



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú



“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”

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/2023-12

12/01/2024

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 noviembre, según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), se presentó la condición climática cálida fuerte (1.96 °C). Los valores del ICEN temporal (ICEN-tmp) de diciembre (1.47 °C) y enero (0.96 °C) corresponden a condiciones cálida moderada y cálida débil, respectivamente. Por otro lado, en el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de noviembre (1.94 °C) indica la condición cálida fuerte. Los valores temporales (ONI-tmp) de diciembre (1.95 °C) y enero (1.73 °C) coinciden en condiciones cálidas fuertes.

Según la información remota e in situ, aún se espera el arribo de ondas de Kelvin cálidas a la costa peruana, pero es probable que pierdan energía conforme se aproximan a la costa americana debido a la actual estructura vertical del océano en la zona oriental del Pacífico. Asimismo, es probable que el paquete de ondas de Kelvin frías, localizadas actualmente en el Pacífico central, alcancen la costa peruana a partir de marzo.

Los modelos de pronósticos indican que es muy probable que El Niño costero se extienda solo hasta enero o febrero del año en curso y continuaría con valores negativos aunque dentro del rango normal. Por otro lado, El Niño en el Pacífico central aún se mantendría durante todo el verano para luego pasar a un estado de La Niña en junio. Sin embargo, hay que tener en cuenta que a partir de abril los pronósticos son menos confiables como consecuencia de la barrera de predictibilidad.



“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”

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 noviembre 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	Agosto	2.91	Cálida Fuerte
2023	Setiembre	2.70	Cálida Fuerte
2023	Octubre	2.27	Cálida Fuerte
2023	Noviembre	1.96	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 diciembre de 2023 y enero de 2024 indican las condiciones cálida moderada y cálida débil, respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2. ICEN temporales y sus categorías para diciembre de 2023 y enero de 2024.

Año	Mes	ICENtmp	Categoría
2023	Diciembre	1.47	Cálida Moderada
2024	Enero	0.96	Cálida Débil



“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”

Índice Oceánico Niño (ONI)

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), el valor del ONI (*Ocean Niño Index* en inglés) de noviembre de 2023 es 1.94 °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	Agosto	1.32	Cálida Moderada
2023	Setiembre	1.54	Cálida Fuerte
2023	Octubre	1.78	Cálida Fuerte
2023	Noviembre	1.94	Cálida Fuerte

Los valores estimados del ONI (ONItmp) de diciembre de 2023 y enero de 2024, 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	Diciembre	1.95	Cálida Fuerte
2024	Enero	1.73	Cálida Fuerte

Diagnóstico del Pacífico ecuatorial

En diciembre, 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 enero muestra una tendencia negativa. Por otra parte, en la región Niño 1+2, la ATSM en promedio estuvo en la condición cálida moderada, no obstante, en general mantiene una tendencia negativa (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 (promediado entre 2°S-2°N) se mantienen débiles al oeste de 120°W, con un núcleo localizado alrededor de la línea de cambio de fecha; 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, pero con una tendencia a disminuir en el extremo oriental. El extremo oriental de la piscina caliente se mantiene al este de su posición climatológica (Figura 2b). Por otro lado, si bien la termoclina se encuentra más profunda de lo normal en la zona oriental, en la actualidad muestra una tendencia a disminuir (Figura 2c). Según la información del esfuerzo de viento del producto ASCAT (Figura 3a), en diciembre se observaron dos pulsos de viento del oeste: el primero en la tercera semana del mes, entre 165° y 170°W, y el segundo en la cuarta semana del mes, entre 165° y 130°W. Por otro lado, se han observado dos pulsos de viento del este importantes: uno a inicios del mes de

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 Perú

“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”

diciembre, y el otro en la tercera semana entre 135° y 160°W, también se observaron pulsos débiles en la región oriental.

Según la información de TAO, durante diciembre y lo que va de enero, la termoclina se mantiene menos inclinada de lo normal (Figura 4a); mientras que el contenido de calor muestra un descenso (Figura 4b). En el extremo oriental (boya TAO en 95°W), el valor promedio de la profundidad de la termoclina indica anomalías positivas (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 diciembre y en lo que va de enero, en la zona occidental (170°E-140°W, 5°S-5°N) muestran un descenso, lo cual es sinónimo de incremento de la precipitación en dicha zona; sin embargo, muestra una tendencia a sus valores climatológicos (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, se observa una nueva onda de Kelvin cálida localizada aproximadamente en 140°W (Figura 3C), posiblemente formada por el pulso de viento desarrollado a mediados de diciembre alrededor de la línea de cambio de fecha y fortalecido con el pulso de viento formado a fines de diciembre alrededor de 140°. En esta misma variable, continúan las señales de ondas de Rossby frías en la zona occidental reflejándose como ondas de Kelvin frías (Figura 8b). En la termoclina, está presente una onda de Kelvin cálida en 110°W, la cual sería la consecuencia del pulso de viento del oeste que se desarrolló a inicios de noviembre. Esta onda tiene una velocidad aproximada de 1.8 m/s. Finalmente, el paquete de ondas de Kelvin frías sigue desplazándose hacia la costa americana y se localizada actualmente en 130 °W, aproximadamente (Figura 3b).

Ondas de Kelvin a lo largo de la costa peruana

Desde diciembre hasta la fecha, la información diaria del nivel del mar del producto DUACS (Figura 9b) mostró, inicialmente, en promedio, un incremento del nivel del mar; siendo más intenso desde finales de diciembre, esto como consecuencia del paso de una onda de Kelvin cálida. La información cada 5 días del flotador Argo No. 6903002, localizado entre las 80 mn y en 3.9 °S, mostró en diciembre e inicios de enero una anomalía positiva en parte de la columna de agua, en promedio hasta los 400 m (Figura 10).

Pronóstico de ondas de Kelvin

Analizando las proyecciones basadas en la información del nivel del mar (Figura 3c) y de la profundidad de la termoclina (Figura 3b), se espera la llegada a la costa peruana de dos ondas de Kelvin cálidas para febrero aunque es muy probable que arriben con una intensidad menor a la observada actualmente. A la fecha, en el nivel del mar no se ve claramente su magnitud, aunque su forzante fue de menor magnitud a la observada a mediados de diciembre (Figura 8a). La magnitud de la onda Kelvin cálida en la termoclina es similar a la que acaba de arribar aunque su amplitud es menor. En los últimos días se viene desarrollando un pulso de viento del oeste que posiblemente se proyecte en una onda de Kelvin cálida (Figura 3a).



“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”

El pronóstico del modelo de ondas del IGP —forzado para el diagnóstico tanto con vientos de ASCAT (Figura 11) como de NCEP (Figura 12), y luego con vientos igual a cero—, continúan pronosticando principalmente la presencia de ondas de Kelvin cálidas que arribarían a la costa peruana durante enero y febrero. Luego de este periodo de ondas de Kelvin cálidas, se espera la presencia de ondas de Kelvin frías. Según la simulación con vientos pronosticados hasta 40 días de CFSv2 (Figura 13), también se observan ondas de Kelvin cálidas a lo largo de la costa peruana pero hasta marzo. Hay que tener en cuenta que estos modelos no contienen el proceso de dispersión modal que aparentemente están influyendo a que las ondas de Kelvin cálidas están arribando 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 enero de 2024, indican en promedio condiciones neutras entre febrero y noviembre; no obstante, se esperaría anomalías negativas desde marzo (ver Tabla 5 y Figura 14).

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

Modelo	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND
CFS2	0.13	-0.36	-1.07	-1.64	-1.76	-1.41	-1.01	-0.72	---	---
CanCM4i	0.95	0.85	0.82	0.69	0.43	0.02	-0.28	-0.39	-0.38	-0.36
GEM5_NEMO	0.38	0.00	-0.31	-0.62	-0.85	-0.99	-0.93	-0.79	-0.66	-0.54
NASA	-0.06	-0.66	-0.92	-0.81	-0.76	-0.83	-0.92	---	---	---
GFDL_SPEARE	0.35	-0.01	-0.24	-0.46	-0.55	-0.70	-0.76	-0.69	-0.53	-0.38
COLA_CCMS4	0.43	0.06	-0.48	-1.02	-1.56	-1.87	-1.94	-1.75	-1.61	-1.58
Promedio										
NMME	0.36	-0.02	-0.37	-0.64	-0.84	-0.96	-0.97	-0.87	-0.80	-0.72

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), según los pronósticos de los mismos modelos del párrafo anterior, se esperarían las siguientes condiciones: cálida moderada en febrero, cálida débil en marzo, neutra en abril y mayo y, finalmente, de frías débiles a fuertes de junio a noviembre (ver Tabla 6 y Figura 15).

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 del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia,
 y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

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

Modelo	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND
CFS2	0.99	0.49	0.03	-0.31	-0.55	-0.69	-0.80	-0.95	NaN	NaN
CanCM4i	1.77	1.57	1.13	0.49	-0.25	-0.90	-1.38	-1.63	-1.72	-1.76
GEM5_NEMO	0.96	0.20	-0.49	-0.98	-1.27	-1.41	-1.41	-1.37	-1.32	-1.25
NASA	1.21	0.45	-0.28	-0.68	-0.96	-1.23	-1.52	NaN	NaN	NaN
GFDL_SPEARE	1.53	1.20	0.77	0.28	-0.17	-0.41	-0.46	-0.45	-0.54	-0.68
COLA-CCSM4	1.08	0.53	-0.02	-0.60	-1.15	-1.65	-2.01	-2.23	-2.34	-2.38
Promedio										
NMME	1.26	0.74	0.19	-0.30	-0.73	-1.05	-1.26	-1.33	-1.48	-1.52

El modelo de IA del IGP, con condiciones iniciales de noviembre indica que la probabilidad de que en enero haya un evento El Niño en la región oriental (Niño E) fuerte es 0.13 % y estaría apoyado principalmente por el calentamiento del mar en el Pacífico ecuatorial oriental de setiembre, octubre y noviembre (Figura 16c-e). Por otro lado, la probable presencia del Niño E (Figura 16a), que tiene una tendencia negativa, solo sería hasta marzo. De la misma manera, El Niño en la región central (Niño C) muestra una tendencia a disminuir y su presencia solo sería probable hasta julio (Figura 16b),.

El modelo IGP RESM-COW v.1 pronostica principalmente que El Niño costero 2023-2024 se mantendría solo hasta febrero de 2024, pasando luego a condiciones neutras desde marzo. Hay que tener en cuenta que los pronósticos más allá de abril no son muy confiables debido a la barrera de predictibilidad y este modelo no estaría exento de este proceso. Además, solo se considera una corrida del modelo CFS, siendo 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

Según los datos observados de la ATSM de diciembre y lo que va de enero 2024, 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 fuertes 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.

Se espera el arribo de ondas de Kelvin cálidas hasta febrero aunque, por la actual estructura vertical de la columna de agua en la zona oriental del Pacífico, es posible que pierdan energía conforme se acercan a la costa americana, pudiendo no tener un impacto relevante en la ATSM.

Los resultados de los modelos de pronóstico de la ATSM indican que El Niño en el Pacífico central decaería en los siguientes meses, incluso muestran una tendencia al desarrollo de un evento La Niña que se iniciaría en junio. En lo relacionado a la zona oriental del Pacífico, los modelos también muestran que la magnitud de El Niño costero continuaría disminuyendo y es muy probable que se extienda solo hasta enero o febrero para luego continuar con valores negativos pero dentro del rango normal. Hay que tomar





PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú



“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”

en cuenta que los pronósticos a partir de abril son menos confiables como consecuencia de la barrera de predictibilidad.

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)
- **Montes, I., Segura, B., Castellón, 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





PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú



“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”

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 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.



“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”

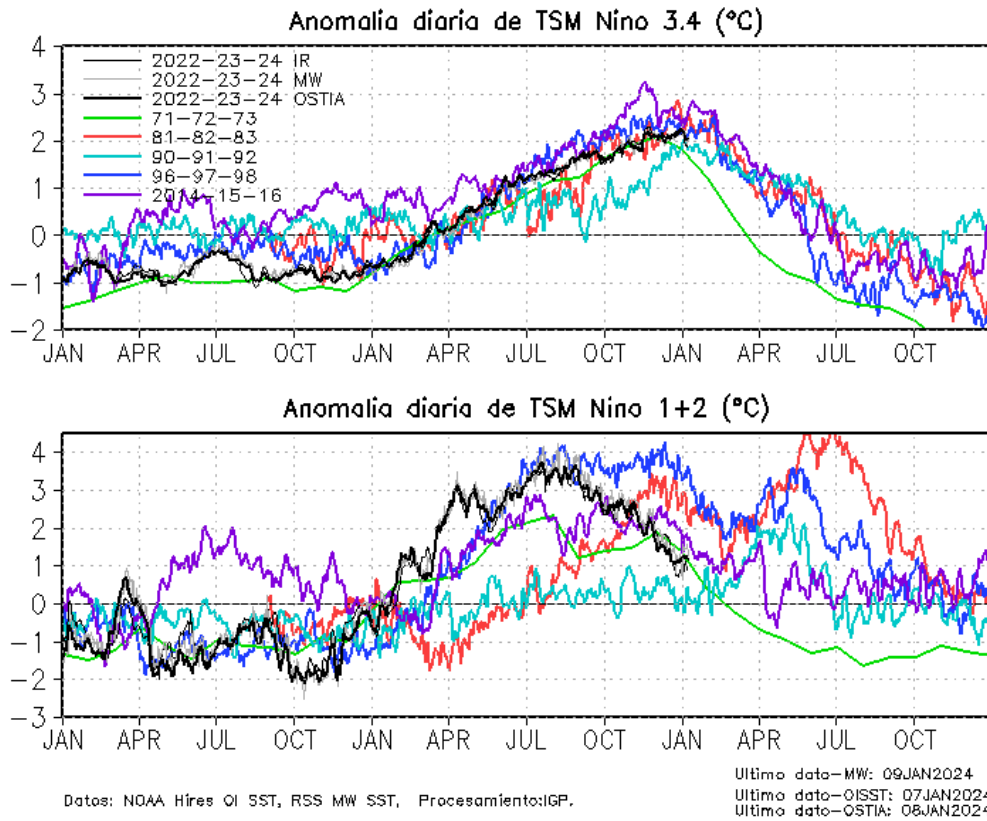


Figura 1. Series de tiempo de la anomalía diaria de la TSM en la región Niño 3.4 (arriba) y en la región Niño 1+2 (abajo). Las líneas en color negro (guesa), gris y negro (fina) indican la evolución de la anomalía de la TSM en el presente año usando información infrarroja (IR), microondas (MW) y del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

“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”

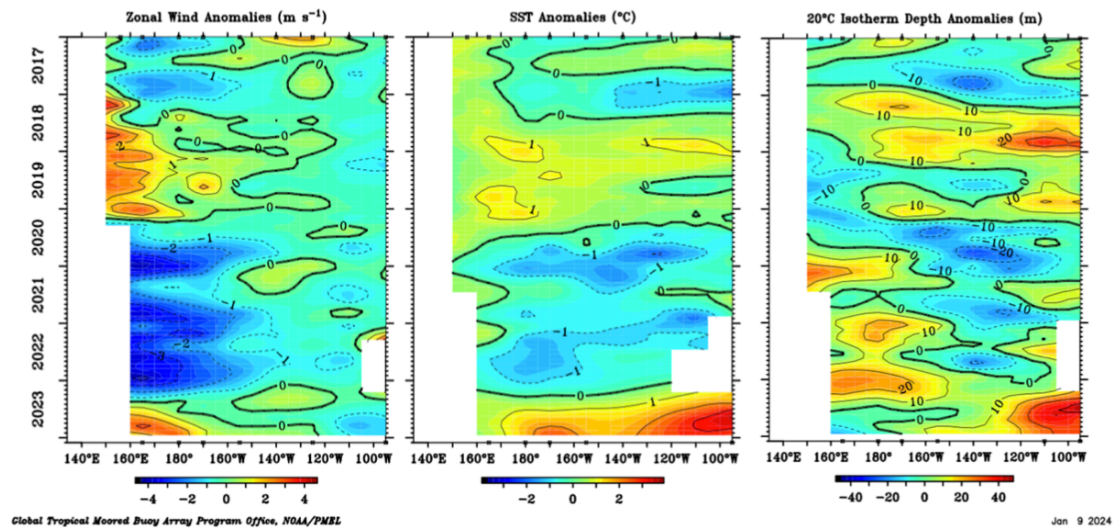


Figura 2. Promedio mensual de la anomalía del viento zonal (panel izquierdo), de la temperatura superficial del mar (panel central) y de la profundidad de la isoterma de 20 °C (panel derecho) y a lo largo de la franja ecuatorial del Pacífico (2°S-2°N). Esta imagen se elaboró de otras que se obtienen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

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

(2°S to 2°N average)

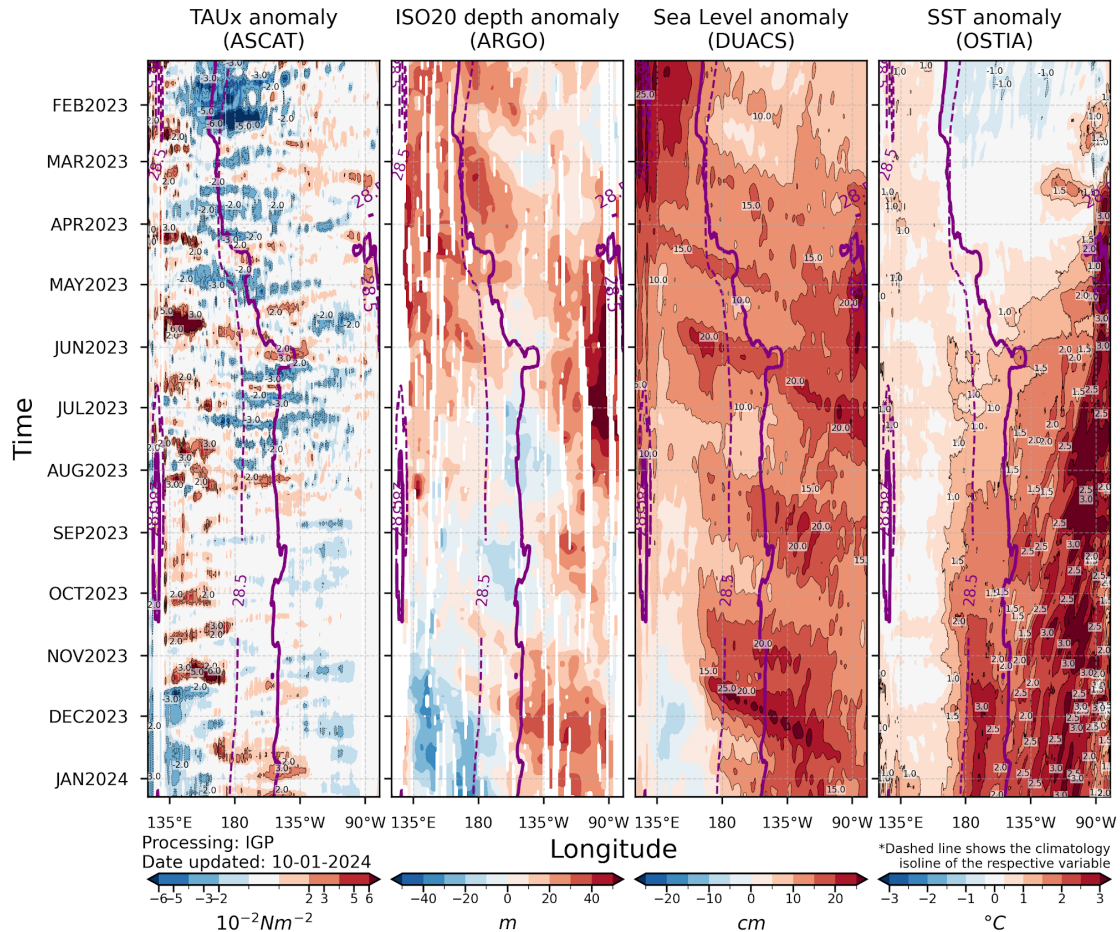


Figura 3. Diagrama longitud-tiempo en la franja ecuatorial de las anomalías, de izquierda a derecha, a) del esfuerzo de viento zonal (ASCAT), b) de la profundidad de la termoclina (ARGO), c) del nivel del mar (DUACS) y d) de la temperatura del mar (OSTIA). La línea morada continua (entrecortada) indica 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 del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia,
y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

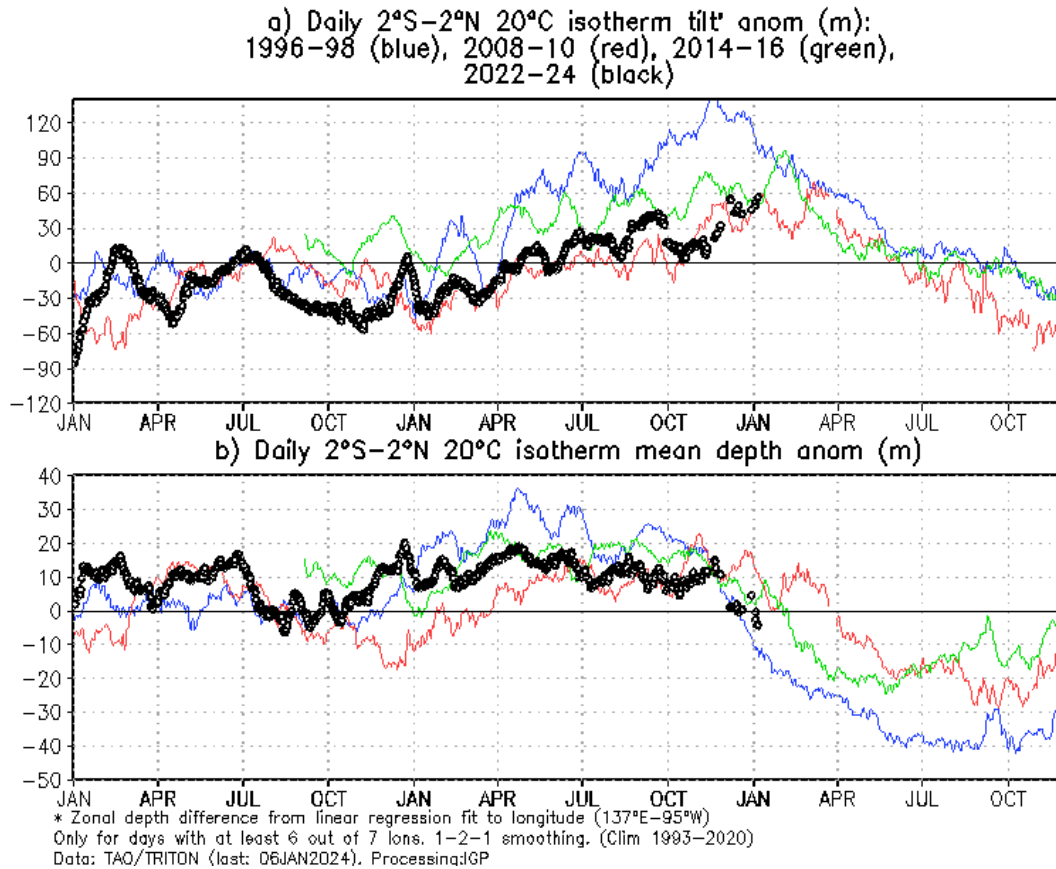


Figura 4. a) Inclinación de la termoclina y **b)** contenido de calor en el Pacífico ecuatorial (2°N y 2°S). La data usada para este cálculo proviene de las boyas TAO. Elaborado por el IGP.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú



“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”

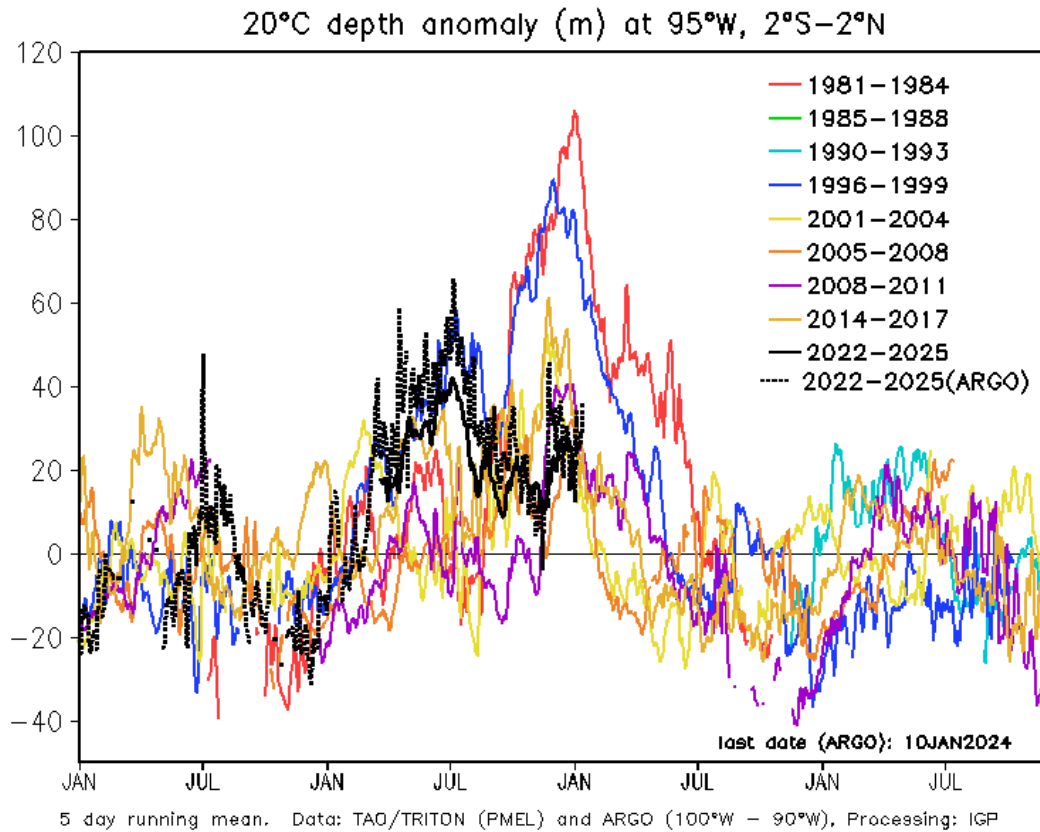


Figura 5. Anomalía de la profundidad de la isoterma de 20 °C (m) en 95°W y promediada entre 2°S y 2°N. La data usada para este cálculo proviene de las boyas TAO y de los flotadores ARGO. Elaborado por el IGP.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú



“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”

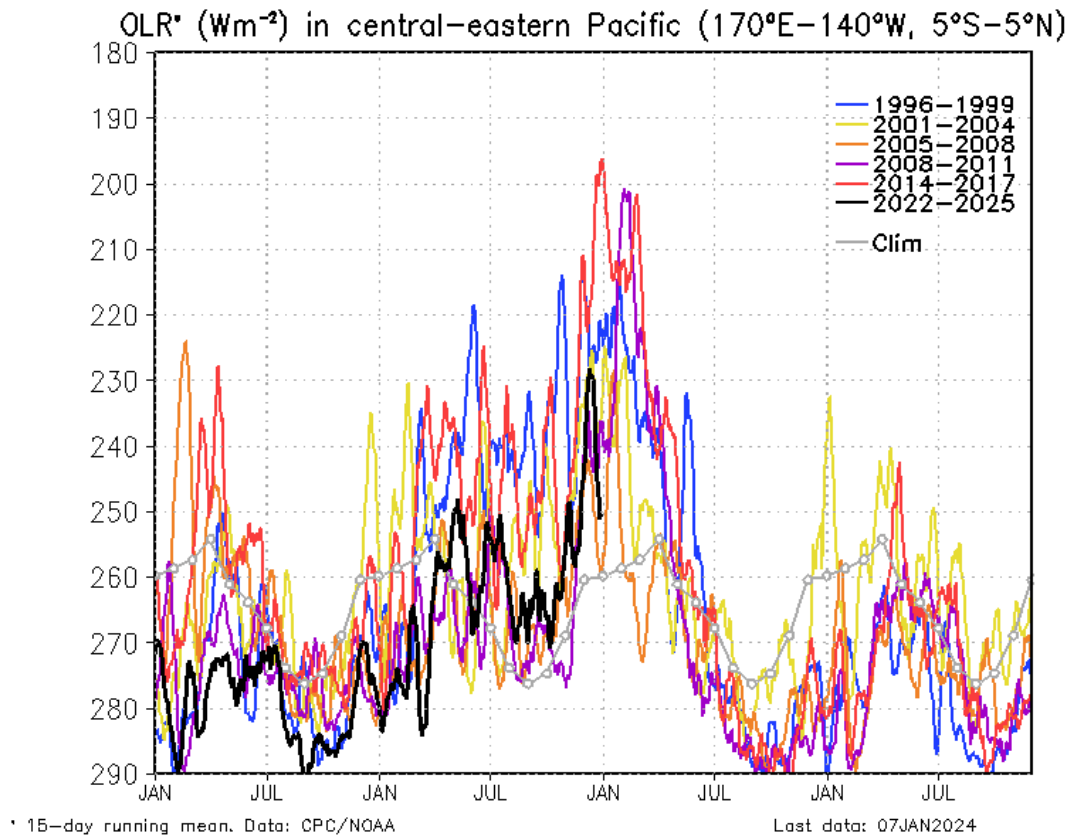


Figura 6. Actividad convectiva en el Pacífico central oriental ($170^{\circ}E-140^{\circ}W$ y $5^{\circ}S-5^{\circ}N$) en base a la información de OLR. Elaborado por el IGP.

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

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

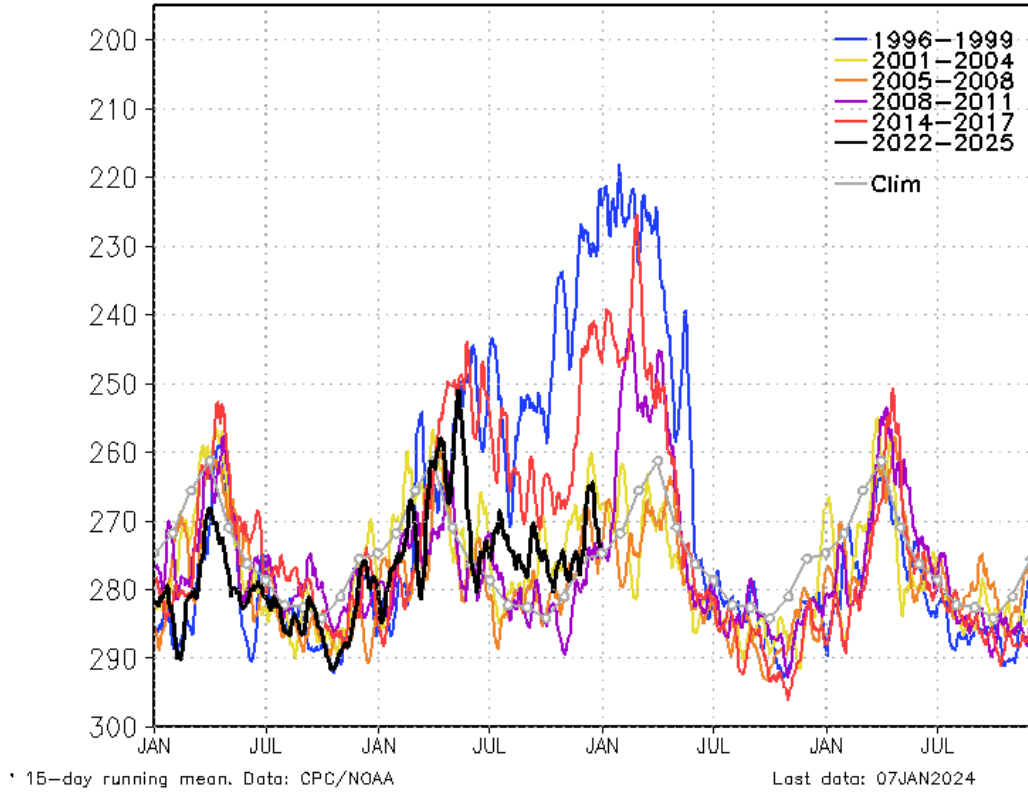


Figura 7. Actividad convectiva en el Pacífico central oriental ($170^{\circ}W-100^{\circ}W$ y $5^{\circ}S-5^{\circ}N$) en base a la información de OLR. Elaborado por el IGP.

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

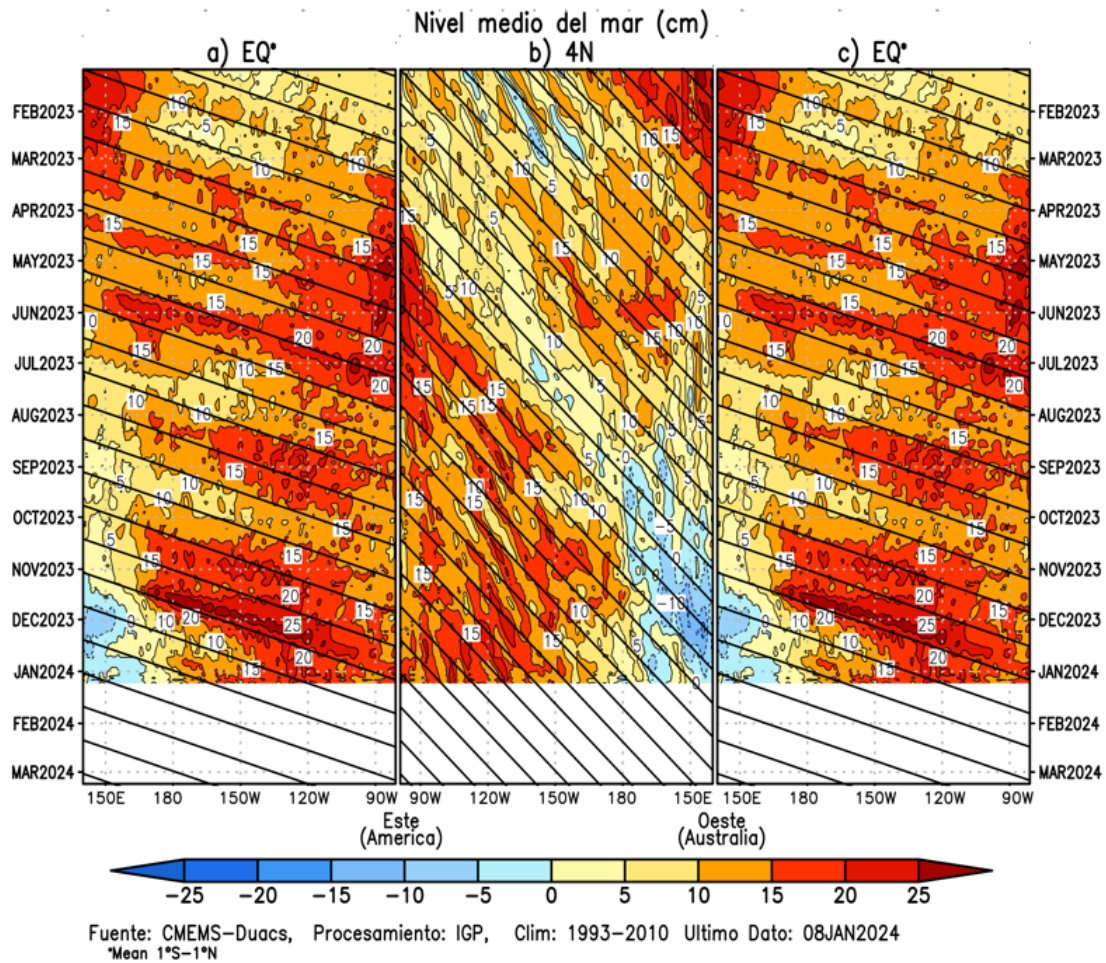


Figura 8. Diagramas longitud-tiempo de la anomalía del nivel medio del mar en el Pacífico ecuatorial usando el producto DUACS. Los paneles (a) y (c) son los mismos y representan la información a lo largo de la línea ecuatorial; mientras que (b), a lo largo de 4°N, pero con el eje zonal de este a oeste.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

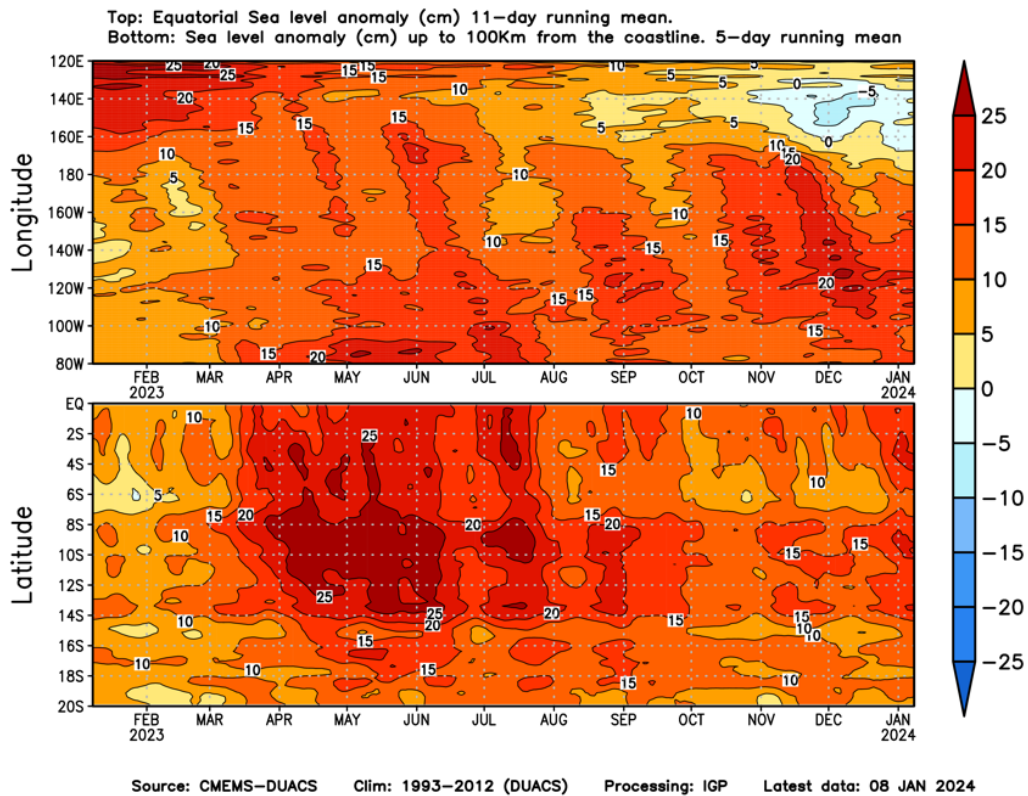


Figura 9. Anomalia del nivel del mar a lo largo de la franja ecuatorial (panel superior) y a lo largo de la costa peruana (panel inferior). Las unidades están en centímetros. Elaborado por el IGP.

“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”

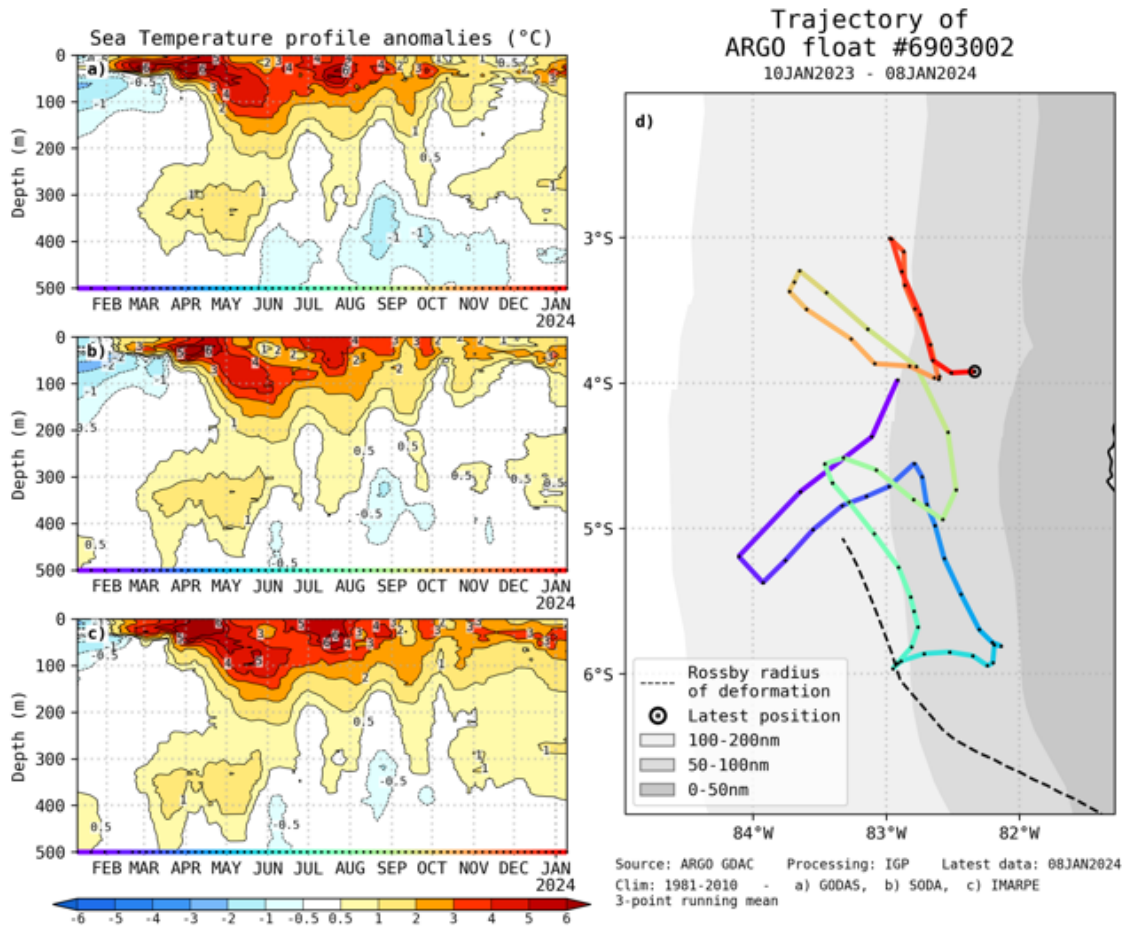


Figura 10. A la izquierda se aprecia la anomalía de la temperatura del mar hasta los 500 metros de profundidad, calculada de los datos del flotador ARGO No. 6903002. Esta anomalía se calcula en base a la climatología (1981-2010) de: (a) GODAS, (b) SODA e (c) IMARPE. A la derecha se aprecia la trayectoria 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 del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia,
y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

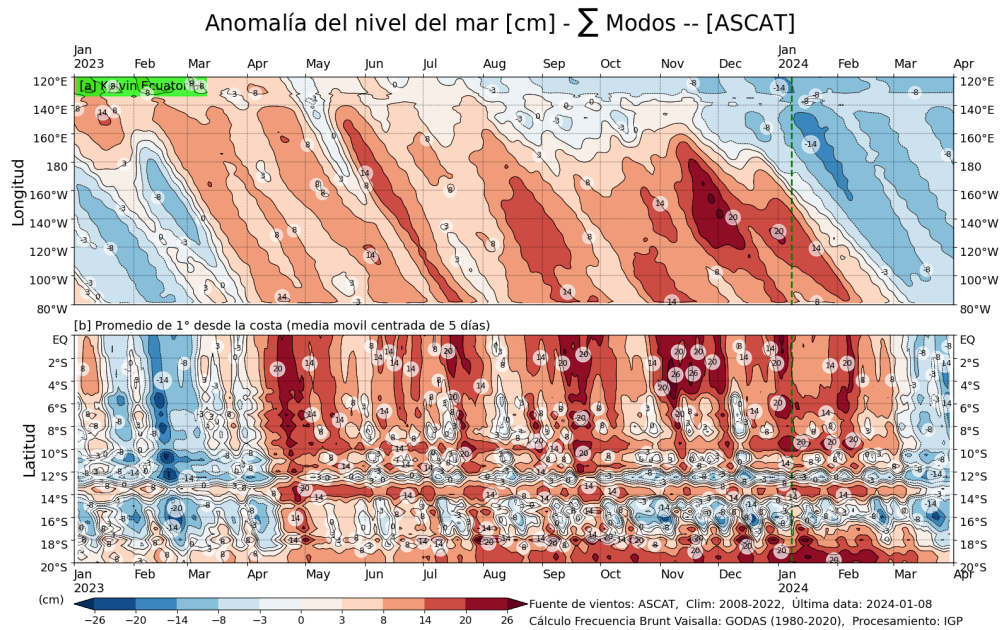


Figura 11. Simulación numérica de la anomalía del nivel del mar (cm) a lo largo de la franja ecuatorial del océano Pacífico (panel superior) y a lo largo de la costa peruana (panel inferior). Esta simulación se realizó con el modelo oceánico multimodal forzado con los vientos de ASCAT. La línea verde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



“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”

Anomalía del nivel del mar [cm] - \sum Modos -- [NCEP]

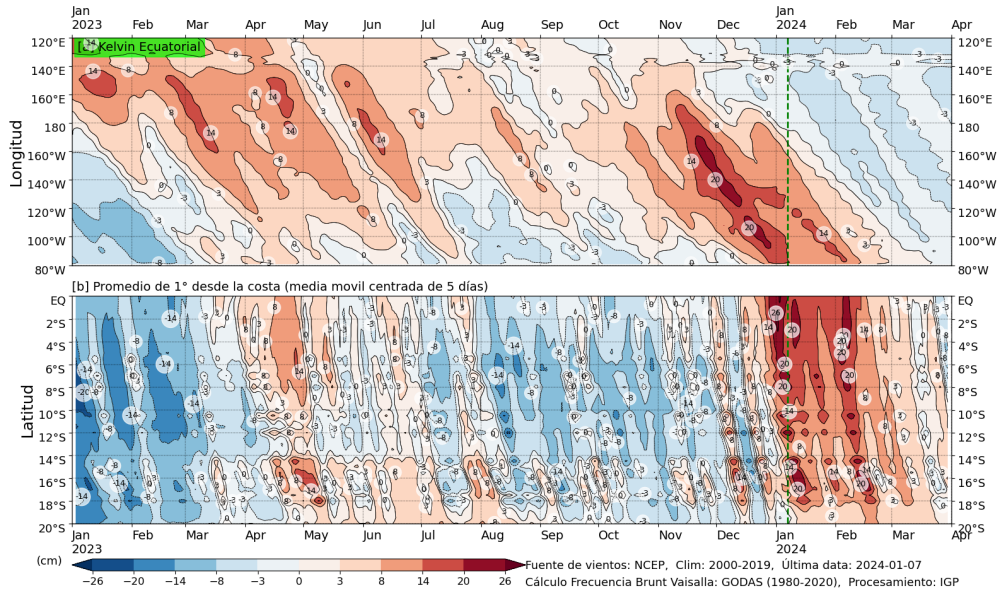


Figura 12. Igual que la Figura 11 pero usando esfuerzo de viento calculado de vientos a 10 metros de la superficie del reanalysis de NCEP. Elaborado por el IGP.

“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”

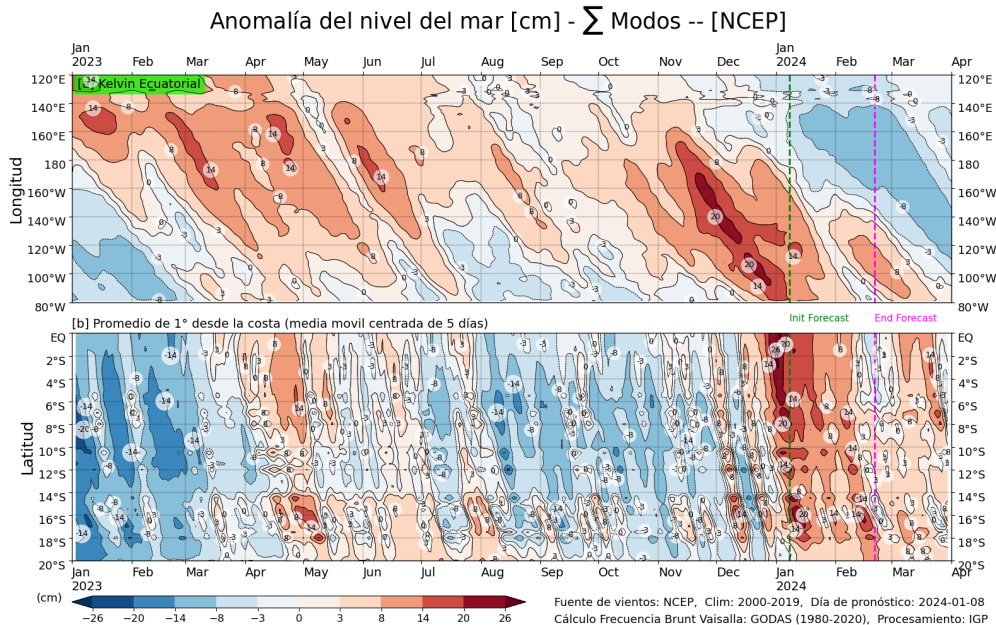


Figura 13. Igual que la Figura 13 pero para el pronóstico de los siguientes cuarenta días (período entre la línea entrecortada verde y la línea entrecortada rosada), se usaron los pronósticos de los vientos del modelo CFSv2. Luego de los 40 días (línea de color rosada) se usaron esfuerzo de viento igual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

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

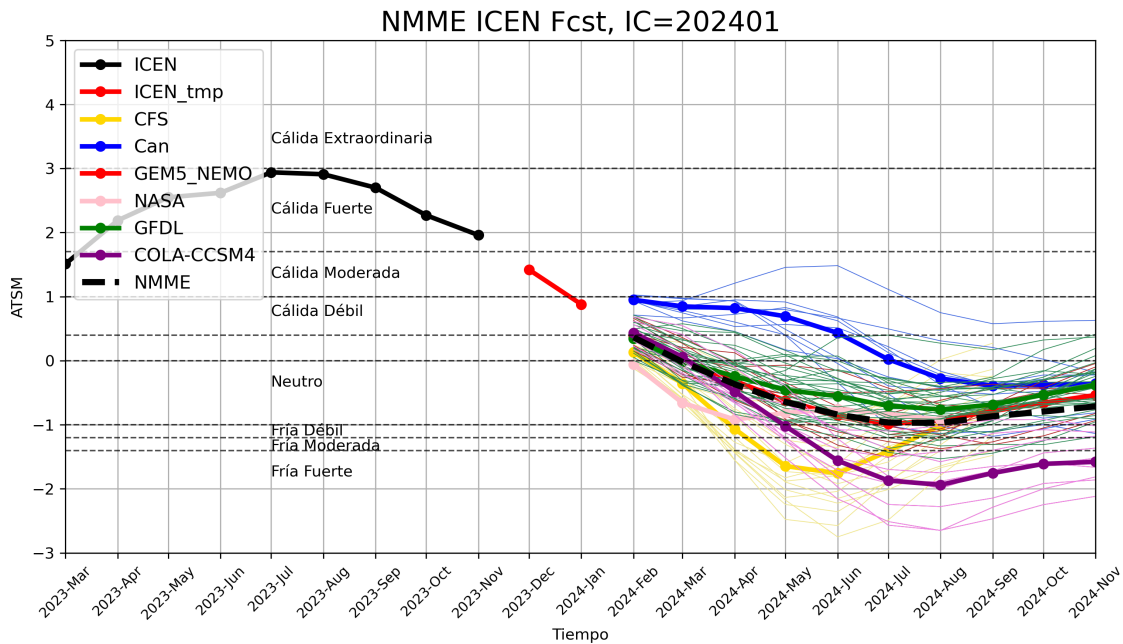


Figura 14. Índice Costero El Niño (ICEN, línea negra con círculos llenos, fuente ERSSTv5) y sus valores temporales (ICENv5tmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CanCM4i, GEM5_NEMO, NASA, GFDL_SPEAR y NCAR_CCSM4, COLA-RSMAS-CCSM4 tienen como condición inicial de enero de 2024. Fuente: IGP, NOAA, NMME

“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”

Condiciones Iniciales de Enero 2024

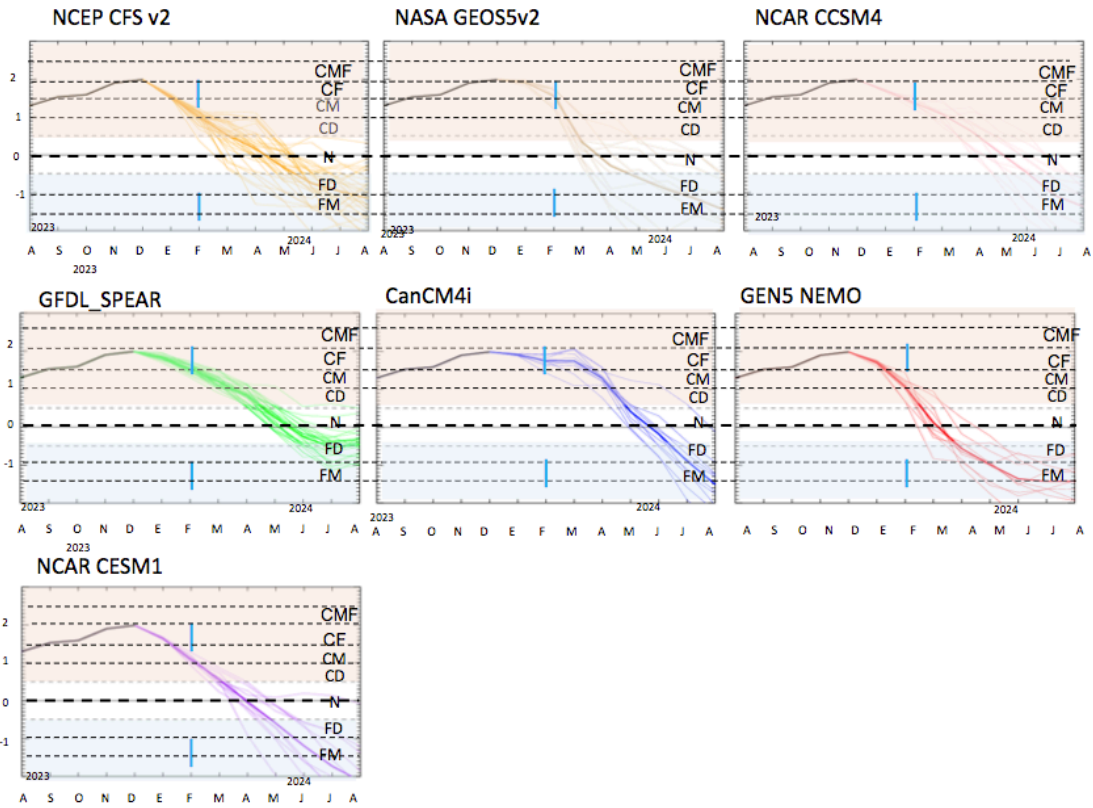


Figura 15. Índice Niño 3.4 mensual observado (líneas de color plomo) y pronosticado por los modelos de NMME (líneas de distintos colores). Fuente: NMME.

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

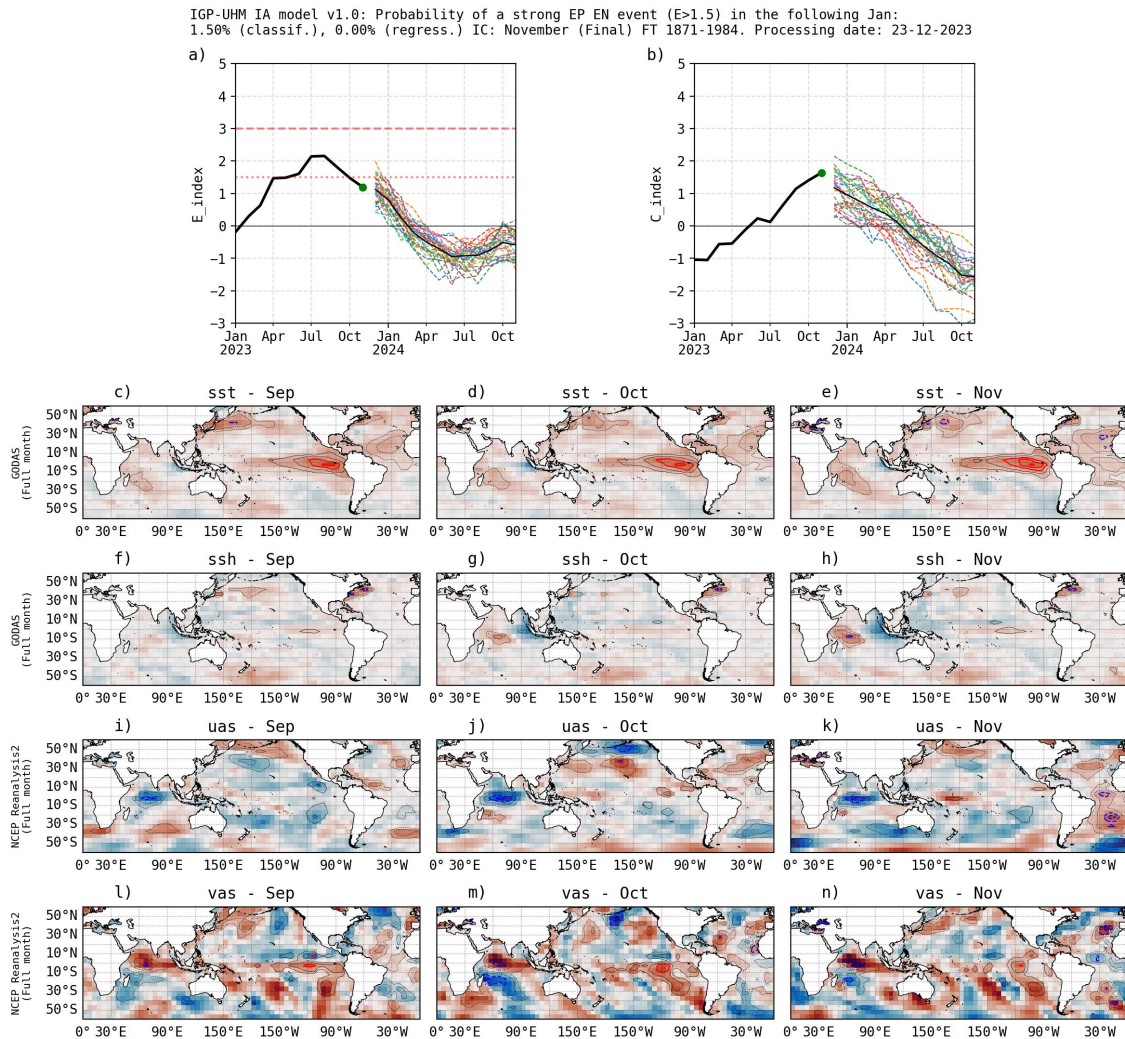


Figura 16. Pronóstico del índice E (Takahashi et al., 2011) a doce meses basado en un modelo de inteligencia artificial (Rivera Tello et al., 2023) para el pronóstico de El Niño extremo. (a) Muestra la evolución del índice E, representado con una línea gruesa de color negro, desde enero a octubre de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

“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”

IGP RESM-COW v.1: Pronóstico del ICEN con C. I. de 2024/01

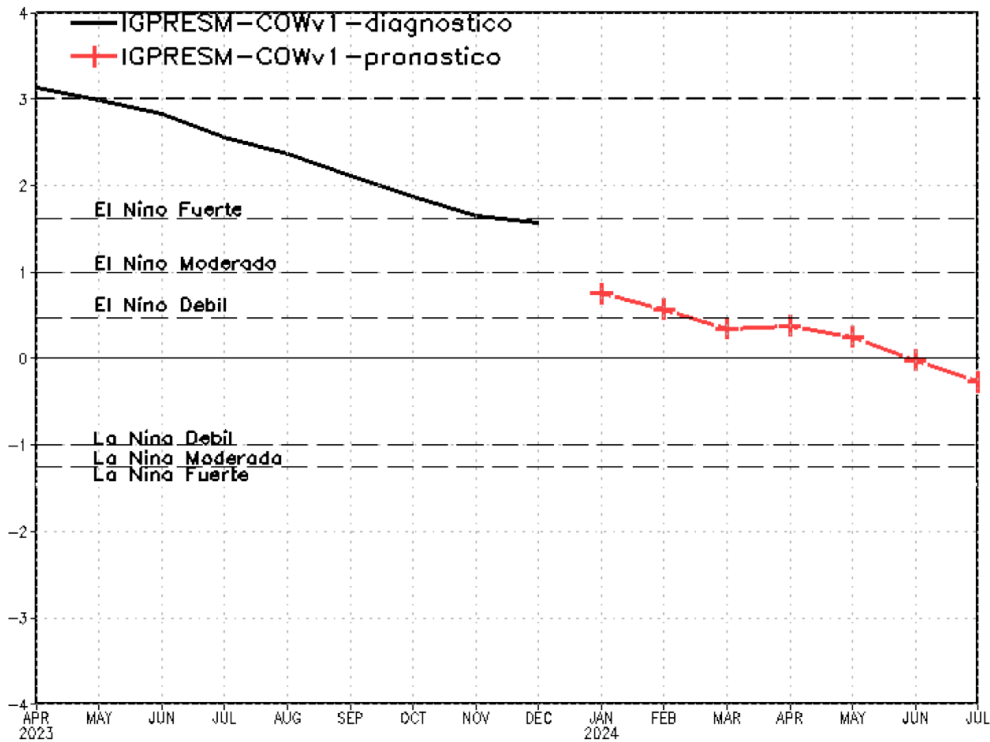


Figura 17. Serie de tiempo del ICEN, diagñósticada (líneas negras) y pronósticada (línea y cruces de color rojo) a siete meses, calculada a partir de las salidas del modelo acoplado IGP RESM-COW v.1 (Montes et al., 2023).



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú



“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”

