



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Presidencia
Ejecutiva



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

OFICIO MULTIPLE N°00002-2025-IGP/PE

Lima, 13 de febrero del 2025

Señores

Raquel Hilianova Soto Torres
Presidenta Ejecutiva – SENAMHI

Jorge Manuel Paz Acosta
Presidente (e) del Consejo Directivo – IMARPE

Jorge Vizcarra Figueroa
Director – DIHIDRONAV

Pablo Enrique Díaz Quiroz
Gerente General – ANA

Juan Carlos Urcariegui Reyes
Jefe Institucional – INDECI

Rolando Capucho Cárdena
Jefe Institucional – CENEPRED

Beatriz Fuentealba Durand
Presidenta Ejecutiva – INAIGEM

Carmen Rosa García Dávila
Presidenta Ejecutiva – IIAP

Presente

Asunto: Boletín científico El Niño correspondiente a setiembre de 2024

Me es grato hacerles llegar un cordial saludo y hacer de su conocimiento que, en el marco del Programa Presupuestal 068 “Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”, se tiene la actividad presupuestal “Generación de información y monitoreo del fenómeno El Niño”. Es así que bajo esta actividad se elabora el Boletín Científico El Niño, donde se tiene por objetivo la difusión de artículos de divulgación científica y artículos sobre avances de investigación en temas relacionados a El Niño y sus impactos en el Perú.





PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Presidencia
Ejecutiva



“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”
“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

En ese sentido se adjunta el boletín del asunto para su conocimiento y fines pertinentes, el que también podrá ser descargado en el siguiente link:

<http://hdl.handle.net/20.500.12816/5675>

Agradecido por su atención, hago propicia la oportunidad para expresarles mis sinceras muestras de consideración.

Atentamente,

Dr. Hernando Tavera
Presidente Ejecutivo

HTH/jlb.

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Instituto Geofísico del Perú, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la tercera Disposición complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <http://www.igp.gob.pe/std/verificardocumento> e ingresando la siguiente clave: 273003B





PERÚ

Ministerio
del Ambiente



BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Vol. 11 n.º 09 septiembre 2024

PROGRAMA PRESUPUESTAL n.º 068

«Reducción de la vulnerabilidad y
atención de emergencias por desastres»

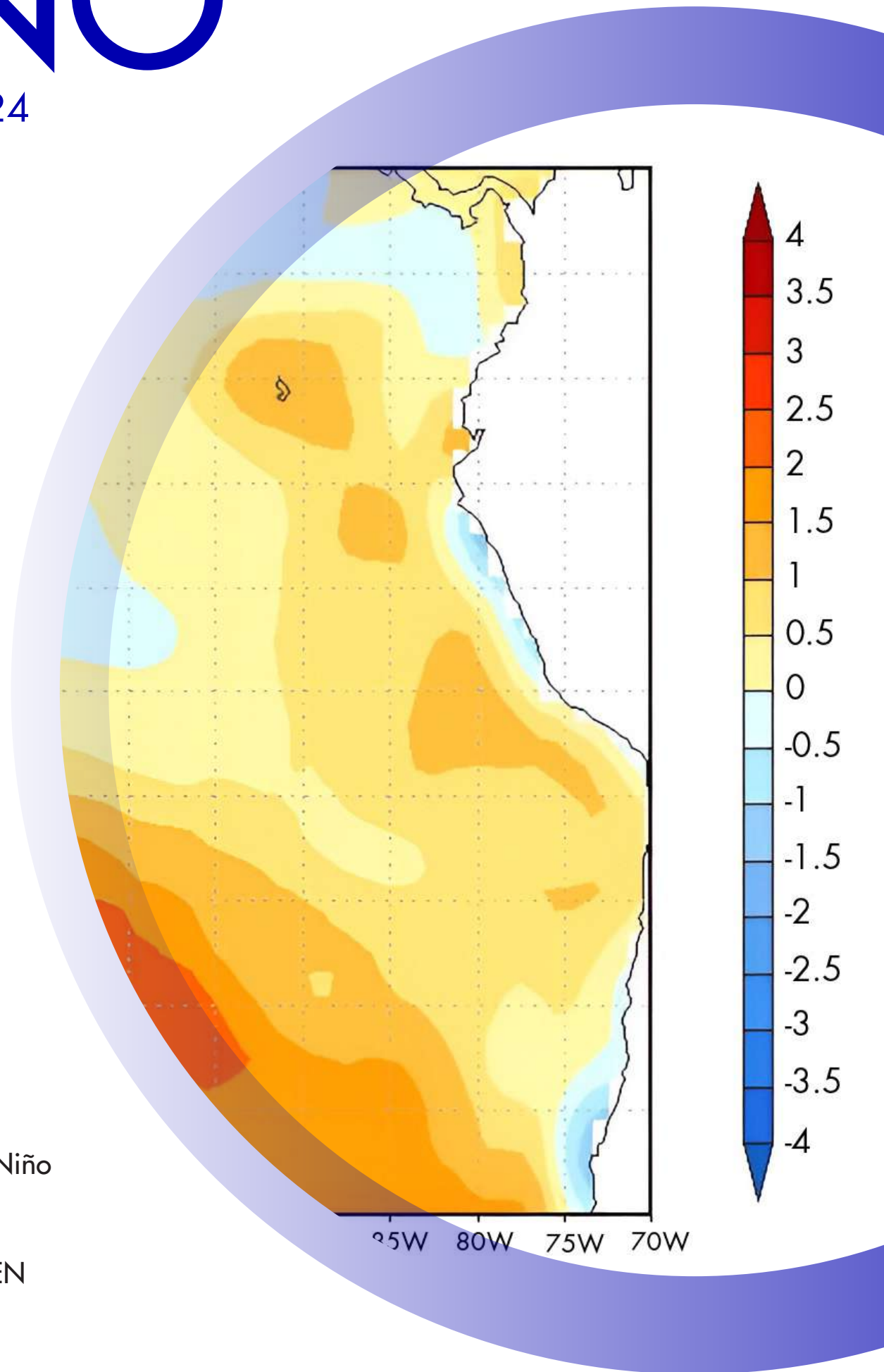
En este boletín

4 | Una visión general de la
pág. | temperatura de la superficie del
mar relativa para el monitoreo y la
predicción de El Niño-Oscilación

16 | Índice Costero El Niño Relativo
pág. | (ICENr)

22 | Resumen del informe técnico de El Niño
pág. |

23 | Resumen de los comunicados ENFEN
pág. |



Créditos

Juan Castro Vargas
Ministro del Ambiente

Hernando Tavera
Presidente ejecutivo

Edmundo Norabuena Ortiz
Director científico

James Apaéstegui Campos
Director de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

Lina Godoy Encarnación
Jefatura de la Unidad Funcional de Comunicaciones

Ivonne Katherine Montes Torres
Ken Takahashi Guevara
Jorge Andrés Concha Calle
Editores

Jorge Andrés Concha Calle
Diseño y diagramación

Carátula: Anomalía de la TSM semanal (°C), centrado, 1 de febrero de 2023
Fuente: IGP

El boletín científico "El Niño" es generado en el marco del Programa Presupuestal n.º 068 "Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres"

Producto 1: Estudios para la estimación del riesgo de desastres
Actividad 5: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño
Instituto Geofísico del Perú

** Los textos referidos a la contribución de cada investigación son aportes del equipo editorial del presente boletín*

Calle Badajoz 169 Mayorazgo, Ate, 15012

Teléfono: +51-1-3172300

Lima, febrero de 2025

Puedes acceder a la colección completa de los [boletines científicos El Niño](#) escaneando el siguiente código QR.



Introducción

Los eventos El Niño y La Niña corresponden, a grandes rasgos, a situaciones en las que la temperatura de la superficie del mar está por encima o por debajo del promedio en el océano Pacífico ecuatorial. Estas fluctuaciones están fuertemente influenciadas por El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), el cual es uno de los modos de variabilidad climática más importantes en el océano Pacífico que ejerce una gran influencia sobre el clima a nivel global y regional. La fase cálida de ENOS se puede denominar El Niño “global”.

En el Perú, los impactos de El Niño y La Niña son particularmente complejos debido a que recibimos influencias tanto costeras, asociadas a las fluctuaciones en el mar peruano en el Pacífico oriental, así como influencias remotas a través de teleconexiones atmosféricas desde el Pacífico central. En particular, El Niño en el Pacífico oriental o costero puede producir lluvias y altas temperaturas en la costa y alterar el ecosistema marino-costero, mientras que El Niño en el Pacífico central o global puede reducir las precipitaciones e incrementar la temperatura en los Andes y en la Amazonía. Por el contrario, La Niña tendría efectos aproximadamente opuestos. Así, El Niño en el Pacífico oriental es el que causa mayores impactos para el Perú, ya que tiene el potencial de provocar grandes daños a infraestructuras, actividades económicas y, más importante, la seguridad y bienestar de las personas, además de sus medios de vida.

El Perú, como parte de la estrategia de gestión pública para enfrentar los peligros naturales, especialmente respecto a El Niño, establece el Programa Presupuestal por Resultados (PPR) 068 “Reducción de vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”. A partir de 2014, el Instituto Geofísico del Perú (IGP), al igual que otras instituciones que conforman la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), participa en este PPR con el producto denominado “Estudios para la estimación del riesgo de desastres”. Este consiste en la entrega en forma oportuna de información científica sobre el monitoreo y pronóstico de este evento natural oceánico-atmosférico, mediante informes técnicos mensuales, que permita la toma de decisiones de las autoridades a nivel nacional y regional.

A este producto, el IGP contribuye con la actividad “Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño”, la cual

incluye la síntesis y evaluación de los modelos de pronóstico de El Niño generados internacionalmente, como es el caso de los modelos climáticos globales, así como de aquellos obtenidos a partir de modelos propios como el de predicción de ondas oceánicas ecuatoriales, y los recientemente desarrollados modelo de inteligencia artificial y modelo Sistema Tierra regional de pronóstico para el territorio peruano y el océano Pacífico (IGP RESM-COW v1). Asimismo, incluye el desarrollo de investigaciones y estudios científicos que permiten entender la variabilidad climática y los procesos asociados al cambio climático, a fin de fortalecer, en forma continua, las capacidades para el pronóstico de El Niño.

En esta línea, el IGP ha estructurado y desarrollado el Boletín Científico El Niño, un producto que contiene, en gran medida, los aportes científicos en el estudio y vigilancia de El Niño, así como La Niña y otros fenómenos relacionados. El Boletín, que se publica mensualmente desde 2014, cuenta con aportes nacionales e internacionales en diversos temas asociados a El Niño, sus impactos, procesos vinculados, temas asociados y otros igual de relevantes, artículos que se presentan en las secciones de “Divulgación Científica” y “Avances Científicos”. De igual forma, se comparte en el Boletín una versión resumida del informe técnico que el IGP elabora mensualmente para cumplir con los compromisos asumidos en el marco del PPR 068 (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5356>). Dicho informe contiene información actualizada operativamente que el IGP proporciona como insumo para que el ENFEN genere en forma colegiada la evaluación final que será entregada a los usuarios. Finalmente, el Boletín presenta los comunicados ENFEN publicados durante el periodo correspondiente.

El IGP busca consolidar al Boletín Científico El Niño como una publicación técnica-científica de referencia, tanto para la comunidad científica y académica, así como para instituciones y autoridades vinculadas a la gestión del riesgo de desastres ávidas de conocimientos e información actualizada sobre El Niño, sus impactos y procesos asociados.

Puede consultar la colección completa de Boletines Científicos El Niño en este enlace: <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4974>

UNA VISIÓN GENERAL DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR RELATIVA PARA EL MONITOREO Y LA PREDICCIÓN DE EL NIÑO-OSCILACIÓN*

Michelle L'Heureux¹, Nathaniel Johnson² y Michael Tippett³

¹ National Oceanic and Atmosphere Administration, National Weather Service, Climate Prediction Center, Maryland, USA

² National Oceanic and Atmosphere Administration, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, New Jersey, USA

³ Columbia University, New York, USA



Michelle L'Heureux es científica física en el Centro de Predicción Climática de la NOAA de EE. UU. Se ha desempeñado como experta estadounidense en el Equipo de Trabajo en Información sobre ENOS de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Durante los últimos 17 años, ha liderado el equipo de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), el cual es responsable de emitir regularmente la información actualizada de la NOAA sobre El Niño y La Niña. Michelle también es coordinadora principal, escritora y editora del Blog sobre ENOS en climate.gov de la NOAA, el cual le permite involucrar al público interesado en la ciencia de ENOS y otros temas climáticos. Michelle también realiza investigaciones aplicadas para mejorar el conocimiento y la predicción de la variabilidad climática subestacional a estacional, y es autora o coautora de más de 50 artículos en revistas científicas.

Palabras clave: TSM, ENOS, Índice Oceánico Niño, ONI, temperatura superficial del mar relativa

Citar como L'Heureux, M., Johnson, N., & Tipper, M. (2024). Una visión general de la temperatura de la superficie del mar relativa para el monitoreo y la predicción de El Niño-Oscilación Sur. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 11 n.º 09, págs. 4-15.

¿Cuál es la **contribución** de esta investigación para los tomadores de decisiones?*

El Índice Oceánico Niño Relativo (RONI), basado en la temperatura superficial del mar relativa, sería más efectivo para monitorear y predecir El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) a nivel global en un clima cambiante. Los tomadores de decisiones pueden adoptar este índice para diseñar estrategias de mitigación de riesgos climáticos, optimizar la gestión de recursos como agua y energía, ajustar políticas de adaptación al cambio climático y coordinar respuestas internacionales más eficaces, basándose en información más precisa y adaptada a las condiciones climáticas cambiantes asociadas al ENOS.

Resumen

Las tendencias en las anomalías de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico tropical han presentado complicaciones para el monitoreo y la predicción de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). Específicamente, ENOS se mide principalmente utilizando anomalías e índices de temperatura de la superficie del mar (TSM), los cuales requieren la elección de un promedio climatológico de largo plazo ("climatología"). Sin embargo, la climatología ha cambiado con el tiempo, lo que demanda nuevos métodos para garantizar que las anomalías de la TSM reflejen con exactitud el estado acoplado océano-atmósfera de ENOS. Se ha introducido y explorado un índice de TSM "relativo" para evaluar su idoneidad en las actividades operativas asociadas a ENOS. En este artículo se presenta este índice y se explica por qué el índice relativo de ENOS puede ser físicamente más adecuado, en un clima cambiante, que los métodos tradicionales anteriores para monitorear y predecir ENOS. Mostramos evidencia que las diferencias cada vez mayores entre los índices de TSM tradicionales y relativos se están reflejando en el debilitamiento de la conexión entre la TSM tropical y las anomalías atmosféricas que constituyen el estado ENOS. Finalmente, al parecer, los errores de pronóstico que utilizan el índice de TSM tradicional son cada vez mayores en comparación con aquellos que emplean el índice de TSM relativo.

1. Antecedentes de la definición oficial de ENOS de la NOAA

La misión de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) de los EE. UU. es comprender y predecir los cambios en el clima, el tiempo, el océano y las costas, y compartir esa información con otros. En apoyo de la misión de la NOAA, el Centro de Predicción Climática (CPC), ubicado dentro del Servicio Meteorológico Nacional (NWS, por sus siglas en inglés) de los EE. UU., tiene la tarea de proporcionar actualizaciones periódicas sobre el estado y las predicciones de ENOS, siendo el índice Niño 3.4 una medida primaria para este propósito. El índice Niño 3.4 se calcula promediando las anomalías (diferencias con respecto a una climatología) de la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial centro-oriental (5° N a 5° S y 170° O a 120° O). El índice oficial ENOS de la NOAA es el Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés), que corresponde

al promedio móvil de tres meses (estacional) del índice Niño 3.4. La NOAA define los eventos cálidos (El Niño) como periodos durante los cuales los valores del ONI son mayores de +0.5 °C durante al menos cinco estaciones consecutivas superpuestas, y los eventos fríos (La Niña) como periodos en los cuales los valores del ONI son menores de -0.5 °C durante la misma duración. La NOAA y otros servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales prestan atención al índice Niño 3.4 y al ONI porque estos índices están significativamente correlacionados con otros aspectos del sistema ENOS acoplado y las teleconexiones (ver Barnston et al. [1997] para más detalles).

El ENOS es un fenómeno climático océano-atmósfera extenso y multifacético que surge de retroalimentaciones en todo el océano Pacífico tropical. Como resultado, el ENOS no se puede representar ni medir perfectamente utilizando un único índice o número. Por lo tanto, la definición oficial de la NOAA representa un compromiso y se creó en respuesta a los usuarios y los tomadores de decisiones que querían una forma sencilla y fácil de definir, medir y predecir el estado de ENOS. Además, debido a que el índice se basa en un largo registro de la TSM con control de calidad, los eventos de ENOS se pueden identificar de manera confiable desde, al menos, la década de 1950**, lo que resulta útil para los usuarios que desean analizar relaciones históricas a largo plazo. Los índices del ENOS basados en anomalías atmosféricas tropicales tienden a ser más variables de un mes a otro ("ruidosos") y, a menudo, se limitan al registro de la era satelital que comienza alrededor de 1980.

Implícito en la definición del índice/ONI de El Niño 3.4 está el uso de una climatología (promedio de largo plazo), que es el periodo de referencia (o base) sobre el cual se calculan las anomalías. En 2005, cuando el ONI se adoptó por primera vez como índice oficial de la NOAA, se utilizó una climatología única para el periodo 1971-2000 para calcular los valores del ONI desde 1950. Es decir, las anomalías de la temperatura superficial del mar se calcularon restando los promedios de los meses calendario de 1971-2000 y luego se promediaron estacionalmente para formar el ONI. En ese momento, la Organización Meteorológica Mundial recomendó este periodo base de 30 años o "normal climática". La política del NWS de la NOAA es actualizar el periodo base climatológico cada 10 años. En 2011, cuando el NWS actualizó sus normales

climáticas a 1981-2010, se hizo evidente rápidamente que calcular el ONI usando la climatología de 1981-2010 cambiaría significativamente la definición de los eventos históricos de El Niño y La Niña debido a una tendencia de calentamiento gradual en la región de Niño 3.4 observada desde 1950. En particular, los eventos de La Niña, que habían ocurrido en la parte inicial del registro, parecerían más fuertes y más largos, mientras que los eventos de El Niño parecerían más débiles y más cortos. Usar una climatología moderna, más cálida, para definir eventos de El Niño o La Niña que ocurrieron 60 años antes es difícil de justificar físicamente.

Como resultado, en 2011 se empleó una solución *ad hoc* en la que se utiliza una climatología móvil de 30 años para definir el registro histórico de los eventos El Niño y La Niña. Idealmente, para un dato cualquiera, se utiliza la climatología cuyo periodo de 30 años esté centrado lo más cerca posible a dicho dato, lo cual es relativamente directo considerando el registro histórico, pero genera una dificultad en tiempo real para los datos más recientes ya que no se cuenta con los valores futuros necesarios para el cálculo de la climatología y se usa preliminarmente la climatología más reciente. La climatología se actualiza con un ciclo

de 5 años, en lugar de 10 años como es lo usual, y las anomalías preliminares son recalculadas usando cada nueva climatología hasta que se cuente con la definitiva correspondiente. Esta frecuencia de actualización reduce la magnitud de la discontinuidad causada por la actualización de la climatología. Un ciclo de actualización más frecuente sería problemático para los usuarios, quienes podrían confundirse con los cambios de un año a otro en los valores anteriores de ONI. Por ejemplo, en 2024, el periodo de base en tiempo real es 1991-2020 y se aplica a los valores de ONI que datan de 2006. En 2026, la climatología se actualizará al periodo 1996-2025, y el registro de ONI de 2006-2010 permanecerá sin cambios, continuando con el uso de la climatología de 1991-2020. Sin embargo, los valores de ONI a partir de 2011 se recalcularán usando la nueva climatología de 1996-2025. Si bien este método sirve como una solución provisional útil, contiene dos características indeseables: (1) hay cambios bruscos cada vez que se actualiza la climatología (Figura 1) y (2) los valores de ONI durante la década reciente cambian cuando se adopta una nueva climatología. Además, en lo que respecta a ENOS, no hay ninguna razón física inherente para utilizar una climatología de 30 años en lugar de otro periodo climatológico.

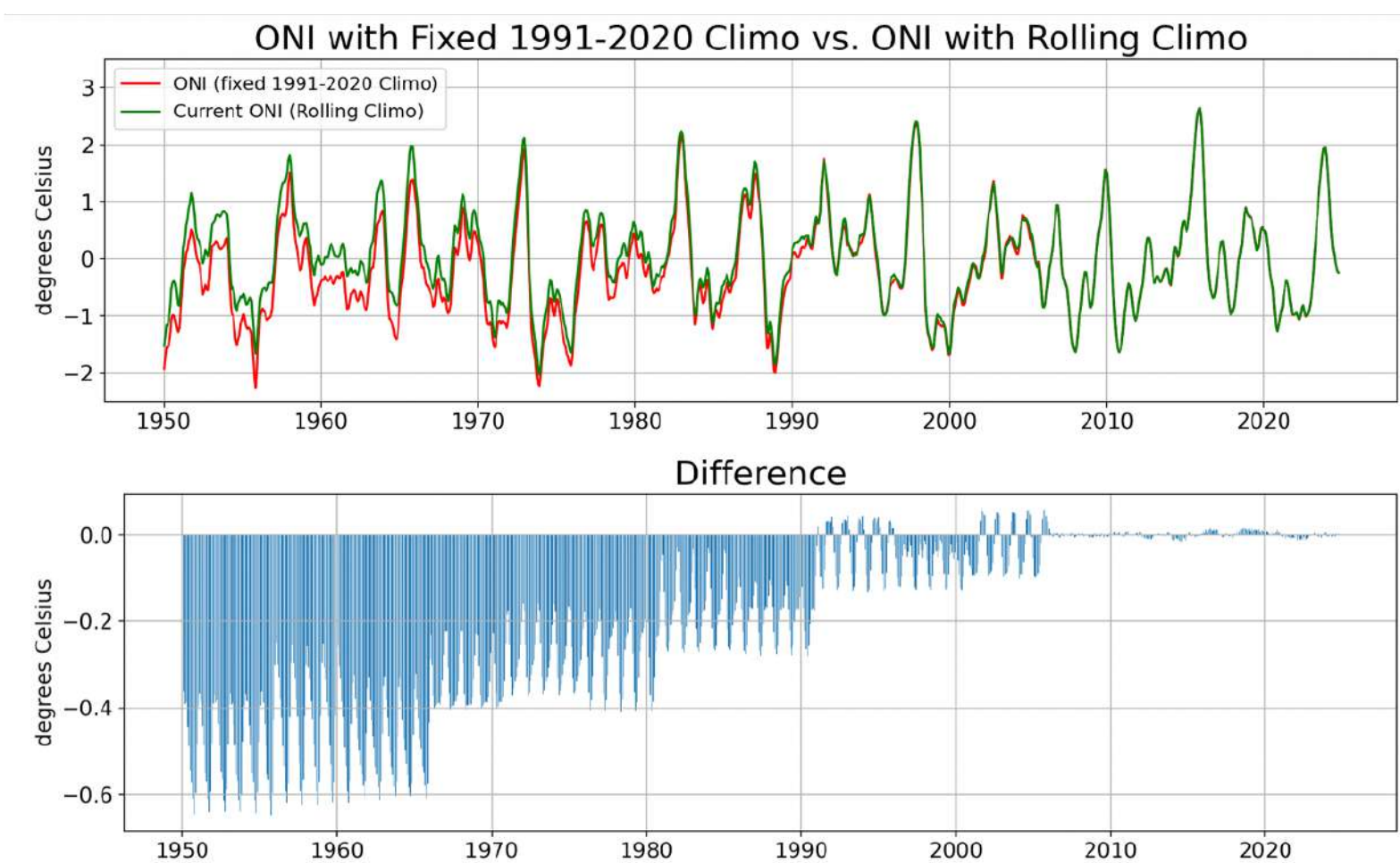


Figura 1. Índice Oceánico de El Niño (ONI) durante el periodo 1950-2024 basado en una única climatología de 1991-2020 (línea roja) y en climatologías móviles de 30 años actualizadas cada 5 años (línea verde). La diferencia entre los dos índices se muestra en el panel inferior. Datos: ERSSTv5.

2. Cálculo de un índice relativo de la TSM para ENOS

Dadas las tendencias del índice de El Niño 3.4, van Oldenbourgh et al. (2021) introdujeron un nuevo índice de El Niño basado en la TSM. Basándose en investigaciones anteriores sobre las TSM relativas en los trópicos, calcularon un índice relativo de ENOS restando el índice de anomalía de la temperatura de la superficie del mar media tropical (promedio en los trópicos globales entre 20° S y 20° N) del índice de Niño 3.4 definido tradicionalmente. Al restar la media tropical, la varianza es menor que la del índice original porque el ENOS está correlacionado con el índice del promedio tropical. Debido a que la categorización de los eventos El Niño y La Niña se basa en umbrales, esto significa que el índice que resulta de la diferencia debe reescalarme para que coincida con la varianza del índice original. L'Heureux et al. (2024) propusieron un método simple para

hacer esto calculando la razón entre la desviación estándar del índice Niño 3.4 original y la desviación estándar del índice de diferencia (Niño 3.4 menos la media tropical) durante un periodo de referencia. El factor de escala se calcula para cada mes calendario y luego se multiplica por el índice, de modo que el nuevo índice relativo retiene la varianza del índice de Niño 3.4 original. Por lo tanto, el ONI relativo (RONI) es el índice reescalado con una media móvil de tres meses. En el siguiente enlace se puede acceder a un código Python para calcular este índice ENOS relativo a partir de las observaciones de ERSSTv5: <https://github.com/michellelheureux/Relative-SST>

Los usuarios más perspicaces pueden notar que aún se requiere una climatología para calcular los índices de anomalía de la media tropical de TSM y de Niño 3.4. ¿Por qué? Como demostraron L'Heureux et al. (2024), los ciclos estacionales del índice de Niño 3.4 y de la media tropical no son los mismos (Figura 2). Por lo tanto, todavía se debe restar la climatología;

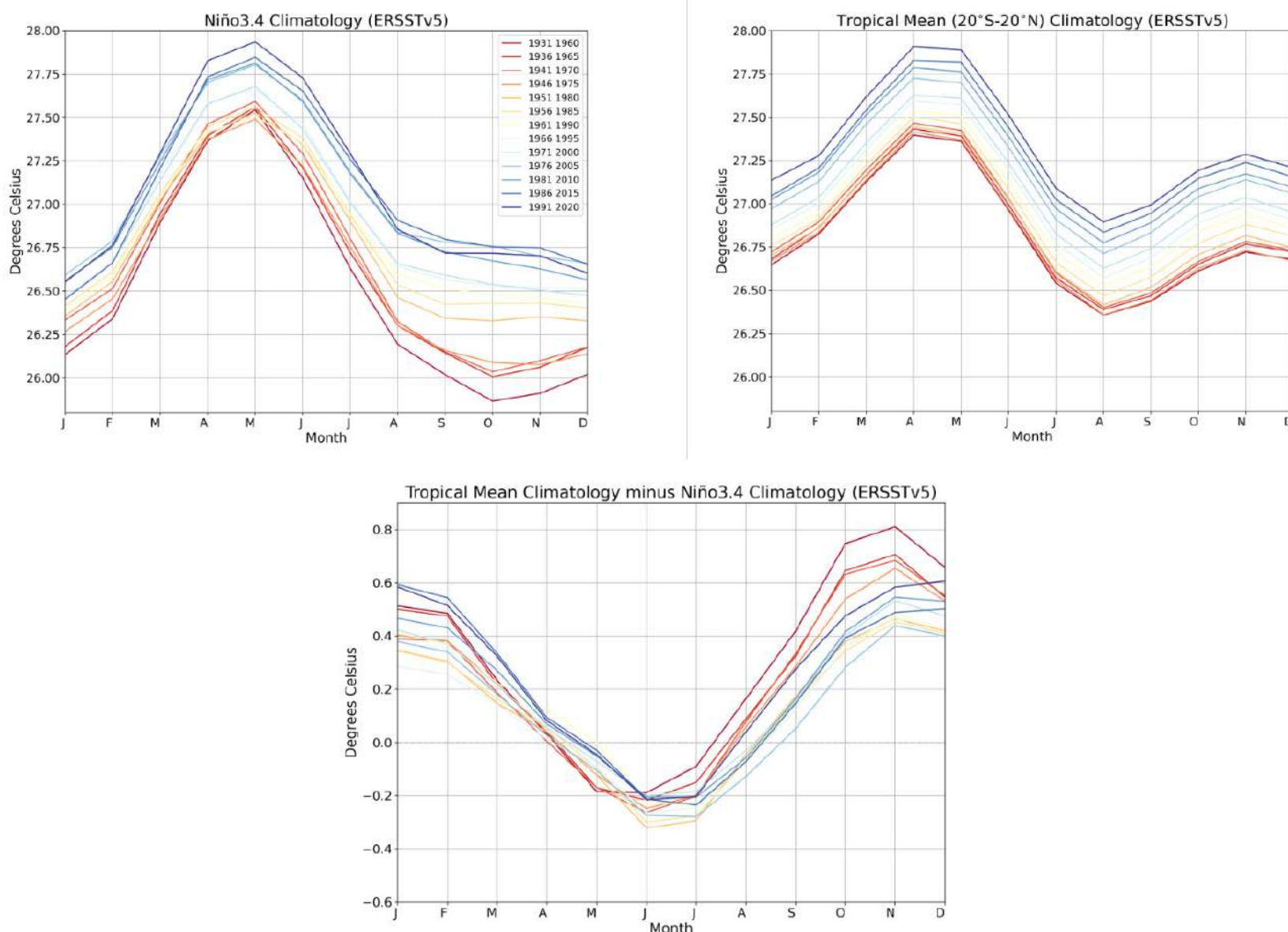


Figura 2. Ciclo estacional del índice Niño 3.4 (arriba a la izquierda), índice promedio de TSM tropical (arriba a la derecha) y diferencia entre los dos índices (abajo). El ciclo estacional se calcula utilizando diferentes periodos climatológicos de 30 años desde 1931-1960 hasta 1991-2020 (ver leyenda). Datos: ERSSTv5.

de lo contrario, el índice reflejará las diferencias climatológicas promedio entre estos dos índices. Sin embargo, quizás más importante aún, L'Heureux et al. (2024) también demostraron que la elección exacta de una climatología de 30 años para calcular el RONI es mucho menos trascendental que para el cálculo del ONI tradicional. El uso del RONI elude en gran medida la cuestión de qué climatología utilizar, ya que se identifican aproximadamente los mismos eventos históricos de El Niño y La Niña sin importar qué climatología se seleccione. La siguiente sección analiza la base física de un índice de TSM relativo, lo que puede ayudar a explicar por qué el índice relativo es más estable y resiliente ante la elección de la climatología.

3. La base física de un índice relativo de ENOS

¿Por qué puede ser útil un índice relativo de TSM para monitorear y predecir ENOS? En primer lugar, un índice relativo de TSM aísla regiones locales de anomalías de TSM que son importantes para la inestabilidad convectiva. La razón por la que las regiones locales de calentamiento y enfriamiento en los trópicos globales son importantes es porque las anomalías de convección y lluvia tienden a establecerse donde la diferencia entre la temperatura de la superficie y la de los niveles superiores es mayor (es decir, donde la estabilidad estática es menor). Las áreas con mayor estabilidad estática se asocian con convección suprimida, y las áreas con menor estabilidad estática se relacionan con convección incrementada. La fuerte relación entre las anomalías locales de TSM y las anomalías de precipitación es exclusiva de los trópicos globales debido a la debilidad de la fuerza de Coriolis cerca al ecuador. Como resultado de la fuerza de Coriolis insignificante, cualquier diferencia de temperatura a alguna altitud por encima de la capa límite (aproximadamente de 1.5 km a 15 km) se suaviza rápidamente de manera horizontal y es casi la misma en todos los trópicos.

Sin embargo, en el cálculo de la TSM relativa, se utilizan las anomalías globales de la TSM tropical y no las anomalías de temperatura de la tropósfera libre. ¿Por qué? La investigación de Sobel et al. (2001, 2002) ha demostrado que las temperaturas atmosféricas en los trópicos siguen el perfil adiabático húmedo, lo que significa que la temperatura en la tropósfera

libre está determinada por la temperatura (y la humedad) de la superficie de las regiones oceánicas con la convección tropical más activa (las "regiones lluviosas" tropicales). A pesar de la existencia de muchas regiones no lluviosas de los trópicos, como la piscina fría del Pacífico oriental donde las TSM permanecen por debajo del umbral convectivo (y, por lo tanto, no influyen en la temperatura de la tropósfera libre), Sobel et al. (2002) encontraron que la variabilidad interanual de la TSM en las regiones lluviosas sigue de cerca la TSM media tropical. Debido a esta estrecha asociación, la TSM media tropical es un indicador razonable de la temperatura de la tropósfera libre tropical, la cual representa el perfil de temperatura adiabático húmedo de las regiones lluviosas tropicales.

Por lo tanto, los dos principales ingredientes de la inestabilidad convectiva tropical (temperatura superficial cálida y temperaturas troposféricas frías) pueden aproximarse mediante anomalías locales y tropicales de la TSM media, respectivamente; en tanto, su diferencia, la TSM relativa, es un indicador de la inestabilidad condicional tropical. Esta lógica también se aplica a los cambios en el umbral de convección tropical en lugares como la zona fría del Pacífico oriental, que suele ser convectivamente inactiva, ya que este umbral tiende a seguir las TSM medias tropicales (Johnson y Xie, 2010). Por lo tanto, se deduce que los cambios locales en las TSM, como los de la región de Niño 3.4, solo pueden asociarse con cambios en la precipitación local si la TSM local está por encima del umbral de convección (que está determinado por las TSM medias tropicales).

4. ¿Cuáles son las ventajas de utilizar un índice relativo ENOS?

Un índice relativo ENOS está justificado físicamente debido a la relación inherente entre las anomalías relativas de la TSM y las anomalías de la convección tropical. También es fácil de calcular (Sección 2) y los usuarios pueden encontrar un índice basado en la TSM más intuitivo de usar debido a su experiencia previa con los índices tradicionales de la TSM de ENOS. Además, un índice relativo de la TSM se puede calcular sobre un registro observacional de la TSM con control de calidad que se remonta a un tiempo más lejano que muchos registros atmosféricos del Pacífico tropical, como los de la radiación de onda larga saliente y

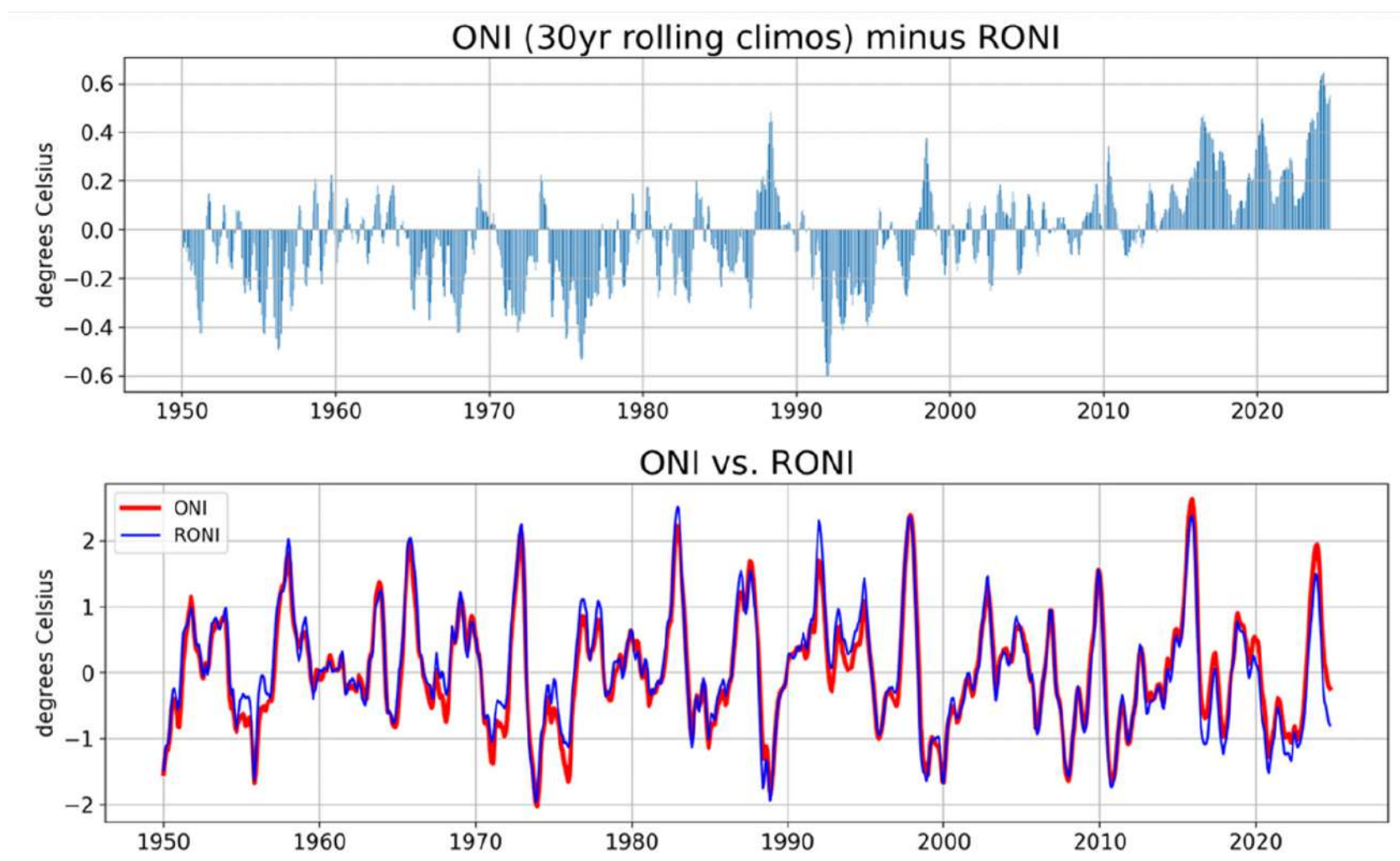


Figura 3. Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) utilizado actualmente en el monitoreo oficial de ENOS de la NOAA (climatología móvil de 30 años; línea roja) y el índice ONI Relativo (RONI) con una única climatología de 1991-2020 (línea azul; panel inferior). El panel superior muestra la diferencia entre los dos índices. Datos: ERSSTv5.

precipitación, que dependen de los satélites y datan aproximadamente de 1979. Sin embargo, durante muchas décadas, un índice ENOS que utiliza anomalías tradicionales de la temperatura de la superficie del mar estuvo suficientemente vinculado a las anomalías de la precipitación, por lo que el uso de anomalías de la temperatura de la superficie del mar ha sido un indicador eficaz del estado acoplado de ENOS. ¿Qué ha cambiado recientemente que ha hecho que el uso de un índice relativo de la temperatura de la superficie del mar sea más atractivo?

4.1 Cambios recientes observados en RONI versus ONI

La Figura 3 muestra la diferencia entre el ONI tradicional (utilizando la climatología móvil de 30 años detallada en la Sección 1) y el ONI relativo (RONI). Durante el último año, el RONI ha estado al menos 0.5 °C más frío que el ONI tradicional. Además, se está volviendo más evidente que las diferencias tienden a aumentar, lo que implica que la estrategia de restar la climatología de 30 años, incluso si es móvil y actualizada, puede no eliminar

adecuadamente las tendencias de largo plazo. Estas diferencias son significativas y son comparables con los umbrales usados para identificar los eventos de El Niño y La Niña. También es preocupante que estas diferencias parezcan manifestarse en desfases entre las TSM tradicionales y otros índices atmosféricos ENOS. La Figura 4 muestra la evolución mensual más reciente (hasta noviembre de 2024) de Niño 3.4 tradicional, Niño 3.4 relativo, el índice de Oscilación Sur Ecuatorial (EQSOI, por sus siglas en inglés) y el índice de Radiación de Onda Larga saliente del Pacífico central (CP OLR, por sus siglas en inglés). La evolución actual se muestra con la línea negra y se superpone con todos los demás años de La Niña (identificados utilizando los criterios históricos del ONI en la Sección 1) desde 1950 o 1979 (en el caso de CP OLR). Asimismo, se muestra que el índice Niño 3.4 relativo está más alineado con los otros dos índices atmosféricos, y también con otras evoluciones pasadas de La Niña, que el índice tradicional de Niño 3.4. De hecho, es posible que este próximo invierno de 2024-2025 se clasifique retrospectivamente como ENOS-neutral utilizando los criterios tradicionales del ONI, pero se consideraría un episodio de La Niña si se utilizara en su lugar el RONI.

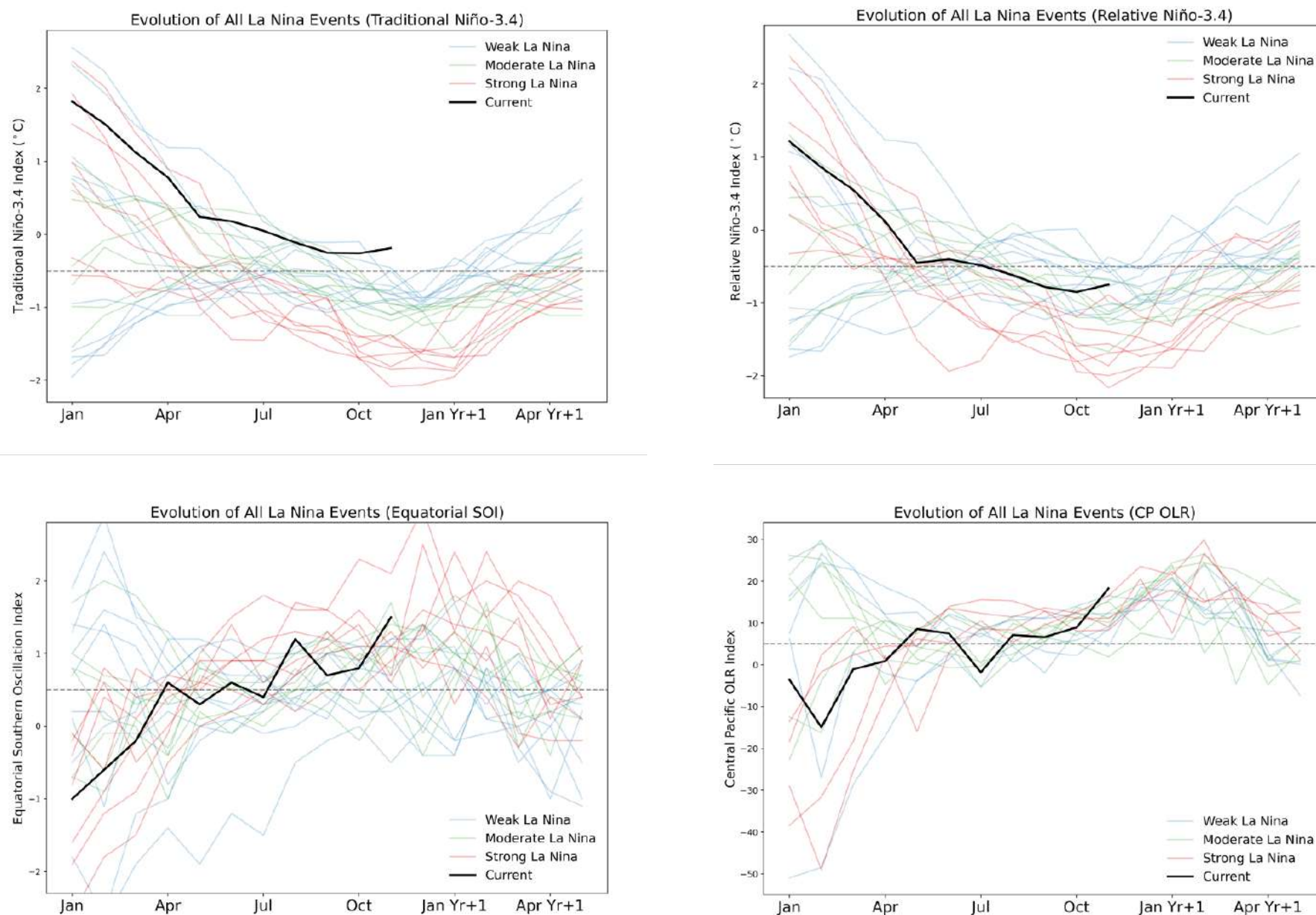


Figura 4. Valores mensuales del índice Niño 3.4 tradicional (arriba a la izquierda), índice Niño 3.4 relativo (arriba a la derecha), SOI ecuatorial (abajo a la izquierda) y OLR del Pacífico central (abajo a la derecha). La línea negra es la evolución actual de enero a noviembre de 2024. Años de La Niña anteriores seleccionados en función de la definición de umbrales de ONI de 5+ consecutivos del ONI actual de la NOAA (climatología móvil de 30 años).

Si se mira más atrás del año más reciente, se pueden crear reconstrucciones de anomalías climáticas para evaluar qué tan bien los índices describen las anomalías observadas. Una reconstrucción se calcula 1) haciendo una regresión lineal de las anomalías climáticas sobre los ONI tradicional y relativo, y luego 2) multiplicando los coeficientes de regresión por el valor observado del ONI tradicional o relativo, de modo que la amplitud refleje la componente del valor observado de la anomalía climática de interés explicada por dicho índice. La Figura 5 muestra los errores en la reconstrucción de las anomalías de precipitación del GPCP (<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.gpcp.html>) para la primera mitad del registro (columna izquierda) y la segunda mitad del registro (columna derecha). En estos gráficos, solo se consideran las estaciones de invierno boreal (noviembre-enero, diciembre-febrero, enero-marzo) dado que ENOS tiende a alcanzar su pico y tener sus

mayores impactos durante esas estaciones. En la fila superior, se calcula un error cuadrático medio (RMSE, por sus siglas en inglés) para mostrar la diferencia entre la reconstrucción usando el ONI y las anomalías observadas. La segunda fila muestra el RMSE para la reconstrucción basada en el RONI. La fila inferior muestra las diferencias del RMSE entre el RONI y el ONI, de modo que el sombreado azul indica dónde la reconstrucción, usando el RONI, proporciona un mejor ajuste a las observaciones. Cabe destacar que, en este conjunto de datos de precipitación, la región del Pacífico central antes mencionada (del CP OLR, identificada por un rectángulo negro), muestra un error menor usando RONI. Esta región está fuertemente relacionada con las anomalías de la TSM y la dinámica acoplada de ENOS (L'Heureux et al., 2015). Si bien ambas mitades del registro indican un mejor ajuste en el Pacífico central con RONI, esta diferencia se ha intensificado en la mitad más reciente.

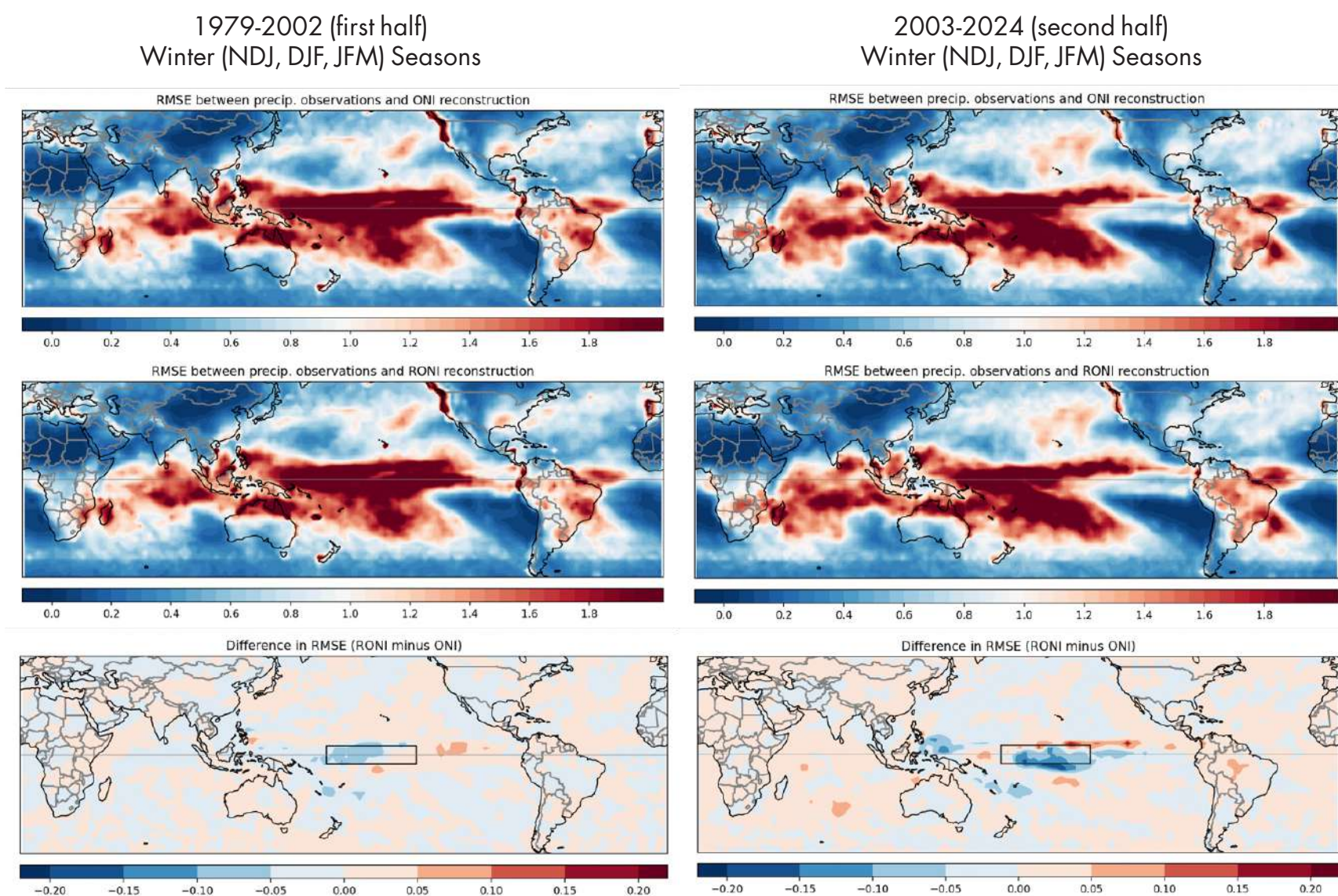


Figura 5. Error cuadrático medio entre anomalías de precipitación y reconstrucciones basadas en el ONI tradicional (fila superior), el ONI relativo (fila central) y la diferencia en el RMSE (fila inferior). La columna de la izquierda corresponde a las temporadas de invierno (noviembre-enero, diciembre-febrero, enero-marzo) de 1979 a 2002, mientras que la columna de la derecha a las temporadas de invierno de 2003 a 2024. Datos: GPCP.

El mismo procedimiento de reconstrucción se aplica a las series temporales de precipitación en el Pacífico central (CP, por sus siglas en inglés) (utilizando los datos de GPCP que se muestran en la Figura 5) y del EQSOI para estaciones superpuestas durante sus periodos de registro. La Figura 6 muestra los índices de precipitación CP y EQSOI observados (negro), junto a la reconstrucción con el ONI tradicional (naranja) y la reconstrucción con RONI (azul). Para comparar más directamente RONI y ONI con las observaciones, la Figura 7 muestra la diferencia en el error absoluto ($\text{error} = \text{reconstrucción} - \text{observaciones}$) usando RONI y ONI para la precipitación de CP (panel superior) y el EQSOI (panel inferior). En las figuras, los valores negativos indican que la reconstrucción RONI coincide mejor con la amplitud de los valores del índice observados y los valores positivos significan que la reconstrucción ONI coincide mejor. A partir de estas series temporales, queda claro que RONI describe cada vez mejor la intensidad de las anomalías observadas en el registro reciente (especialmente desde ~2015). Este periodo coincide aproximadamente con

aquel en el que la divergencia entre RONI y ONI en sí ha sido mayor (Figura 3).

En su evaluación de RONI y ONI, L’Heureux et al. (2024) también demostraron que, para ciertas estaciones y regiones (temporadas de invierno en Australia y Estados Unidos), el índice de SST relativo está más fuertemente correlacionado con las anomalías de precipitación observadas (ver su Figura 13). Sobre Indonesia y el Pacífico tropical, un mapa de regresión de anomalías de precipitación (ver su Figura 12) indica que RONI proporciona un patrón de dipolo más nítido y desfasado de anomalías de precipitación (en comparación con ONI). Un análisis similar, que analizó el coeficiente de correlación sobre el Pacífico tropical, no mostró que un índice fuera más eficaz para describir la variabilidad de temporada a temporada que el otro. Por lo tanto, la ventaja del RONI sobre el ONI parece estar principalmente en las métricas que describen la amplitud de las anomalías observadas (en contraste con la variabilidad temporal), en particular sobre el registro histórico reciente.

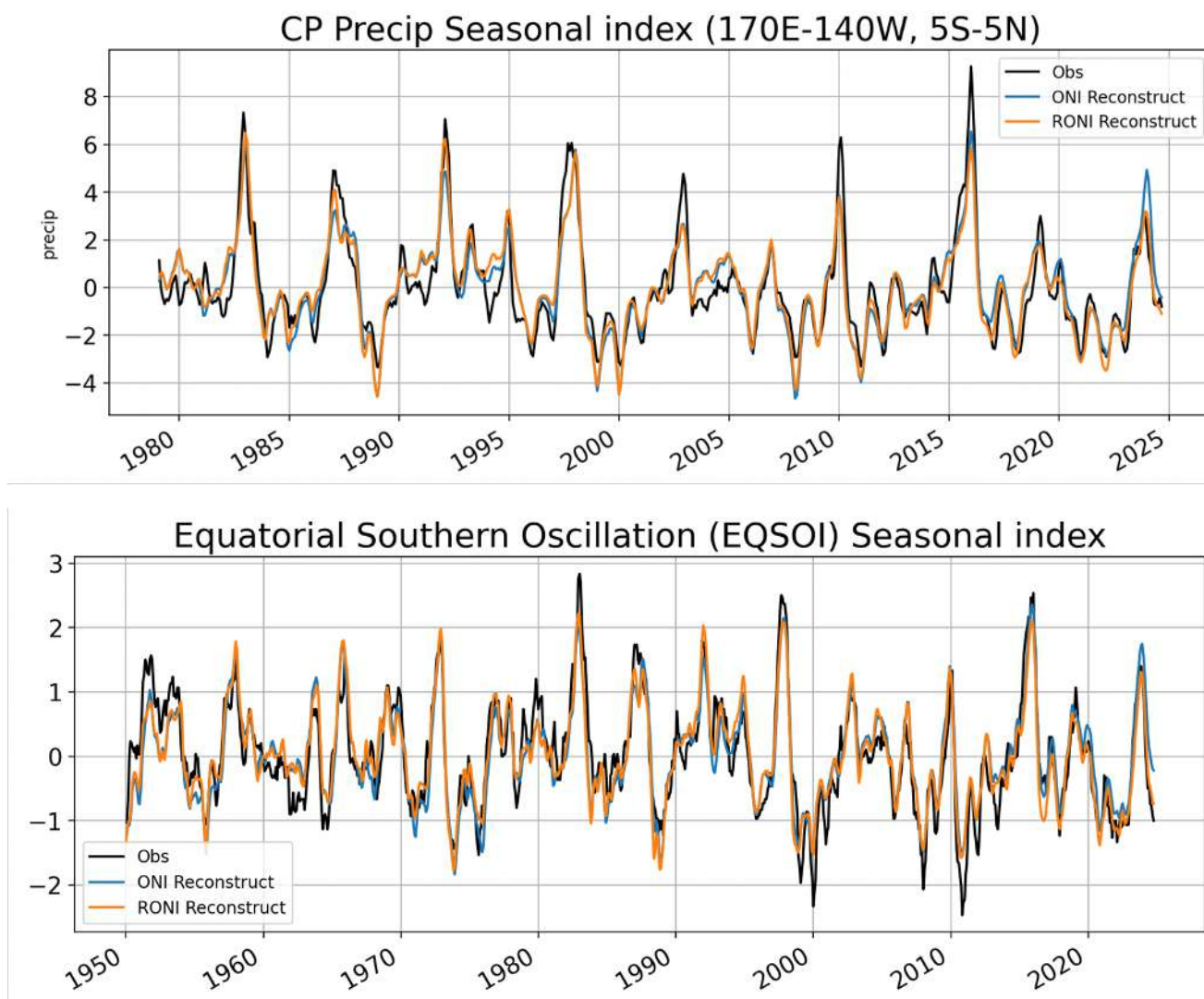


Figura 6. Error cuadrático medio entre anomalías de precipitación y reconstrucciones basadas en el ONI tradicional (fila superior), el ONI relativo (fila central) y la diferencia en el RMSE (fila inferior). La columna de la izquierda corresponde a las temporadas de invierno (noviembre-enero, diciembre-febrero, enero-marzo) de 1979 a 2002, mientras que la columna de la derecha a las temporadas de invierno de 2003 a 2024. Datos: GPCP.

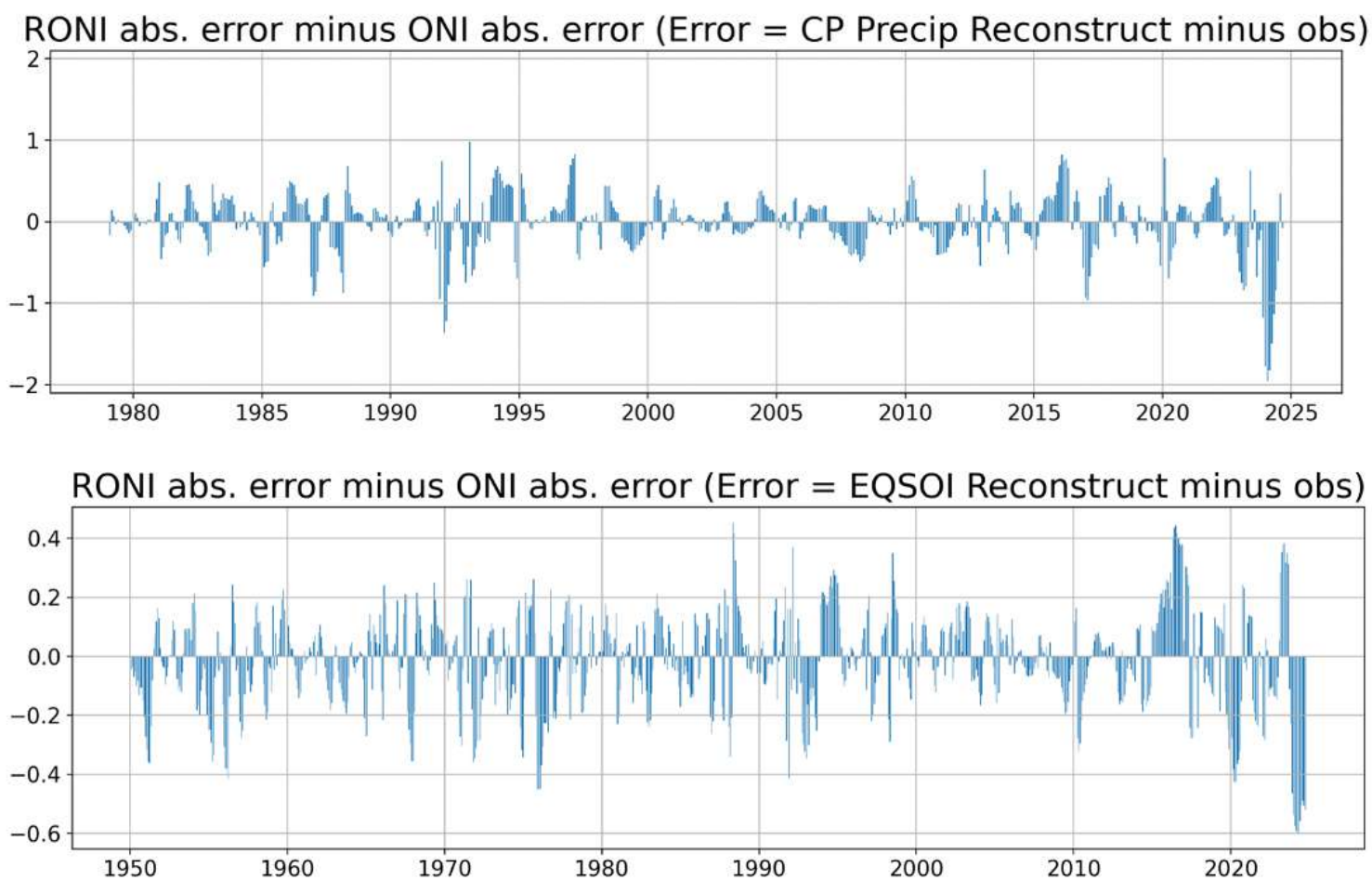


Figura 7. (Panel superior) Para el índice de precipitación del Pacífico central, la diferencia en el error absoluto en el RONI y el error absoluto en el ONI. El error absoluto se define como la diferencia entre la reconstrucción y las observaciones. (Panel inferior) Como en el panel superior, pero para el SOI ecuatorial.

4.2 Cambios recientes en el error de pronóstico

L’Heureux et al. (2024) también examinaron la habilidad de pronóstico para el periodo 1991-2022, medida por la correlación y el error cuadrático medio (RMSE), sobre los repronósticos (*reforecasts*) de los modelos del Conjunto Multimodelo de América del Norte (NMME, por sus siglas en inglés). Encontraron que la habilidad de pronóstico del índice de TSM relativo era comparable al índice tradicional, con la excepción de los tiempos de inicio en la primavera boreal que se alinean con la barrera de predictibilidad de la primavera. Durante estas estaciones, el índice tradicional parece proporcionar cierta habilidad adicional sobre el índice relativo, aunque las diferencias son a menudo pequeñas y estadísticamente insignificantes. Parece que la ligera disminución en la habilidad está vinculada a la capacidad de los modelos para predecir el índice de TSM medio tropical. El índice de TSM medio tropical está correlacionado con el índice Niño 3.4, por lo que restar la media tropical da como resultado la sustracción de una fuente de habilidad (y esta habilidad es más alta en la primavera boreal).

Desde que se publicó ese artículo, las predicciones NMME de RONI y ONI se han monitoreado y evaluado periódicamente (la Figura 8 muestra la media del conjunto de las predicciones desde enero de 2024). Después del importante evento El Niño de 2023-2024, las predicciones de RONI y ONI han sido, en general, demasiado frías, con un fuerte evento

La Niña pronosticado inicialmente según ambos índices. Sin embargo, las predicciones NMME de la media del conjunto del ONI tradicional tienen mayores errores absolutos (pronósticos comparados con observaciones) que las predicciones NMME para RONI. Esto también se puede ver en la Figura 9, que muestra el error absoluto de las predicciones de ONI menos el error absoluto para RONI como una función del tiempo de inicio (eje x) y el tiempo de anticipación (eje y). El sombreado rojo muestra cuándo ha habido más error de pronóstico en el ONI y es particularmente notable para los tiempos de inicio hasta ahora en 2024. Para facilitar la lectura, el panel inferior de la Figura 9 muestra un subconjunto del panel superior, que se remonta a 1981, y se enfoca en el periodo más reciente de 2015 a 2024. Lo que es interesante sobre el registro más largo es que, visualmente, parece que la incidencia del sombreado rojo está aumentando, lo que indica que el RONI se asocia cada vez más con errores de pronóstico más pequeños que el ONI tradicional. La Figura 10 muestra una diferencia en el error cuadrático medio entre el ONI y el RONI en función del tiempo de inicio y de anticipación durante 1981-2009 (panel izquierdo) y 2010-2024 (panel derecho). Aquí se hace más evidente que el error de pronóstico NMME para el RONI es generalmente menor que el del ONI tradicional en las últimas décadas. Por lo tanto, de manera similar al análisis que utiliza observaciones en la sección anterior, los pronósticos de RONI parecen estar más alineados con las anomalías observadas, particularmente en el registro reciente.

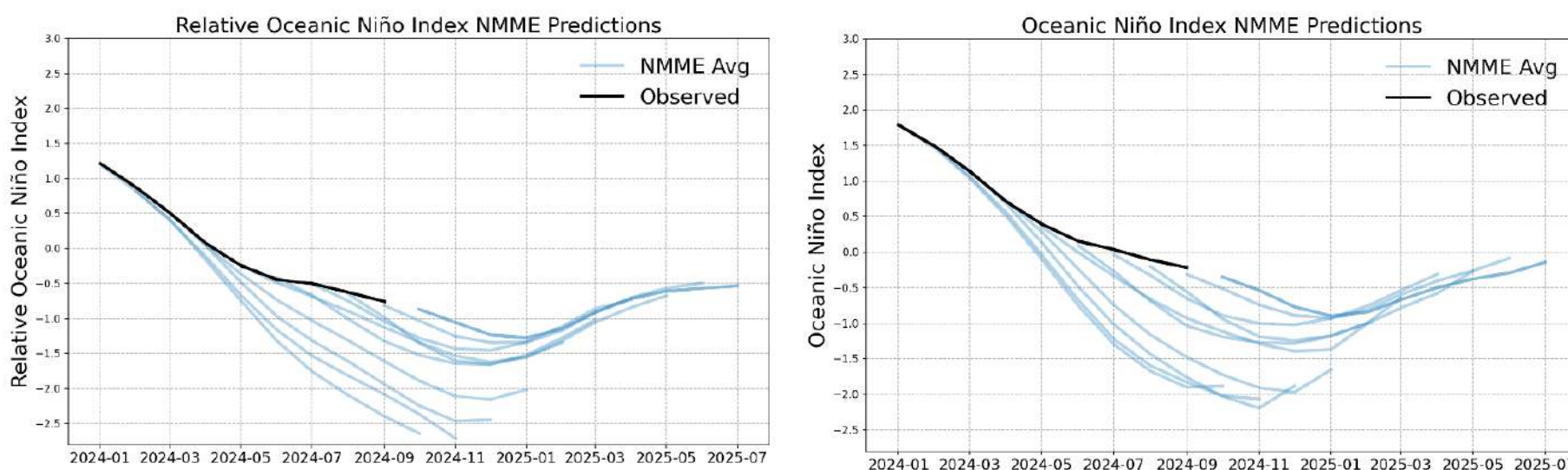


Figura 8. Media del conjunto de pronósticos para RONI (panel izquierdo) y ONI (panel derecho). Las líneas azules muestran las predicciones promedio de NMME a partir de enero de 2024 hasta octubre de 2024. La línea negra es el ONI y RONI observados (ERSSTv5).

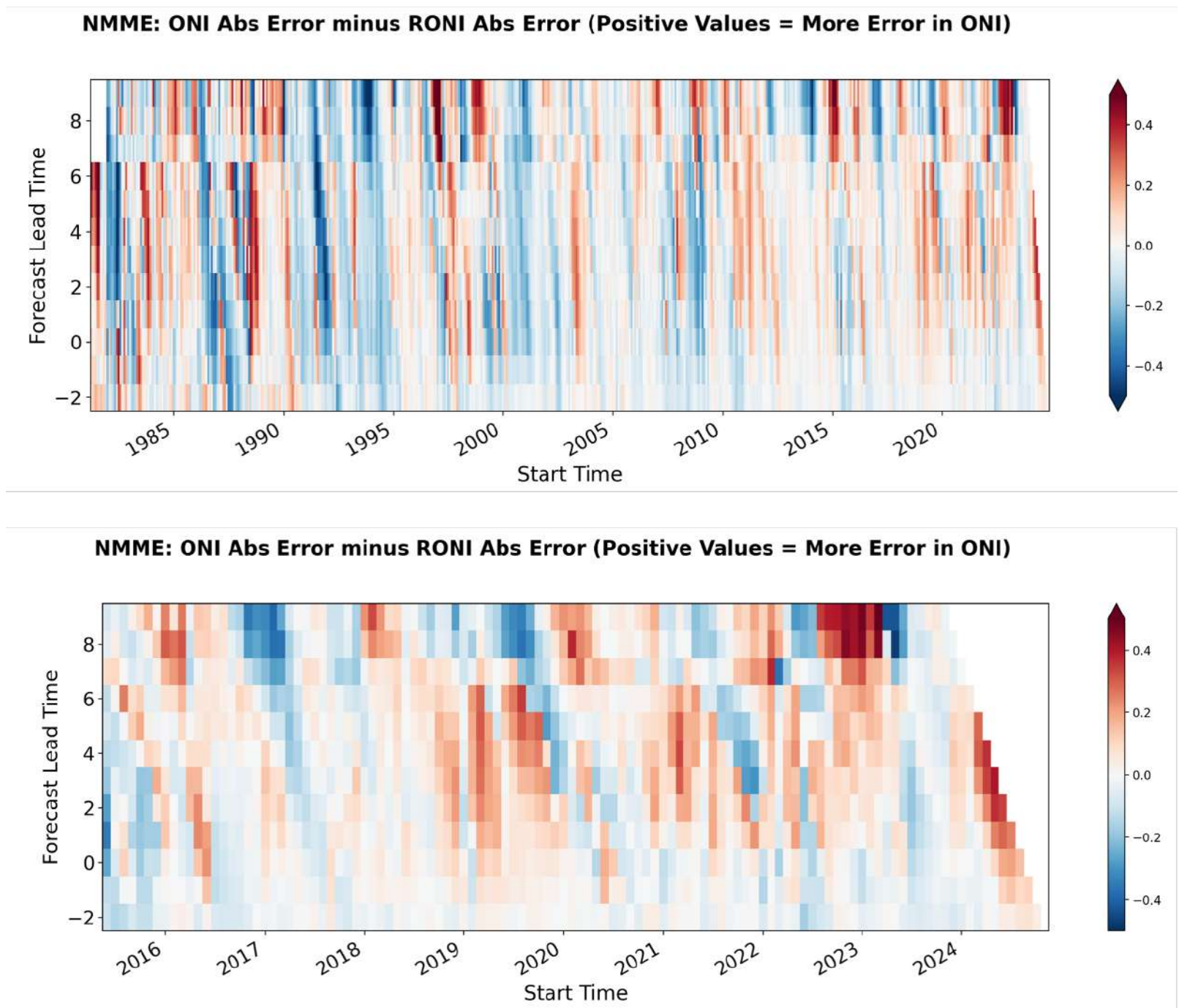


Figura 9. Para cada hora de inicio y tiempo de anticipación, la diferencia está en el error absoluto de los pronósticos del ONI y del RONI, donde el error es la media del conjunto de pronósticos menos las observaciones. El panel superior muestra todas las predicciones de NMME desde 1981 hasta 2024, mientras que el panel inferior muestra un subconjunto para esos pronósticos desde 2015 en adelante.

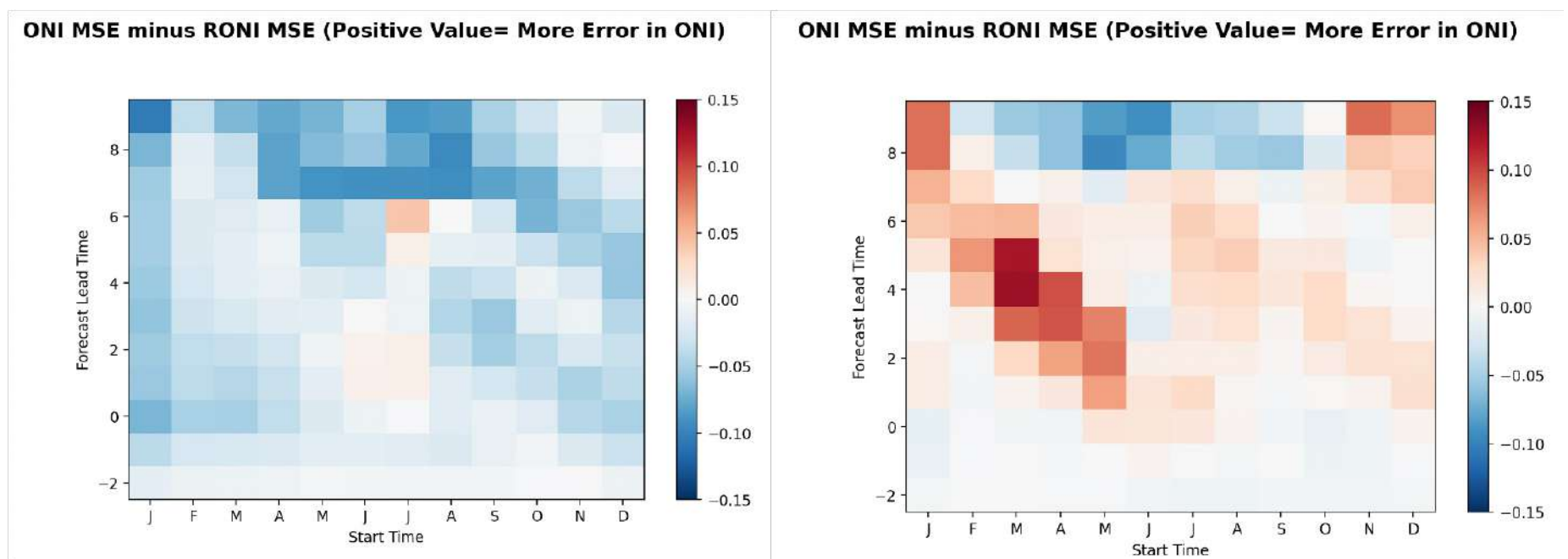


Figura 10. La diferencia en el error cuadrático medio de las predicciones del ONI y del RONI para cada hora de inicio y tiempo de anticipación. El panel izquierdo muestra la diferencia para el periodo de 1981 a 2009 y el panel derecho para el periodo de 2010 a 2024.

5. Hacia adelante

El índice relativo ONI y el índice Niño 3.4 tienen varias características que los hacen atractivos para monitorear y predecir ENOS. Hemos señalado algunos de estos aspectos en este artículo, pero las tendencias climáticas futuras pueden justificar aún más el uso de anomalías relativas de la TSM en lugar de las anomalías tradicionales. No hemos analizado cómo podría cambiar el índice relativo de la TSM en los próximos años y décadas, por lo que exploraciones adicionales deberían analizar simulaciones climáticas de Grandes Conjuntos y otras estilo CMIP. Todavía hay preguntas abiertas sobre por qué el ONI relativo parece haberse vuelto cada vez más relevante en el monitoreo y pronóstico en tiempo real. Es posible que el índice relativo esté creando alias con otros modos de variabilidad tropical decenal y multidecenal, lo que lo hace particularmente útil en este momento. Por lo tanto, una prioridad para el trabajo futuro debería ser continuar explorando los supuestos y los mecanismos físicos que sustentan el índice. Por ejemplo, se requiere una única climatología para calcular el índice relativo de la TSM porque el ciclo estacional de Niño 3.4 y la media tropical no son los mismos (Figura 2, paneles superiores). En este momento, no hay evidencia observada de que la diferencia en la estacionalidad de estos dos índices esté cambiando de manera significativa (Figura 2, panel inferior); sin embargo, si divergieran sustancialmente, sería necesario reexaminar el índice de TSM relativo. Otra prioridad es continuar monitoreando y pronosticando RONI y Niño 3.4 relativo en tiempo real, especialmente dada la importancia de ENOS en todo el mundo en la toma de decisiones y las evaluaciones de riesgos. El hecho de que el ONI tradicional parezca estar cada vez más desalineado con otros índices atmosféricos tropicales es bastante preocupante, porque el índice ONI/Niño 3.4 es un índice ENOS primario para la mayoría, si no casi todos, los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales. Esperamos que este resumen ayude a arrojar luz adicional sobre los desarrollos que han ocurrido desde que se publicaron los estudios de van Oldenborgh et al. (2021) y L'Heureux et al. (2024), y estimule el análisis futuro sobre esta importante cuestión.

Referencias

Barnston, A. G., Chelliah, M., & Goldenberg, S. B. (1997). Documentation of a highly ENSO-related SST region in the equatorial pacific: Research note. *Atmos.-Ocean*, 35(3), 367-383.

Johnson, N. C., & Xie, S.-P. (2010). Changes in the sea surface temperature threshold for tropical convection. *Nature Geoscience*, 3(12), 842–845. doi:10.1038/ngeo1008

L'Heureux, M. L., Levine, A. F. Z., Newman, M., Ganter, C., Luo, J., Tippett, M. K., & Stockdale, T. N. (2020). ENSO Prediction. *El Niño Southern Oscillation in a Changing Climate*, 227–246. doi:10.1002/9781119548164.ch10

L'Heureux, M. L., Tippett, M. K., Wheeler, M. C., Nguyen, H., Narsey, S., Johnson, N., ... & Di Liberto, T. (2024). A relative Sea Surface temperature index for classifying ENSO events in a changing climate. *Journal of Climate*, 37(4), 1197-1211.

Sobel, A. H., Nilsson, J., & Polvani, L. M. (2001). The weak temperature gradient approximation and balanced tropical moisture waves. *Journal of the atmospheric sciences*, 58(23), 3650-3665.

Sobel, A. H., Held, I. M., & Bretherton, C. S. (2002). The ENSO signal in tropical tropospheric temperature. *Journal of climate*, 15(18), 2702-2706. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<2702:TESITT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<2702:TESITT>2.0.CO;2).

Van Oldenborgh, G. J., Hendon, H., Stockdale, T., L'Heureux, M., De Perez, E. C., Singh, R., & Van Aalst, M. (2021). Defining El Niño indices in a warming climate. *Environmental research letters*, 16(4), 044003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe9ed>.

Lecturas adicionales

L'Heureux (2021): NOAA ENSO Blog, <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/enso-running-fever-or-it-global-warming>

Becker (2024): NOAA ENSO Blog, <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/november-2024-enso-update-ask-me-anything>

Johnson (2024): NOAA ENSO Blog, <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/can-little-la-nina-pack-big-precipitation-punch>

Becker (2024): NOAA ENSO Blog, <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/december-2024-enso-update-party-time-excellent>

Notas

* Traducción al español por Ken Takahashi.

** Muchos registros de TSM se remontan a fines del siglo XIX, pero los registros de observación irregulares significan que hay más incertidumbre. El Índice de Oscilación del Sur (SOI, por sus siglas en inglés), que es la diferencia en la presión media del nivel del mar entre las estaciones ubicadas en Tahití y Darwin, también se remonta a fines del siglo XIX y está relacionado con ENSO. En las actividades operacionales de ENOS actuales en CPC, el SOI no es tan central como las TSM ecuatoriales, en parte, porque está basado en puntos, ya que Tahití se encuentra bastante alejado del ecuador (cerca de 20° S), contiene una variabilidad mensual y submensual considerable, y es menos predecible que las anomalías de TSM ecuatorial.

ÍNDICE COSTERO EL NIÑO RELATIVO (ICENr)

Jorge Reupo¹, Ken Takahashi¹ y Kobi Mosquera¹

¹ Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú

Palabras clave: ICEN, ICENr, ONI, RONI, El Niño costero, Temperatura superficial del mar relativa

Citar como Reupo, J., Takahashi, K., & Mosquera, K. (2024). Índice costero El Niño relativo (ICENr). *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 11 n.º 09, págs. 16-21.

¿Cuál es la **contribución** de esta investigación para los tomadores de decisiones?*

El Índice Costero El Niño relativo (ICENr) reduce la influencia del cambio climático en el monitoreo de El Niño y La Niña en la costa peruana, y se constituye como una herramienta confiable que complementa la evaluación del desarrollo de estos eventos por parte de la Comisión ENFEN. De esta manera, el ICENr podría ser considerado por tomadores de decisiones para planificar estrategias de mitigación y adaptación, optimizar sistemas de alerta temprana y priorizar acciones en sectores vulnerables como infraestructura y recursos hídricos.

Resumen

Se presenta el “Índice Costero El Niño relativo” o ICENr, una nueva versión del Índice Costero El Niño basada en las anomalías de las temperaturas superficiales del mar relativas, es decir, con respecto al promedio tropical, con el objeto de reducir la contaminación de dicho índice por el calentamiento global y contar con una medida más confiable y robusta de los eventos El Niño y La Niña en nuestra costa.

1. Introducción

La definición de El Niño y La Niña es un tema que se discute desde hace muchos años, pero no se ha logrado un consenso. Si bien el concepto se originó en el Perú, entendiendo el fenómeno El Niño como un evento climático anormalmente cálido y lluvioso en nuestra costa norte, a nivel internacional se ha optado por definir El Niño y La Niña según la temperatura

superficial del mar (TSM) en el centro del Pacífico ecuatorial. Además, recientemente se ha determinado que el Perú es afectado por las variaciones en ambas regiones, por lo que la Comisión ENFEN distingue El Niño/La Niña en el Pacífico oriental (o “costero”) y en el Pacífico central (ENFEN, 2012, 2015).

En los últimos años, ha surgido una nueva complicación práctica debido a que el cambio climático está produciendo una señal cada vez más fuerte que “contamina” los índices de TSM. Es decir, las anomalías de la TSM en el Pacífico ecuatorial, central u oriental, no son indicadores solo de El Niño o La Niña, sino que cada vez más reflejan el efecto del calentamiento global. Si esto no se corrige, el calentamiento progresivo se podría interpretar erróneamente como un aumento en la frecuencia de El Niño y menor frecuencia de La Niña.

La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) de los EE. UU., quienes utilizan el Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas

en inglés) para el monitoreo de El Niño y La Niña en el Pacífico central (región Niño 3.4, 170°-120° W, 5°S-5° N), implementaron en 2011 un método para reducir este problema, el cual emplea climatologías móviles de treinta años que son actualizadas cada cinco años (ver L'Heureux et al., 2024b; este número). Este mismo método ha sido recientemente adoptado por la Comisión ENFEN en una actualización del Índice Costero El Niño (ICEN; ENFEN, 2024); sin embargo, este método tiene una serie de problemas, como la existencia de discontinuidades en los valores, las dificultades de usarlo en tiempo real (por lo que se tiene hasta cuatro diferentes valores publicados para un mismo dato) y que, a pesar de todo, no logra eliminar satisfactoriamente la contaminación debida al cambio climático (L'Heureux et al., 2024b, este número). Por esto, la NOAA ha visto la necesidad de desarrollar un mejor índice, lo cual les ha llevado a plantear una modificación del ONI fundamental desde un punto de físico, utilizando la "TSM relativa" para calcular el "ONI relativo" (RONI, por sus siglas en inglés; van Oldenborgh et al, 2011, L'Heureux et al., 2024a,b).

En forma análoga, en el Instituto Geofísico del Perú (IGP) se ha desarrollado una propuesta similar como alternativa para el Índice Costero El Niño (ICEN, basado en la anomalía de la TSM en la región Niño 1+2; ENFEN, 2012), denominada "ICEN relativo" (ICENr). A grandes rasgos, lo que se busca con el ICENr es no solo medir las fluctuaciones de la TSM en el Pacífico oriental con respecto al promedio, sino también determinar el efecto de El Niño y La Niña sobre la TSM en dicha región. La "TSM relativa" (van Oldenborgh et al., 2011) parte de la idea de que el cambio climático calienta toda la región tropical de manera aproximadamente uniforme, por lo que el promedio de la TSM del océano tropical (20° S-20° N) representaría dicho efecto. Sin embargo, un detalle importante es que El Niño-Oscilación Sur (ENOS), como fenómeno océano-atmósfera de escala global que se puede cuantificar mediante el ONI, también produce fluctuaciones en el promedio de la TSM tropical, las cuales se deben remover de dicho promedio para poder aislar el efecto del cambio climático. Una vez que se cuenta con dicho efecto del cambio climático en la TSM tropical, se resta del ICEN para obtener el ICENr, el cual es un indicador más puro de El Niño y La Niña en el Pacífico oriental. Finalmente, para poder seguir utilizando los mismos umbrales del ICEN en el ICENr, y definir los eventos El Niño/La Niña y sus magnitudes, se aplica una pequeña corrección de amplitud a este último.

2. Metodología

Como se indicó anteriormente, el primer paso para el cálculo del ICEN relativo (ICENr) es obtener la estimación del efecto del cambio climático (y otros modos de variabilidad que no corresponden a ENOS) en la anomalía TSM tropical promedio (T_{trop}^{NoENOS}). Para esto, se establece como referencia la climatología del periodo 1991-2020 y se calcula tanto el promedio de la anomalía de la TSM, con media móvil de 3 meses, en la región 0°-360° y 20° S-20° N (T_{trop}), como el ICEN sin corrección (ICEN_{SC} en adelante), es decir, usando la metodología original de ENFEN (2012), pero modificando el periodo para la climatología. Luego, se estima el efecto de ENOS sobre T_{trop} mediante una regresión lineal de esta variable sobre los valores del ONI (proporcionada por la NOAA en <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>), con la tendencia lineal de cada variable removida previamente (lo cual se indica con un apóstrofe), con un desfase correspondiente a dos meses antes (ONI'_{t-2}):

$$T'_{trop} = \beta ONI'_{t-2} + \varepsilon$$

El desfase de dos meses corresponde a la máxima correlación lineal entre ONI' y T'_{trop} (la correlación es solo ligeramente menor con un desfase de un mes), y refleja el tiempo requerido por la señal de ENOS en propagarse a todos los trópicos. Considerando los datos sobre el periodo 1950-2024, se obtuvo el valor de 0.21 para el coeficiente de regresión β , el cual se asume igual para todos los meses del año por simplicidad. El término ε corresponde a los otros factores que afectan a T'_{trop} , que normalmente en las regresiones se considera como "ruido" o "error", pero que en este caso contiene la señal residual del cambio climático y otros modos climáticos. De esta manera, el efecto de ENOS sobre la temperatura tropical se puede estimar como βONI_{t-2} . Así, para poder determinar las variaciones de T_{trop} que no dependen de ENOS, simplemente las restamos y obtenemos T_{trop}^{NoENOS} :

$$T_{trop}^{NoENOS} = T_{trop} - \beta ONI_{t-2}, \beta = 0.21$$

En la Figura 1 se verifica que T_{trop}^{NoENOS} está dominado por una tendencia positiva consistente con el calentamiento global. Así, ahora podemos estimar las variaciones de la TSM en el Pacífico oriental que

solo corresponden a El Niño y La Niña (tanto eventos ENOS como los puramente costeros, como en 1925 y 2017), restando del $ICEN_{SC}$ la señal asociada al calentamiento global y otros modos climáticos, estimada como T_{trop}^{NoENOS} , con lo que se obtiene el ICEN relativo:

$$ICENr = (ICEN_{SC} - T_{trop}^{NoENOS})$$

Dado que esta operación resulta en una ligera reducción en la varianza de ICENr con respecto al $ICEN_{SC}$, y para poder seguir utilizando los mismos umbrales e identificar los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes (ENFEN, 2012), se multiplica el ICENr por un factor de escala de 1.04, correspondiente al ratio de las desviaciones estándar de ambos índices para el periodo 1950-2024, con lo cual se incrementa la varianza en 8 %.

3. Resultados

Una de las motivaciones principales para proponer el ICENr fue reducir la “contaminación” producida por el calentamiento global en la identificación de eventos de El Niño y La Niña usando el $ICEN_{SC}$, situación que se aprecia rápidamente con una mayor predominancia de eventos La Niña en la primera mitad del registro y de El Niño en la segunda mitad (Tabla 1, izquierda), mientras que con el ICENr hay un balance similar entre El Niño y La Niña en todo el registro (Tabla 1, derecha). Considerando el $ICEN_{SC}$ (climatología 1991-2020), se observó en el periodo 1951-1980 el doble de eventos La Niña que El Niño, mientras que en el periodo 1991-2020 se tuvo poco más del doble de eventos El Niño que La Niña (Tabla 2). Por otro lado, según el ICENr (climatología 1991-2020), en el periodo 1951-1980 también se observa superioridad de eventos La Niña que El Niño, aunque ligera (10 vs. 7 eventos, respectivamente), mientras que en el periodo 1991-2020 se obtuvo el mismo número de eventos El Niño y La Niña que con el $ICEN_{SC}$ (Tabla 2).

Por otro lado, una de las ventajas del ICENr es su baja sensibilidad al periodo usado para la climatología. Por ejemplo, desde 1950, los valores del $ICEN_{SC}$ son en promedio 0.56 °C más cálidos si usamos la climatología de 1951-1980 en lugar de la de 1991-2020, lo cual es mayor que el umbral de 0.4 °C correspondiente a “condiciones cálidas débiles”, mientras que con el ICENr esto se reduce a

0.09 °C. Esta baja sensibilidad del ICENr se aprecia también en el número de eventos de El Niño y La Niña que, usando las climatologías para los periodos 1951-2010 y 1991-2020, solo varía en total en un evento El Niño (22 y 21 eventos, respectivamente; Tablas 1 y 2) y tres eventos La Niña (13 y 16). En cambio, con el $ICEN_{SC}$ se identifica menos de la mitad de eventos de La Niña con la climatología de 1951-1980 que con la de 1991-2020 (9 y 20 eventos, respectivamente), si bien en el caso de El Niño la diferencia no es tan pronunciada (25 y 21).

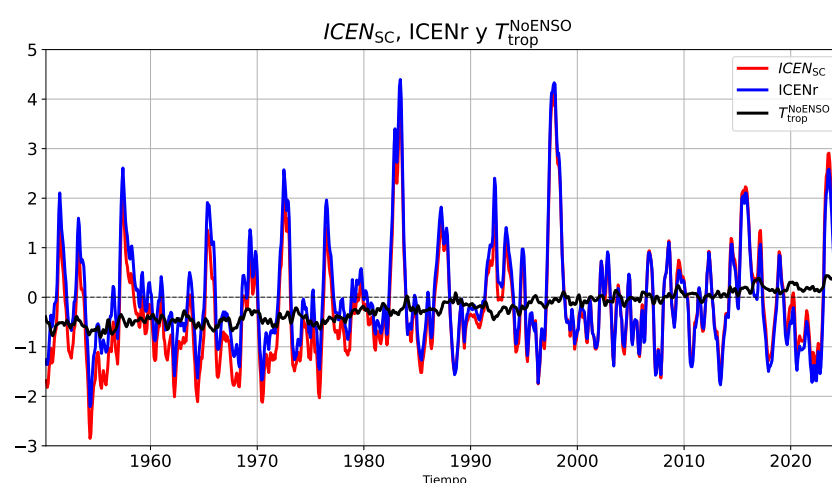


Figura 1. $ICEN_{SC}$, ICENr y T_{trop}^{NoENOS} durante el periodo 1951-2024, estimados con la climatología de 1991-2020.

En cuanto a eventos notables, en el siglo XXI se desarrollaron dos eventos El Niño costero importantes que tuvieron un fuerte impacto social y económico. Por un lado, se tuvo el que se desarrolló en el verano de 2017, exclusivamente frente a la costa peruana, solo comparable al evento de 1891 (Rodríguez, 2001) y al de 1925 (Takahashi & Martínez, 2019). Por otro lado, El Niño 2023/2024 tiene semejanzas, por su evolución temporal, a los eventos El Niño descritos en 1982 por Rasmusson y Carpenter (Peng et al., 2024), debido a que se inició frente a la costa peruana a fines del verano, con un calentamiento máximo durante el invierno, y luego se extendió hacia el Pacífico central, donde alcanzó un nuevo máximo de anomalía de TSM a fines de 2023.

Para el caso del primer El Niño costero, según el $ICEN_{SC}$, este evento se habría iniciado en diciembre de 2016, cinco meses después de finalizado el evento El Niño 2015/2016, y habría concluido en abril de 2017. Sin embargo, de acuerdo con el ICENr, este evento comenzó en enero de 2017, siete meses después del evento anterior, y finalizó en abril del mismo año, lo que lo coloca como uno de los más cortos, pero con un gran impacto negativo (Venkateswaran et al., 2017).

4. Conclusiones

La anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) “relativa”, es decir, aquella a la que el valor local de la anomalía se le resta la anomalía promediada sobre todos los trópicos, permite identificar mejor las variaciones que se deben a procesos de escala más locales, incluyendo El Niño y La Niña en el Pacífico ecuatorial, ello al eliminar la señal del cambio climático que produce un incremento generalizado de los índices de temperatura convencionales. Este último es el caso con el Índice Costero El Niño (ICEN), usado históricamente por la Comisión ENFEN (ENFEN, 2012, 2015), por lo cual recientemente se decidió incorporar correcciones periódicas al índice basadas en la actualización de las climatologías (ENFEN, 2024), tal como hace la NOAA de EE. UU. con el Índice Oceánico Niño (ONI). Sin embargo, la NOAA ha identificado una serie de problemas con este procedimiento y ha desarrollado la propuesta del ONI relativo (RONI), basado en la TSM relativa, que no presenta los problemas que genera el procedimiento vigente de actualizar las climatologías periódicamente.

De forma análoga, el IGP ha propuesto a la Comisión ENFEN un Índice Costero El Niño relativo (ICENr), el cual consiste en estimar y remover la señal del cambio climático (y otros modos de variabilidad no relacionados con ENOS) del ICEN sin corregir. Esta señal se estima mediante el promedio tropical de la anomalía de la TSM, a la que se le remueve la variabilidad asociada a ENOS (caracterizada con el ONI del mes previo) mediante regresión lineal.

El ICENr tiene la gran ventaja de reflejar solo la variabilidad local asociada principalmente a El Niño y La Niña, sin contaminación por el cambio climático, por lo que las estadísticas de estos eventos son estables en el tiempo. Además, el ICENr se puede usar en tiempo real, sin necesidad de recalcularlo su valor posteriormente, y no presenta discontinuidades, tal como ocurre con el procedimiento tradicional de la NOAA de actualizar las climatologías periódicamente. Si bien el ICENr requiere definir un periodo climatológico como referencia, los resultados son poco sensibles a la elección de dicho periodo, lo cual no ocurre con el ICEN sin corregir.

Algunos aspectos que requerirían ser evaluados incluyen el uso del ICENr, junto con otros índices, para

analizar la dinámica océano-atmósfera regional y los efectos de El Niño y La Niña en el Perú, así como la posibilidad de que aspectos secundarios del cambio climático, más allá del calentamiento promedio, puedan afectar al ICENr.

Operacionalmente, el IGP mantiene actualizados los valores del ICENr utilizando la climatología para el periodo 1991-2020 y los presenta ante la Comisión ENFEN como complemento al ICEN actualizado, además de publicarlos en su portal web: <http://met.igp.gob.pe/datos/ICENr.txt>

Referencias

- ENFEN, 2012: *Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú*, Nota Técnica.
- ENFEN, 2015: *Pronóstico probabilístico de la magnitud de El Niño costero en el verano 2015-2016*, Nota Técnica ENFEN 02-2015.
- ENFEN, 2024: *Definición operacional de los eventos El Niño costero y La Niña costera en el Perú*, Nota Técnica ENFEN 01-2024.
- Huang, B., Thorne, P. W., Banzon, V. F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J. H., ... & Zhang, H. M. (2017). Extended reconstructed sea surface temperature, version 5 (ERSSTv5): upgrades, validations, and intercomparisons. *Journal of Climate*, 30(20), 8179-8205.
- L'Heureux, M. L., Tippett, M. K., Wheeler, M. C., Nguyen, H., Narsey, S., Johnson, N., ... & Di Liberto, T. (2024a). A relative Sea Surface temperature index for classifying ENSO events in a changing climate. *Journal of Climate*, 37(4), 1197-1211
- L'Heureux, M., Johnson, N., & Tipper, M. (2024b). Una visión general de la temperatura de la superficie del mar relativa para el monitoreo y la predicción de El Niño-Oscilación Sur. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 11 n.º 09, págs. 4-15.
- Li, X., Hu, Z. Z., McPhaden, M. J., Zhu, C., & Liu, Y. (2023). Triple-Dip La Niñas in 1998–2001 and 2020–2023: Impact of mean state changes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 128(17), e2023JD038843. <https://doi.org/10.1029/2023JD038843>
- NOAA CPC, 2023: *Cold and warm ENSO episodes by season*. NOAA, accessed 30 June 2023, https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php.
- Peng, Qihua, Shang-Ping Xie, Gino A. Passalacqua, Ayumu Miyamoto, and Clara Deser, 2024: The 2023 Extreme Coastal El Niño: Atmospheric and Air-Sea Coupling Mechanisms. *Science Advances* 10, no. 12: eadk8646. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adk8646>.

Rasmusson, E. M., & Carpenter, T. H. (1982). Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly Weather Review*, 110(5), 354-384.. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1982\)110<0354:VITSST>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1982)110<0354:VITSST>2.0.CO;2)

Rodríguez, H. (2001). *El diluvio de 1891*. En Tarazona, J., Arntz, W. y Castillo de Maruenda, E.: *El Niño en América Latina. Impactos biológicos y sociales*, CONCYTEC, Lima, pp. 403-415.

Takahashi, K., & Martínez, A. G. (2019). The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Climate Dynamics*, 52, 7389-7415. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3702-1>

Takahashi, K., Mosquera Vásquez, K. A., & Reupo, J. (2014). El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización. *Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño"*, Vol. 1, N°2, 8-9, Instituto Geofísico del Perú.

Van Oldenborgh, G. J., Hendon, H., Stockdale, T., L'Heureux, M., De Perez, E. C., Singh, R., & Van Aalst, M. (2021). Defining El Niño indices in a warming climate. *Environmental research letters*, 16(4), 044003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe9ed>.

Venkateswaran, K., MacClune, K., & Enríquez, M. F. (2017). *El Niño Costero: The 2017 Floods in Peru*. Zurich Flood Resilience Alliance. <https://zcralliance.org/resources/item/el-nino-costero-las-inundaciones-de-2017-en-el-peru/>

RESUMEN INFORME TÉCNICO

n.º PPR/EL NIÑO-IGP/2024-08

Publicado el 12 de septiembre de 2024

Según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), en julio se mantiene la condición neutra (-0.69), la cual también se obtiene para el ICEN temporal (ICEN-tmp) de agosto (-0.51) y setiembre (-0.35). La mayoría de los pronósticos climáticos internacionales y nacionales indican un escenario de anomalías negativas de la TSM frente a la costa peruana, por lo pronto, hasta abril de 2025; sin embargo, estos valores se mantendrían en el rango neutral. Por lo pronto, no se configura un evento La Niña costera.

En el Pacífico central, el Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de julio (0.05), corresponde a la condición neutra, los valores del ONI temporal de agosto (-0.17) y setiembre (-0.56), indica las condiciones neutras y fría débiles, respectivamente. El promedio de los pronósticos de los modelos climáticos, con condiciones iniciales de setiembre, muestra que en octubre se iniciaría un evento La Niña en el Pacífico central de magnitud moderada, el que se extendería, por lo pronto, hasta abril de 2025.

El informe técnico completo se encuentra disponible en <https://bit.ly/InfTecnElNino2024-08IGP>



"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/2024-08

12/09/2024

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

Según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), en julio se mantiene la condición neutra (-0.69), la cual también se obtiene para el ICEN temporal (ICEN-tmp) de agosto (-0.51) y setiembre (-0.35). La mayoría de los pronósticos climáticos internacionales y nacionales indican un escenario de anomalías negativas de la TSM frente a la costa peruana, por lo pronto, hasta abril de 2025; sin embargo, estos valores se mantendrían en el rango neutral. Por lo pronto, no se configura un evento La Niña costera.

En el Pacífico central, el Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de julio (0.05), corresponde a la condición neutra, los valores del ONI temporal de agosto (-0.17) y setiembre (-0.56), indica las condiciones neutras y fría débiles, respectivamente. El promedio de los pronósticos de los modelos climáticos, con condiciones iniciales de setiembre, muestra que en octubre se iniciaría un evento La Niña en el Pacífico central de magnitud moderada, el que se extendería, por lo pronto, hasta abril de 2025.

www.igp.gob.pe | Calle Basadre N° 169
Urb. Mayorazgo IV Etapa
Ate. Lima 15012 - Perú.
(51) 13172300



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.

COMUNICADO OFICIAL

ENFEN n.º 12-2024



ESTUDIO NACIONAL DEL
FENÓMENO "EL NIÑO"

COMISIÓN MULTISECTORIAL ENCARGADA
DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO "EL NIÑO" – ENFEN
Decreto Supremo n.º 007-2017-PRODUCE

Estado del sistema de alerta: No activo¹

Publicado el 13 de septiembre de 2024

La Comisión Multisectorial del ENFEN en base a las condiciones océano atmosféricas y los pronósticos en la región Niño 1+2, mantiene el "Estado del sistema de alerta" de "No Activo".

Conforme al juicio experto del ENFEN, basado en los datos observados y los pronósticos de los modelos climáticos nacionales e internacionales, en el Pacífico central (región Niño 3.4, Figura 1) es más probable la condición de La Niña débil desde octubre de 2024 hasta marzo de 2025 (Figura 2). Por otro lado, en la región Niño 1+2 es más probable el predominio de la condición neutra hasta abril de 2025, no obstante, se presenten anomalías negativas dentro de esta condición (Figura 2).

En consecuencia, para el verano diciembre 2024-marzo 2025, es más probable que La Niña en el Pacífico central tenga magnitud débil (Tabla 1); mientras que en la región Niño 1+2 se esperan condiciones normales (Tabla 2).

Con el aporte de las condiciones océano atmosféricas analizadas, el pronóstico estacional para setiembre-noviembre 2024² indica valores de temperaturas mínimas de normal a inferiores a lo normal en la costa peruana. Asimismo, las perspectivas de lluvias en la costa se mantienen dentro de lo normal.

Asimismo, el pronóstico hidrológico entre setiembre y noviembre 2024³, en la Región Hidrográfica del Pacífico se prevé que predominen caudales entre normales y debajo de lo normal en la zona norte; mientras que en la zona centro y sur predominarían caudales normales y debajo de lo normal, respectivamente.

En cuanto a los recursos pesqueros, en las siguientes semanas, se espera que la anchoveta del stock norte-centro continúe intensificando su actividad desovante. En cuanto a la merluza, se espera que la disponibilidad del recurso para la flota artesanal e industrial se mantenga en niveles similares a los

¹No activo: De acuerdo al sistema de alerta, esta condición corresponde a condiciones neutras o cuando la Comisión ENFEN espera que El Niño o La Niña costeros están próximos a finalizar.

²Perspectivas climáticas, setiembre-noviembre de 2024: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02262SENA-50.pdf>

³Pronóstico hidrológico a nivel nacional, setiembre de 2024-enero de 2025: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02694SENA-49.pdf>

observados durante agosto y los primeros días de setiembre, desde el extremo norte del país hasta frente a Sechura. Asimismo, se espera que el calamar gigante o pota mantenga su disponibilidad a la pesquería frente a la costa central.

Se recomienda a los tomadores de decisiones y población en general tener en cuenta los escenarios de riesgo basados tanto en los pronósticos estacionales en relación a la primavera 2024, como en los escenarios del verano 2025. Esto con la finalidad que se adopten las acciones que correspondan para la preparación y reducción del riesgo de desastres.

La Comisión Multisectorial del ENFEN continuará informando sobre la evolución de las condiciones oceánicas-atmosféricas y actualizando las perspectivas. El ENFEN emitirá su próximo comunicado oficial el viernes 18 de octubre de 2024.

- Para mayor información, consultar el Informe Técnico Mensual en el siguiente enlace: <https://bit.ly/InfTecENFEN12-2024>
- Puede acceder a leer en comunicado en su totalidad a través del siguiente enlace: <https://bit.ly/comunicadoENFEN12-2024>

INSTITUCIONES MIEMBROS DEL ENFEN





-  @igp.peru
-  @igp_peru
-  @igp.peru
-  @igp_videos
-  @institutogeofisicodelperu
-  @igp.peru