



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"

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/2023-06

21/07/2023

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 de Índice Costero El Niño (ICEN), en mayo se presentó la condición climática cálida fuerte (2.55 °C). Los valores del ICEN temporal (ICEN-tmp) de junio (2.60 °C) y julio (2.68 °C) indican condiciones cálidas fuertes. Por otro lado, en el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de mayo (0.47 °C) indica la condición neutra. Los valores temporales (ONI-tmp) de junio (0.77 °C) y julio (1.12 °C) indican condiciones cálidas débiles, y cálidas moderadas, respectivamente. Según las observaciones, *in situ* y satelital, se observa principalmente la presencia de ondas de Kelvin cálidas en la zona oriental, se espera que el paquete de ondas cálidas continúe afectando la costa peruana hasta la siguiente semana.

El promedio de las predicciones de los seis modelos climáticos de NMME —inicializados con la información de julio de 2023— para el Pacífico oriental indica condiciones cálidas fuertes hasta el mes de octubre y condiciones cálidas desde moderadas a débiles entre los meses de noviembre de 2023 a mayo de 2024. Por otro lado, para el Pacífico central, se esperan condiciones cálidas desde moderadas a fuertes entre julio y enero de 2024, condiciones de cálidas moderadas a condiciones cálidas débiles de febrero a mayo de 2024.

Según el modelo de inteligencia artificial del IGP, existe un 41.59 % de probabilidad de la presencia de un evento El Niño de magnitud fuerte para enero de 2024.

A pesar de que los resultados de los modelos indican el desarrollo de un evento El Niño para el Pacífico central, la información observada a la fecha no muestra aún un claro acoplamiento entre la atmósfera y el océano que pueda mantener el calentamiento hasta el verano de 2024.





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 mayo de 2023, el cual indica la condición cálida fuerte (Tabla 1). Para el cálculo del ICEN se utilizan los datos que son denominados como "datos en tiempo real", los que son actualizados en el transcurso de los siguientes meses. Por este motivo, existirán pequeñas discrepancias en el valor del ICEN para los meses anteriores cuando se use la data actualizada.

Con los valores del ICEN de mayo, El Niño Costero en curso estaría alcanzado, a la fecha, una magnitud moderada.

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

Año	Mes	ICEN	Categoría
2023	Febrero	0.42	Cálida Débil
2023	Marzo	1.51	Cálida Moderada
2023	Abril	2.19	Cálida Fuerte
2023	Mayo	2.55	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 junio y julio de 2023 indican condiciones cálidas fuertes (Tabla 2). De darse estas condiciones, El Niño costero en curso estaría alcanzando la magnitud fuerte; sin embargo, hay que esperar los valores precisos del ICEN en los siguientes meses.





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

Tabla 2. ICEN temporales (ICENTmp) y sus categorías para junio y julio 2023.

Año	Mes	ICENTmp	Categoría
2023	Junio	2.60	Cálida Fuerte
2023	Julio	2.68	Cálida Fuerte

Índice Oceánico Niño (ONI)

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), el valor del ONI (*Ocean Niño Index* en inglés) de mayo de 2023, actualizado por la NOAA, es 0.47 °C, el que corresponde aún a una condición neutra¹.

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

Índice Oceánico Niño			
Año	Mes	ONI (°C)	Categoría
2023	Febrero	-0.45	Neutro
2023	Marzo	-0.16	Neutro
2023	Abril	0.14	Neutro
2023	Mayo	0.47	Neutro

Los valores estimados del ONI (ONItmp) de junio y julio de 2023, usando datos observados y de los pronósticos de NMME, indican condiciones cálida débil y cálida moderada, respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. Estimados preliminares del ONI (ONItmp)

Índice Oceánico Niño temporales			
Año	Mes	ONItmp (°C)	Categoría
2023	Junio	0.77	Cálida débil
2023	Julio	1.12	Cálida moderada

Diagnóstico del Pacífico ecuatorial

En junio, el valor del promedio de la anomalía de la TSM que se registró en la región Niño 3.4 estuvo en el rango de cálida débil; sin embargo, desde finales de mes hasta la actualidad se encuentra en el rango de cálida moderada. Por otro lado, en la región Niño 1+2, la anomalía de la TSM, que estuvo en junio en el rango de condiciones cálidas fuertes, en la actualidad se ubica en el rango de cálida extraordinaria, tal como se puede apreciar en la Figura 1. Según la información de los datos obtenidos de las boyas de TAO, en promedio, durante junio y lo que va de julio los vientos alisios a lo largo de la franja ecuatorial

¹ Los umbrales para establecer la categoría de condiciones cálidas o frías débiles, moderadas, fuertes, y muy fuertes usando el ONI son ± 0.50 , ± 1.00 , ± 1.50 , y ± 2.00 , respectivamente (Nota Técnica ENFEN, 02-2015).





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

mostraron ligeras intensificaciones (Figura 2a). Por otro lado, la ATSM mantiene una tendencia positiva en toda la franja ecuatorial (Figura 2b) y la profundidad de la termoclina se encuentra más profunda de lo normal en la zona oriental del Pacífico (Figura 2c). Conforme la información del esfuerzo de viento, calculado en base de los vientos a 10 m de NCEP-DCAS, se observaron, desde junio a la fecha, pulsos de vientos débiles del oeste y este en el Pacífico central-oriental (Figura 3).

Según TAO, la inclinación de la termoclina se muestra alrededor de su rango promedio (Figura 5a), mientras que el contenido de calor se mantiene positivo, sin embargo muestra una tendencia a sus valores normales (Figura 5b). En la región oriental (boya TAO en 110°W), el valor de la anomalía promedio de la profundidad de la termoclina fue superior a su climatología (Figura 6).

Los valores de OLR (Outgoing Longwave Radiation) en junio, tanto en la zona occidental (170°E-140°W, 5°S-5°N) como la oriental (170°W-100°W, 5°S-5°N), oscilaron alrededor de sus promedios climatológicos. Esto se puede apreciar en la Figura 7 (zona occidental) y la Figura 8 (zona oriental).

Conforme a la información de altimetría satelital e in situ, así como de los resultados de los modelos numéricos de ondas, se observa principalmente la presencia de ondas de Kelvin cálidas en la región oriental. Según los datos de la profundidad de la termoclina que son obtenidos de los flotadores ARGO, una onda de Kelvin fría se localizaría entre 180° y 145° W (Figura 4, 12 y 13).

Ondas de Kelvin a lo largo de la costa peruana

Frente a la costa peruana y dentro de las 200 millas náuticas, el promedio de los últimos 30 días indica que los valores de la TSM, según OSTIA, se mantuvieron, en promedio, por encima de sus normales. Según el producto DUACS, el nivel del mar promedio mantiene valores por encima de lo normal en toda la costa, siendo más intenso al norte de 15°S (ver Figura 10). La información de los flotadores ARGO, los cuales se ubican principalmente más allá de las 50 millas náuticas indican anomalías positivas por encima de los 110 metros de profundidad en promedio.

Sin el promedio de los últimos 365 días de la información diaria del nivel del mar del producto DUACS (Figura 9b) y la data cada cinco días de los flotadores ARGO que se encuentran en el mar peruano (ver anomalía de la temperatura del mar obtenida del flotador No. 6903003 en Figura 11), se continúa observando el impacto de las ondas de Kelvin cálidas ecuatoriales frente a la costa peruana. Esto contribuye a mantener la temperatura superficial del mar por encima de sus valores normales y, en consecuencia, a El Niño costero 2023.

Pronóstico a corto plazo con modelo de ondas y observaciones

Según los datos *in situ* y los resultados de los modelos de ondas forzados con anomalías iguales a cero para el pronóstico, se espera que el paquete de ondas de Kelvin cálidas continúe afectando la costa peruana en las siguientes semanas. Luego se esperarían ondas de Kelvin frías y cálidas débiles. Esto se debe a que, hasta la fecha no se han registrado más pulsos de vientos relevantes en el Pacífico ecuatorial (Figura 4 y 12). Por otro lado, el modelo de ondas forzado con anomalías de vientos del modelo CFSv2 hasta los 41 días, indica el desarrollo de ondas de Kelvin frías y cálidas, forzadas en el Pacífico central-oriental y occidental, respectivamente. Las ondas frías (cálidas) arribarían a la costa peruana en agosto (setiembre) (Figura 13).



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"

Pronóstico estacional con modelos climáticos

Para la región Niño 1+2, los pronósticos de los seis modelos climáticos de NMME (CFSv2, CanCM4i-IC3, GEM5-NEMO, NASA-GEOS2S, GFDL_SPEAR² y COLA-RSMAS-CCSM4), con condiciones iniciales de julio de 2023, indican en promedio, condiciones cálidas fuertes hasta octubre, cálidas moderadas entre noviembre y enero de 2024; y finalmente condiciones cálidas débiles entre los meses de marzo y mayo de 2024 (ver Tabla 5 y Figura 14). Esto significaría, según los resultados de estos modelos, que El Niño costero alcanzaría una magnitud fuerte en el siguiente meses.

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

Modelo	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ
CFS2	2.27	1.90	1.50	1.28	1.30	1.37	1.40	1.32	1.25	----	----
CanCM4i	2.47	2.24	1.90	1.54	1.32	1.22	1.19	1.20	1.19	1.28	1.28
GEM5_NEMO	2.45	2.17	1.67	1.25	0.98	0.87	0.70	0.50	0.25	0.04	-0.10
NASA-GEOS2S	3.13	3.29	2.95	2.45	1.86	1.30	0.73	0.24	----	----	----
GFDL_SPEARE	2.82	2.80	2.52	2.21	2.00	1.82	1.48	1.17	0.97	----	----
COLA-RMAS-CCSM4	2.56	2.39	2.07	1.80	1.74	1.72	1.58	1.34	1.15	1.02	0.92
Promedio											
NMME	2.62	2.46	2.10	1.76	1.53	1.38	1.18	0.96	0.96	0.78	0.70

Para el Pacífico central (región Niño 3.4), según los pronósticos de los mismos modelos del párrafo anterior, se esperaría la condiciones cálidas moderadas entre los meses de julio y setiembre, seguida de la condición cálida moderada para el periodo octubre y enero de 2024; y, finalmente, de setiembre 2023 a marzo de 2024 se esperarían condiciones cálidas moderadas a cálidas débiles. Esto indica, según los modelos, el inicio de un evento El Niño en el Pacífico central desde julio, y de magnitud fuerte, que se extendería, por lo pronto, hasta el verano de 2024 (ver Tabla 6 y Figura 15).

El pronóstico del modelo de Inteligencia Artificial del IGP (Rivera et al., en preparación) para enero de 2024, con condiciones iniciales de junio, indica un 41.59 % de probabilidad de un evento El Niño fuerte. Según la "explicabilidad" (*explainability*) de la IA, las variables principales que influyen en este desarrollo se localizan en la zona oriental del Pacífico y son la anomalía de la TSM y la anomalía de viento, ambas desde abril hasta junio (ver contornos en color rojo en la Figura 16). Por otro lado, es posible que algo que esté influyendo en el no desarrollo de un evento extremo (como el de 1982/83 o 1997/98) sería las anomalías de la temperatura del mar y vientos en el océano Atlántico (ver contornos morados entrecortados de la Figura 16).

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.





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"

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

Modelo	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ
CFS2	1.09	1.25	1.50	1.67	1.71	1.64	1.50	1.35	1.17	---	---
CanCM4i	1.16	1.32	1.54	1.64	1.73	1.79	1.81	1.77	1.64	1.39	1.08
GEM5_NEMO	1.15	1.20	1.27	1.24	1.24	1.22	1.15	1.01	0.83	0.54	0.17
NASA-GEOSS2S	1.33	1.51	1.56	1.48	1.42	1.41	1.34	1.13	---	---	---
GFDL_SPEARE	1.20	1.35	1.53	1.68	1.81	1.93	1.93	1.80	1.57	---	---
COLA-RMAS-CCSM4	1.15	1.31	1.57	1.74	1.83	1.84	1.74	1.59	1.41	1.24	1.09
Promedio											
NMME	1.18	1.32	1.49	1.58	1.62	1.64	1.58	1.44	1.32	1.06	0.78

Conclusiones

Según la información oceánica y atmosférica, en el mes de junio e inicios de julio los valores de la TSM estuvieron superiores a su climatología en casi toda la región ecuatorial. La profundidad de la termoclina muestra una profundización en la zona oriental. Por otro lado, los vientos alisios y los valores de precipitación en la región central y occidental del Pacífico oscilaron dentro de su rango normal.

Frente a costa norte y centro del Perú (región Niño 1+2), las anomalías diarias de la TSM se mantuvieron con valores positivos (alrededor de 2.7 °C). Como consecuencia de esto, el valor del ICEN para mayo se incrementó a 2.55, manteniéndose en la condición cálida fuerte. Como parte de su evolución, el evento El Niño Costero 2023, a la fecha, ha alcanzado la magnitud moderada. Por otro lado, los valores del ICEN temporal de junio (2.60) y julio (2.68) coinciden en condiciones cálidas fuertes. De concretarse el valor temporal de junio en el siguiente mes, se estaría hablando de un evento El Niño costero de magnitud fuerte.

En el Pacífico central los valores observados del ONI y sus temporales mantiene una tendencia positiva hacia un escenario El Niño en el Pacífico central.

Según la información observada, *in situ* y satelital, así como los resultados de los modelos de ondas, durante junio y hasta la fecha, se continúa observando el nivel del mar por encima de sus valores climatológicos a lo largo de la costa peruana en lo que va del evento El Niño costero. Esta anomalía estaría relacionada a la presencia de un paquete de ondas de Kelvin cálidas que habrían arribado a la costa peruana. Luego se esperan ondas de Kelvin frías y cálidas.

Los pronósticos de los modelos numéricos de las agencias internacionales indican condiciones cálidas, de fuertes a débiles, por lo pronto, hasta mayo de 2024 frente a la costa norte y centro del Perú. Esto significa la continuación de El Niño costero actual hasta, por lo menos, el verano de 2024.

En el Pacífico central, los mismos modelos descritos en el párrafo anterior, pronostican el desarrollo del evento El Niño que se extendería, por lo pronto, hasta mayo de 2024.





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

Según el modelo de inteligencia artificial del IGP, existe un 41.59 % de probabilidad de la presencia de un evento El Niño de magnitud fuerte para enero de 2024.

Hay que tomar en cuenta que a pesar de los resultados de los modelos numéricos indican el desarrollo de un evento El Niño en el Pacífico central, en la actualidad, aún no es claro un acoplamiento sostenido entre el océano y la atmósfera que pueda mantener el calentamiento hasta el verano de 2024.





PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Dirección
Científica

Subdirección de
Ciencias de la Atmósfera
e Hidrósfera - CAH



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

Bibliografía

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





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"

el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Inst. Geofísico del Perú, Enero, 1, 8-9.

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

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

Equipo

Kobi Mosquera, Dr. (responsable)

Jorge Reupo, Lic.

Gerardo Rivera, Bach.

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"

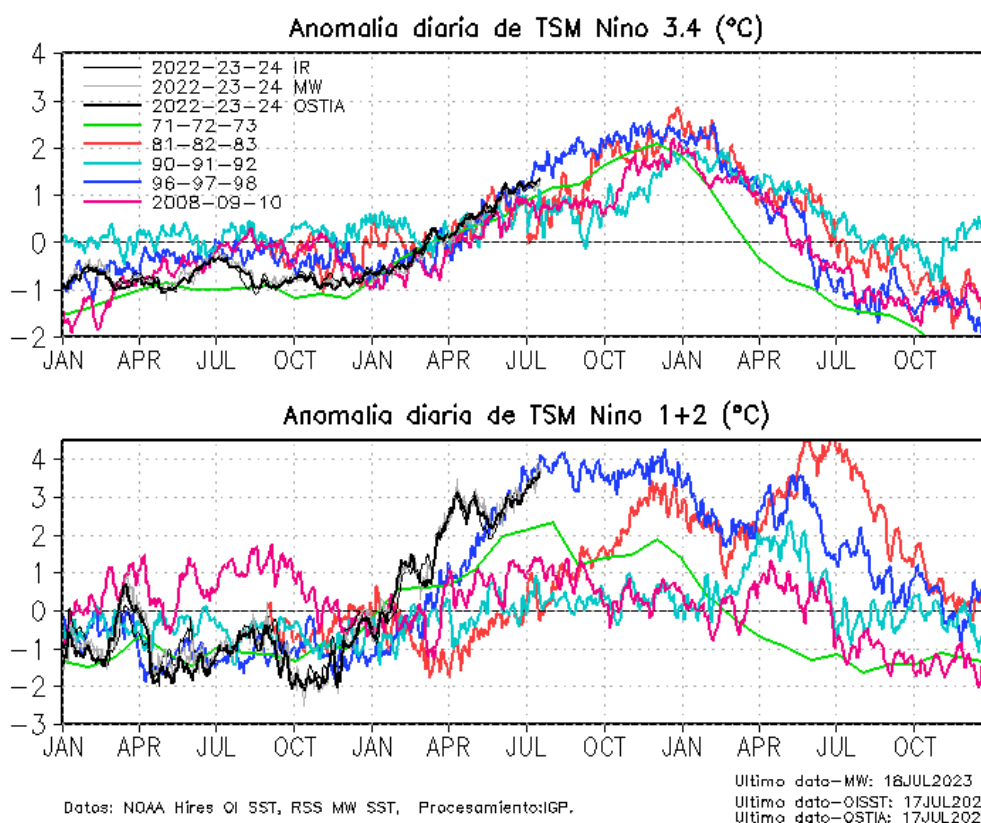


Figura 1. Series de tiempo de la anomalía diaria de la TSM en la región Niño 3.4 (arriba) y en la región Niño 1+2 (abajo). Las líneas en color negro (gruesa), gris y negro (fina) indican la evolución de la anomalía de la TSM en el presente año usando información infrarroja (IR), microondas (MW) y del 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 1973-1975, 1983-1985, 1992-1994, 1998-2000 y 2016-2018. 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"

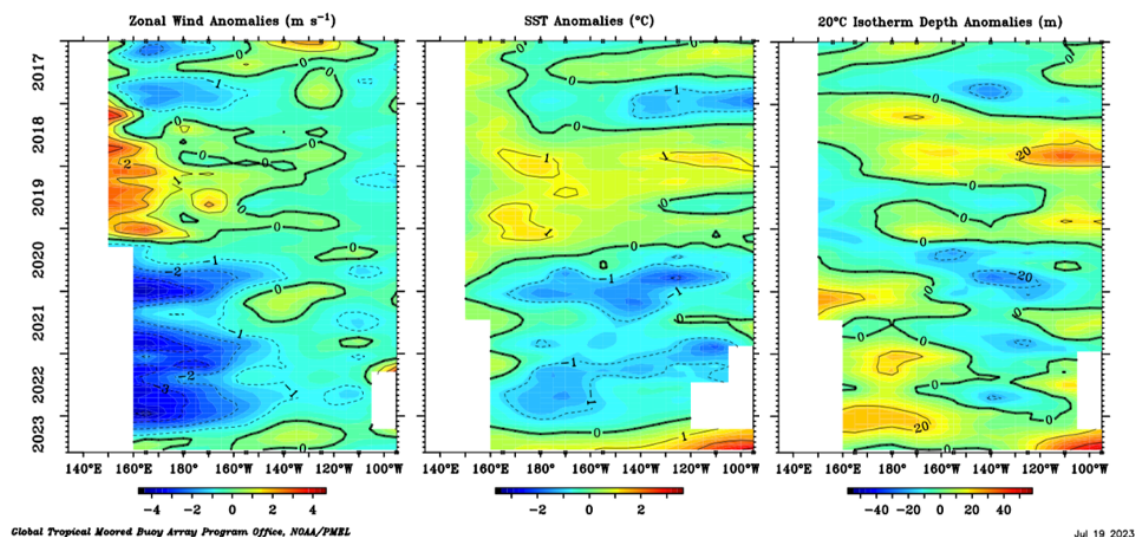


Figura 2. Promedio mensual de la anomalía del viento zonal (panel izquierdo), de la temperatura superficial del mar (panel central) y de la profundidad de la isoterma de 20 $^{\circ}\text{C}$ (panel derecho) y a lo largo de la franja ecuatorial del Pacífico (2°S-2°N). Esta imagen se elaboró de otras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





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"

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

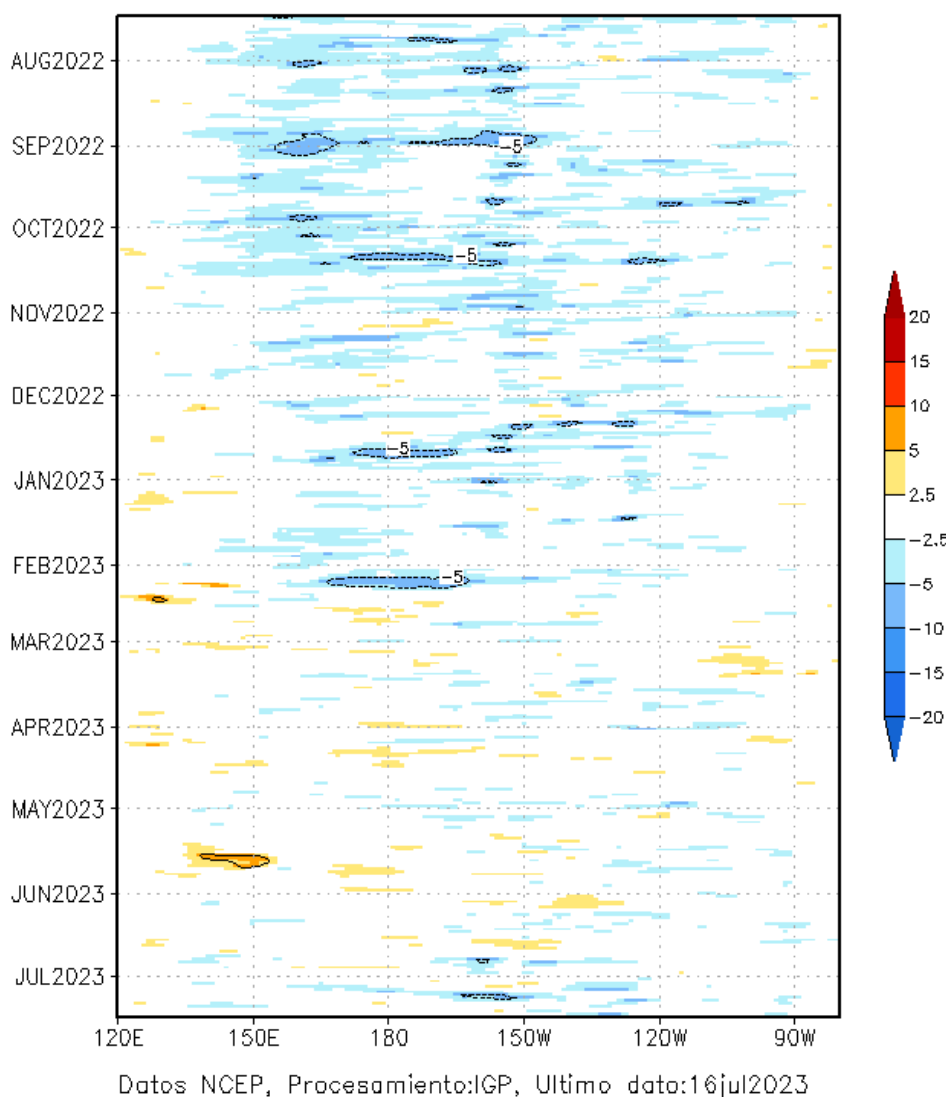


Figura 3. Diagrama longitud-tiempo de las anomalías del esfuerzo de viento zonal ecuatorial que se obtiene de los datos del producto ASCAT - METOP B hasta el 16 de julio de 2023. Elaborado por el IGP.



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

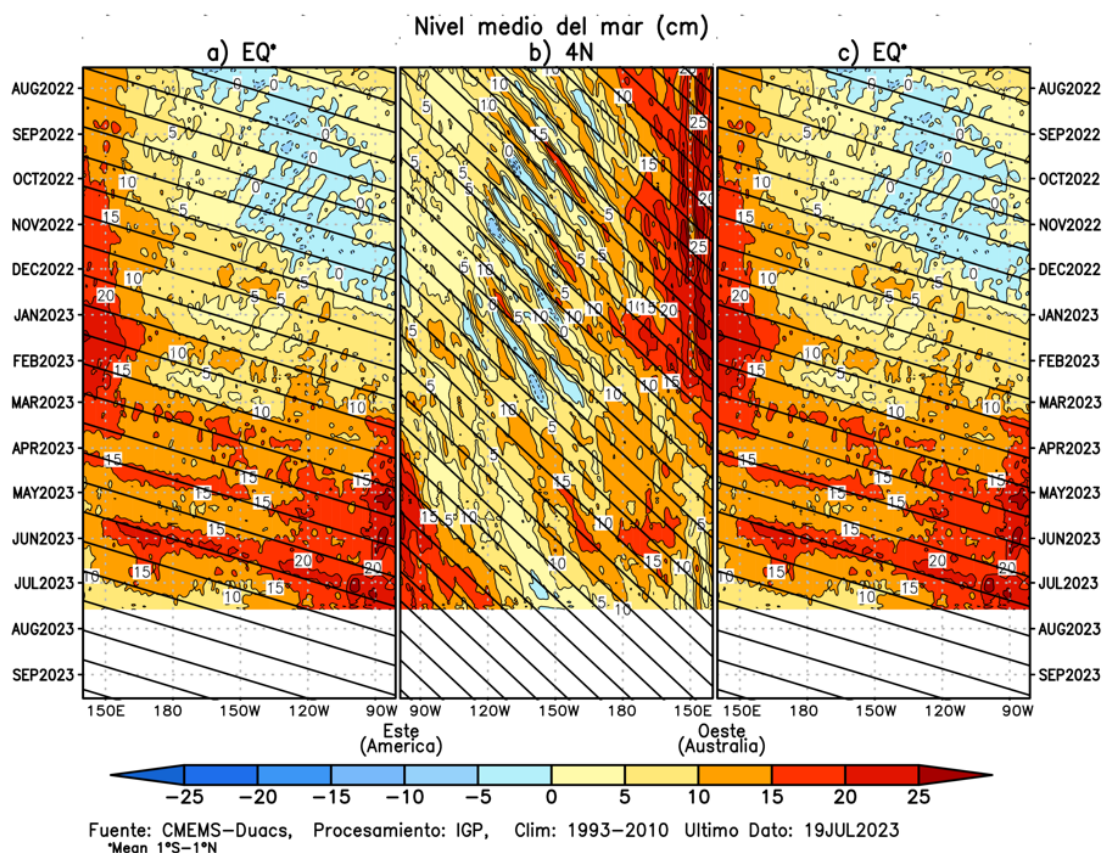


Figura 4. Diagramas longitud-tiempo de la anomalía del nivel medio del mar en el Pacífico ecuatorial usando el producto DUACS. Los paneles (a) y (c) son los mismos y representan la información a lo largo de la línea ecuatorial; mientras que (b), a lo largo de 4°N, pero con el eje zonal de este a oeste.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



IGP
Instituto
Geofísico
del Perú

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

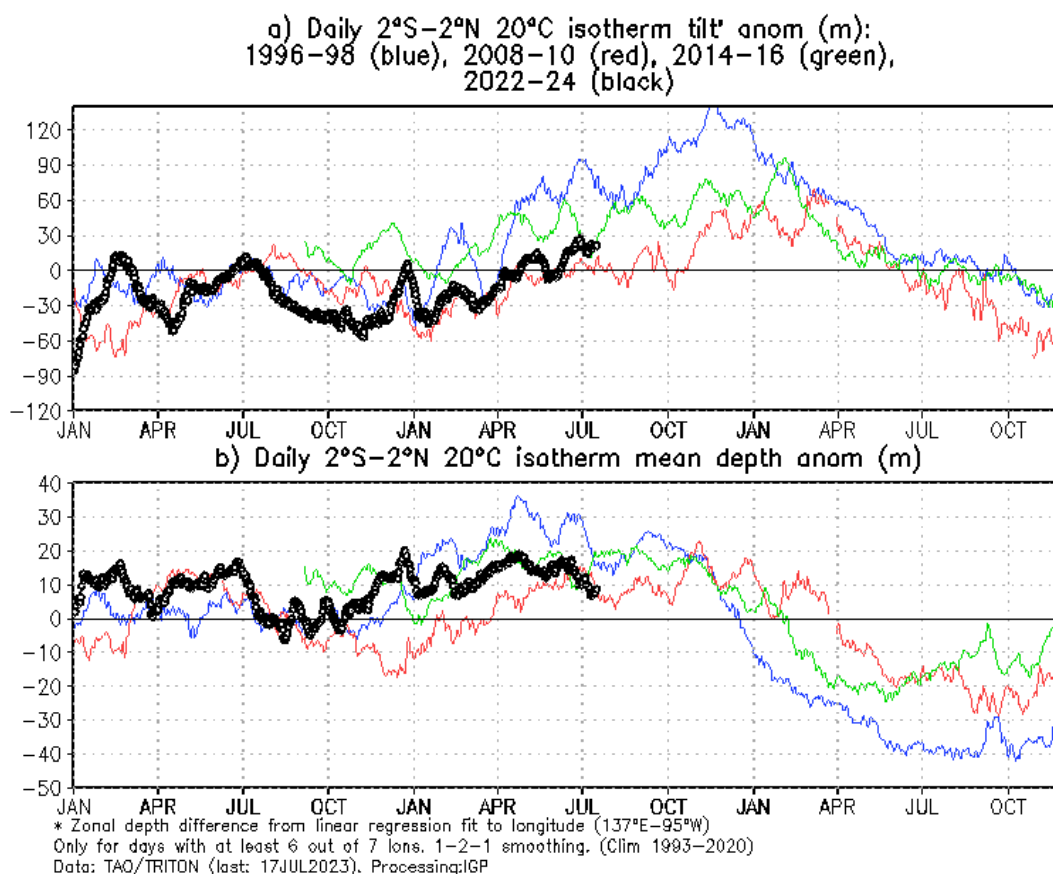


Figura 5. a) Inclínación de la termoclina y **b)** contenido de calor en el Pacífico ecuatorial (2°N y 2°S). La data usada para este cálculo proviene de las boyas TAO. Elaborado por el IGP.





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"

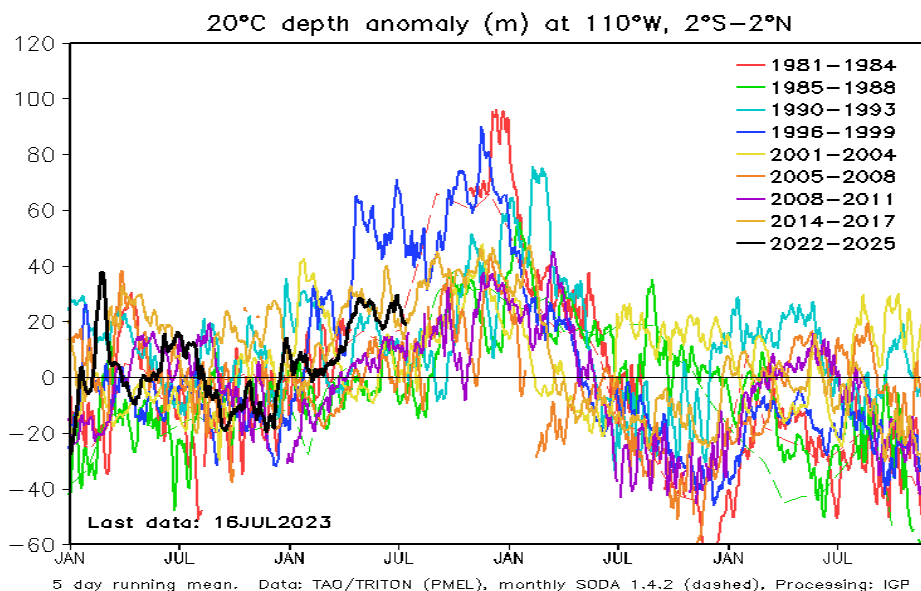


Figura 6. Anomalía de la profundidad de la isoterma de 20 °C (m) en 110°W y promediada entre 2°S y 2°N. La data usada para este calculo proviene de las boyas TAO. Elaborado por el IGP.





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"

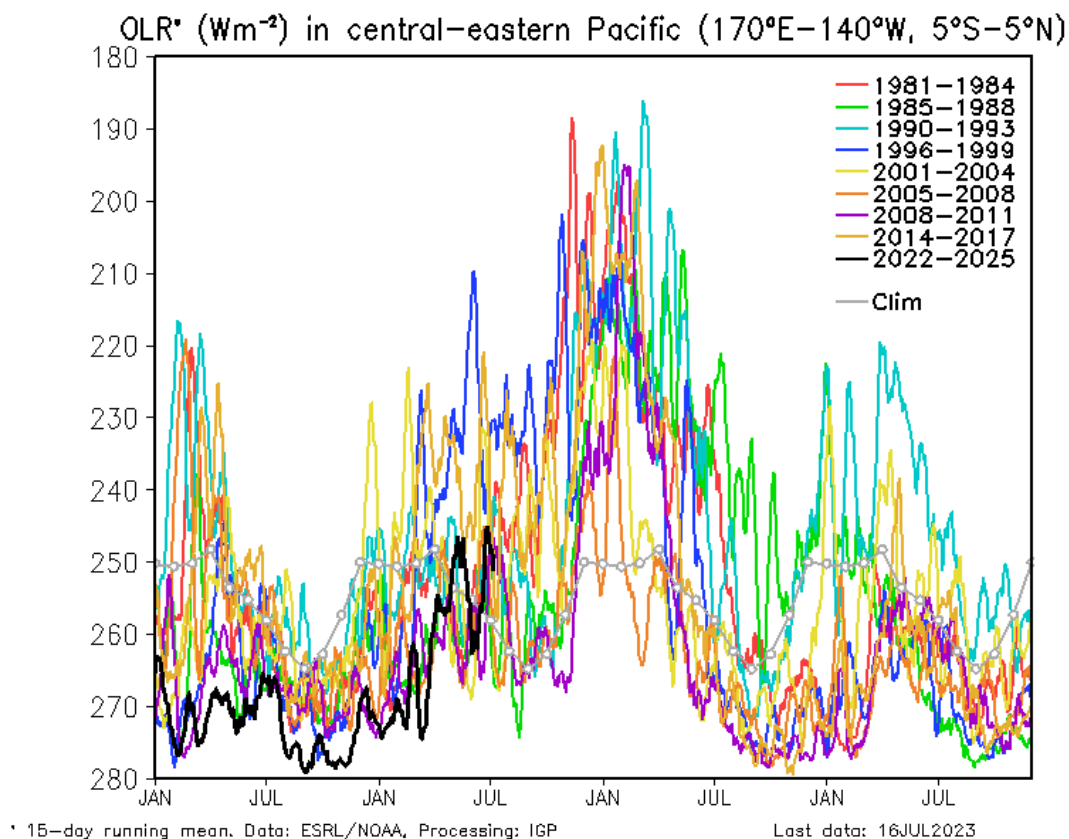


Figura 7. Actividad convectiva en el Pacífico central oriental (170°E – 140°W y 5°S – 5°N) en base a la información de OLR. Elaborado por el IGP.





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"

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

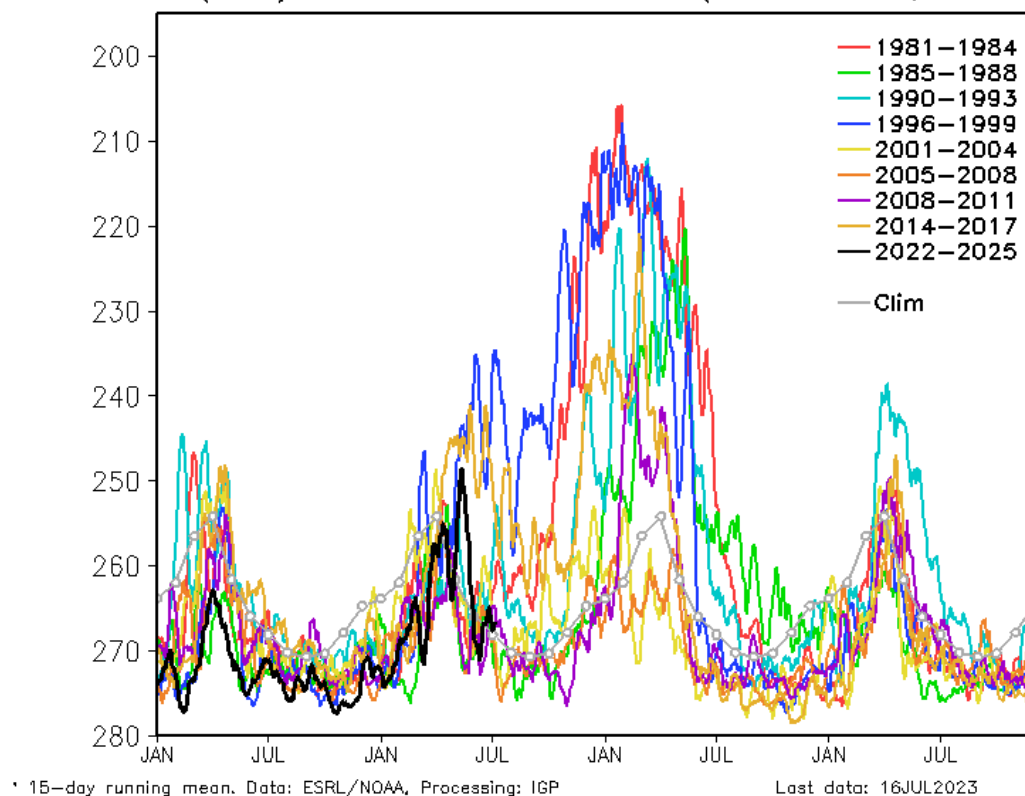


Figura 8. Actividad convectiva en el Pacífico central oriental (170°W – 100°W y 5°S – 5°N) en base a la información de OLR. Elaborado por el IGP.



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

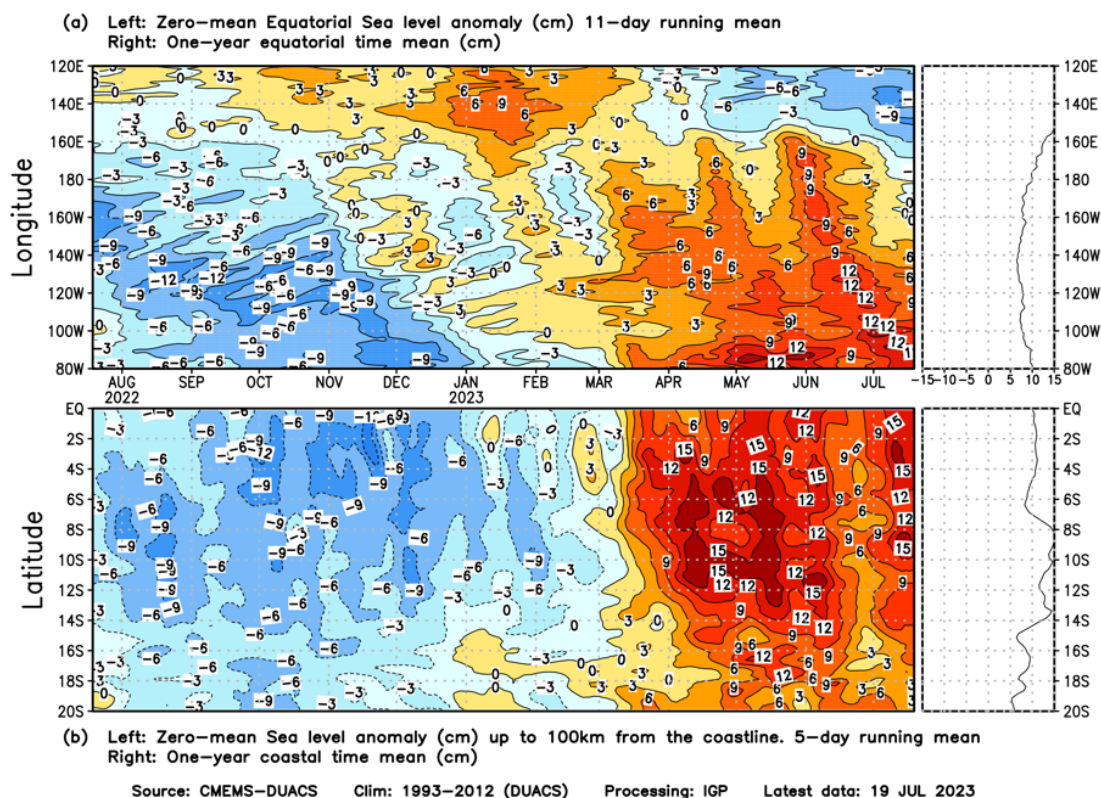


Figura 9. Anomalia centrada del nivel del mar a lo largo de la franja ecuatorial (Figura superior-izquierda) y a lo largo de la costa peruana (Figura inferior-izquierda). A la derecha se muestra el promedio de los últimos 365 días en la franja ecuatorial (superior) y a lo largo de la costa (inferior),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

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

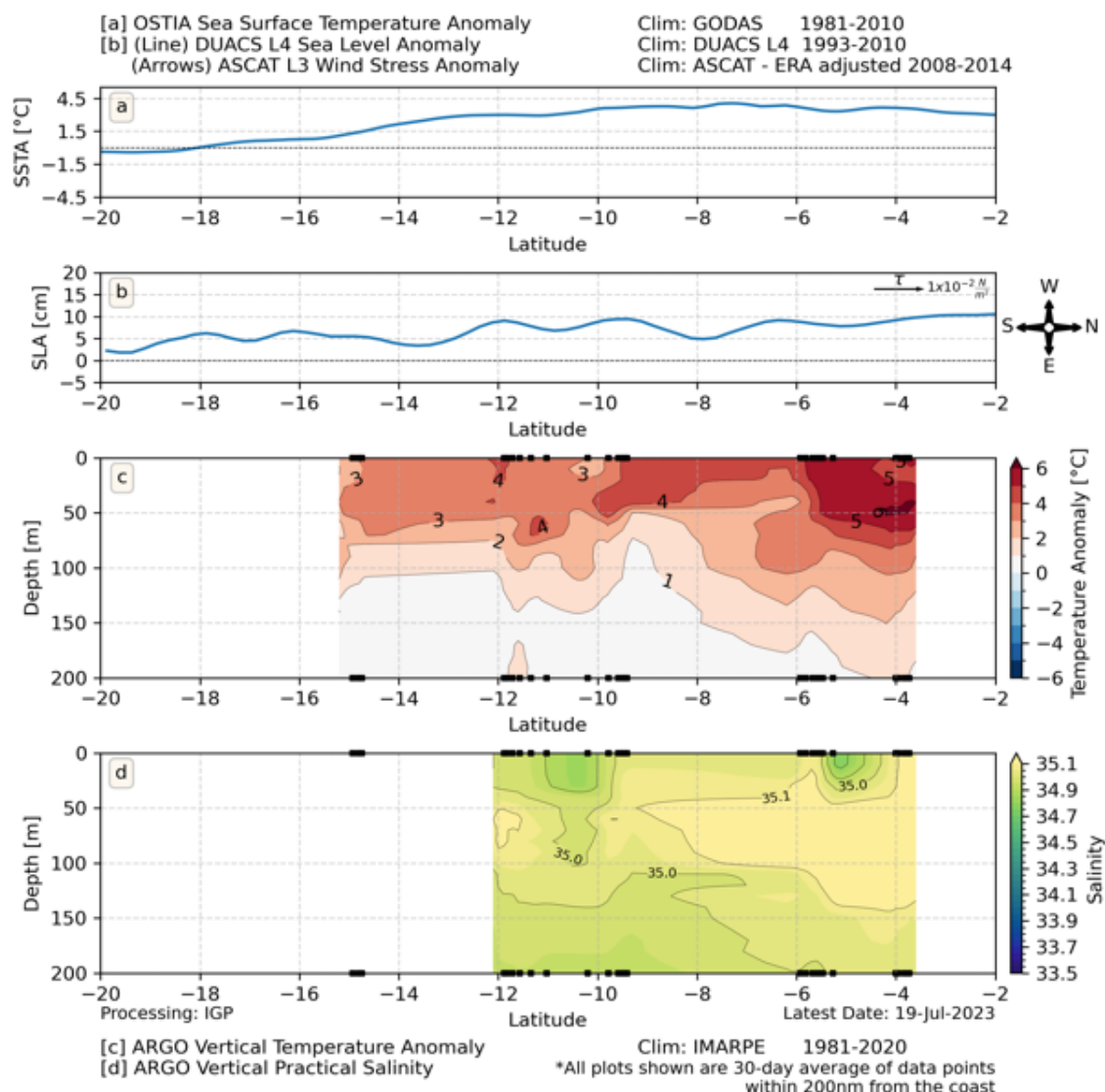


Figura 10. Variables a lo largo de la costa promediadas en los últimos 30 días y dentro de las 200 millas náuticas. De arriba abajo: 1) anomalía de la TSM obtenida del producto OSTIA; 2) anomalías del nivel del mar (línea azul) y esfuerzo de viento (vectores) de los productos DUACS y Blended, respectivamente, 3) anomalía de la temperatura del mar obtenida de los flotadores ARGO y 4) Salinidad obtenida de los flotadores ARGO. En el segundo panel, la relación entre el tamaño y la magnitud del vector se indica en el extremo superior izquierdo, mientras que la dirección y sentido se entienden por medio de los puntos cardinales que se localizan a la derecha.

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

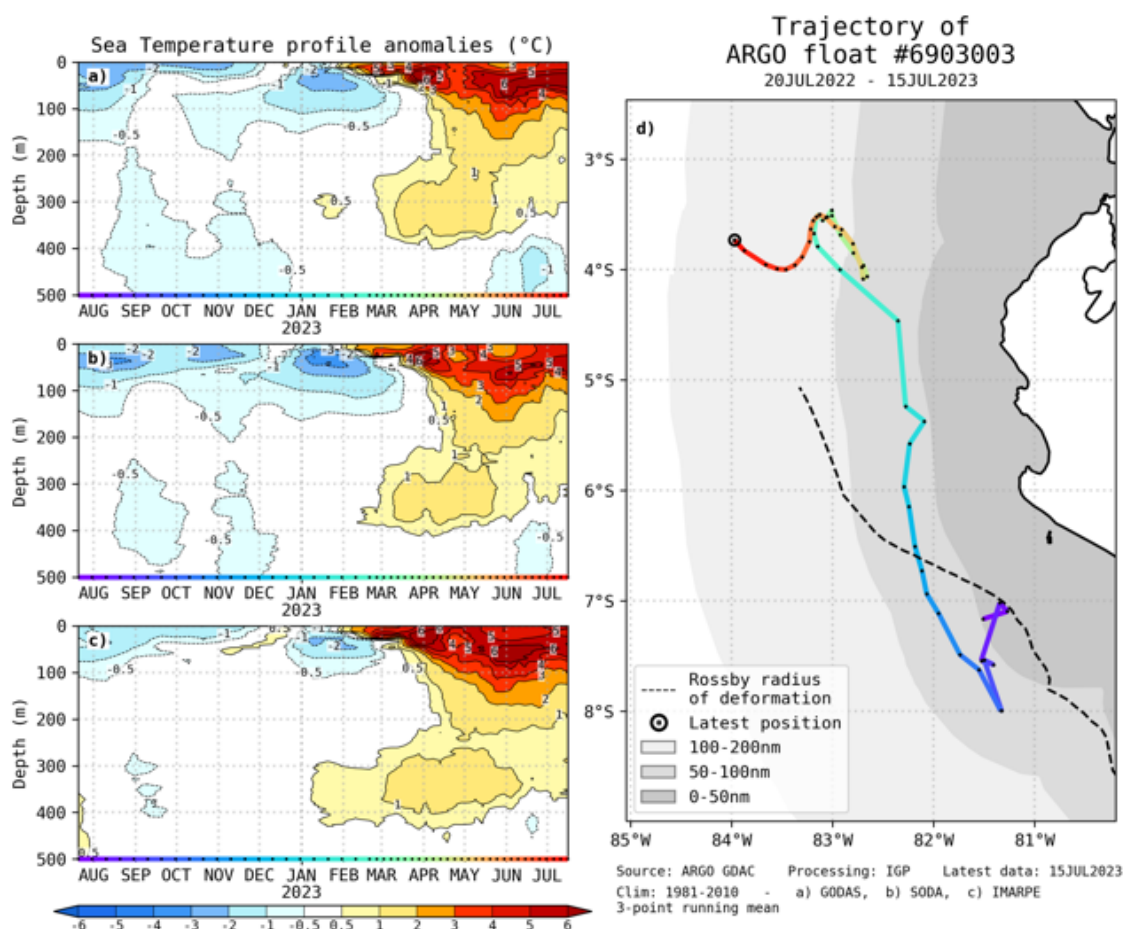


Figura 11. A la izquierda se aprecia la anomalía de la temperatura del mar hasta los 500 metros de profundidad, calculada de los datos del flotador ARGO No. 6903002. Esta anomalía se calcula en base a la climatología (1981-2010) de: (a) GODAS, (b) SODA e (c) IMARPE. A la derecha se aprecia la trayectoria del flotador en el último año. Cada color indica un periodo de aproximadamente 30 días y el círculo abierto representa la última posición del flotador. Elaborado por el GP.

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

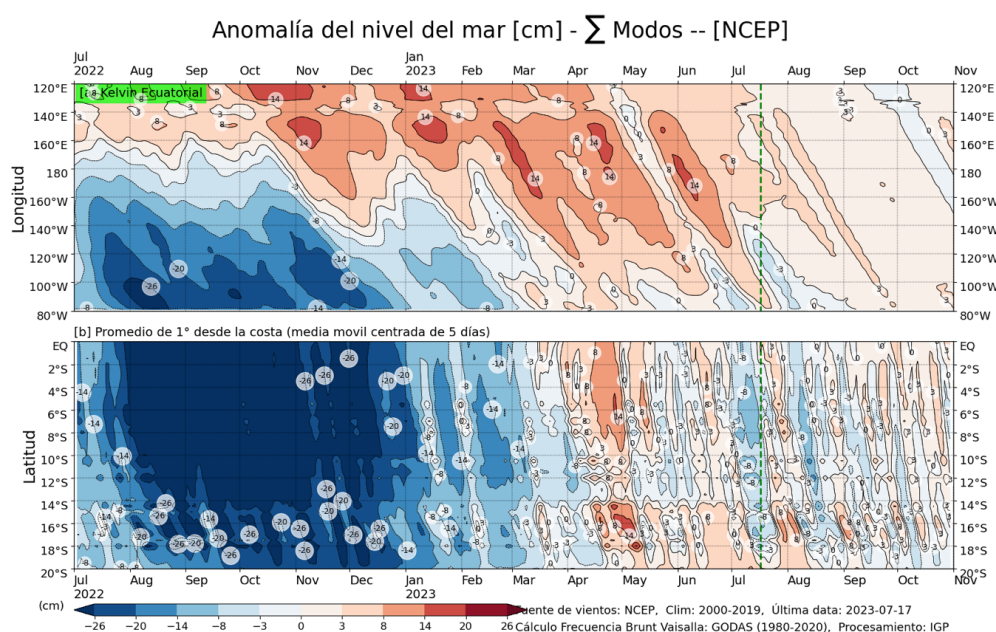


Figura 12. Simulación numérica de la anomalía del nivel del mar (cm) a lo largo de la franja ecuatorial del océano Pacífico (panel superior) y a lo largo de la costa peruana (panel inferior). Esta simulación se realizó con el modelo oceánico multimodal forzado con los vientos del *reanalysis* de NCEP. La línea verde entrecortada indica el inicio de la simulación del pronóstico. Elaborado por el IGP.

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

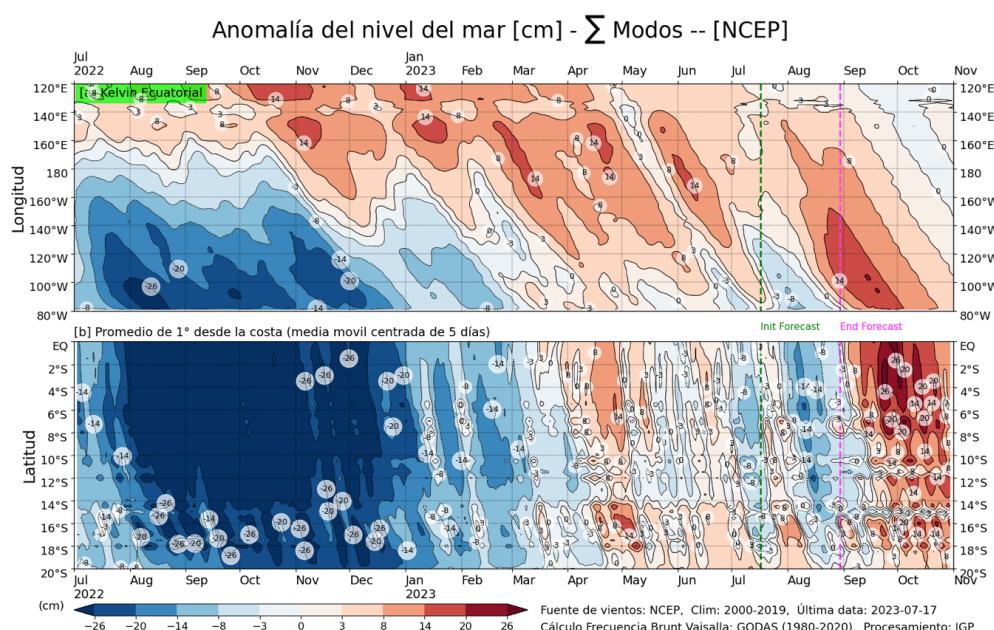


Figura 13. Simulación numérica de la anomalía del nivel del mar (cm) a lo largo de la franja ecuatorial del océano Pacífico (panel superior) y a lo largo de la costa peruana (panel inferior). Esta simulación se realizó con el modelo oceánico multimodal forzado con los vientos del *reanalysis* de NCEP para el diagnóstico y vientos de GFSv2 para el pronóstico de los siguientes 42 días. La línea verde entrecortada indica el inicio de la simulación del pronóstico. Elaborado por el IGP.

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

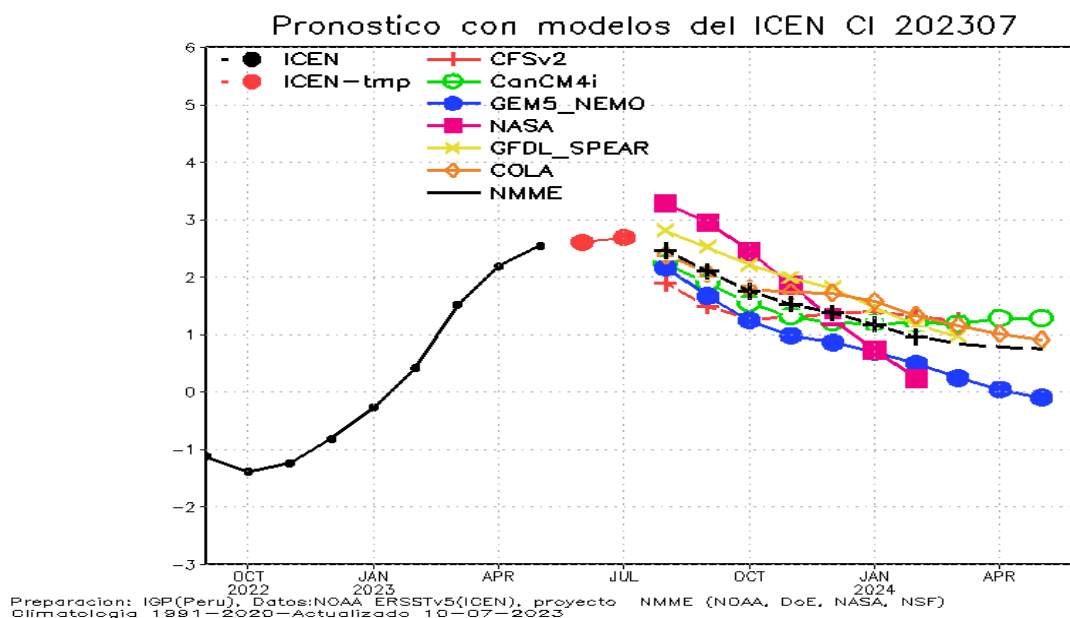


Figura 14. Índice Costero El Niño (ICEN, línea negra con círculos llenos, fuente ERSSTv5) y sus valores temporales (ICENV5tmp, rojo con círculo lleno). Además, pronósticos numéricos del ICEN (media móvil de 3 meses de las anomalías pronosticadas de TSM en Niño 1+2) por diferentes modelos climáticos. Los pronósticos de los modelos CFSv2, CanCM4i, GEM5_NEMO, NASA, GFDL_SPEAR y NCAR_CCSM4, COLA-RSMAS-CCSM4 tienen como condición inicial de julio 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 Julio 2023

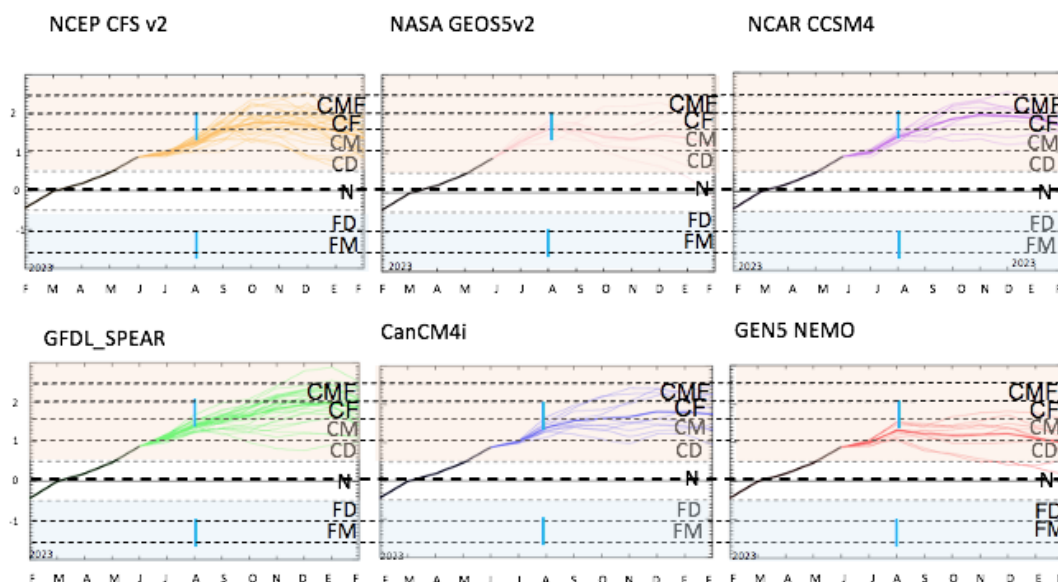


Figura 15. Índice Niño 3.4 mensual observado (líneas de color plomo) y pronosticado por los modelos de NMME (líneas de distintos colores). Fuente: NMME.



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

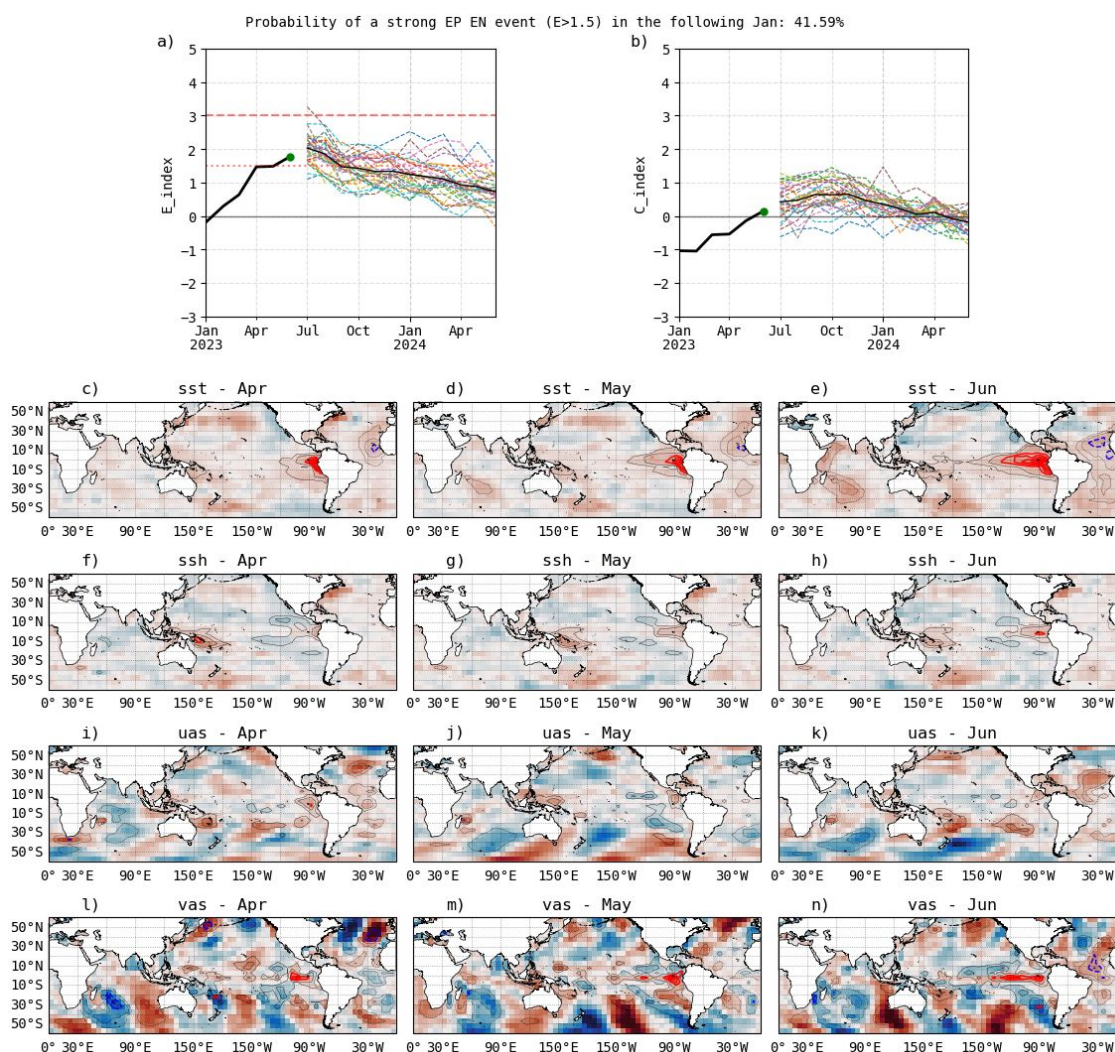


Figura 16. Pronóstico del índice E (Takahashi et al., 2011) a doce meses basado en un modelo de inteligencia artificial (Rivera et al., en preparación) para el pronóstico de El Niño extremo. (a) Muestra la evolución del índice E, representado con una línea gruesa de color negro, desde enero a junio de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