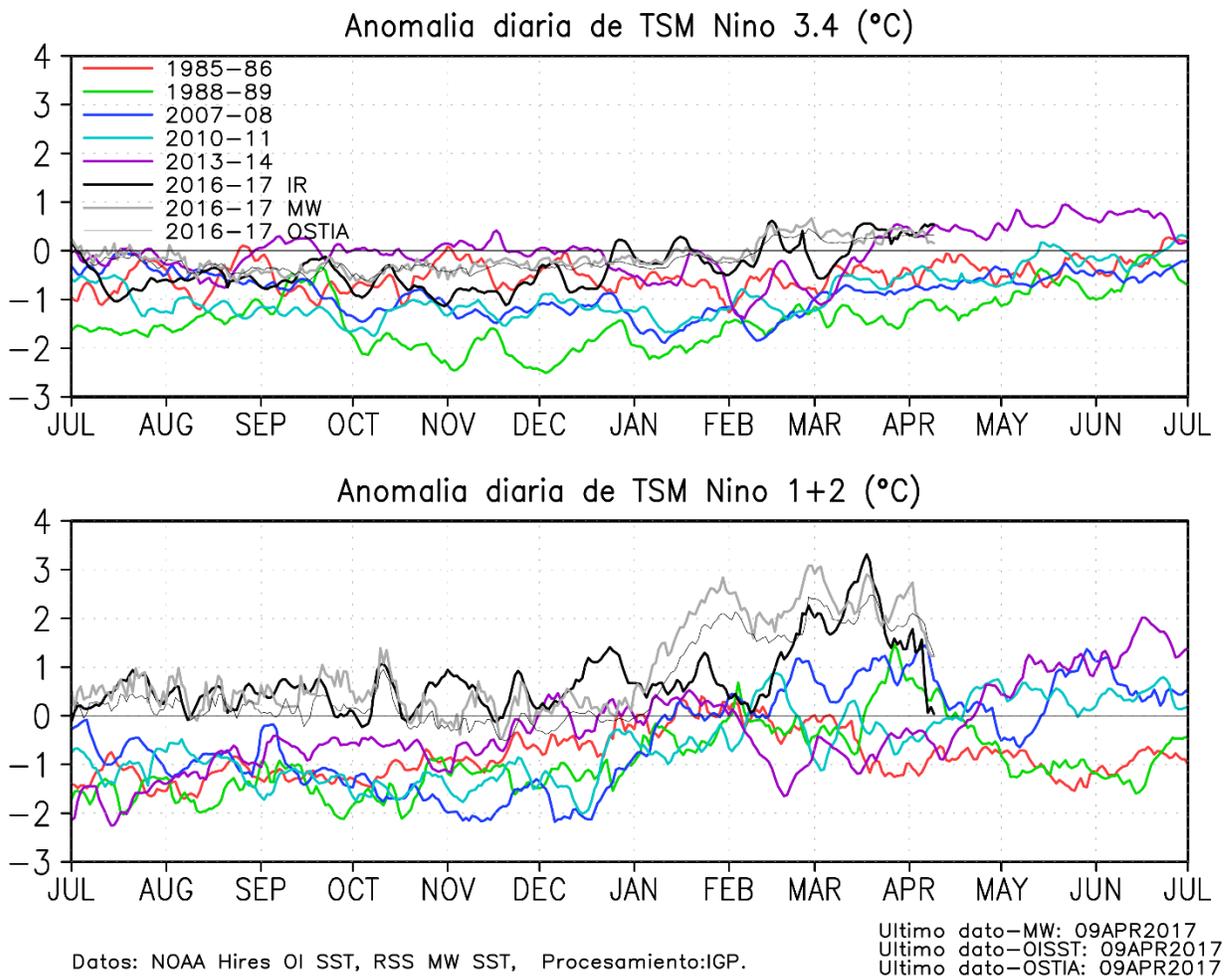
**Figura 4 a)** Inclinación de la termoclina en el Pacífico ecuatorial basado en los datos de las boyas TAO entre 2°N y 2°S. **b)** Contenido de calor en la región ecuatorial basado en los datos de las boyas TAO entre 2°N y 2°S. A diferencia de informes anteriores, se excluyen las boyas TRITON (Pacífico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



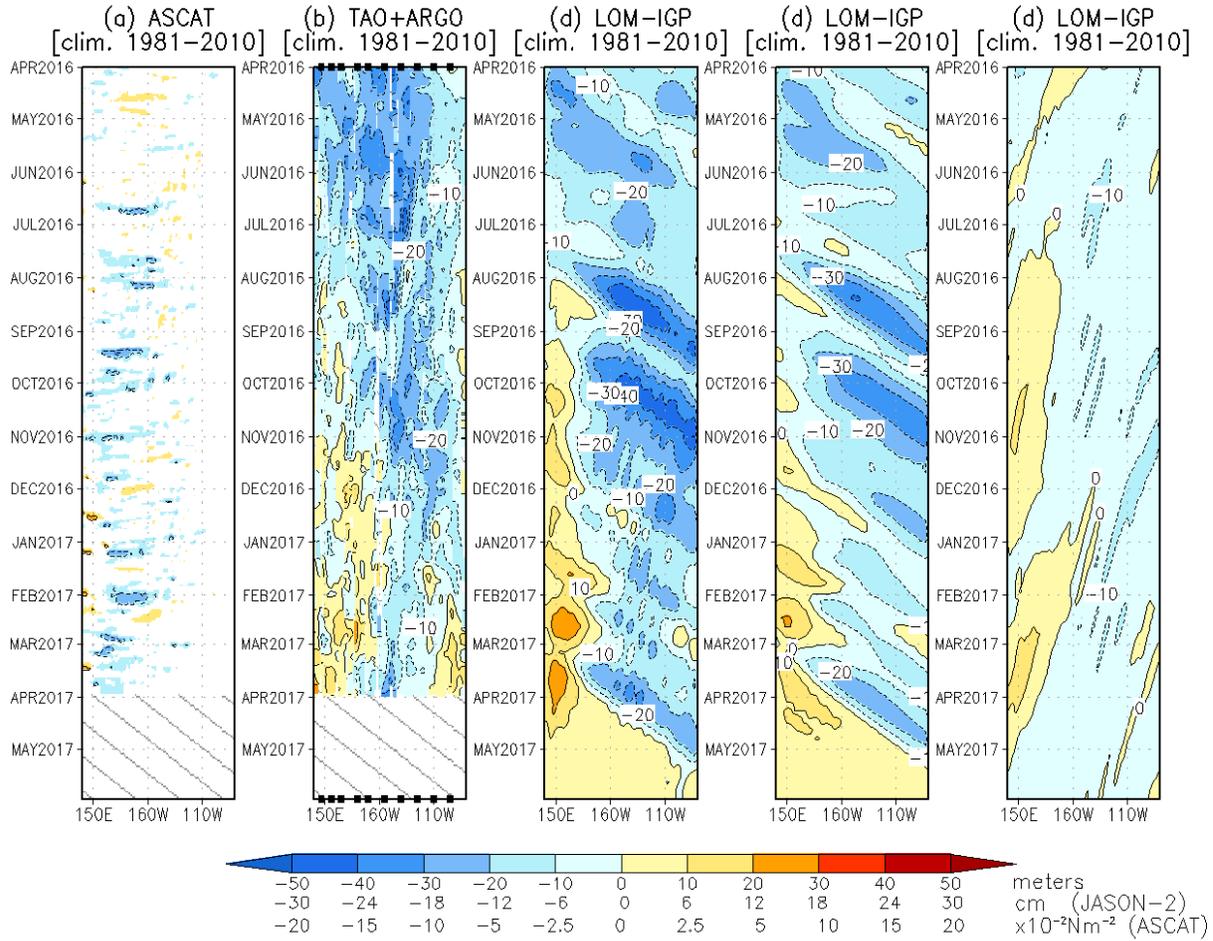
**Figura 5.** Anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C en la zona de 110°W en base a: i) la información de las boyas de TAO en 110°W y entre 2°S y 2°N; y ii) SODA. Elaboración: IGP



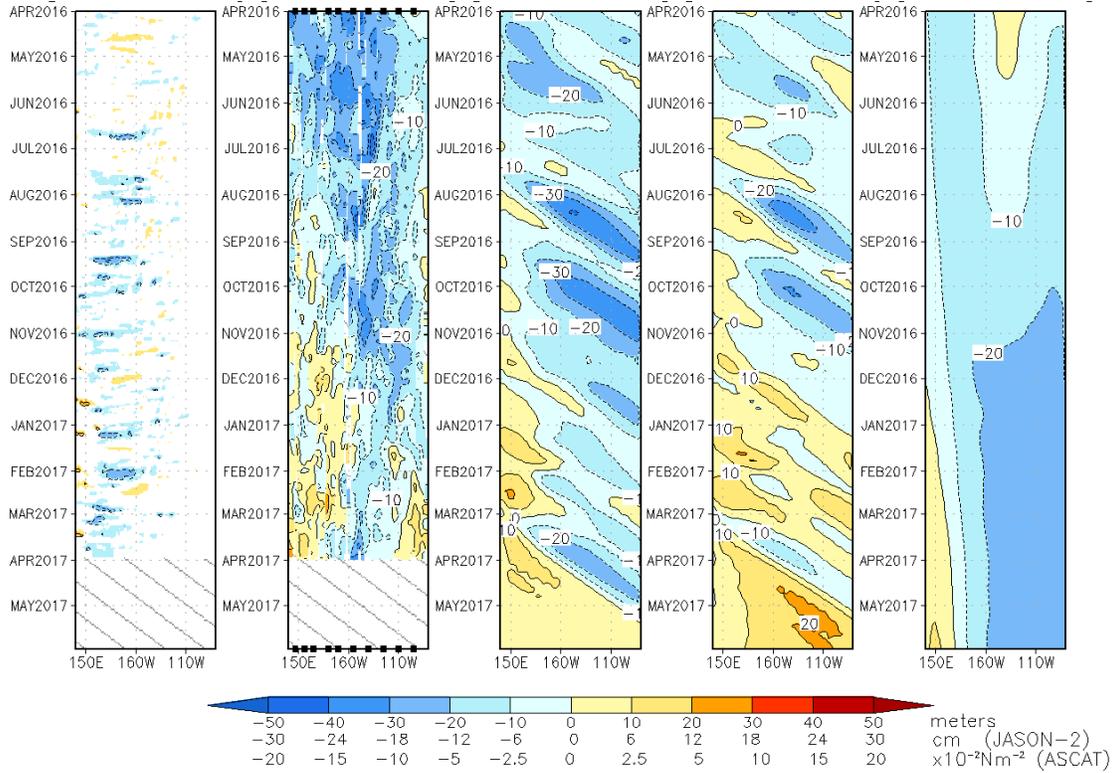
**Figura 6.** Anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C en la zona de 95°W en base a: i) la información de las boyas de TAO en 95°W y entre 2°S y 2°N; y ii) los flotadores de ARGO entre 100°-90°W y 2°S-2°N. Elaboración: IGP



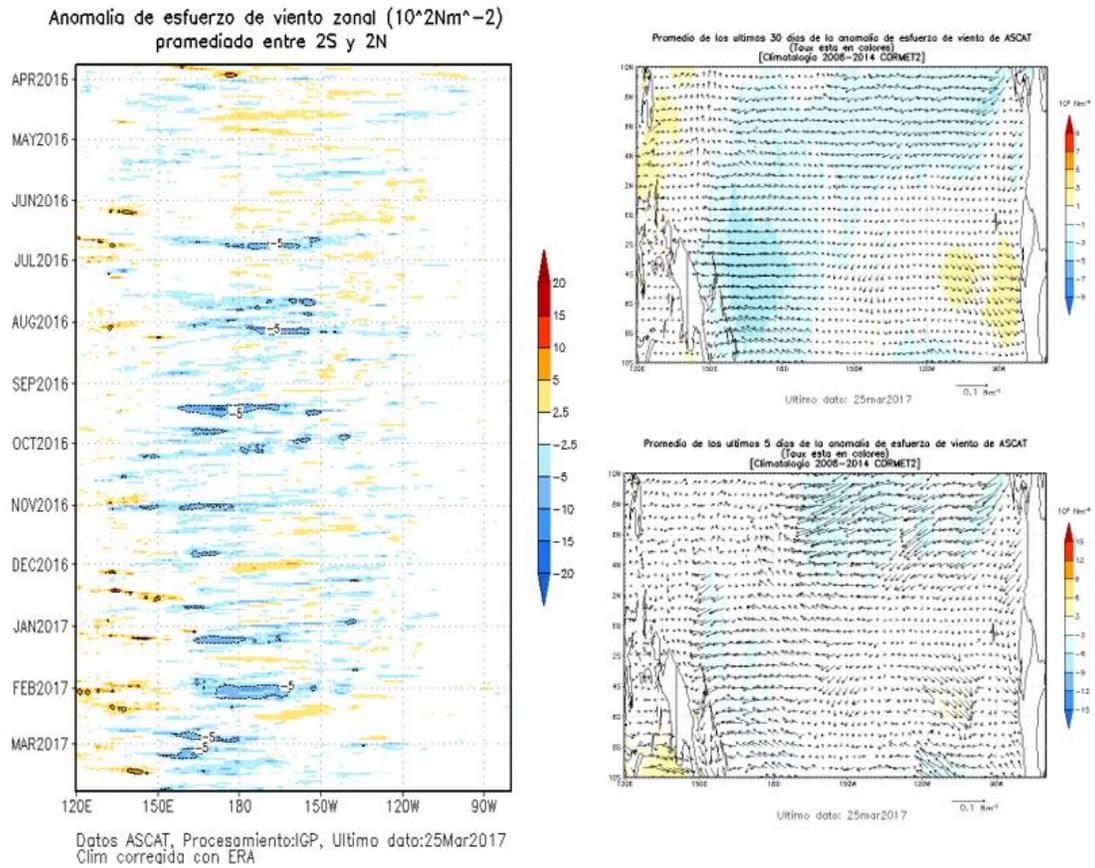
**Figura 7.** Series de tiempo de la anomalía diaria de la TSM en la región Niño 3.4 (arriba) y en la región Niño 1+2 (abajo). Las líneas en color negro (guesa), gris y negro (fina) indican la evolución de la anomalía de la TSM en el presente año usando información infrarroja (IR), microondas (MW) y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



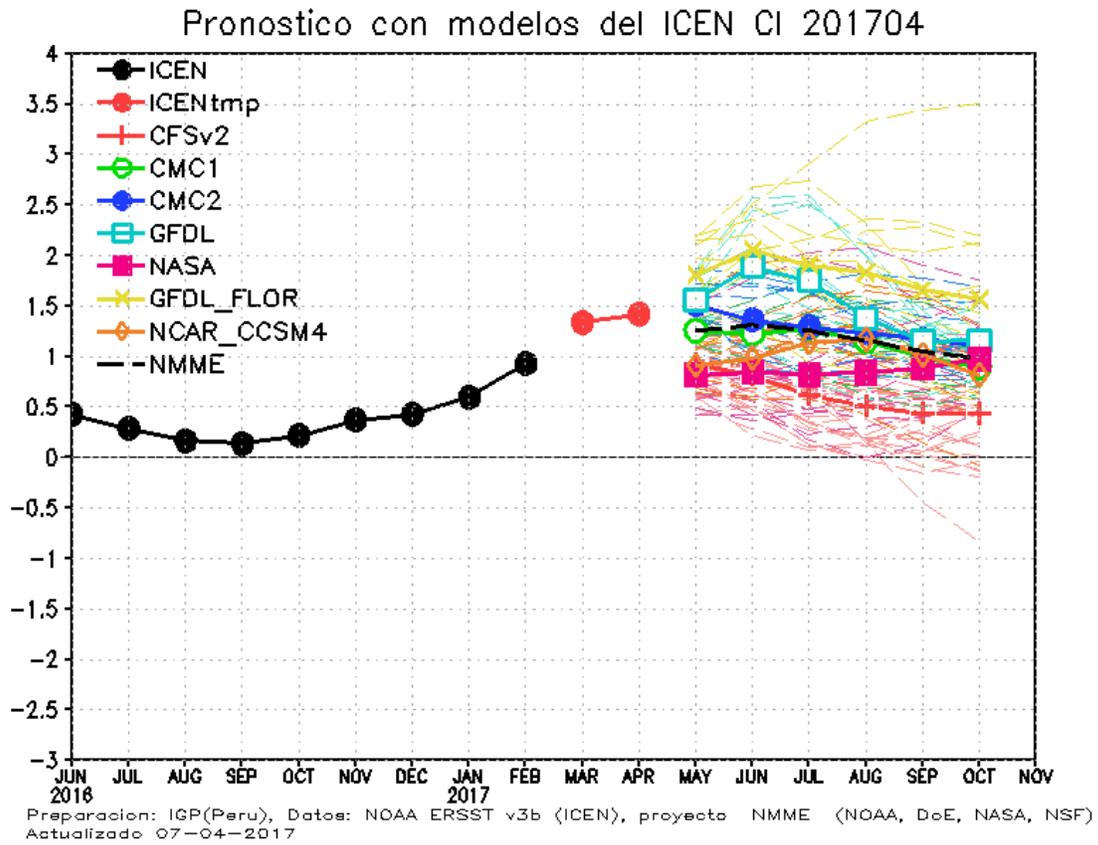
**Figura 8.** Diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (a), anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C datos de TAO y los derivados de ARGO (b), diagrama de la onda Kelvin y Rossby (c), diagrama de la onda Kelvin (d) y finalmente diagrama de la onda Rossby, calculada con el modelo LOM-IGP (forzado por ASCAT, y  $\tau=0$  para el pronóstico). Las líneas diagonales representan la trayectoria de una onda Kelvin si tuviera una velocidad de 2.6 m/s. (Elaboración: IGP)



**Figura 9.** De izquierda a derecha: diagrama longitud-tiempo de las anomalías de esfuerzo de viento zonal ecuatorial basado en datos del escaterómetro ASCAT (primer panel); anomalía de la profundidad de la isoterma de 20°C de TAO y los derivados de ARGO (segundo panel); onda Kelvin (tercer panel), onda Kelvin intraestacional (cuarto panel), Onda Kelvin interanual multiplicado por un factor de dos (quinto panel). Las tres figuras de la derecha son resultados numéricos de un modelo oceánico lineal, forzado con información de vientos de ASCAT. Las líneas diagonales representan la trayectoria que tendría la onda Kelvin si tuviera una velocidad de 2.6 m/s. (Elaboración: IGP)



**Figura 10.** 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 marzo de 2017, incluyendo los vectores de esfuerzo zonal. (Elaboración: IGP)



**Figura 11.** 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 abril de 2017. (Fuente: IGP, NOAA, proyecto NMME).

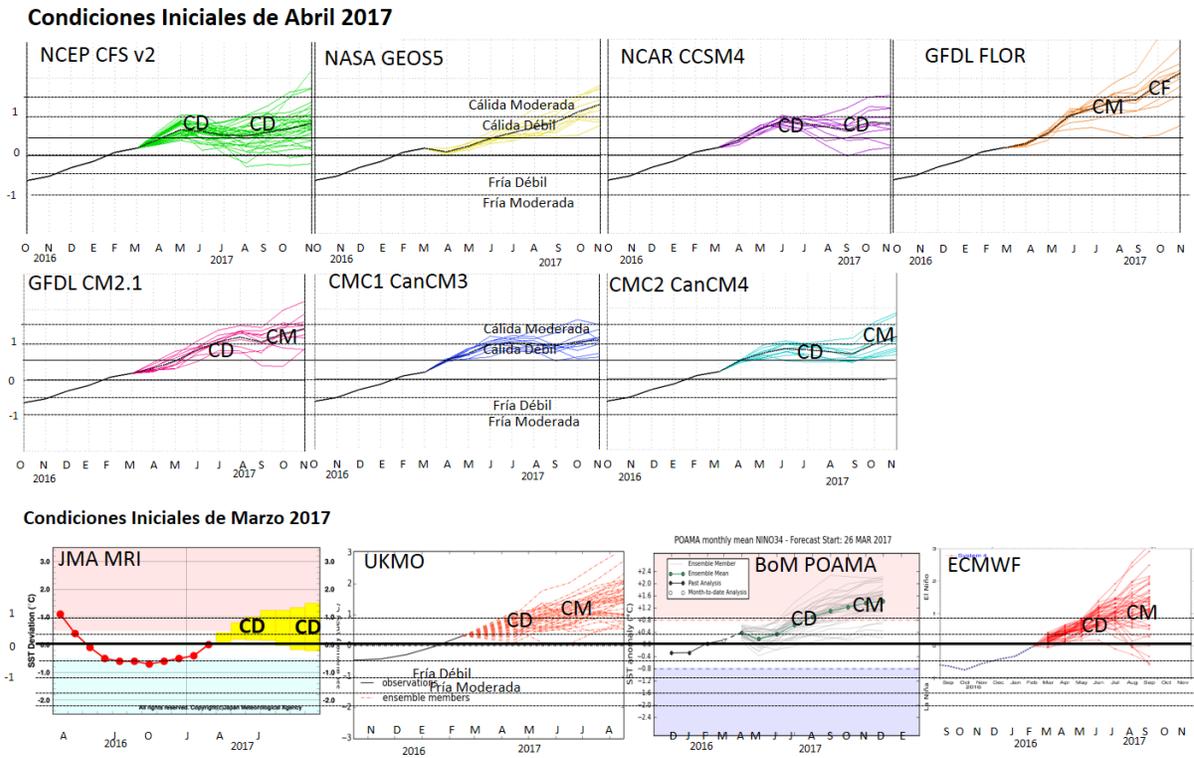
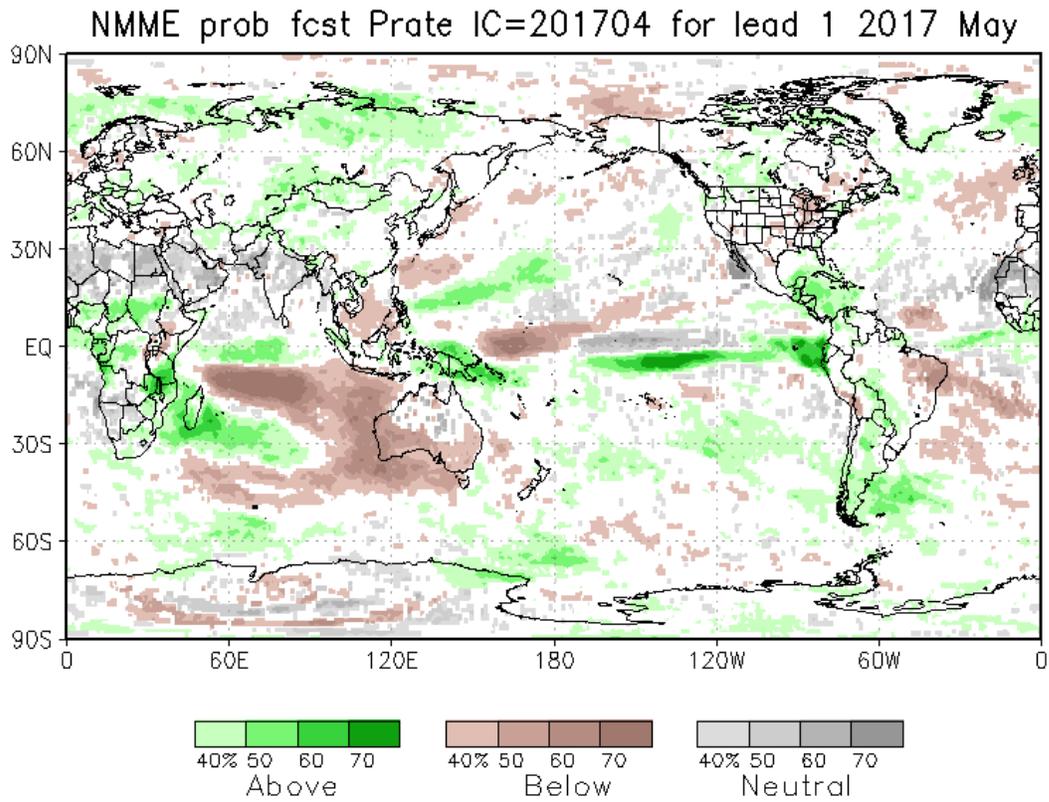


Figura 12. Índice Niño 3.4 mensual observado y pronosticado por los modelos de NMME y otros.



**Figura 13.** Pronósticos probabilístico de precipitación para mayo 2017 por modelos de NMME inicializados en abril 2017. (Fuente: NOAA).