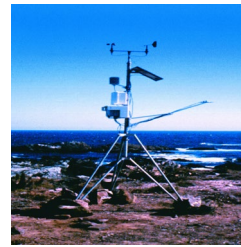
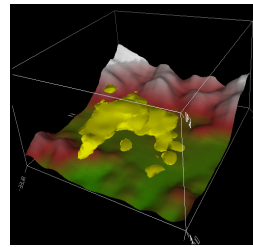
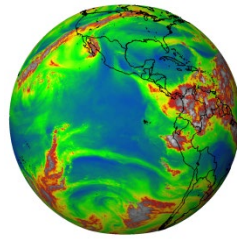


Universidad de Chile
Departamento de Geofísica

El Niño – Oscilación del Sur (ENSO)

Prof. René Garreaud
www.dgf.uchile.cl/rene

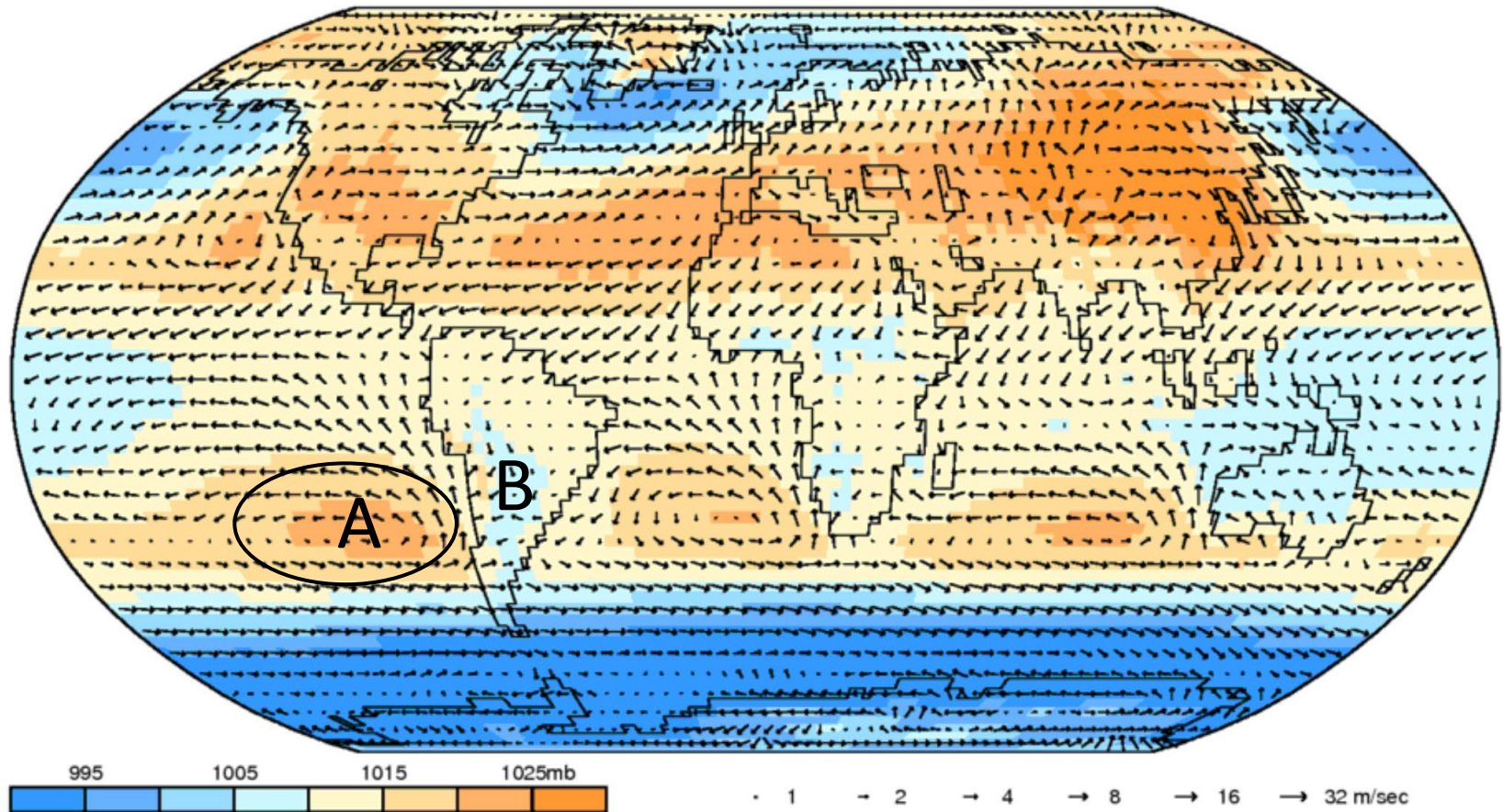


Partamos por revisar la condición media
(climatología) sobre el Pacífico

Sobre los océanos se ve algo similar a lo esperado, alisios en los subtrópicos y oeste en latitudes medias. Notar que las bandas de altas presiones han sido sustituidas por anticiclones subtropicales

Mean Sea-Level Pressure and Surface Winds

Jan



Climate Data: NCEP/NCAR Reanalysis at CDC [<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>]

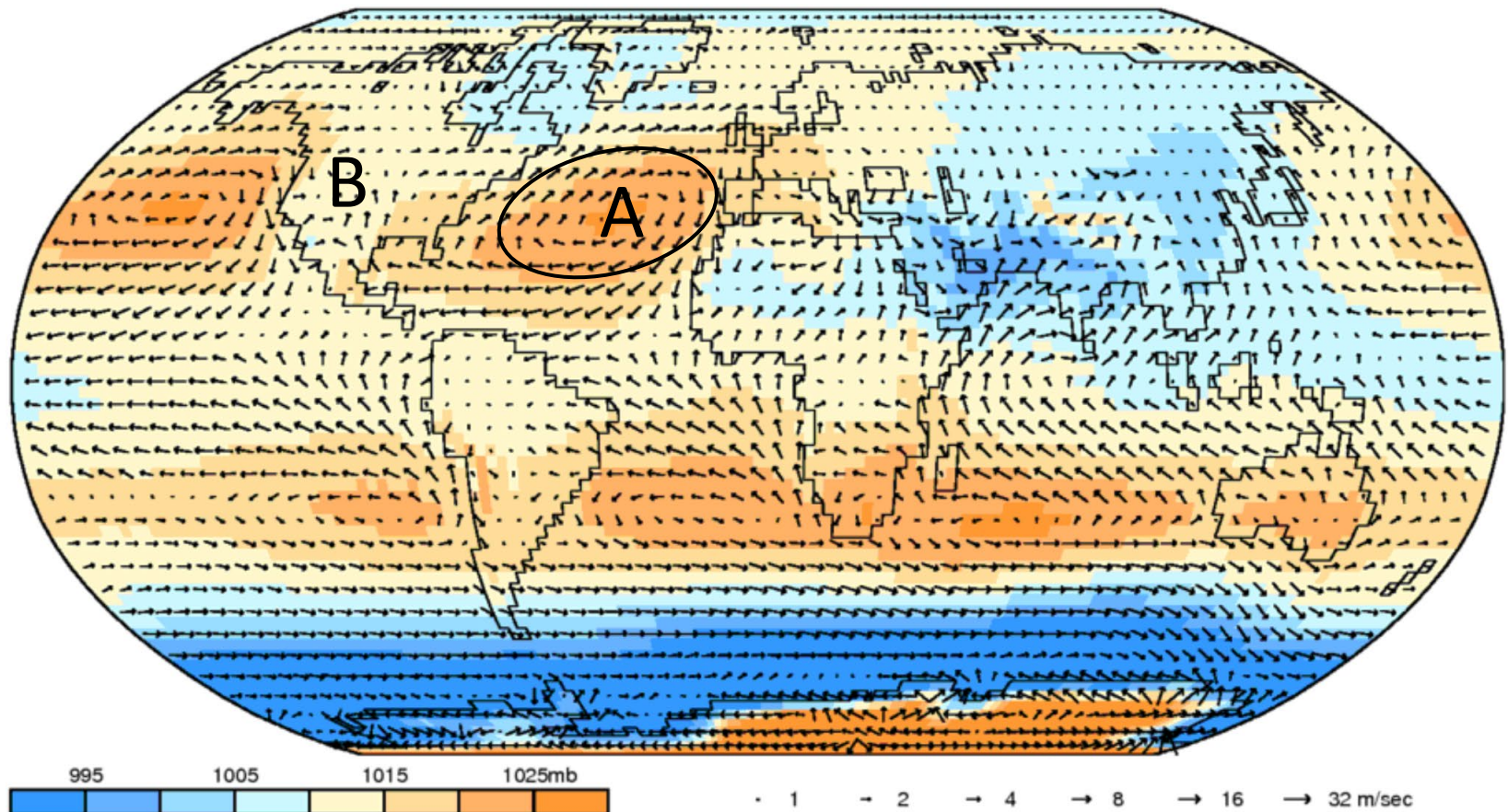
Images: <http://climvis.org>

(1971-2000 base period)

Sobre los océanos se ve algo similar a lo esperado, alisios en los subtropicos y oestes en latitudes medias. Notar que las bandas de altas presiones han sido sustituidas por anticiclones subtropicales

Mean Sea-Level Pressure and Surface Winds

Jul



Climate Data: NCEP/NCAR Reanalysis at CDC [<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>]

Images: <http://climvis.org>

(1971-2000 base period)

$$u = \bar{u} + \frac{\sqrt{2}}{\rho_0 f d} e^{z/d} \left[\tau^x \cos\left(\frac{z}{d} - \frac{\pi}{4}\right) - \tau^y \sin\left(\frac{z}{d} - \frac{\pi}{4}\right) \right], \quad (5-18a)$$

$$v = \bar{v} + \frac{\sqrt{2}}{\rho_0 f d} e^{z/d} \left[\tau^x \sin\left(\frac{z}{d} - \frac{\pi}{4}\right) + \tau^y \cos\left(\frac{z}{d} - \frac{\pi}{4}\right) \right], \quad (5-18b)$$

in which we note that the departure from the interior flow ($\bar{u}$, $\bar{v}$) is exclusively due to the wind stress. In other words, it does not depend on the interior flow. Moreover, this wind-driven flow component is inversely proportional to the Ekman-layer depth, d , and can be very large. Physically, if the fluid is almost inviscid (small ν , hence small d), a moderate surface stress can generate large velocities.

The wind-driven horizontal transport in the surface Ekman layer has components given by

$$U = \int_{-\infty}^0 (u - \bar{u}) dz = \frac{1}{\rho_0 f} \tau^y \quad (5-19a)$$

$$V = \int_{-\infty}^0 (v - \bar{v}) dz = -\frac{1}{\rho_0 f} \tau^x. \quad (5-19b)$$

Surprisingly, it is oriented perpendicular to the direction of the wind stress (Figure 5-5), to the right in the Northern Hemisphere and to the left in the Southern Hemisphere. This fact explains why icebergs, which have mass that is mostly underwater, systematically drift to the right of the wind in the North Atlantic.

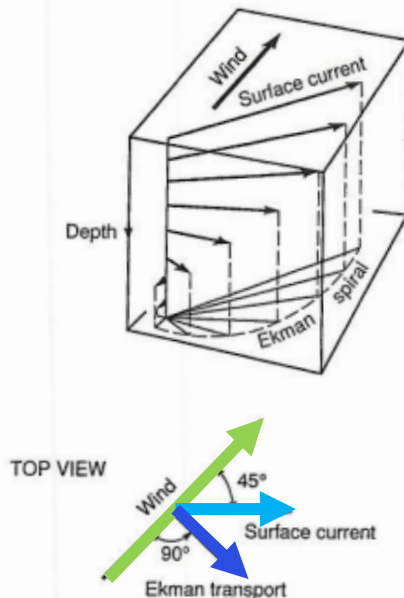


Figure 5-5 Structure of the surface Ekman layer. The figure is drawn for the Northern Hemisphere ($f > 0$), and the deflection is to the right of the surface stress. The reverse holds for the Southern Hemisphere.

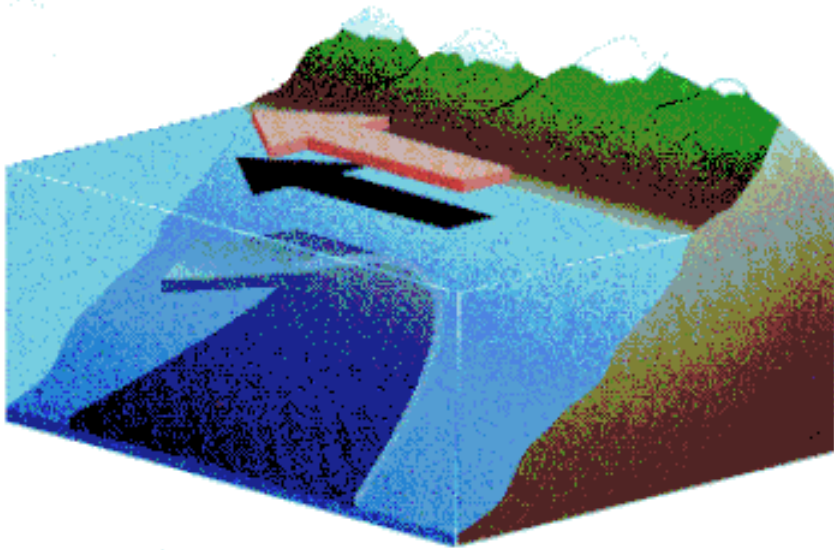
Debido a la rotación terrestre, las corrientes en el océano no son paralelas al viento que las fuerza.

La **corriente superficial** forma un ángulo de 45° con respecto al **viento**.

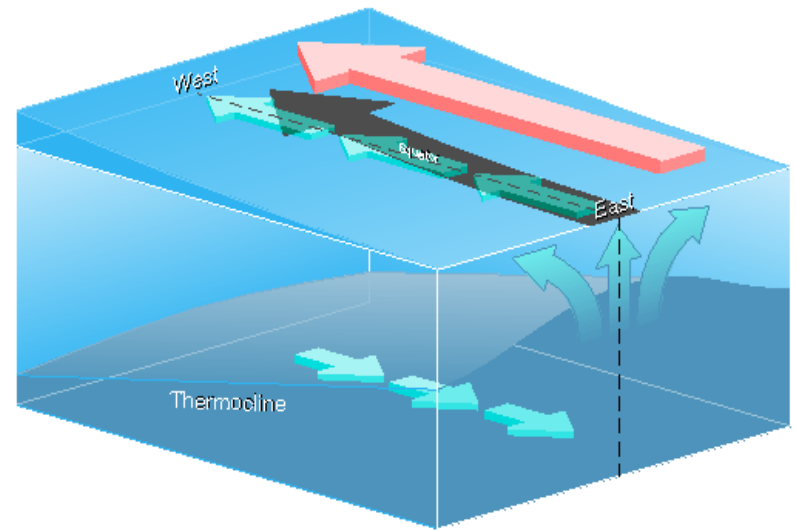
La **corriente integrada en la vertical** (flujo total de masa, transporte de Ekman) forma un ángulo de 90° con respecto al viento.

Cuando el transporte de Ekman ocurre cerca de la línea de costa, la continuidad de masa en la capa superficial del océano requiere del afloramiento de aguas profundas. Esta **surgencia** trae a la superficie aguas frías y ricas en nutrientes.

Aparte de la surgencia costera, también hay surgencia ecuatorial



Surgencia costera



Surgencia ecuatorial

La surgencia costera y
ecuatorial explica la
condición de aguas frías a lo
largo de la costa Pacífica de
Sud América.

Circulación Atmósfera



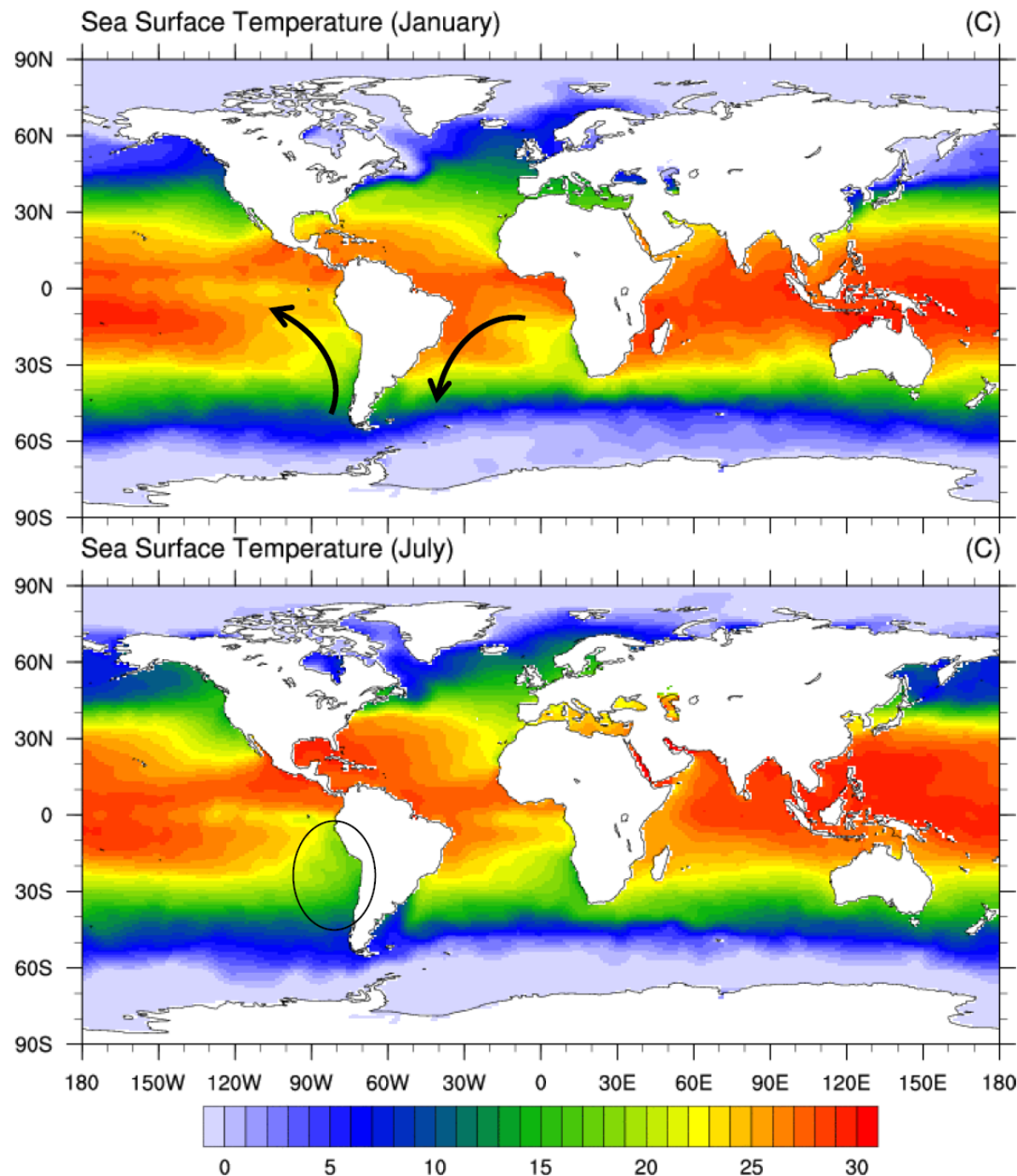
Circulación Oceánica

+

Bordes continentales



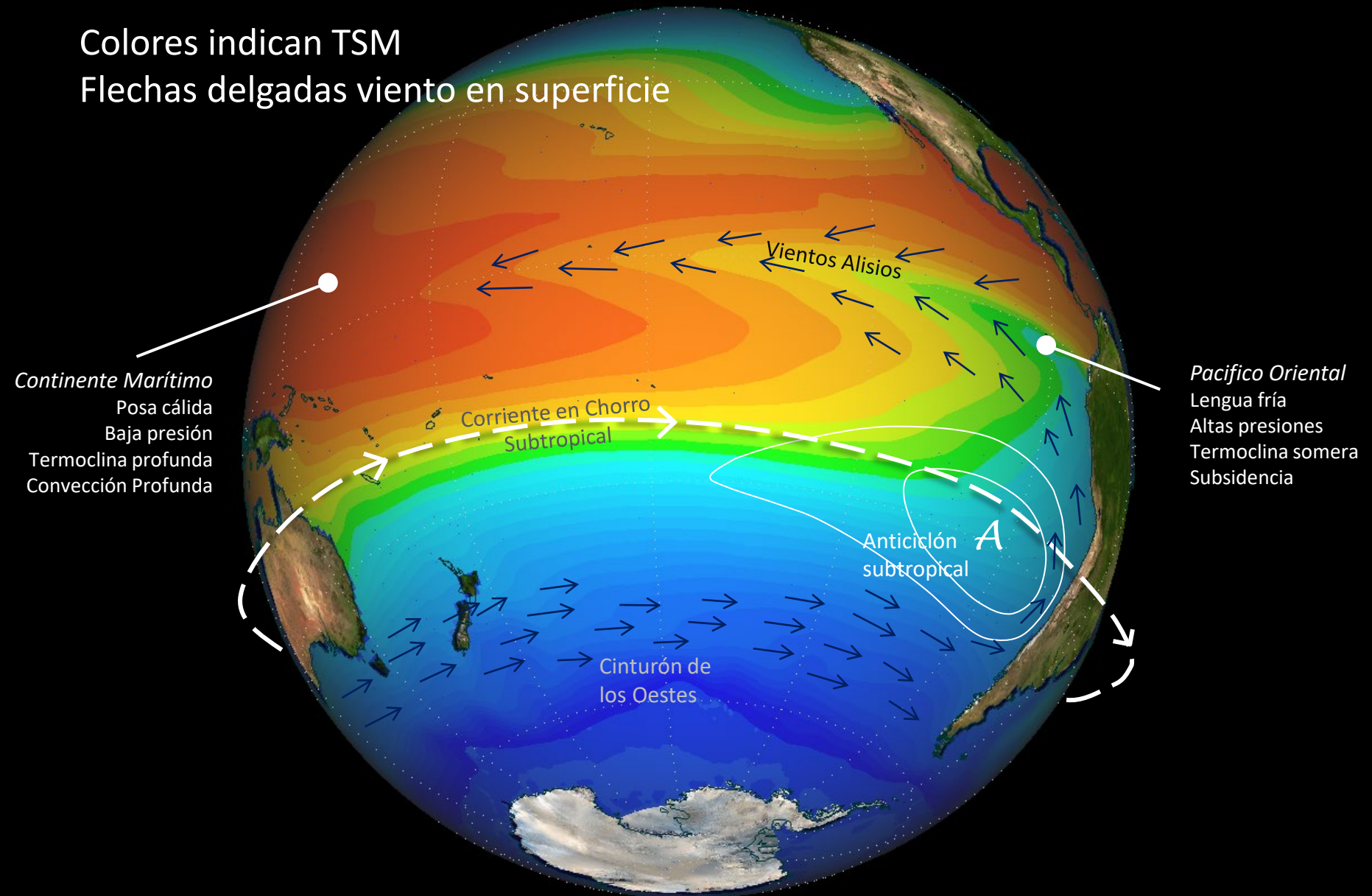
Efectos locales en TSM



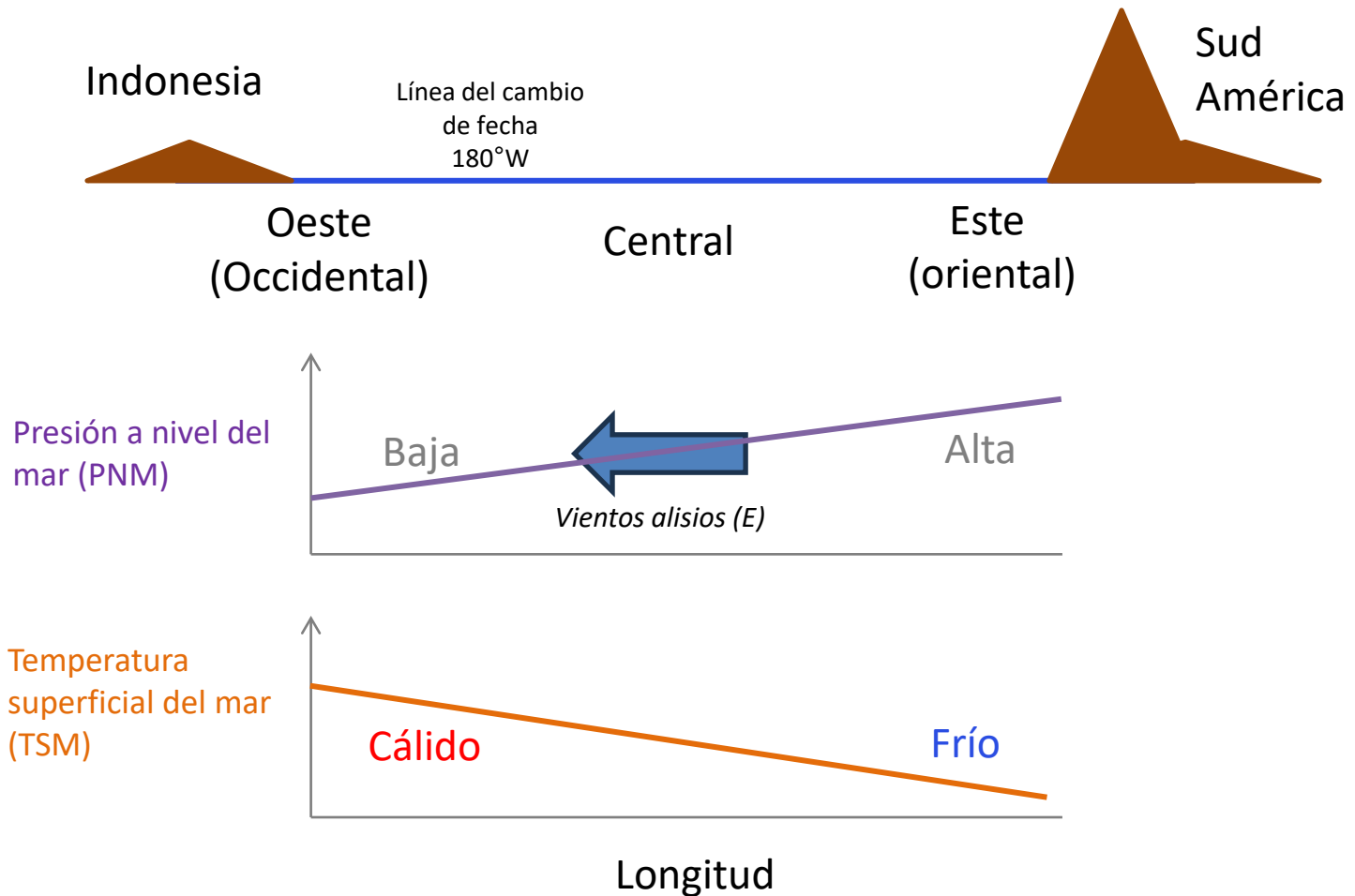
Condición media: Asimetría zonal y acoplamiento OA

Colores indican TSM

Flechas delgadas viento en superficie

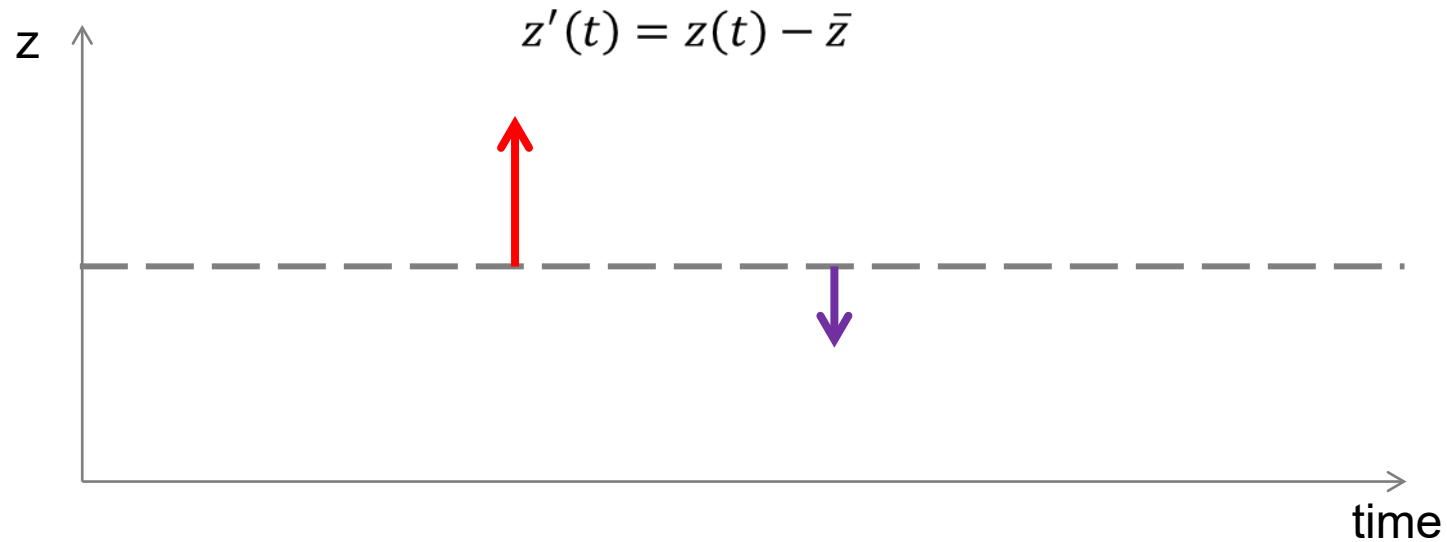


Condición media en el Pacífico ecuatorial
Corte a través del Pacífico ecuatorial ($\pm 10^\circ$ latitud)



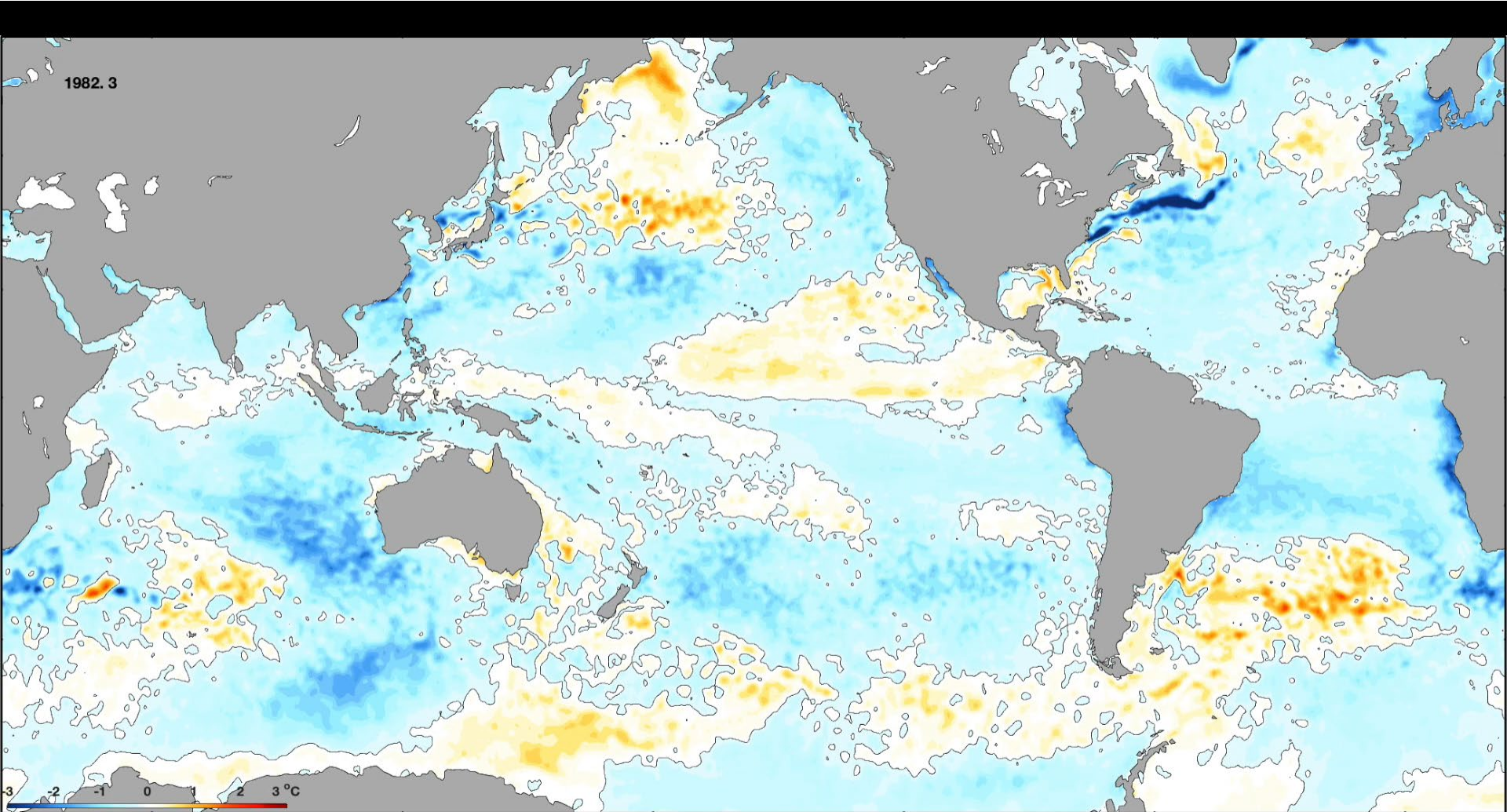
El concepto de anomalía de una variable climatológica

Sea $z(\text{lat}_0, \text{lon}_0, \text{time})$ la serie de tiempo de la variable z en un punto del planeta (definido por sus coordenadas geográficas $\text{lat}_0, \text{lon}_0$)



Anomalías de TSM (SST-OI). Valores mensuales 1982 – 2017

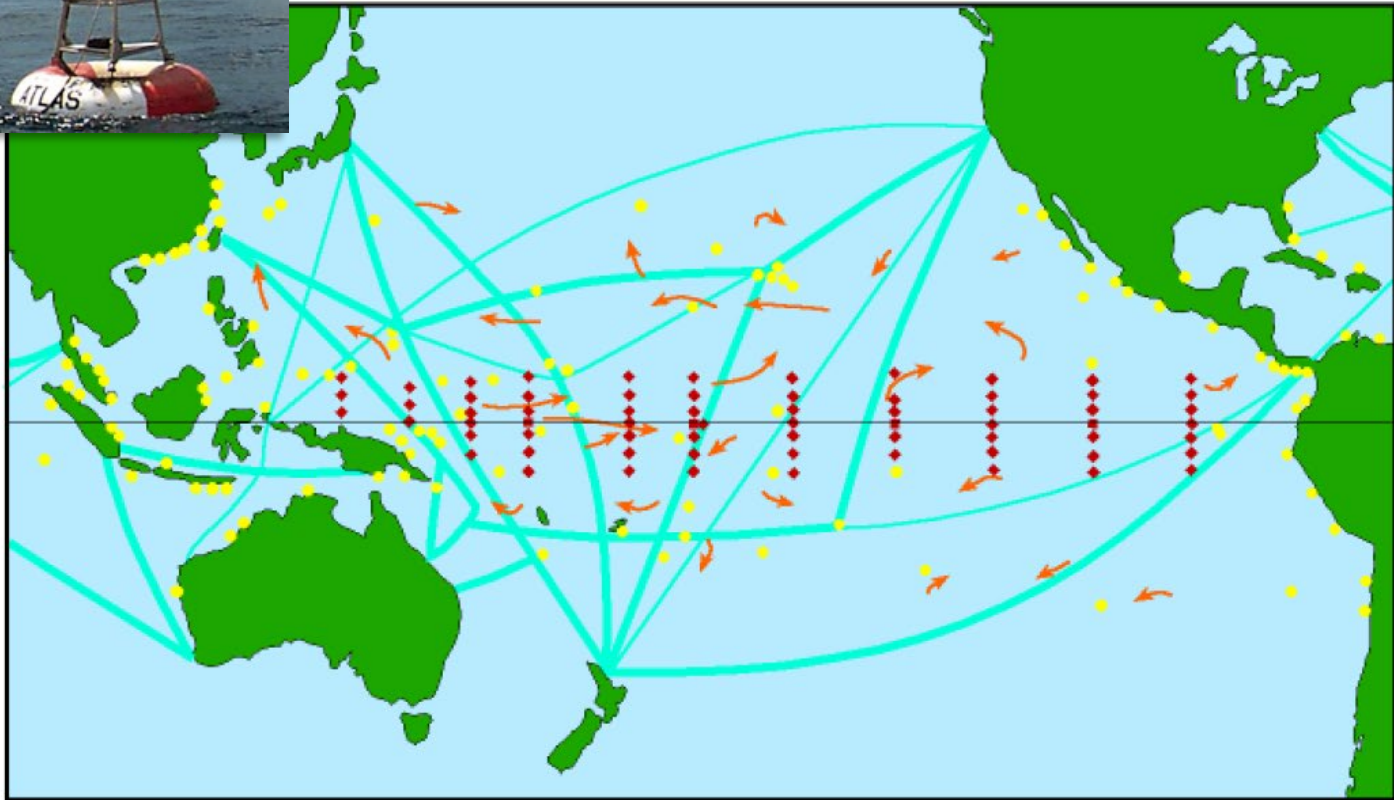
<https://animations.atmos.uw.edu/>



Donde ocurren las mayores anomalías de TSM?
El Niño: periodos cuando el Pacífico Ecuatorial se calienta

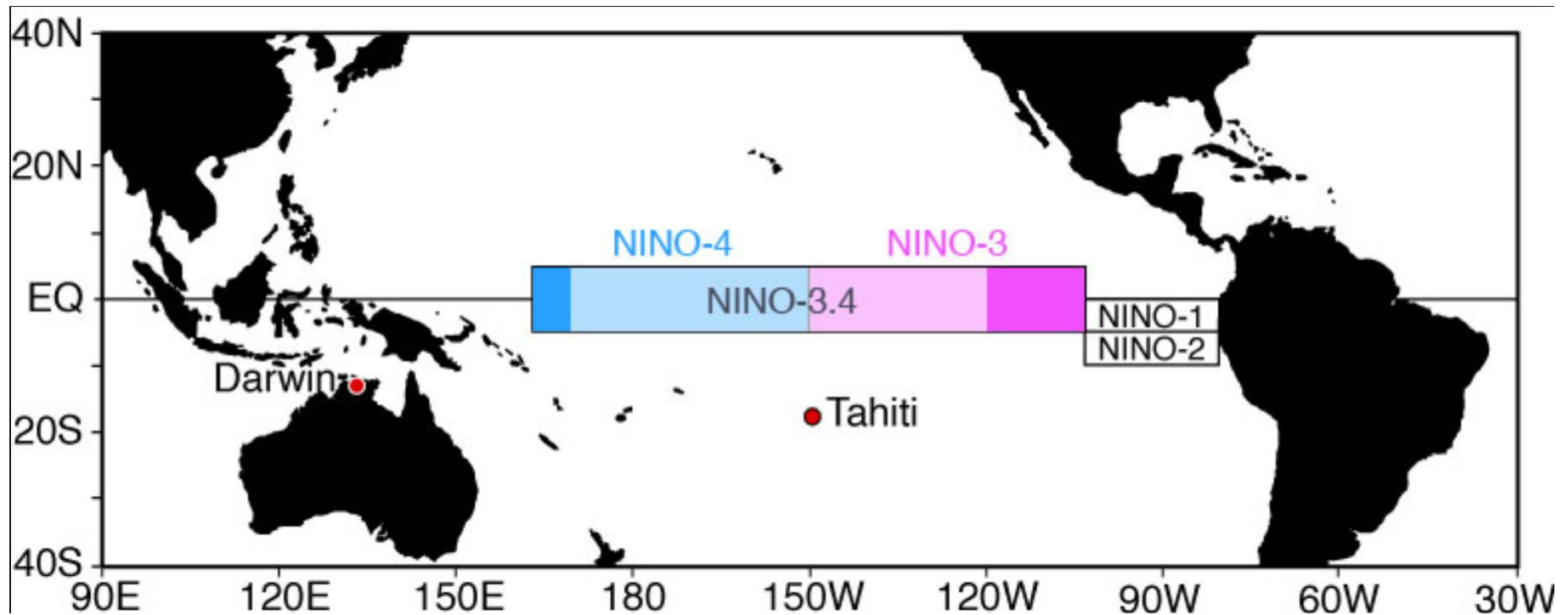


ENSO Observing System



Regiones El Niño

Cada día se obtiene la temperatura superficial del mar y se le resta su promedio de largo plazo (anomalía de TSM)

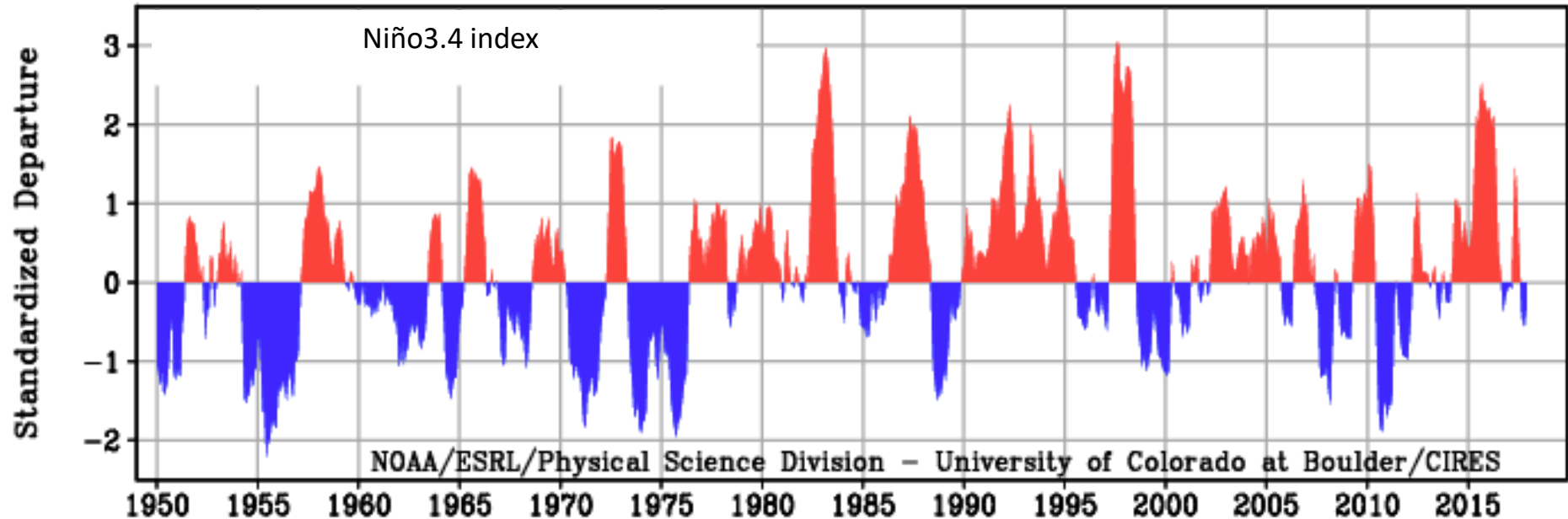


Variabilidad interanual en el Pacifico tropical

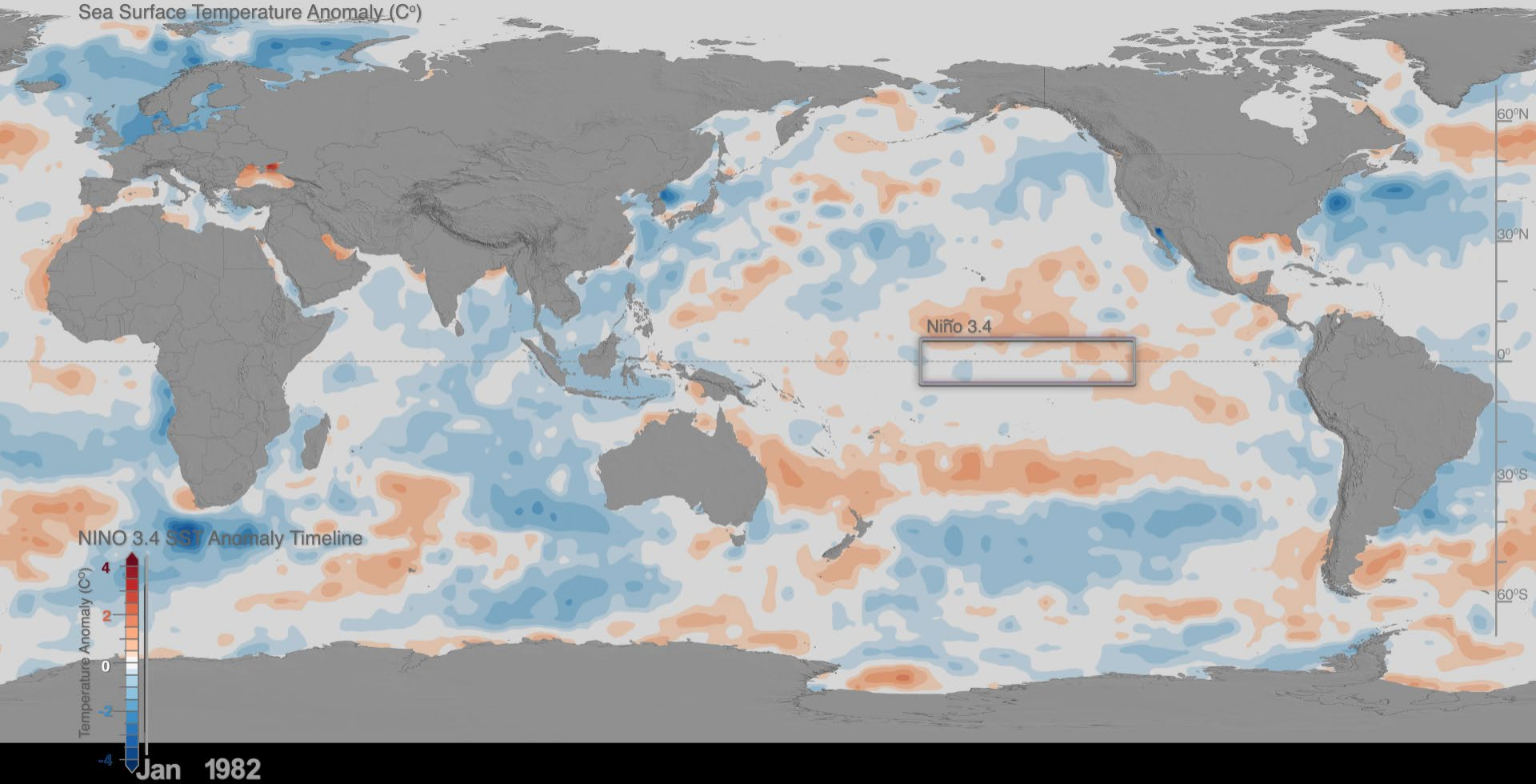
El Niño Global (aTSM $>0.5^{\circ}\text{C}$ por 3 meses en Nino3.4)

App 1 años de duración

Cada 3-7 años



Sea Surface Temperature Anomaly (C°)

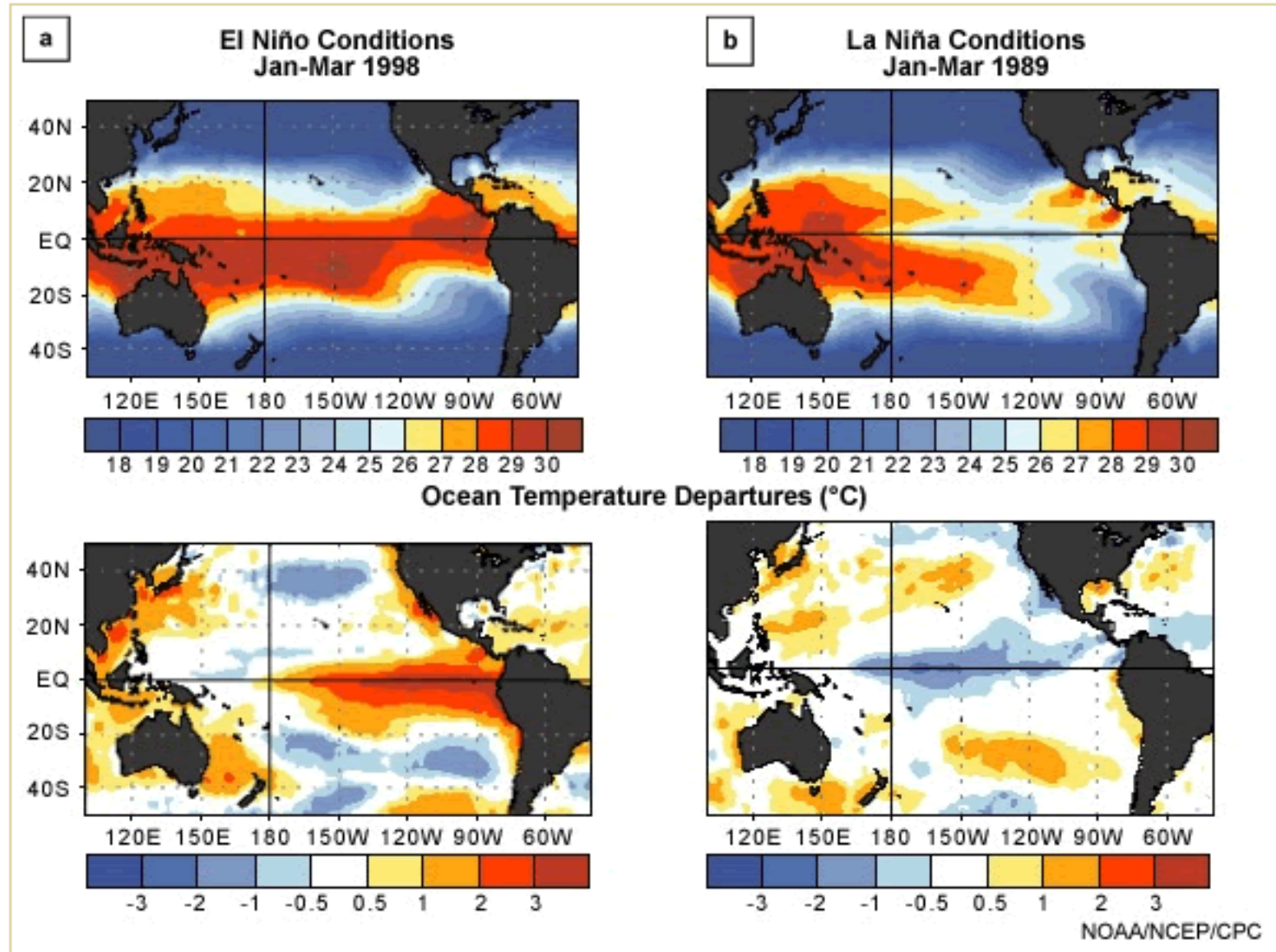


NINO 3.4 SST Anomaly Timeline

Jan 1982

Variabilidad interanual en el Pacífico tropical

EN, LN ($\Delta T > 0.5^\circ\text{C}$ por 3 meses) : 1-2 años de duración, cada 3-7 años



La Oscilación del Sur (Southern Oscillation)

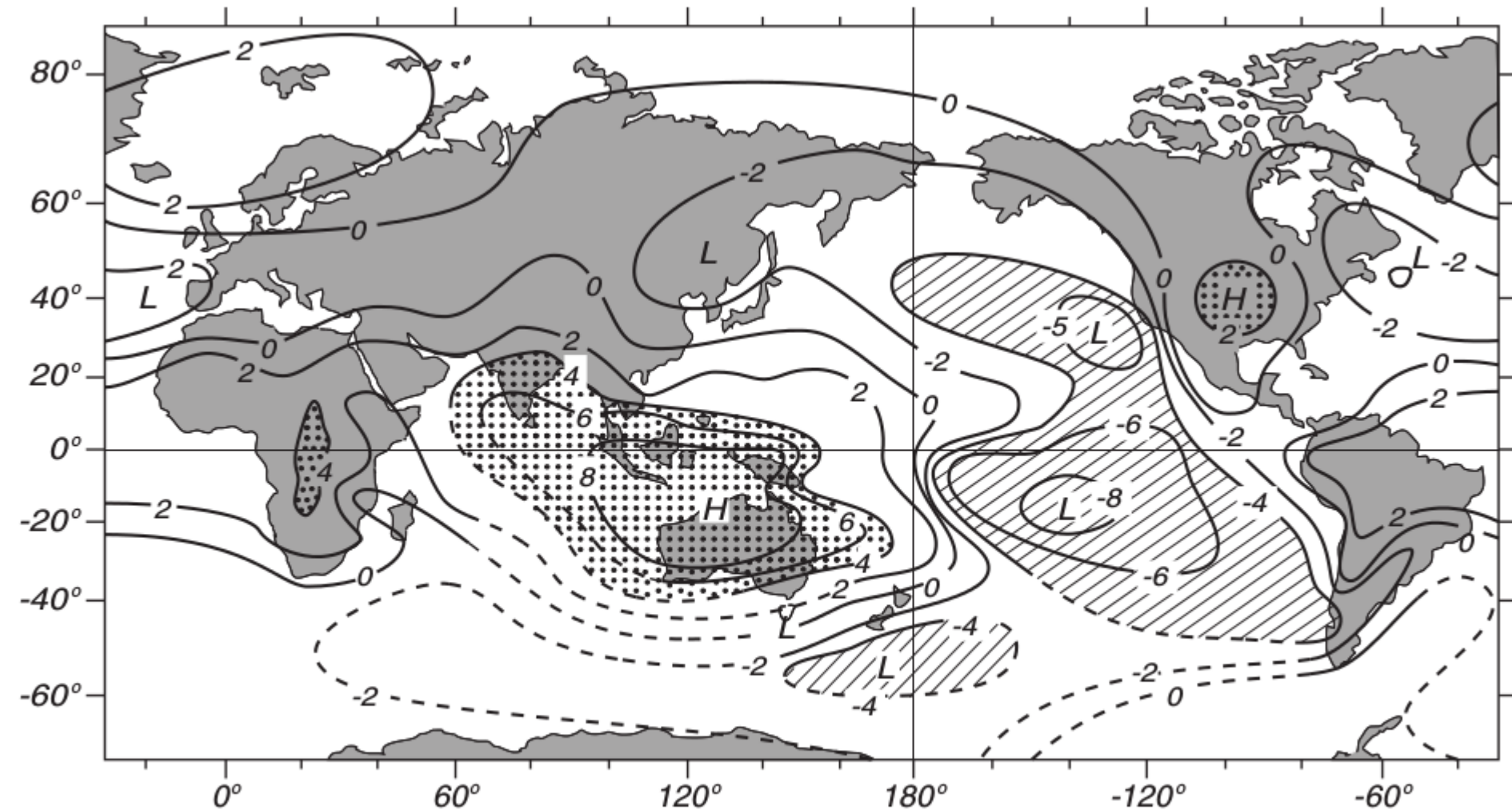
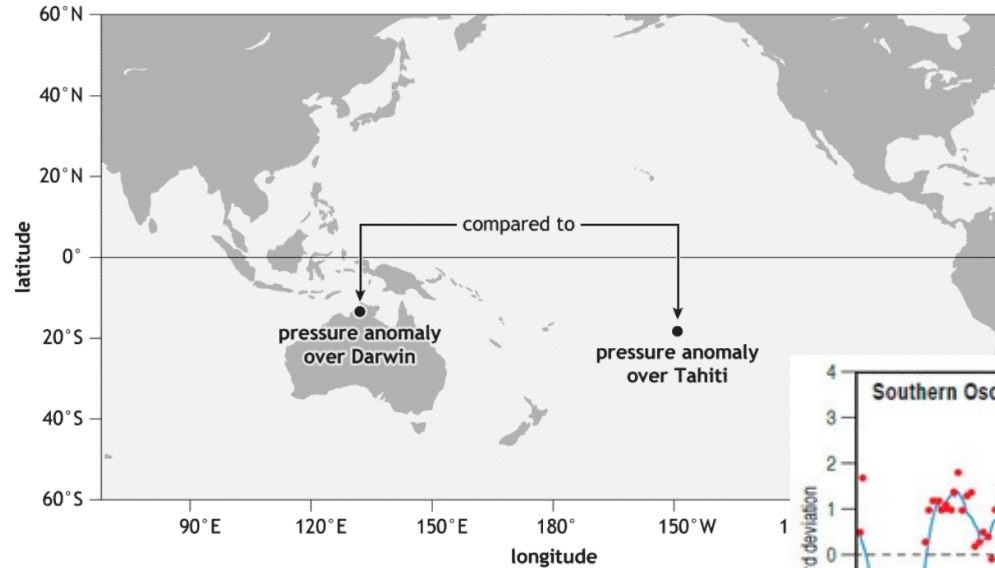
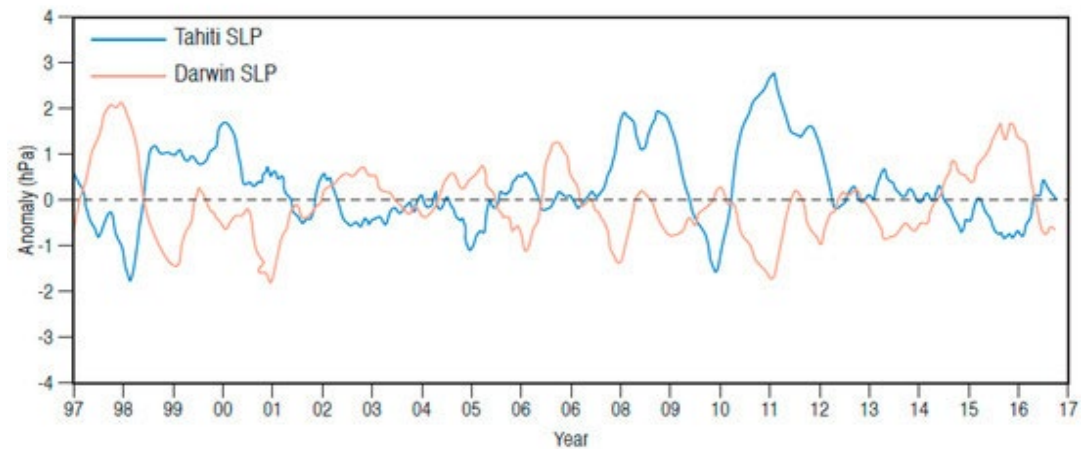
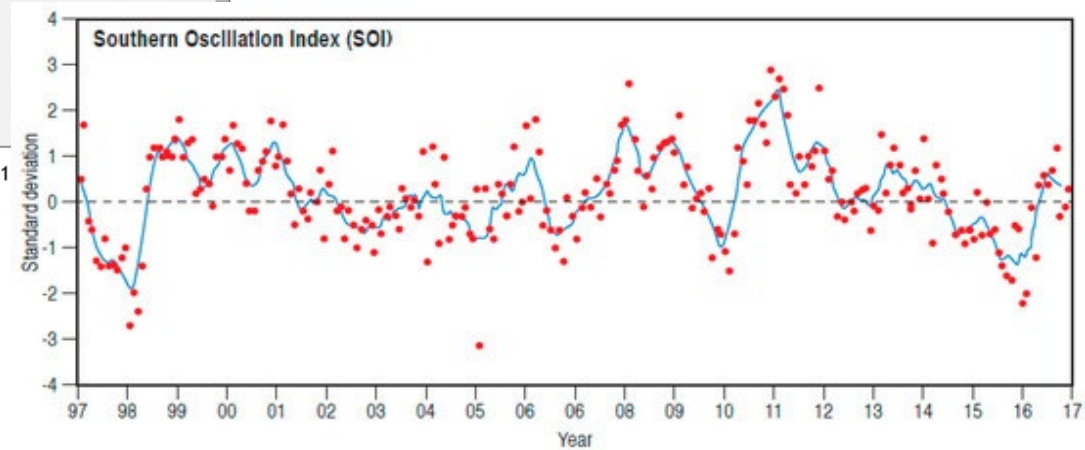


Figure 14.6 Correlation coefficient of annual-mean sea-level pressure with pressure at Darwin. - - - Coefficient < -0.4 . After Trenberth and Shea (1987).

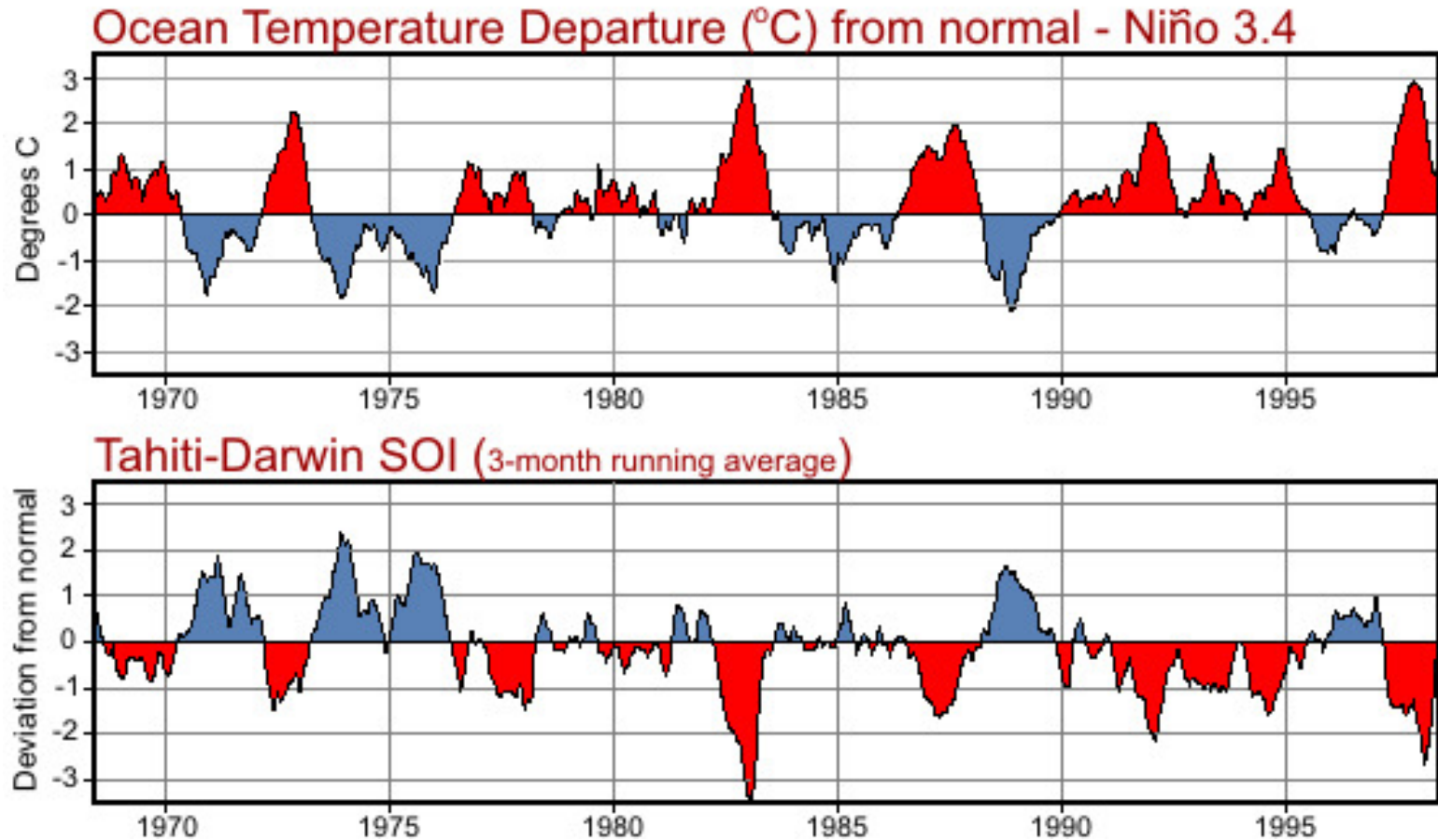
Southern Oscillation Index



La Oscilación del Sur (Southern Oscillation)



Están la OS y EN asociados? SI.....



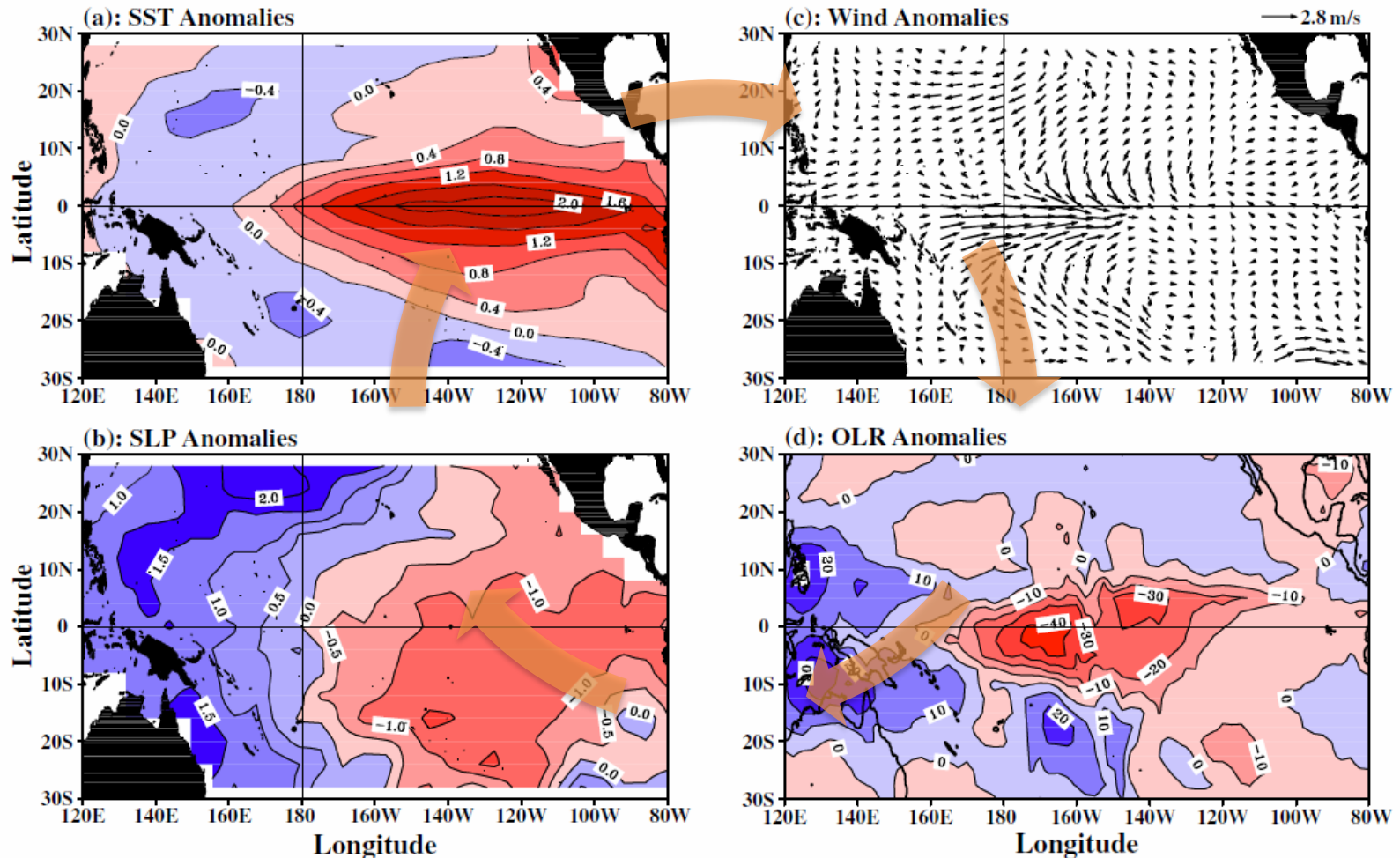
El Niño (TSM sobre el promedio) ⇔ Anticiclón del Pacífico relativamente bajo

La Niña (TSM bajo el promedio) ⇔ Anticiclón del Pacífico relativamente alto

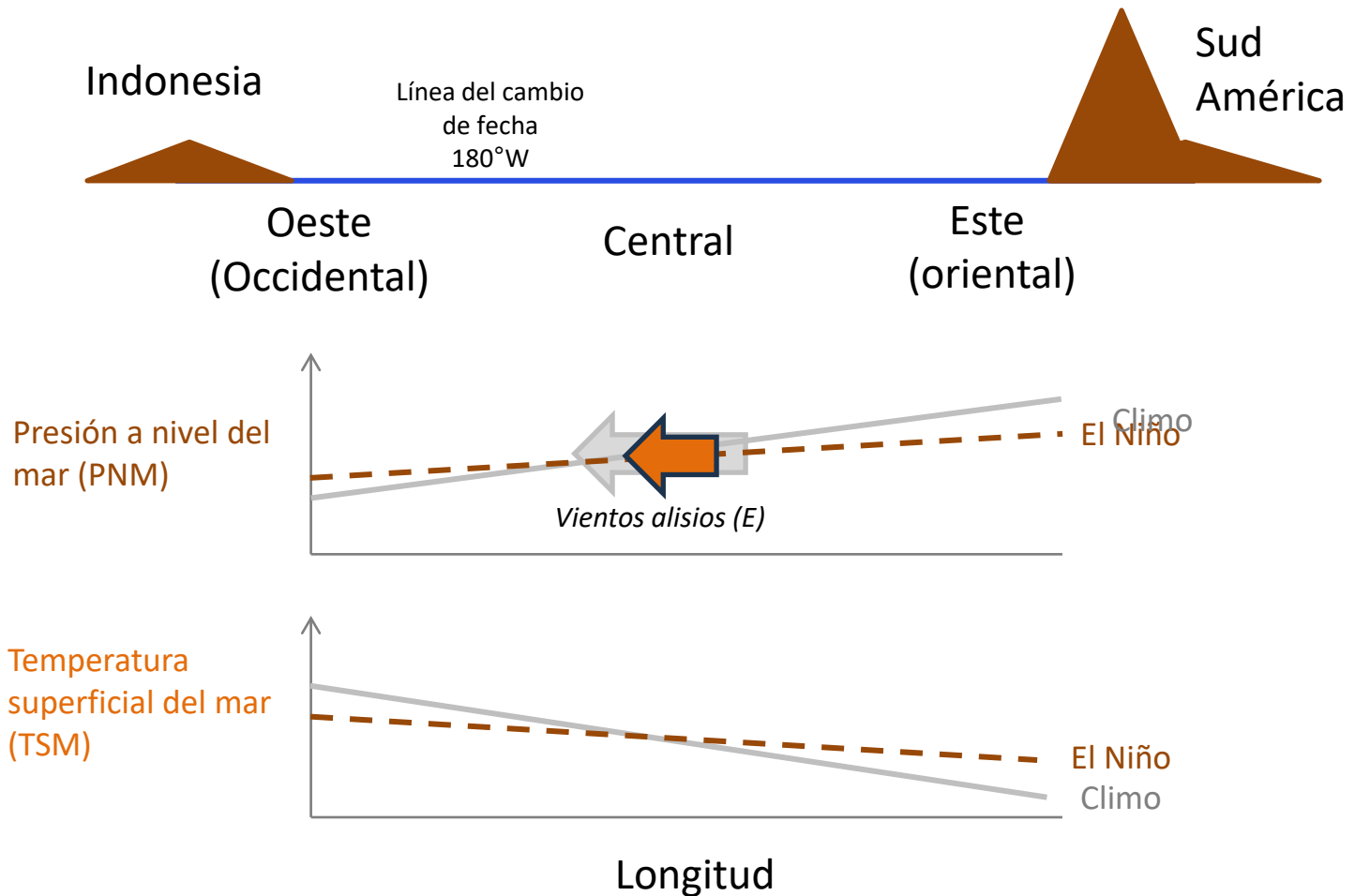
Mantenimiento de El Niño: Mecanismo de Bjerknes

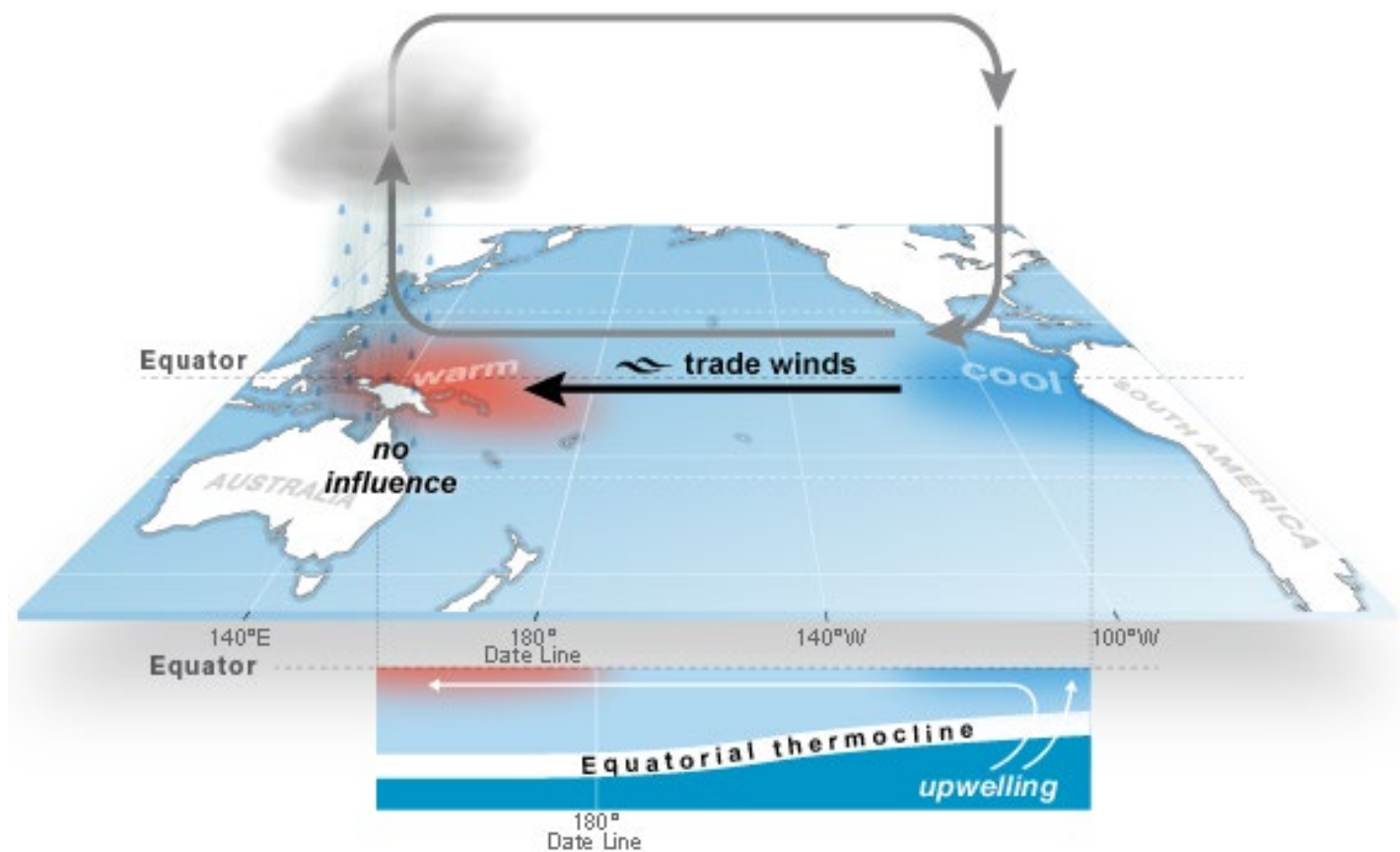
(También refleja acoplamiento O-A: SST, SLP, Viento)

El Niño Composites



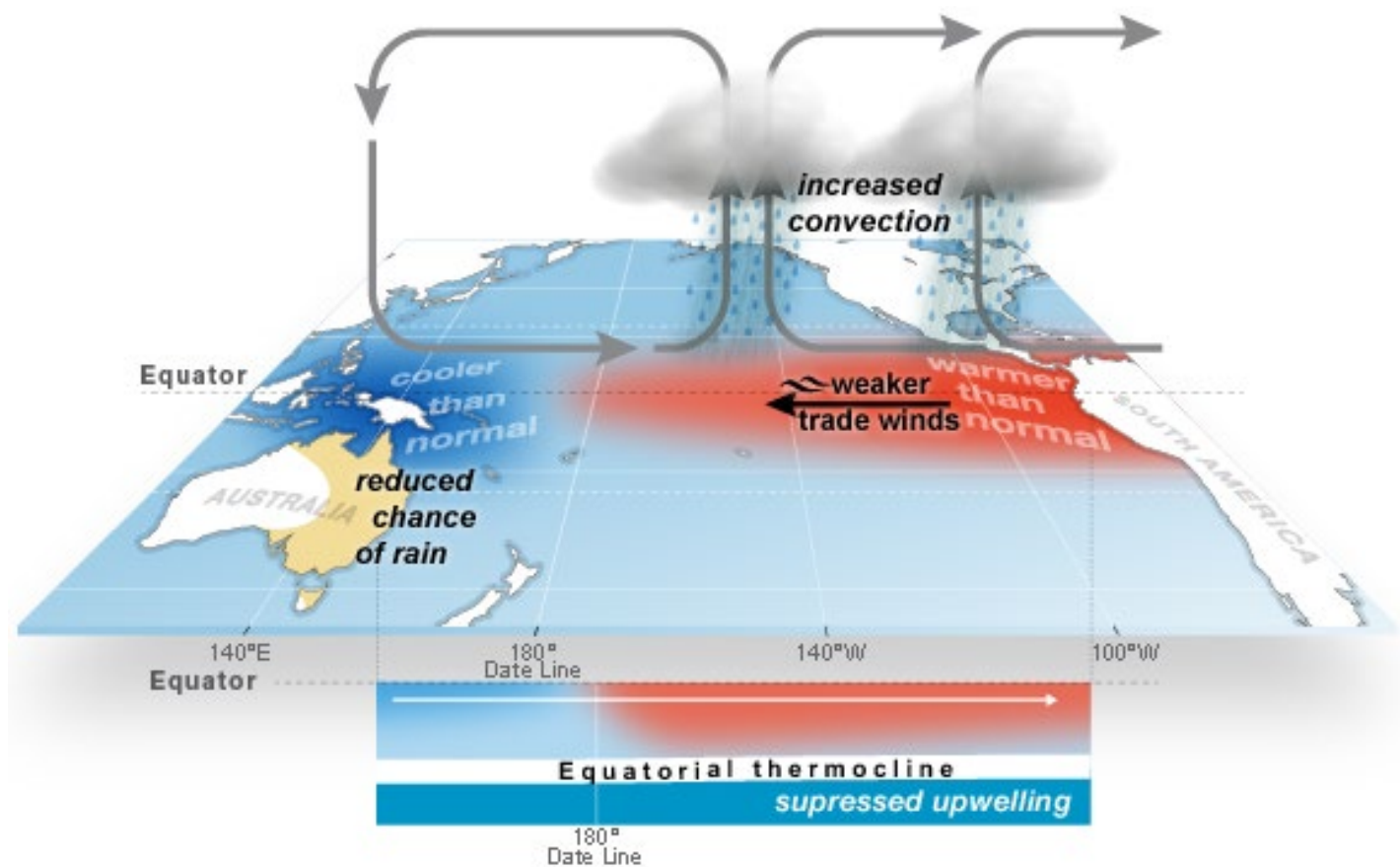
Condición media en el Pacífico ecuatorial
Corte a través del Pacífico ecuatorial ($\pm 10^\circ$ latitud)



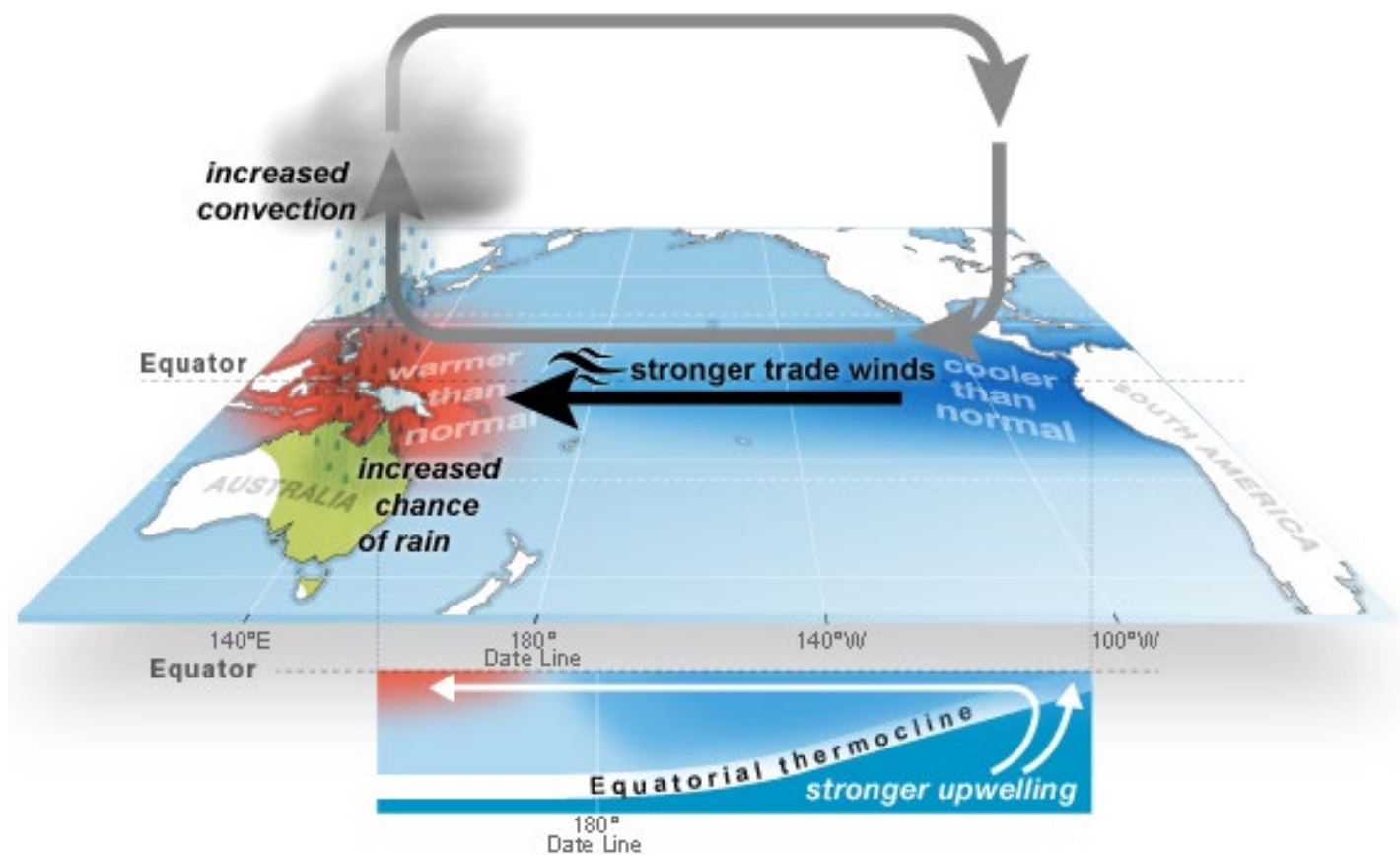


El Niño–Southern Oscillation (ENSO): **Neutral**

© Commonwealth of Australia 2013.

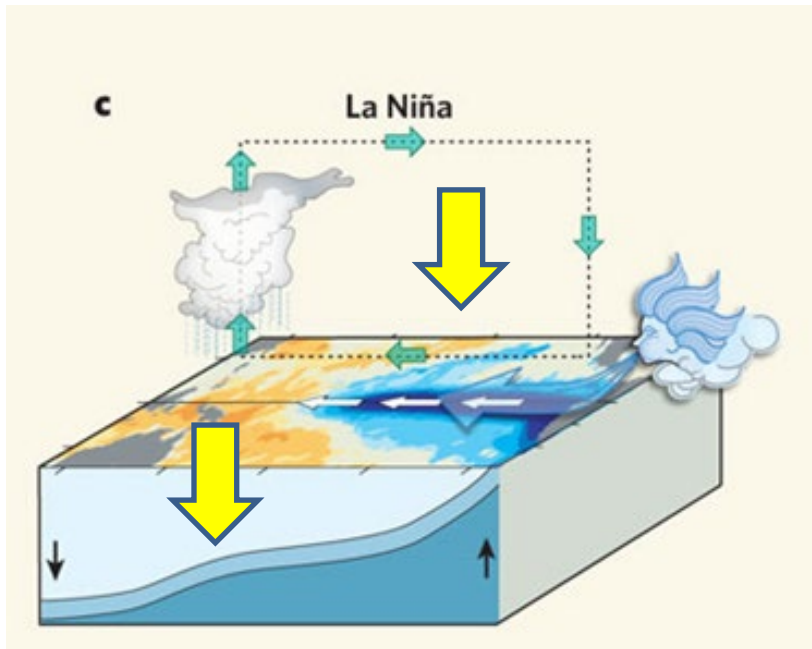


El Niño–Southern Oscillation (ENSO): **El Niño**

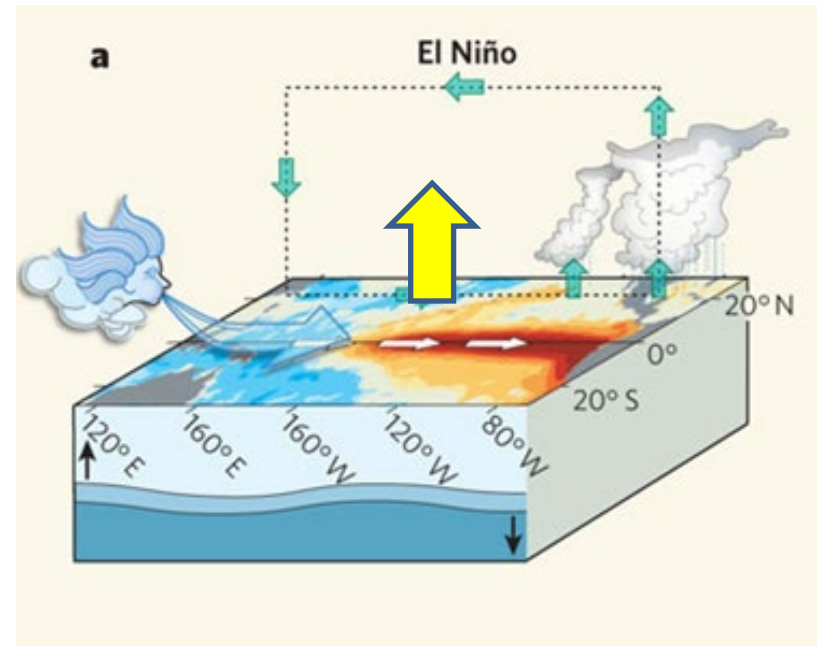


El Niño–Southern Oscillation (ENSO): **La Niña**

Fases ENSO como un sistema de carga/descarga de Energía



Alisios más intensos / Mayor Insolación
Mayor surgencia en Pac. Oriental
Mayor hundimiento en Pac. Occidental
Energía ingresa al océano
Corrientes distribuyen el calor lateralmente



Alisios más débiles
Menor surgencia en Pac. Oriental
Aumento de evaporación (LE)
Energía sale del océano
Atmosfera distribuye la energía globalmente

FENOMENO EL NIÑO

- Disminuye la presión frente a la costa de Ecuador, Perú y norte de Chile, y aumenta en el Pacífico occidental (fase negativa de la OS)
- Los vientos alisios se debilitan por menor gradiente de presión.
- Se debilita la surgencia a lo largo del Pacífico ecuatorial, como resultado del debilitamiento de los alisios
- Aumenta la temperatura superficial del mar debido a la menor surgencia. La zona de ascenso de la celda de Walker se mueve hacia el Este.
- Aumenta el nivel del mar en la costa de América del Sur, y disminuye en Oceanía.
- El contraste térmico E-W disminuye a lo largo del Pacífico ecuatorial
- Lo anterior favorece un reforzamiento de las anomalías de presión y de los efectos asociados.
- El fenómeno persiste ! !

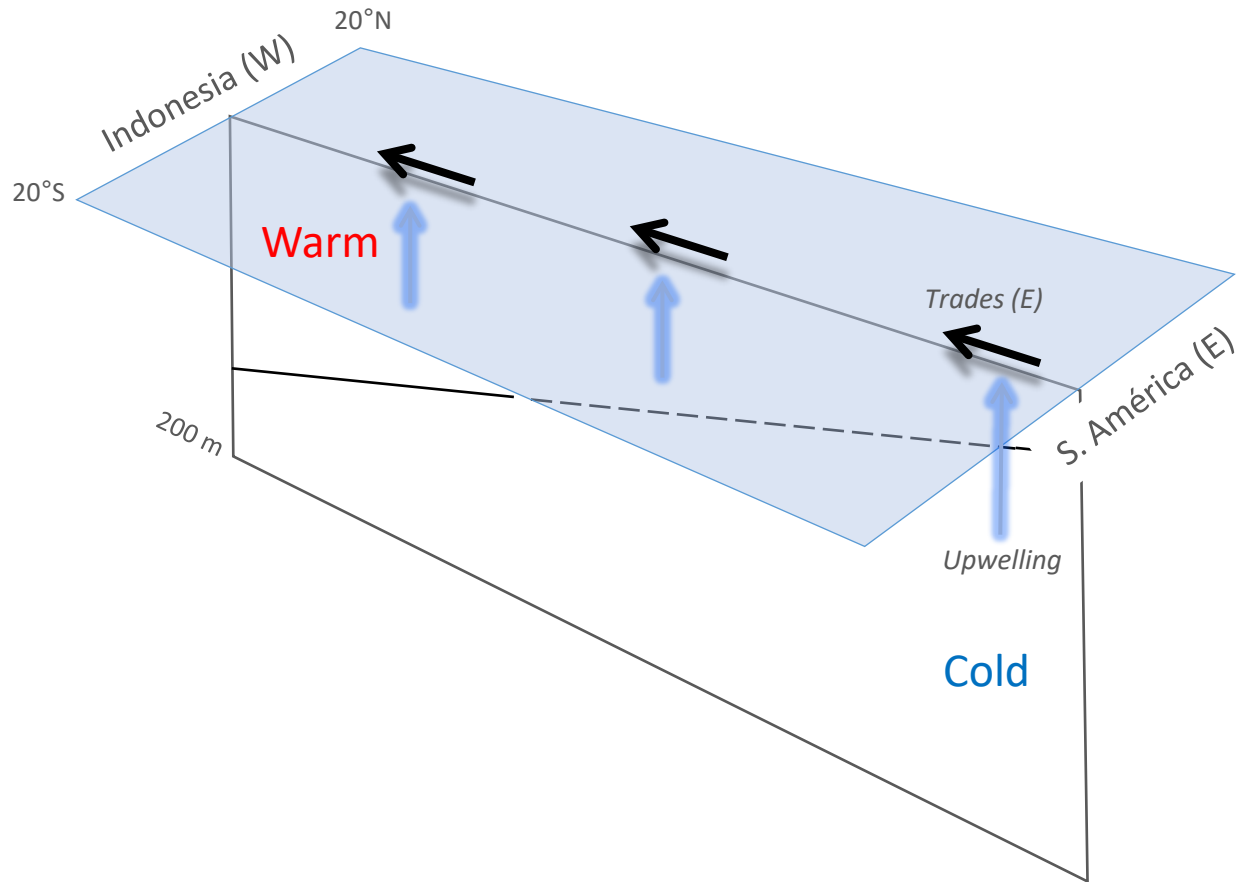
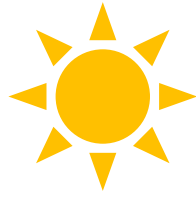
FENOMENO LA NIÑA

- Aumenta la presión frente a la costa de Ecuador, Perú y norte de Chile, y disminuye en el Pacífico occidental (fase positiva de la OS)
- Los vientos alisios se intensifican por el mayor gradiente de presión.
- Se fortalece la surgencia a lo largo del Pacífico ecuatorial, como resultado de la intensificación de los alisios.
- Disminuye la temperatura superficial del mar debido a la menor surgencia. La zona de ascenso de la celda de Walker se mueve hacia el Oeste.
- Disminuye el nivel del mar en la costa de América del Sur, y aumenta en Oceanía.
- El contraste térmico E-W aumenta a lo largo del Pacífico ecuatorial
- Lo anterior favorece un reforzamiento de las anomalías de presión y de los efectos asociados.
- El fenómeno persiste ! !

Dinámica de ENSO

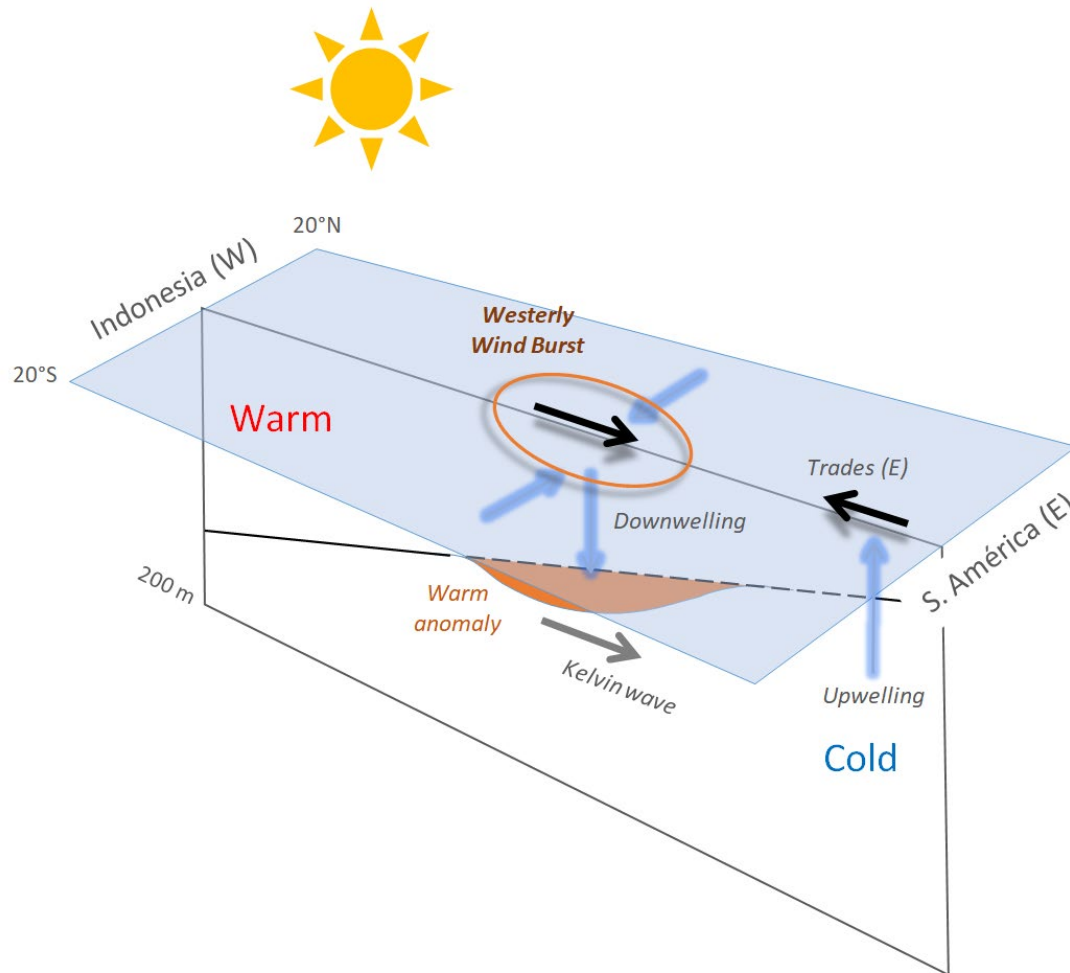
Fase de crecimiento bien explicada por mecanismo de retroalimentación de Bjerknes (1966). Sin embargo hay varios aspectos que permanecen en debate:

1. Oscilación continua v/s fenómeno esporádico
2. Mecanismo de iniciación
3. Mecanismo de transición de fase



Mecanismo de Bjerknes explica mantención de EN(LN)...
pero cual es el gatillo?

WWB: Westerly wind burst



Westerly Wind Bursts: ENSO's Tail Rather than the Dog?

IAN EISENMAN

Department of Earth and Planetary Sciences, Harvard University, Cambridge, Massachusetts

LISAN YU

Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts

ELI TZIPERMAN

Department of Earth and Planetary Sciences, and Division of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, Cambridge, Massachusetts

(Manuscript received 4 January 2005, in final form 10 June 2005)

ABSTRACT

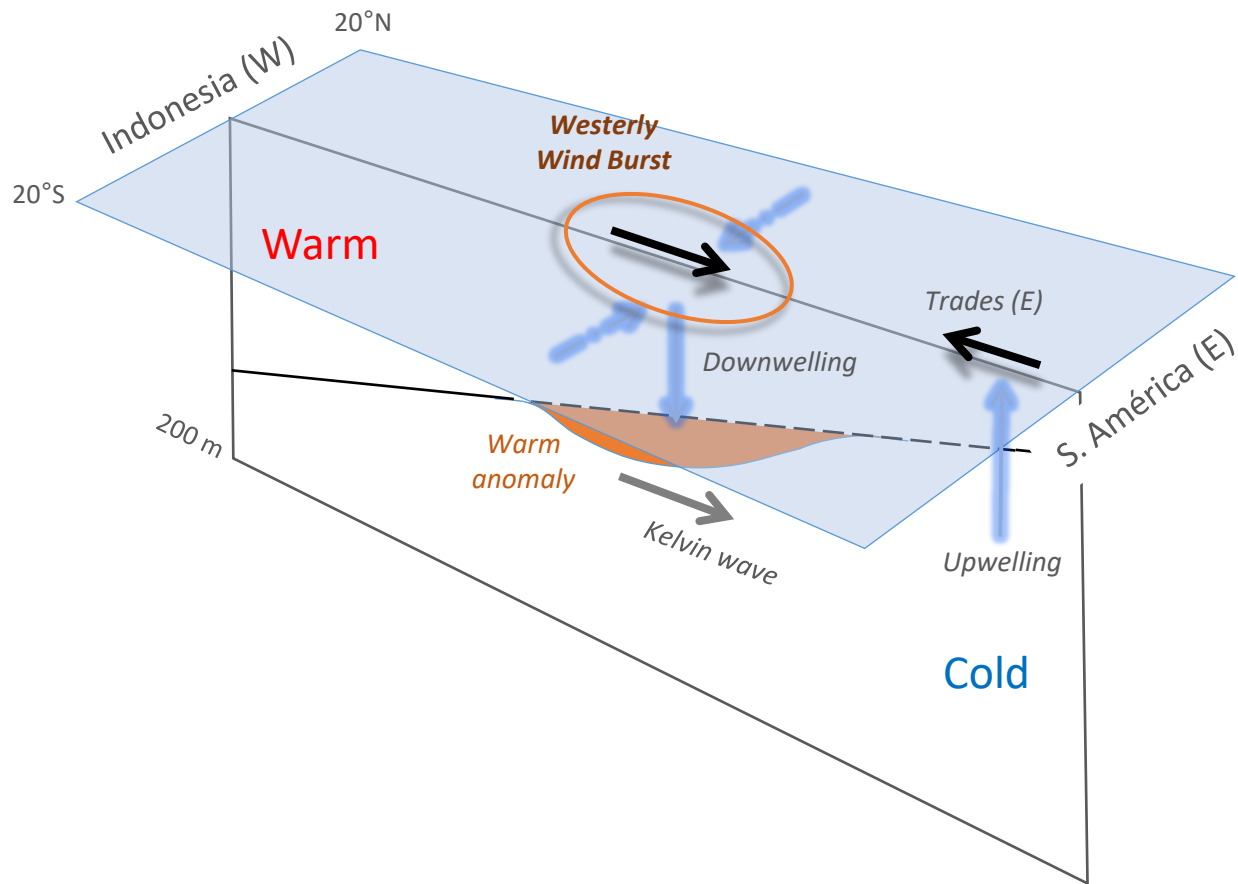
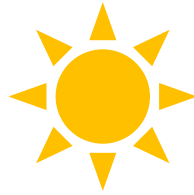
Westerly wind bursts (WWBs) in the equatorial Pacific occur during the development of most El Niño events and are believed to be a major factor in ENSO's dynamics. Because of their short time scale, WWBs are normally considered part of a stochastic forcing of ENSO, completely external to the interannual ENSO variability. Recent observational studies, however, suggest that the occurrence and characteristics of WWBs may depend to some extent on the state of ENSO components, implying that WWBs, which force ENSO, are modulated by ENSO itself.

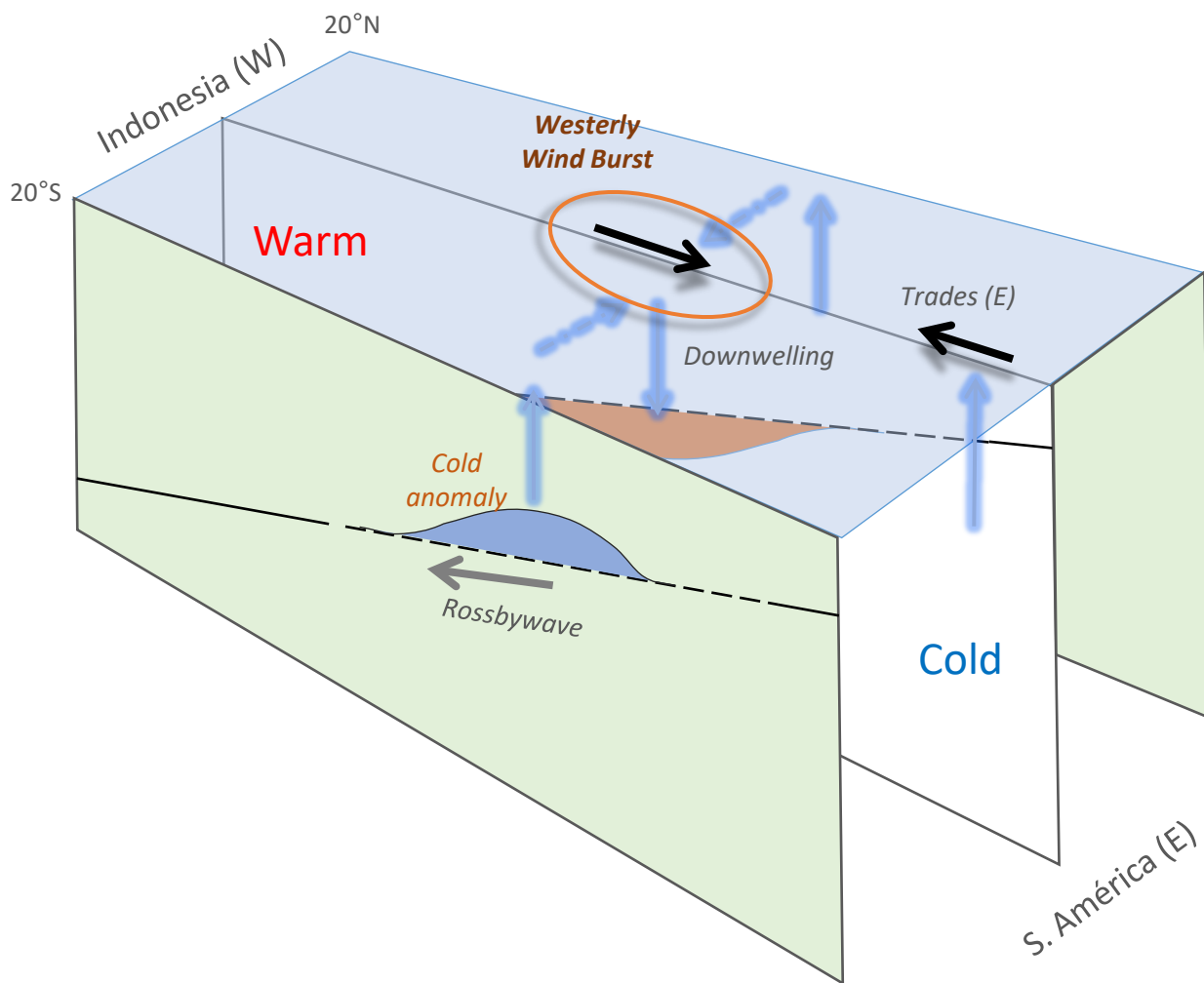
Satellite and in situ observations are used here to show that WWBs are significantly more likely to occur when the warm pool is extended eastward. Based on these observations, WWBs are added to an intermediate complexity coupled ocean–atmosphere ENSO model. The representation of WWBs is idealized such that their occurrence is modulated by the warm pool extent. The resulting model run is compared with a run in which the WWBs are stochastically applied. The modulation of WWBs by ENSO results in an enhancement of the slow frequency component of the WWBs. This causes the amplitude of ENSO events forced by modulated WWBs to be twice as large as the amplitude of ENSO events forced by stochastic WWBs with the same amplitude and average frequency. Based on this result, it is suggested that the modulation of WWBs by the equatorial Pacific SST is a critical element of ENSO's dynamics, and that WWBs should not be regarded as purely stochastic forcing. In the paradigm proposed here, WWBs are still an important aspect of ENSO's dynamics, but they are treated as being partially stochastic and partially affected by the large-scale ENSO dynamics, rather than being completely external to ENSO.

It is further shown that WWB modulation by the large-scale equatorial SST field is roughly equivalent to an increase in the ocean–atmosphere coupling strength, making the coupled equatorial Pacific effectively self-sustained.

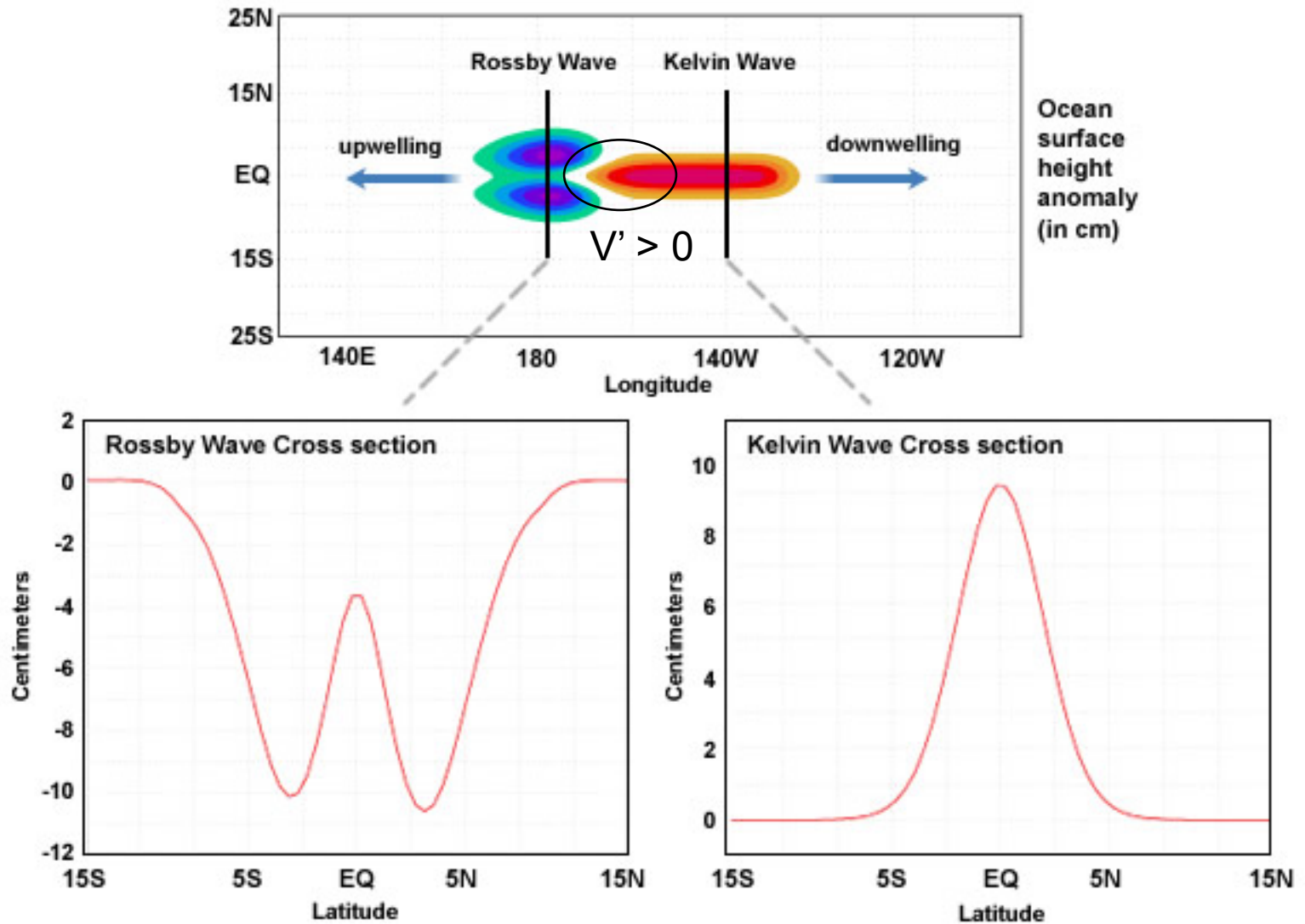
Mecanismos de transición de fase:

1. Teoría del oscilador retardado (Delayed Oscillator: Schopf and Suarez 1988; Battisti and Hirtz, 1989): La memoria del océano es provista por la profundidad de la termoclina mediante la propagación y reflexión de ondas oceánicas. En este caso, el periodo de ENSO es determinado por la velocidad de fase de las ondas en juego.
2. Teoría del oscilador recargado (Wyrтки 1975; Jin 1997): La memoria del océano es provista por la profundidad promedio de la termoclina la cual esta permanentemente fuera de equilibrio con el esfuerzo del viento en la franja ecuatorial.
3. Otras teorías (oscilador advectivo-reflectivo, oscilador unificado).





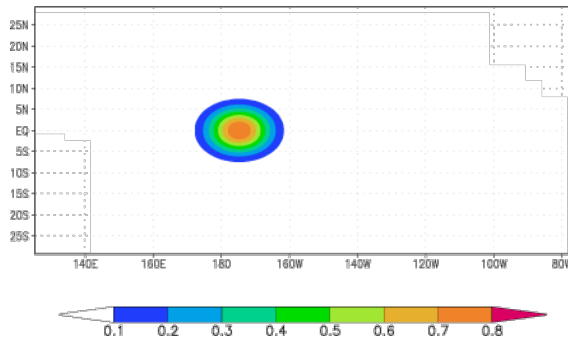
Simple Model of Wind Induced Perturbation of the Tropical Pacific Ocean



How does El Nino End?

A growing El Nino contains the seeds of its own destruction.

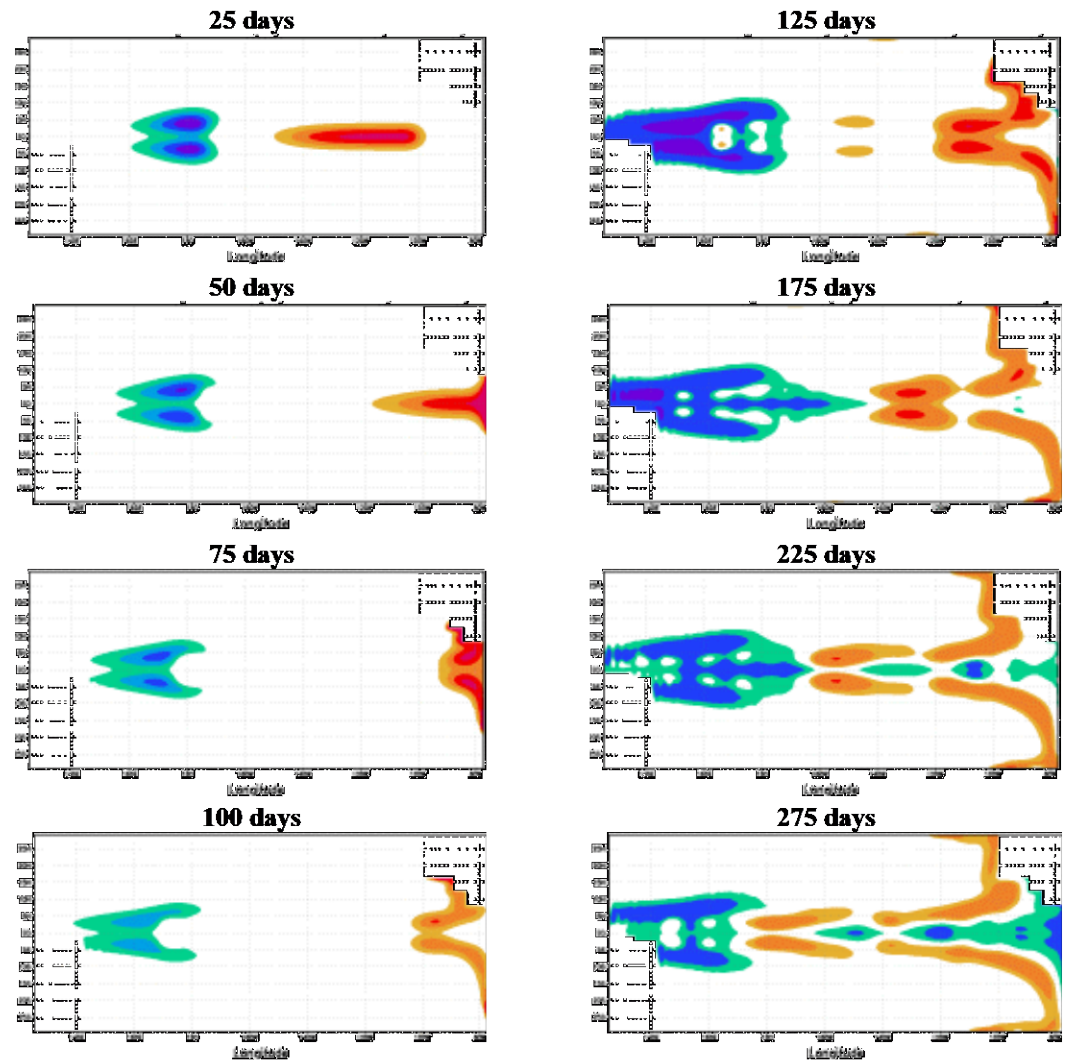
1. Hit ocean with a westerly wind stress pulse



2. Warm Kelvin waves propagate east along equator

→ Event starts!

3. Cold Rossby waves propagate west at higher lat and reflect back eastward as Kelvin waves → Event ends

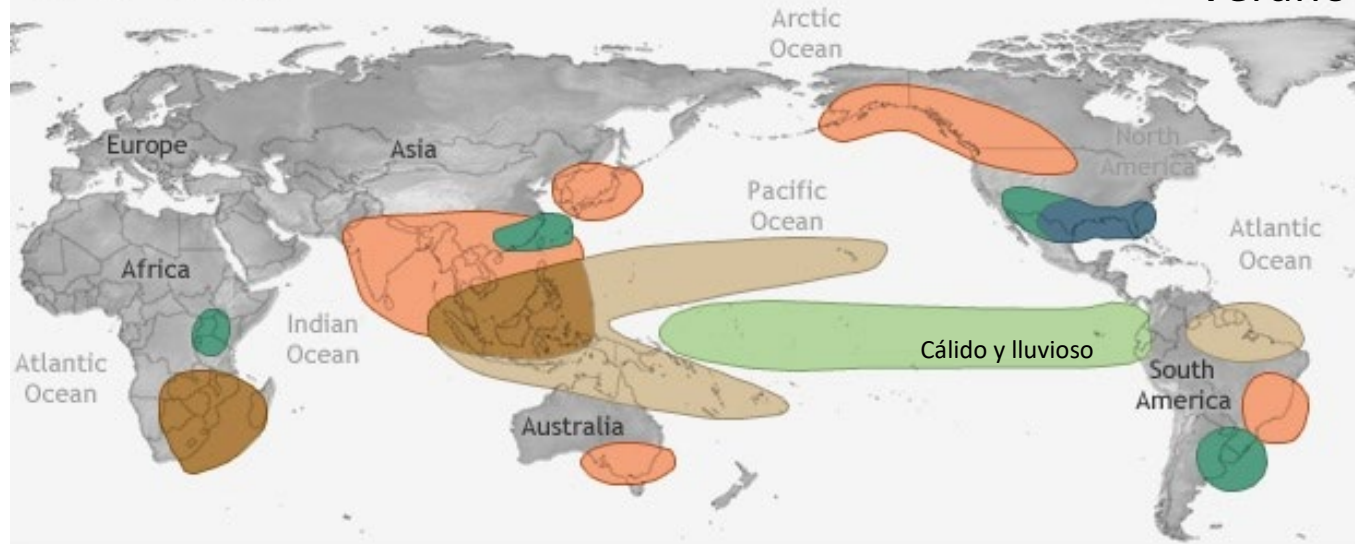


Impactos de ENSO

EL NIÑO CLIMATE IMPACTS

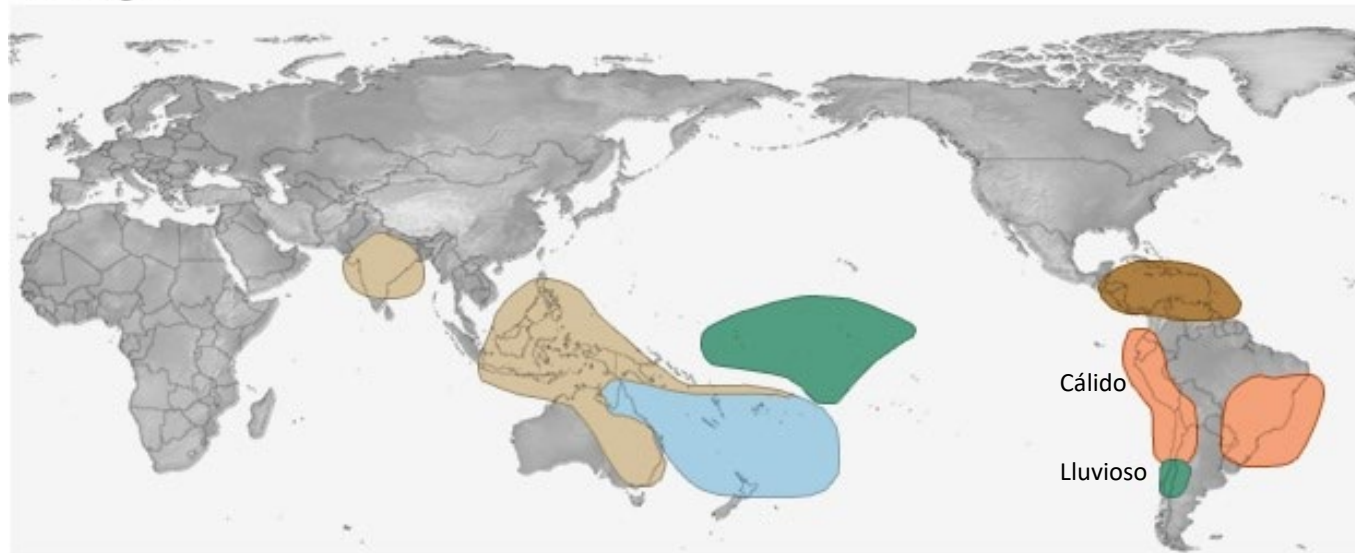
December-February

Verano



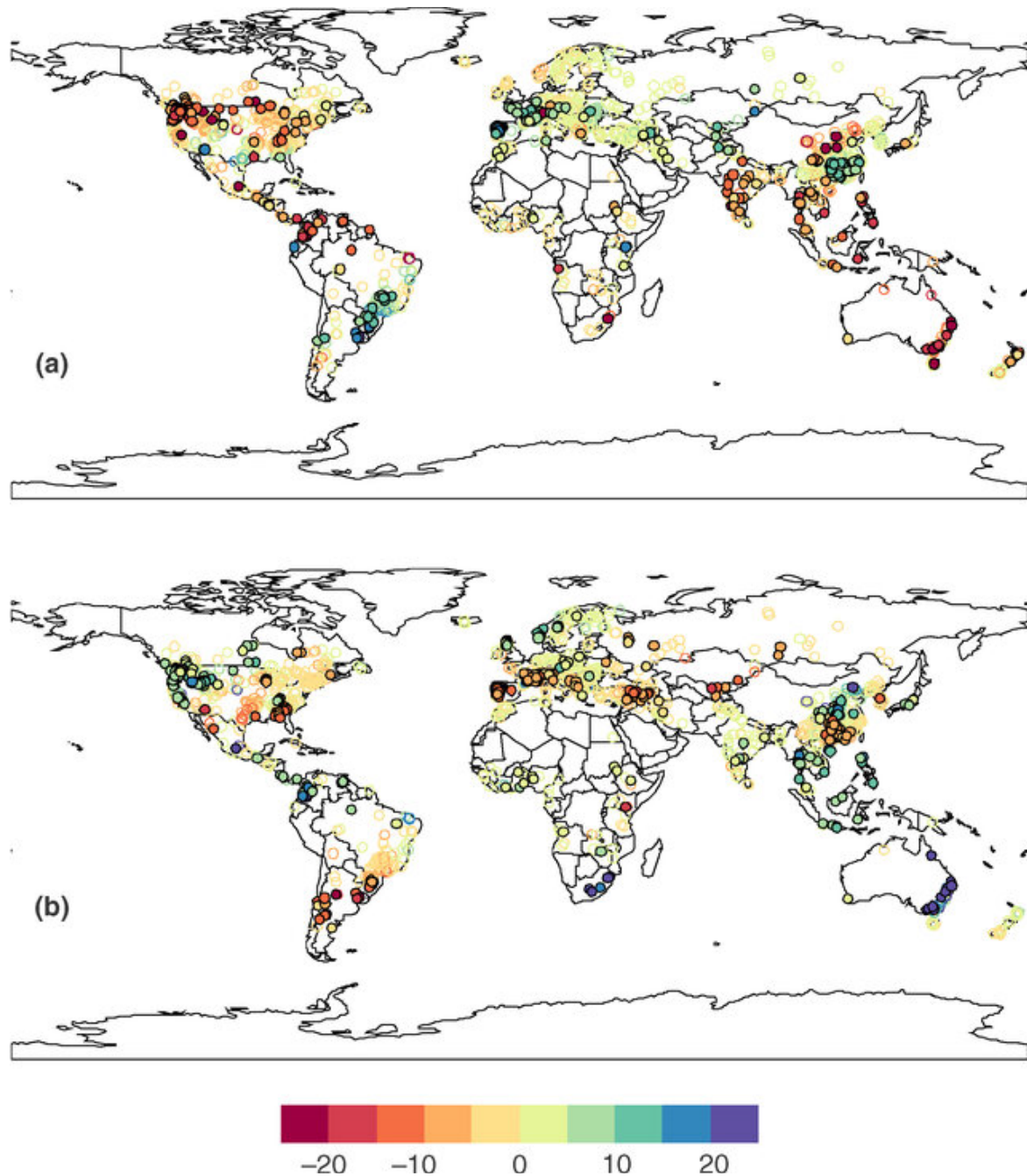
June-August

Invierno

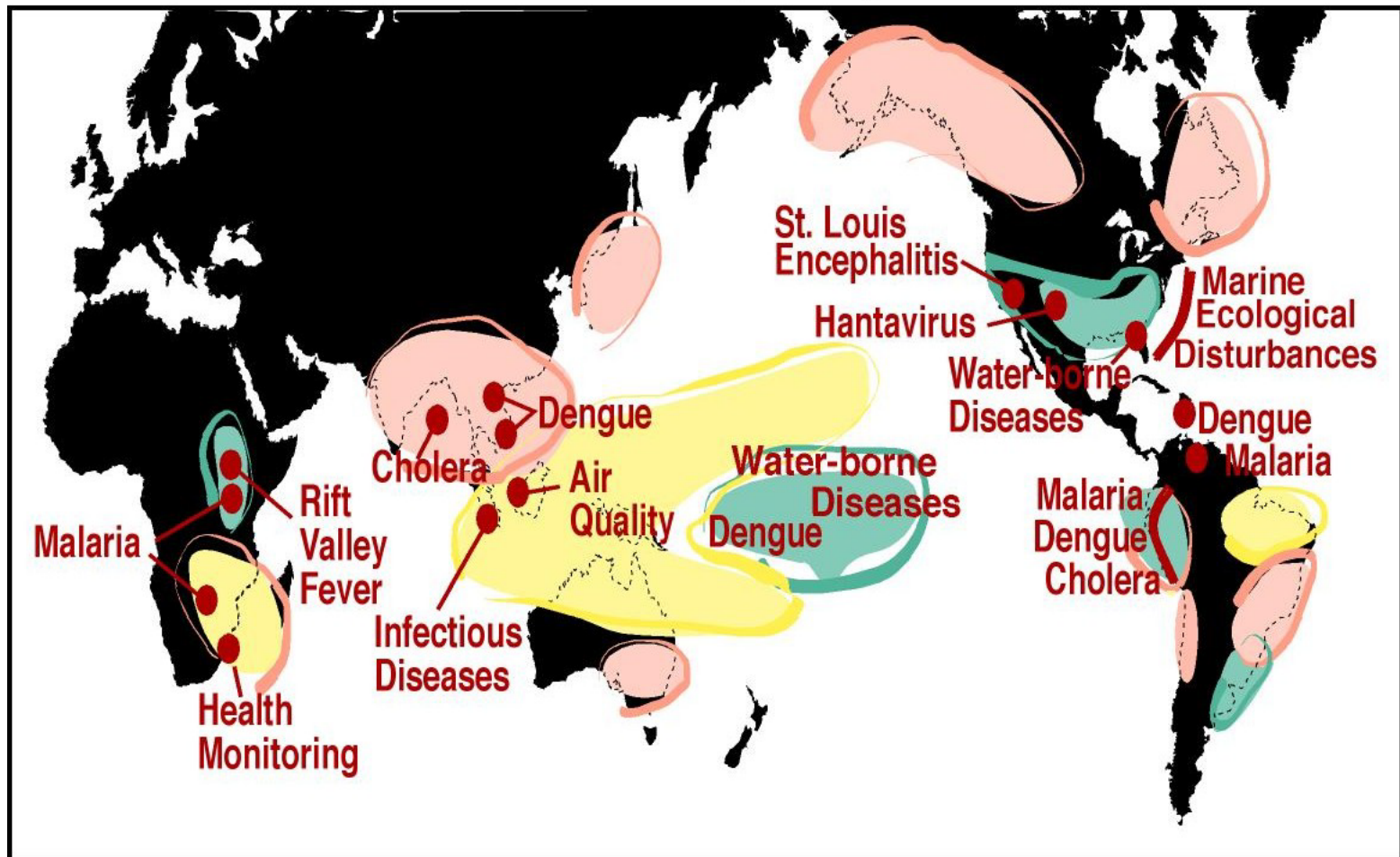


Influence of El Niño Southern Oscillation on global hydropower production

Percentage anomaly in annual hydropower production during (a) El Niño years and (b) La Niña years (compared with all years). Statistical significance was assessed by bootstrapping the anomalies (1000 repetitions, $p < 0.05$). Each circle represents a reservoir. Solid circles with black border represent reservoirs with significant anomalies while open circles represent reservoirs without significant anomalies.



Exploring the Linkages between the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and Human Health



Generalized El Niño-Southern Oscillation (ENSO) Impacts

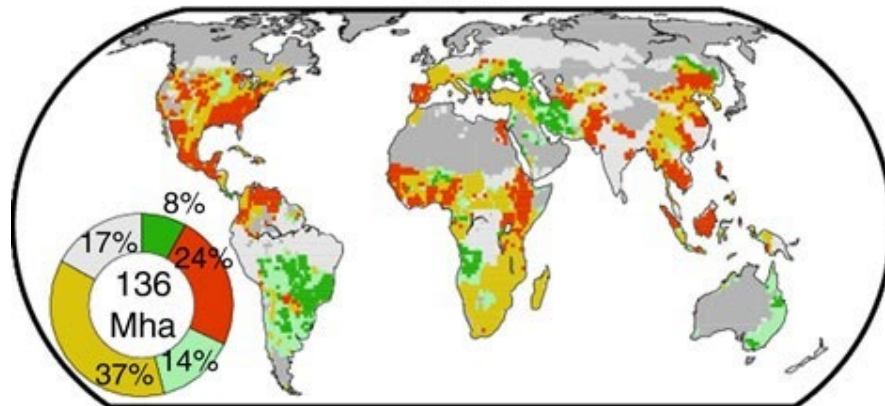
Yellow	= DRY	Yellow	= DRY & WARM
Green	= WET	Green	= WET & WARM
Orange	= WARM	Light Green	= WET & COOL

Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops

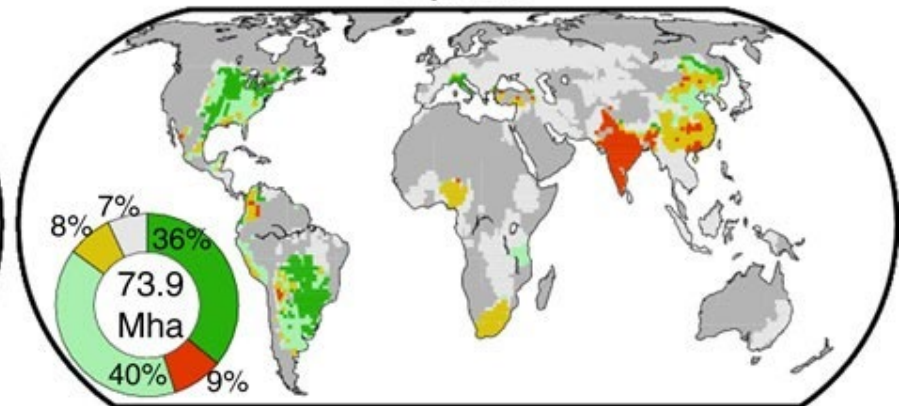
Toshichika Iizumi¹, Jing-Jia Luo², Andrew J. Challinor^{3,4}, Gen Sakurai¹, Masayuki Yokozawa⁵, Hirofumi Sakuma^{6,7}, Molly E. Brown⁸ & Toshio Yamagata⁷

El Niño minus neutral

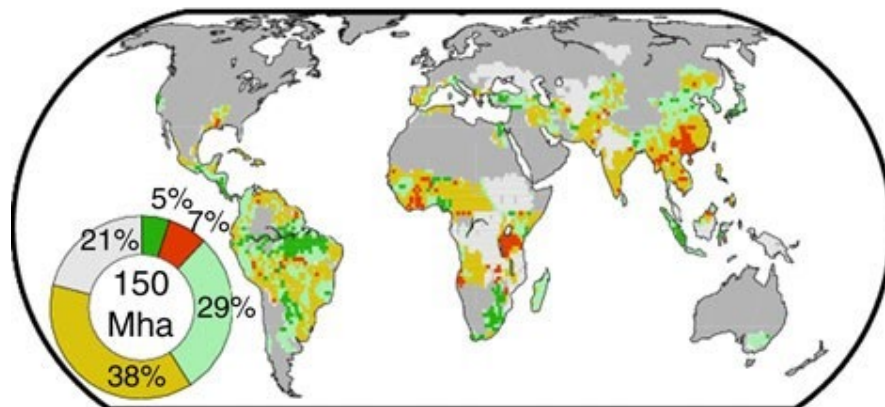
Maize



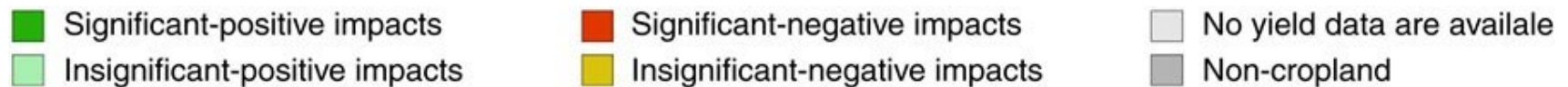
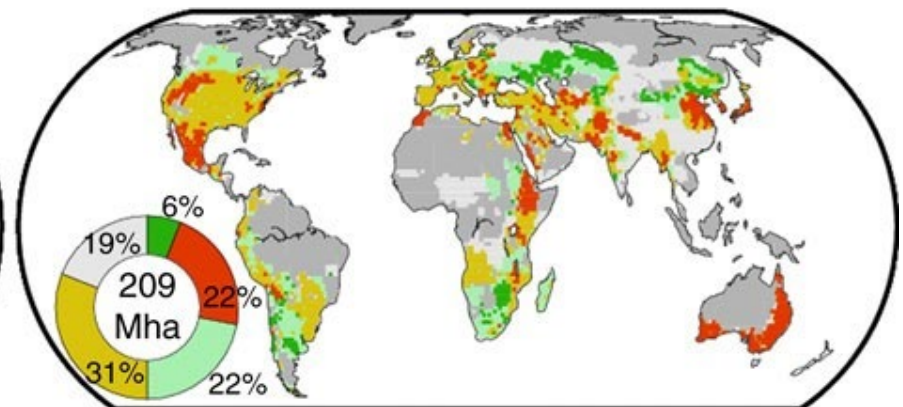
Soybean



Rice

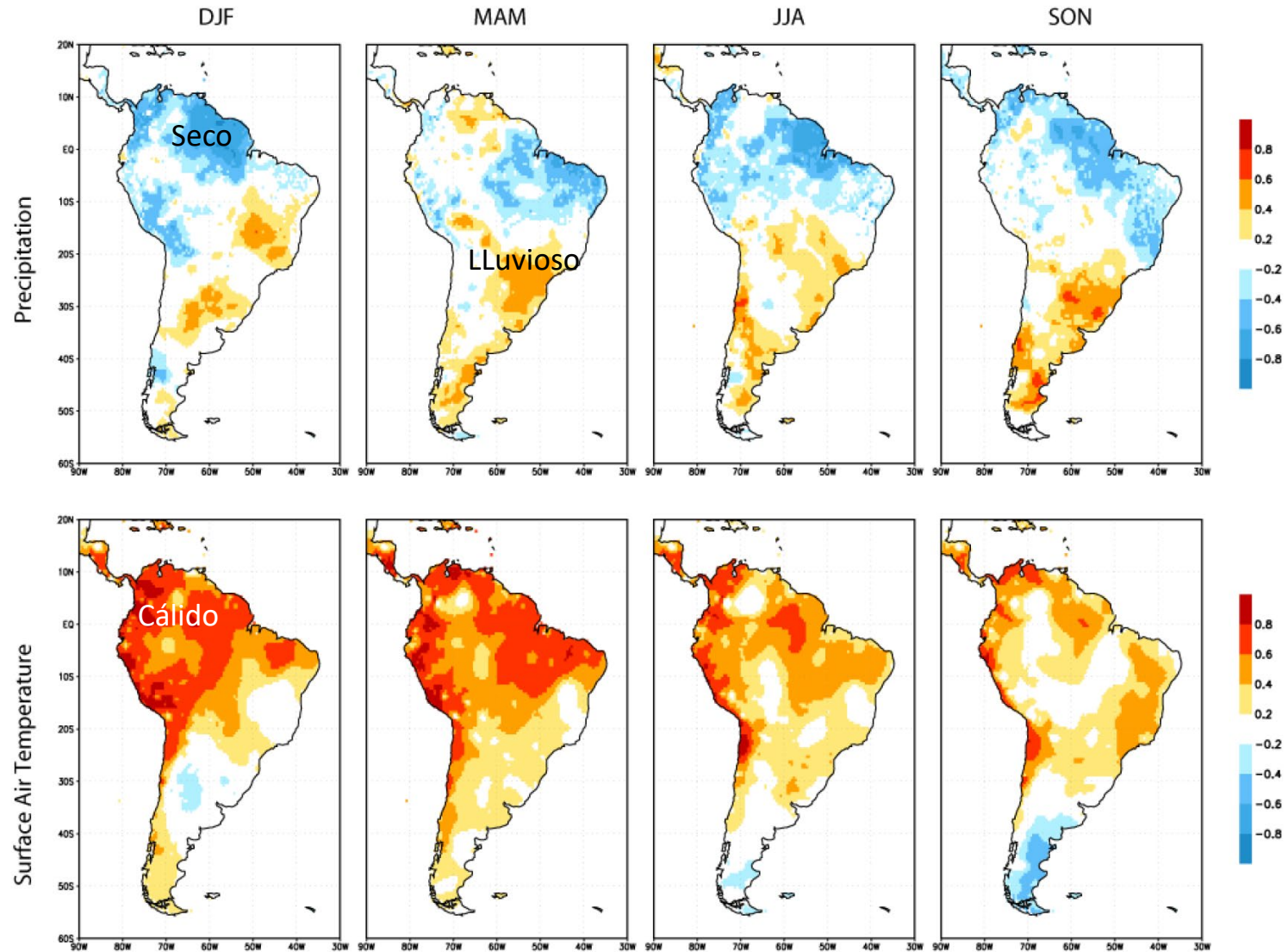


Wheat



Principales impactos climáticos durante años El Niño

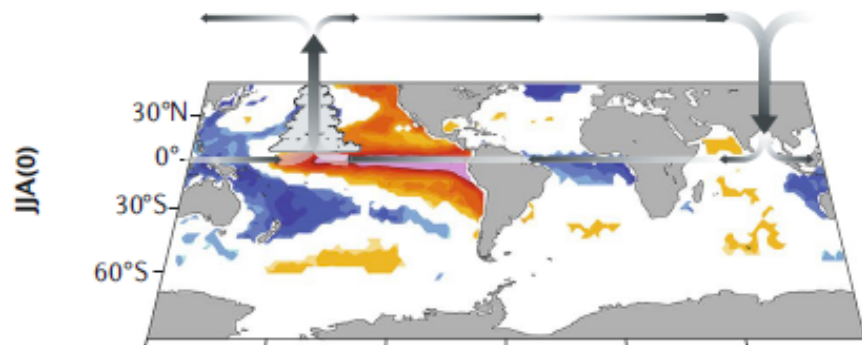
Correlación de Nino3.4 con precipitación y temperatura



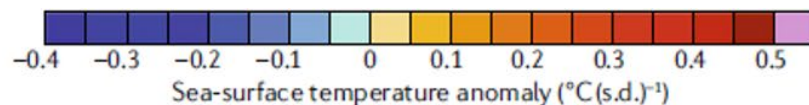
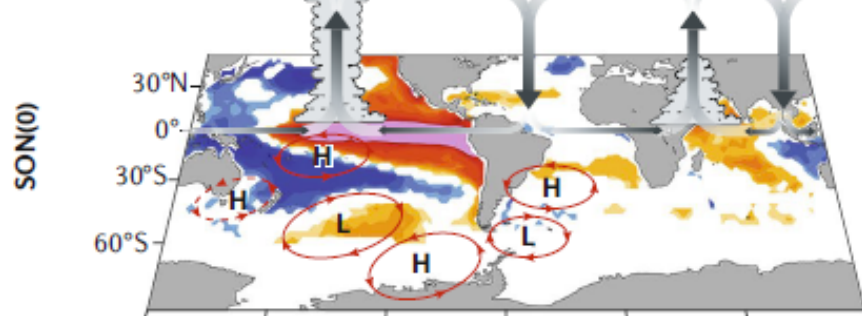
Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America

Wenju Cai^{1,2}, Michael J. McPhaden³, Alice M. Grimm⁴, Regina R. Rodrigues⁵,
 Andréa S. Taschetto⁶, René D. Garreaud^{7,8}, Boris Dewitte^{9,10,11,12}, Germán Poveda¹³,
 Yoo-Geun Ham¹⁴, Agus Santoso^{2,6}, Benjamin Ng², Weston Anderson¹⁵,
 Guojian Wang^{1,2}, Tao Geng^{1,2}, Hyun-Su Jo², José A. Marengo¹⁶, Lincoln M. Alves¹⁷,
 Marisol Osman^{18,19}, Shujun Li^{1,2}, Lixin Wu¹, Christina Karamperidou²⁰, Ken Takahashi²¹
 and Carolina Vera^{18,19}

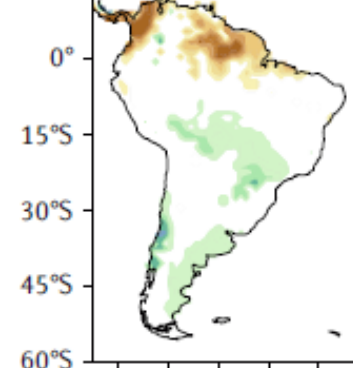
b



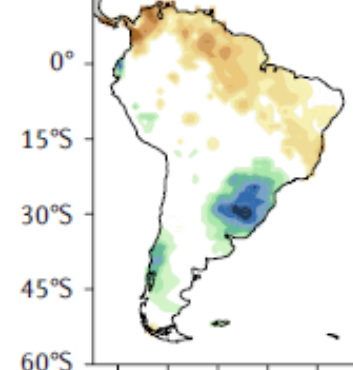
c



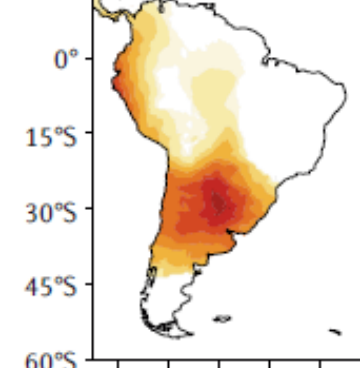
15°N



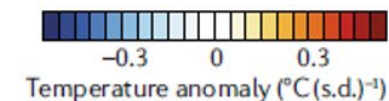
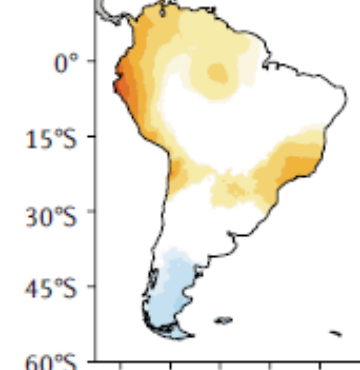
15°N

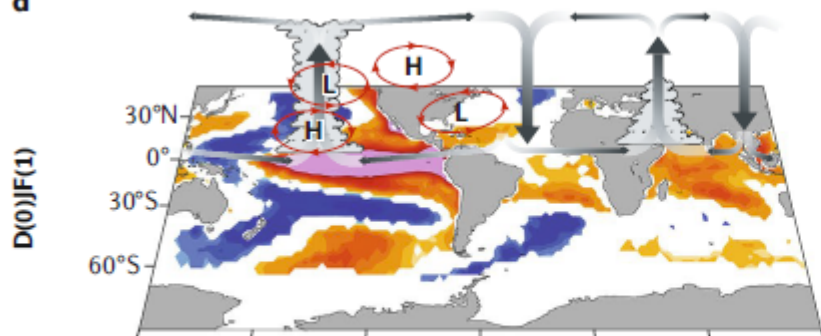
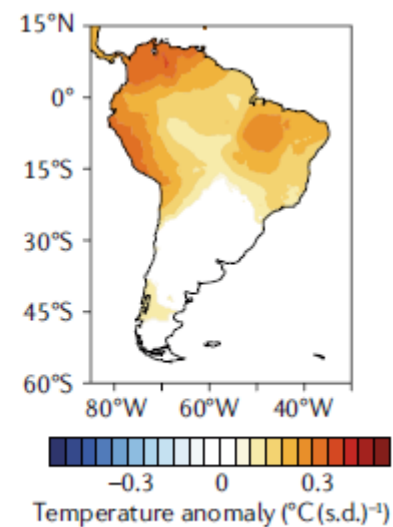
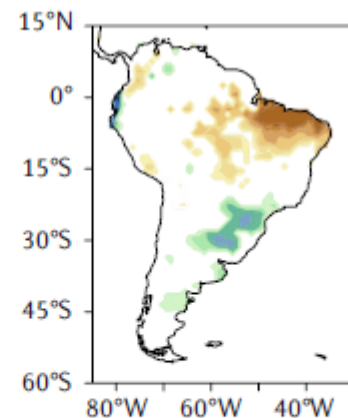
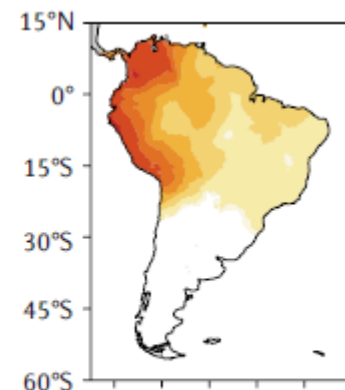
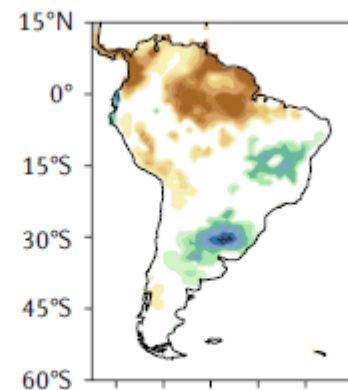
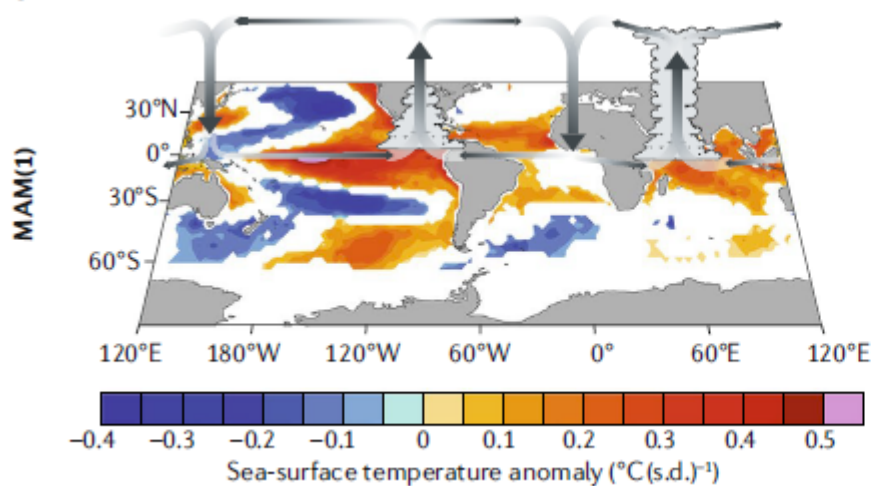


15°N

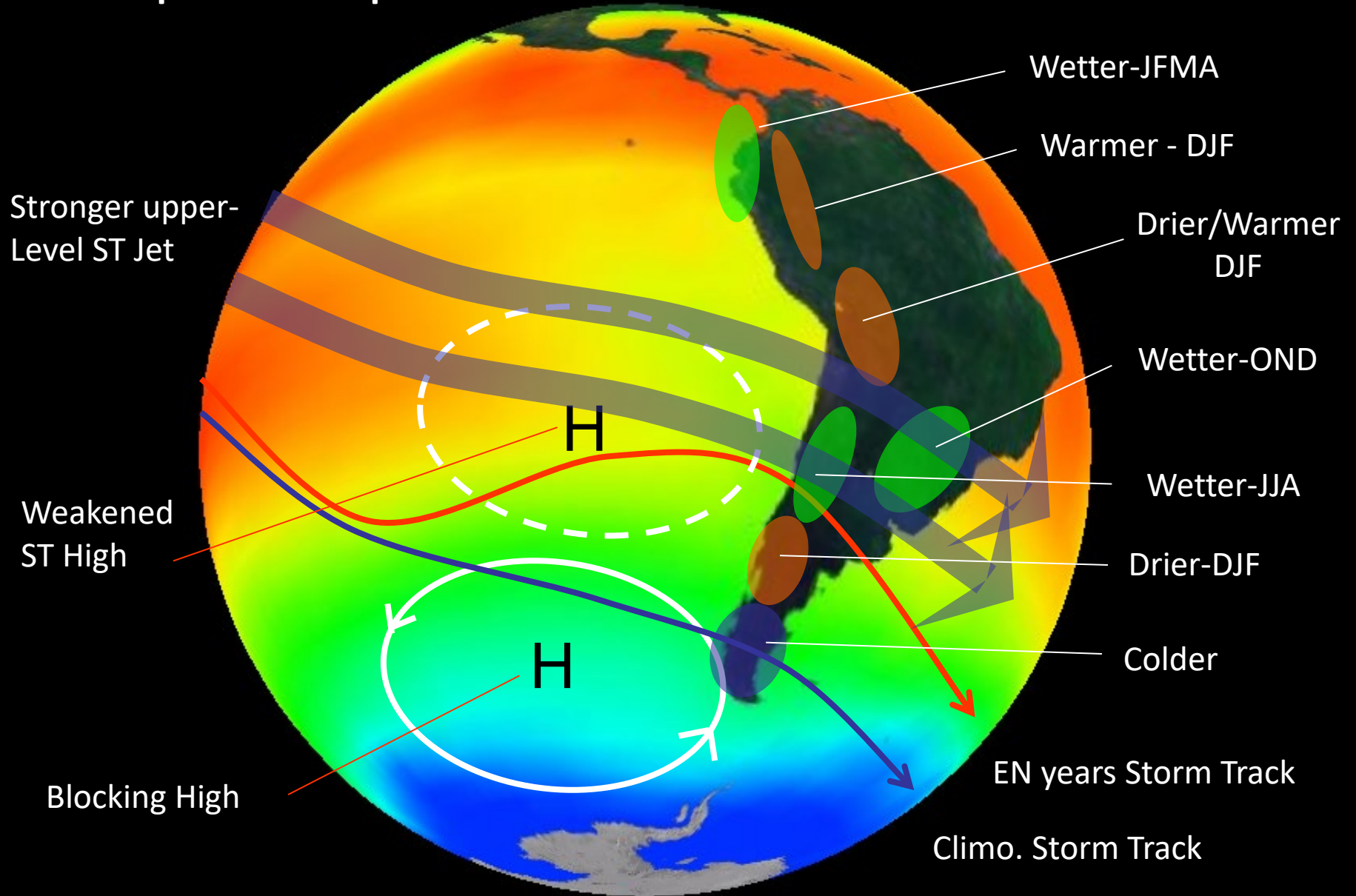


15°N

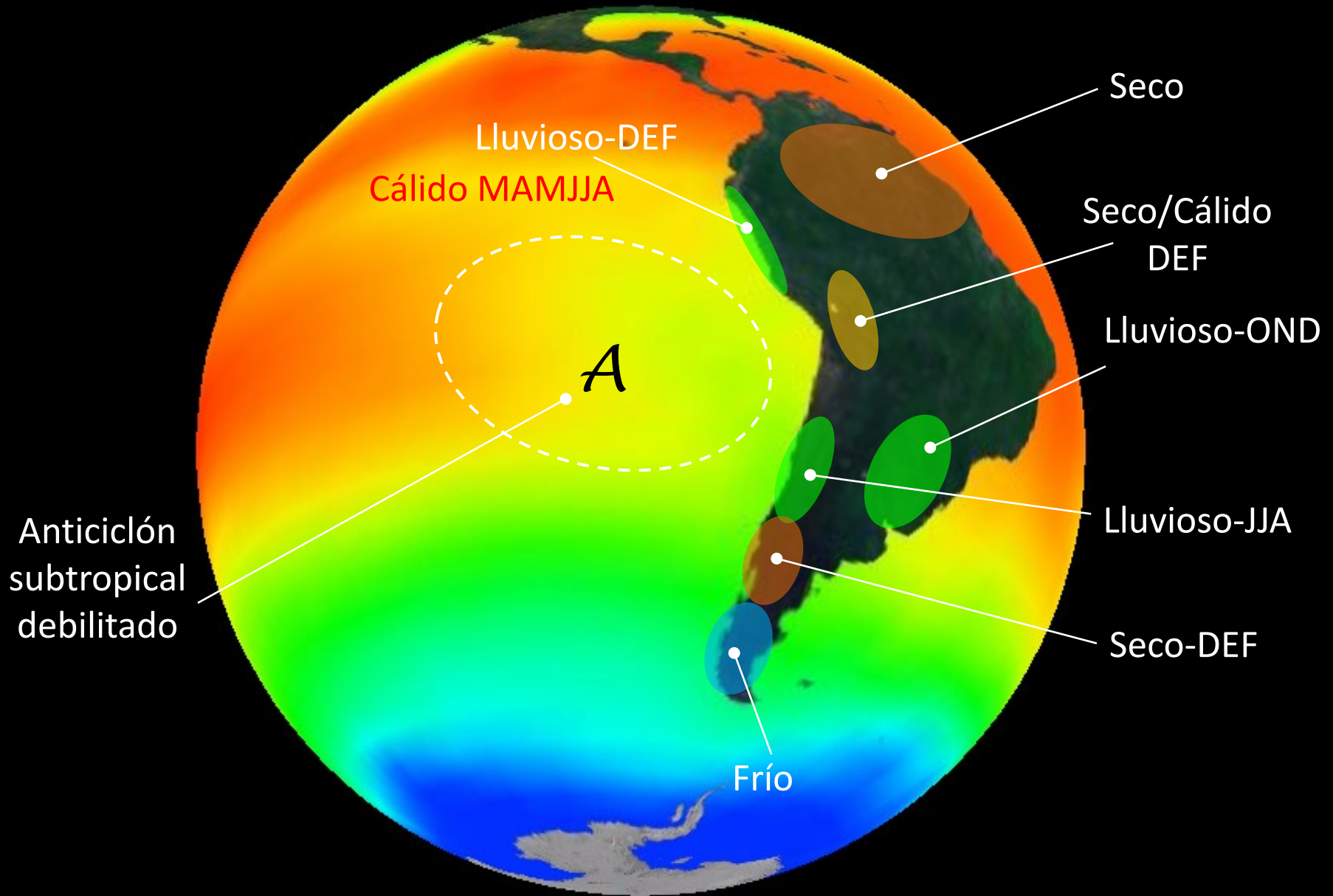


d**e**

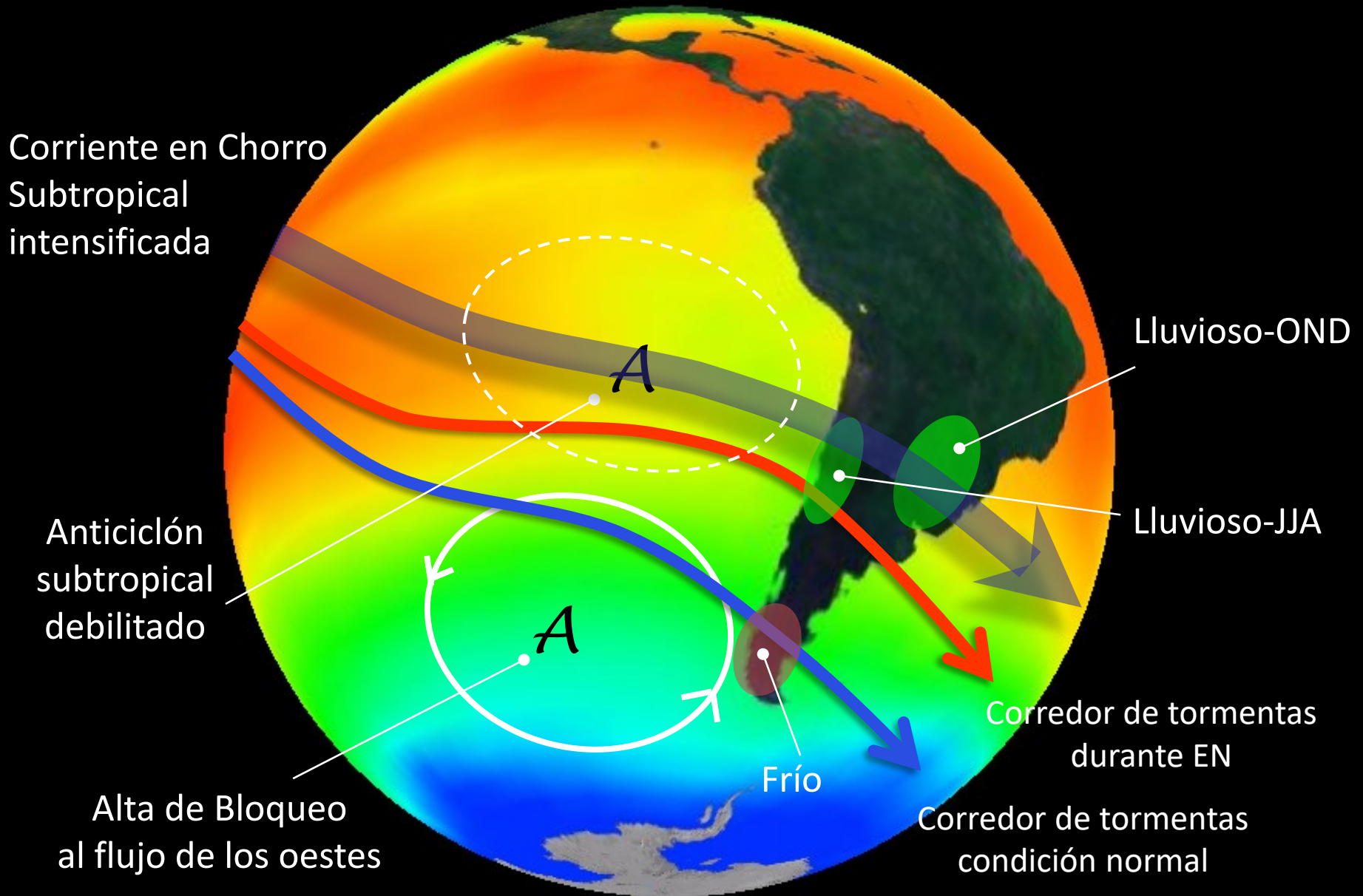
Principales impactos climáticos durante años El Niño



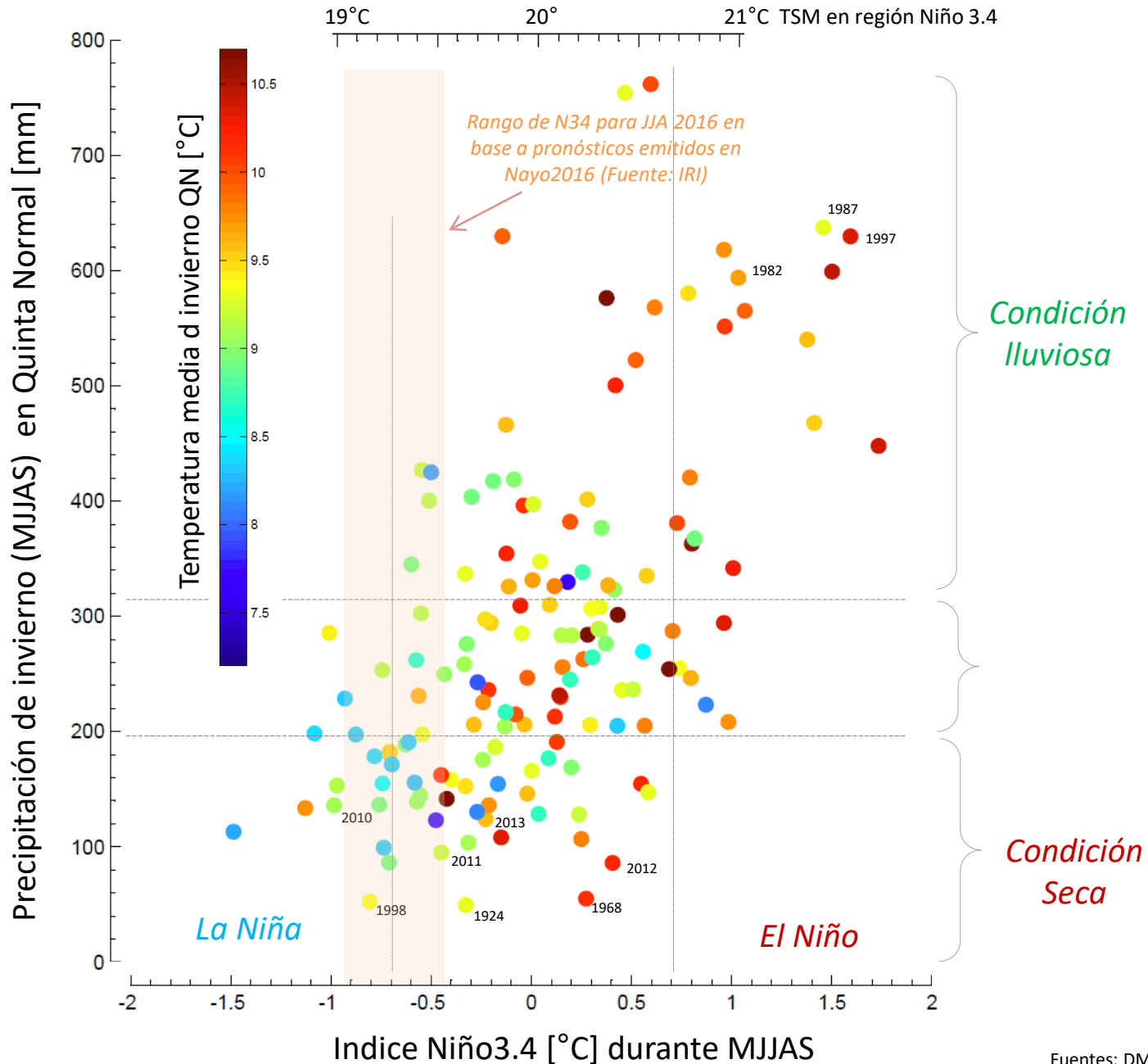
Principales impactos climáticos durante años El Niño



Principales impactos climáticos durante años El Niño



Impactos ENOS en precipitación sobre Santiago



Predicción de ENSO

ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions



Update prepared by:
Climate Prediction Center / NCEP
20 November 2023

Australian Government
Bureau of Meteorology

HOME | ABOUT | MEDIA | CONTACTS | Enter search terms | Search

NSW VIC QLD WA SA TAS ACT NT AUSTRALIA ANTARCTICA

Climate / Forecasts & drivers / Climate Driver Update

Climate Driver Update

Climate drivers in the Pacific, Indian and Southern oceans and the Tropics

Issued 8 November 2023 Next issue 21 November 2023

Overview Pacific Ocean Indian Ocean Southern Ocean Tropics

Summary Sea surface

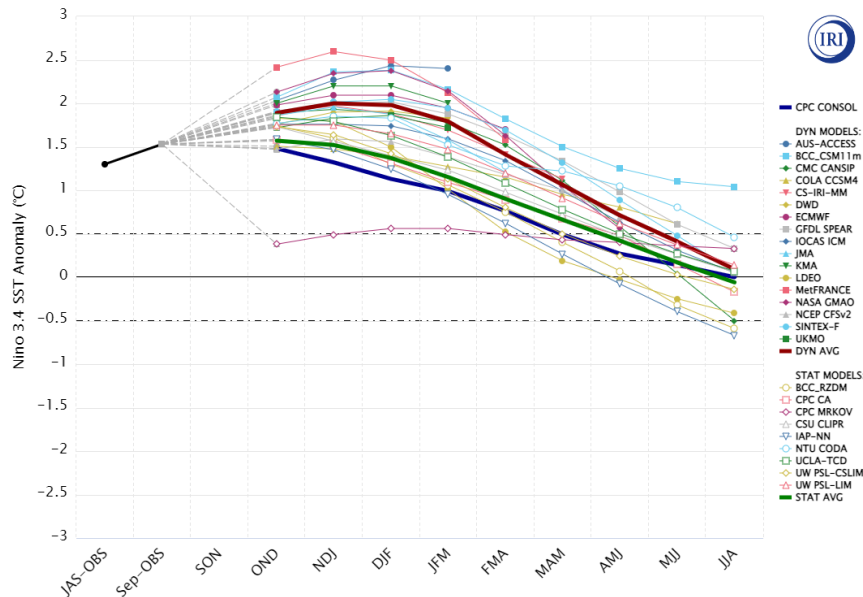
El Niño and positive Indian Ocean Dipole continue

El Niño continues in the tropical Pacific. Warmer than average sea surface temperatures (SSTs) in the tropical Pacific persist above El Niño thresholds, with warmer water beneath the surface to support that at the surface. In the atmosphere, cloud, wind and pressure patterns are consistent with El Niño conditions. Climate model forecasts indicate a continuation of the central to eastern Pacific is likely, with SSTs remaining above El Niño thresholds through autumn 2024.

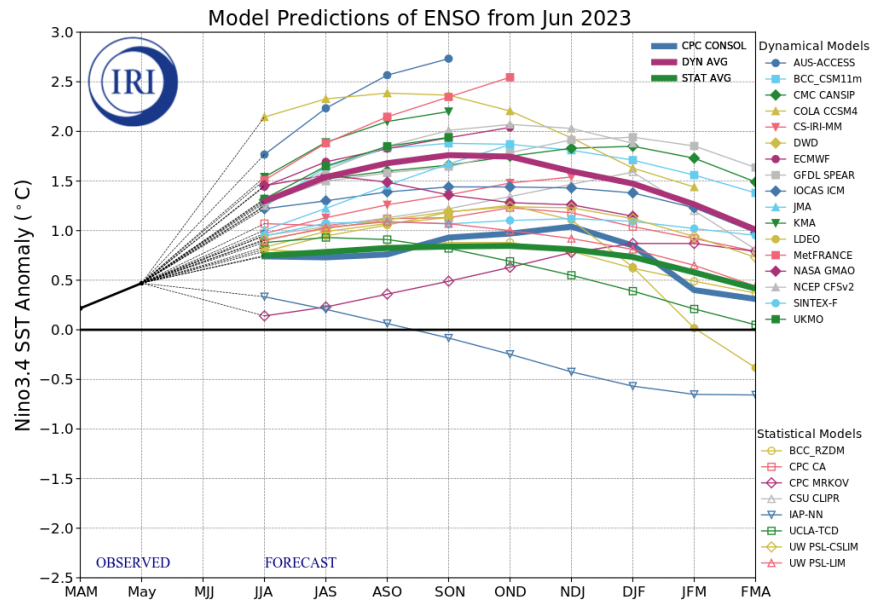
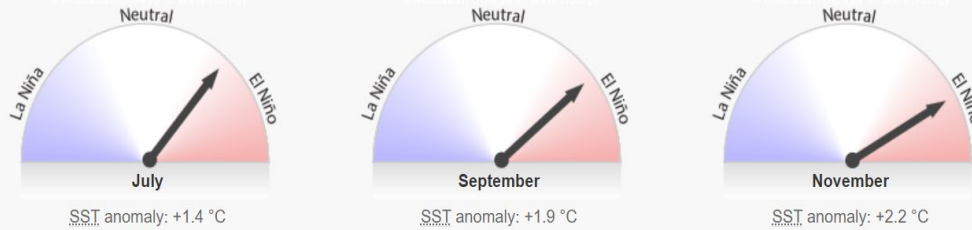
ipole (IOD) event continues. All models indicate that this positive IOD will likely persist through autumn 2024. The positive IOD typically leads to reduced spring rainfall for central and south-east Australia.

(SAM) index is currently positive with forecasts indicating it will return to neutral in the autumn.

Model Predictions of ENSO from Oct 2023



Average of international model forecasts for NINO3.4 Issued 20 June 2023



Pronostico DMC

Pronóstico Estacional para JJA 2023



Historia de ENSO

Desde cuando conocemos El Niño?

Hidrografía oceánica

DISERTACIÓN SOBRE LAS CORRIENTES OCEÁNICAS Y ESTUdios DE LA CORRIENTE PERUANA ó DE HUMBOLDT, POR EL CAPITÁN DE NAVÍO D. CAMILO N. CARRILLO, VICE-PRESIDENTE DE LA SOCIEDAD GEOGRÁFICA; LEÍDA EN LA NOCHE DEL 27 DE MAYO EN EL SALÓN DE LA SOCIEDAD, Y PUBLICADA EN ESTA SECCIÓN POR ACUERDO DEL CONSEJO DIRECTIVO, PREVIA REVISIÓN DE SU AUTOR.

Carrillo, 1893

Bol. Soc. Geogr. Lima

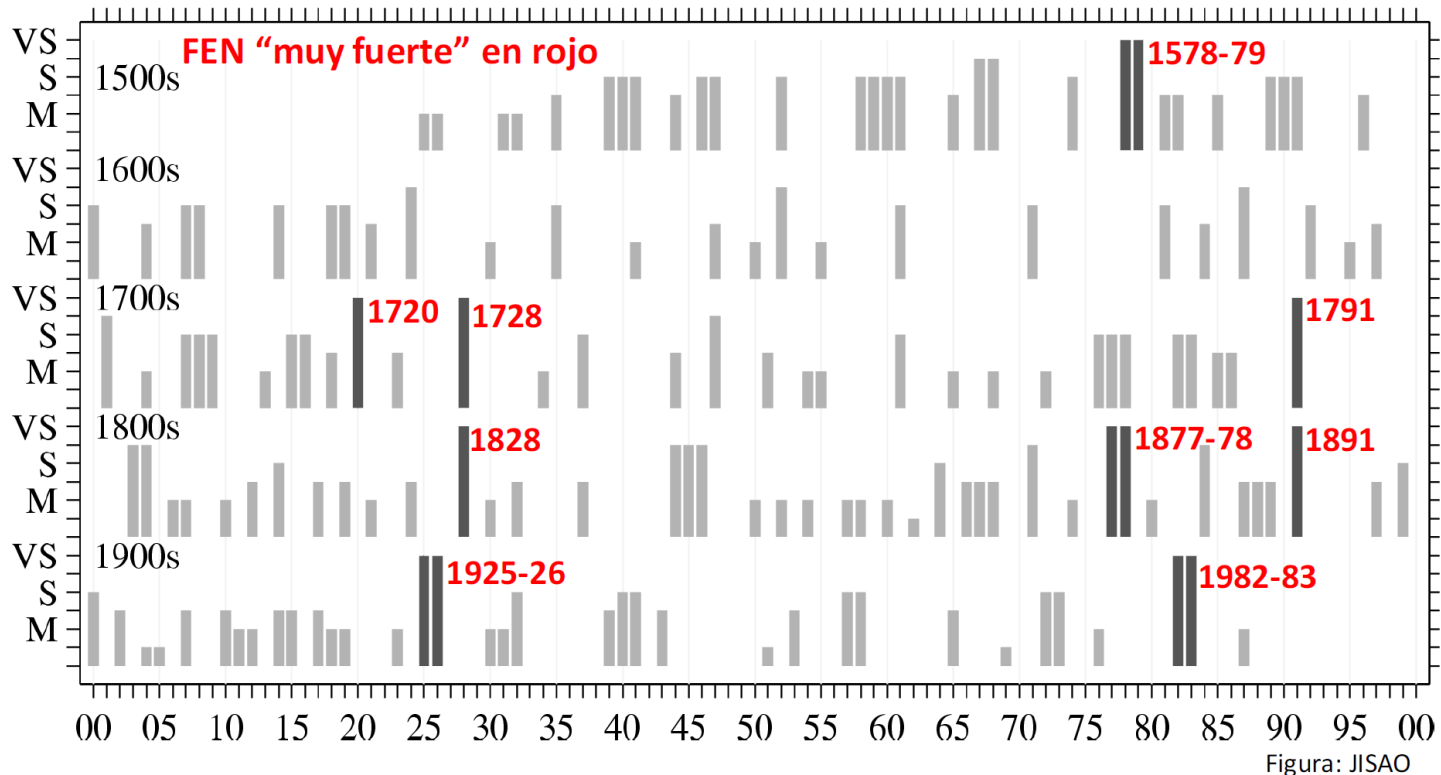
Está, pues, fuera de toda duda, que hay una contra-corriente que se dirige del Norte al Sur, en la costa del Perú, en oposición á la corriente de Humboldt.

Pero debo hacer notar que ellas son completamente independientes: la primera corre de norte á sur, siguiendo la dirección de la costa, y pegada á ella; mientras que la de Humboldt, tiene una dirección opuesta, según la descripción que de ella se ha hecho.

★ Los marinos paiteños que navegan frecuentemente cerca de la costa y en embarcaciones pequeñas, ya al norte ó al sur de Paíta, conocen esta corriente y la denominan corriente del *Niño*, sin duda porque ella se hace mas visible y palpable después de la Pascua de Navidad. Esta contra-corriente me parece que tiene su origen cerca ó en el mismo golfo de Guayaquil; de manera que en ciertas épocas, particularmente en verano, se encuentran en las inmediaciones de la costa norte del Perú, hojas de palmeras, de platanos, naranjas y muchos otros objetos que las aguas del río Guayaquil y de Tumbes conducen al mar, y que la corriente del *Niño*, suelen arrastrar hasta la latitud de Sechura y Pacasmayo.

Desde cuando conocemos El Niño?

Cronología del “Fenómeno El Niño” y su intensidad
1525-1987 deducida de fuentes diversas (Quinn, 1992)



Desde cuando conocemos El Niño?

