

# Pronóstico de El Niño en el Pacífico oriental con Inteligencia Artificial y el Modelado del Sistema Tierra

**Dr. Ken Takahashi**

Director de la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera  
Instituto Geofísico del Perú

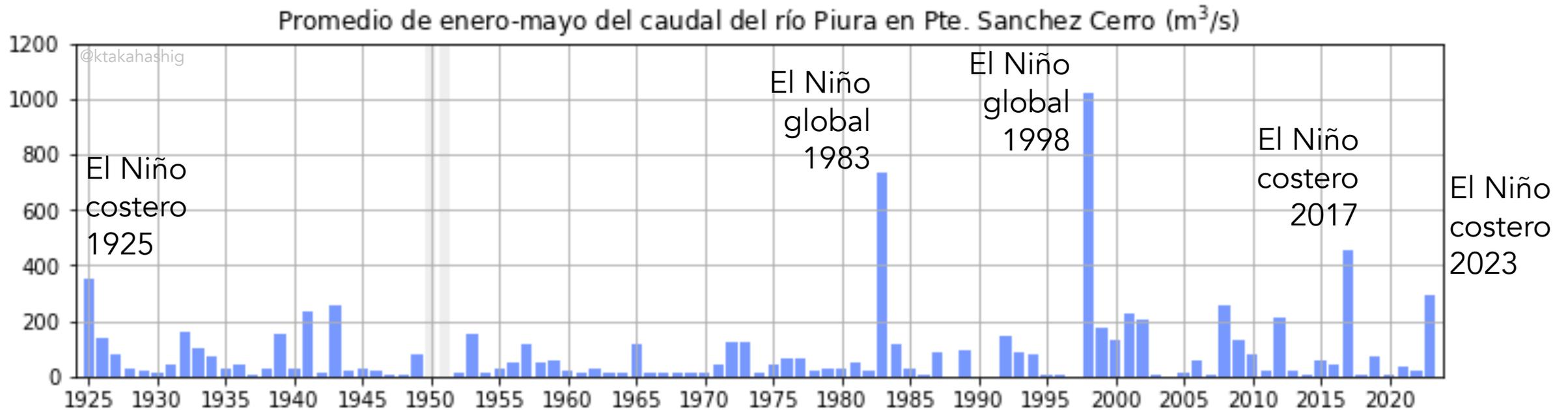


PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

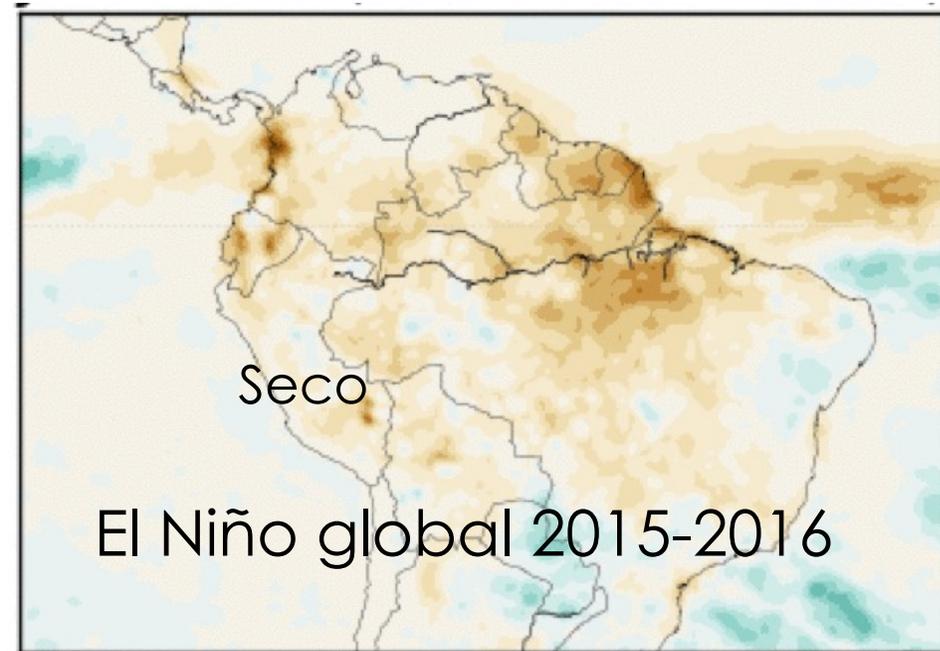
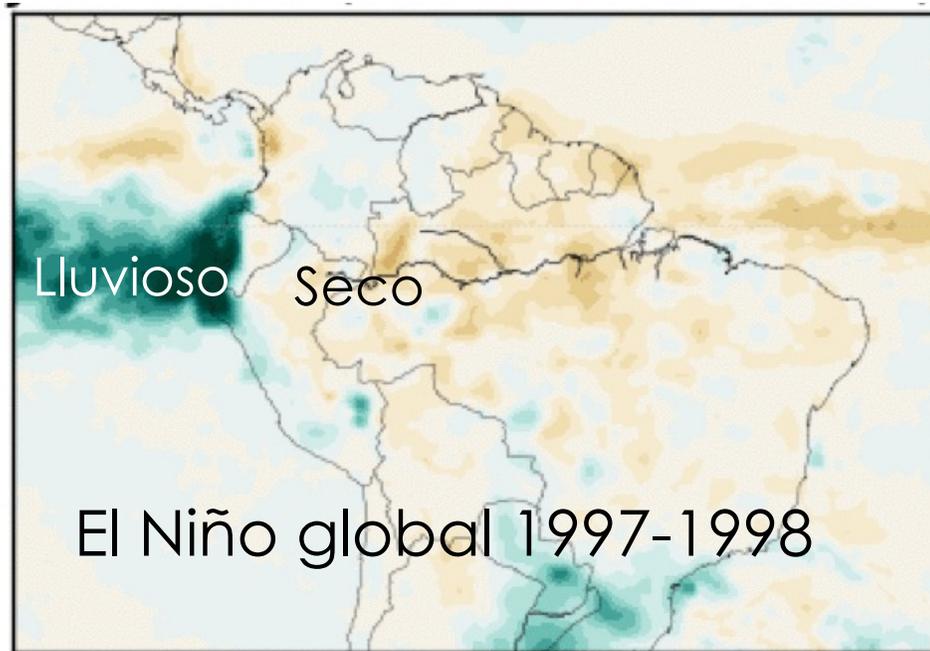


# Los eventos "El Niño global" extremos pueden producir grandes precipitaciones en la costa norte como en 1998 y 1983



Pero no todo evento "El Niño global" produce los mismos efectos, incluso eventos de gran magnitud global como el de 2016

Anomalía de precipitación (dic-feb)

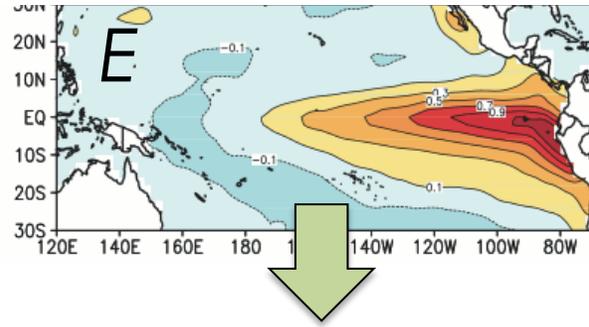


L'Heureux, Takahashi, Watkins et al., *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2016

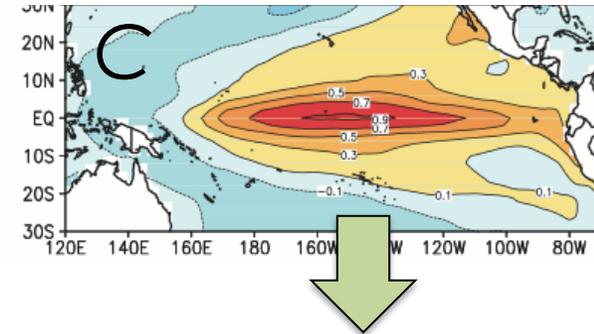
# Los efectos de los eventos "El Niño global" en las lluvias en Perú son muy sensibles al patrón geográfico del calentamiento en el océano Pacífico

Patrones de calentamiento del mar  
Takahashi et al., 2011

### Pacífico oriental

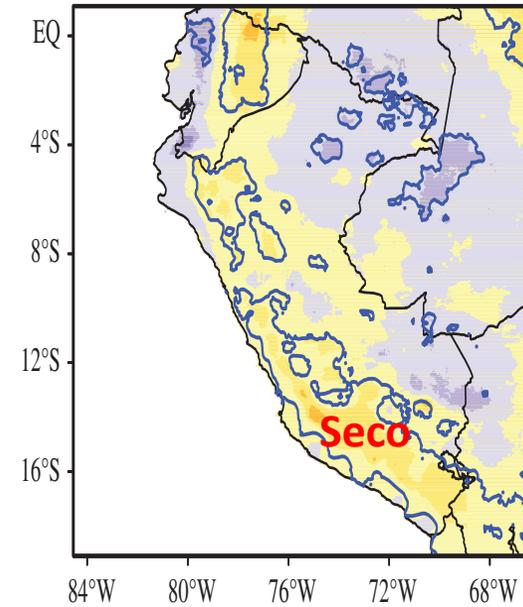
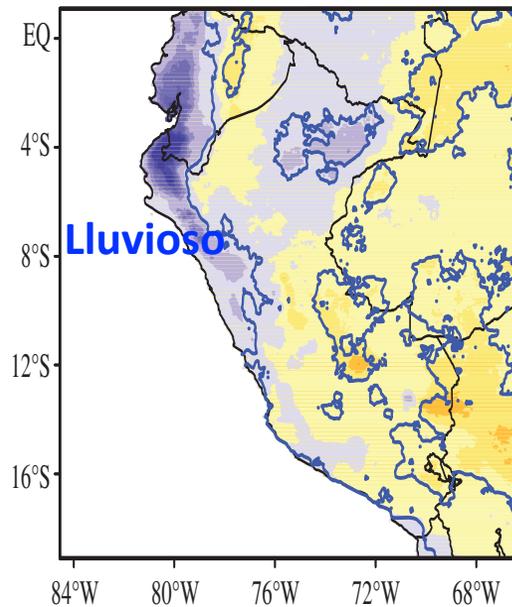


### Pacífico central

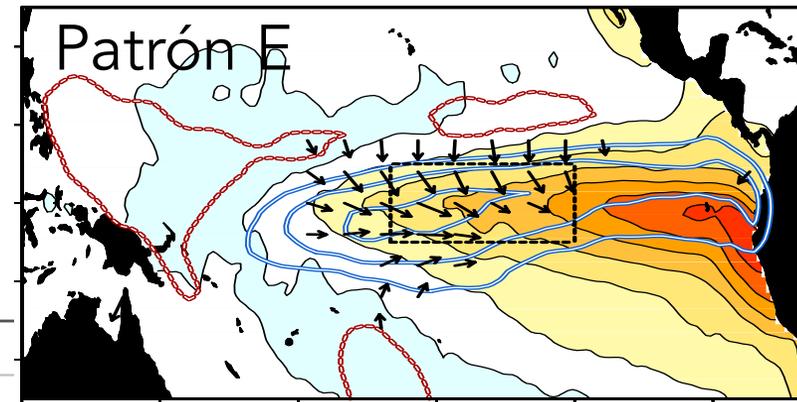


Patrón de lluvia de verano (dic-ene)

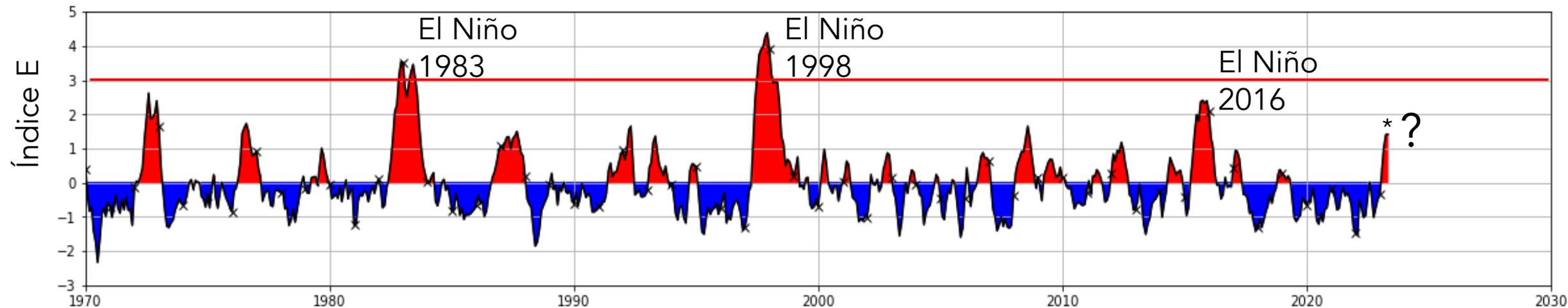
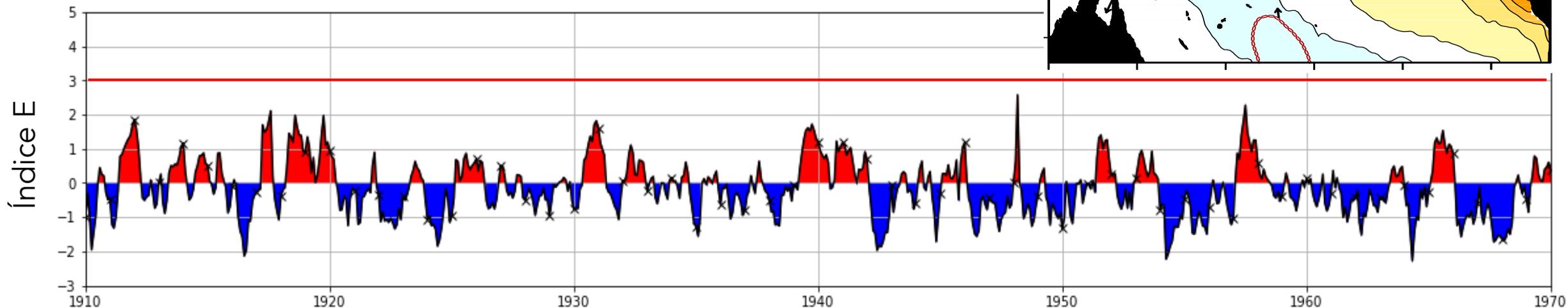
Sulca et al, 2017



# El calentamiento en el Pacífico oriental (índice E) fue muy elevado en los eventos El Niño global extremos 1998 y 1983



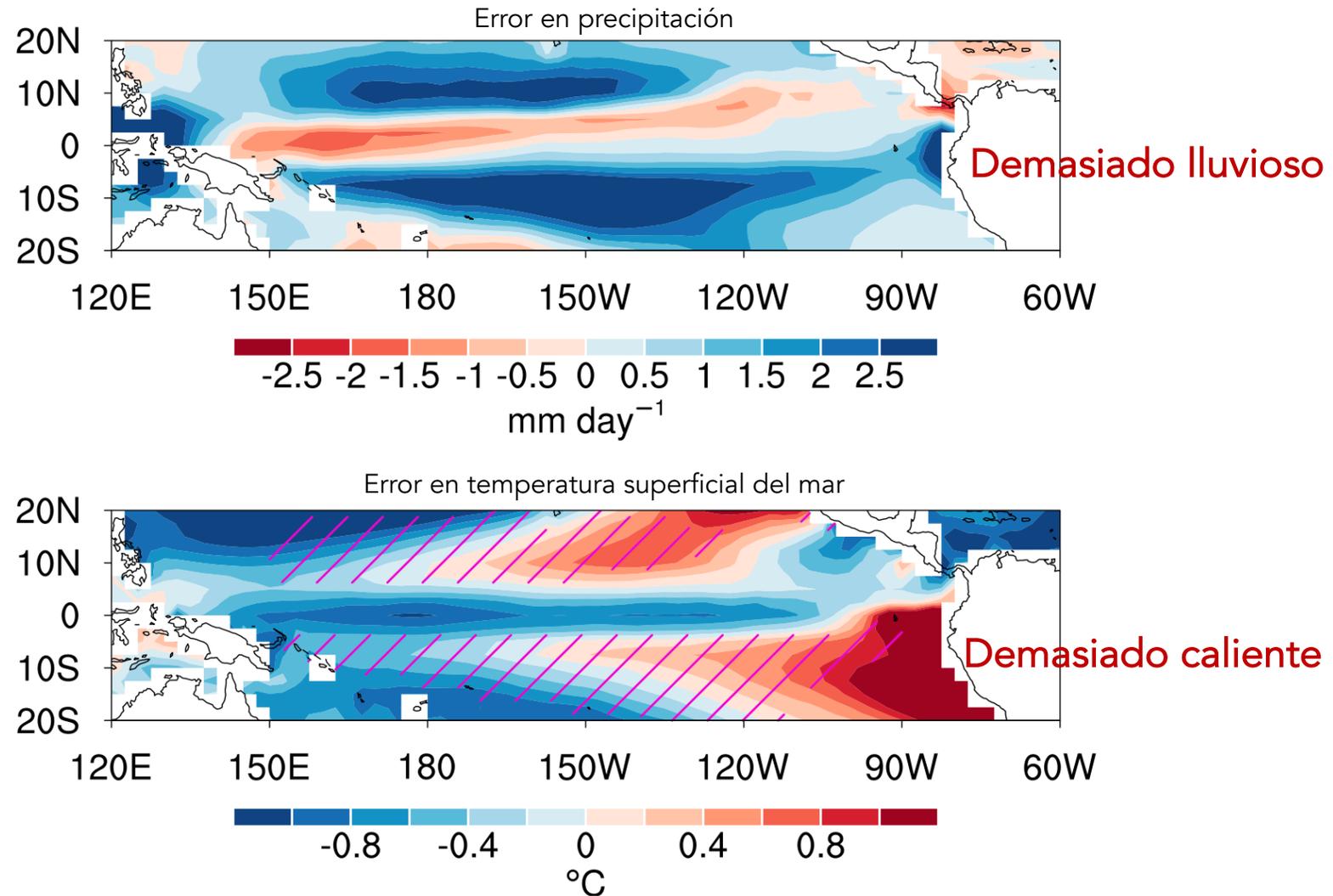
Takahashi et al., 2011; Takahashi & Dewitte, 2015



Datos: IGP

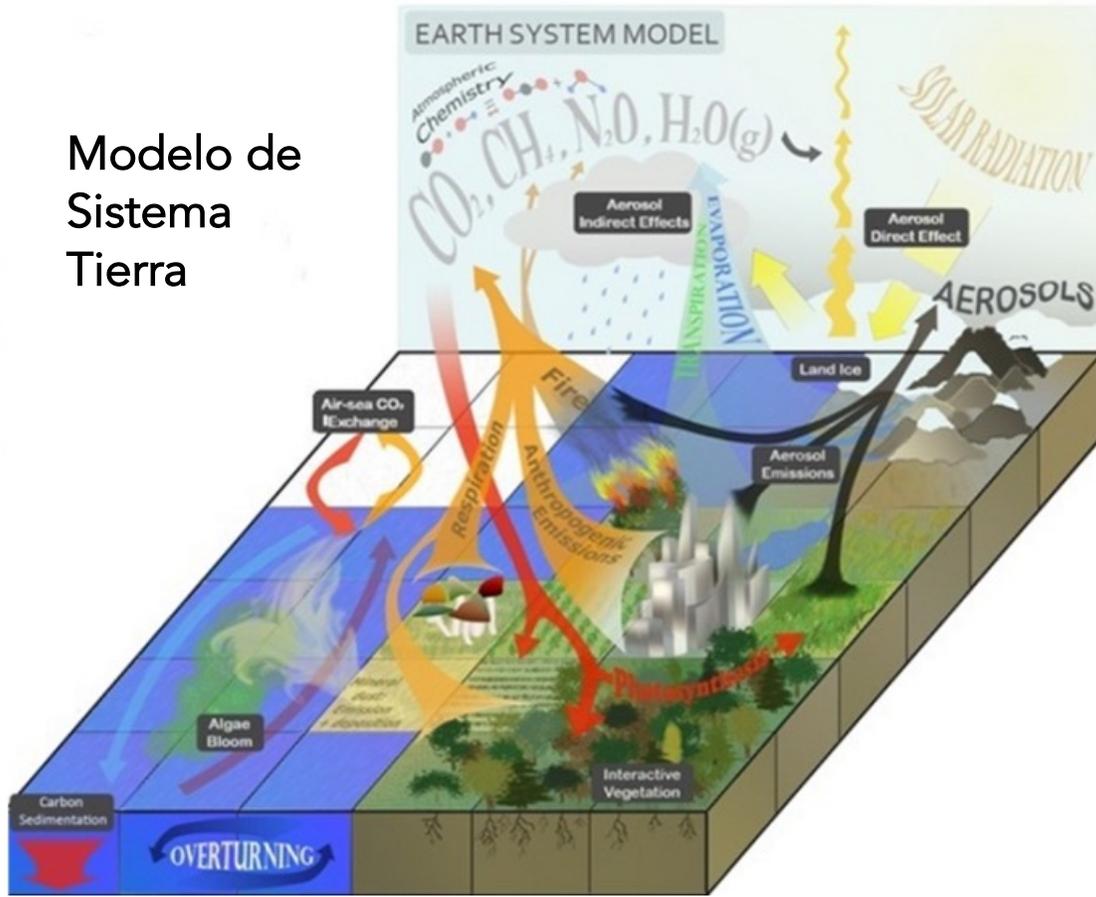
\* Datos hasta mayo 2023

# Los modelos climáticos globales internacionales de última generación (ej. CMIP6) continúan con grandes errores sistemáticos frente a Perú



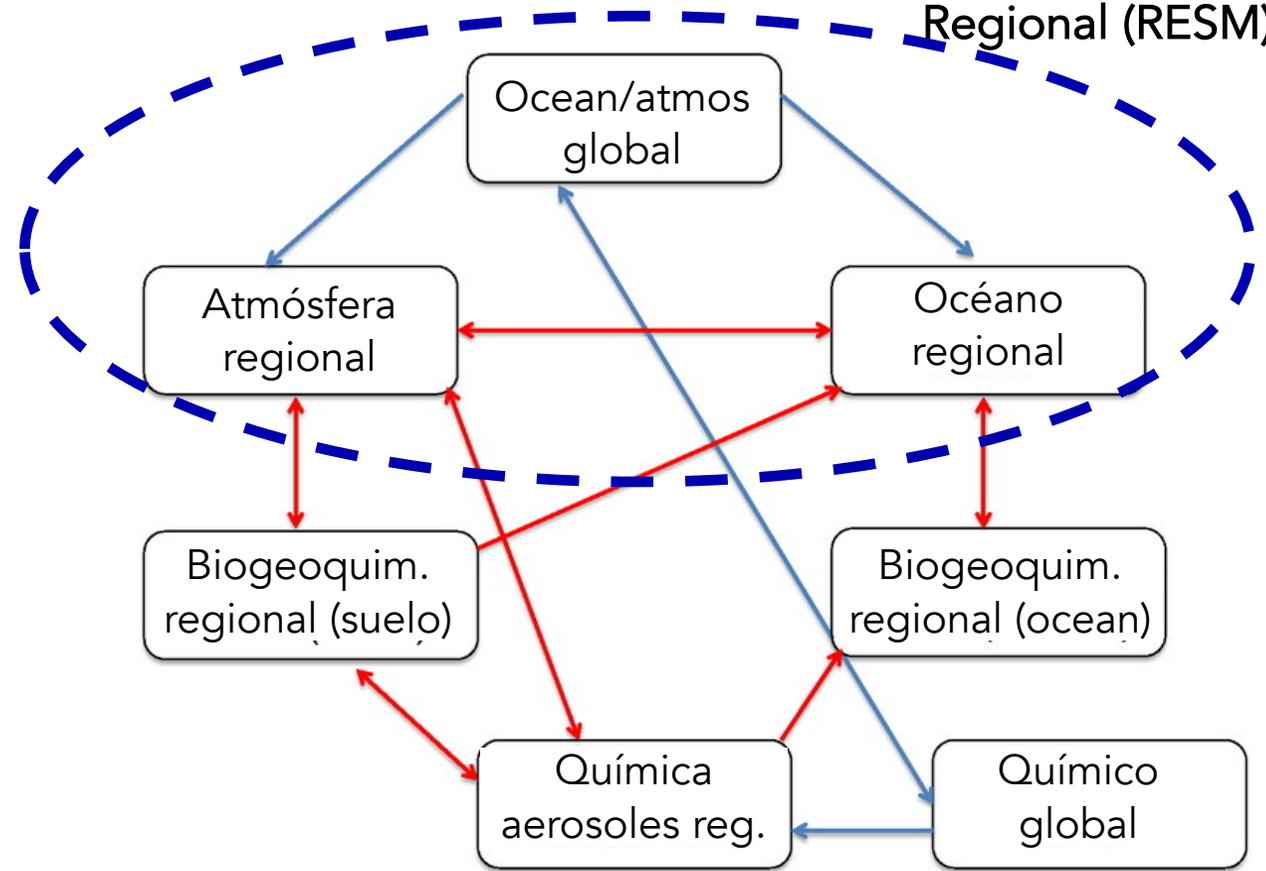
La comunidad científica considera cada vez más necesario el considerar las interacciones entre las diferentes componentes del Sistema Tierra

Modelo de Sistema Tierra



Heavens *et al.*, 2013

Sistema de Modelo de Sistema Tierra Regional (RESM)



Adaptado de Giorgi & Gao, 2018

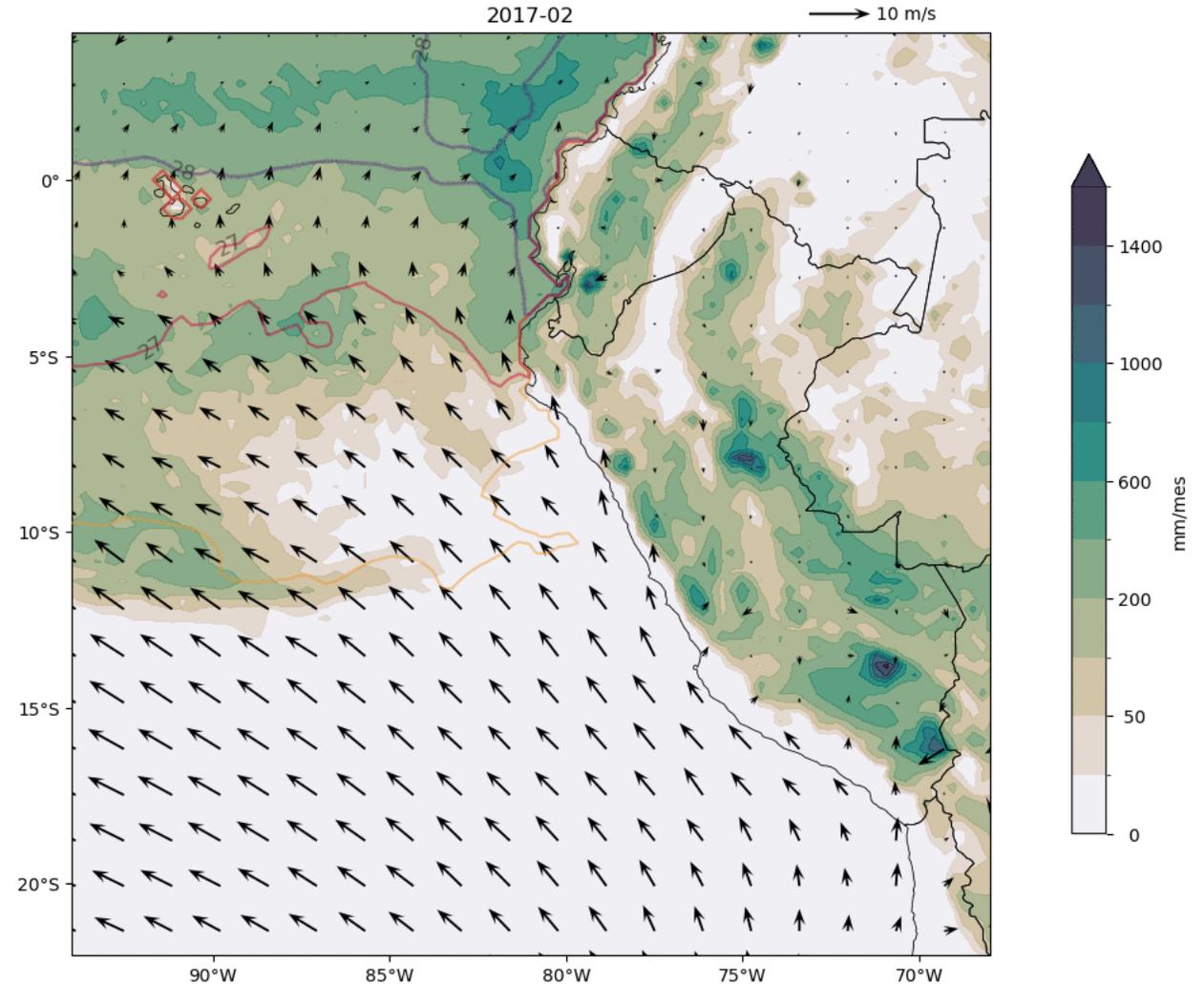
# Los Modelos de Sistema Tierra Regionales (RESM) pueden mejorar la predicción en nuestra región

El RESM del IGP (océano-atmósfera) simula bien los mecanismos climáticos locales con bastante detalle.

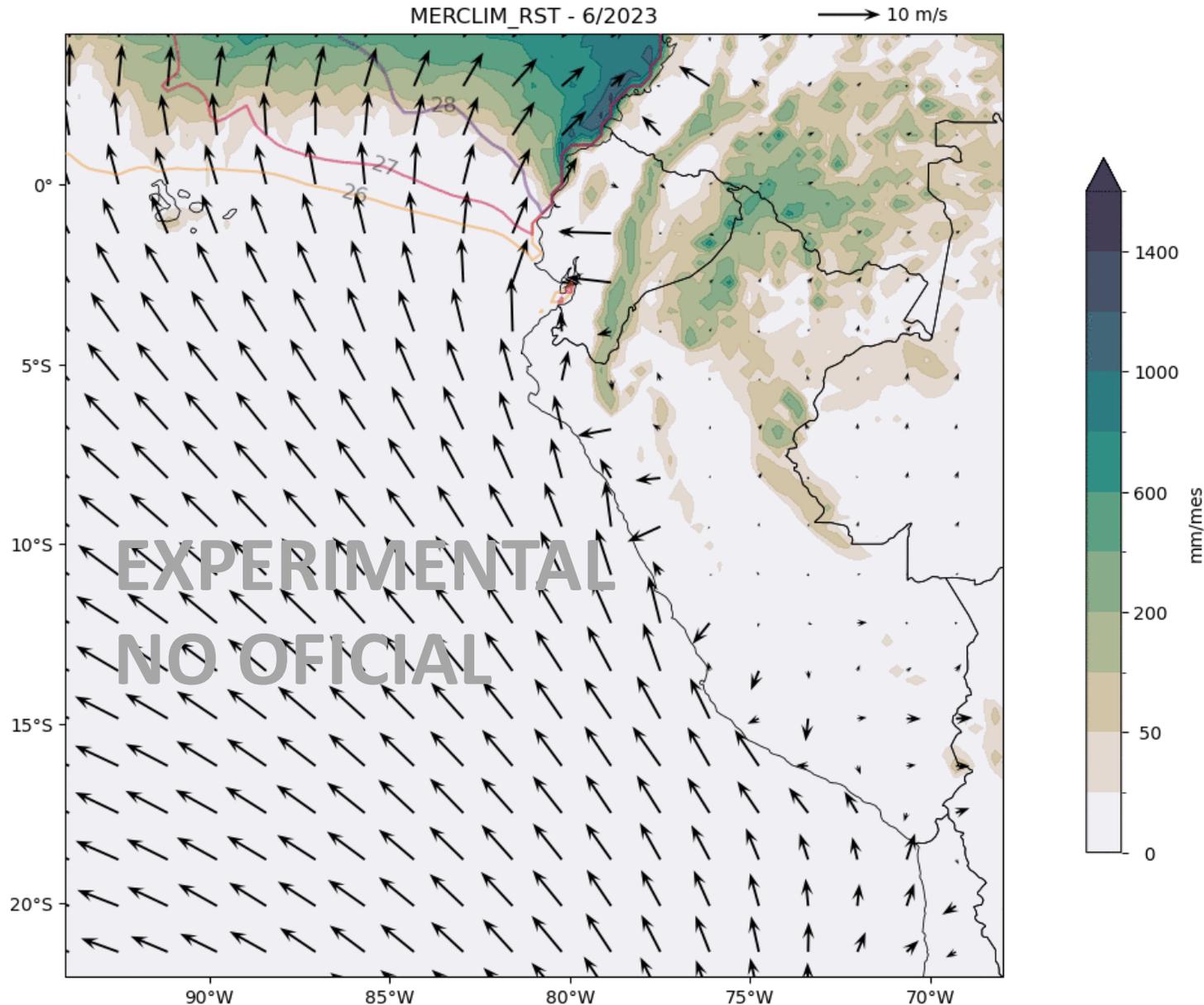
Lo estamos probando en modo predictivo para mejorar los resultados del modelo global de la NOAA con hasta 6 meses.

Buena simulación de El Niño costero 2017 a corto plazo

RESM IGP (CROCO-OASIS-WRF).  
Simulación de El Niño costero 2017



# Predicciones experimentales con el RESM del IGP



Si bien mejorará los resultados a escala regional, su calidad dependerá de la de los modelos globales que lo alimenten.

Para operativizarlo, se deberán considerar múltiples simulaciones con múltiples modelos globales para capturar el rango de posibles escenarios.

# Entradas

$t - 2$

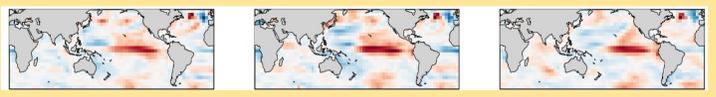
$t - 1$

$t$

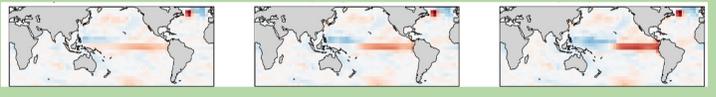
# Arquitectura del modelo de IA (red neuronal convolucional)

# Salidas

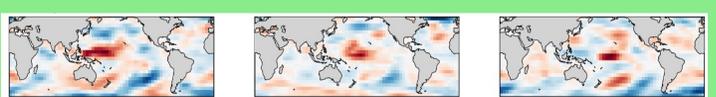
Temperatura superficial del mar



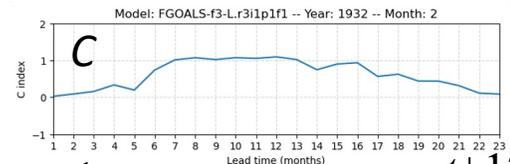
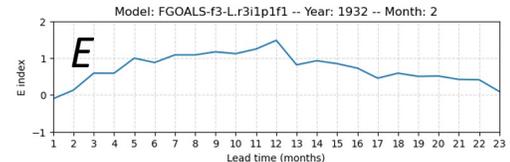
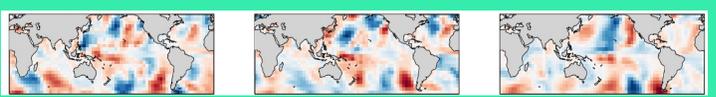
Nivel del mar



Viento zonal



Viento meridional



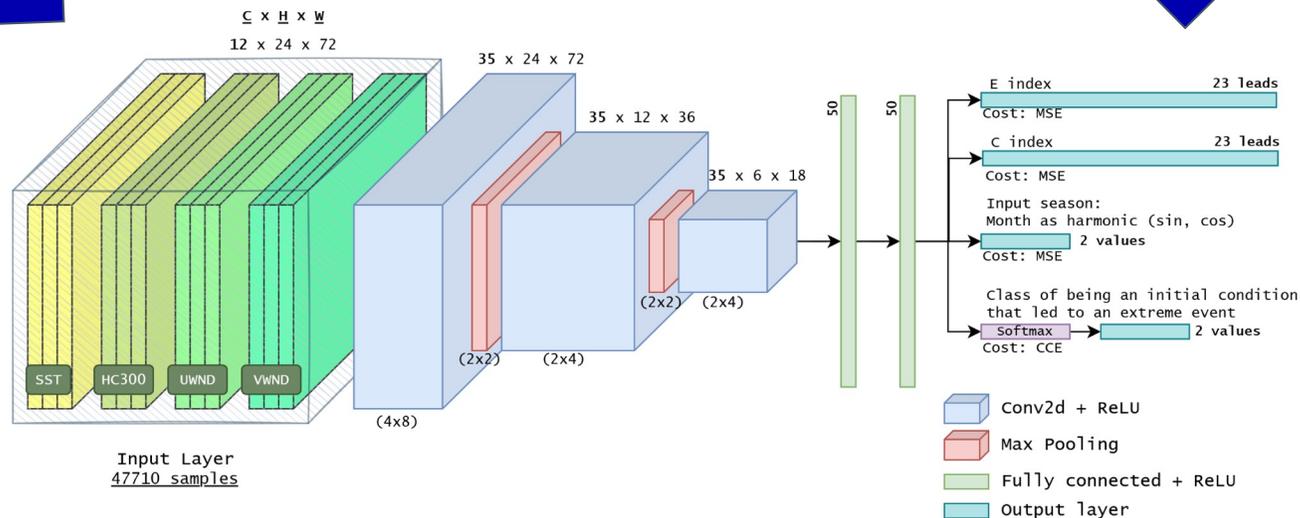
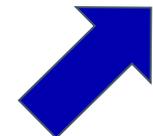
$t+1$   $t+12$

+ Probabilidad de El Niño extremo en el Pacífico oriental (ej. 1998)



El modelo de IA del IGP predice el índice E con 12 meses de anticipación.

Fue entrenado con resultados de 16 modelos globales y ajustado con datos observacionales.



# Entrenamiento básico

**Modelos numéricos**  
> 6000 años en total de simulaciones provenientes de los 16 modelos climáticos CMIP6 que mejor representan El Niño extremo en el Pacífico oriental

Rivera-Tello et al., en preparación

# Desarrollo del modelo de IA

- Learning rate: 1e-4
- Batch size: 512
- Optimization: Adam
- Regularization: Early stopping



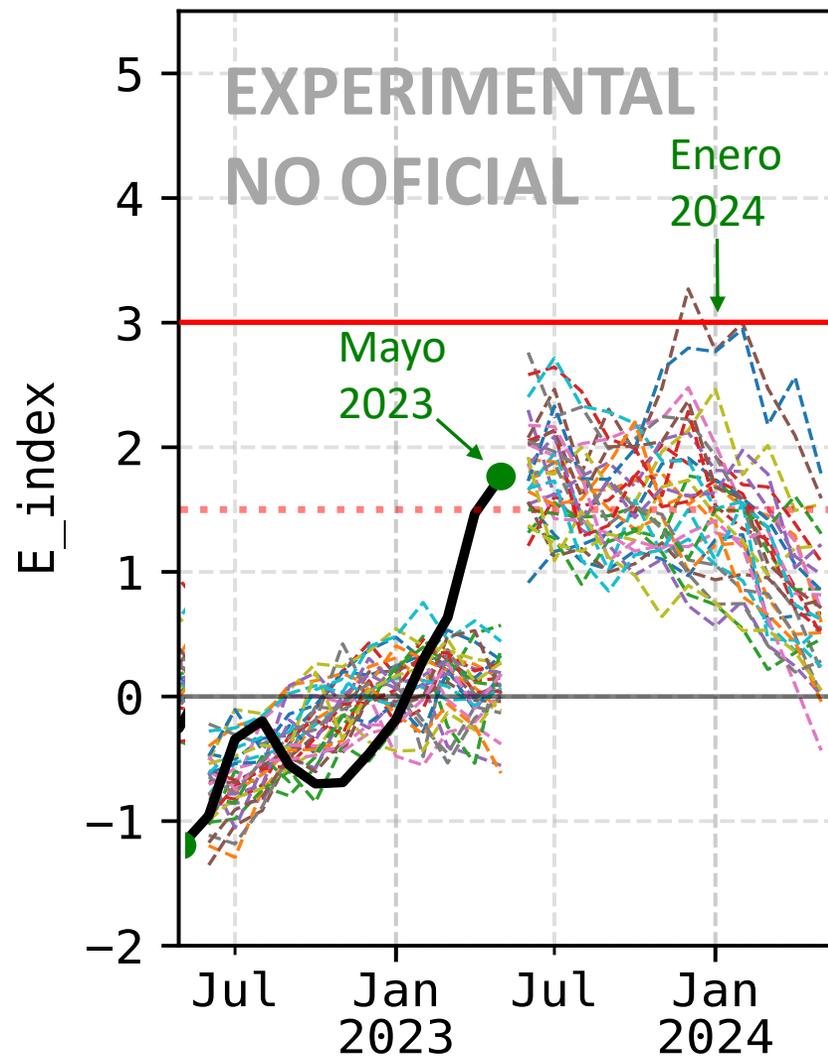
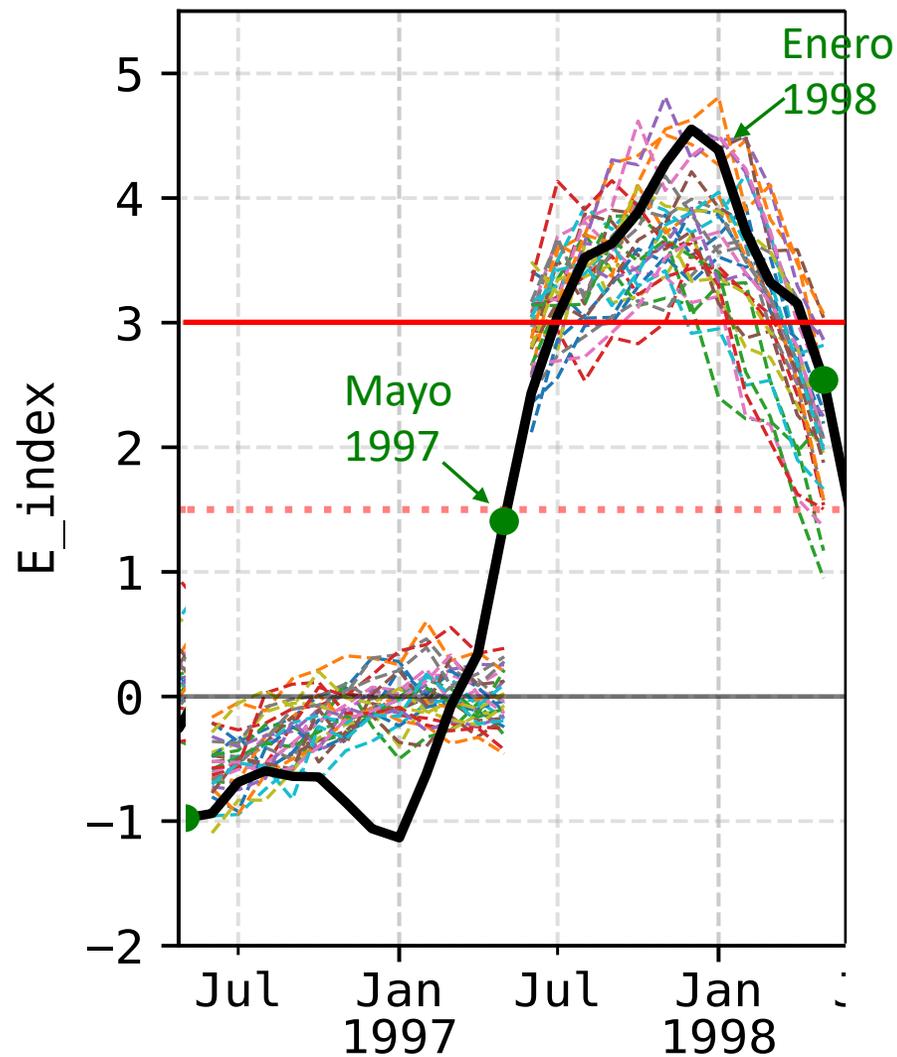
## Especialización

**Datos observacionales**  
Periodo 1871-1985 (115 años), incluyendo los eventos de 1877-1878 y 1982-1983.

## Evaluación final

**Datos observacionales**  
Periodo 1995-2022 (28 años), incluyendo el evento de 1997-1998

# Pronósticos experimentales con inteligencia artificial



Recomendación sobre

# la ética de la inteligencia artificial

Adoptada el 23 de noviembre de 2021

## Transparencia y explicabilidad

- 40.** La explicabilidad supone hacer inteligibles los resultados de los sistemas de IA y facilitar información sobre ellos. La explicabilidad de los sistemas de IA también se refiere a la inteligibilidad de la entrada, salida y funcionamiento de cada componente algorítmico y la forma en que contribuye a los resultados de los sistemas. Así pues, la explicabilidad está estrechamente relacionada con la transparencia, ya que los resultados y los subprocesos que conducen a ellos deberían aspirar a ser comprensibles y trazables, apropiados al contexto. Los actores de la IA deberían comprometerse a velar por que los algoritmos desarrollados sean explicables.

En el caso de las aplicaciones de IA cuyo impacto en el usuario final no es temporal, fácilmente reversible o de bajo riesgo, debería garantizarse que se proporcione una explicación satisfactoria con toda decisión que haya dado lugar a la acción tomada, a fin de que el resultado se considere transparente.

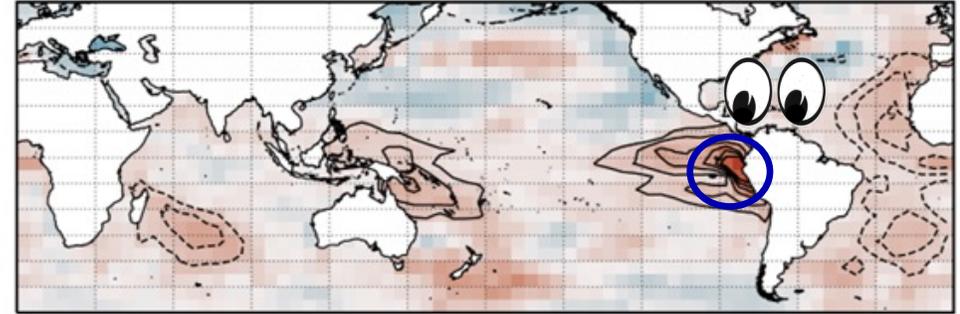
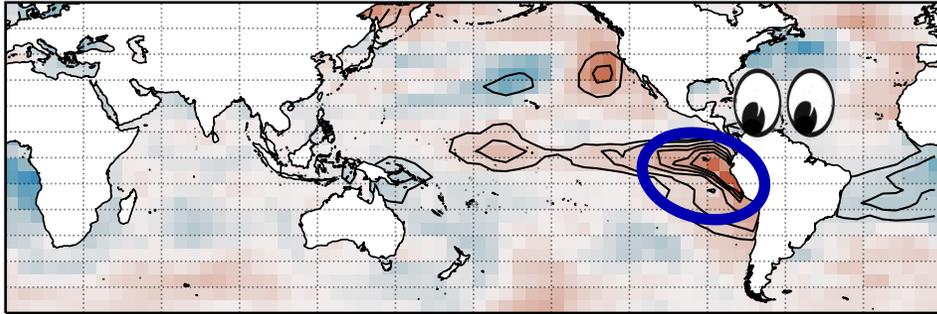
*Los pronósticos con IA de eventos de alto impacto como El Niño extremo deberían ser explicados*

Mayo 1997

Mayo 2023

Temperatura superficial del mar

Temperatura superficial del mar

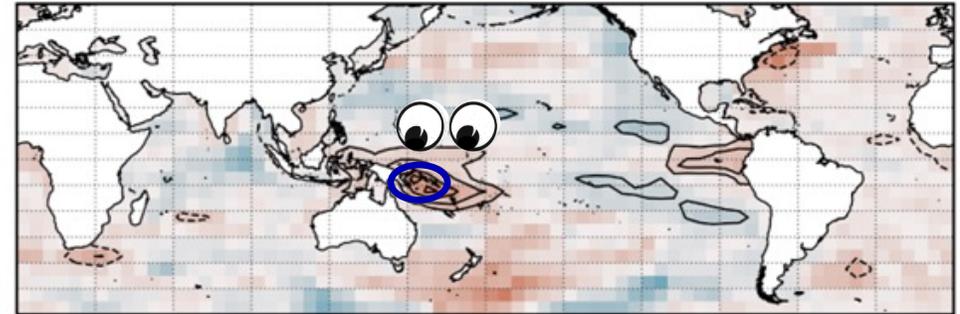
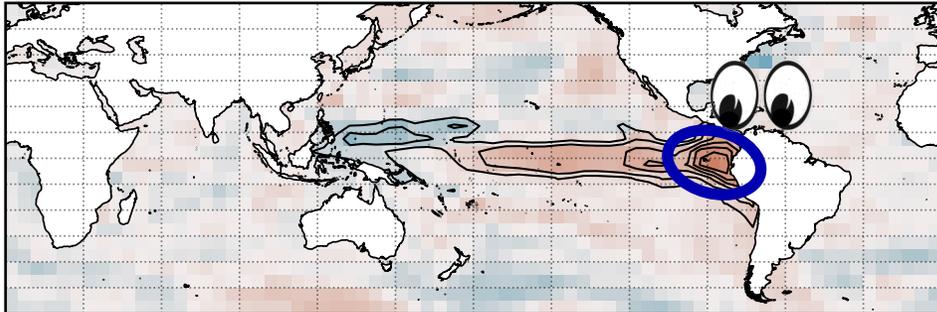


0° 30°E 90°E 150°E 150°W 90°W 30°W

0° 30°E 90°E 150°E 150°W 90°W 30°W

Nivel del mar

Nivel del mar

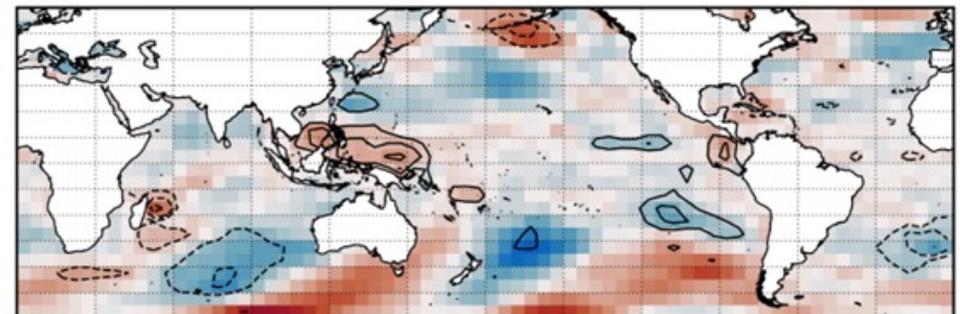
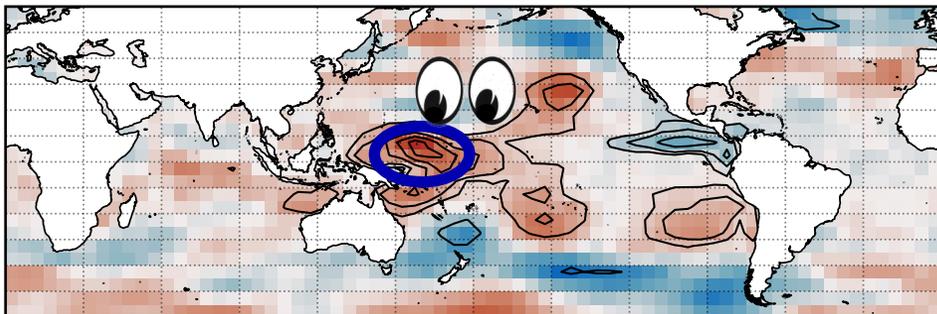


0° 30°E 90°E 150°E 150°W 90°W 30°W

0° 30°E 90°E 150°E 150°W 90°W 30°W

Viento zonal

Viento zonal



0° 30°E 90°E 150°E 150°W 90°W 30°W

0° 30°E 90°E 150°E 150°W 90°W 30°W

# Resumen

1. El pronóstico de los efectos de El Niño extremo es complejo y sutil
2. Los modelos de pronóstico globales tienen errores importantes en nuestra región
3. El Modelo de Sistema Tierra Regional del IGP es prometedor, proporciona resultados más exactos y detallados a 6 meses en la costa de Perú, pero se requiere ampliar el número de simulaciones y modelos globales para cubrir el rango de escenarios posibles
4. El Modelo de Inteligencia Artificial del IGP es también prometedor, con predicciones a 12 meses de la posibilidad de El Niño global extremo y explicaciones del origen de estas predicciones. Se propondrá su consideración como insumo para la Comisión ENFEN.