



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"

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/2023-11

15/12/2023

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 el mes de octubre se presentó la condición climática cálida fuerte (2.27 °C). Los valores del ICEN temporal (ICEN-tmp) de noviembre (1.90 °C) y diciembre (1.51 °C) corresponden a condiciones cálida fuerte y cálida moderada, respectivamente. Por otro lado, en el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de octubre (1.78 °C) indica la condición cálida fuerte. Los valores temporales (ONI-tmp) de noviembre (1.88 °C) y diciembre (1.96 °C) coinciden en condiciones cálidas fuertes.

Según la información satelital, una onda de Kelvin cálida, localizada en 100 °W, estaría aproximándose a la costa americana, aunque se observa una disminución en su intensidad. Por otro lado, ondas de Kelvin frías localizadas en el Pacífico occidental podrían contribuir a disminuir la temperatura del mar en el Pacífico central.

El promedio de las predicciones de los seis modelos climáticos de NMME —inicializados con la información de diciembre de 2023— para el Pacífico oriental indican condiciones cálidas moderadas para el mes de enero y cálidas débiles para febrero. Por otro lado, para el Pacífico central, se esperarían condiciones cálidas fuertes para enero de 2024 y condiciones de cálidas moderadas a cálidas débiles de febrero a abril.





Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Dirección
Científica

Subdirección de
Ciencias de la Atmósfera
e Hidrósfera - CAH



IGP
Instituto
Geofísico
del Perú

"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 octubre de 2023, el cual indica una 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.

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

Año	Mes	ICEN	Categoría
2023	Julio	2.94	Cálida Fuerte
2023	Agosto	2.91	Cálida Fuerte
2023	Setiembre	2.70	Cálida Fuerte
2023	Octubre	2.27	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 noviembre y diciembre de 2023 indican las condiciones cálida fuerte y cálida moderada, respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2. ICEN temporales y sus categorías para noviembre y diciembre 2023.

Año	Mes	ICENtmp	Categoría
2023	Noviembre	1.90	Cálida Fuerte
2023	Diciembre	1.51	Cálida Moderada





Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Dirección
Científica

Subdirección de
Ciencias de la Atmósfera
e Hidrósfera - CAH



IGP
Instituto
Geofísico
del Perú

"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 octubre de 2023 es 1.78 °C, el que corresponde a una condición cálida fuerte¹.

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

Índice Oceánico Niño			
Año	Mes	ONI (°C)	Categoría
2023	Julio	1.06	Cálida Moderada
2023	Agosto	1.32	Cálida Moderada
2023	Setiembre	1.54	Cálida Fuerte
2023	Octubre	1.78	Cálida Fuerte

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

Tabla 4. Estimados preliminares del ONI (ONItmp)

Índice Oceánico Niño temporales			
Año	Mes	ONItmp (°C)	Categoría
2023	Noviembre	1.88	Cálida Fuerte
2023	Diciembre	1.96	Cálida Fuerte

Diagnóstico del Pacífico ecuatorial

En noviembre, la anomalía de la TSM (ATSM) registrada en la región Niño 3.4, en promedio, estuvo en el rango de cálida muy fuerte; sin embargo, en la primera semana de diciembre mostró una tendencia negativa. Asimismo, en la región Niño 1+2, la ATSM en promedio estuvo en la condición cálida fuerte, no obstante, mantiene una tendencia negativa (Figura 1). De acuerdo a la información de los datos obtenidos de las boyas de TAO, en promedio, los vientos alisios a lo largo de la franja ecuatorial (promediado entre 2°S-2°N) se mantienen débiles al oeste de 160°W (incluso 140°W); mientras que en el extremo oriental se mantienen fortalecidos (Figura 2a). La ATSM se mantiene con valores por encima de lo normal en casi todo el Pacífico ecuatorial con un núcleo cálido en 170 °W (Figura 2b). Por otro lado, la termoclina se mantiene ligeramente más profunda de lo normal en la zona oriental, específicamente entre 160 °W y 90°W (Figura 2c). Conforme a la información del esfuerzo de viento del producto ASCAT (Figura 3a), en noviembre se observaron dos pulsos de viento del oeste: el primero a inicios del mes, entre 135° y 170°E, y el segundo en la tercera semana del mes, entre 170° y 135°W. Por otro lado, también se han observado dos pulsos de viento del este importantes: uno a mediados de noviembre, entre 130°E y 150°W, y el otro en diciembre, entre 125°W y 95°W.

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).



**PERÚ**Ministerio
del AmbienteInstituto
Geofísico del PerúDirección
CientíficaSubdirección de
Ciencias de la Atmósfera
e Hidrósfera - CAH**IGP** Instituto
Geofísico
del Perú

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

Según la información de TAO, durante noviembre y lo que va de diciembre, la termoclina se mantiene ligeramente menos inclinada de lo normal (Figura 4a). Por otro lado, el contenido de calor mostró un pequeño incremento; sin embargo, en los primeros días del mes de diciembre muestra un descenso (Figura 4b). En el extremo oriental (boya TAO en 95°W), el valor de la anomalía promedio de la profundidad de la termoclina continúa su tendencia a la normalización (Figura 5). Cabe resaltar que algunas boyas de TAO no están transmitiendo, lo que genera un vacío espacial y temporal en sus datos.

Los valores de OLR (Outgoing Longwave Radiation) en noviembre y en lo que va de diciembre, en la zona occidental (170°E-140°W, 5°S-5°N) muestra un descenso, lo cual es sinónimo de incremento de la precipitación en dicha zona, aunque no con la magnitud de otros eventos extremos (Figura 6). Por otro lado, en la zona oriental (170°W-100°W, 5°S-5°N), los valores se mantienen próximos a su climatología (Figura 7).

Según la información de altimetría satelital, la onda de Kelvin cálida, localizada en 100°W (Figura 3C), sigue aproximándose a la costa americana, aunque se observa una disminución de su intensidad, tal como se observó en las anteriores ondas. En esta misma variable, se observa aún el arribo de ondas de Rossby frías al extremo occidental, las que siguen reflejándose como ondas de Kelvin frías en la zona occidental (Figura 8b). En la termoclina, la señal de la onda de Kelvin cálida se localiza en 120°W, mientras que la onda de Kelvin fría en 160°W (Figura 3b).

Ondas de Kelvin a lo largo de la costa peruana

Desde noviembre hasta la fecha, la información diaria del nivel del mar del producto DUACS (Figura 9b) mostró, inicialmente, en promedio, una disminución del nivel del mar; mientras que, en lo que va del mes de diciembre, se observa un incremento, esto como consecuencia del paso de una onda de Kelvin cálida. La información cada 5 días del flotador Argo No. 6903002, localizado entre las 110 mn y en 3°S, mostró en noviembre e inicios de diciembre una anomalía positiva en parte de la columna de agua; sin embargo, a la fecha dicha anomalía viene disminuyendo (Figura 10).

Pronóstico de ondas de Kelvin

Analizando las proyecciones basados en la información de altimetría satelital (Figura 3c) y profundidad de la termoclina (Figura 3b), se espera la llegada de una onda de Kelvin cálida para fines de diciembre aunque con una probable disminución de su intensidad actual, como consecuencia de la termoclina inclinada y la pérdida de energía vertical. Un pulso de viento del oeste en la zona oriental podría proyectarse en una onda de Kelvin fría (Figura 3a). Es muy probable que las ondas de Rossby frías sigan reflejándose como ondas de Kelvin frías en la zona occidental hasta fines de enero e inicios de febrero de 2024. Si no existieran procesos físicos que aminoren o cancelen este paquete de ondas de Kelvin frías en su desplazamiento hacia el este, entonces su señal arribaría a la costa americana a partir de febrero, aproximadamente (Figura 8b).

El pronóstico del modelo de ondas del IGP, forzado para el diagnóstico tanto de vientos de ASCAT (Figura 11) y de NCEP (Figura 12), y luego con vientos igual a cero para el pronóstico, muestra a lo largo de la costa peruana la presencia de ondas de Kelvin cálidas hasta inicios de febrero con una máxima intensidad en enero de 2024. La simulación con vientos pronosticados hasta 40 días de CFSv2 (Figura 13), también muestra ondas de Kelvin cálidas a lo largo de la costa peruana hasta inicios de marzo, siendo más intensa a fines de febrero e inicios de marzo. Hay que tener en cuenta que estos





Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Dirección
Científica

Subdirección de
Ciencias de la Atmósfera
e Hidrósfera - CAH



IGP
Instituto
Geofísico
del Perú

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

modelos no contienen el proceso de dispersión modal que aparentemente estarían influyendo a que las ondas de Kelvin cálidas arriben a la costa peruana con poca intensidad. Asimismo, hay que considerar que los pronósticos de viento de CFSv2 cambian en intensidad, e incluso a veces en sus patrones espaciales, conforme se generan nuevos pronósticos.

Pronóstico estacional con modelos climáticos

Para la región Niño 1+2, los pronósticos de los modelos climáticos de NMME (CFSv2, CanCM4i-IC3, GEM5-NEMO, NASA-GEOSS2S, GFDL_SPEAR² y COLA-RSMAS-CCSM4), con condiciones iniciales de diciembre de 2023, se esperan una condición cálida moderada para enero, cálida débil para febrero, y condiciones neutras a partir de marzo (ver Tabla 5 y Figura 14).

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

Modelo	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON
CFS2	0.76	0.54	0.14	-0.47	-1.08	-1.37	-1.21	-0.90	---	---
CanCM4i	1.52	1.30	1.16	1.08	0.96	0.71	0.38	0.10	-0.07	-0.13
GEM5_NEMO	1.03	0.60	0.04	-0.40	-0.73	-0.95	-1.04	-1.06	-0.95	-0.83
NASA	0.47	-0.28	-0.76	-0.79	-0.60	-0.56	-0.70	---	---	---
GFDL_SPEARE	1.19	0.74	0.43	0.27	0.13	-0.07	-0.28	-0.37	-0.31	-0.22
COLA_CCSM4	1.17	0.88	0.44	-0.08	-0.62	-1.13	-1.48	-1.51	-1.31	-1.11
COLA_CESM	1.07	0.64	0.21	-0.17	-0.50	-0.80	-0.97	-0.88	-0.65	-0.45
Promedio										
NMME	1.03	0.63	0.24	-0.08	-0.35	-0.60	-0.76	-0.77	-0.66	-0.55

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), según los pronósticos de los mismos modelos del párrafo anterior, se esperaría la condición cálida fuerte en enero, condiciones cálidas moderadas entre febrero y marzo, y una condición cálida débil en abril. Esto indica, que El Niño en el Pacífico central se extendería, por lo pronto, hasta el otoño de 2024 (ver Tabla 6 y Figura 16).

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

Modelo	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON
CFS2	1.62	1.37	1.02	0.63	0.19	-0.24	-0.57	-0.77	---	---
CanCM4i	2.00	1.98	1.87	1.57	1.08	0.51	-0.04	-0.51	-0.88	-1.08
GEM5_NEMO	1.86	1.35	0.61	-0.10	-0.67	-1.07	-1.27	-1.29	-1.22	-1.18
NASA	1.87	1.30	0.65	0.16	-0.07	-0.27	-0.47	---	---	---
GFDL_SPEARE	1.84	1.62	1.31	0.88	0.41	-0.02	-0.27	-0.32	-0.32	-0.39
COLA-CCSM4	1.41	1.05	0.65	0.33	0.02	-0.39	-0.92	-1.41	-1.75	-1.90
COLA-CESM1	1.76	1.57	1.24	0.80	0.30	-0.31	-0.83	-1.18	-1.35	-1.44
Promedio										
NMME	1.77	1.46	1.05	0.61	0.18	-0.26	-0.62	-0.91	-1.10	-1.20

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"

El modelo de IA del IGP, con condiciones iniciales de noviembre (hasta el día 26) indica que la probabilidad de que en enero haya un evento El Niño fuerte en la región oriental es 1.14 % y estaría apoyado principalmente por el calentamiento del mar en el Pacífico ecuatorial oriental de setiembre, octubre y noviembre; mientras que las variables que juegan un rol contrario para el desarrollo de este evento serían principalmente las temperaturas en el Atlántico oriental norte y en el Pacífico subtropical norte de noviembre (Figura 17).

Conclusiones

De acuerdo a los datos observados de la ATSM de noviembre y lo que va de diciembre, continúa la presencia tanto de El Niño en el Pacífico central como de El Niño costero. En el primero, se sigue observando un acoplamiento débil, ya que no se observa una señal intensa de convección anómala y persistente en el Pacífico central, lo cual no está influyendo en el desarrollo de pulsos de viento del oeste en el Pacífico central. En lo que respecta a El Niño costero, las anomalías de la TSM continúan mostrando una tendencia negativa.

Es muy probable que la presencia de ondas de Kelvin frías localizadas en el Pacífico occidental, formadas por la reflexión de ondas de Rossby frías en el borde occidental y por el pulso de viento del este de mediados de noviembre, y la ausencia de ondas de Kelvin cálidas contribuyan a la disminución de la ATSM en el Pacífico central. Por otro lado, es probable que la ATSM del mar, en promedio, continúe disminuyendo en los siguientes meses como consecuencia de la poca efectividad que podrían tener las ondas de Kelvin cálidas al acercarse a la costa americana (Mosquera et al., 2016).





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
- **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.



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"

- **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 N° 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.

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





PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Dirección
Científica

Subdirección de
Ciencias de la Atmósfera
e Hidrósfera - CAH



IGP
Instituto
Geofísico
del Perú

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

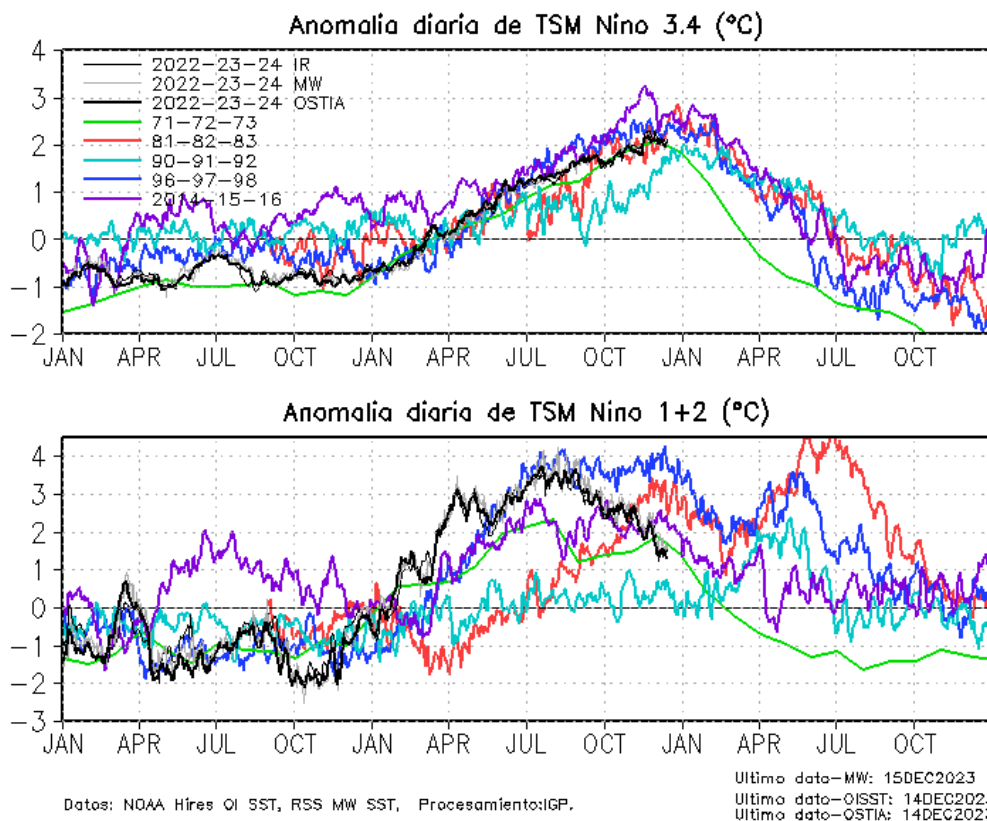


Figura 1. Series de tiempo de la anomalía diaria de la TSM en la región Niño 3.4 (arriba) y en la región Niño 1+2 (abajo). Las líneas en color negro (gruesa), gris y negro (fina) indican la evolución de la anomalía de la TSM en el presente año usando información infrarroja (IR), microondas (MW) y del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





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"

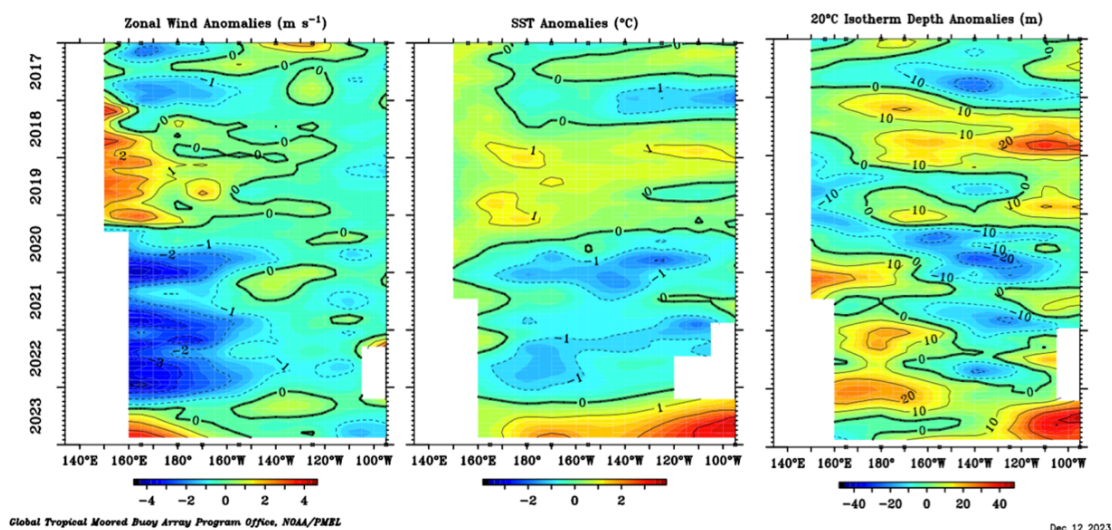


Figura 2. Promedio mensual de la anomalía del viento zonal (panel izquierdo), de la temperatura superficial del mar (panel central) y de la profundidad de la isoterma de 20 °C (panel derecho) y a lo largo de la franja ecuatorial del Pacífico (2°S-2°N). Esta imagen se elaboró de otras que se obtienen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

(2°S to 2°N average)

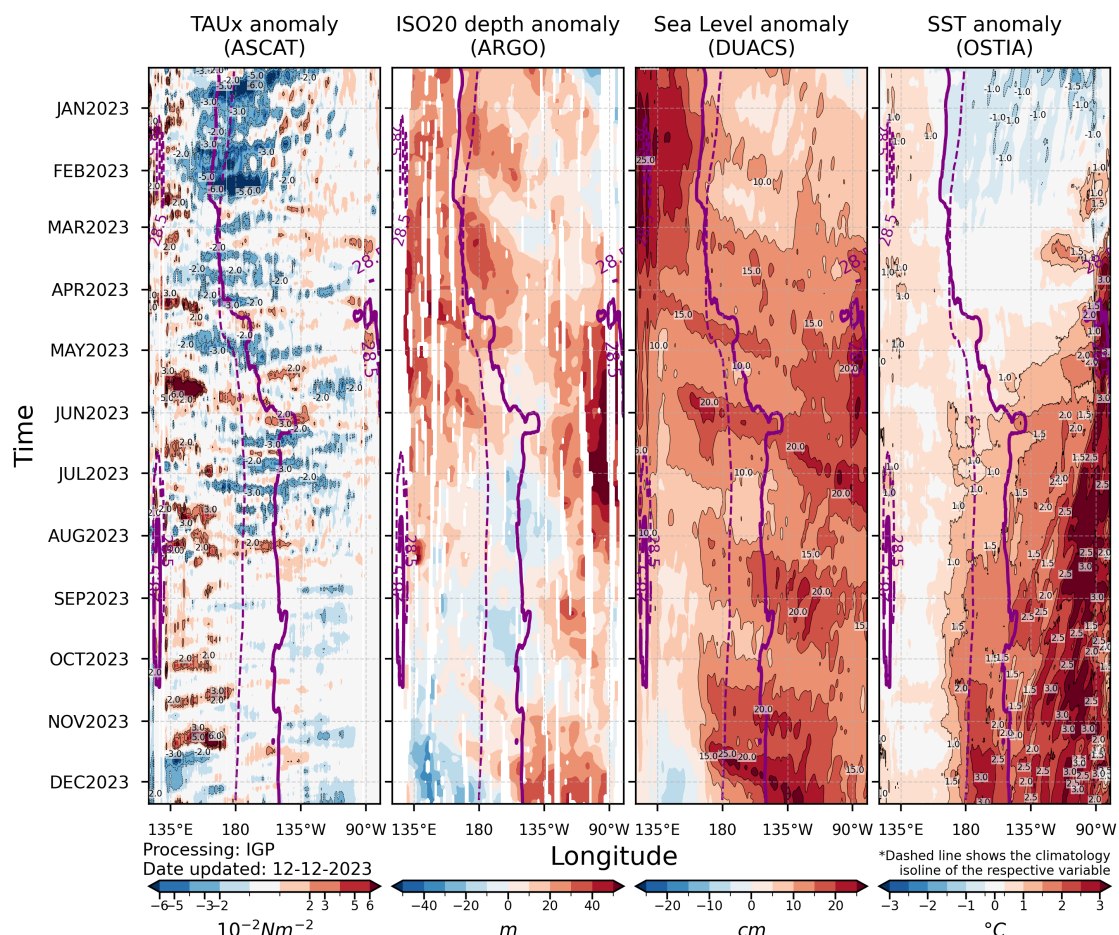


Figura 3. Diagrama longitud-tiempo en la franja ecuatorial de las anomalías, de izquierda a derecha, a) del esfuerzo de viento zonal (ASCAT), b) de la profundidad de la termoclina (ARGO), c) del nivel del mar (DUACS) y d) de la temperatura del mar (OSTIA). La línea morada continua (entrecortada) indica la posición observada (climatológica) de la isoterma de 28.5 ° C. Elaborado por el IGP

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

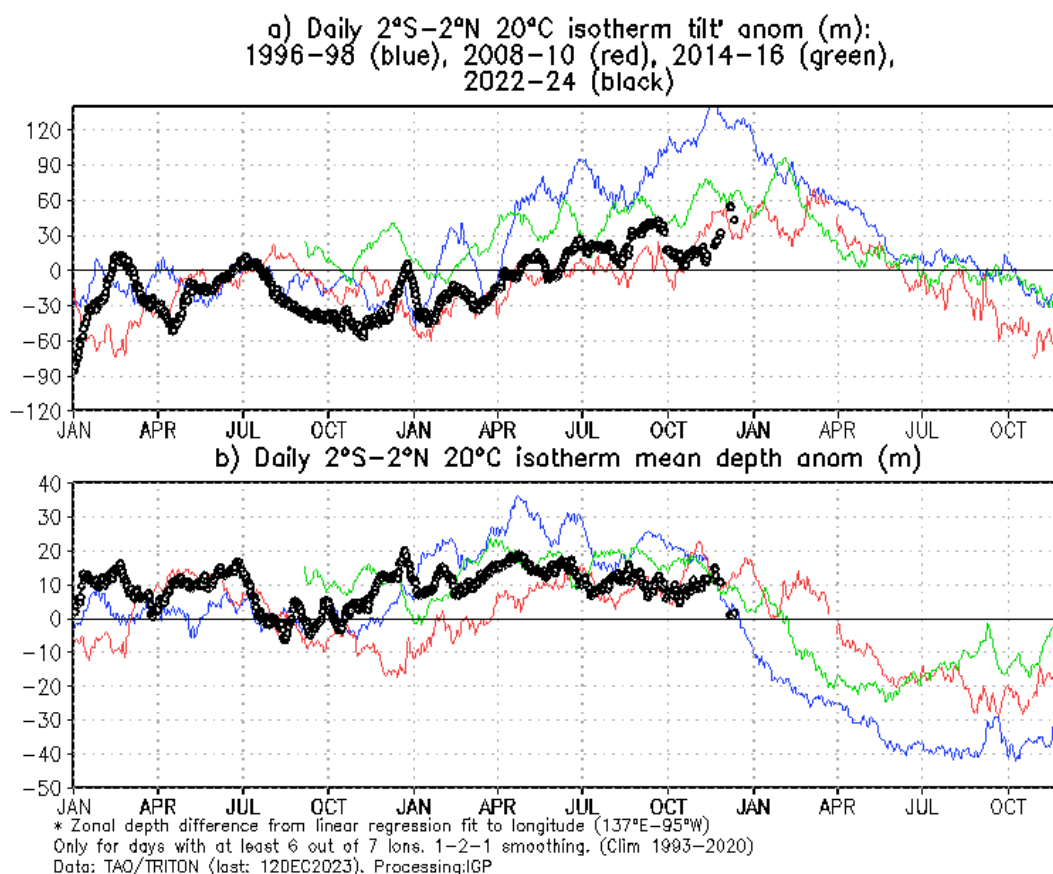


Figura 4. a) Inclinación de la termoclina y **b)** contenido de calor en el Pacífico ecuatorial (2°N y 2°S). La data usada para este cálculo proviene de las boyas TAO. Elaborado por el IGP.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Dirección
Científica

Subdirección de
Ciencias de la Atmósfera
e Hidrósfera - CAH



IGP
Instituto
Geofísico
del Perú

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

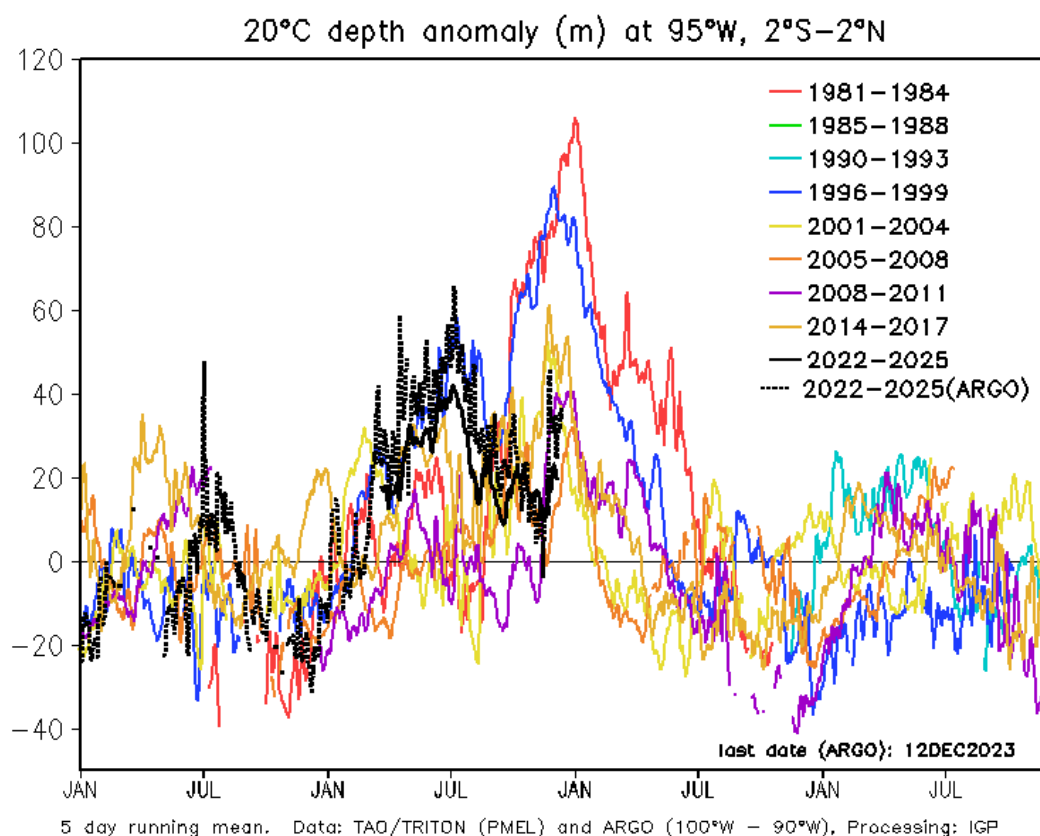


Figura 5. Anomalia de la profundidad de la isoterma de 20 °C (m) en 95°W y promediada entre 2°S y 2°N. La data usada para este cálculo proviene de las boyas TAO y de los flotadores ARGO. Elaborado por el IGP.





PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Dirección
Científica

Subdirección de
Ciencias de la Atmósfera
e Hidrósfera - CAH



IGP
Instituto
Geofísico
del Perú

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

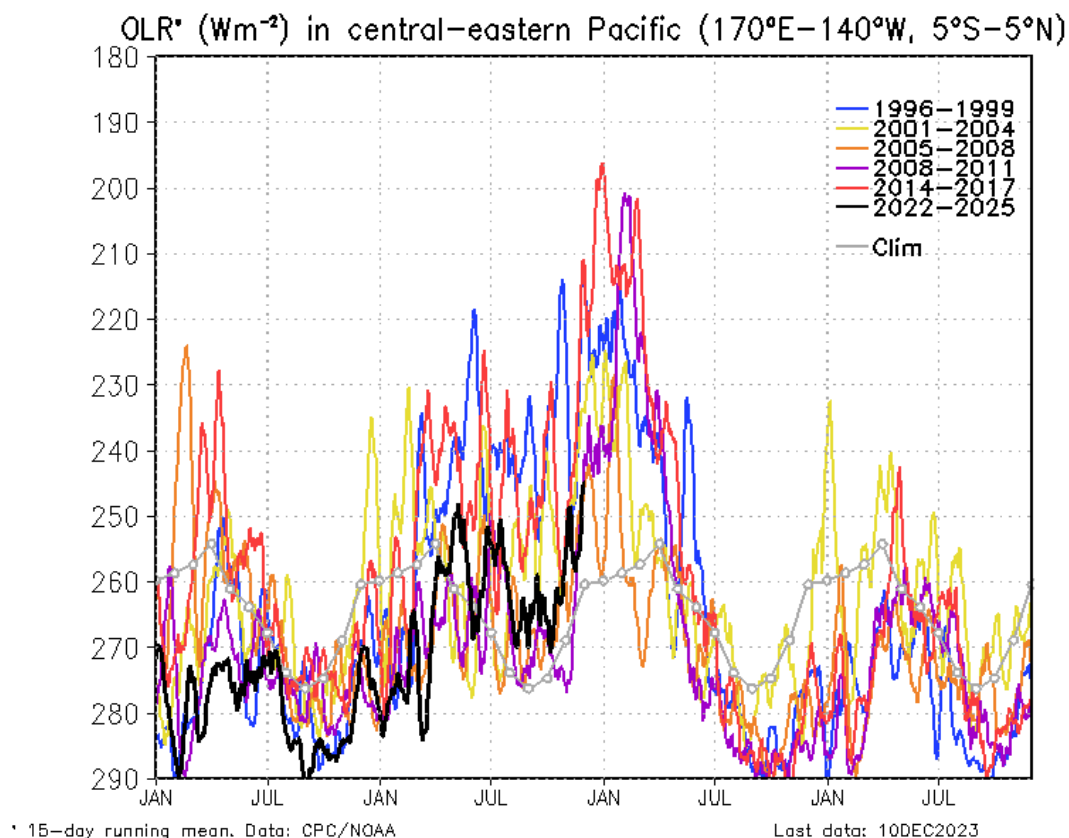


Figura 6. Actividad convectiva en el Pacífico central oriental (170°E – 140°W y 5°S – 5°N) en base a la información de OLR. Elaborado por el IGP.





PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Dirección
Científica

Subdirección de
Ciencias de la Atmósfera
e Hidrósfera - CAH



IGP
Instituto
Geofísico
del Perú

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

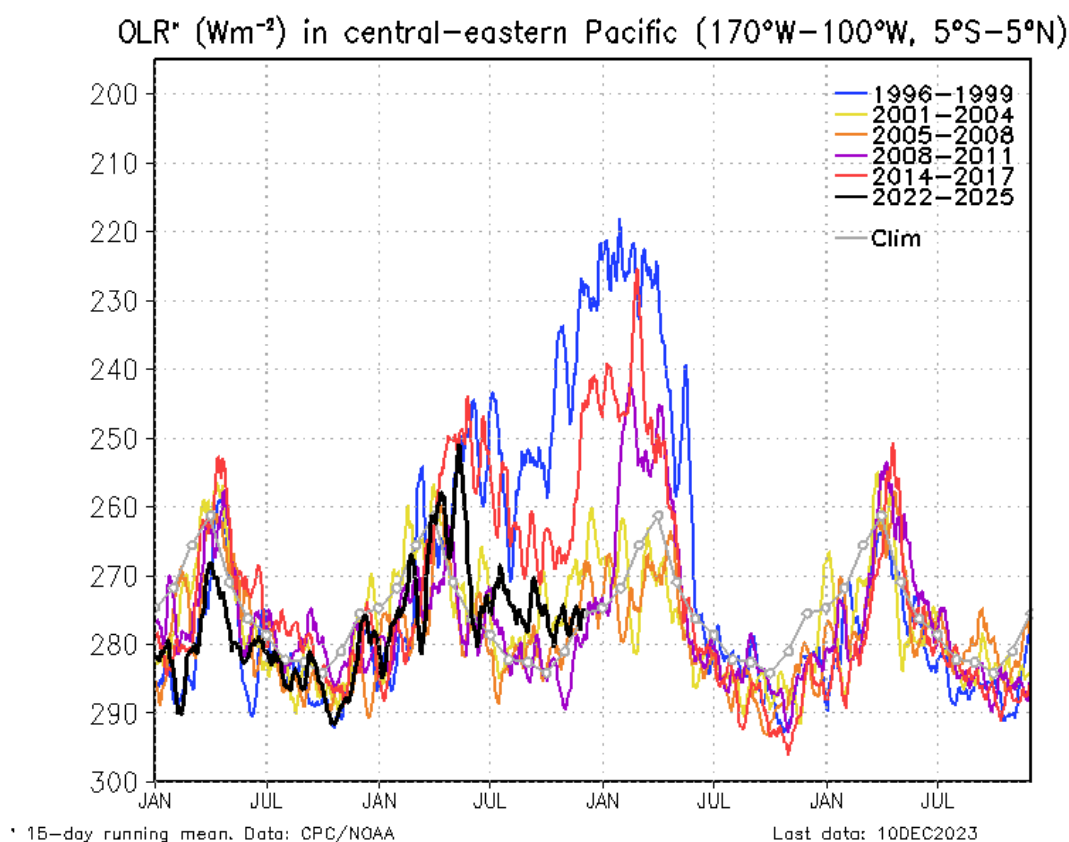


Figura 7. Actividad convectiva en el Pacífico central oriental (170°W – 100°W y 5°S – 5°N) en base a la información de OLR. Elaborado por el IGP.



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

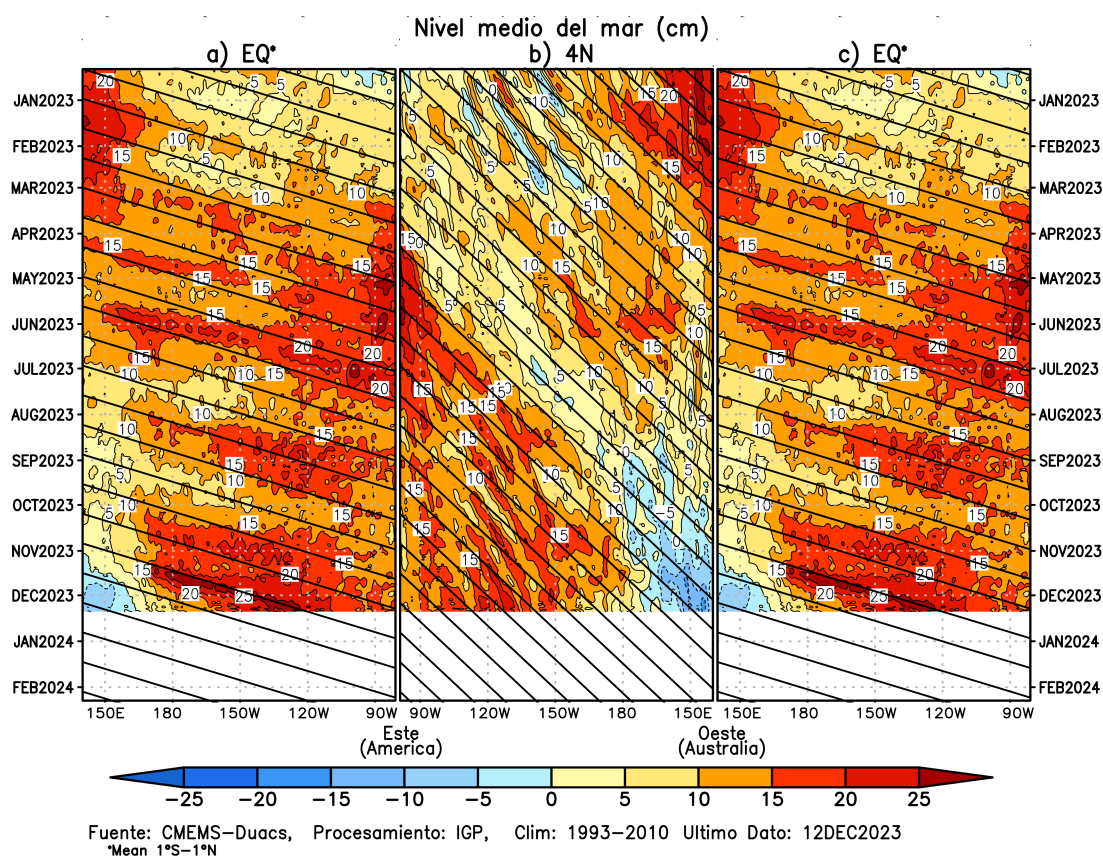


Figura 8. Diagramas longitud-tiempo de la anomalía del nivel medio del mar en el Pacífico ecuatorial usando el producto DUACS. Los paneles (a) y (c) son los mismos y representan la información a lo largo de la línea ecuatorial; mientras que (b), a lo largo de 4°N, pero con el eje zonal de este a oeste. 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.



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"

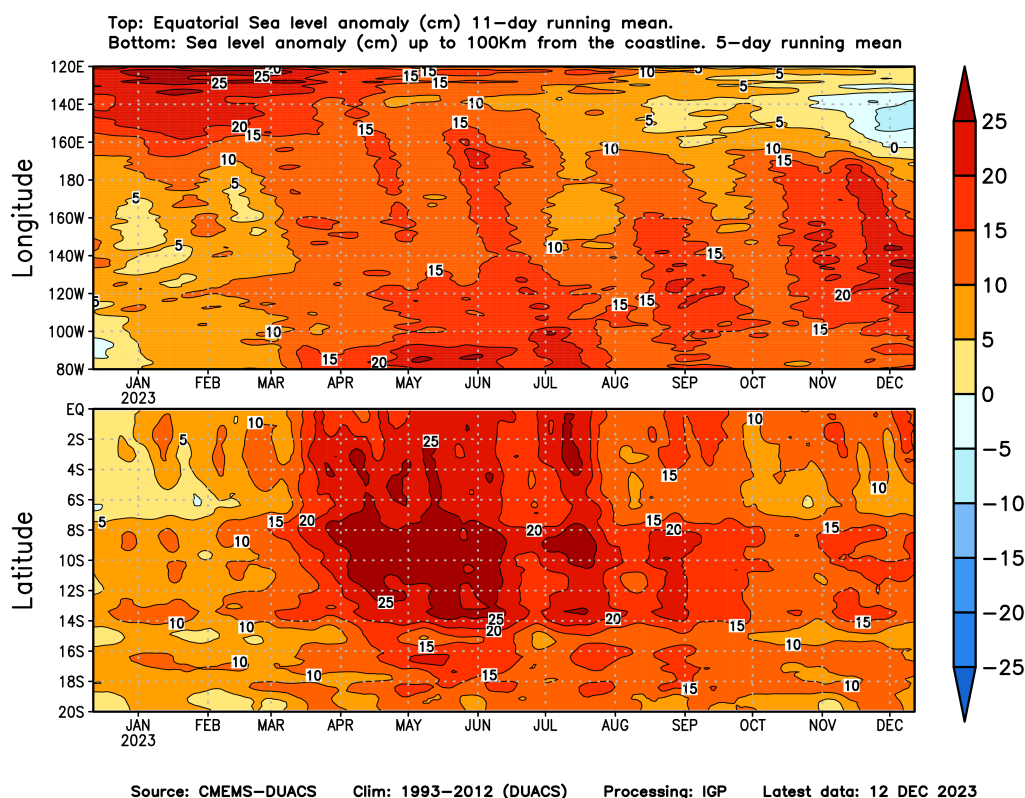


Figura 9. Anomalía del nivel del mar a lo largo de la franja ecuatorial (panel superior) y a lo largo de la costa peruana (panel inferior). Las unidades están en centímetros. Elaborado por el IGP.



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

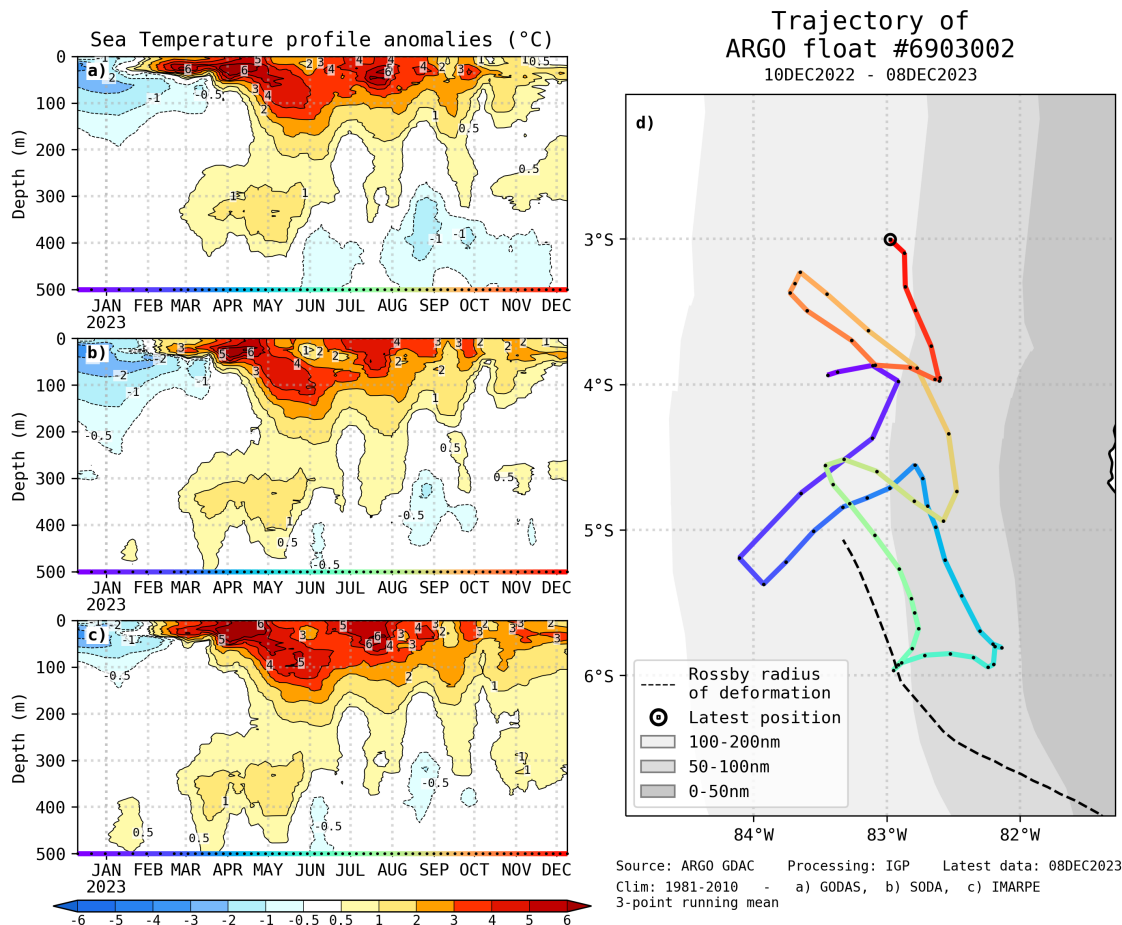


Figura 10. A la izquierda se aprecia la anomalía de la temperatura del mar hasta los 500 metros de profundidad, calculada de los datos del flotador ARGO No. 6903002. Esta anomalía se calcula en base a la climatología (1981-2010) de: (a) GODAS, (b) SODA e (c) IMARPE. A la derecha se aprecia la trayectoria 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.



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"

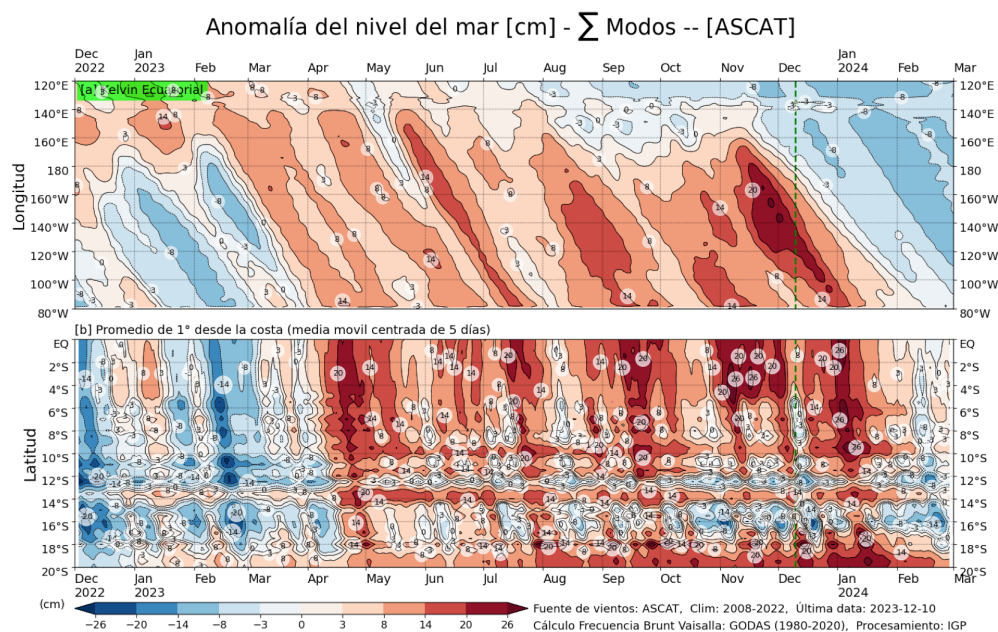


Figura 11. Simulación numérica de la anomalía del nivel del mar (cm) a lo largo de la franja ecuatorial del océano Pacífico (panel superior) y a lo largo de la costa peruana (panel inferior). Esta simulación se realizó con el modelo oceánico multimodal forzado con los vientos de ASCAT. La línea verde entrecortada indica el inicio de la simulación del pronóstico con esfuerzo de viento igual a cero. Elaborado por el IGP.





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"

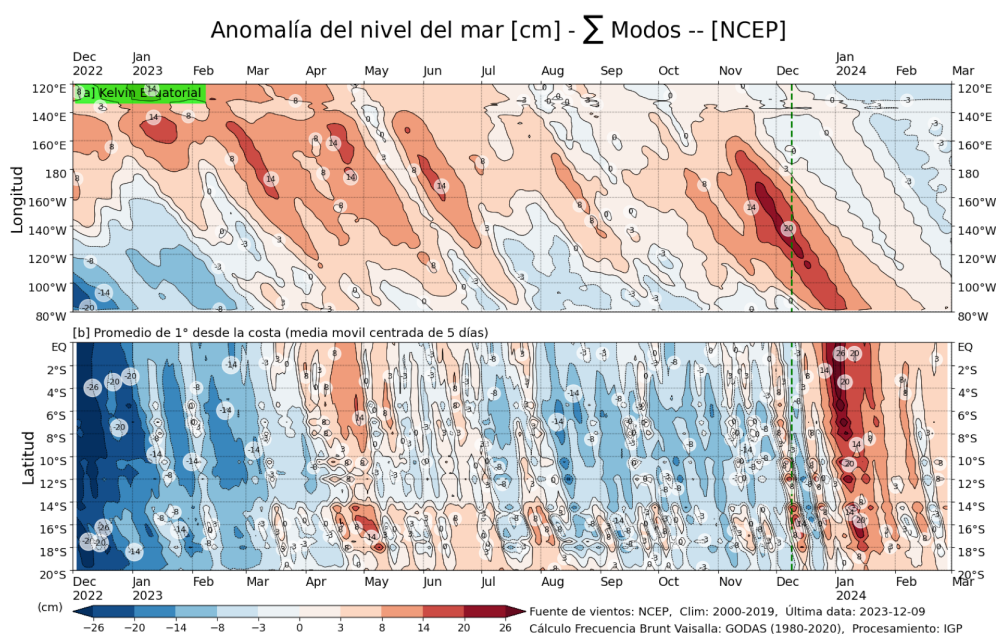


Figura 12. Igual que la Figura 11 pero usando esfuerzo de viento calculado de vientos a 10 metros de la superficie de la *reanalysis* de NCEP. Elaborado por el IGP.





PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Dirección
Científica

Subdirección de
Ciencias de la Atmósfera
e Hidrósfera - CAH



IGP
Instituto
Geofísico
del Perú

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

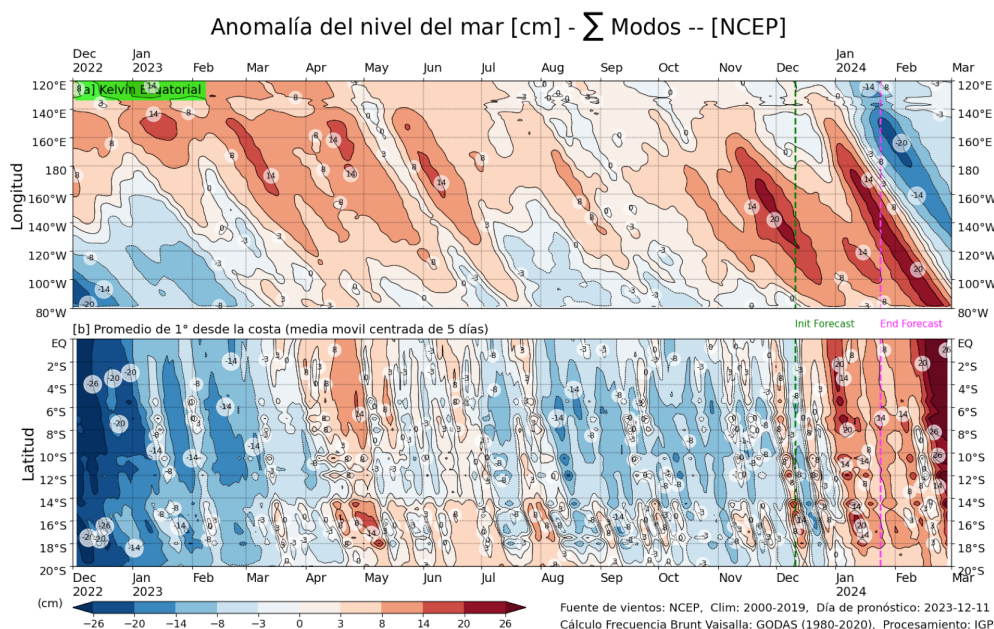


Figura 13. Igual que la Figura 13 pero para el pronóstico de los siguientes cuarenta días (período entre la línea entrecortada verde y la línea entrecortada rosada), se usaron los pronósticos de los vientos del modelo CFSv2. Luego de los 40 días (línea de color rosada) se usaron esfuerzo de viento igual 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"

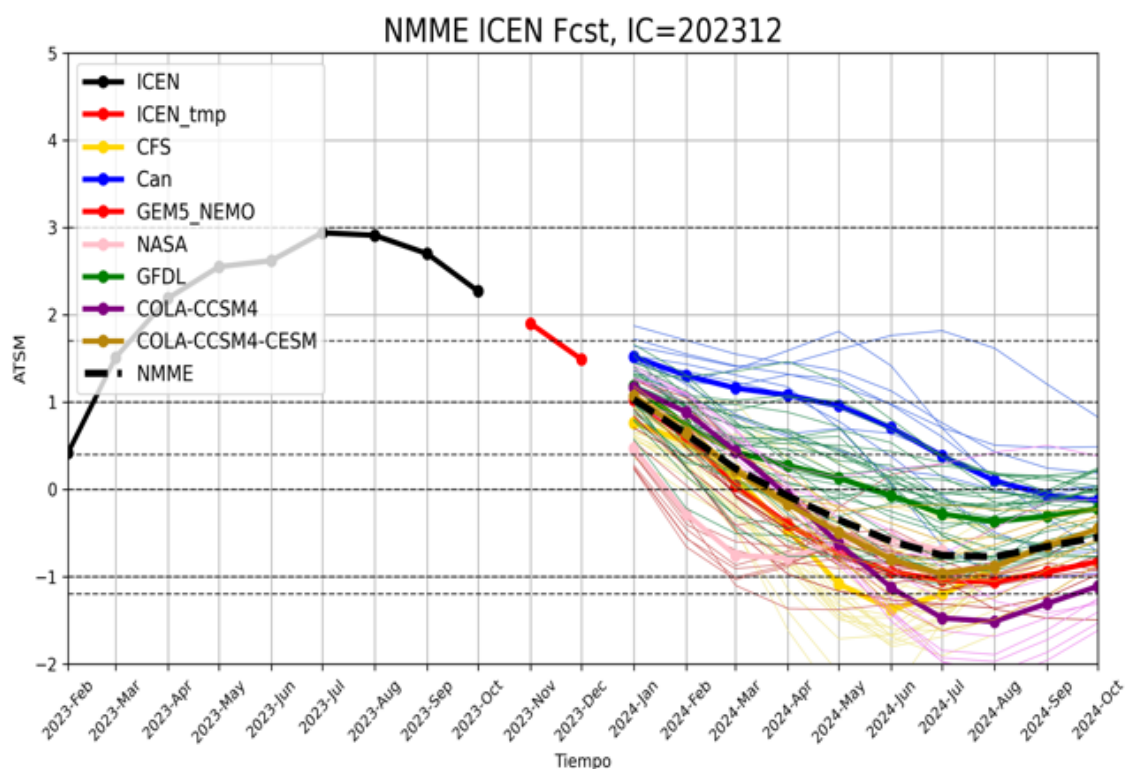


Figura 14. Índice Costero El Niño (ICEN, línea negra con círculos llenos, fuente ERSSTv5) y sus valores temporales (ICENv5tmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CanCM4i, GEM5_NEMO, NASA, GFDL_SPEAR y NCAR_CCSM4, COLA-RSMAS-CCSM4, COLA-CCSM4-CESM1 tienen como condición inicial de diciembre de 2023. Fuente: IGP, NOAA, NMME



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Dirección
Científica

Subdirección de
Ciencias de la Atmósfera
e Hidrósfera - CAH



IGP Instituto
Geofísico
del Perú

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

Condiciones Iniciales de Diciembre 2023

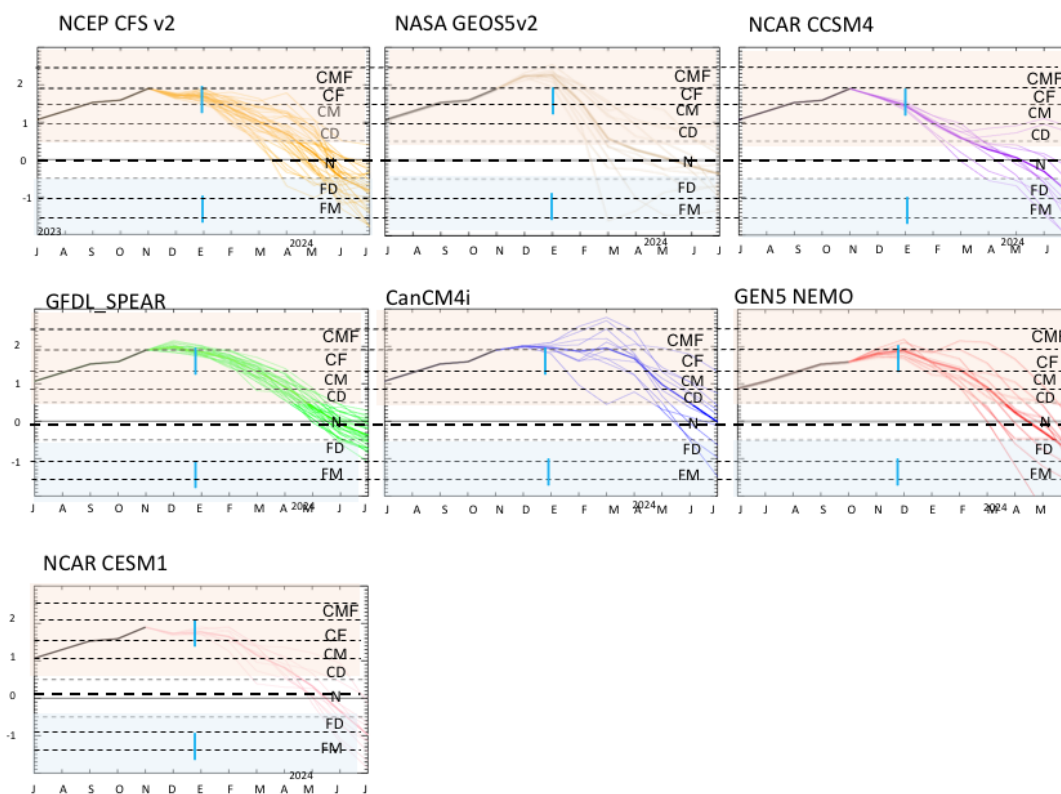


Figura 15. Índice Niño 3.4 mensual observado (líneas de color plomo) y pronosticado por los modelos de NMME (líneas de distintos colores). Fuente: NMME.



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

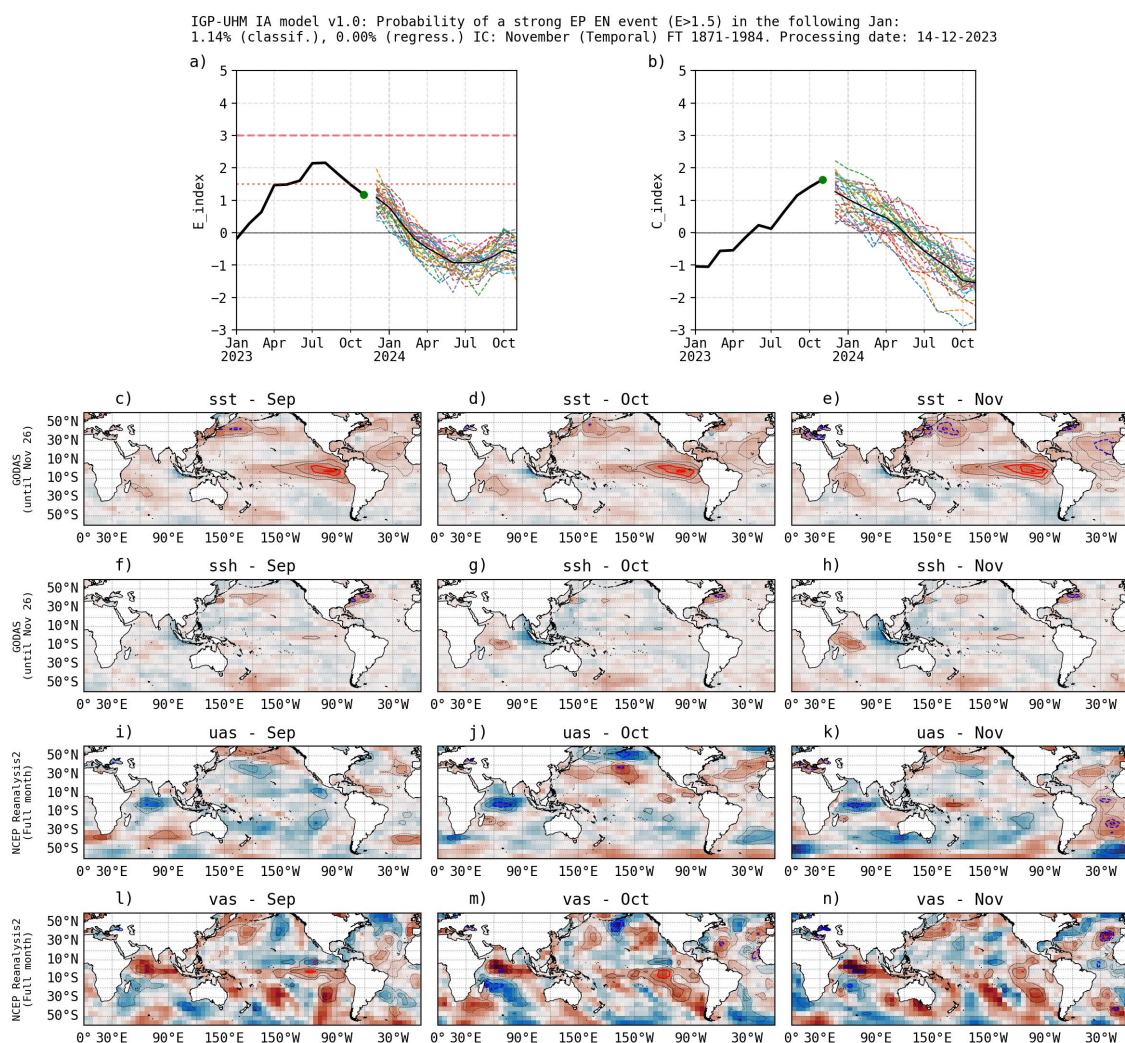


Figura 16. Pronóstico del índice E (Takahashi et al., 2011) a doce meses basado en un modelo de inteligencia artificial (Rivera Tello et al., 2023) para el pronóstico de El Niño extremo. (a) Muestra la evolución del índice E, representado con una línea gruesa de color negro, desde enero a octubre de 2023; el conjunto de líneas entrecortadas de colores indica el pronóstico del índice E desde noviembre de 2023 a octubre 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.