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/El Niño-IGP/2024-11

13/12/2024

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

En octubre, según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), se mantiene la condición neutra (–0.35), al igual que los ICEN temporales (ICEN-tmp) de noviembre (–0.12) y diciembre (–0.08). La mayoría de los pronósticos climáticos, tanto nacionales como internacionales, sugieren la presencia de anomalías negativas en la temperatura superficial del mar (TSM) frente a la costa peruana al menos hasta junio de 2025. Sin embargo, estas anomalías permanecerían dentro del rango neutral, por lo que no se esperaría el desarrollo de un evento La Niña costera durante este periodo.

En el Pacífico central, el Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de octubre (–0.24) y el ONI temporal de noviembre (–0.41) corresponden a una condición neutra; mientras que el ONI temporal (ONI-tmp) de diciembre (–0.66) se ubica en la condición fría débil. Según el promedio de los pronósticos generados por los modelos climáticos con condiciones iniciales de diciembre, se prevé condiciones frías hasta marzo de 2025.

Por otro lado, es importante señalar que el ICEN relativo (ICENr) —indicador desarrollado por el IGP y que se encuentra en proceso de mejora y ajuste para optimizar sus resultados— muestra que en octubre continúan las condiciones frías, las que se habrían iniciado en mayo. Asimismo, el RONI (Relative Oceanic Niño Index) de octubre mantiene una condición Fría Débil, vigente desde julio.

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 octubre de 2025, utilizando la climatología 1991-2020, (Nota Técnica ENFEN 01-2024), el cual se mantiene en la condición neutra (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.

El IGP, como parte de su trabajo de investigación e innovación, ha desarrollado un nuevo indicador que se basa en el ICEN tradicional, al cual ha denominado "ICEN relativo" (ICENr; Reupo y Takahashi, en preparación). El ICENr, de acuerdo a su construcción estadística que se basa en criterios físicos, no tiene influencia del calentamiento global ni de variabilidades ajenas al ENOS. Con esta nueva formulación, considerando los mismos rangos para las categorías que se usan en el ICEN clásico (ENFEN, 2012), la costa peruana se encuentra en un escenario de La Niña costera desde mayo de 2024 y habría alcanzado una categoría de Fría Fuerte entre mayo y julio; mientras que en agosto y setiembre se tiene una categoría Fría Moderada, finalmente en el mes de octubre tiene la categoría fría débil. Cabe resaltar que el ICENr actualmente se encuentra en un proceso de mejora y ajuste para optimizar sus resultados.

Tabla 1. Valores recientes del ICEN e ICENr.

Año	Mes	ICEN	Categoría	ICENr	Categoría[1]
2024	Mayo	**–0.78**	Fría Débil	–1.44	Fría Fuerte
2024	Junio	**–0.97**	Fría Débil	–1.70	Fría Fuerte
2024	Julio	**–0.72**	Fría Débil	–1.44	Fría Fuerte
2024	Agosto	**–0.65**	Neutra	–1.38	Fría Moderada
2024	Setiembre	**–0.50**	Neutra	–1.30	Fría Moderada
2024	Octubre	**–0.35**	Neutra	–1.12	Fría Débil

[1] Las categorías del ICENr son las establecidas en ENFEN (2012).

Para los siguientes dos meses se generan valores preliminares y temporales del ICEN (ICENtmp), los 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 noviembre y diciembre de 2024 se mantienen dentro de la categoría neutra (Tabla 2).

Tabla 2. ICEN temporales y sus categorías

Año	Mes	ICENtmp	Categoría
2024	Noviembre	**–0.12**	Neutra
2024	Diciembre	**–0.08**	Neutra

Índice Oceánico Niño (ONI)

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), el valor del ONI (Ocean Niño Index en inglés) de octubre de 2024 es –0.24 °C, el que se encuentra dentro de la categoría neutral[2]. Sin embargo, el ONI relativo (RONI[3]; L'Heureux et al., 2024) de octubre mantiene la categoría fría débil que se observa desde julio.

Tabla 3. Valores recientes del ONI (se usan los datos en tiempo real, por lo que pueden existir discrepancias para los meses anteriores) y RONI.

Índice Oceánico Niño				Índice Oceánico Niño Relativo	
Año	**Mes**	**ONI (°C)**	**Categoría**	**RONI (°C)**	**Categoría**
2024	Junio	**0.17**	Neutra	–0.45	Neutra
2024	Julio	**0.05**	Neutra	–0.51	Fría Débil
2024	Agosto	**–0.11**	Neutra	–0.63	Fría Débil
2024	Setiembre	**–0.22**	Neutra	–0.76	Fría Débil
2024	Octubre	**–0.24**	Neutra	–0.80	Fría Débil

Los valores estimados del ONI (ONItmp) de noviembre y diciembre de 2024, usando datos observados y de los pronósticos de NMME, indican condiciones neutra y fría débil, respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. Estimados preliminares del ONI (ONItmp)

Índice Oceánico Niño temporal			
Año	**Mes**	**ONItmp (°C)**	**Categoría**
2024	Noviembre	**–0.41**	Neutra
2024	Diciembre	**–0.66**	Fría débil

[2] 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).
[3] https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/RONI.ascii.txt

Diagnóstico del Pacífico ecuatorial

Durante noviembre y la primera semana de diciembre, la anomalía de la TSM (ATSM) diaria registrada en la región Niño 3.4 estuvo, en promedio, alrededor del rango neutral; sin embargo, actualmente se observa una ligera tendencia negativa. Asimismo, en la región Niño 1+2, los valores de la ATSM en promedio estuvieron dentro de la condición neutra, a pesar de que se observaron anomalías negativas en noviembre (Figura 1). Conforme a la información mensual de los datos obtenidos de las boyas de TAO, la magnitud de los vientos alisios (promediado entre 2°S-2°N) se mantiene, en la mayor parte de la región, más intensa de lo normal (Figura 2a). La ATSM, en promedio, mantiene valores por debajo de lo normal (Figura 2b).

La información de TAO muestra en promedio que la termoclina está menos profunda de lo normal (Figura 2c), aunque la información de ARGO, con información de los últimos 30 días en promedio, indica que la posición de la termoclina es más somera con respecto a su climatología en la región oriental (Figura 3). La información diaria del esfuerzo de viento de CMEMS (Figura 4a) mostró que en los primeros días de noviembre se desarrollaron pulsos dispersos de viento del oeste de poca intensidad, entre los 180º-80ºW, aproximadamente. Desde la tercera semama, se viene desarrollando un pulso de viento del este, entre 130ºE y 100ºW, muy intenso.

El extremo oriental de la piscina caliente (línea morada continua en los paneles de la Figura 4) se localizó próxima a su posición climatológica (línea morada entre cortada en los paneles de la Figura 4). En la zona oriental, la ATSM del producto OSTIA (Figura 4d) persiste con valores negativos de la ATSM; sin embargo, se observa anomalías positivas próximas a la costa.

El OLR (Outgoing Longwave Radiation) de noviembre e inicios de diciembre, en la zona occidental (170°E-140°W, 5°S-5°N) y en la zona oriental (170°W-100°W, 5°S-5°N), mostraron valores superiores a lo normal (Figura 5 y 6), lo cual estaría relacionado con una disminución de lluvias en dichas regiones.

Según la información de altimetría satelital en la franja ecuatorial (Figura 7), se observa una onda de Kelvin cálida (fría) acercándose a la costa americana, la que se localizada en 115°W (160°W), aproximadamente. En relación a las ondas de Rossby, se siguen observando ondas cálidas en los extremos oriental y occidental; mientras que las ondas frías se concentran en la zona central del Pacífico. Según la información de los flotadores ARGO, la profundidad de la termoclina muestra la presencia de un paquete de ondas de Kelvin frías en el extremo oriental, que al acercarse a la costa americana disminuyeron su velocidad e intensidad (Figura 4b).

Ondas de Kelvin a lo largo de la costa peruana

A lo largo de la costa peruana, dentro de los 100 km, se observó en noviembre un aumento del nivel del mar y luego una disminución (Figura 8b), lo cual pudo impactar en la ATSM fremte a la costa peruana (Figura 9). La información cada 5 días del flotador ARGO No. 6903002, localizado alrededor de las 50 mn y en 1.8 °S, sigue mostrando condiciones frías anómalas sobre los 400 metros de profundidad (Figura 10).

Pronóstico de ondas de Kelvin

Según altimetría satelital, es probable que en la quincena de diciembre arribe a la costa americana una onda de Kelvin cálida de poca intensidad, seguida de una onda de Kelvin fría a mediados de enero. Finalmente, a fines de febrero podría llegar una onda cálida (Figura 7b). La presencia de ondas de Rossby cálidas en el extremo occidental puede contribuir a la formación de más ondas de Kelvin cálidas (Figura 7a y 7b). En lo que respecta a la profundidad de la termoclina, se espera que durante diciembre se mantenga la presencia del paquete de ondas de Kelvin frías en la costa americana, afectando principalmente la temperatura por debajo de la superficie. El pulso de viento del este que se desarrolló desde noviembre podría proyectarse en un paquete de ondas de Kelvin frías que arribaría en febrero o marzo (Figura 4b).

Los resultados de los modelos de ondas del IGP (Figura 11, 12 y 13), forzado con el *reanalysis* de NCEP para el diagnóstico (hasta el 09 de diciembre) y luego con vientos igual a cero para el pronóstico, indican que se espera el arribo de una onda de Kelvin cálida débil en diciembre y luego un paquete de ondas de Kelvin frías durante todo enero. De no darse más pulsos de viento en el Pacífico ecuatorial, se esperarían desde febrero ondas de Kelvin cálidas que serían consecuencia de la reflexión de ondas de Rossby en el extremo occidental. Hay que tener en cuenta que estos modelos no simulan los procesos de dispersión modal relacionadas a la inclinación de la termoclina

Pronóstico estacional con modelos climáticos

Para la región Niño 1+2, los pronósticos de los modelos climáticos de NMME[4] (CFSv2, Can ESM5, GEM5.2–NEMO, NASA–GEOSS2S, GFDL_SPEAR2, COLA–RSMAS–CCSM4 y COLA–RSMAS–CESM1), con condiciones iniciales de diciembre, indican en promedio condiciones neutras hasta inicios de la primavera de 2025, esto a pesar de mostrar anomalías negativas hasta junio (ver Tabla 5 y Figura 14).

Tabla 5. Pronósticos del ICEN de los modelos climáticos con condiciones iniciales de diciembre de 2024

Modelo	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON
CFS2	–0.30	–0.34	–0.37	–0.41	–0.36	–0.19	–0.03	0.00	------	------
CanESM5	0.21	0.08	–0.09	–0.15	–0.08	0.05	0.12	0.14	0.15	0.14
GEM5.2_NEMO	0.11	0.09	0.07	0.10	0.20	0.29	0.20	0.06	-0.06	-0.09
NASA	–1.08	–1.48	–1.60	–1.59	–1.34	–1.05	–0.80	------	------	------
GFDL_SPEARE	0.50	0.43	0.20	0.07	0.07	0.20	0.16	0.09	0.09	0.08
COLA_CCSM4	–0.26	–0.15	–0.12	–0.08	0.04	0.24	0.41	0.51	0.55	0.44
COLA_CESM1	–0.25	–0.21	–0.16	–0.06	0.02	0.11	0.19	0.21	0.18	0.10
Promedio										
NMME	–0.15	–0.23	–0.30	–0.30	–0.21	–0.05	0.04	0.17	0.18	0.13

[4] Desde julio de 2024, los modelos climáticos globales CanESM5 y GEM5.2-NEMO (https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.Models/.NMME/.CanSIPS-IC4/) reemplazan a los modelos CanCM4i-IC3 y GEM5-NEMO.

Para el Pacifico central (región Niño 3.4), según los pronósticos de los mismos modelos del párrafo anterior, para el ONI, se espera una condición fría débil entre enero y marzo de 2025; mientras que entre abril y octubre las condiciones serían neutras. (ver Tabla 6 y Figura 15).

Tabla 6. Pronósticos del ONI de los modelos climáticos con condiciones iniciales de diciembre de 2024

Modelo	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON
CFS2	–0.97	–0.85	–0.58	–0.41	–0.39	–0.43	–0.41	–0.34	------	------
CanESM5	–0.43	–0.37	–0.31	–0.29	–0.28	–0.21	–0.11	–0.03	0.02	0.07
GEM5.2_NEMO	–0.53	–0.42	–0.25	–0.19	–0.19	–0.19	–0.14	–0.14	-0.18	-0.22
NASA	–1.62	–1.89	–1.70	–1.36	–1.08	–0.92	–0.76	------	------	------
GFDL_SPEARE	–0.01	0.15	0.26	0.31	0.31	0.27	0.17	0.04	-0.07	-0.15
COLA_CCSM4	–1.03	–1.06	–0.86	–0.54	–0.26	–0.06	0.08	0.13	0.10	0.06
COLA_CESM1	–0.96	–0.89	–0.64	–0.42	–0.25	–0.1	0.04	0.14	0.19	0.20
Promedio										
NMME	–0.79	–0.76	–0.58	–0.41	–0.31	–0.23	–0.16	–0.03	0.01	-0.01

El modelo de IA del IGP (Rivera Tello et al., 2023), con condiciones iniciales de noviembre, indica que el índice E, relacionado a El Niño en la región oriental del Pacífico (Niño E), se mantendría con valores por debajo de lo normal y que recién alcanzaría sus valores normales a fines del invierno de 2025. Por lo pronto, no existe probabilidad de que en el siguiente verano se desarrolle un evento Niño E fuerte. Por otro lado, el índice C, relacionado a El Niño en el Pacífico central (Niño C), muestra en promedio una tendencia negativa que se extiende, por lo pronto, hasta inicios de la primavera del 2025 (Figura 16).

El modelo IGP RESM-COW v1 (Montes et al, 2023), con condiciones iniciales de diciembre, pronostica condiciones normales durante diciembre, pero con una tendencia positiva del ICEN, que alcanza el rango de cálida débil entre enero y febrero de 2025. Luego se observa una tendencia negativa que va de marzo a junio de 2025, que alcanza el rango de fría fuerte en junio. En relación a este resultado, se han detectado inexactitudes en las rutinas de preprocesamiento de la información relacionada a la generación de las condiciones iniciales y de frontera que requiere el modelo regional WRF para el pronóstico, por lo que se continúa revisando para evaluar su potencial impacto en las predicciones generadas. Mientras se realiza dicha revisión, se recomienda cuidado en la utilización de las salidas del modelo, particularmente considerando que dichas salidas indican un escenario distinto al resto de modelos de predicción. Asimismo, se debe tener en cuenta que es necesario un mayor número de corridas (miembros de ensemble) y, eventualmente, incorporar datos de otros modelos globales para tener una mejor estimación de los posibles escenarios (Figura 17).

Conclusiones

El ICEN de octubre está en el rango neutral, al igual que los ICEN temporales de noviembre y diciembre. Por otro lado, el ICENr, que no es el índice oficial del ENFEN, indica la condición Fría Débil como parte de un evento La Niña costera que se inició en mayo de 2024. En el Pacífico central, el ONI de octubre y su temporal de noviembre se mantienen en la categoría neutral; mientras que el ONI temporal de diciembre indica una condición fría débil. Por otro lado, el RONI de octubre se mantiene en la categoría Fría Débil —categoría observada desde julio— con una tendencia negativa.

Según la información observada y los resultados de los modelos de ondas (forzados con vientos del *reanalysis* de NCEP), se espera en la quincena de diciembre el arribo de una onda Kelvin cálida de poca intensidad, seguida de ondas de Kelvin fría a mediados de enero. Luego, nuevamente se esperaría la presencia de ondas de kelvin cálidas producto de la reflexión de ondas de Rossby en el extremo occidental.

En cuanto a las proyecciones climáticas, aunque se prevén anomalías negativas de la TSM frente a la costa peruana hasta junio de 2025, estas se mantendrían dentro del rango neutral, lo cual indica que no se configuraría un evento La Niña costera. Por otro lado, en el Pacífico central, los modelos climáticos anticipan categorías frías hasta finales del verano de 2025.

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.
- ENFEN, 2024: Definición Operacional de los Eventos el Niño Costero y la Niña Costera en el Perú. Nota Técnica ENFEN 01-2024
- 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
- 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.
- L'Heureux M. L., et al. (2024). A relative sea surface temperature index for classifying ENSO events in a changing climate J. Clim. 37 1197–211.
- **Lagos, P., Silva, Y., Nickl, E., & Mosquera, K.** (2008). El Niño–related precipitation variability in Perú. Advances in Geosciences, 14, 231-237. https://doi.org/10.5194/adgeo-14-231-2008.
- 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.
- 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
- **Montes, I., Segura, B., Castillón, F., Manay, R., Mosquera, K. y Takahashi, K**., 2023: Pronósticos experimentales del posible FEN para la Comisión ENFEN con un modelo de Sistema Tierra de alta resolución para el territorio nacional y el Pacífico oriental. Informe Técnico, p. 16.
- **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.
- **Mosquera, K.** y Dewitte, B. (2016). ¿Por qué las ondas Kelvin oceánicas no impactaron tanto la TSM en la costa de Perú durante el evento El Niño 2015/16?. Boletín técnico: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño, Instituto Geofísico del Perú, 3 (3), 4-8.
- 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.
- **Rivera Tello, G.A., Takahashi, K**. & Karamperidou, C. Explained predictions of strong eastern Pacific El Niño events using deep learning. Sci Rep 13, 21150 (2023). https://doi.org/10.1038/s41598-023-45739-3
- **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 Nº 01, 13-20.

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

Equipo
Kobi Mosquera, Dr. (responsable)
Jorge Reupo, Lic.
Miguel Andrade, Bach.
Jeremy Romero, Bach.

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

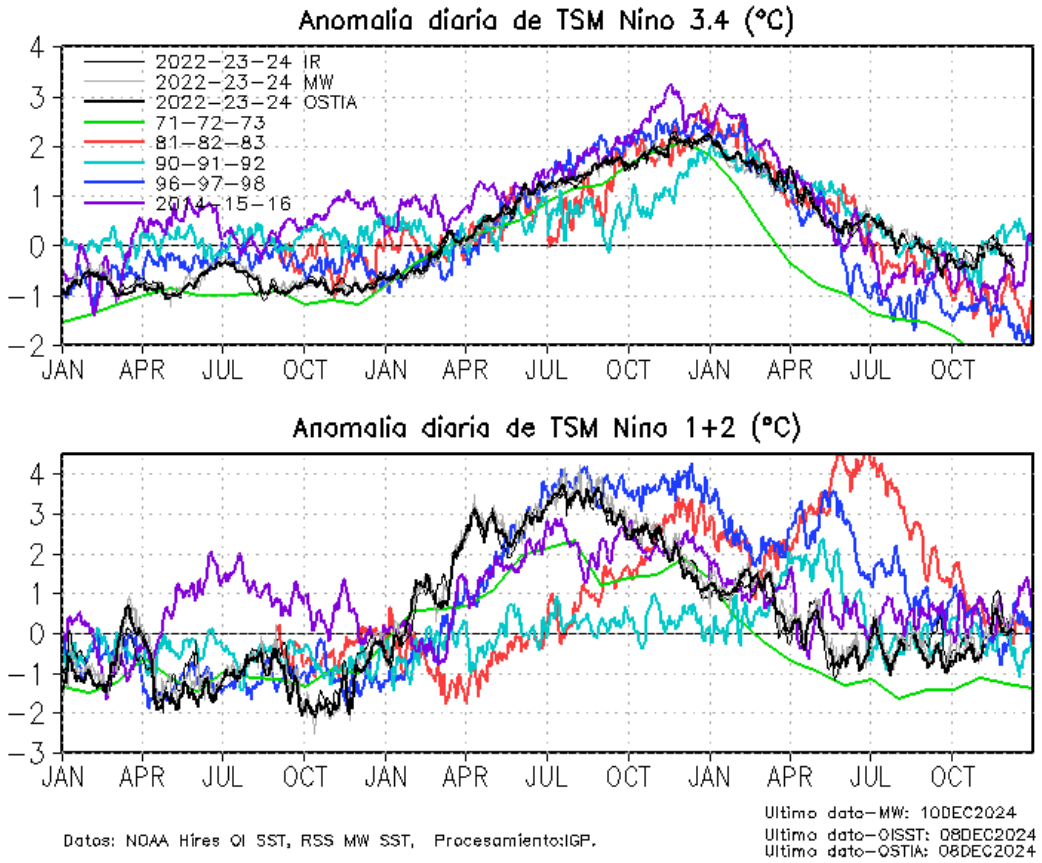

Figura 1. Series de tiempo de la anomalía diaria de la TSM en la región Niño 3.4 (arriba) y en la región Niño 1+2 (abajo). Las líneas en color negro (gruesa), gris y negro (fina) indican la evolución de la anomalía de la TSM usando información infrarroja (IR), microondas (MW) y del producto OSTIA, respectivamente. Las líneas de color verde, rojo, celeste, azul y magenta indican la evolución de la anomalía de la TSM para los periodos 1971-1973, 1981-1983, 1990-1992, 1996-1998 y 2014-2016. Elaborado por el IGP.

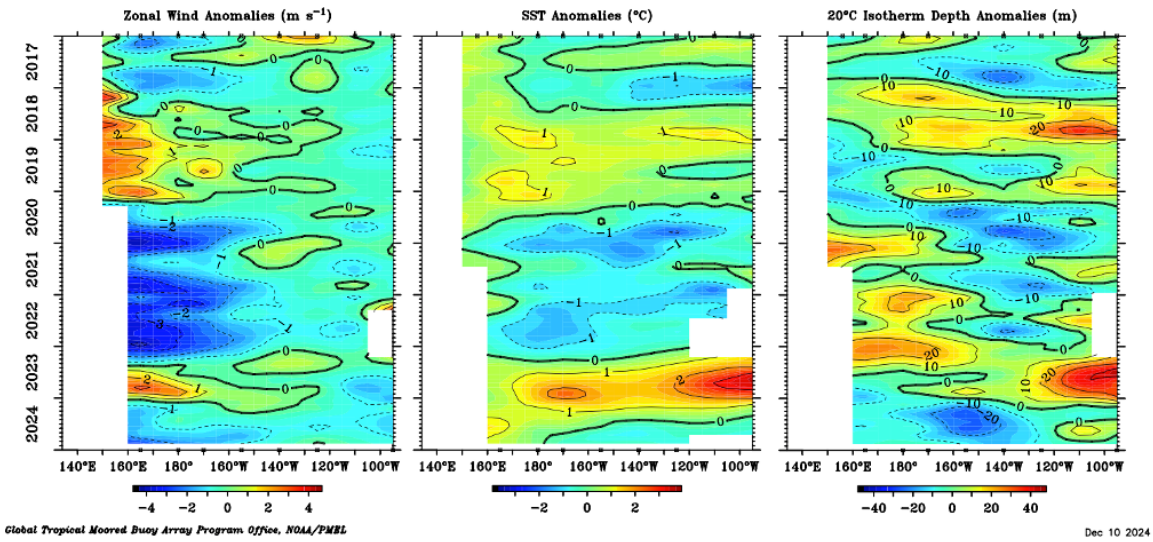

Figura 2. Promedio mensual de la anomalía del viento zonal (panel izquierdo), de la temperatura superficial del mar (panel central) y de la profundidad de la isoterma de 20 ºC (panel derecho) y a lo largo de la franja ecuatorial del Pacífico (2ºS-2ºN). Esta imagen se elaboró de otras que se obtienen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

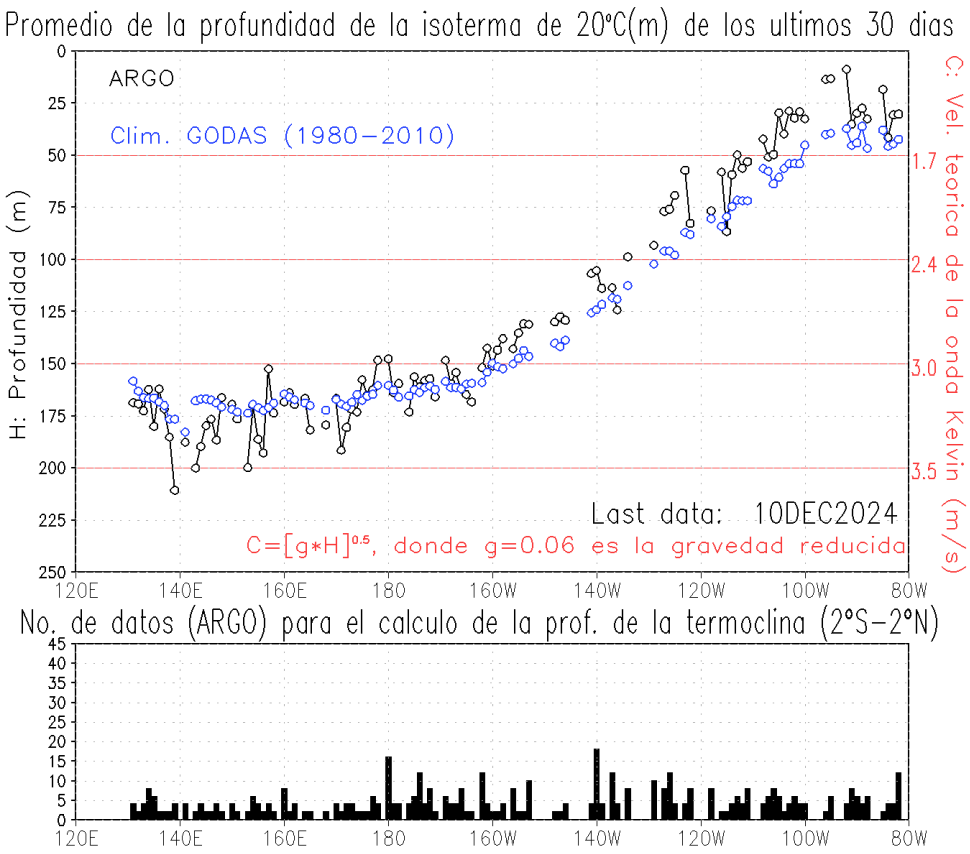

Figura 3. Profundidad de la isoterma de 20ºC, como promedio de los últimos 30 días**.** Fuente ARGO. Elaboración: IGP.

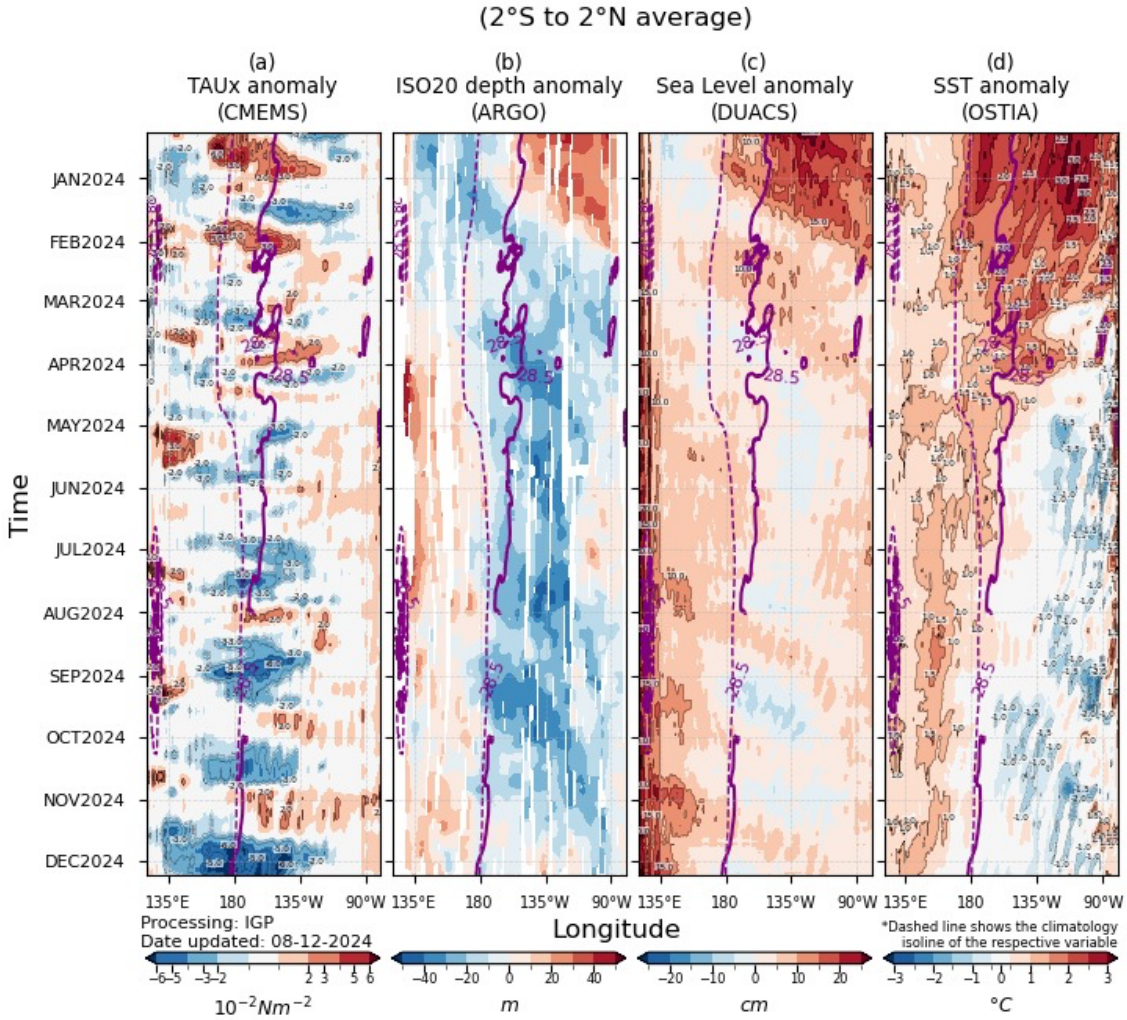

Figura 4. Diagrama longitud-tiempo en la franja ecuatorial de las anomalías, de izquierda a derecha, a) del esfuerzo de viento zonal (ASCAT), b) de la profundidad de la termoclina (ARGO), c) del nivel del mar (DUACS) y d) de la temperatura del mar (OSTIA). La línea morada continua (entrecortada) indica la posición observada (climatológica) de la isoterma de 28.5 ° C. Elaborado por el IGP.

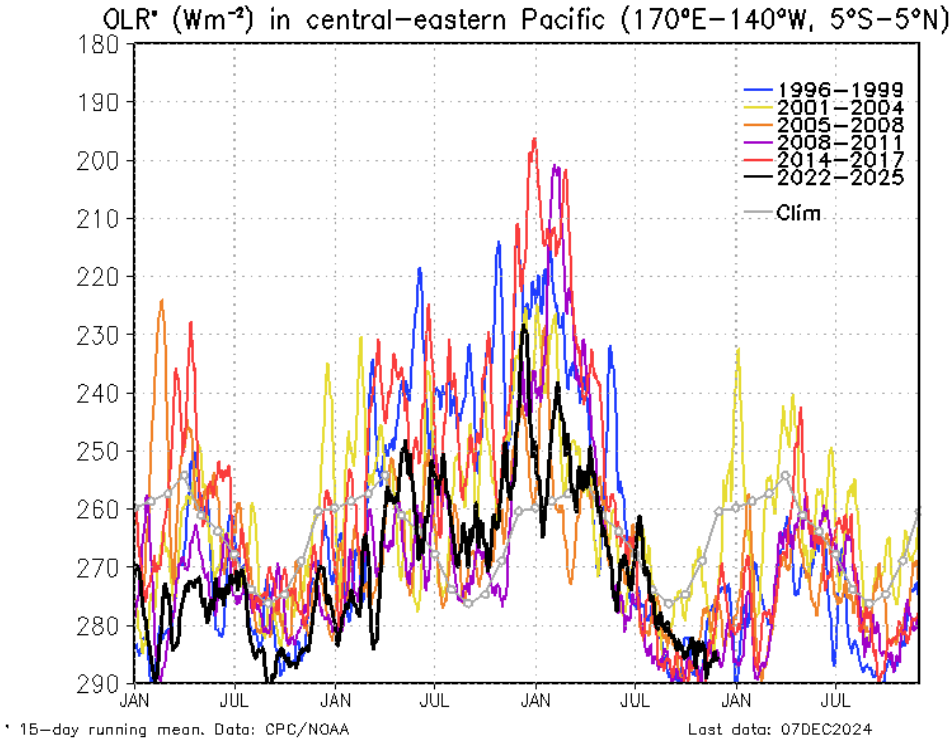

Figura 5. Actividad convectiva en el Pacífico central oriental (170ºE-140ºW y 5ºS-5ºN) en base a la información de OLR. Elaborado por el IGP.

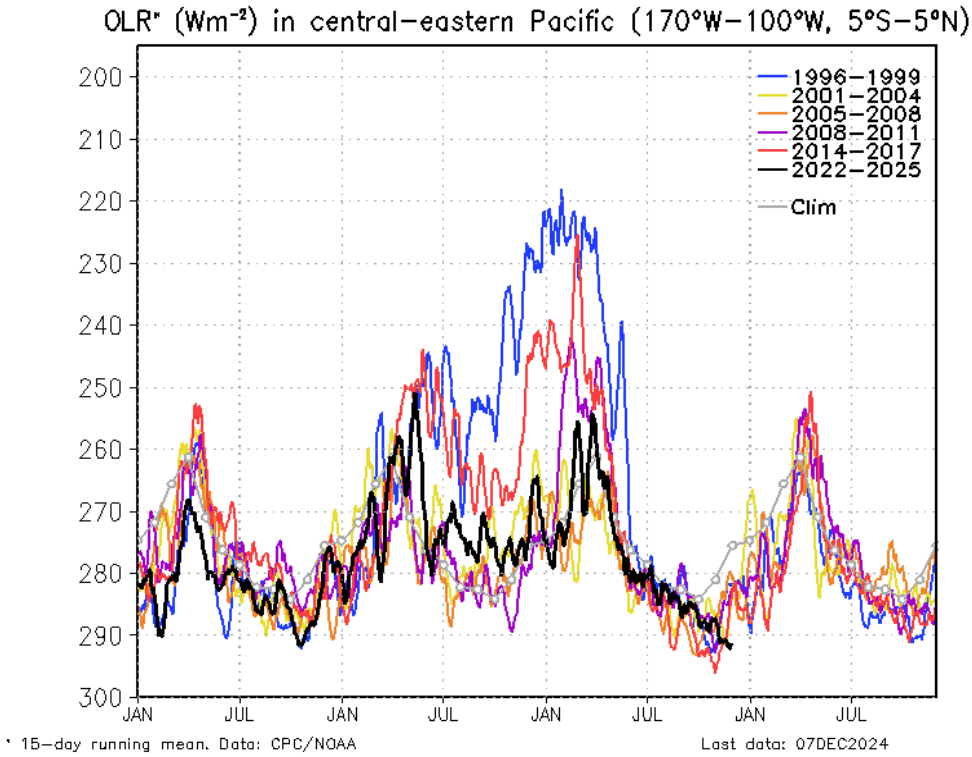

Figura 6. Actividad convectiva en el Pacífico central oriental (170ºW-100ºW y 5ºS-5ºN) en base a la información de OLR. Elaborado por el IGP.

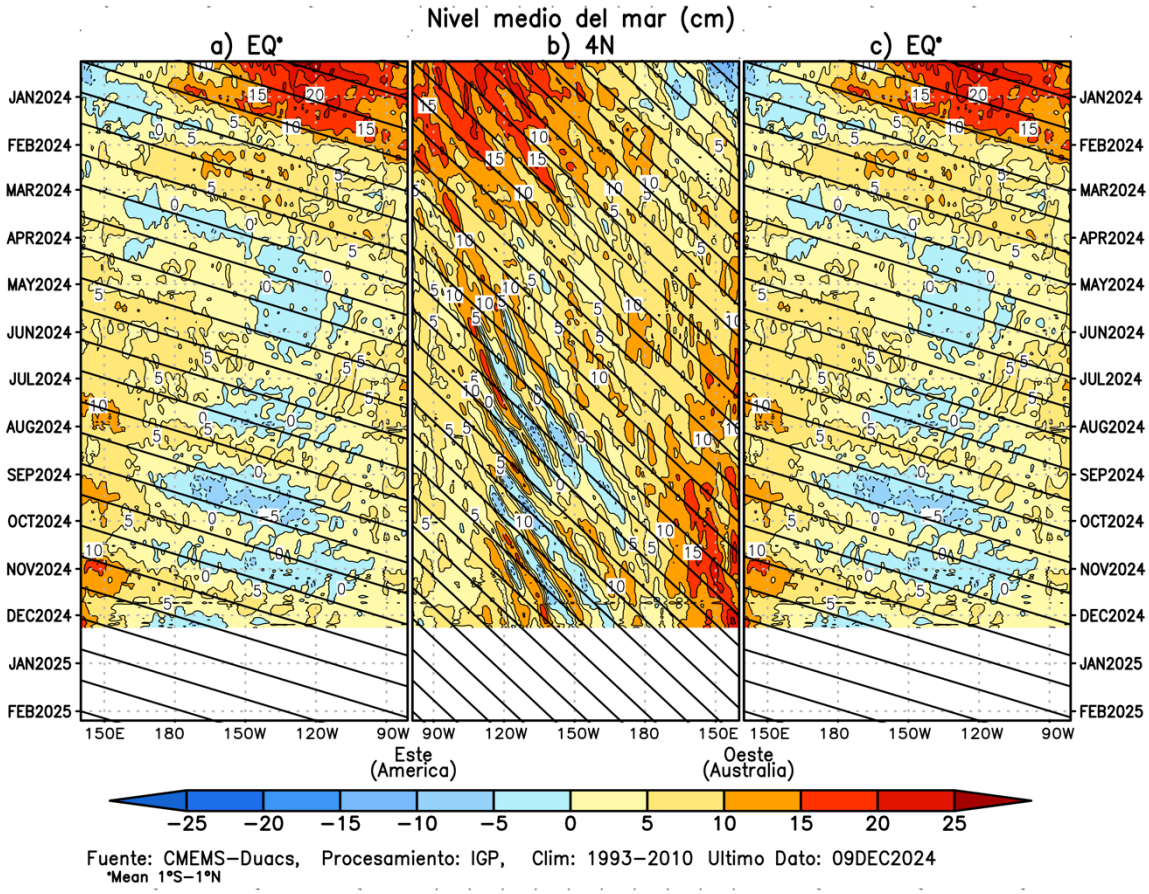

Figura 7. Diagramas longitud-tiempo de la anomalía del nivel medio del mar en el Pacifico ecuatorial usando el producto DUACS. Los paneles (a) y (c) son los mismas y representan la información a lo largo de la línea ecuatorial; mientras que (b), a lo largo de 4ºN, pero con el eje zonal de este a oeste. 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.

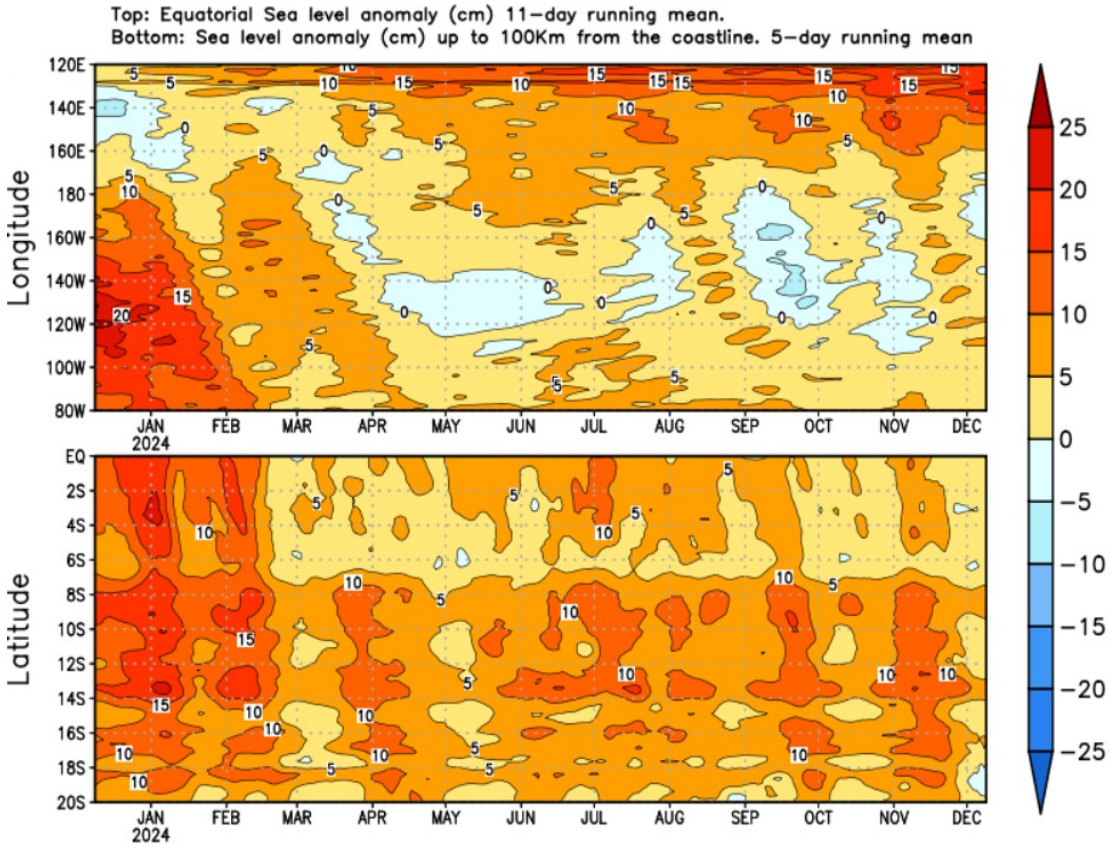

Figura 8. Anomalía del nivel del mar a lo largo de la franja ecuatorial (panel superior) y a lo largo de la costa peruana (panel inferior). Las unidades están en centímetros. Elaborado por el IGP.

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia,
y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

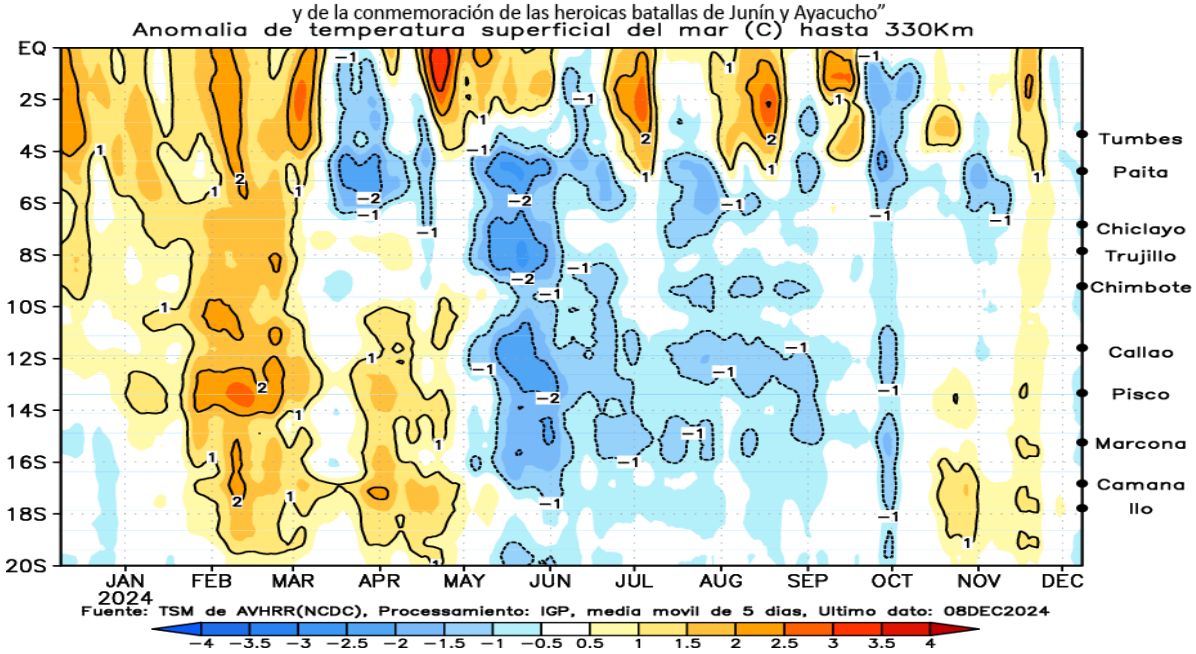

Figura 9. Anomalía de la TSM dentro de los 300 km de la costa peruana. Elaborado por el IGP.

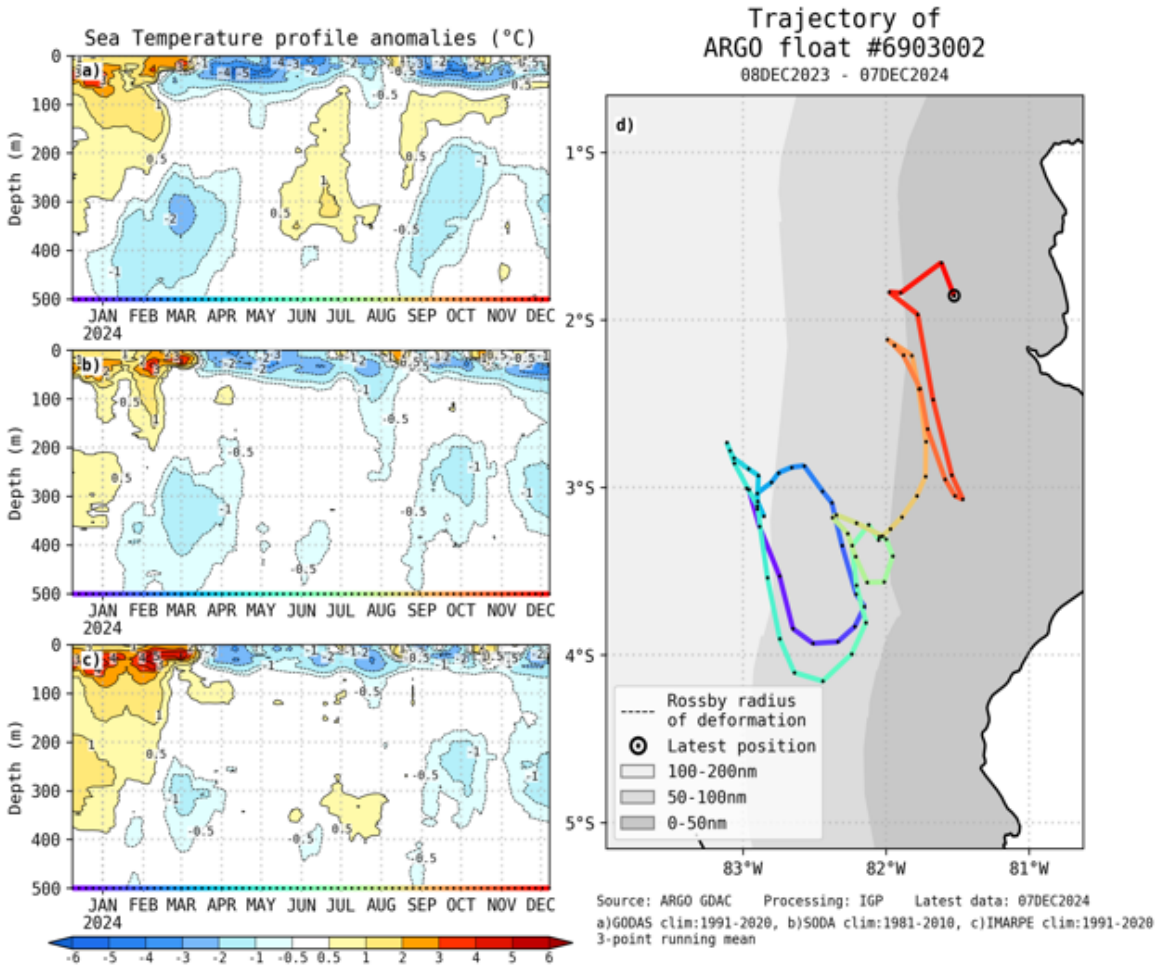

Figura 10. A la izquierda se aprecia la anomalía de la temperatura del mar hasta los 500 metros de profundidad, calculada de los datos del flotador ARGO No. 6903002. Estas anomalías se calculan en base a la climatología 1991-2020 para GODAS (a) e IMARPE (c), y 1981-2010 para (b) SODA. A la derecha se aprecia la trayectoriadel 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.

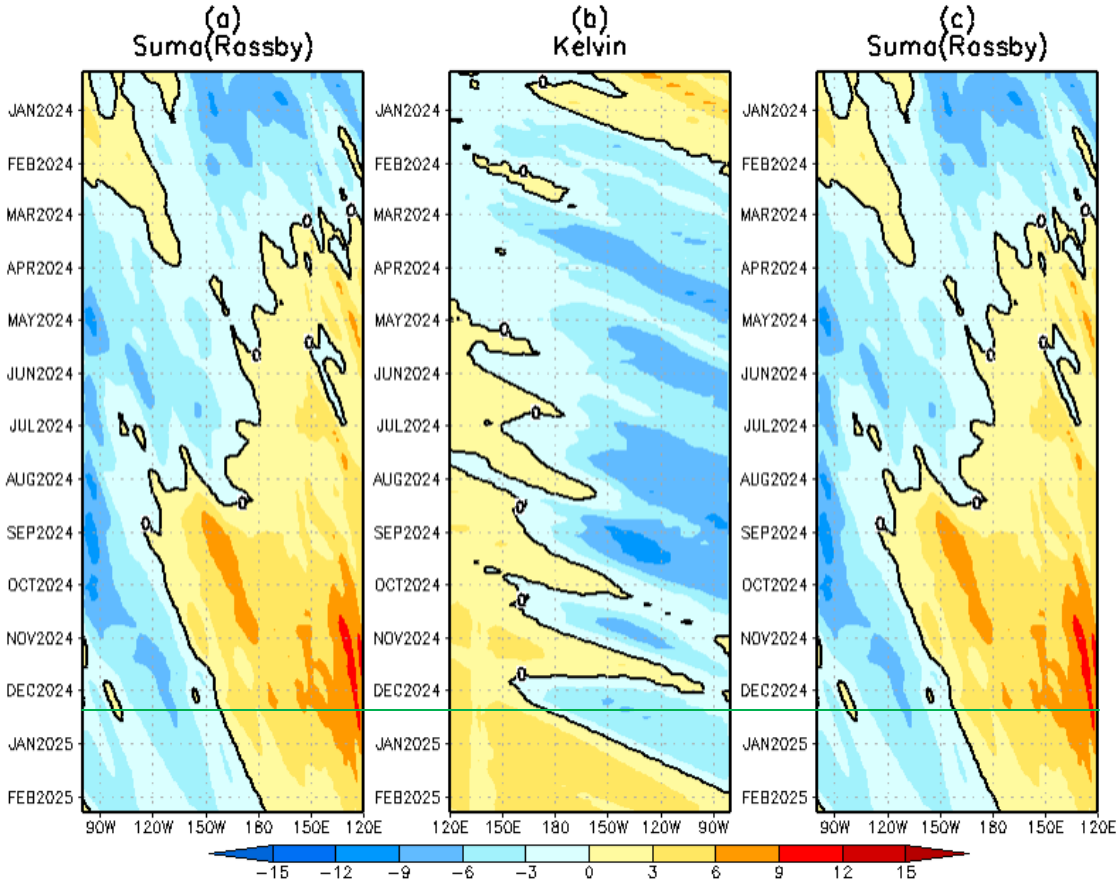

Figura 11. Diagrama longitud-tiempo de (a), diagrama de la onda de Rossby (b) diagrama de la onda de Kelvin, (c) diagrama de la onda de Rossby, calculado con el Modelo oceánico lineal (LOMIGP), forzando por NCEP y termoclina constante. La línea verde horizontal indica el inicio de la simulación del pronóstico con esfuerzo de viento igual a cero. Fuente: IGP.

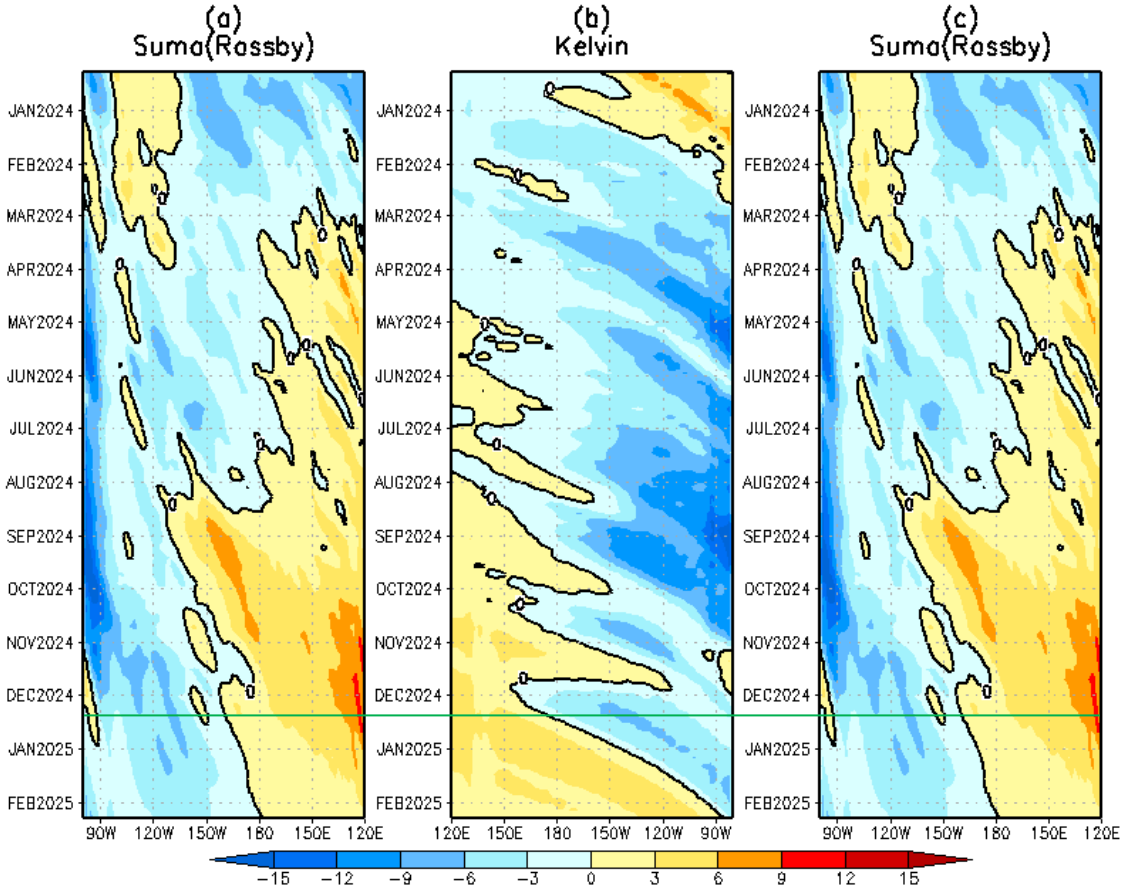

Figura 12. Igual que la Figura 11 pero el modelo es forzado con termoclina variable. Fuente: IGP.

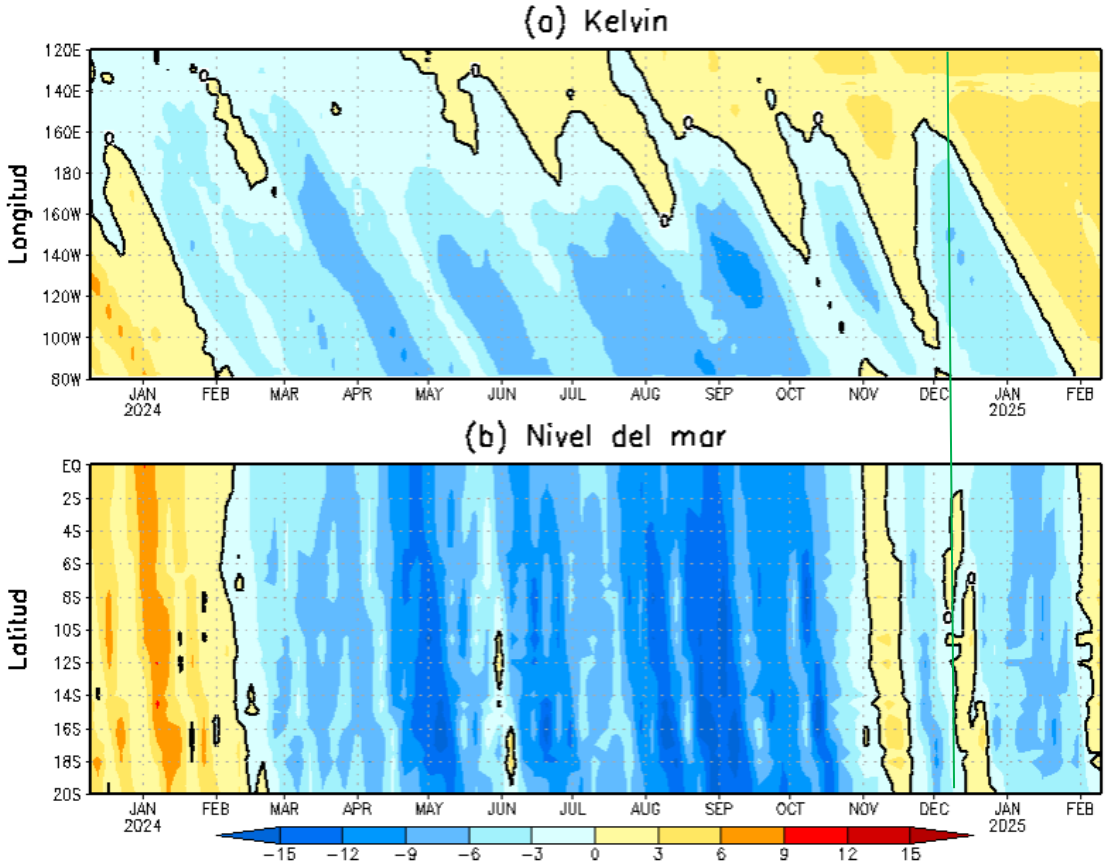

Figura 13. Simulación numérica de la anomalía del nivel del mar (cm) a lo largo de la franja ecuatorial del océano Pacífico (panel superior) y a lo largo de la costa peruana (panel inferior). Esta simulación se realizó con el modelo oceánico lineal (LOM) forzado con esfuerzo de viento del reanalysis de NCEP. La línea verde vertical indica el inicio de la simulación del pronóstico con esfuerzo de viento igual a cero. Elaborado por el IGP.

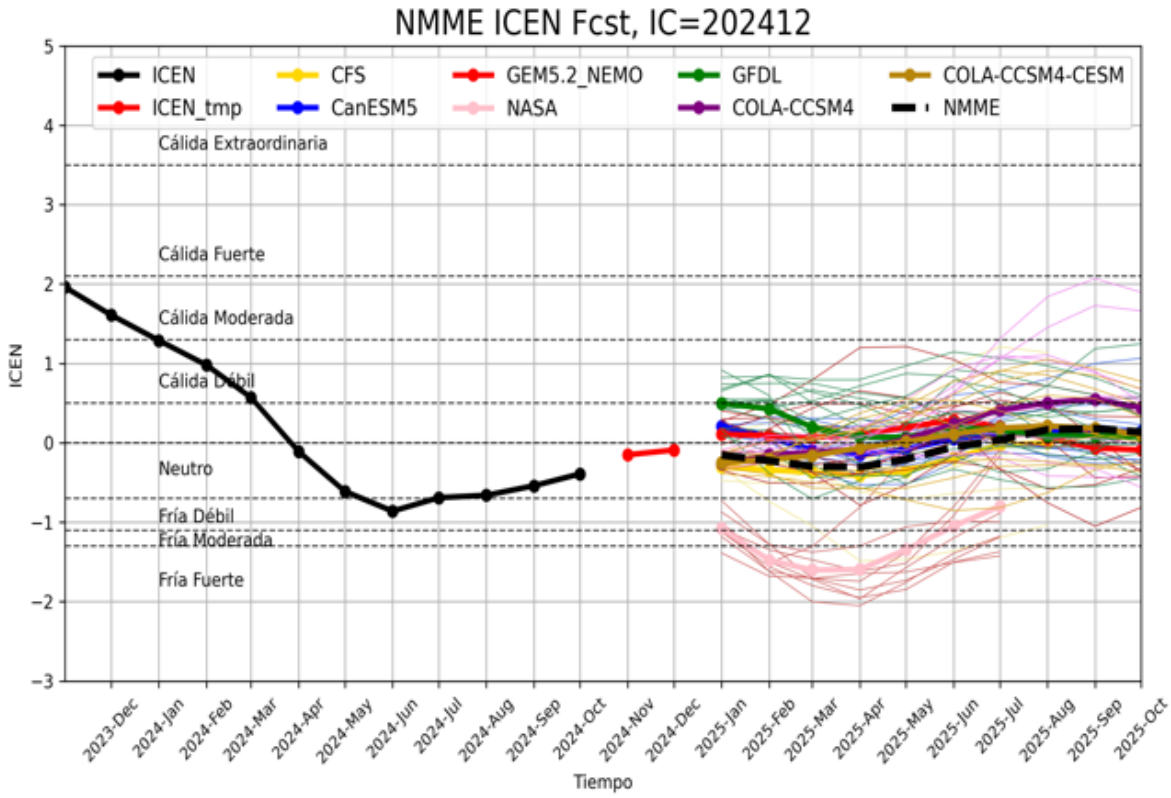

Figura 14. Índice Costero El Niño (ICEN, línea negra con círculos llenos, fuente ERSSTv5) y sus valores temporales (ICENv5tmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN(media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CanSISPS-IC4, GEM5.2_NEMO, NASA, GFDL_SPEAR y NCAR_CCSM4, COLA-RSMAS-CCSM4, COLA-RSMAS-CCSM1 tienen como condición inicial de diciembre de 2024. Fuente: IGP, NOAA, NMME.

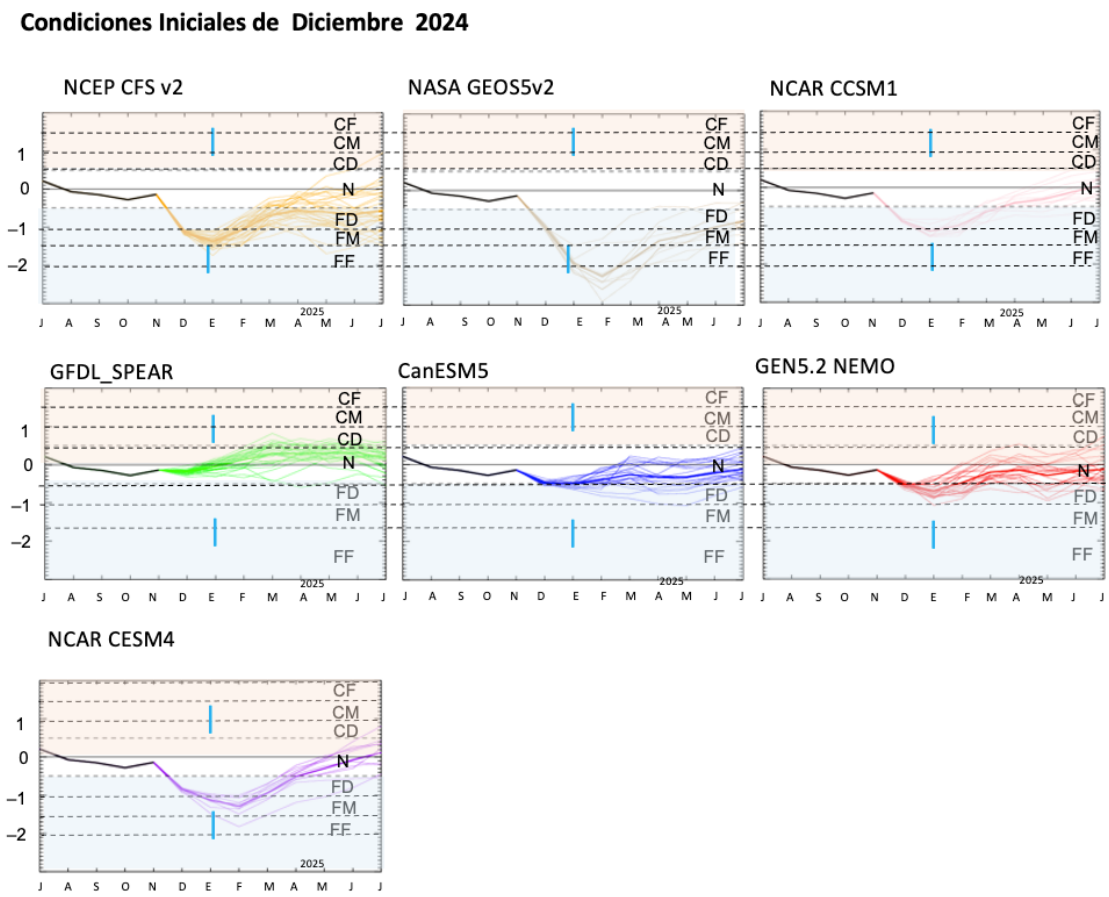

Figura 15. Índice Niño 3.4 mensual observado (líneas de color plomo) y pronosticado por los modelos de NMME (líneas de distintos colores). Fuente: NMME.

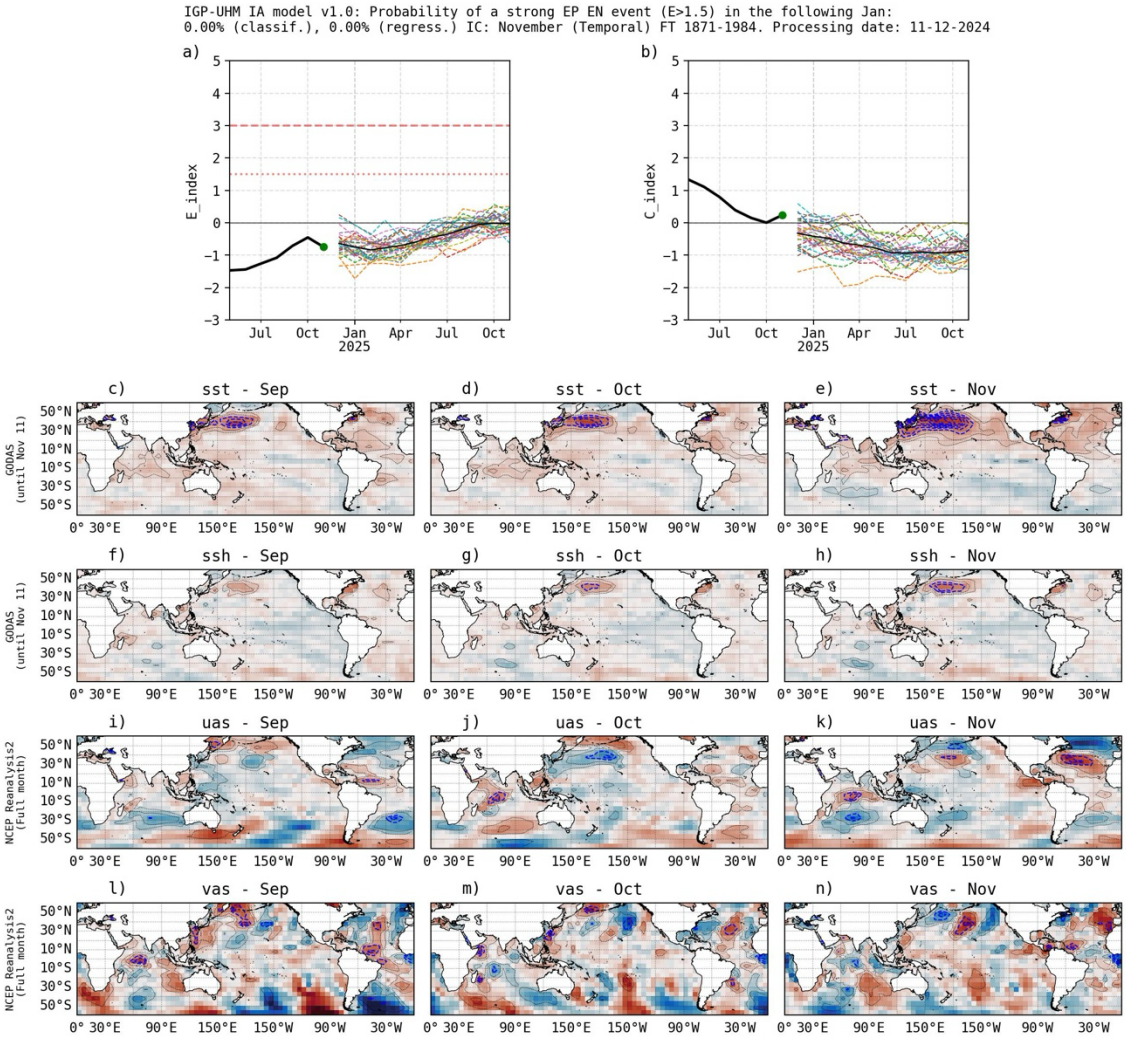

Figura 16. Pronóstico del índice E (Takahashi et al., 2011) a doce meses basado en un modelo de inteligencia artificial (Rivera Tello et al., 2023) para el pronóstico de El Niño extremo. (a) Muestra la evolución del índice E, representado con una línea gruesa de color negro, desde mayo a noviembre de 2024; el conjunto de líneas entrecortadas de colores indica el pronóstico del índice E desde diciembre de 2024 a noviembre de 2025. (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: setiembre (primera columna), octubre (segunda columna) y noviembre (tercera columna). Los contornos rojos (morados) de estos paneles indican regiones que favorecen (desfavorecen) al pronóstico de El Niño extremo.

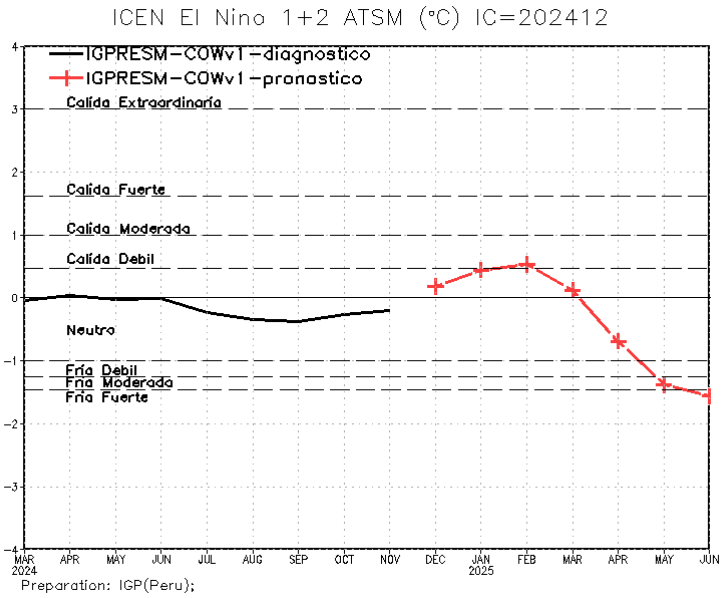

Figura 17. Pronóstico del ICEN de diciembre de 2024 a junio de 2025 (línea roja con cruz), generado por el Modelo Regional Earth SystemModel CROCO-OASIS-WRF v.1' (IGP RESM-COW v.1) con condiciones iniciales de diciembre.