



BOLETÍN CIENTÍFICO EL NIÑO

Vol. 9 n.º 07 Julio 2022

Avances en el
conocimiento y
la predicción de
El Niño y su
diversidad en el Perú

Pág. 5

Diseño de una red
neuronal convolucional
para el pronóstico
del índice El Niño 3.4

Pág. 14

Resumen del informe
técnico de El Niño

Pág. 21

Resumen del
Comunicado ENFEN

Pág. 22

Vol.9 n.º 07 Julio 2022

CRÉDITOS

Modesto Montoya

Ministro del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú:

Hernando Tavera Huarache

Presidente Ejecutivo

Edmundo Norabuena Ortiz

Director Científico

Ken Takahashi Guevara

Director

Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera

Editor:

Kobi Mosquera Vásquez

Diseño y diagramación

Unidad Funcional de Comunicaciones

Carátula: impacto de El Niño costero en Chosica (Lima) en marzo de 2017

Foto: 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

Calle Badajoz 169 Mayorazgo, Ate, 15012.

Teléfono: 51-1-3172300

Lima, octubre de 2022

EDITORIAL

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), institución pública adscrita al Ministerio del Ambiente, tiene por finalidad generar, utilizar y transferir conocimientos e información científica y tecnológica en el campo de la geofísica y ciencias afines. El IGP forma parte de la comunidad científica internacional y contribuye a la gestión del riesgo de desastres en el Perú, con énfasis en la prevención y mitigación de desastres naturales y de origen antrópico.

El IGP, a través del Programa de Investigación en Variabilidad y Cambio Climático, genera conocimiento científico sobre los componentes del sistema climático (atmósfera, océano, suelo, biósfera y criósfera) y la interacción entre ellos. El Niño - Oscilación del Sur es uno de los principales modos de variabilidad, el cual es objeto de estudio en el programa de investigación, debido a la alta vulnerabilidad del Perú y los impactos negativos asociados.

Desde el 2014, el IGP y otras instituciones integrantes de la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño" (ENFEN) participan en el Programa Presupuestal 068: "Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres"- PREVAED, contribuyendo con el producto denominado "Estudios para la estimación del riesgo de desastres". El IGP realiza la síntesis y evaluación de los pronósticos de modelos climáticos internacionales, el desarrollo y validación de nuevos modelos, además de otros estudios que fortalecen en forma continua la capacidad de monitoreo y pronóstico de El Niño en el Perú.

Con el fin de divulgar el conocimiento científico, el Instituto Geofísico del Perú presenta periódicamente sus investigaciones y avances en temas de variabilidad y cambio climático, a través de su Boletín Científico "El Niño", tratando de presentar la información con un lenguaje sencillo y sintetizando los aspectos más relevantes de dichas investigaciones. El objetivo es que las autoridades y técnicos especialistas en la gestión del riesgo de desastres (GRD) pertenecientes a los tres niveles de gobierno, así como el público en general interesado, puedan tener como fuente de conocimiento a los materiales de investigación que el IGP genera.

El primer artículo de este boletín, titulado *Avances en el conocimiento y la predicción de El Niño y su diversidad en el Perú*, es una descripción de cómo ha evolucionado el conocimiento de El Niño desde su primera mención, como La corriente del Niño, en 1893 hasta la fecha. Asimismo, se señalan los retos que tiene la comunidad científica, en especial la peruana, para mejorar el entendimiento de *El Niño costero*.



Foto: IGP

EDITORIAL

El segundo artículo se titula *Diseño de una red neuronal convolucional para el pronóstico del índice El Niño 3.4*, el cual describe los resultados de modificar un modelo de redes neuronales ya desarrollado para mejorar el pronóstico del índice El Niño 3.4 con mayores meses de antelación. Para el entrenamiento del modelo de redes neuronales se utiliza la información de modelos numéricos físicos matemáticos, así como de los conocidos *reanalysis* oceánicos.

En la sección correspondiente al resumen del informe técnico de El Niño, se observa que la temperatura superficial del mar se mantiene con valores por debajo de lo normal en casi todo el Pacífico ecuatorial. En la costa peruana, según los resultados de los modelos numéricos de pronóstico del clima, se espera que La Niña costera se mantenga hasta julio de 2022; mientras que en la región central del Pacífico, La Niña se extendería hasta febrero de 2023. Es importante advertir que, en caso de existir discrepancias con el informe técnico de El Niño emitido por el IGP, prevalecerá lo establecido en el Comunicado Oficial del ENFEN.

Finalmente, el Comunicado Oficial del ENFEN, correspondiente a este número, mantiene el estado de “Alerta de La Niña costera”, ya que la comisión multisectorial considera que la temperatura superficial del mar en la región Niño 1+2 continuaría con valores por debajo de lo normal, al menos, hasta setiembre de 2022. En lo que respecta a La Niña en el Pacífico central, la comisión considera que esta permanecería hasta noviembre del año en curso.



Foto: IGP

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

AVANCES EN EL CONOCIMIENTO Y LA PREDICCIÓN DE EL NIÑO Y SU DIVERSIDAD EN EL PERÚ*

Ken Takahashi Guevara¹

RESUMEN

1. Los eventos El Niño con mayor impacto en el Perú, particularmente asociados a lluvias intensas, inundaciones y huaicos, son de dos tipos: global y costero, y se prevé que el cambio climático exacerbará dichos impactos.
2. El Niño extremo de escala global (p. ej., 1878, 1983, 1998) se debe a una amplificación de los mecanismos océano-atmósfera típicos de ENOS. La capacidad internacional para su predicción ha avanzado sustancialmente, aunque se subestiman los impactos en nuestra costa.
3. El Niño costero (p. ej., 1891, 1925, 2017) está asociado a mecanismos océano-atmósfera locales y se conoce relativamente poco. La capacidad de predicción es limitada aún, por lo que el IGP está desarrollando un modelo océano-atmósfera de alta resolución y modelos de inteligencia artificial para la predicción de El Niño costero con mayor tiempo de anticipación y exactitud.

Palabras clave: *El Niño-Oscilación Sur, El Niño, eventos climáticos extremos, cambio climático*

AFILIACIÓN:

1. Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.

* El presente trabajo se presentó en el evento "Ciencia y Tecnología Ambiental 2022"

Citar como Takahashi K. (2022). Avances en el conocimiento y la predicción de El Niño y su diversidad en el Perú. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 9 n.º 07, págs. 5-13.

INTRODUCCIÓN

LA CORRIENTE DEL NIÑO

El fenómeno conocido como El Niño está documentado como tal en el Perú desde finales del siglo XXI e inicios del siglo XX. En 1891, el evento de ese año fue reportado en el Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima (Carranza, 1891) como una corriente marina cálida del norte que produjo un fuerte aumento en la temperatura y humedad del aire, lo cual a su vez habría generado las fuertes lluvias e inundaciones en la costa norte del Perú. Dicha cadena de eventos es lo que posteriormente en el Perú se ha asociado a los eventos El Niño, aunque recién en 1893 otro autor en la misma publicación (Carrillo, 1893) introdujo el término al indicar lo siguiente:

Los marinos paiteños que navegan frecuentemente cerca de la costa y en embarcaciones pequeñas, ya al norte ó al sur de Paita, conocen esta corriente y la denominan corriente del Niño, sin duda porque ella se hace más visible después de la Pascua de Navidad.

Similarmente, en el año 1925 ocurrió otro intenso evento, el cual fue documentado en detalle por Murphy (1926) en cuanto a su efectos en la costa y el ecosistema marino, mientras que Schott (1931) documentó las características oceanográficas. Este último autor propuso que los vientos del norte a lo largo de la costa habrían tenido un rol importante en la ocurrencia de este evento El Niño. Sin embargo, esta propuesta fue luego desfavorecida por la comunidad científica, como se describe más abajo. Cabe resaltar el trabajo de Eguiguren (1894), quien hizo una cronología de eventos de lluvia en Piura desde el año 1791 basado en evidencia documental, es decir que generó la primera serie de tiempo de El Niño, dada la cercana correlación entre ambos.

EL PARADIGMA ENOS

Según relata el historiador Cushman (2004), un investigador holandés, Berlage, en 1929 reportó una fuerte correlación estadística entre la serie de Eguiguren y el ciclo de 6-7 años en el monzón en India oriental, estableciendo la conexión con el patrón de variabilidad atmosférica conocida como Oscilación Sur, que representa un desplazamiento a gran escala de las masas de aire entre el este y el oeste en la región tropical. Esta relación estadística luego encontró su fundamento físico muchos años después gracias a Bjerknes (1969), quien identificó el mecanismo de interacción entre el océano y la atmósfera en el océano Pacífico ecuatorial que ahora lleva su nombre. Dicho mecanismo consiste en que un calentamiento en el lado oriental causa un debilitamiento de los vientos alisios del este, lo cual, a su vez, produce un mayor



Foto: IGP

calentamiento del mar, y así, en un proceso de retroalimentación positiva que puede resultar en un evento El Niño. Nótese que con esto se refutó, aparentemente, la hipótesis de Schott de que los vientos del norte o sur son relevantes para El Niño.

Lo anterior llevó a la consolidación del paradigma de El Niño-Oscilación Sur (ENOS), como el fenómeno océano-atmósfera de gran escala que afecta al clima a nivel global. Se introdujo también el concepto de La Niña como la fase fría de ENOS. El trabajo de Rasmusson y Carpenter (1982) estableció estadísticamente un patrón «típico» de la evolución de un evento El Niño, el cual iniciaba con el calentamiento del mar peruano para luego extenderse hacia el oeste. Sin embargo, ese mismo año (1982) se desarrolló el evento más intenso documentado a la fecha, pero este no se inició con un calentamiento frente a Perú sino en el Pacífico ecuatorial central, cuestionando la importancia de la región costera para el desarrollo de El Niño en marco del paradigma ENOS (Cane, 1983). Más aún, con el reconocimiento de que el efecto global de ENOS se relaciona más con la temperatura del mar en el Pacífico central, muchos países en el mundo empezaron a utilizar la región denominada Niño 3.4 (Barnston et al., 1997), muy lejana de la costa, para determinar la presencia de El Niño. Es así como se fue desconectando el concepto de El Niño entre lo históricamente reconocido en el Perú y los criterios internacionales.

FÍSICA Y PRONÓSTICO DE ENOS

El proceso de retroalimentación de Bjerknes en amplificar un evento ENOS y la identificación del rol de las ondas oceánicas que, al desplazarse lentamente a lo largo del Pacífico ecuatorial, crean un efecto retardado que es responsable de la transición entre las fases cálidas y frías del ENOS, permitió la formulación de un modelo océano-atmósfera conceptual y matemático (Zebiak y Cane, 1987) con el que se realizó el primer pronóstico numérico de ENOS (Cane et al. 1986). En los siguientes años se realizaron importantes avances en la capacidad de predicción, particularmente con el desarrollo de los modelos acoplados océano-atmósfera globales, más sofisticados, complejos y generales, no específicamente diseñados para ENOS, pero que representan los principales mecanismos de gran escala de este fenómeno. Los pronósticos numéricos del evento El Niño extremo en 1997-1998 fueron moderadamente exitosos, aunque no pronosticaron la gran intensificación de este (Barnston et al., 1999). Eventualmente, los pronósticos con los modelos físicos («dinámicos») superaron en exactitud a los realizados con modelos estadísticos (Barnston et al., 2012), pero el problema de predecir la intensidad de los eventos más extremos persiste hasta la fecha.

LA DIVERSIDAD DE ENOS

La gran fortaleza del paradigma ENOS de poder explicar el funcionamiento de dicho fenómeno llevó al supuesto implícito de que un solo índice como el de Niño 3.4 podría ser suficiente para describir el estado del fenómeno con buena aproximación. Sin embargo, a partir de los años 2000 empezaron a surgir investigaciones enfocadas en las diferencias entre eventos, por ejemplo, según si el calentamiento durante el evento es mayor en el Pacífico central o en el oriental, o si la intensidad es extrema o moderada. Es en este periodo en que empiezan a surgir nuevos términos referidos a los tipos de eventos, como El Niño de la línea de cambio de fecha, El Niño Modoki, El Niño del Pacífico Central, entre otros (ver las síntesis de Capotondi et al., 2015, 2020). Por otro lado, la capacidad de los modelos en predecir el tipo del evento es mucho más pobre que en predecir simplemente la ocurrencia del evento (p. ej. Ren et al., 2019). La diversidad de El Niño es particularmente importante para el Perú, ya que según el tipo de evento los impactos pueden ser distintos en el territorio, pero la capacidad de predicción de dicho tipo es actualmente limitada.

RESULTADOS

Los eventos El Niño más desastrosos de los últimos 100 años por las intensas lluvias producidas en la costa norte y centro del Perú corresponden a los años 1925, 1983, 1998, y 2017. De estos, los eventos de 1983 y 1998 son bien conocidos porque también son considerados como los eventos ENOS más intensos registrados, mientras que los de 1925 y 2017 corresponden a una variedad olvidada, redescubierta y rebautizada ahora a nivel internacional como El Niño costero (Capotondi et al., 2020).

EL NIÑO EXTREMO

En un estudio estadístico de la diversidad de ENSO enfocado en la variabilidad de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico ecuatorial (Takahashi et al., 2011), demostramos que dos nuevos índices, que denominamos C y E, correspondientes a patrones de calentamiento en el Pacífico Centro y Este, respectivamente (ver Figura 1a y b), son suficientes para reconstruir los valores de los principales índices usados para ENOS. Adicionalmente, mostramos que durante los eventos El Niño extremos, el índice E indica un calentamiento en el Pacífico oriental mucho más intenso que en el resto de eventos El Niño, sugiriendo que quizás podrían involucrar una física de ENOS algo distinta.

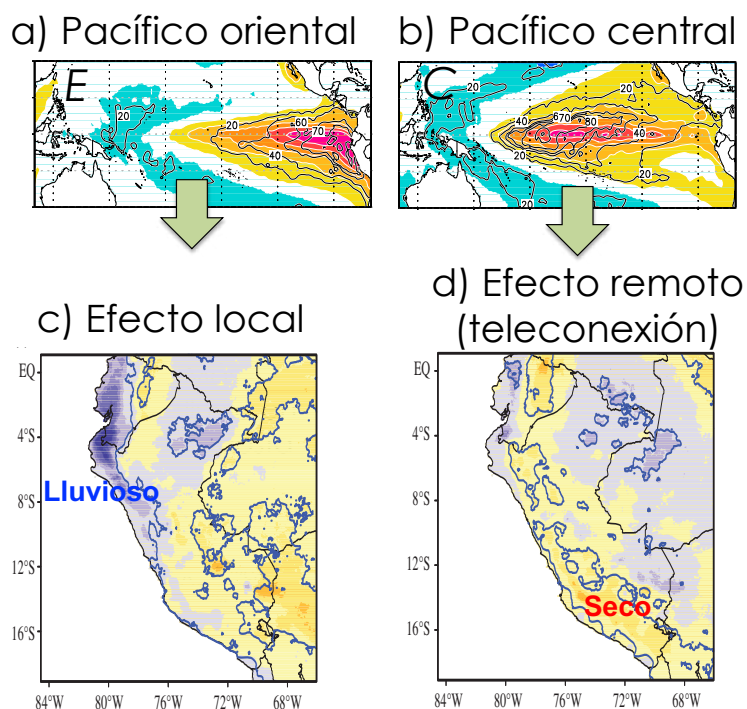


Figura 1. Patrones de anomalía de temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical asociados a los índices a) E y b) C (Takahashi et al., 2011). Patrones de precipitación en el Perú de diciembre-febrero asociados a los índices a) E y b) C (Sulca et al., 2018).

Un problema con evaluar la hipótesis anterior es que los eventos extremos son escasos por su misma naturaleza, por lo que un simple análisis estadístico sería insuficiente. Por esto, en una investigación posterior (Takahashi y Dewitte, 2016) complementamos los datos observacionales con simulaciones largas de un modelo acoplado global que representa estos eventos extremos cualitativamente bien. De esta manera, encontramos que los eventos El Niño extremos se desarrollan cuando el índice E logra sobrepasar un valor crítico, que corresponde a un calentamiento suficientemente alto para que el Pacífico oriental, normalmente frío y sin lluvias, tenga una temperatura que pueda mantener la ocurrencia de tormentas intensas, lo cual amplifica el mecanismo de retroalimentación de Bjerknes, permitiendo en que el evento crezca mucho más. Además, encontramos que el desvanecimiento de los vientos alisios ecuatoriales en el Pacífico central observado en agosto sería un buen predictor de la posibilidad de que El Niño extremo se desarrolle en el verano siguiente.

Para demostrar que el mecanismo de amplificación propuesto es suficiente para generar eventos El Niño extremos, en otra investigación (Takahashi et al., 2018) propusimos un modelo matemático mínimo, una versión del modelo carga-descarga (Jin et al., 1997), el cual modificamos para que la retroalimentación se amplifique cuando el calentamiento exceda un valor crítico. Con este modelo, además, mostramos la importancia de otros procesos climáticos externos a ENOS, «forzantes estocásticos» en la jerga técnica, en la misma escala temporal que ENOS, que pueden ayudar al sistema océano-atmósfera a alcanzar dicho calentamiento crítico y desarrollar un evento El Niño extremo. Esto implica que si podemos predecir estos procesos externos, mejoraríamos nuestra capacidad de predecir El Niño extremo.

Un caso interesante fue el evento El Niño de 2015-2016. Como documentamos en L'Heureux et al. (2016), los pronósticos numéricos para este evento sugerían que podría ser comparable al de 1983 y 1998, pero aún cuando ocurrió el calentamiento del mar frente al Perú, no ocurrieron las temidas lluvias que se observaron en esos años, aparentemente porque la persistencia de fuertes vientos del sur frente a la costa mitigaron el calentamiento necesario para estas. Por otro lado, como explicaremos a continuación, la influencia del calentamiento en el Pacífico central habría tenido un fuerte efecto supresor de lluvias.

Por otro lado, los modelos climáticos que mejor simulan cualitativamente los eventos El Niño extremos proyectan que la frecuencia de El Niño extremo y las lluvias asociadas aumentarán con el cambio climático (Cai et al., 2015, 2018).

LA DIVERSIDAD DE ENOS Y LAS LLUVIAS EN EL PERÚ

Si bien la asociación entre El Niño y las lluvias en la costa norte es largamente conocida, los eventos El Niño también están frecuentemente asociados a condiciones secas en la sierra sur (p. ej. Aceituno, 1988). La correlación entre las lluvias en nuestra sierra es mayor con la temperatura del mar en el Pacífico central que con la del oriental (Lagos et al., 2008); sin embargo, este patrón es más claro cuando se utilizan los índices E y C de Takahashi et al. (2011), ya que estos índices separan limpiamente la variabilidad estadísticamente independiente del Pacífico oriental y central. De esta manera, se evidencia que el calentamiento en el Pacífico oriental se asocia al incremento de lluvias en la costa norte y centro del Perú, mientras que el calentamiento en el Pacífico central se asocia a la reducción de lluvias en toda la región andina, no solo en el sur (Lavado-Casimiro y Espinoza, 2014, Sulca et al., 2017; ver Fig. 1c y d). Ahora bien, cada evento El Niño se puede describir según la combinación de sus valores de E y C, por lo que los efectos en las lluvias también es aproximadamente la suma de los patrones de precipitación ponderados por los valores de E y C correspondientes. Esto nos da una explicación para la falta de lluvias extremas durante El Niño en 2016, ya que el efecto supresor de C habría sido mucho mayor que el efecto promotor de E (L'Heureux et al., 2016).

Sin embargo, esto no sería toda la historia, ya que las lluvias en la costa no dependen en forma tan sencilla (linealmente) de las temperaturas sino que las lluvias ocurren solo cuando el calentamiento en el Pacífico oriental excede al del central en un valor crítico (Takahashi y Martínez, 2019). En términos físicos, este valor crítico estaría asociado a la transición entre una atmósfera estable a una inestable (Jáuregui y Takahashi, 2018), ya que el

calentamiento en el Pacífico central se traduce en un calentamiento estabilizador en niveles bajos de la atmósfera, lo cual debe ser superado por el calentamiento en la superficie para romper la estabilidad y generar tormentas.

Es debido a este efecto diferenciado en el territorio peruano que la Comisión ENFEN, responsable en el Perú de la evaluación de El Niño, monitorea explícitamente tanto El Niño en la costa como en el Pacífico central y realiza pronósticos para ambas regiones.

EL NIÑO COSTERO

A finales del año 2016, el estado de ENOS era neutral y no se anticiparon mayores cambios. Sin embargo, en enero de 2017, la temperatura del mar aumentó abruptamente en la costa del Perú, acompañado de fuertes lluvias. La Comisión ENFEN¹ en el Perú activó la alerta de El Niño para la región costera, aún cuando a nivel internacional ninguna otra entidad tomó nota. Ante esta discrepancia y dada la evidente presencia de El Niño en la costa peruana, la opinión pública en el Perú acogió la evaluación del ENFEN y se empezó a llamar *El Niño costero* a este fenómeno. Un importante sustento que permitió al ENFEN hacer esta evaluación es que recientemente se había concluido el estudio de El Niño de 1925 (Takahashi y Martínez, 2019, publicado en 2017), el cual fue muy similar al del 2017 pero muy distinto a los eventos ENOS. Tal como Schott (1931) había reportado, tanto en 1925 como en el evento El Niño original de 1891, el calentamiento de la costa estuvo asociado con fuertes vientos del norte y lo mismo se observó en 2017 (ENFEN 2017; Takahashi et al., 2018). La física de estos eventos, a diferencia de la de ENOS, está asociada a una interacción océano-atmósfera local mucho más rápida y menos predecible (Echevin et al., 2018; Takahashi y Martínez, 2019; Peng et al., 2019).

Es importante reconocer que El Niño costero no es un nuevo tipo de evento, sino que hemos redescubierto El Niño original, el cual fue luego olvidado debido al éxito del paradigma de ENOS. Más aún, el estudio de Kiefer y Karamperidou (2019) propone que el registro paleoclimático del lago Pallacocha en Ecuador, un indicador considerado emblemático de El Niño asociado a ENOS durante el Holoceno, en realidad refleja más los efectos de los eventos El Niño costero y La Niña (ENOS) que de los eventos El Niño (ENOS).

DISCUSIÓN

El entendimiento científico y la capacidad de predicción de El Niño a nivel internacional se ha desarrollado exitosamente desde finales del siglo XIX, particularmente gracias a la identificación del modo de variabilidad climática acoplada conocido como El Niño-Oscilación Sur (ENOS). En los años recientes se ha reconocido que la diversidad de los eventos El Niño es particularmente importante para poder evaluar adecuadamente los impactos en el territorio peruano. Algunos puntos de particular relevancia para nuestro país son los siguientes:

¹ Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno «El Niño».

1. Los eventos El Niño con mayor impacto en el Perú, particularmente asociado a lluvias intensas, inundaciones y huaicos, son de dos tipos: global (ENOS) y costero, y se prevé que el cambio climático exacerbará dichos impactos.
2. El Niño extremo global (p. ej., 1983, 1998) se debe a una amplificación de los mecanismos océano-atmósfera típicos de ENOS. La capacidad internacional para su predicción ha avanzado sustancialmente, aunque los modelos climáticos tienen problemas para nuestra región.
3. El Niño costero (p. ej., 1925, 2017) está asociado a mecanismos océano-atmósfera locales y se conoce relativamente poco. La capacidad de predicción de estos eventos es limitada aún.
4. Es necesario que la comunidad científica peruana lidere las investigaciones para mejorar la predicción y proyecciones del cambio climático de El Niño en nuestra región. El Instituto Geofísico del Perú está desarrollando un modelo océano-atmósfera regional de alta resolución y modelos de inteligencia artificial para la predicción de El Niño costero con mayor tiempo de anticipación y exactitud.

REFERENCIAS

Aceituno, P. (1988). On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate. *Monthly Weather Review*, 116(3), 505-524.

Bamston, A.G., Chelliah, M. y Goldenberg, S. B. (1997). Documentation of a highly ENSO-related SST region in the equatorial Pacific: Research note, *Atmosphere-Ocean*, 35:3, 367-383, DOI: 10.1080/07055900.1997.9649597

Barnston, A. G., Tippet, M. K., L'Heureux, M. L., Li, S., y DeWitt, D. G. (2012). Skill of real-time seasonal ENSO model predictions during 2002–11: Is our capability increasing? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(5), 631-651. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00111.2>

Barnston, A. G., Glantz, M. H., y He, Y. (1999). Predictive skill of statistical and dynamical climate models in SST forecasts during the 1997–98 El Niño episode and the 1998 La Niña onset. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(2), 217-244. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1999\)080<0217:PSOSAD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1999)080<0217:PSOSAD>2.0.CO;2)

Bjerknes J. (1969). Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon. Weather Rev.*, 97(3), 163–172. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1969\)097<0163:ATFTEP>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1969)097<0163:ATFTEP>2.3.CO;2)

Cai, W., A. Santoso, G. Wang, S.-W. Yeh, S.-I. An, K. Cobb, M. Collins, E. Guilyardi, F.-F. Jin, J.-S. Kug, M. Lengaigne, M. J. McPhaden, K. Takahashi, A. Timmermann, G. Vecchi, M. Watanabe, y L. Wu, 2015: ENSO and greenhouse warming. *Nature Climate Change*. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0776-9>

Cai, W., Wang, G., Dewitte, B., Wu, L., Santoso, A., Takahashi, K., Yang, Y., Carréric, A., y McPhaden, M. J. (2018). Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming, *Nature*, 564, 201–206. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0776-9> doi:10.1038/s41586-018-0776-9.

Cane, M. (1983). Oceanographic events during El Niño, *Science*, 222(4629), 1189-1195. DOI: 10.1126/science.222.4629.1189

Cane, M. A., Zebiak, S. E. y Dolan, S. C. (1986). Experimental forecasts of El Niño, *Nature*, 321, 827–832. <https://doi.org/10.1038/321827a0>

Capotondi, A., Wittenberg, A. T., Newman, M., Di Lorenzo, E., Yu, J. Y., Braconnot, P., ... y Yeh, S. W. (2015). Understanding ENSO diversity. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(6), 921-938. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00117.1>

Capotondi, A., Wittenberg, A. T., Kug, J. S., Takahashi, K., y McPhaden, M. J. (2020). ENSO diversity. En M. J. McPhaden (Ed.), A. Santoso (Ed.) y W. Cai (Ed.), *El Niño Southern Oscillation in a changing climate* (pp. 65-86).

- Carranza L. (1891). Contra-corriente marítima observada en Paita y Pacasmayo. *Bol. Soc. Geogr. Lima*, 1(9), 344–345
- Carrillo, C. N. (1893). Hidrografía oceánica. *Bol Soc Geogr Lima*, 72-110.
- Cushman, G. T. (2004). Enclave vision: foreign networks in Peru and the internationalization of El Niño research during the 1920s. *Hist Meteorol*, 1, 65-74
- Echevin, V. et al. (2018). Forcings and evolution of the 2017 coastal El Niño off northern Peru and Ecuador. *Frontiers in Marine Science*, 5:367. DOI: 10.3389/fmars.2018.00367
- Eguiguren, V. (1894). Las lluvias en Piura. *Bol Soc Geogr Lima*, 4, 241–258
- ENFEN (2017) El Niño Costero 2017. Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN.
- Jauregui, Y. R., y Takahashi, K. (2018). Simple physical-empirical model of the precipitation distribution based on a tropical sea surface temperature threshold and the effects of climate change. *Climate dynamics*, 50(5), 2217-2237.
- Jin F. F. (1997). An equatorial ocean recharge paradigm for ENSO. Part I: Conceptual model. *J Atmos Sci.*, 54 (7), 811–829. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1997\)054<0811:AEORPF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1997)054<0811:AEORPF>2.0.CO;2)
- Kiefer, J., y Karamperidou, C. (2019). High-resolution modeling of ENSO-induced precipitation in the tropical Andes: Implications for proxy interpretation. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 34(2), 217-236.
- Lagos, P., Silva, Y., Nickl, E., y Mosquera, K. (2008). El Niño-related precipitation variability in Perú. *Advances in Geosciences*, 14, 231-237.
- Lavado-Casimiro W, Espinoza JC. (2014). Impact of El Niño and La Niña on rainfall in Peru. *Rev. Bras. Meteorol.* 29: 171–182.
- L'Heureux, M. L., Takahashi, K., Watkins, A. B., Barnston, A. G., Becker, E. J., Di Liberto, T. E., ... y Wittenberg, A. T. (2017). Observing and predicting the 2015/16 El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(7), 1363-1382.
- Murphy RC (1926) Oceanic and climatic phenomena along the west coast of South America during 1925. *Geogr. Rev.*, 16:26–54
- Peng, Q. et al. (2019). Coupled ocean-atmosphere dynamics of the 2017 extreme coastal El Niño. *Nature Communications*, Volume 10, p. 298.
- Rasmusson EM, Carpenter TH (1982) Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Weather Rev.* 110:354–384
- Ren, H. L., Scaife, A. A., Dunstone, N., Tian, B., Liu, Y., Ineson, S., ... y MacLachlan, C. (2019). Seasonal predictability of winter ENSO types in operational dynamical model predictions. *Climate Dynamics*, 52(7), 3869-3890.
- Schott, G. (1931). Der Peru-Strom und seine nördlichen Nachbargebiete in normaler und anormaler Ausbildung. *Ann Hydrogr Mar Meteor* 59, 161–169, 200–213, 240–257. Translated to Spanish in *Bol Cia Admin Guano*, IX, 3–4, 65–110 (1933)
- Sulca, J., Takahashi, K., Espinoza, J. C., Vuille, M., y Lavado-Casimiro, W. (2018). Impacts of different ENSO flavors and tropical Pacific convection variability (ITCZ, SPCZ) on austral summer rainfall in South America, with a focus on Peru. *International Journal of Climatology*, 38(1), 420-435.
- Takahashi, K., Montecinos, A., Goubanova, K., y Dewitte, B. (2011). ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño. *Geophysical research letters*, 38(10). <https://doi.org/10.1029/2011GL047364>
- Takahashi, K., y Dewitte, B. (2016). Strong and moderate nonlinear El Niño regimes. *Climate Dynamics*, 46(5), 1627-1645. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2665-3>

Takahashi, K., Karamperidou, C., y Dewitte, B. (2019). A theoretical model of strong and moderate El Niño regimes. *Climate Dynamics*, 52(12), 7477-7493. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4100-z>

Takahashi, K., y Martínez, A. G. (2019). The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Climate Dynamics*, 52(12), 7389-7415. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3702-1>

Takahashi, K., Aliaga-Nestares, V., Avalos, G., Bouchon, M., Castro, A., Cruzado, L., Dewitte, B., Gutiérrez, D., Lavado-Casimiro, W., Marengo, J., Martínez, A. G., Mosquera-Vásquez, K., and N. Quispe (2018). The 2017 coastal El Niño [in "State of the Climate in 2017"]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 99(8), S210-S211, doi:10.1175/2018BAMSStateoftheClimate.1.

Zebiak, S. E. and Cane, M. A. (1987). A Model El Niño-Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 97(3), 163-172. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115<2262:AMENO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115<2262:AMENO>2.0.CO;2)

AVANCE DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO DE UNA RED NEURONAL CONVOLUCIONAL PARA EL PRONÓSTICO DEL ÍNDICE EL NIÑO 3.4

Gerardo Rivera Tello¹ y Ken Takahashi¹

RESUMEN

Los modelos neuronales convolucionales son capaces de aprender patrones complejos que los modelos dinámicos no son capaces de reproducir totalmente, en gran parte debido a la naturaleza no lineal de los eventos. El presente trabajo explora el modelo desarrollado por Ham et al. (2019, 2021), en donde, usando anomalías de temperatura superficial del mar y contenido de calor, se logra pronosticar el índice El Niño 3.4 con tiempos de antelación de hasta 14 meses. La modificación presentada no usa la técnica *transfer-learning*, por lo que los resultados de las correlaciones son menores que la del estudio citado. Sin embargo, se logra notar un potencial incremento en la habilidad de pronóstico para tiempos de antelación mayores al incluir la estacionalidad en la capa de entrada, lo que indicaría un mejor aprendizaje en la red.

Palabras clave: El Niño, ENSO, redes neuronales convolucionales, pronóstico de TSM

AFILIACIÓN:

1. Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.

Citar como Rivera, G., y Takahashi, K. (2022). Diseño de una red neuronal convolucional para el pronóstico del índice El Niño 3.4. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 9 n.º 07, págs. 14-20.

INTRODUCCIÓN

El diagnóstico y evolución de un evento El Niño está usualmente ligado a la observación de índices climáticos que permiten conocer de manera resumida el estado actual del sistema en cuestión. Uno de los índices ampliamente usados para conocer el estado del océano Pacífico ecuatorial es el índice Niño 3.4 (N34) (Rasmusson y Carpenter, 1982), el cual consiste en la media corrida de 3 meses de las anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región que lleva el mismo nombre. Diversos estudios usan este índice para describir la evolución de eventos El Niño (Capotondi et al., 2015; Izumo et al., 2019; McPhaden, 2020). Es debido a esto que se busca pronosticar este índice con meses de antelación (L'Heureux et al., 2017), con la finalidad de alertar de manera oportuna ante la ocurrencia de un evento El Niño, el cual, como se sabe, genera impactos negativos en muchos países y, en especial, en el Perú. Para dicho fin, normalmente, se hacen uso de modelos dinámicos o estadísticos que buscan obtener un pronóstico con alta confiabilidad, pero que dificultan en reproducir características estacionales dentro de la misma dinámica, resultando usualmente en pronósticos no tan acertados en 6 meses a más. Recientemente se han explorado métodos de inteligencia artificial (Ham et al., 2019, 2021; Mamalakis et al., 2022; Ye et al., 2021) que aprovechan la gran cantidad de datos disponibles para aprender estructuras complejas —que los modelos dinámicos no pueden representar en su totalidad— y ofrecen muchas veces resultados más acertados que los modelos convencionales. Ham et al. (2019, 2021) desarrolló una red neuronal convolucional capaz de pronosticar el índice N34 con tiempos de hasta 13 meses de antelación. La red neuronal desarrollada por Ham et al. (2019) tomó como predictores los valores de 3 meses de las anomalías de la TSM y del contenido de calor dentro de los 300 m de profundidad para diseñar una red convolucional tradicional con una salida: N34 pronosticado. En el estudio de Ham et al. (2021) se continuó el desarrollo del modelo con la finalidad de incluir la estacionalidad en el proceso de aprendizaje, desarrollando una nueva red convolucional (H21 a partir de ahora) con dos salidas: N34 pronosticado y el mes de inicialización del modelo. El presente avance de investigación busca explorar un diseño similar a lo propuesto por ambos estudios, pero incorporando la estacionalidad como un predictor en la red neuronal, resultando en una red neuronal convolucional de arquitectura heterogénea con entrada mixta.

Foto: Robby25 (Flickr)

DATOS Y METODOLOGÍA

DATOS

Los datos de entrenamiento (*train*) y desarrollo (*dev*) están conformados por anomalías de TSM y contenido de calor (promedio de temperatura de los primeros 300 m de profundidad) del proyecto CMIP5 (Taylor et al., 2012), específicamente de 21 modelos que conforman las corridas históricas, para el periodo comprendido entre 1861 y 2001. Para el conjunto *dev*, que se usa para calcular la métrica durante el proceso de entrenamiento, se tomaron 2 miembros de las corridas del *ensemble* para 6 de los 21 modelos seleccionados, resultando en un total de 12 miembros usados exclusivamente como conjunto de desarrollo. Finalmente, los datos del conjunto de pruebas (*test*), que contienen las mismas variables, fueron obtenidos del *reanalysis* observacional GODAS (Behringer et al., 1998) para el periodo comprendido entre 1980 y 2017.

La cantidad total de muestras de *train* fue de 35 532, mientras que la cantidad de muestras de *dev* sumaron los 20 304. El conjunto de datos usado en este estudio es el mismo que fue usado en el modelo H21, el cual puede ser fácilmente descargado desde el repositorio adjunto en Ham et al. (2021).

Una muestra de *train* está comprendida por 3 valores de anomalías tanto de TSM como de contenido de calor. Estos 3 valores se definen por un mes inicial y los dos meses anteriores al mismo, es decir, si el mes de inicialización es marzo, los datos de anomalías de ambas variables para el mes de enero, febrero y marzo son provistos al modelo.

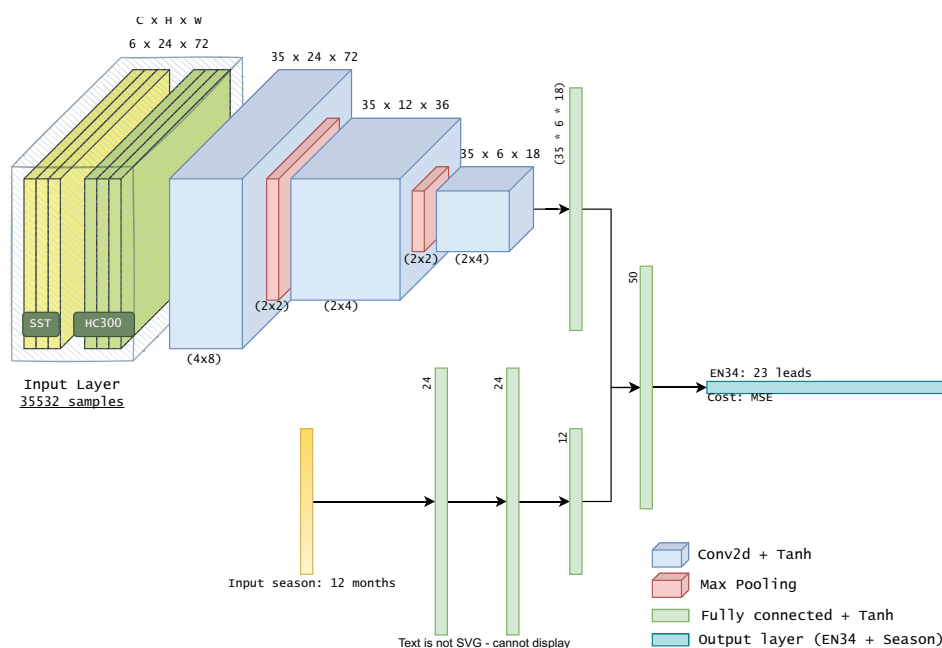


Figura 1. Arquitectura modificada del modelo desarrollado por Ham et. al.(2021). Cada capa contiene información sobre las dimensiones de los datos de entrada en la parte superior, así como del tamaño de kernel en la parte inferior.

ARQUITECTURA DEL MODELO

El modelo sigue una estructura convolucional similar a H21, el cual se compone de 3 capas convolucionales, 2 capas de *max-pooling*, y 2 capas totalmente conectadas (Figura 1). A diferencia de la red H21, en la que se tienen dos variables de salida (N34 pronosticado y el mes de inicialización), la red usada en este estudio contiene solo una variable de salida. Esta modificación se hizo con la finalidad de evaluar la inclusión explícita de la estacionalidad como una variable de entrada. Esta adición convierte a la red en una combinación de un modelo convolucional con una neurona *perceptrón* multicapa, los cuales se combinan luego de la primera capa totalmente conectada de la red convolucional, compartiendo de esta manera una capa final antes de obtener los 23 valores de salida en forma de regresión para la variable N34. La cantidad de canales convolucionales usada en el modelo es 35 (dos primeras capas) y 50 (última capa) con un *kernel* 2x2 y un *stride* igual a 1, lo cual mantiene a las dimensiones de los datos de entrada sin modificaciones. La reducción en la dimensionalidad viene por parte de las 2 capas de *max-pooling* con un *kernel* 2x2, reduciendo las dimensiones a la mitad en cada pasada. El *perceptrón* multicapa tiene dos capas escondidas de 24 neuronas con una capa de salida con 12 elementos, la cual es concatenada con la salida de la primera capa totalmente conectada de la red convolucional. La elección de la cantidad de neuronas para la rama del *perceptrón* multicapa no fue escogida siguiendo algún criterio en particular, dejando espacio a optimizaciones futuras mediante la técnica de optimización de hiperparámetros. Durante la etapa de aprendizaje, el modelo usa el algoritmo *Adam optimization* y un error cuadrático medio ponderado (RMSE) como función de costo (*loss*) para el problema de regresión. Las iteraciones de aprendizaje son controladas mediante *early-stopping* como método de regularización para evitar el sobreajuste con una "paciencia" de 200 épocas, o sea que evalúa las últimas 200 épocas de entrenamiento en busca de mejoras antes de detener el aprendizaje. Finalmente, el modelo fue configurado para entrenar durante 1000 épocas con un *batch size* de 400 y una tasa de aprendizaje de 0.005. La cantidad total de parámetros aprendibles es 219 810.

ENTRENAMIENTO Y EVALUACIÓN DEL MODELO

El ajuste inicial de los parámetros del modelo se hizo sobre el conjunto de datos de *train*. Durante cada bucle de entrenamiento, se evalúa la métrica de regresión RMSE con el conjunto de datos *dev*. Según el valor de esta métrica MSE se detiene el aprendizaje mediante la técnica *early-stopping*, que consiste en mantener un registro de la métrica de aprendizaje de la época anterior y compararla con la época actual a fin de detener el aprendizaje si este último no indica mejoras del modelo. El método de *early-stopping* considera las métricas de las últimas 200 épocas de aprendizaje antes de detener la fase de entrenamiento.

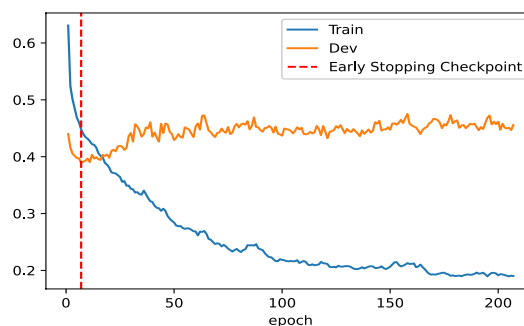


Figura 2. Métrica del modelo (RMSE) en función de las épocas de entrenamiento. La línea azul (naranja) representa la evolución de la función de costo sobre la base de datos de entrenamiento (desarrollo) con el paso de las épocas. La línea punteada roja indica la época en la cual la función de costo evaluada en los datos de desarrollo alcanzó su mínimo, sin mejoras en al menos 200 épocas consecutivas.

Posterior a la fase de entrenamiento, se realiza la evaluación de este con el conjunto de datos test independientes provenientes del *reanalysis* GODAS. El índice N34 pronosticado por el modelo se compara con el calculado a fin de obtener una métrica de rendimiento del modelo.

RESULTADOS

La fase de entrenamiento del modelo con esta arquitectura tuvo su mejor iteración en la época número 10, sin mostrar mejoras en las siguientes 200 épocas (Figura 2). Esto puede indicar que los hiperparámetros usados para esta arquitectura no son los óptimos, por lo que se requiere aplicar métodos de optimización. Por otro lado, la salida del modelo modificado H21 se compara en forma de correlación con los datos calculados obtenidos por GODAS, el cual a su vez es comparado con 4 corridas del modelo original sin modificaciones. La correlación obtenida (Figura 3) con este modelo muestra un incremento en la habilidad del pronóstico con tiempo de anticipación crecientes, lo cual podría dar mejores resultados si se aplicara una técnica de transferencia de aprendizaje a otra red con datos de simulaciones que asimilen datos observados. Cabe resaltar que la red ha sido ajustada con datos de modelos climáticos, por lo que la evaluación con datos de *reanalysis* puede dar resultados inferiores a los que daría un conjunto de datos de prueba solamente conformado por modelos climáticos.

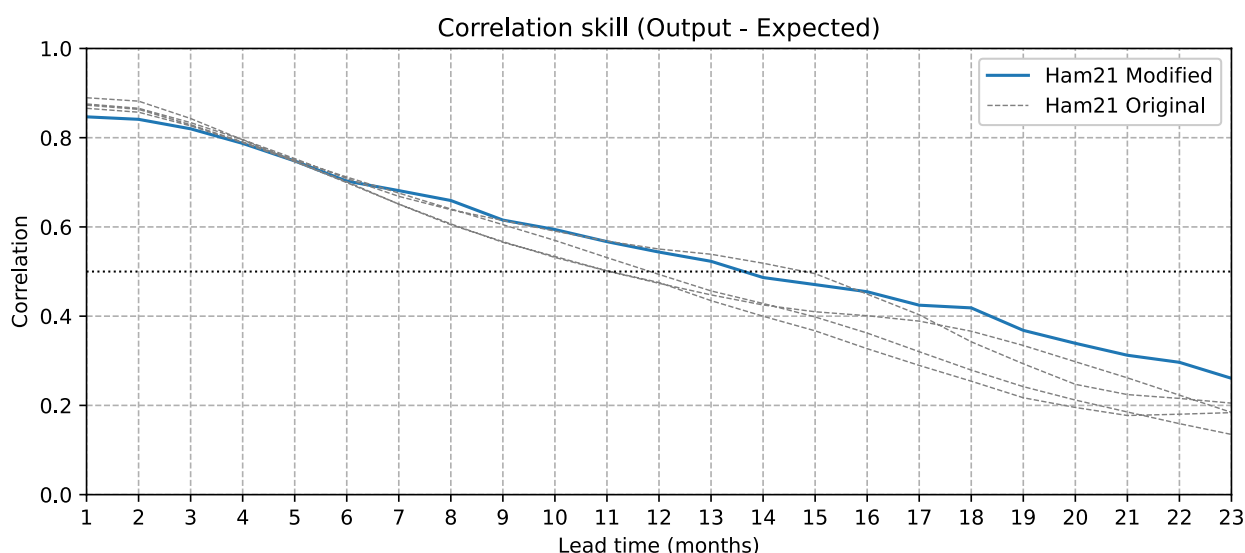


Figura 3. (Línea sólida) Correlación entre valores pronosticados por el modelo desarrollado en este estudio ("Ham 21 Modified") y valores esperados para la base de datos de pruebas GODAS. (Línea punteada) Correlación entre valores obtenidos con la implementación original del modelo H21. La línea punteada horizontal marca el valor 0.5 de correlación.

COMENTARIOS

El modelo desarrollado mediante la modificación de la red neuronal H21 indica que la habilidad del modelo en el pronóstico del índice N34 puede incrementarse si se proporciona al modelo información de la estacionalidad como entrada en vez de forzar algún tipo de aprendizaje al tener dicha variable como salida. La facilidad con la que estos modelos pueden ser desarrollados permite una rápida iteración sobre diferentes arquitecturas, cada una especializada en detectar características específicas dentro del tema a investigar. Esta ventaja sobre los modelos dinámicos se debe principalmente a la cantidad de datos recolectados hasta la fecha, por lo que es de vital importancia reforzar los programas de observación que hacen posible este tipo de estudios. Finalmente, este trabajo se centró en explorar los posibles resultados obtenidos de modificar algunos parámetros en una red neuronal convolucional, mostrando que aún hay mejoras por realizar con bases de datos más recientes.

REFERENCIAS

Behringer, D. W., Ji, M., y Leetmaa, A. (1998). An Improved Coupled Model for ENSO Prediction and Implications for Ocean Initialization. Part I: The Ocean Data Assimilation System. *Monthly Weather Review*, 126(4), 1013–1021. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1998\)126<1013:AICMFE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1998)126<1013:AICMFE>2.0.CO;2)

Capotondi, A., Wittenberg, A. T., Newman, M., Di Lorenzo, E., Yu, J.-Y., Braconnot, P., Cole, J., Dewitte, B., Giese, B., Guilyardi, E., Jin, F.-F., Karnauskas, K., Kirtman, B., Lee, T., Schneider, N., Xue, Y., y Yeh, S.-W. (2015). Understanding ENSO Diversity. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(6), 921–938. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00117.1>

Ham, Y.-G., Kim, J.-H., Kim, E.-S., y On, K.-W. (2021). Unified deep learning model for El Niño/Southern Oscillation forecasts by incorporating seasonality in climate data. *Science Bulletin*, 66(13), 1358–1366. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2021.03.009>

Ham, Y.-G., Kim, J.-H., y Luo, J.-J. (2019). Deep learning for multi-year ENSO forecasts. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1559-7>

Izumo, T., Lengaigne, M., Vialard, J., Suresh, I., y Planton, Y. (2019). On the physical interpretation of the lead relation between Warm Water Volume and the El Niño Southern Oscillation. *Climate Dynamics*, 52(5–6), 2923–2942. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4313-1>

L'Heureux, M. L., Takahashi, K., Watkins, A. B., Barnston, A. G., Becker, E. J., Di Liberto, T. E., Gamble, F., Gottschalck, J., Halpert, M. S., Huang, B., Mosquera-Vásquez, K., y Wittenberg, A. T. (2017). Observing and Predicting the 2015/16 El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(7), 1363–1382. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0009>

Mamalakis, A., Barnes, E. A., y Ebert-Uphoff, I. (2022). Investigating the Fidelity of Explainable Artificial Intelligence Methods for Applications of Convolutional Neural Networks in Geoscience. *Artificial Intelligence for the Earth Systems*, 1(4), e220012. <https://doi.org/10.1175/AIES-D-22-0012.1>

McPhaden, M. J. (Ed.). (2020). *El Niño southern oscillation in a changing climate* (First edition). Wiley-American Geophysical Union.

Rasmusson, E. M., y 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)

Taylor, K. E., Stouffer, R. J., y Meehl, G. A. (2012). An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485–498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>

Ye, M., Nie, J., Liu, A., Wang, Z., Huang, L., Tian, H., Song, D., y Wei, Z. (2021). Multi-Year ENSO Forecasts Using Parallel Convolutional Neural Networks With Heterogeneous Architecture. *Frontiers in Marine Science*, 8, 717184. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.717184>

RESUMEN DEL INFORME TÉCNICO DE EL NIÑO

PP n.º 068/EL NIÑO-IGP/2022-06



Foto: Sebastian Voortman

Según el valor del Índice Costero El Niño (ICEN), en el mes de mayo se presentó la condición climática fría moderada (-1.36°C). Asimismo, los valores del ICEN temporal (ICEN-tmp) de junio (-1.37°C) y julio (-1.19°C) indican condiciones fría moderada y fría débil, respectivamente. Por otro lado, para el Pacífico central, el valor del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) de mayo (-1.00°C) corresponde a la condición fría moderada, y los valores temporales (ONI-tmp) de junio (-0.83°C) y julio (-0.71°C) indican, para ambos, la condición fría débil. Conforme a las observaciones, in situ y satelital, la onda de Kelvin fría habría arribado a la costa peruana en el mes de junio; sin embargo, no habría tenido mayor impacto. Por otro lado, según los resultados de los modelos de ondas, un paquete de ondas de Kelvin cálida habrían iniciado su arribo a la costa sudamericana. Finalmente, se observa el desarrollo de una onda de Kelvin fría en el Pacífico central, la cual debe arribar a la costa peruana durante agosto.

El promedio de las predicciones de los seis modelos climáticos de NMME —inicializados con la información de julio de 2022— para el Pacífico oriental indica la condición de fría débil para julio, y condiciones neutras de agosto a febrero de 2023, aunque aún con valores negativos. Por otro lado, para el Pacífico central, se esperarían condiciones entre frías débiles y frías moderadas hasta el mes de febrero de 2023, lo que indicaría, según estos resultados, que La Niña en el Pacífico central se extendería hasta el verano. Esto podría significar, de acuerdo a las investigaciones científicas, la deficiencia (exceso) de lluvias en los Andes durante noviembre (verano).

Puede acceder al informe técnico de El Niño 2022-06 a través del siguiente enlace:
<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5305>

RESUMEN DEL COMUNICADO OFICIAL ENFEN n.º 07-2022

CALLAO, 15 DE JULIO DE 2022

ESTADO DEL SISTEMA DE ALERTA: **ALERTA DE LA NIÑA COSTERA¹**

La Comisión Multisectorial del ENFEN mantiene el estado de “Alerta de La Niña costera”, debido a que es más probable que la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2, que incluye la zona norte y centro del mar peruano, mantenga valores por debajo del rango normal, al menos hasta setiembre de 2022. La magnitud más probable en lo que resta de este evento frío sigue siendo débil. Por otro lado, se espera que continúe la presencia del evento La Niña en el Pacífico central, con una mayor probabilidad de magnitud débil, al menos hasta noviembre del presente año.

Para el trimestre julio-agosto-setiembre, se prevé que las temperaturas máxima y mínima presenten valores por debajo de lo normal en gran parte de la costa peruana y en la sierra sur occidental, asociadas principalmente a las condiciones frías de la TSM y a las condiciones atmosféricas esperadas en los próximos meses. En el resto del país se esperan condiciones térmicas dentro de lo normal.

La Comisión Multisectorial del ENFEN continuará monitoreando e informando sobre la evolución de las condiciones oceánicas y atmosféricas, así como actualizando las perspectivas.



**ESTUDIO NACIONAL DEL
FENÓMENO “EL NIÑO”**

COMISIÓN MULTISECTORIAL
ENCARGADA DEL ESTUDIO NACIONAL
DEL FENÓMENO “EL NIÑO” (ENFEN)
DECRETO SUPREMO n.º 007-2017-PRODUCE

¹Alerta de La Niña costera: Según las condiciones recientes, usando criterio experto en forma colegiada, el Comité ENFEN considera que el evento La Niña costera ha iniciado y/o el valor del ICEN_{tmp} indica condiciones frías, y se espera que se consolide La Niña costera. Al inicio del texto del comunicado oficial se indicará un rango de magnitudes tentativas y su posible duración, así como una indicación sobre los posibles impactos en la lluvia y temperaturas.

Puede acceder al Comunicado Oficial del ENFEN n.º 07-2022 a través de los siguientes enlaces:

<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5243>

<http://enfen.gob.pe/download/comunicado-oficial-enfen-n-07-2022/>

Redes IGP:

<https://www.gob.pe/igp>



<https://web.facebook.com/igp.peru>



https://twitter.com/igp_peru



https://www.youtube.com/c/IGP_videos