



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

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/2023-08

14/09/2023

Advertencia: El presente informe sirve como insumo para la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” (ENFEN). El pronunciamiento colegiado de la comisión multisectorial 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), en julio se presentó la condición climática cálida fuerte (2.94 °C). Los valores del ICEN temporal (ICEN-tmp) de agosto (2.98 °C) y setiembre (2.68 °C), coinciden en indicar condiciones cálidas fuertes. Por otro lado, en el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de julio (1.06 °C) indica la condición cálida moderada. Los valores temporales (ONI-tmp) de agosto (1.32 °C) y setiembre (1.59 °C) indican condiciones cálidas moderadas y cálidas fuertes, respectivamente. Según las observaciones, *in situ* y satelital, de setiembre, se observa el arribo de una nueva onda de Kelvin cálida a la costa peruana y se espera en la siguiente semana el arribo del núcleo. Por otro lado, se observa en la profundidad de la termoclina, una posible onda de Kelvin fría débil alrededor de 160°W.

El promedio de las predicciones de los seis modelos climáticos de NMME —inicializados con la información de setiembre de 2023— para el Pacífico oriental indica condiciones de cálidas fuertes hasta el mes de noviembre, condiciones de cálidas moderadas a cálidas débiles de diciembre a junio de 2024. Por otro lado, para el Pacífico central, entre setiembre y febrero de 2024 se esperarían condiciones cálidas fuertes, en el periodo de marzo a mayo las condiciones serían de cálidas moderadas a cálidas débiles. Por otro lado, el modelo de Inteligencia Artificial del IGP pronostica un evento El Niño extremo ($E > 1.5$) para enero de 2024.





“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
 “Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

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 la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” (ENFEN), bajo la coordinación del Instituto del Mar del Perú (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 se genera en el marco de esta actividad, el cual se entrega al IMARPE, como coordinador de la actividad y encargado de la presidencia de la comisión multisectorial, para contribuir a la evaluación periódica que dicha comisión realiza. El informe técnico, generado posteriormente por la comisión multisectorial, será el documento oficial sobre el monitoreo y pronóstico del fenómeno El Niño/La Niña en el Perú.

Índice Costero El Niño

Utilizando la versión 5 de la información reconstruida y extendida de la temperatura superficial del mar (TSM), denominada ERSSTv5, se calculó el valor del ICEN (región Niño 1+2) para julio de 2023, el cual indica la condición cálida fuerte (Tabla 1). Para el cálculo del ICEN se utilizan los datos que son denominados como “datos en tiempo real”, los que son actualizados en el transcurso de los siguientes meses. Por este motivo, existirán pequeñas discrepancias en el valor del ICEN para los meses anteriores cuando se use la data actualizada.

Con los valores del ICEN de julio, El Niño Costero en curso habría alcanzado la magnitud fuerte.

Tabla 1. Valores recientes del ICEN y sus respectivas categoría (columnas 3 y 4).

Año	Mes	ICEN	Categoría
2023	Abril	2.19	Cálida Fuerte
2023	Mayo	2.55	Cálida Fuerte
2023	Junio	2.62	Cálida Fuerte
2013	Julio	2.94	Cálida Fuerte

Para los siguientes dos meses se generan valores preliminares y temporales del ICEN (ICENTmp), que se calculan usando el promedio de los pronósticos de la anomalía de la TSM de NMME de un mes y dos meses para el primer y segundo ICENTmp, respectivamente. Los valores del ICENTmp de agosto y setiembre de 2023 indican condiciones cálidas fuertes (Tabla 2).

Tabla 2. ICEN temporales (ICENTmp) y sus categorías para agosto y setiembre 2023.

Año	Mes	ICENTmp	Categoría
2023	Agosto	2.98	Cálida Fuerte
2023	Setiembre	2.68	Cálida Fuerte



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

Índice Oceánico Niño (ONI)

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), el valor del ONI (*Ocean Niño Index* en inglés) de julio de 2023, actualizado por la NOAA, es 1.06 °C, el que corresponde a una condición cálida moderada¹.

Tabla 3. Valores recientes del ONI. Descarga: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt> (se usan los últimos datos en tiempo real, por lo que puede haber discrepancias para los meses anteriores).

Índice Oceánico Niño			
Año	Mes	ONI (°C)	Categoría
2023	Abril	0.14	Neutro
2023	Mayo	0.47	Neutro
2023	Junio	0.77	Cálida débil
2023	Julio	1.06	Cálida Moderada

Los valores estimados del ONI (ONItmp) de agosto y setiembre de 2023, usando datos observados y de los pronósticos de NMME, indican condiciones cálidas moderadas y cálidas fuertes (Tabla 4).

Tabla 4. Estimados preliminares del ONI (ONItmp)

Índice Oceánico Niño temporales			
Año	Mes	ONItmp (°C)	Categoría
2023	Agosto	1.32	Cálida Moderada
2023	Setiembre	1.59	Cálida Fuerte

Diagnóstico del Pacífico ecuatorial

En agosto, las anomalías de la TSM registradas en la región Niño 3.4, en promedio, estuvieron en el rango de cálida moderada; sin embargo, en los últimos días del mes la anomalía habría alcanzado el rango cálido fuerte. Por otro lado, en la región Niño 1+2, la anomalía de la TSM estuvo en el rango de la condición cálida extraordinaria (Figura 1). Conforme a la información de los datos obtenidos de las boyas de TAO, en promedio, los vientos alisios a lo largo de la franja ecuatorial (2°S–2°N) se mantienen débiles, principalmente, al oeste de la línea de cambio de fecha (Figura 2a). Por otro lado, se mantiene el incremento de la ATSM hacia la región central ecuatorial (Figura 2b); mientras que la profundidad de la termoclina permanece más profunda de lo normal en la zona oriental del Pacífico (Figura 2c). Según la información del esfuerzo de viento, calculado de los vientos a 10 m de NCEP-DCAS, se observaron pulsos de viento débiles del este y del oeste en gran parte del Pacífico (Figura 3).

Conforme a la información de TAO, la inclinación de la termoclina continúa disminuyendo lentamente (Figura 4a), mientras que el contenido de calor mostró una pequeña disminución con respecto al mes anterior (Figura 4b). En la región oriental, alrededor de 95°W, el valor de la anomalía promedio de la

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).



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

profundidad de la termoclina tuvo un incremento y disminución, en la actualidad muestra una tendencia negativa (Figura 5).

Los valores de OLR (Outgoing Longwave Radiation) en agosto, tanto en la zona occidental (170°E-140°W, 5°S-5°N) como la oriental (170°W-100°W, 5°S-5°N), estuvieron con valores alrededor de su climatología. Esto se puede apreciar en la Figura 6 (zona occidental) y la Figura 7 (zona oriental).

Según la información *in situ* y remota de la zona ecuatorial, durante agosto se observaron ondas de Kelvin frías y cálidas. En setiembre se observa que la señal de la onda de Kelvin cálida habría iniciado su arribo al extremo oriental. Por otro lado, aparentemente, se observa en la profundidad de la termoclina, una onda de Kelvin fría débil alrededor de 160°W. A la fecha, en el nivel del mar, no se observan señales de ondas de Rossby cálidas intensas que puedan reflejarse como ondas de Kelvin en la zona occidental en el siguiente mes. Sin embargo, en la zona central, continúa el desplazamiento de una onda de Rossby cálida (Figura 8).

Ondas de Kelvin a lo largo de la costa peruana

Sin el promedio de los últimos 365 días de la información diaria del nivel del mar del producto DUACS (Figura 9b) y la data cada cinco días de los flotadores ARGO que se encuentran en el mar peruano (ver anomalía de la temperatura del mar obtenida del flotador No. 6903003 en Figura 10), se observa el paso de la onda Kelvin fría de poca intensidad y el inicio del arribo de la onda Kelvin cálida.

Pronóstico a corto plazo con modelo de ondas

El pronóstico del modelo de ondas, forzado para el diagnóstico con vientos de ASCAT y luego con vientos igual a cero para el pronóstico, muestra la presencia de ondas de Kelvin cálidas de magnitud “fuerte”, entre setiembre y octubre, y luego una onda de Kelvin cálida de magnitud débil para noviembre (Figura 11). Por otro lado, usando la misma configuración anterior, pero con vientos del *reanalysis* de NCEP, se esperaría la presencia de ondas de Kelvin frías hasta la quincena de setiembre y luego ondas de Kelvin cálidas en octubre y en noviembre, aunque de magnitud débil (Figura 12). Finalmente, usando la configuración anterior, pero con pronósticos del viento hasta 41 días del modelo atmosférico CFSv2, iniciado el 10 de setiembre, se espera que las ondas cálidas que llegarían en noviembre serían más intensas que las pronosticadas por las configuraciones previas (Figura 13). Sin embargo, hay que tener en cuenta que los pronósticos de vientos del modelo CFSv2 tienden a cambiar de patrón e intensidad conforme se generan cada día.

Pronóstico estacional con modelos climáticos

Para la región Niño 1+2, los pronósticos de los seis modelos climáticos de NMME (CFSv2, CanCM4i-IC3, GEM5-NEMO, NASA-GEOS5, GFDL_SPEAR² y COLA-RSMAS-CCSM4), con condiciones iniciales de setiembre de 2023, indican en promedio condiciones cálidas fuertes hasta noviembre, cálidas moderadas entre diciembre y febrero de 2024; y finalmente condiciones cálidas débiles entre marzo y junio de 2024 (ver Tabla 5 y Figura 14).

² Desde febrero de 2021, el modelo GFDL_SPEARS (<https://www.gfdl.noaa.gov/spear/>) reemplazará a los modelos GFDL_CM2.1 y GFDL_FLOR.



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

Tabla 5. Pronósticos del ICEN de los modelos climáticos con condiciones iniciales de setiembre de 2023

Modelo	ASO	SON	OND	NDE	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA
CFS2	2.21	1.59	1.55	1.68	1.71	1.63	1.42	1.24	0.93	-----	-----
CanCM4i	2.88	2.38	1.89	1.72	1.72	1.67	1.66	1.70	1.64	1.21	0.61
GEM5_NEMO	2.48	1.89	1.52	1.33	1.07	0.82	0.50	0.31	0.17	0.05	-0.10
NASA-GEOS2S	2.95	2.54	2.05	1.61	1.11	0.59	0.25	0.08	-----	-----	-----
GFDL_SPEARE	2.67	2.17	1.80	1.56	1.27	1.06	1.01	1.03	0.94	0.68	0.44
COLA-RMAS-CCSM4	2.68	2.19	1.89	1.74	1.59	1.38	1.14	0.94	0.78	0.59	0.41
Promedio											
NMME	2.64	2.13	1.78	1.61	1.41	1.19	1.00	0.88	0.89	0.63	0.34

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), según los pronósticos de los mismos modelos del párrafo anterior, se esperaría en promedio la condición cálida fuerte hasta febrero de 2024, para los meses de marzo y abril se esperarían condiciones de cálidas moderadas. Finalmente, en mayo se esperaría la condición cálida débil. Esto indica, según los modelos, el desarrollo del evento El Niño en el Pacífico que alcanzaría la magnitud fuerte, y se extendería, por lo pronto, hasta el otoño de 2024 (ver Tabla 6 y Figura 15).

Tabla 6. Pronósticos del ONI de los modelos climáticos con condiciones iniciales de setiembre de 2023

Modelo	ASO	SON	OND	NDE	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA
CFS2	1.65	1.99	2.14	2.05	1.84	1.65	1.48	1.25	0.93	-----	-----
CanCM4i	1.60	1.83	2.00	2.11	2.14	2.09	1.90	1.60	1.17	0.67	0.12
GEM5_NEMO	1.61	1.80	1.87	1.82	1.69	1.47	1.09	0.59	0.03	-0.41	-0.70
NASA-GEOS2S	1.64	1.85	1.91	1.91	1.77	1.44	0.97	0.52	-----	-----	-----
GFDL_SPEARE	1.46	1.63	1.75	1.87	1.86	1.74	1.52	1.29	0.97	0.60	0.29
COLA-RMAS-CCSM4	1.53	1.72	1.86	1.88	1.78	1.55	1.29	1.08	0.95	0.84	0.73
Promedio											
NMME	1.58	1.80	1.92	1.94	1.85	1.66	1.37	1.05	0.81	0.43	0.11



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

El modelo de Inteligencia Artificial (IA) del IGP con condiciones iniciales de agosto —promediado hasta el día 23 solo para las variables del nivel del mar y temperatura superficial del mar— indica que las máximas condiciones extremas de El Niño (valor de $E > 1.5$) en la región oriental se estarían alcanzando entre agosto y setiembre para luego decaer, pero aún en condiciones extremas, hacia fines de año, en promedio. La probabilidad de tener un El Niño extremo para enero es de 73.89 %. Lo que favorece principalmente este desarrollo son las anomalías de la TSM y viento meridional de junio, julio y agosto en la región oriental (ver líneas rojas continuas) (Figura 15).

Conclusiones

Durante agosto, según la información oceánica y atmosférica, persistieron los valores de la TSM por encima de su normal en toda la región ecuatorial. La profundidad de la termoclina muestra un incremento anómalo en la zona oriental. Por otro lado, los vientos alisios y los valores de precipitación en la región central y occidental del Pacífico oscilaron dentro de su rango normal.

Frente a costa norte y centro del Perú (región Niño 1+2), las anomalías diarias de la TSM se mantuvieron con valores positivos (alrededor de 3.4 °C). Como consecuencia de esto, el valor del ICEN para julio se incrementó, manteniéndose en la condición cálida fuerte. Como parte de su evolución, el evento El Niño Costero 2023, a la fecha, ha alcanzado la magnitud fuerte, lo cual se mantendría, por lo pronto, hasta setiembre según los ICEN temporales. Por otro lado, en el Pacífico central los valores observados del ONI y sus temporales mantiene una tendencia positiva como parte del desarrollo de El Niño en el Pacífico central.

Según la información *in situ* y remota de la zona ecuatorial, durante agosto se observaron ondas de Kelvin frías y cálidas. En setiembre se observa que la señal de la onda de Kelvin cálida ya habría iniciado su arribo a la costa peruana y se espera el arribo del núcleo en las siguientes semanas. Por otro lado, aparentemente, se observa en la profundidad de la termoclina, una onda de Kelvin fría débil alrededor de 160°W.

Las simulaciones numéricas de ondas oceánicas indican la muy probable presencia de ondas de Kelvin cálidas para fines de octubre o noviembre, donde la magnitud de estas ondas dependerán de las anomalías de vientos que se desarrollen hasta esa fecha.

Los pronósticos de los modelos numéricos de las agencias internacionales indican condiciones cálidas, de fuertes a débiles, por lo pronto, hasta junio de 2024 frente a la costa norte y centro del Perú. Esto significa la continuación de El Niño costero actual hasta, por lo menos, el otoño de 2024. En el Pacífico central, los mismos modelos descritos en el párrafo anterior, pronostican el desarrollo del evento El Niño que se extendería, por lo pronto, hasta mayo de 2024. El modelo de IA del IGP indica que es muy probable el desarrollo de un evento El Niño extremo ($E > 1.5$) para enero de 2024, el cual estaría influenciado por las anomalías de la TSM y viento meridional de los últimos tres meses (junio, julio y agosto).



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Dirección
Científica

Subdirección de
Ciencias de la Atmósfera
e Hidrósfera - CAH



"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

Bibliografía

- **Aparco J., K. Mosquera y K. Takahashi**, 2014: Flotadores Argo para el cálculo de la anomalía de la profundidad de la termoclina ecuatorial (Aplicación Operacional), Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, mayo, 1, 5.
- Cravatte, S., W. S. Kessler, N. Smith, S. E. Wijffels, Ando, K., Cronin, M., Farrar, T., Guilyardi, E., Kumar, A., Lee, T., Roemmich, D., Serra, Y., Sprintall, J., Strutton, P., Sutton, A., **Takahashi, K.** y Wittenberg, A., 2016: First Report of TPOS 2020. GOOS-215, 200 pp. [<http://tpos2020.org/first-report>]
- DiNezio, P., 2016: Desafíos en la predicción de La Niña, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, 3 (9), 4-8.
- ENFEN, 2012: Definición operacional de los eventos "El Niño" y "La Niña" y sus magnitudes en la costa del Perú. Nota Técnica ENFEN.
- ENFEN, 2015: Pronóstico probabilístico de la magnitud de El Niño costero en el verano 2015-2016. Nota Técnica ENFEN 02-2015.
- Huang, B., Thorne, P.W, Banzon, V. F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J. H., Menne, M. J., Smith, T. M., Vose, R. S., Zhang, H.-M., 2017: Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons, *J. Climate*, doi: [10.1175/JCLI-D-16-0836.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1)
- Kug, J.-S., Jin, F.-F., An, S.-I., 2009: Two types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño. *J. Climate* 22, 6, 1499–1515, doi:10.1175/2008JCLI2624.1.
- Meehl G, Hu A, Teng H, 2016: Initialized decadal prediction for transition to positive phase of the Interdecadal Pacific Oscillation. *Nature Communications*, doi: [10.1038/ncomms11718](https://doi.org/10.1038/ncomms11718)
- **Morera, S. B.**, Condom, T., Crave, A., Steer, P., and Guyot, J. L., 2017: The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968-2012). *Scientific Reports*, v. 7, No. 1, p. 11947 DOI:10.1038/s41598-017-12220-x.
- **Mosquera, K.**, 2009: Variabilidad Intra-estacional de la Onda de Kelvin Ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): Simulación Numérica y datos observados. Tesis para obtener el grado de Magíster en Física - Mención Geofísica en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- **Mosquera, K., B. Dewitte y P. Lagos**, 2010: Variabilidad Intra-estacional de la onda de Kelvin ecuatorial en el Pacífico (2000-2007): simulación numérica y datos observados. *Magistri et Doctores, Revista de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Año 5, No9, julio-diciembre de 2010, p. 55.*
- **Mosquera, K.**, 2014: Ondas Kelvin oceánicas y un modelo oceánico simple para su diagnóstico y pronóstico, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, Enero, 1, 4-7.
- Ramos, Y., 2015: El cambio climático y la lluvia en la costa norte. Boletín técnico: "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, 2(8), 4-8.
- **Reupo, J. y Takahashi, K.**, 2014: Validación de pronósticos con modelos globales: Correlaciones de TSM (1982-2010). Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Inst. Geofísico del Perú, Enero, 1, 8-9.





“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

- **Sulca, J., Takahashi, K.,** Espinoza, J.C., Vuille, M. and Lavado-Casimiro, W., 2017: Impacts of different ENSO flavors and tropical Pacific convection variability (ITCZ, SPCZ) on austral summer rainfall in South America, with a focus on Peru. Int. J. Climatol. Doi:10.1002/joc.5185.
- **Takahashi, K.,** 2017: Verificación de los pronósticos probabilísticos de El Niño y La Niña costeros. Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Instituto Geofísico del Perú, 4 (8), 8-9.
- **Takahashi, K.,** Montecinos, A., Goubanova, K., & Dewitte, B., 2011: ENSO regimes: reinterpreting the canonical and Modoki El Niño. Geophysical Research Letters, 38 (10). <https://doi.org/10.1029/2011GL047364>
- **Takahashi, K., Martínez, A. G.,** 2016: The very strong El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. Climate Dynamics, doi: 10.1007/s00382-017-3702-1.
- Thoma M, Greatbatch R, Kadow C, Gerdes R, 2015: Decadal hindcasts initialized using observed surface wind stress: Evaluation and prediction out to 2024. Geophys. Res. Lett. doi:10.1002/2015GL064833
- **Urbina, B. y K. Mosquera,** 2020: Implementación y validación de un modelo oceánico multimodal para la región ecuatorial del océano Pacífico. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 7 N° 01, 13-20.
- Zuta, S., y O. Guillén, 1970: Oceanografía de las aguas costeras del Perú. Boletín Instituto Del Mar Del Perú, 2(5), 157-324. <https://revistas.imarpe.gob.pe/index.php/boletin/article/view/249>

Nota: Los Boletines Técnicos del IGP citados se pueden encontrar en:
<https://repositorio.igp.gob.pe/>

Equipo

Kobi Mosquera, Dr. (responsable)

Jorge Reupo, Lic.

José Obregón, Lic.

Brayan Urbina, Bach.

Agradecimientos

A la Dra. Emily Becker (NOAA) y al Dr. Ben Kirtman (RSMAS) por su apoyo con los datos del proyecto NMME



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

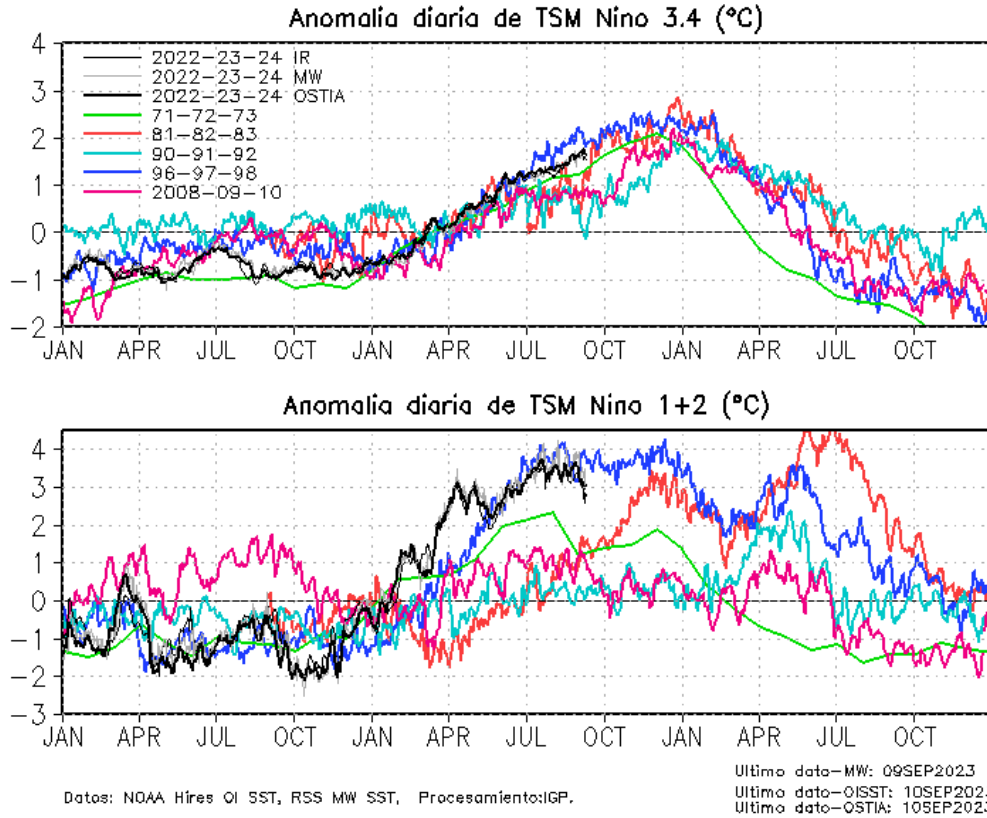


Figura 1. Series de tiempo de la anomalía diaria de la TSM en la región Niño 3.4 (arriba) y en la región Niño 1+2 (abajo). Las líneas en color negro (gruesa), gris y negro (fina) indican la evolución de la anomalía de la TSM en el presente año usando información infrarroja (IR), microondas (MW) y del producto OSTIA, respectivamente. Las líneas de color verde, rojo, celeste, azul y magenta indican la evolución de la anomalía de la TSM para los periodos 1973-1975, 1983-1985, 1992-1994, 1998-2000 y 2016-2018. Elaborado por el IGP.



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

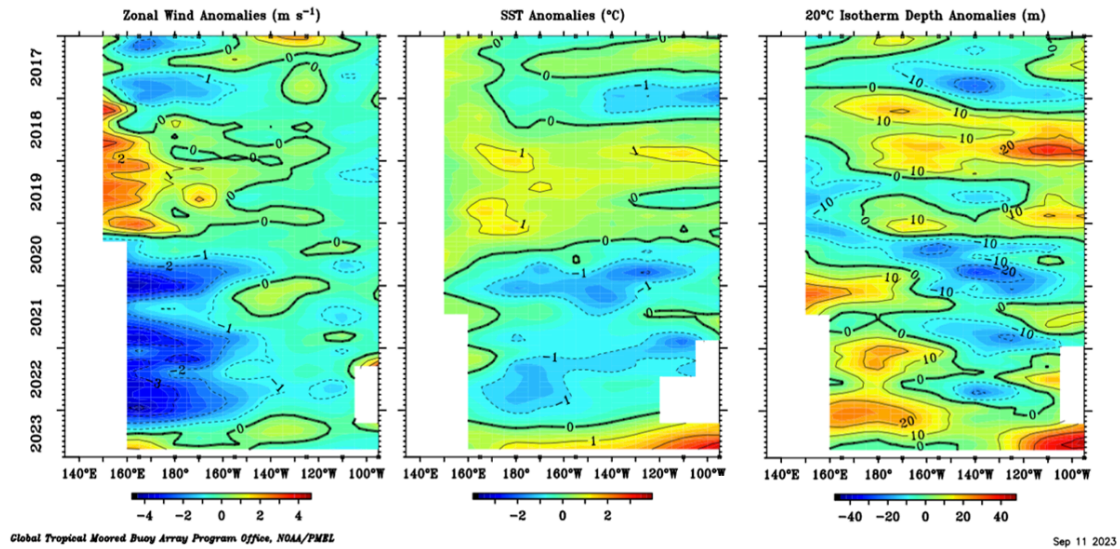


Figura 2. Promedio mensual de la anomalía del viento zonal (panel izquierdo), de la temperatura superficial del mar (panel central) y de la profundidad de la isoterma de 20 °C (panel derecho) y a lo largo de la franja ecuatorial del Pacífico (2°S-2°N). Esta imagen se elaboró de otras que se obtienen del proyecto TAO: www.pmel.noaa.gov/





“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

Anomalía de esfuerzo de viento zonal (10^2Nm^{-2}) promediada entre 2S y 2N

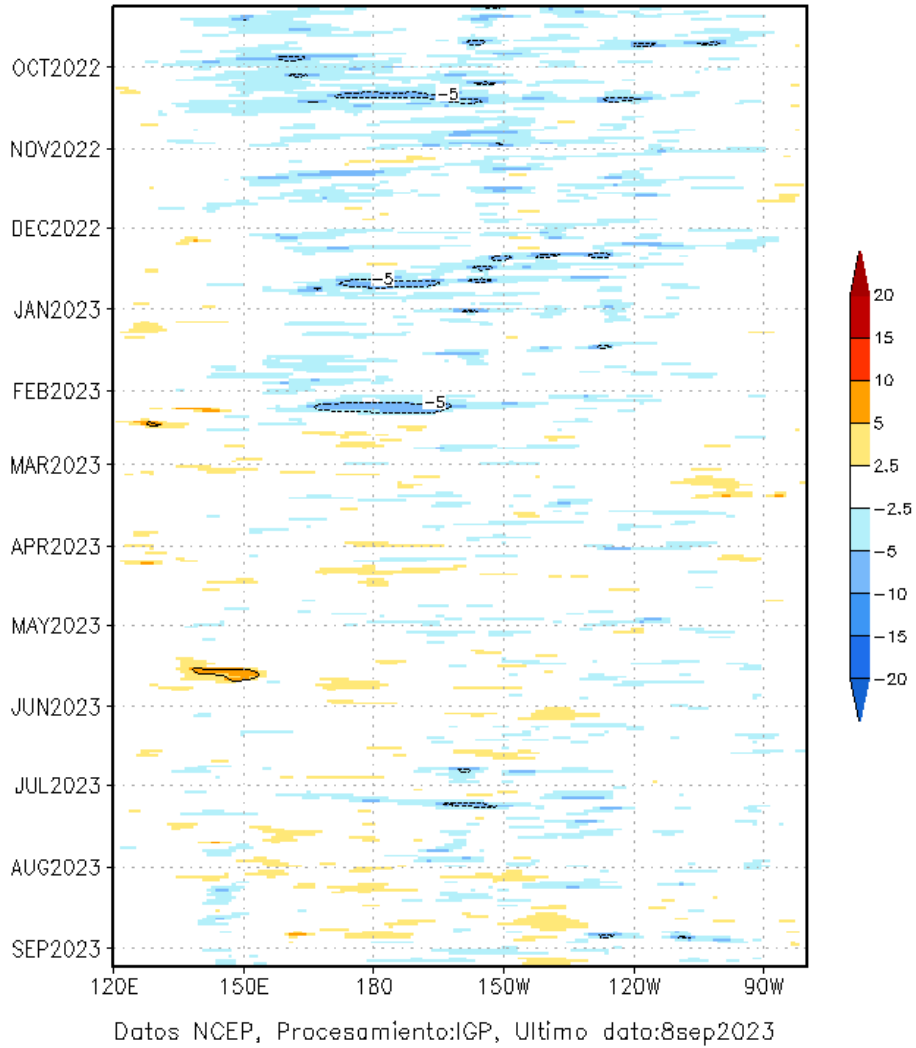


Figura 3. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías del esfuerzo de viento zonal ecuatorial que se obtiene de los datos del producto ASCAT - METOP B hasta el 05 de agosto de 2023. Elaborado por el IGP.





“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

a) Daily 2°S–2°N 20°C isotherm tilt anom (m);
1996–98 (blue), 2008–10 (red), 2014–16 (green),
2022–24 (black)

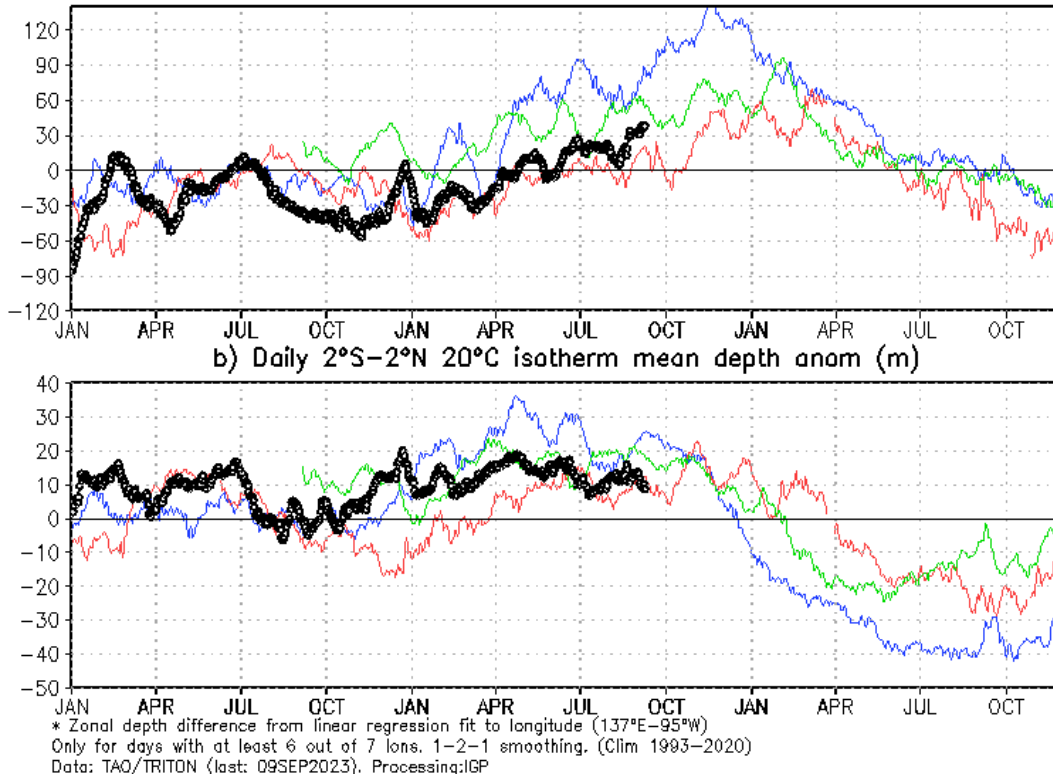


Figura 4. a) Inclinación de la termoclina y **b)** contenido de calor en el Pacífico ecuatorial (2°N y 2°S). La data usada para este cálculo proviene de las boyas TAO. Elaborado por el IGP.





“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

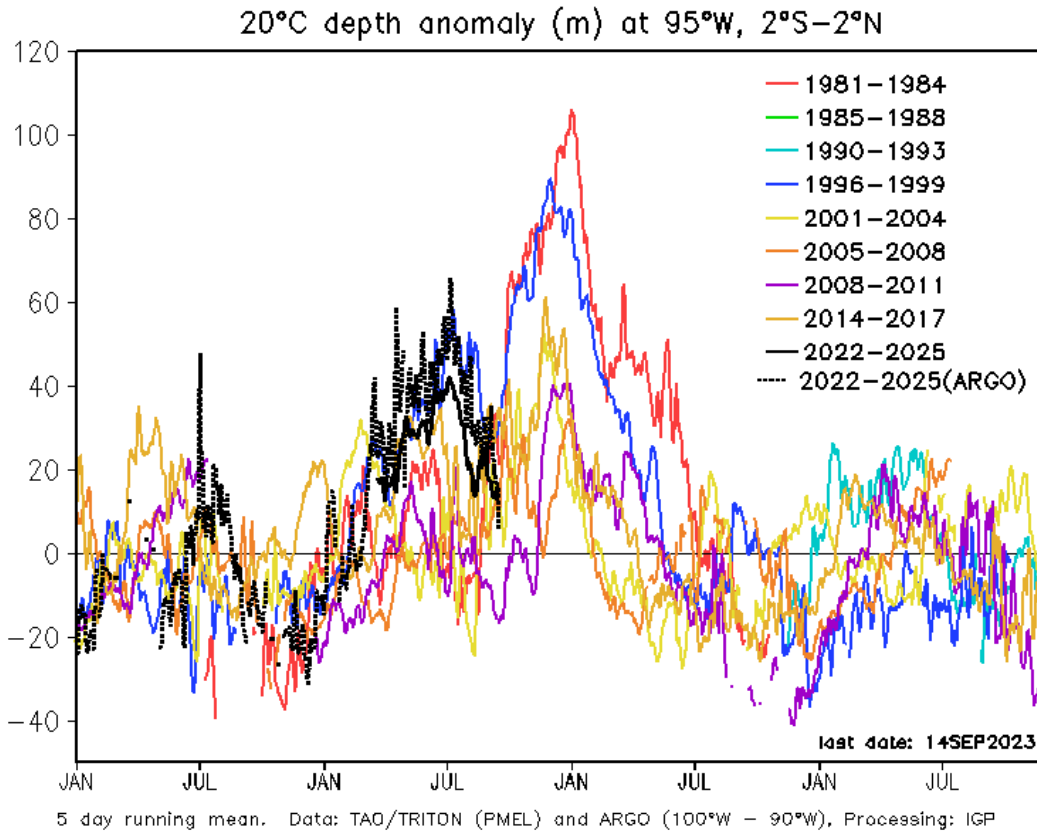


Figura 5. Promedio de la anomalía de la profundidad de la isoterma de 20 °C (m): 1) calculada de tres boyas de TAO (2°S, Eq y 2°N), localizadas en 95°W y en (líneas continuas) y 2) calculada de los flotadores ARGO ubicados entre 100°W y 90°W y 2°N y 2°S (línea negra entrecortada). Elaborado por el IGP.





“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

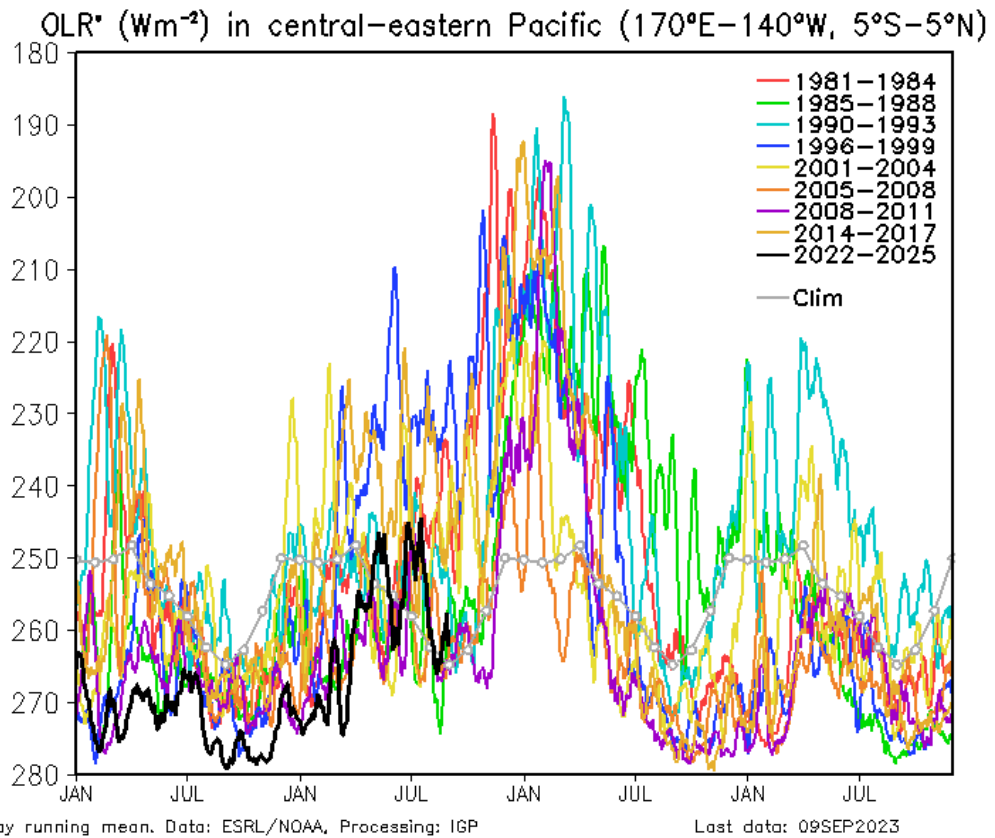
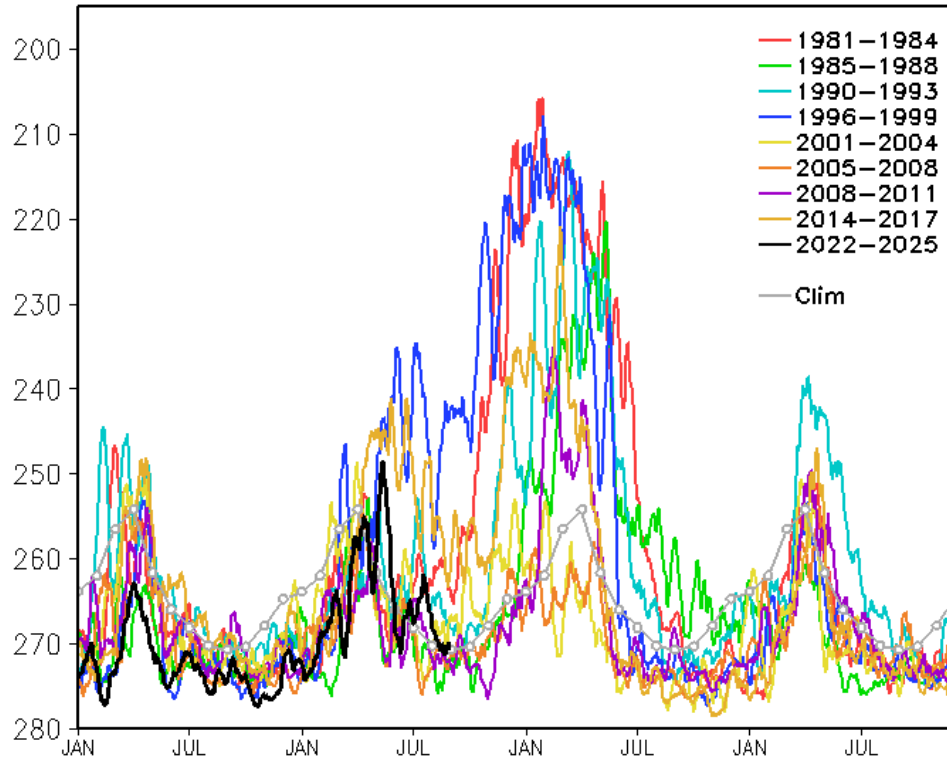


Figura 6. Actividad convectiva en el Pacífico central oriental ($170^{\circ}E-140^{\circ}W$ y $5^{\circ}S-5^{\circ}N$) en base a la información de OLR. Elaborado por el IGP.



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

OLR* (Wm^{-2}) in central-eastern Pacific ($170^{\circ}W-100^{\circ}W, 5^{\circ}S-5^{\circ}N$)



* 15-day running mean. Data: ESRL/NOAA, Processing: IGP

Last data: 09SEP2023

Figura 7. Actividad convectiva en el Pacífico central oriental ($170^{\circ}W-100^{\circ}W$ y $5^{\circ}S-5^{\circ}N$) en base a la información de OLR. Elaborado por el IGP.



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

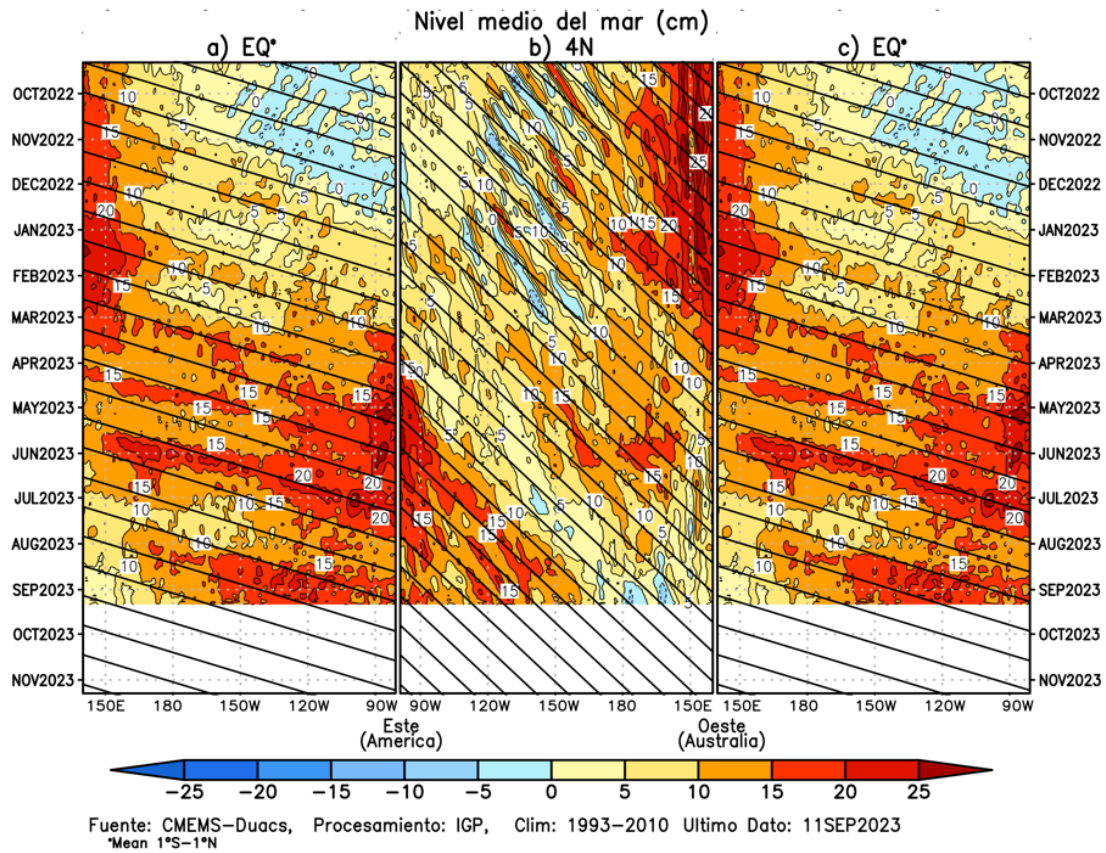


Figura 8. Diagramas longitud-tiempo de la anomalía del nivel medio del mar en el Pacífico ecuatorial usando el producto DUACS. Los paneles (a) y (c) son los mismos y representan la información a lo largo de la línea ecuatorial; mientras que (b), a lo largo de 4°N, pero con el eje zonal de este a oeste. Las líneas diagonales indican la trayectoria teórica de la onda de Kelvin (a y c) y Rossby (b) si tuvieran una velocidad aproximada de 2.6 m/s y 0.87 m/s, respectivamente. Elaborado por el IGP.



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
 “Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

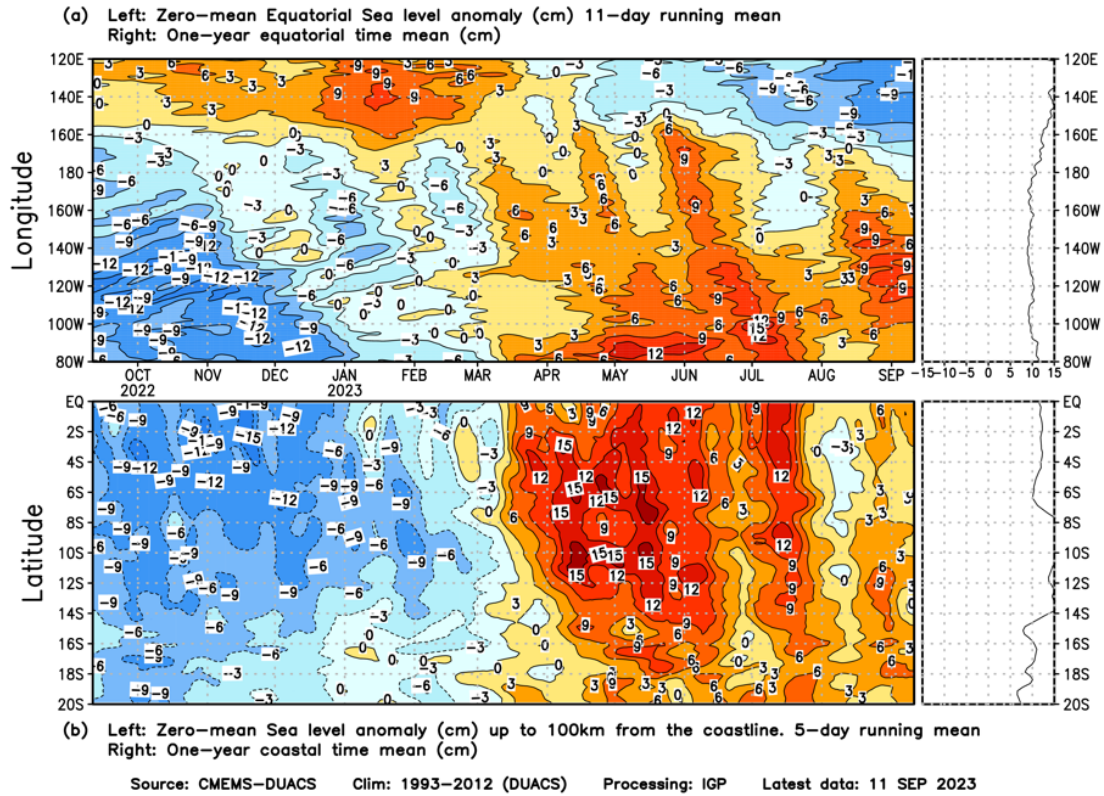


Figura 9. Anomalia centrada del nivel del mar a lo largo de la franja ecuatorial (Figura superior-izquierda) y a lo largo de la costa peruana (Figura inferior-izquierda). A la derecha se muestra el promedio de los últimos 365 días en la franja ecuatorial (superior) y a lo largo de la costa (inferior), que fueron sustraídos a las figuras de la izquierda, respectivamente. Las unidades están en centímetros. Elaborado por el IGP.



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

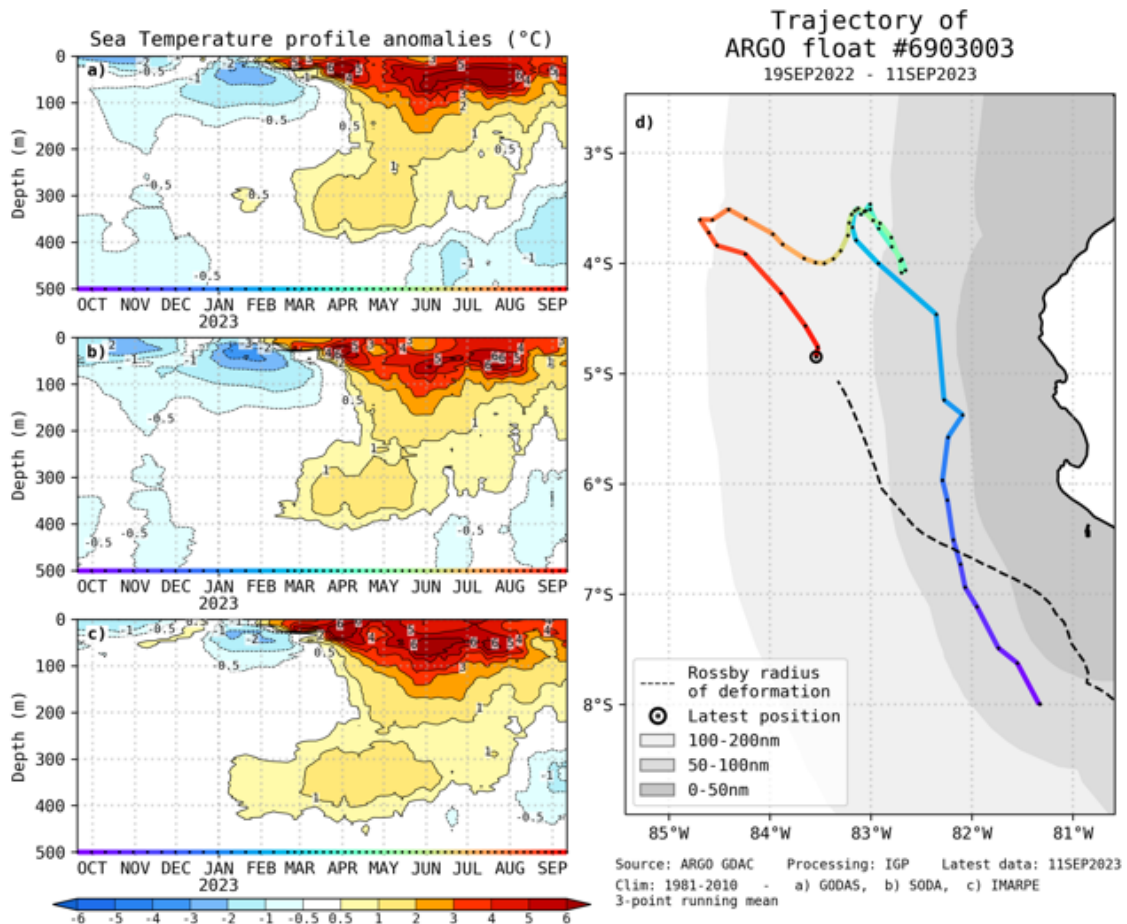


Figura 10. A la izquierda se aprecia la anomalía de la temperatura del mar hasta los 500 metros de profundidad, calculada de los datos del flotador ARGO No. 6903002. Esta anomalía se calcula en base a la climatología (1981-2010) de: (a) GODAS, (b) SODA e (c) IMARPE. A la derecha se aprecia la trayectoria del flotador en el último año. Cada color indica un periodo de aproximadamente 30 días y el círculo abierto representa la última posición del flotador. Elaborado por el GP.



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

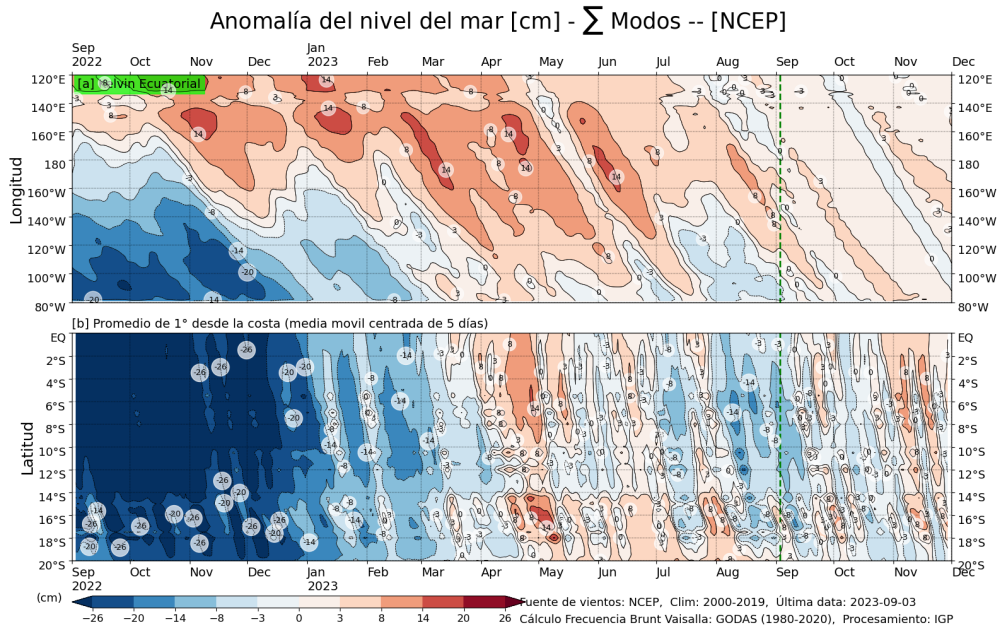


Figura 11. Anomalía del nivel del mar (en cm) para la sumatoria de los modos (modo 1, 2 y 3) simulada a partir del Modelo Oceánico Multimodal (MOMM-IGP; Urbina y Mosquera, 2020) en la franja ecuatorial (superior) y costera (inferior), forzado con vientos de ASCAT. La línea verde representa el inicio del pronóstico con vientos igual a cero. Elaborado por el IGP.





“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

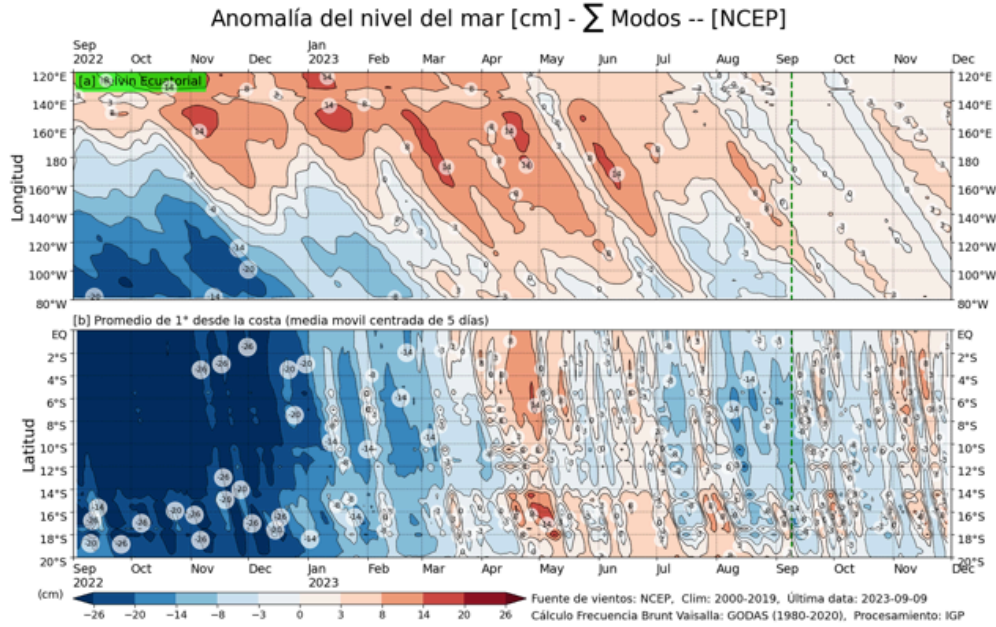


Figura 12. Igual que la Figura 11 pero para vientos del *reanalysis* de NCEP. Elaborado por el IGP.





“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

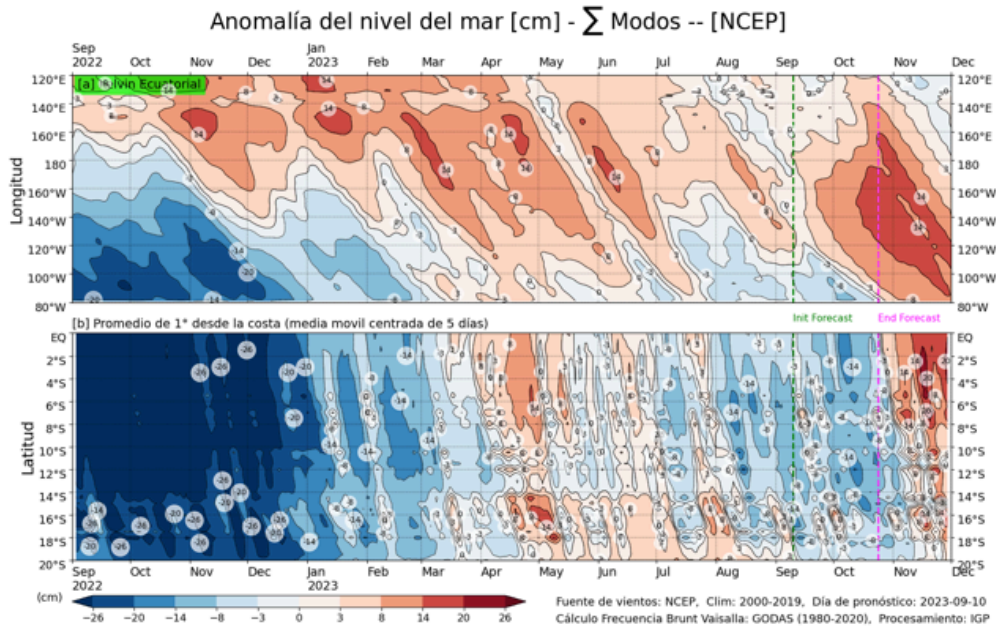


Figura 13. Igual que la Figura 12, pero para el pronóstico de los siguientes 41 días (entre la línea vertical verde y rosada) se usa la información de anomalías de vientos del modelo atmosférico CFSv2. Luego de la línea rosada, los vientos usados para el pronóstico fueron iguales a cero. Elaborado por el IGP.



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

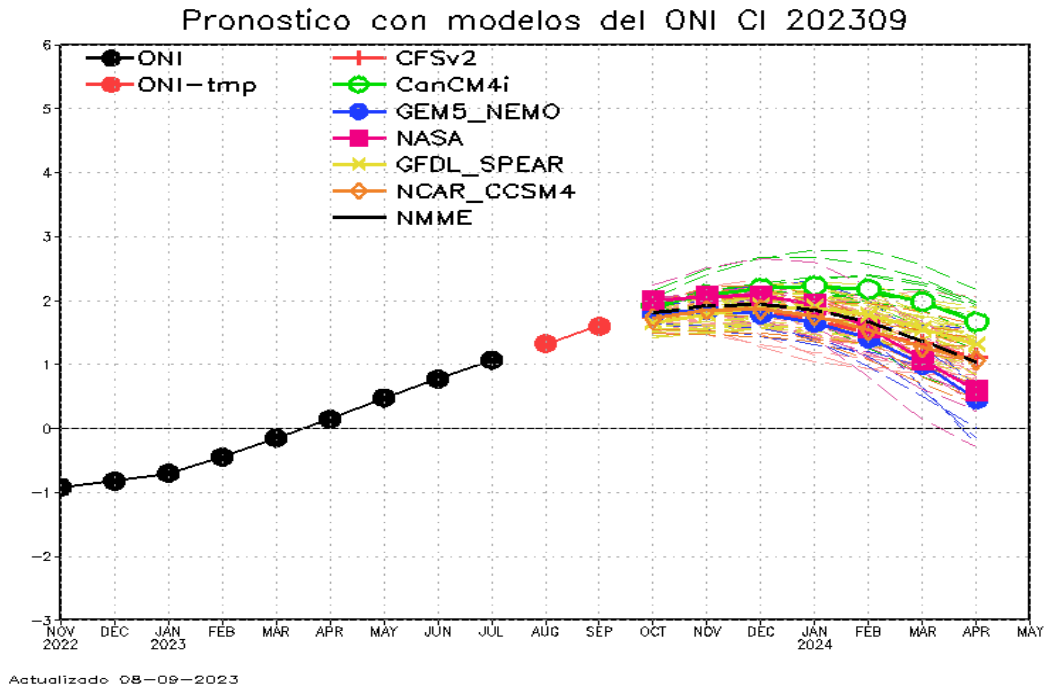


Figura 13. Índice Costero El Niño (ICEN, línea negra con círculos llenos, fuente ERSSTv5) y sus valores temporales (ICENv5tmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CanCM4i, GEM5_NEMO, NASA, GFDL_SPEAR y NCAR_CCSM4, COLA-RSMAS-CCSM4 tienen como condición inicial de agosto de 2023. Fuente: IGP, NOAA, NMME



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

Condiciones Iniciales de Setiembre 2023

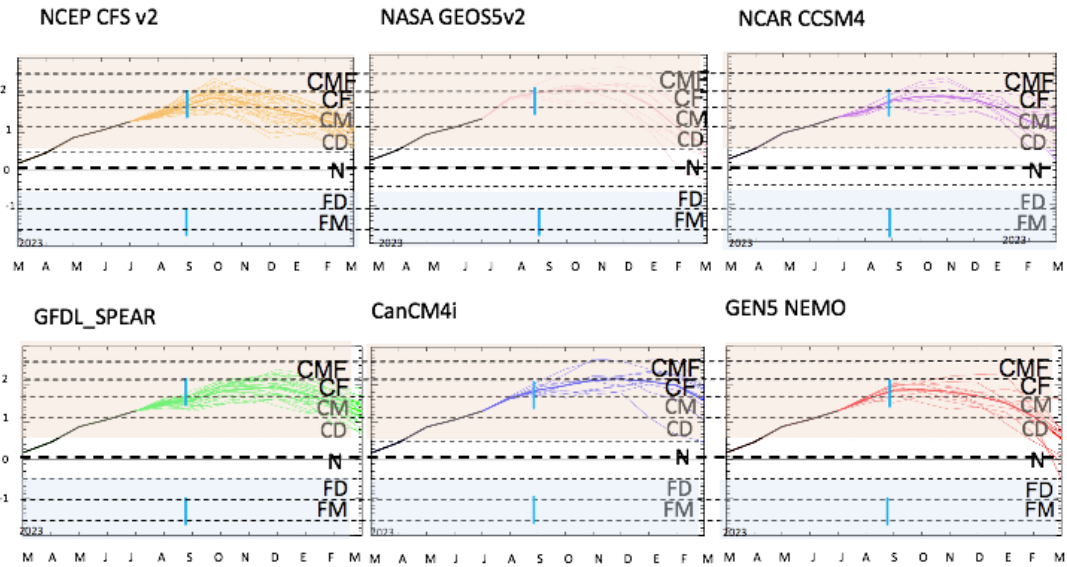


Figura 14. Índice Niño 3.4 mensual observado (líneas de color plomo) y pronosticado por los modelos de NMME (líneas de distintos colores). Fuente: NMME.



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

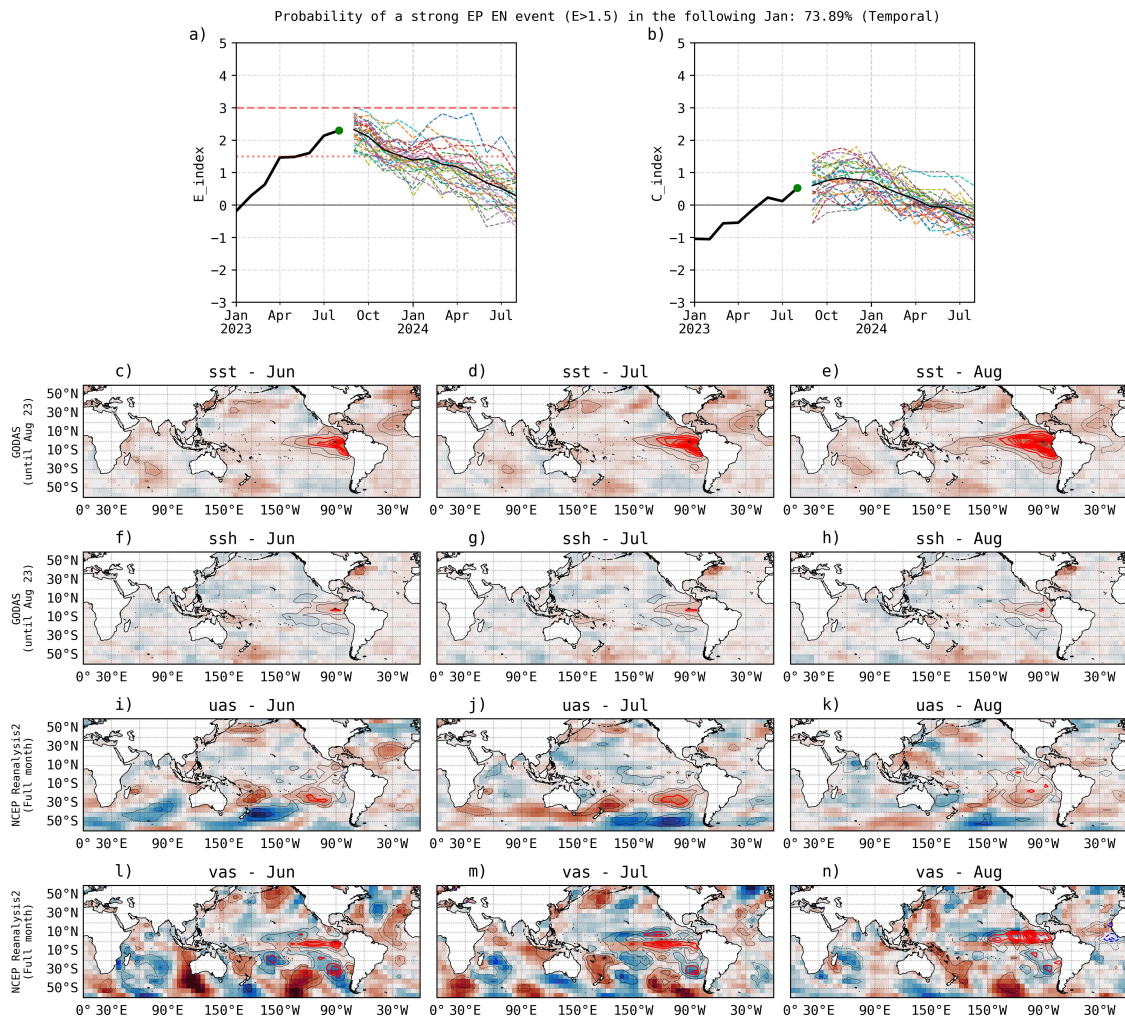


Figura 15. Pronóstico del índice E (Takahashi et al., 2011) a doce meses basado en un modelo de inteligencia artificial (Rivera et al., *en preparación*) para el pronóstico de El Niño extremo. (a) Muestra la evolución del índice E, representado con una línea gruesa de color negro, desde enero a agosto de 2023; el conjunto de líneas entrecortadas de colores indica el pronóstico del índice E desde setiembre de 2023 a agosto de 2024. (b) Es lo mismo que (a) pero para el índice C (Takahashi et al., 2011). Desde (c) a (n), se muestra la “Explicabilidad” (explainability) de cuatro variables, en anomalías, usadas para el pronóstico: temperatura superficial del mar (primera fila), nivel del mar (segunda fila), viento zonal (tercera fila) y viento meridional (cuarta fila). Estas variables se obtienen de distintos meses: junio (primera columna), julio (segunda columna) y agosto (tercera columna). Los contornos rojos (morados) de estos paneles indican regiones que favorecen (desfavorecen) al pronóstico de El Niño extremo.