

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).

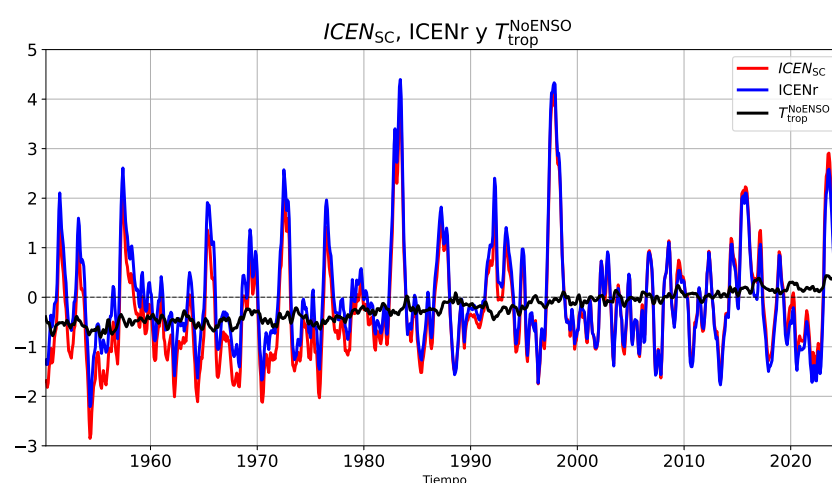


Figura 1. $ICEN_{SC}$, ICENr y T_{trop}^{NoENOS} durante el periodo 1951-2024, estimados con la climatología de 1991-2020.

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).

Tabla 1. Valores del ICEN_{SC} (izquierda) y el ICENr (derecha) calculados con la climatología de 1991-2020. Los eventos El Niño y La Niña se indican en colores rojo y azul, respectivamente, y sus magnitudes se indican al lado derecho.

Año/Mes	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE	Categoría
1950													La Niña Fuerte
1951	-0.82	-0.7	-0.63	-0.28	-0.47	-1.17	-1.51	-1.2	0.42	0.66	0.48	0.17	El Niño Moderado
1952	-0.09	-0.23	-0.53	-0.82	-1.06	-1.32	-1.59	-1.25	-1.08	-0.94	-0.65	-0.58	La Niña Débil
1953	-0.25	0.16	0.79	1.07	0.92	0.44	0.16	0.17	0.11	0.01	-0.3	-0.88	El Niño Débil
1954	-1.74	-1.40	-1.57	-2.47	-2.85	-2.76	-2.33	-2.08	-1.01	-1.73	-1.65	-1.25	La Niña Fuerte
1955	-1.15	-1.11	-1.24	-1.59	-1.79	-1.84	-1.64	-1.48	-1.61	-1.7	-1.77	-1.6	La Niña Fuerte
1956	-1.4	-1.09	-1.03	-1.04	-1.1	-0.76	-0.5	-0.53	-0.88	-1.09	-1.19	-1.35	La Niña Débil
1957	-0.97	-0.27	0.66	1.43	1.54	2.09	1.69	1.32	0.91	0.7	0.62	0.45	El Niño Moderado
1958	0.35	0.29	0.48	0.43	0.27	0.05	-0.13	-0.25	-0.34	-0.32	-0.35	-0.58	La Niña Moderada
1959	-0.61	-0.33	0	0.02	-0.3	-0.53	-0.74	-0.73	-0.64	-0.27	-0.14	-0.15	La Niña Moderada
1960	-0.33	-0.33	-0.59	-0.82	-1.21	-1.28	-1.25	-0.87	-0.73	-0.59	-0.59	-0.32	La Niña Moderada
1961	0.03	-0.11	-0.35	-0.82	-0.9	-1.15	-1.22	-1.27	-1.11	-0.95	-0.86	-0.76	La Niña Débil
1962	-0.78	-1.2	-1.78	-2.01	-1.75	-1.4	-1.18	-0.94	-0.89	-0.93	-1.04	-0.93	La Niña Fuerte
1963	-0.92	-0.81	-0.93	-0.85	-0.89	-0.6	-0.36	-0.05	0.05	-0.07	-0.18	-0.38	La Niña Moderada
1964	-0.74	-1.11	-1.35	-1.82	-1.98	-2.11	-1.77	-1.55	-1.44	-1.21	-1.24	-0.99	La Niña Fuerte
1965	-0.78	-0.34	0.34	0.95	1.36	1.26	1.21	0.93	0.69	0.38	0.37	0.39	El Niño Moderado
1966	0.04	-0.57	-1.21	-1.59	-1.62	-1.59	-1.34	-1.17	-0.88	-0.79	-0.7	-0.85	La Niña Fuerte
1967	-0.74	-0.89	-0.78	-0.86	-0.87	-0.99	-1.31	-1.47	-1.58	-1.78	-1.99	-1.78	La Niña Fuerte
1968	-1.67	-1.33	-1.28	-1.79	-1.81	-1.98	-1.98	-1.25	-0.98	-0.85	-0.78	-0.99	La Niña Fuerte
1969	-0.26	-0.2	0.16	0.84	1.05	0.89	0.37	0.06	0.17	0.4	0.59	0.52	El Niño Débil
1970	0.2	-0.41	-0.87	-1.25	-1.6	-1.71	-2.12	-2.39	-1.47	-1.25	-1.15	-1.25	La Niña Fuerte
1971	-1.22	-1.52	-1.72	-1.12	-1.15	-1.27	-1.27	-1.16	-1.25	-1.09	-1.01	-0.71	La Niña Fuerte
1972	-0.3	0.22	0.56	0.64	1.04	1.5	2.06	1.88	1.66	1.33	1.59	1.51	El Niño Moderado
1973	1.15	0.28	-0.51	-1.02	-1.27	-1.41	-1.49	-1.38	-1.34	-1.17	-1.11	-1.2	La Niña Moderada
1974	-1.29	-1.18	-0.87	-0.48	-0.46	-0.52	-0.61	-0.56	-0.77	-0.95	-1.22	-1.2	La Niña Moderada
1975	-1.26	-0.89	-0.5	-0.44	-0.8	-1.11	-1.1	-1.15	-1.5	-1.93	-2.03	-1.74	La Niña Fuerte
1976	-1.21	-0.76	-0.33	0.11	0.74	1.23	1.41	1.23	0.86	0.61	0.47	0.38	El Niño Moderado
1977	0.08	-0.2	-0.48	-0.66	-0.71	-0.68	-0.67	-0.84	-0.83	-0.68	-0.49	-0.47	La Niña Débil
1978	-0.45	-0.67	-0.79	-1.08	-1.07	-1.13	-1.17	-1.07	-1.07	-0.63	-0.3	0.07	La Niña Débil
1979	-0.11	-0.33	-0.33	-0.19	0.06	-0.08	-0.06	0.03	0.27	0.34	0.17	-0.06	La Niña Débil
1980	-0.25	-0.22	-0.14	-0.15	-0.27	-0.55	-0.56	-0.54	-0.43	-0.4	-0.43	-0.77	La Niña Débil
1981	-1.02	-1.07	-0.81	-0.68	-0.71	-0.77	-0.88	-0.94	-0.83	-0.61	-0.4	-0.3	La Niña Fuerte
1982	-0.41	-0.78	-0.96	-0.8	-0.33	0.09	0.47	0.86	1.31	2.05	2.67	2.98	El Niño Extraordinario
1983	2.61	2.3	2.59	3.13	3.8	3.96	3.65	2.7	1.76	0.92	0.54	0.08	El Niño Extraordinario
1984	-0.35	-0.71	-0.66	-0.74	-0.77	-0.9	-0.71	-0.42	-0.38	-0.23	-0.34	-0.48	La Niña Moderada
1985	-0.85	-1.08	-1.28	-1.56	-1.82	-2.07	-2.32	-2.57	-2.81	-3.05	-3.29	-3.53	La Niña Moderada
1986	-0.16	-0.28	-0.56	-0.93	-1.04	-0.92	-0.55	-0.13	0.11	0.27	0.41	0.58	El Niño Moderado
1987	0.85	1.14	1.34	1.5	1.35	1.17	0.94	0.59	1.12	1.74	1.09	0.62	El Niño Moderado
1988	0.13	-0.36	-0.65	-0.97	-1.26	-1.44	-1.5	-1.37	-1.32	-1.16	-0.97	-0.66	La Niña Moderada
1989	-0.37	-0.17	-0.1	-0.48	-0.8	-1.03	-0.72	-0.58	-0.48	-0.46	-0.37	-0.37	La Niña Moderada
1990	-0.34	-0.36	-0.37	-0.4	-0.35	-0.4	-0.46	-0.53	-0.54	-0.62	-0.62	-0.56	La Niña Moderada
1991	-0.47	-0.38	-0.29	-0.28	-0.14	0.16	0.39	0.48	0.49	0.61	0.74	0.68	El Niño Moderado
1992	0.64	0.77	1.35	1.88	1.75	1	0.22	-0.06	-0.03	-0.01	-0.05	-0.06	El Niño Moderado
1993	0.06	0.3	0.72	1	1.14	0.96	0.77	0.55	0.5	0.42	0.3	0.08	El Niño Débil
1994	-0.13	-0.48	-0.87	-1.11	-1.08	-0.95	-0.94	-0.68	-0.13	0.42	0.76	0.74	El Niño Débil
1995	0.57	0.12	-0.64	-1.15	-1.3	-0.99	-0.65	-0.43	-0.42	-0.37	-0.56	-0.59	La Niña Moderada
1996	-0.64	-0.47	-0.89	-1.23	-1.75	-1.53	-1.34	-0.92	-0.74	-0.81	-0.97	-1.04	La Niña Moderada
1997	-0.75	-0.19	0.41	1.19	2	2.91	3.53	3.85	3.86	4.04	4.13	4.09	El Niño Extraordinario
1998	3.48	2.98	2.69	2.71	2.54	2.12	1.54	0.87	0.51	0.14	0.01	-0.36	El Niño Extraordinario
1999	-0.5	-0.45	-0.49	-0.54	-0.79	-0.56	-0.37	-0.47	-0.68	-1.05	-0.91	-0.87	La Niña Moderada
2000	-0.67	-0.61	-0.37	-0.3	-0.27	-0.35	-0.41	-0.36	-0.36	-0.56	-0.81	-0.92	La Niña Moderada
2001	-0.69	-0.31	-0.04	-0.12	-0.46	-0.71	-0.76	-0.85	-0.99	-1.01	-0.89	-0.89	La Niña Débil
2002	-0.62	0.03	0.45	0.79	0.88	0.35	0.04	0.1	0.1	0.23	0.23	0.1	El Niño Débil / Débil
2003	0.37	-0.02	-0.25	-0.76	-1.19	-1.34	-0.78	-0.48	-0.27	0.03	0.25	0.1	El Niño Débil / Débil
2004	-0.02	-0.34	-0.46	-0.97	-1.09	-1.15	-0.87	-0.6	-0.29	0.2	0.41	0.36	La Niña Moderada
2005	-0.2	-0.81	-0.94	-0.75	-0.53	-0.5	-0.51	-0.49	-0.8	-1.14	-1.2	-0.9	La Niña Moderada
2006	-0.36	-0.15	-0.52	-0.78	-0.76	-0.19	0.23	0.53	0.91	0.94	0.86	0.73	El Niño Débil
2007	0.5	0.04	-0.59	-1.22	-1.54	-1.46	-1.26	-1.05	-1.23	-1.41	-1.63	-1.29	La Niña Moderada
2008	-0.64	0.04	0.34	0.44	0.49	0.69	0.98	1.14	0.92	0.37	-0.12	-0.29	El Niño Débil
2009	-0.43	-0.55	-0.36	-0.03	0.46	0.58	0.75	0.7	0.56	0.39	0.42	0.41	El Niño Débil
2010	0.34	0.16	0.03	0.06	0.04	-0.26	-0.77	-1.19	-1.27	-1.27	-1.18	-0.9	La Niña Débil
2011	-0.51	-0.51	-0.41	-0.32	0.07	0.17	0.06	-0.28	-0.58	-0.69	-0.67	-0.47	La Niña Moderada
2012	-0.17	0.11	0.48	0.64	0.93	0.76	0.49	0.18	-0.08	-0.24	-0.54	-0.64	El Niño Débil
2013	-0.75	-0.69	-0.88	-1.17	-1.58	-1.7	-1.55	-1.18	-0.89	-0.69	-0.58	-0.33	La Niña Fuerte
2014	-0.35	-0.31	-0.32	0.24	0.86	1.19	1.14	0.89	0.79	0.76	0.64	0.35	El Niño Débil
2015	-0.09	-0.2	0.19	0.87	1.58	2.09	2.13	2.16	2.02	2.23	2.21	2.1	El Niño Fuerte
2016	1.77	1.48	1.03	0.75	0.52	0.46	0.38	0.35	0.38	0.35	0.3	0.5	El Niño Débil
2017	0.92	1.31	1.35	0.97	0.35	-0.11	-0.29	-0.48	-0.65	-0.95	-1.14	-1.28	La Niña Débil
2018	1.21	1.12	0.85	0.69	-0.85	-0.64	-0.48	-0.28	-0.09	0.26	0.64	0.92	El Niño Débil
2019	0.86	0.64	0.34	0.24	0.13	-0.23	-0.58	-0.73	-0.77	-0.57	-0.34	-0.21	La Niña Moderada
2020	-0.17	-0.21	0.03	0.09	-0.1	-0.62	-0.97	-1.14	-0.98	-0.92	-0.78	-0.85	La Niña Moderada
2021	-0.87	-0.89	-0.88	-0.86	-0.7	-0.44	-0.27	-0.36	-0.57	-0.8	-1.13	-1.38	La Niña Débil
2022	-1.44	-1.11	-1.17	-1.2	-1.46	-1.47	-1.08	-0.93	-1.11	-1.36	-1.15	-0.78	La Niña Débil
2023	-0.28	0.36	1.44	2.09	2.44	2.52	2.89	2.91	2.72	2.3	2.01	1.64	El Niño Fuerte
2024	1.28	0.92	0.5	-0.21	-0.72	-0.96	-0.73	-0.66	-0.53	-0.36	-0.11		La Niña Débil

Año/Mes	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE	Categoría
1950													La Niña Fuerte
1951	-0.13	-0.11	-0.07	0.28	1.06	1.75	1.78	1.39	1.21	1.04	0.77	0.48	La Niña Moderada
1952	0.17	0.29	-0.07	-0.34	-0.57	-0.55	-0.58	-0.67	-0.51	-0.42	-0.1	-0.08	El Niño Fuerte
1953	0.47	0.52	1.25	1.6	1.44	0.96	0.71	0.77	0.72	0.58	0.29	-0.29	El Niño Moderado
1954	-0.66	-0.86	-1.2	-1.78	-2.21	-2.15	-1.78	-1.66	-1.19	-1.12	-1.01	-0.63	La Niña Fuerte
1955	-0.56	-0.54	-0.58	-0.85	-1.01	-1.13	-0.98	-0.86	-0.94	-1.01	-1.11	-1.08	La Niña Fuerte
1956	-0.98	-0.66	-0.49	-0.38	-0.38	-0.01	0.22	0.17	-0.22	-0.46	-0.61	-0.84	La Niña Moderada
1957	-0.52	0.14	1.07	1.85	2.31	2.61	2.24	1.91	1.53	1.35	1.23	0.99	El Niño Fuerte
1958	0.82	0.77	1.01	1.04	0.86	0.6	0.37	0.23	0.14	0.17	0.13	-0.13	La Niña Moderada
1959	-0.2	0.09	0.44	0.5	0.19	-0.02	-0.24	-0.29	-0.25	0.11	0.29	0.3	La Niña Moderada
1960	0.11	0.05	-0.25	-0.5	-0.84	-0.88	-0.82	-0.44	-0.24	-0.07	-0.08	0.13	La Niña Moderada
1961	0.42	0.26	0.03	-0.41	-0.47	-0.66	-0.66	-0.64	-0.49	-0.39	-0.37	-0.3	La Niña Moderada
1962	-0.34	-0.78	-1.34	-1.59	-1.28	-0.97	-0.75	-0.53	-0.43	-0.47	-0.58	-0.51	La Niña Moderada
1963	-0.56	-0.52	-0.68	-0.57	-0.54	-0.22	0.02	0.34	0.5	0.42	0.29	0.07	La Niña Moderada
1964	-0.27	-0.6	-0.79	-1.24	-1.43	-1.63	-1.31	-1.03	-0.87	-0.61	-0.61	-0.36	La Niña Moderada
1965	-0.23	0.14	0.8	1.47	1.91	1.87	1.86	1.6	1.36	1.08	1.08	1.12	El Niño Fuerte
1966	0.74	0.06	-0.66	-1.02	-0.86	-0.98	-0.92	-0.7	-0.41				

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 recalcular 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., Tippet, 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/>