

Cambio y variabilidad climática

Climatología 2025

Variabilidad climática

Para estudiar la variabilidad climática es necesario definir un comportamiento del *clima* promedio durante un *período de tiempo determinado*. ¿variables?

¿Qué estadísticos se pueden usar?

Depende del objetivo y la distribución de los datos

Ejemplos: valores de tendencia central (medias, medianas, modas), medidas de dispersión de valores (rangos, cuantiles, desviación estándar), medidas de extremos, entre otros.

La variabilidad climática estará dada por la desviación temporal con respecto al comportamiento promedio oportuna y claramente definido.

Nos vamos a referir a las oscilaciones que ciertas magnitudes pueden tener respecto a sus valores medios

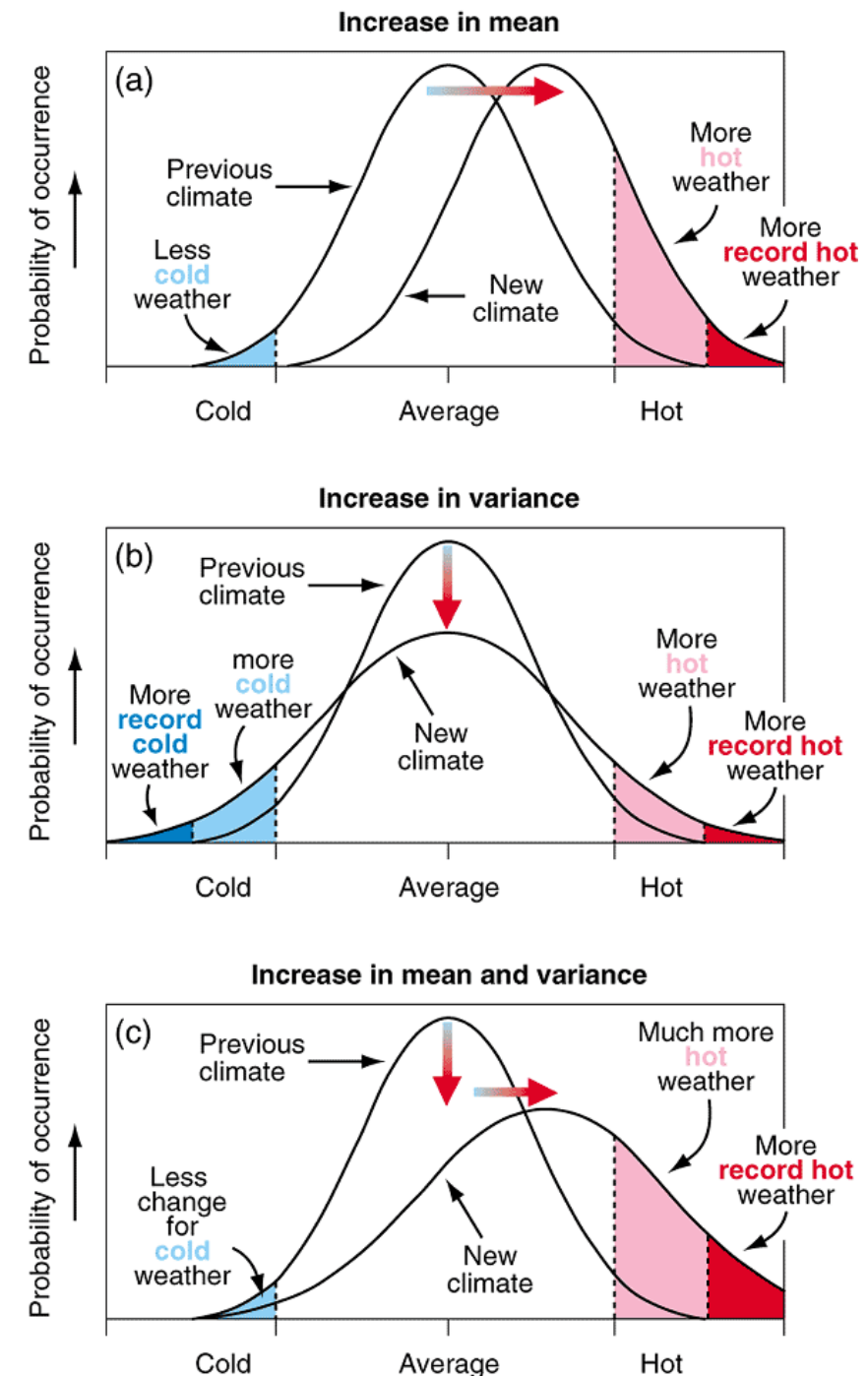
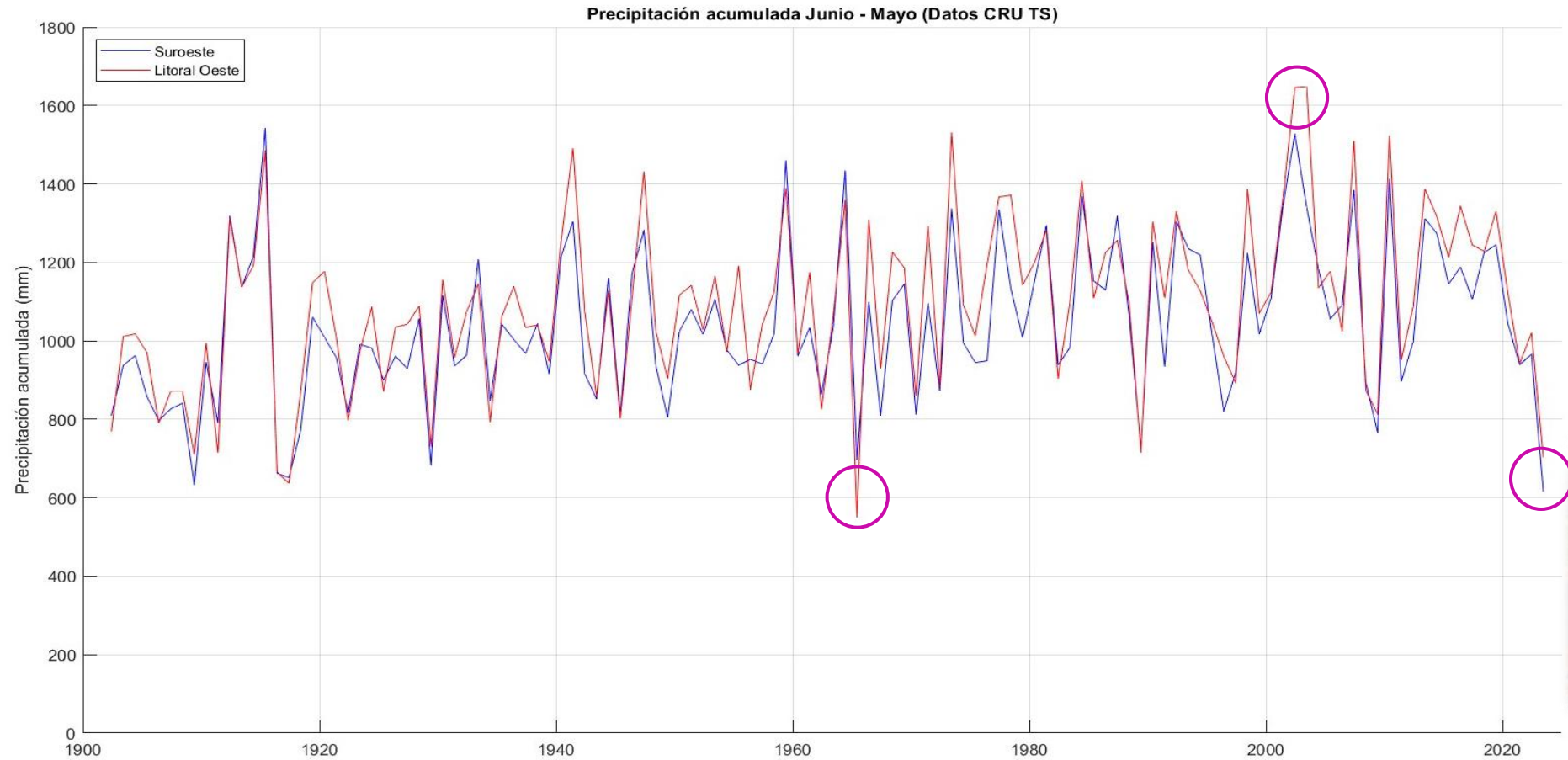


Figure 2.32 — IPCC

Variabilidad climática

Uruguay tiene una gran variabilidad interanual de precipitaciones



¿Media?

¿ σ ?

¿extremos?



Precipitaciones acumuladas Junio-Mayo 1902-2023.

Datos [CRU TS](#): Litoral Oeste [56:59°W, 31, 5:-34°S]; Suroeste [55,5:-58°W, 33,5:35,5°S]

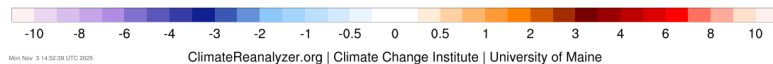
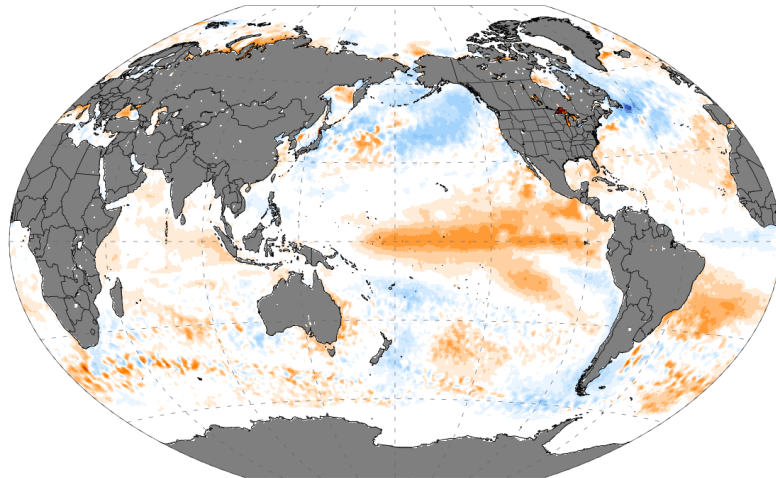
Variabilidad climática

¿A qué responde?

La variabilidad climática no está distribuida al azar en el tiempo y el espacio.

Aparece organizada en estructuras espacialmente coherentes que tienden a preservar su patrón, mientras que su amplitud, su fase y a veces su posición geográfica cambian con el tiempo.

Sea Surface Temperature Anomaly (°C)
SON 2009 - 1990-2020

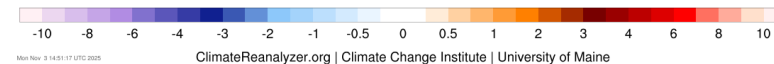
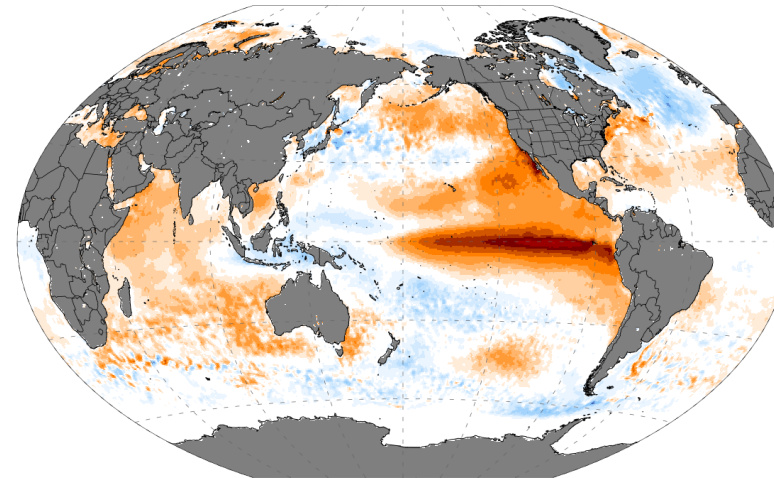


ClimateReanalyzer.org | Climate Change Institute | University of Maine

2009

ECMWF ERA5 (0.5x0.5 deg)

Sea Surface Temperature Anomaly (°C)
SON 2015 - 1990-2020

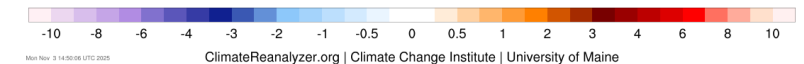
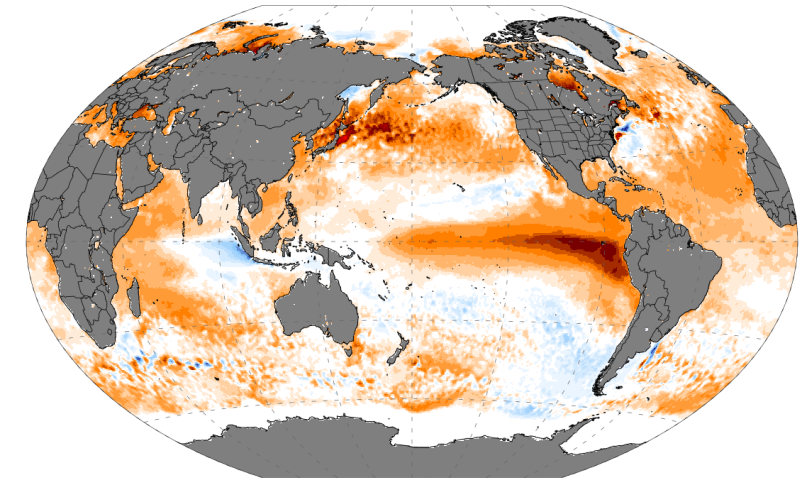


ClimateReanalyzer.org | Climate Change Institute | University of Maine

2015

ECMWF ERA5 (0.5x0.5 deg)

Sea Surface Temperature Anomaly (°C)
SON 2023 - 1990-2020



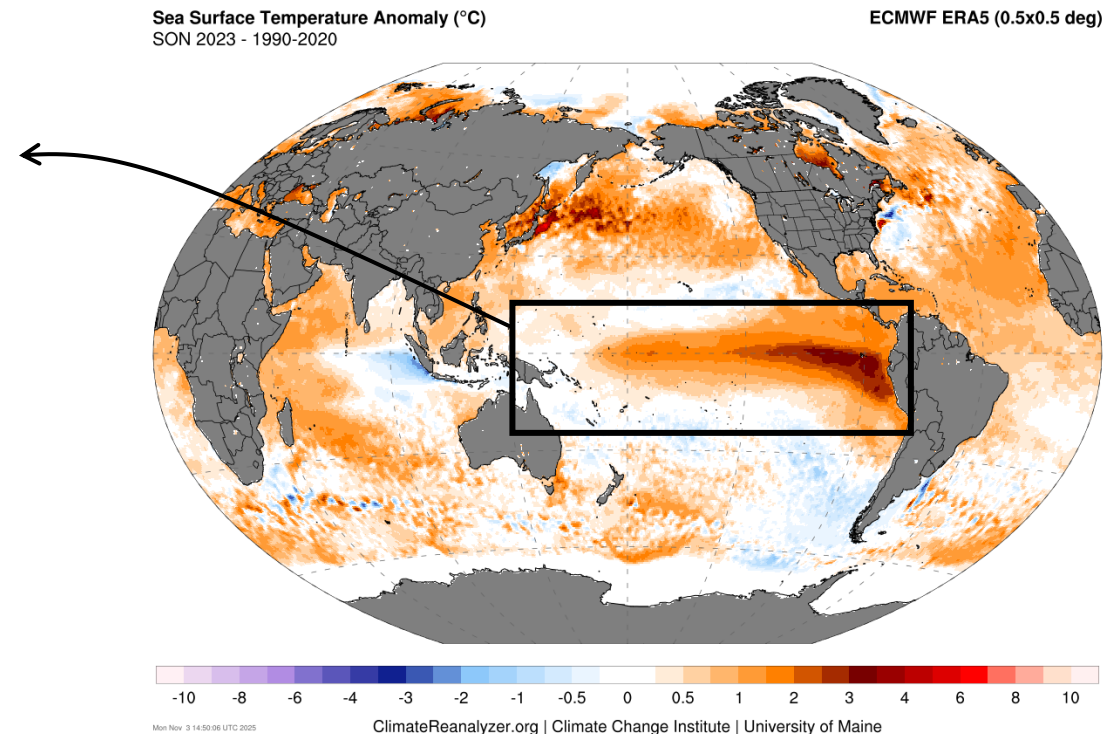
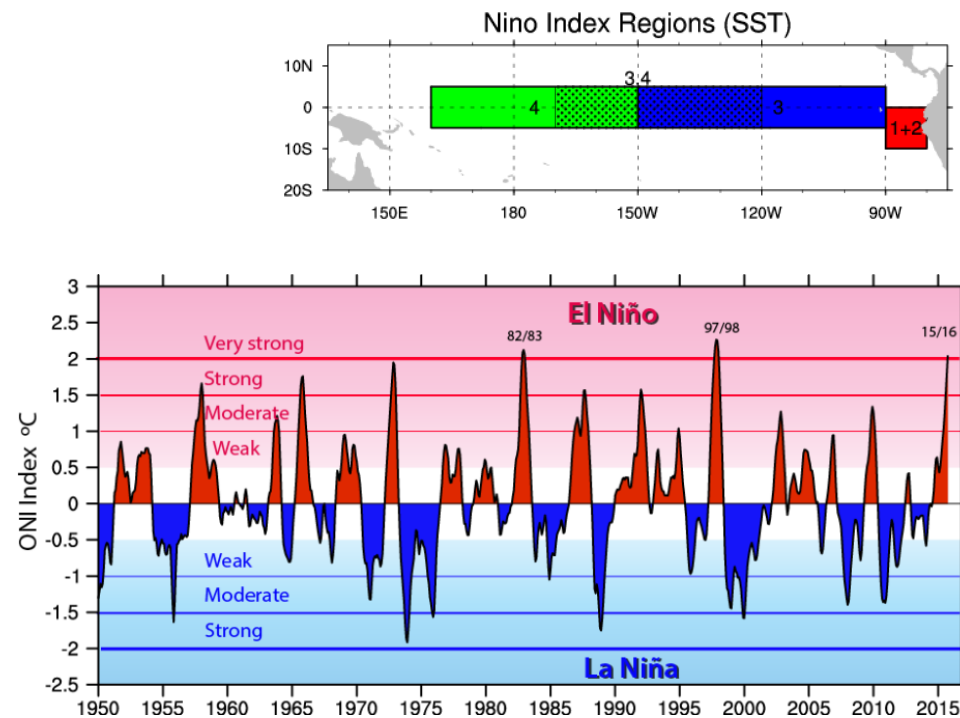
ClimateReanalyzer.org | Climate Change Institute | University of Maine

2023

Variabilidad climática

¿A qué responde?

A pesar de que la naturaleza precisa y la forma de estas estructuras, o patrones espaciales, puede variar con la metodología estadística utilizada en su análisis, siempre **emergen en forma consistente ciertas características regionales que identifican a los patrones**. Estos patrones varían en muchas escalas de tiempo y espacio, y afectan el clima de diferentes regiones del planeta (lluvias, temperaturas, ocurrencia de ciclones, huracanes, sequías, etc.)

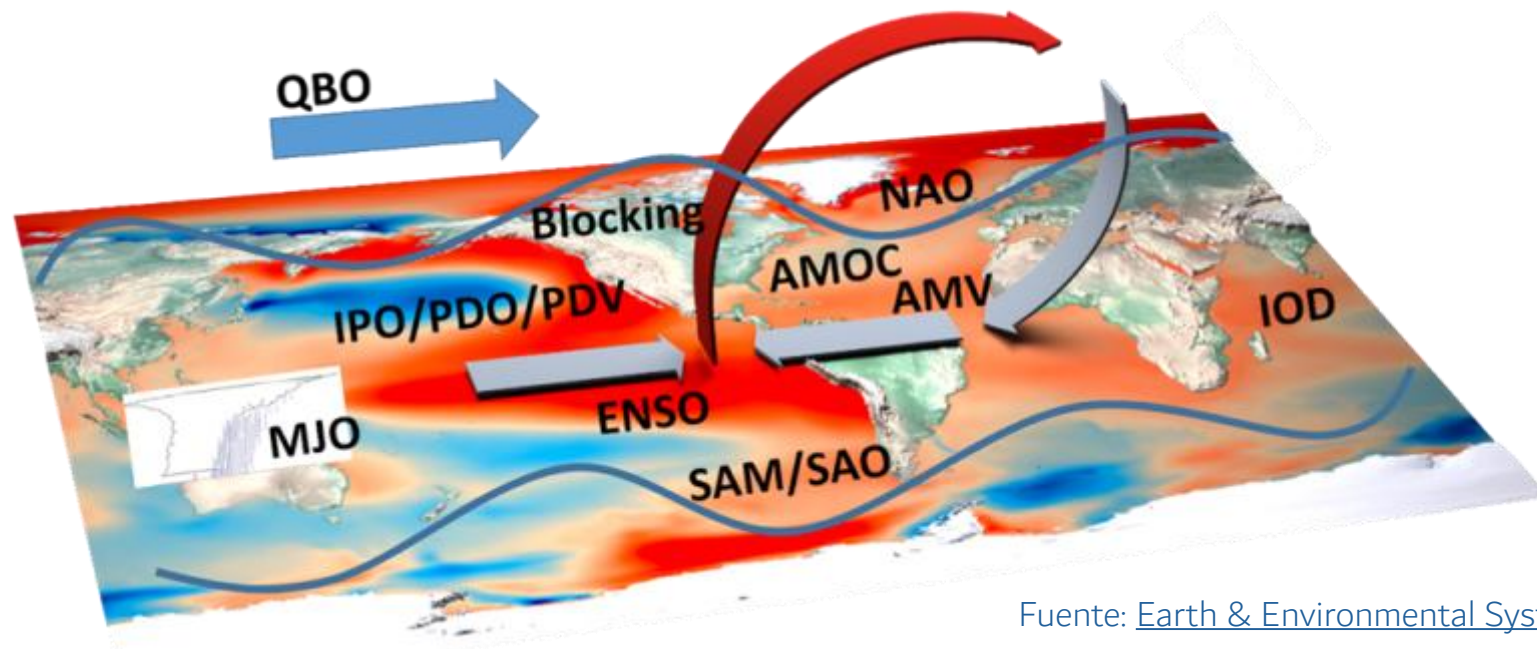


Variabilidad climática

¿A qué responde?

El estudio de la variabilidad climática se basa fuertemente en la búsqueda de estos patrones o *modos de variabilidad*, de su evolución espacio-temporal y de la comprensión de los mecanismos físicos actuantes. Si bien se conocen algunos, no se tiene un inventario completo de estos patrones, ni se entiende perfectamente los mecanismos que los gobiernan.

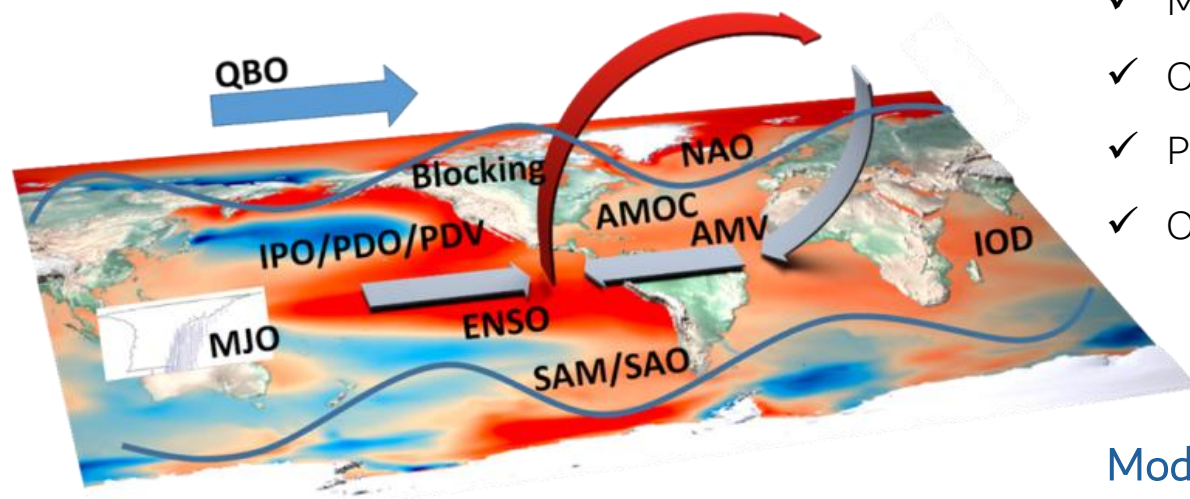
La exploración de estos modos de variabilidad es una forma de estudiar la predictibilidad del sistema climático.



Fuente: [Earth & Environmental Systems Modeling](#).

Variabilidad climática

La exploración de estos modos de variabilidad es una forma de estudiar la predictibilidad del sistema climático



Fuente: [Earth & Environmental Systems Modeling](#).

Modos derivados de la variabilidad interna de la atmósfera:

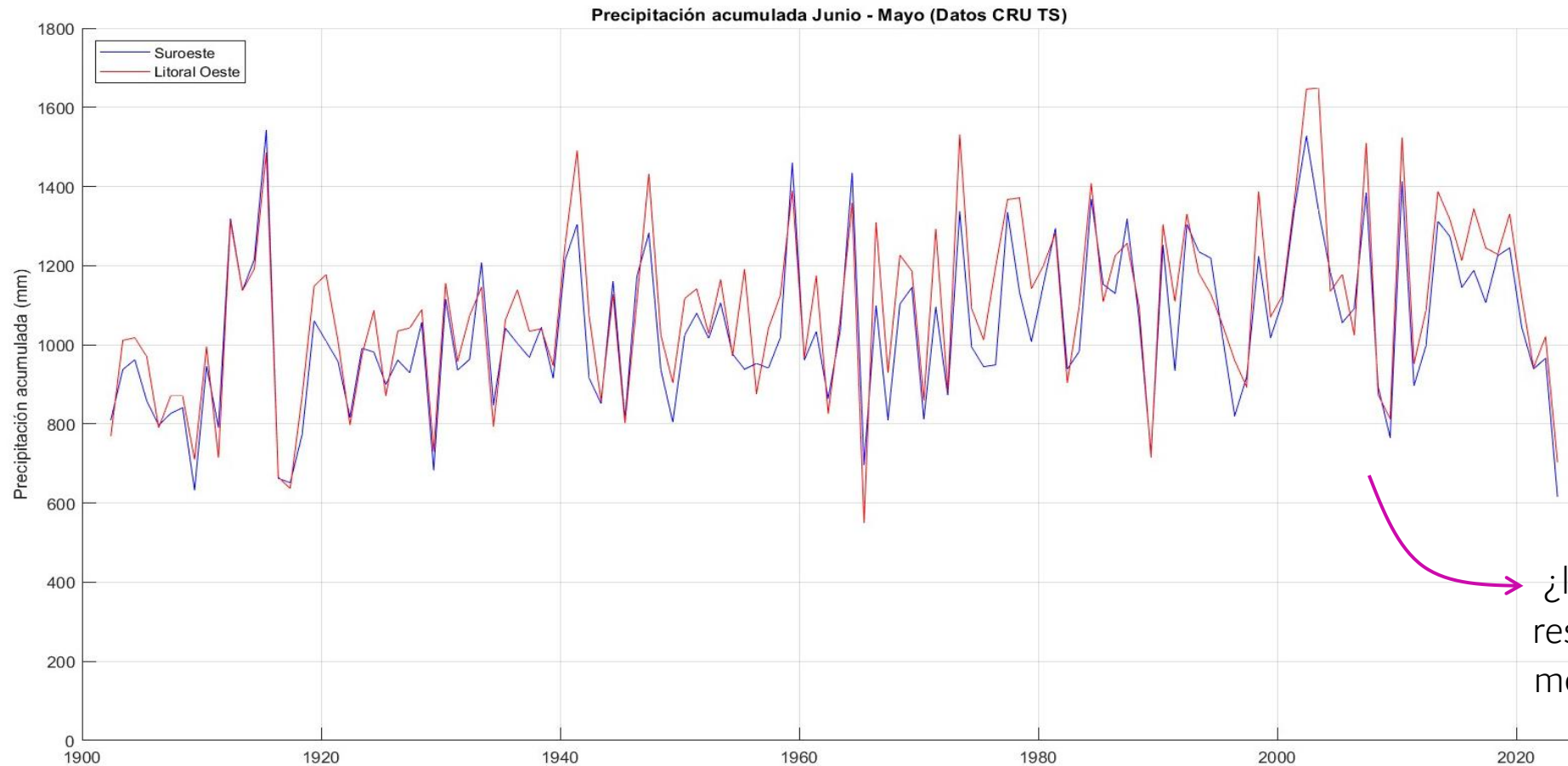
- ✓ Modo Anular del Sur (SAM; *Southern Annular Mode*)
- ✓ Oscilación de Madden-Julian (MJO; *Madden-Julian Oscillation*)
- ✓ Patrones Pacífico–América del Sur (PSA; *Pacific-South American modes*)
- ✓ Oscilación del Atlántico Norte (NAO; *North Atlantic Oscillation*)

Modos de variabilidad acoplados entre la atmósfera y los océanos:

- ✓ El Niño-Oscilación del Sur (ENSO; *El Niño – Southern Oscillation*)
- ✓ Oscilación Decadal del Pacífico (PDO; *Pacific Decadal Oscillation*)
- ✓ Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO; *Atlantic Multidecadal Oscillation*)

Variabilidad climática

La exploración de estos modos de variabilidad es una forma de estudiar la predictibilidad del sistema climático



¿la variabilidad podría responder a uno o más modos de variabilidad?

Variabilidad climática

La exploración de estos modos de variabilidad es una forma de estudiar la predictibilidad del sistema climático

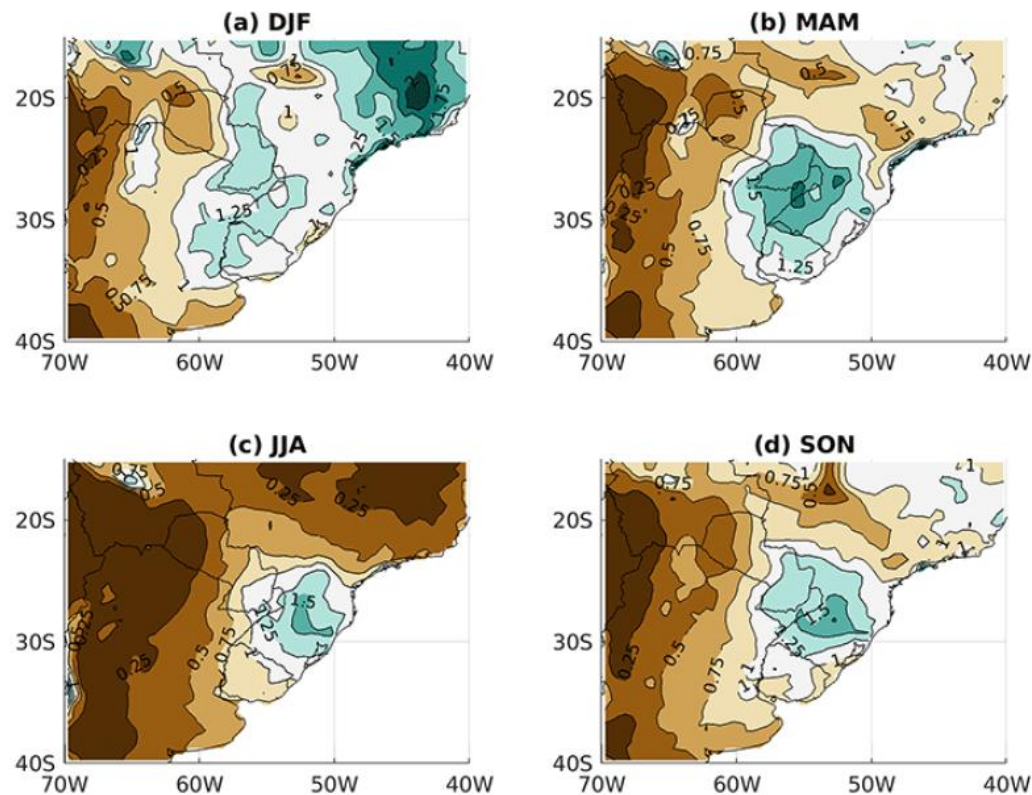


Figure 1. Interannual rainfall variability of precipitation over SESA (mm/day) in (a) December–February, (b) March–May, (c) June–August, and (d) September–November. Data from CRU TS during the period 1950–2022.

Variabilidad climática

La exploración de estos modos de variabilidad es una forma de estudiar la predictibilidad del sistema climático

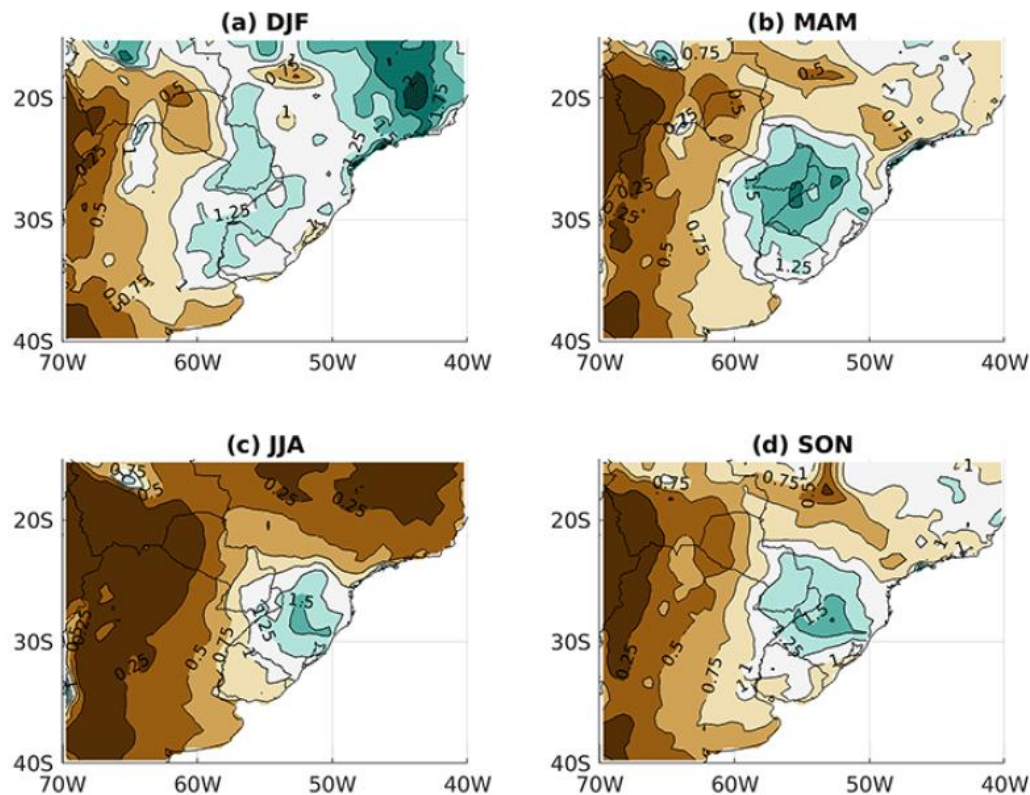


Figure 1. Interannual rainfall variability of precipitation over SESA (mm/day) in (a) December–February, (b) March–May, (c) June–August, and (d) September–November. Data from CRU TS during the period 1950–2022.

[Barreiro, 2024](#)

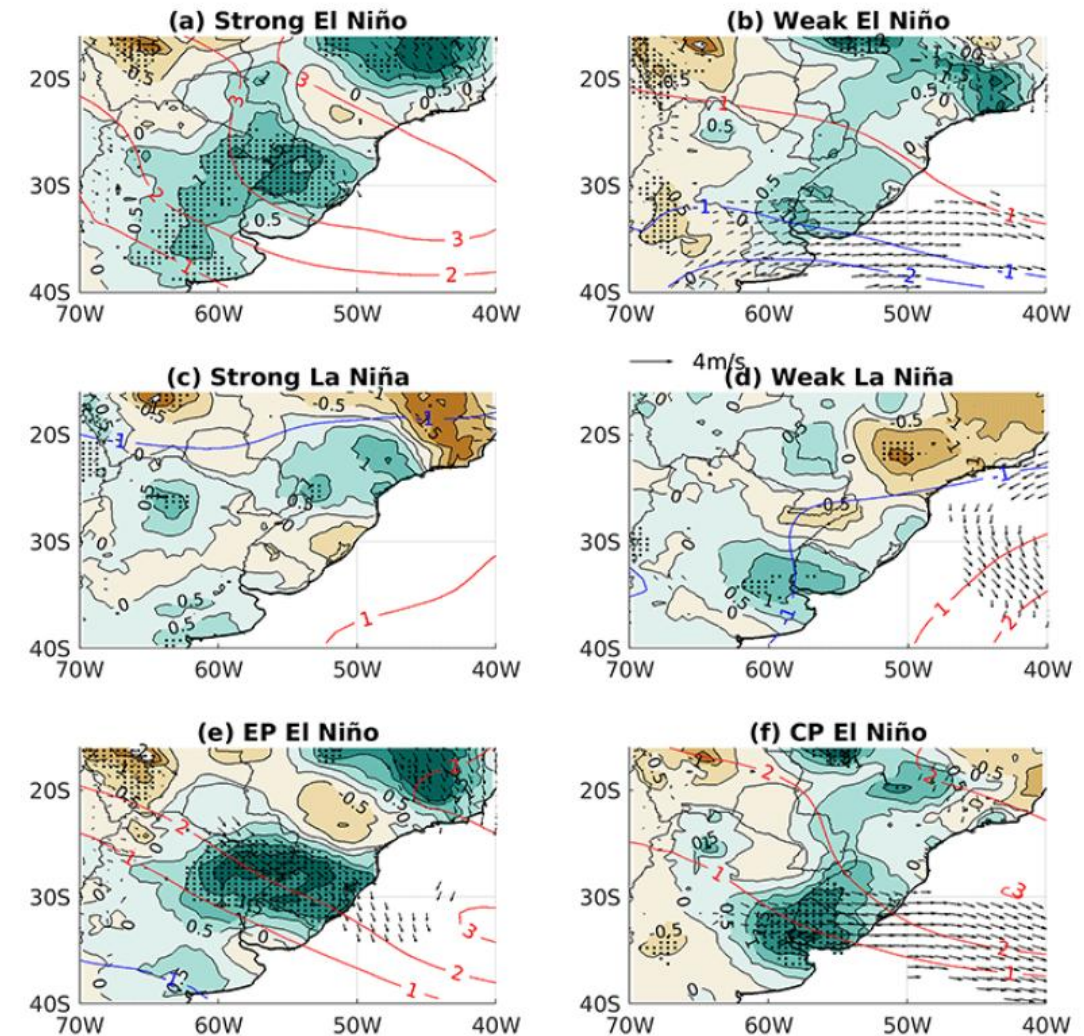
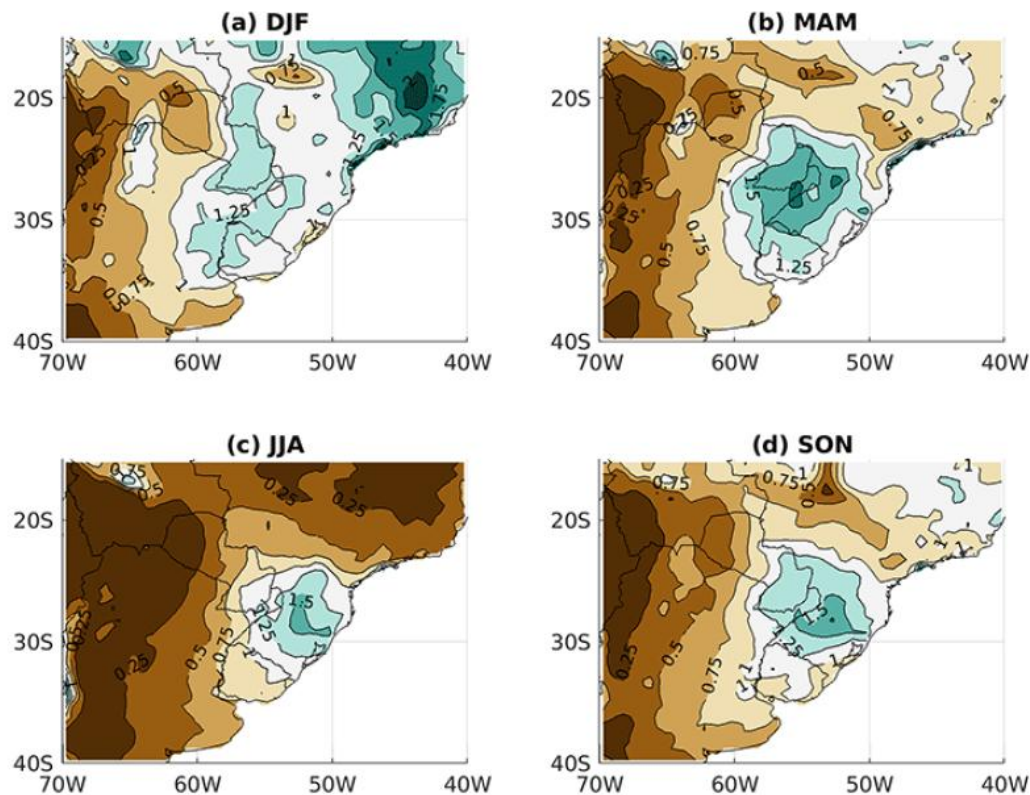


Figure 7. Composite during January–February (JF+1) for (a) strong El Niño events (1957, 1972, 1982, 1991, 1997, 2015), (b) weak El Niño events (1963, 1965, 1987, 2002, 2009), (c) strong La Niña events (1973, 1975, 1988, 1998, 1999), (d) weak La Niña events (1955, 1970, 2010, 2011, 2020, 2021), (e) Eastern Pacific El Niño (1965, 1972, 1982, 1991, 1997), (f) Central Pacific El Niño (1957, 1987, 2002, 2009). Fields and statistical significance analogous to Figure 5. Eastern El Niño–Southern Oscillation (ENSO; EP) and central ENSO (CP) El Niño events from Cai et al. (2020); note that El Niño 2015 was a mix of EP and CP Niños, and El Niño 1963 was not classified as EP or CP and thus are not considered in panels (e) and (f).

Variabilidad climática

La exploración de estos modos de variabilidad es una forma de estudiar la predictibilidad del sistema climático



Variabilidad climática

La exploración de estos modos de variabilidad es una forma de estudiar la predictibilidad del sistema climático

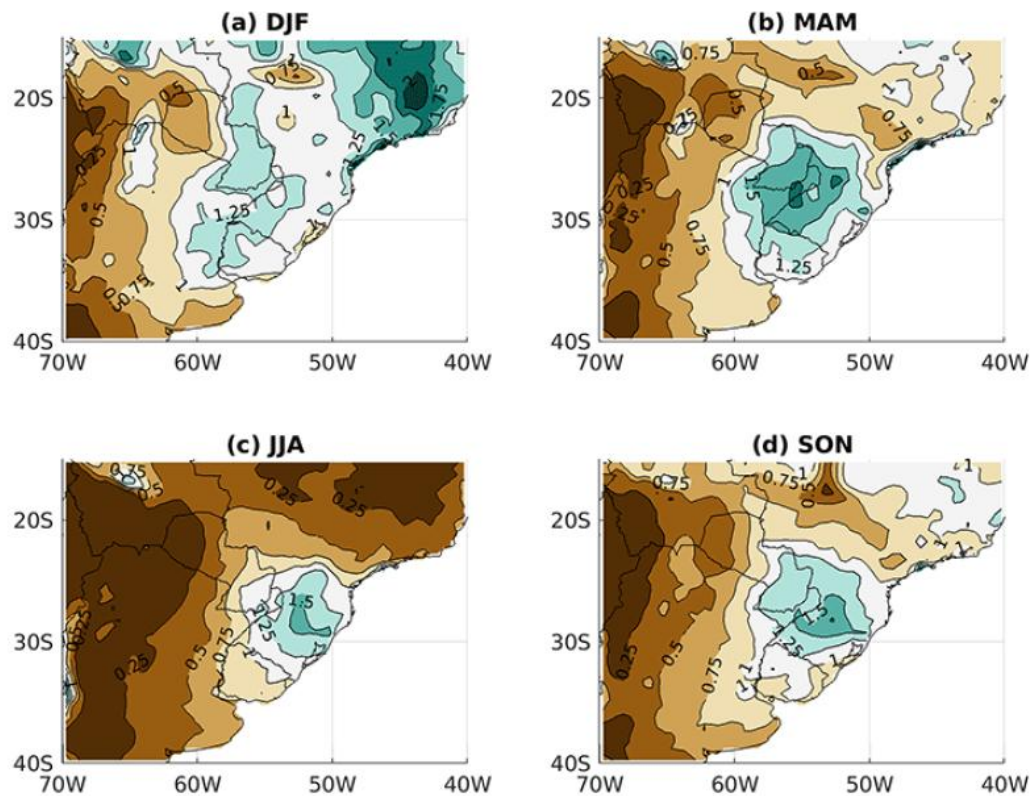


Figure 1. Interannual rainfall variability of precipitation over SESA (mm/day) in (a) December–February, (b) March–May, (c) June–August, and (d) September–November. Data from CRU TS during the period 1950–2022.

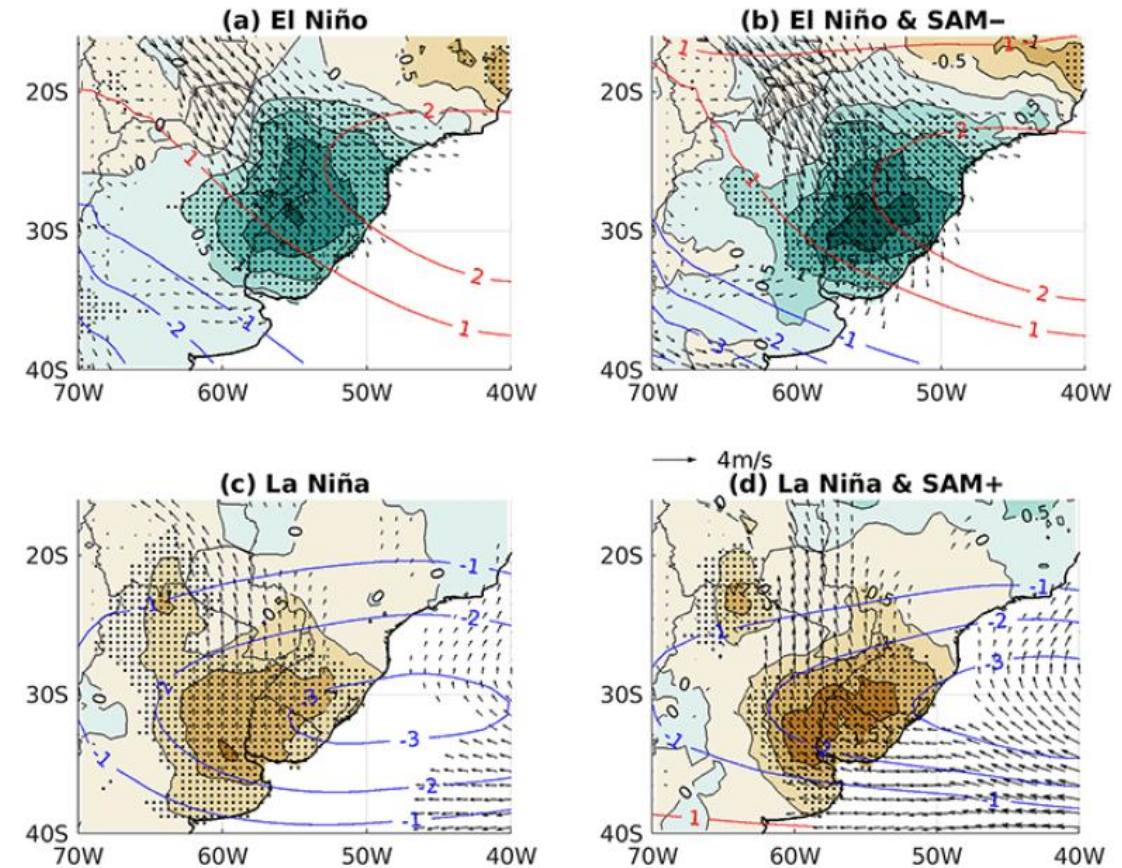


Figure 6. Composite during October–December for (a) El Niño years ($n = 11$), (b) Niño and Southern Annular Mode (SAM)– years ($n = 6$), (c) La Niña years ($n = 12$), (d) La Niña and SAM+ years ($n = 6$). Fields and statistical significance analogous to Figure 5. The SAM index is calculated as the first Empirical Orthogonal Function of geopotential height anomalies between 20°S and 90°S; SAM years are those with a magnitude larger than 0.7 standard deviations after detrending the index.

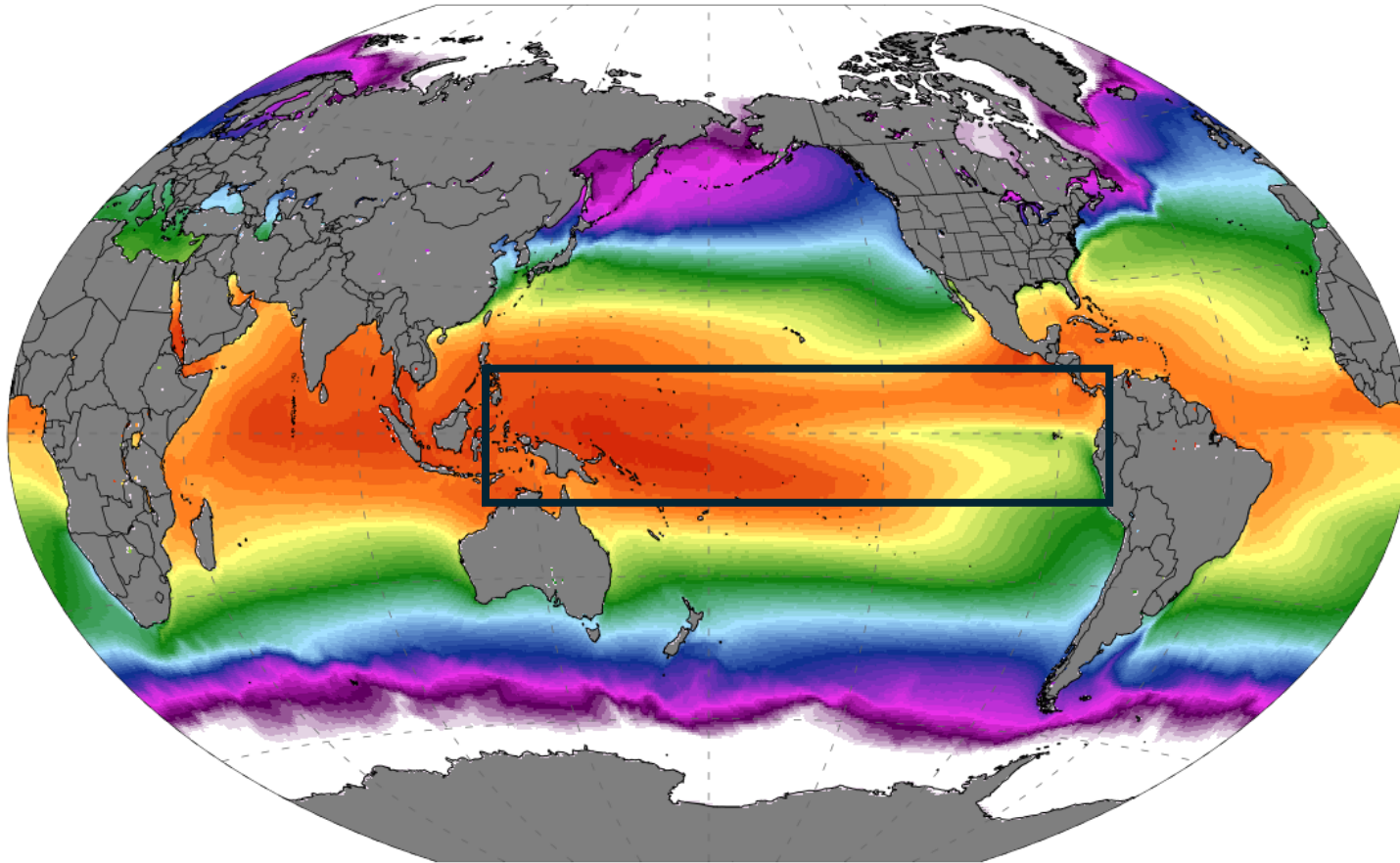
Modos de variabilidad

El Niño – Oscilación del Sur

El Niño – Oscilación del Sur (ENSO)

Sea Surface Temperature (°C)
Annual 1980-2020

ECMWF ERA5 (0.5x0.5 deg)



En condiciones normales el Océano Pacífico ecuatorial Este es más frío que el Oeste, debido al afloramiento de aguas más frías de subsuperficie en la costa de Sudamérica.

*Temperatura de Superficie del Mar media
Período 1980-2020*



El Niño – Oscilación del Sur (ENSO)

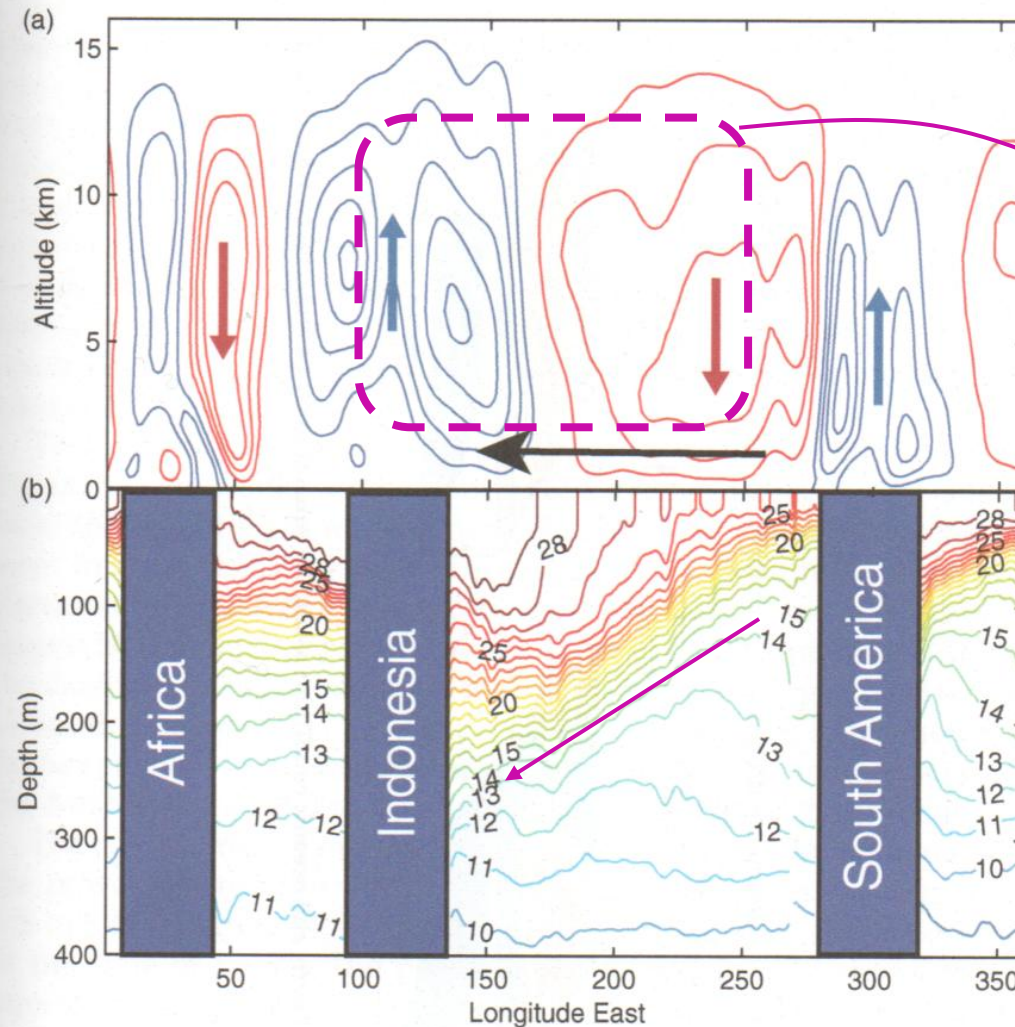


FIGURE 8.9 Atmospheric vertical velocity (a) and oceanic potential temperature (b) along the equator. Vertical arrows indicate direction of vertical motion, black horizontal arrow indicates direction of surface winds over the Pacific Ocean.

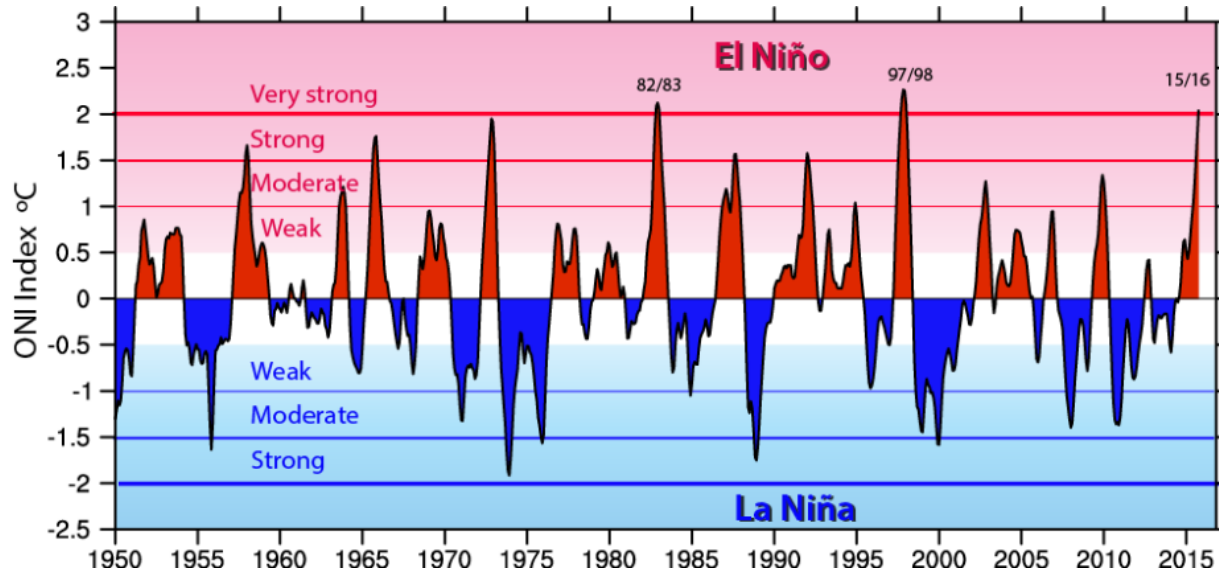
Fenómeno acoplado océano-atmósfera

Existe una celda de circulación sobre el Ecuador formada por los vientos alisios en superficie (flecha negra), convección en el Continente Marítimo, vientos en altura en dirección O-E y subsidencia sobre la costa de Sudamérica: **Celda de Walker**

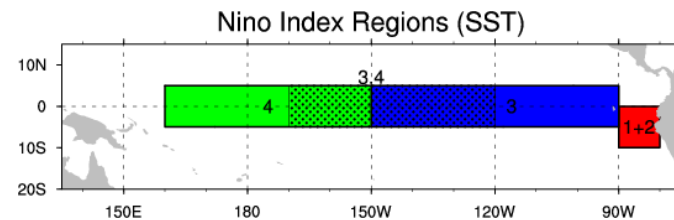
Retroalimentación positiva; retroalimentación de Bjerknes ([*Jacob Bjerknes; 1897-1975*](#))

En condiciones normales el Océano Pacífico ecuatorial Este es más frío que el Oeste, debido al afloramiento de aguas más frías de subsuperficie en la costa de Sudamérica.

El Niño – Oscilación del Sur



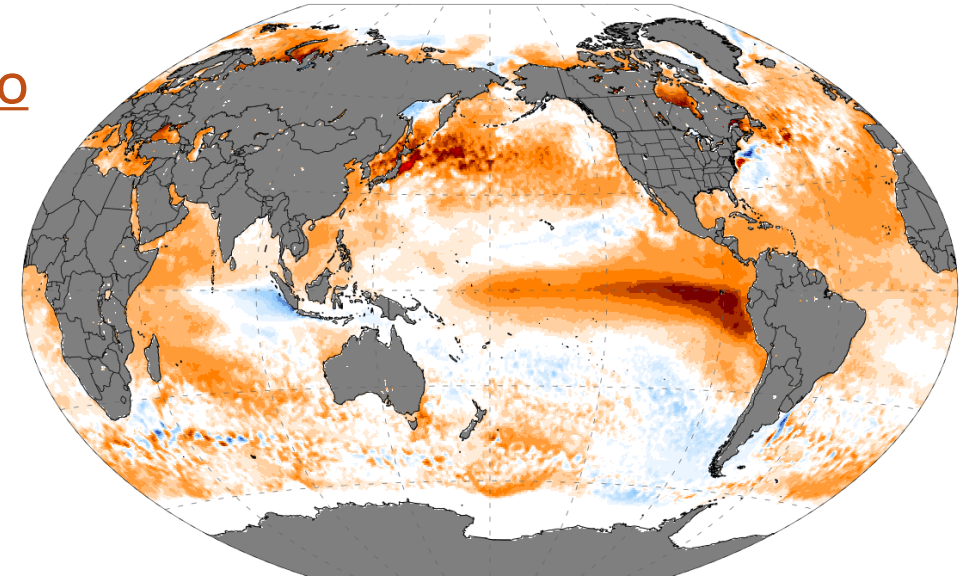
[Nino SST Indices \(Nino 1+2, 3, 3.4, 4; ONI and TNI\) | Climate Data Guide](#)



Sea Surface Temperature Anomaly (°C)
SON 2023 - 1990-2020

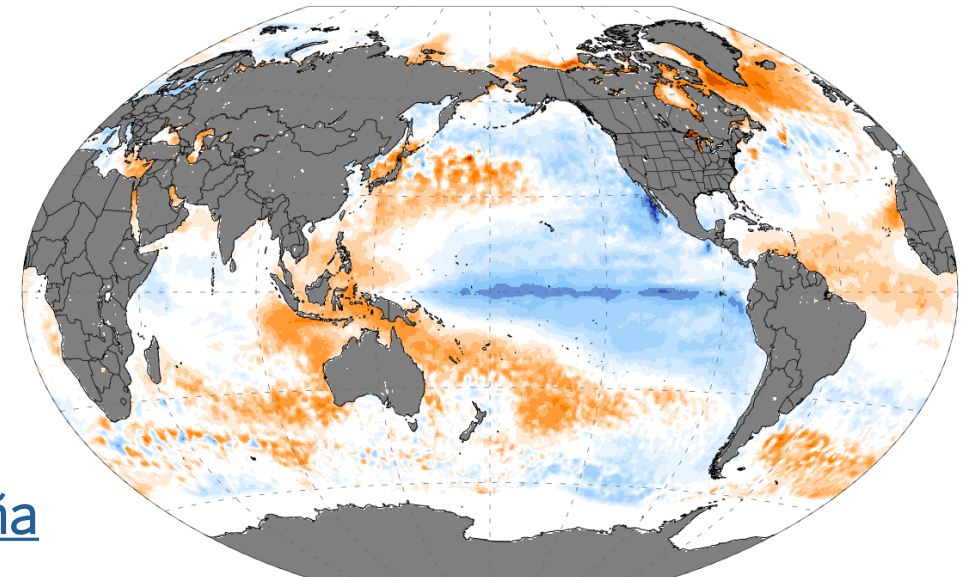
ECMWF ERA5 (0.5x0.5 deg)

El Niño

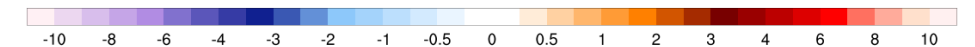


Sea Surface Temperature Anomaly (°C)
SON 2010 - 1990-2020

ECMWF ERA5 (0.5x0.5 deg)



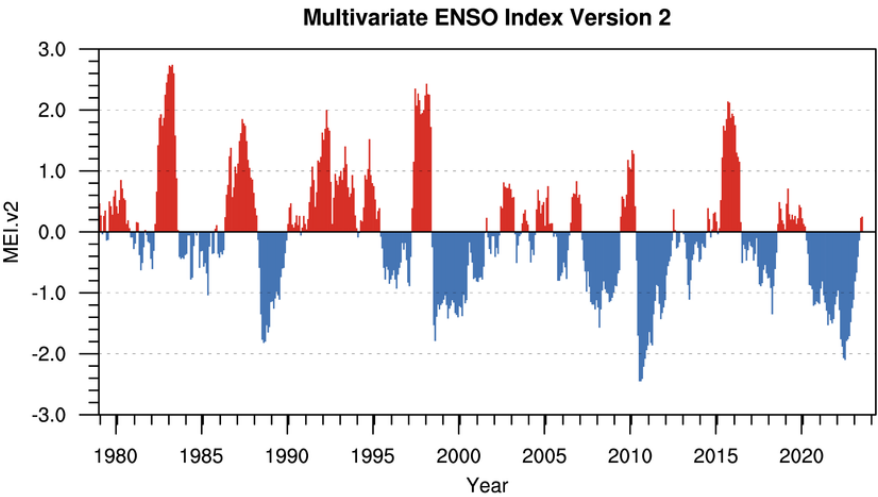
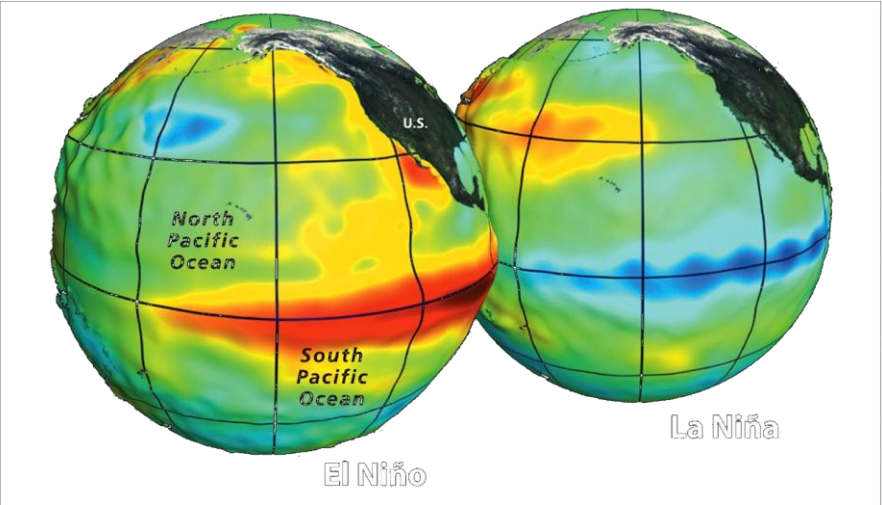
La Niña



Mon Nov 3 18:54:01 UTC 2025

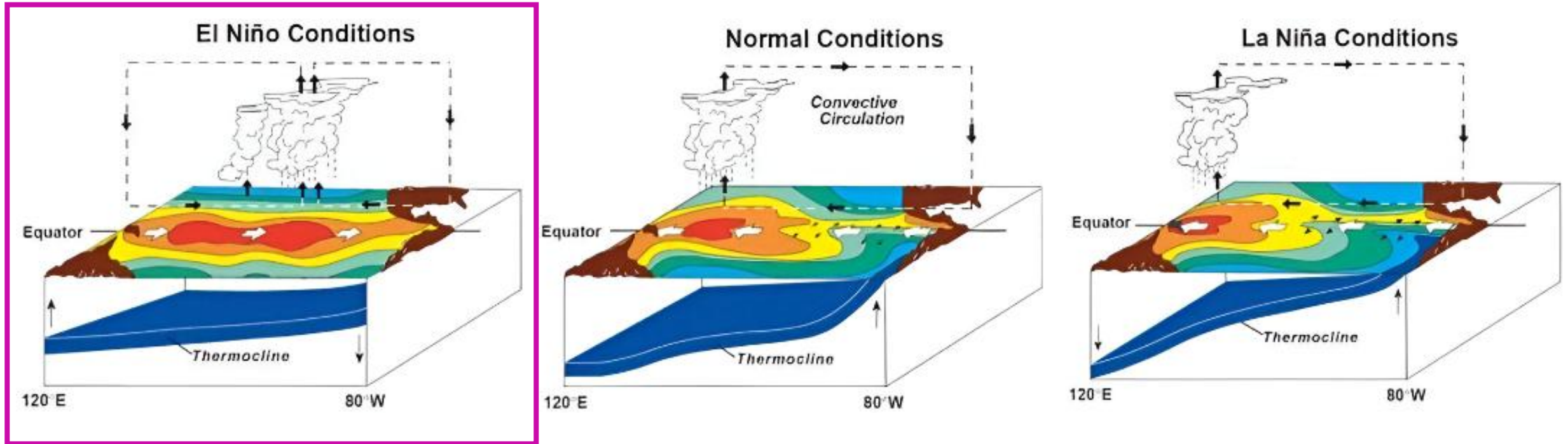
ClimateReanalyzer.org | Climate Change Institute | University of Maine

El Niño – Oscilación del Sur



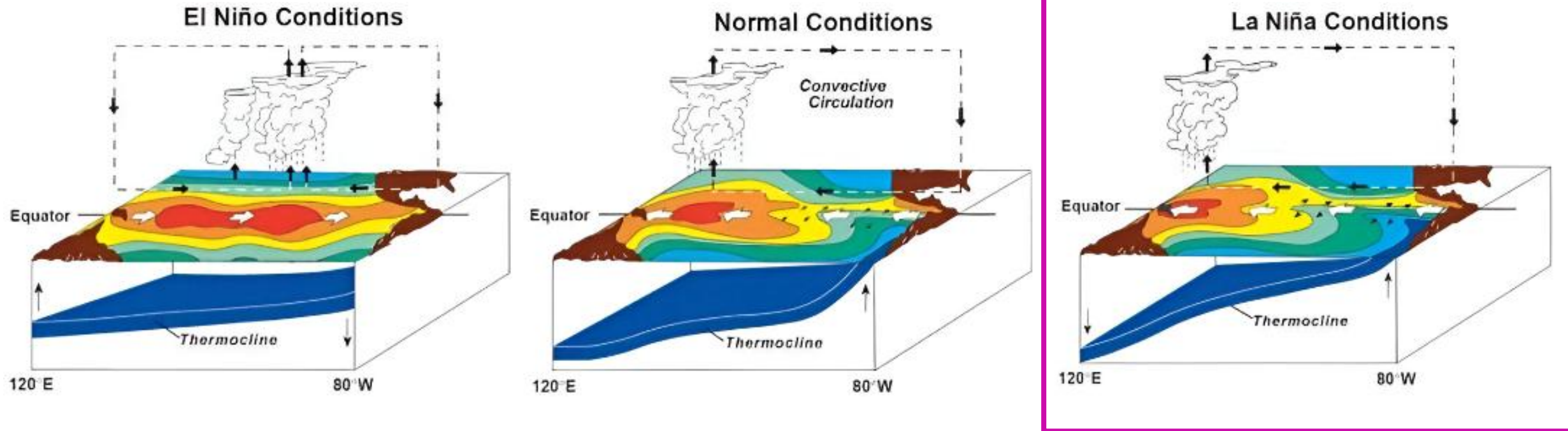
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.9
2007	0.7	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.1	-1.3	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.5	-1.3	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3	0.0	0.3	0.5	0.6	0.7	1.0	1.4	1.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.1	-1.0
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.0
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8	-1.0	-1.0
2022	-1.0	-0.9	-1.0	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.9	-1.0	-1.0	-0.9	-0.8
2023	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8	1.9	2.0
2024	1.8	1.5	1.1	0.7	0.4	0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5
2025	-0.6	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.5			

El Niño – Oscilación del Sur (ENSO)



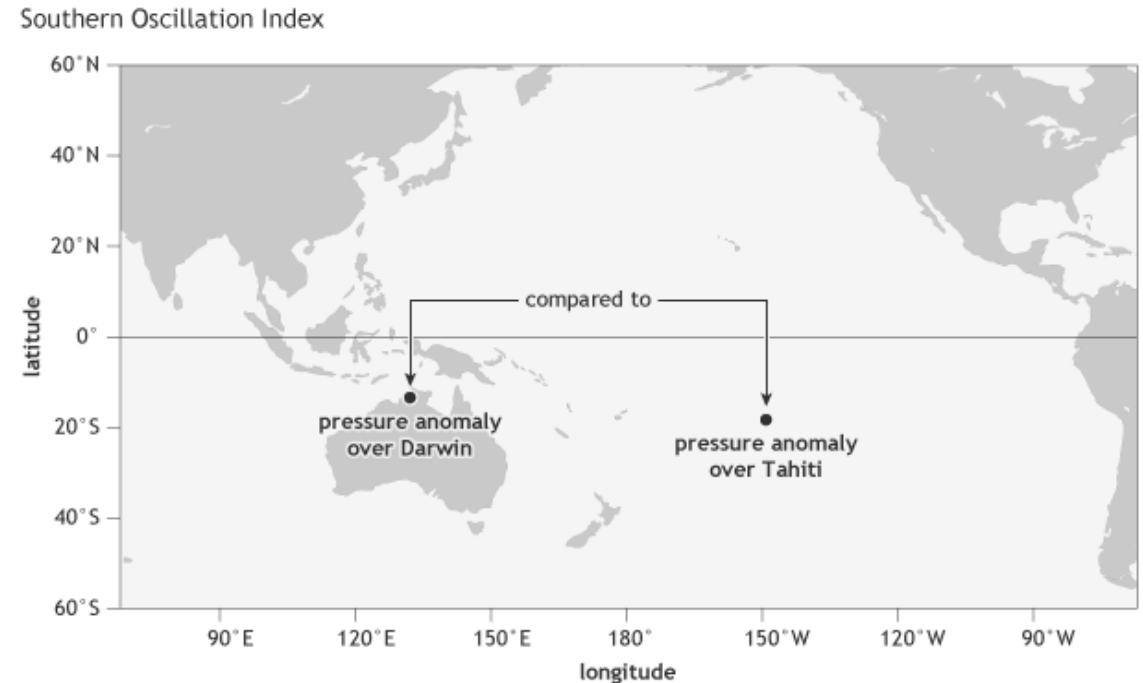
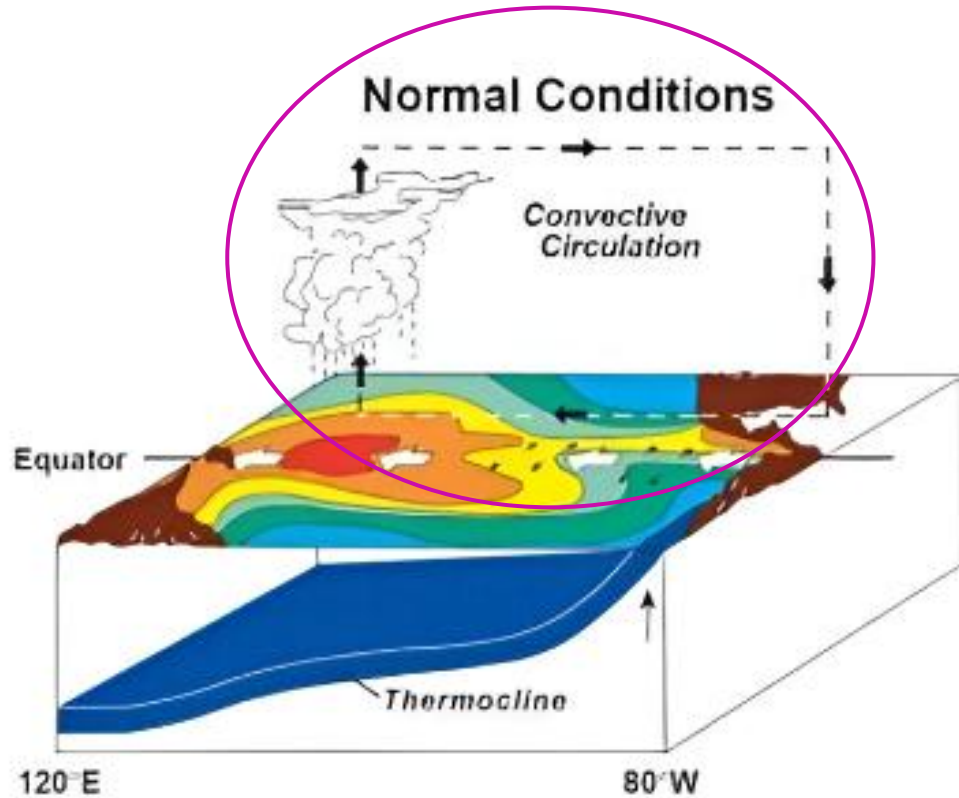
- ✓ Durante **El Niño** aumenta la TSM en el Pacífico ecuatorial Este/Central, aumentan la convección (lluvias) y decrece la presión en superficie en esta región, generando el debilitamiento de los vientos alisios.
- ✓ En subsuperficie la termoclina es tan profunda en el Este como en el Oeste (se modera la diferencia E-O), mostrando una redistribución de las aguas cálidas en la región del Pacífico ecuatorial.

El Niño – Oscilación del Sur (ENSO)



- ✓ Durante **La Niña** se reduce la superficie de aguas cálidas en el Oeste, se enfría el Pacífico Este/Central, se debilita y se desplaza al Oeste la convección (lluvias) y se intensifican los vientos alisios.
- ✓ En subsuperficie la termoclina se profundiza en el Oeste y se hace más somera en el Este.

El Niño – Oscilación del Sur (ENSO)

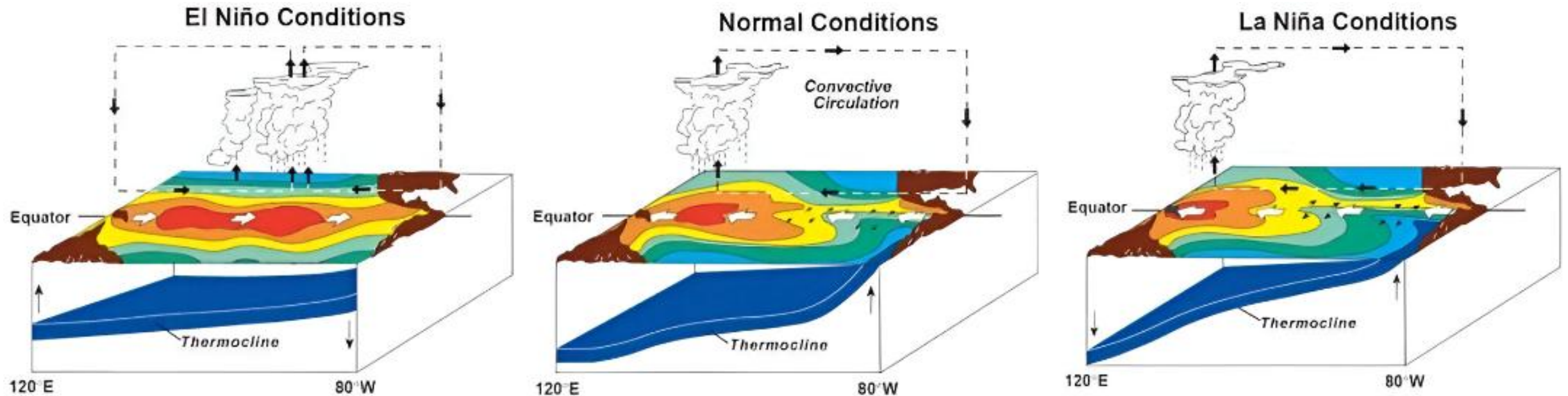


Location of the two stations whose observations of sea level pressure contribute to the Southern Oscillation Index (SOI): one over Tahiti, in French Polynesia, and one over Darwin, Australia. NOAA Climate.gov image by Fiona Martin.

A las condiciones medias de circulación en el plano vertical del Pacífico ecuatorial se le denomina celda de Walker ([*Sir Gilbert Walker; 1868-1958*](#)).

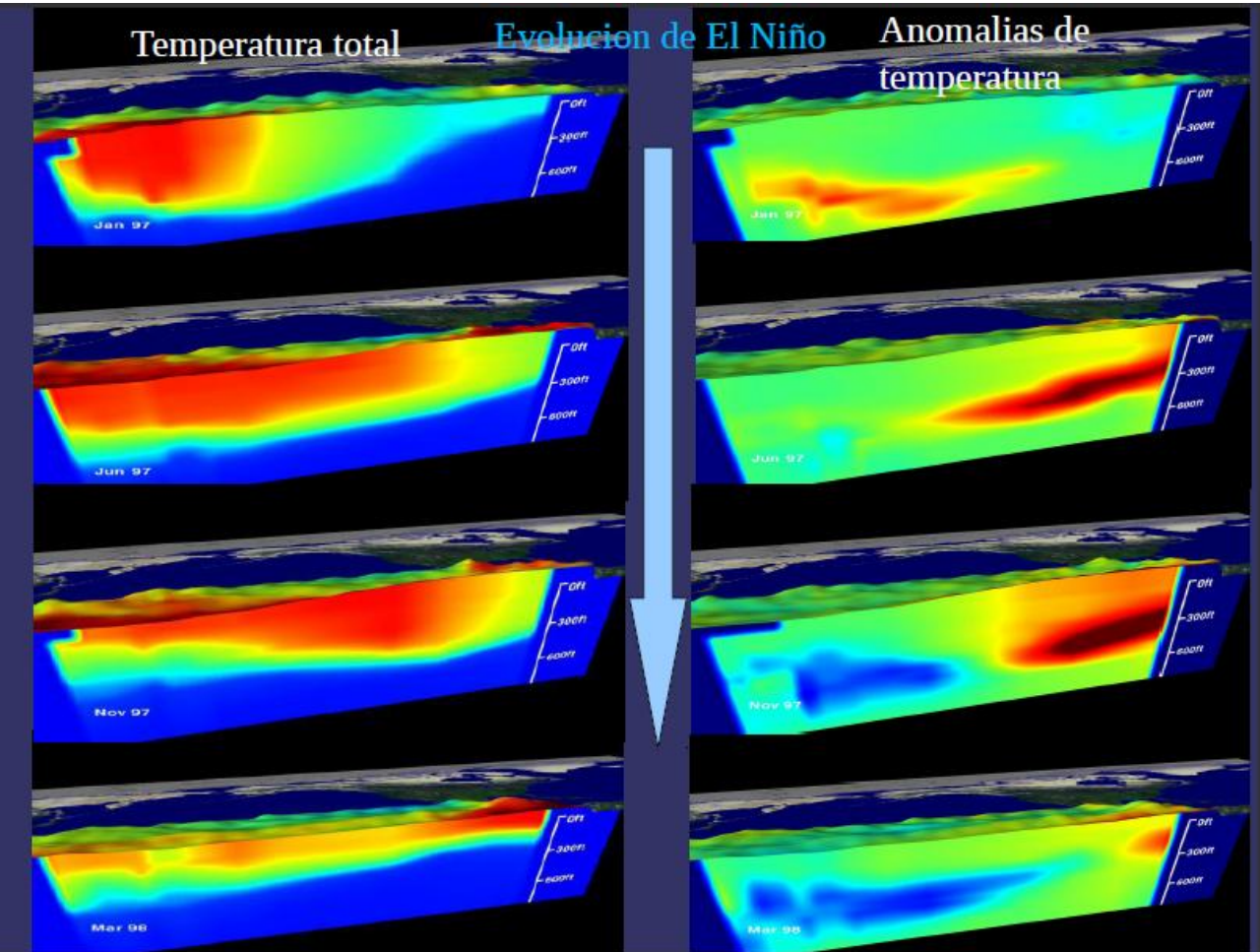
La **Oscilación del Sur** se puede ver como la variación interanual en la intensidad de la **Celda de Walker**

El Niño – Oscilación del Sur (ENSO)



El espectro de potencia muestra una fuerte **variabilidad en períodos de 2 a 7 años**, pero que la variabilidad se extiende a períodos desde 2 a 20 años

El Niño – Oscilación del Sur (ENSO)



Fenómeno acoplado océano-atmósfera

El proceso de crecimiento de un evento El Niño

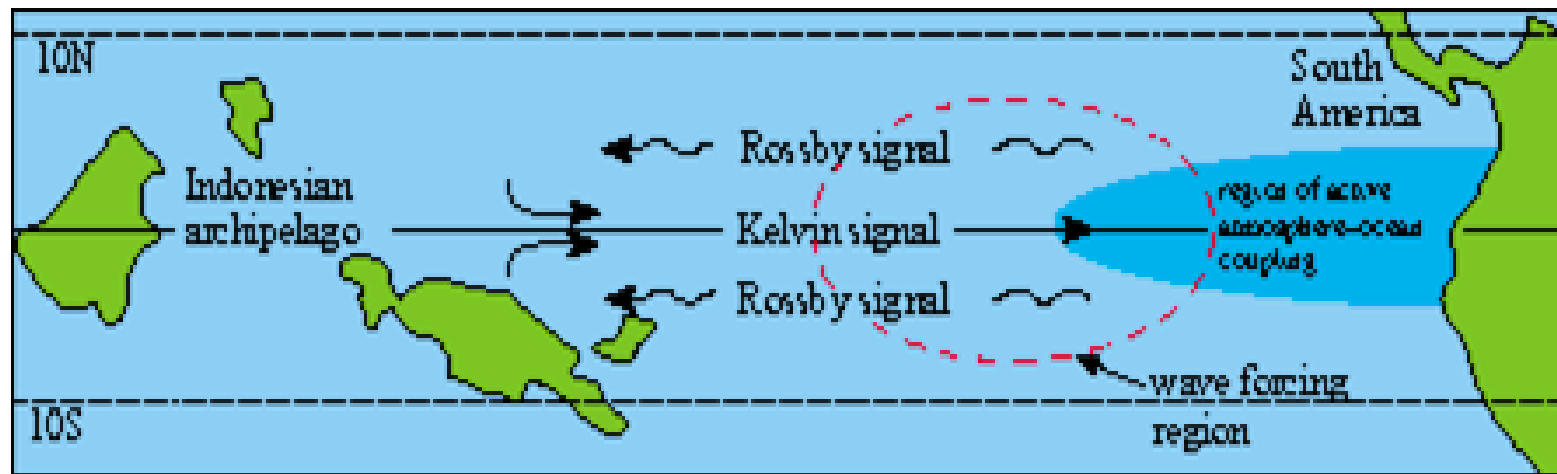
- debilitamiento de los vientos alisios
- profundización de termoclina en Pacífico Central/Este y reducción del afloramiento de aguas frías en el Este
- aumento de temperatura en el Pacífico Este
- reducción del gradiente zonal (E-W) de TSM entre Pacífico Este y Oeste, y convección desplazada al Este
- disminución del gradiente de presión atmosférica (Celda de Walker) entre Oeste y Este
- debilitamiento de los alisios ... [~6 meses]

La retroalimentación de Bjerknes a la inversa

El Niño – Oscilación del Sur (ENSO)

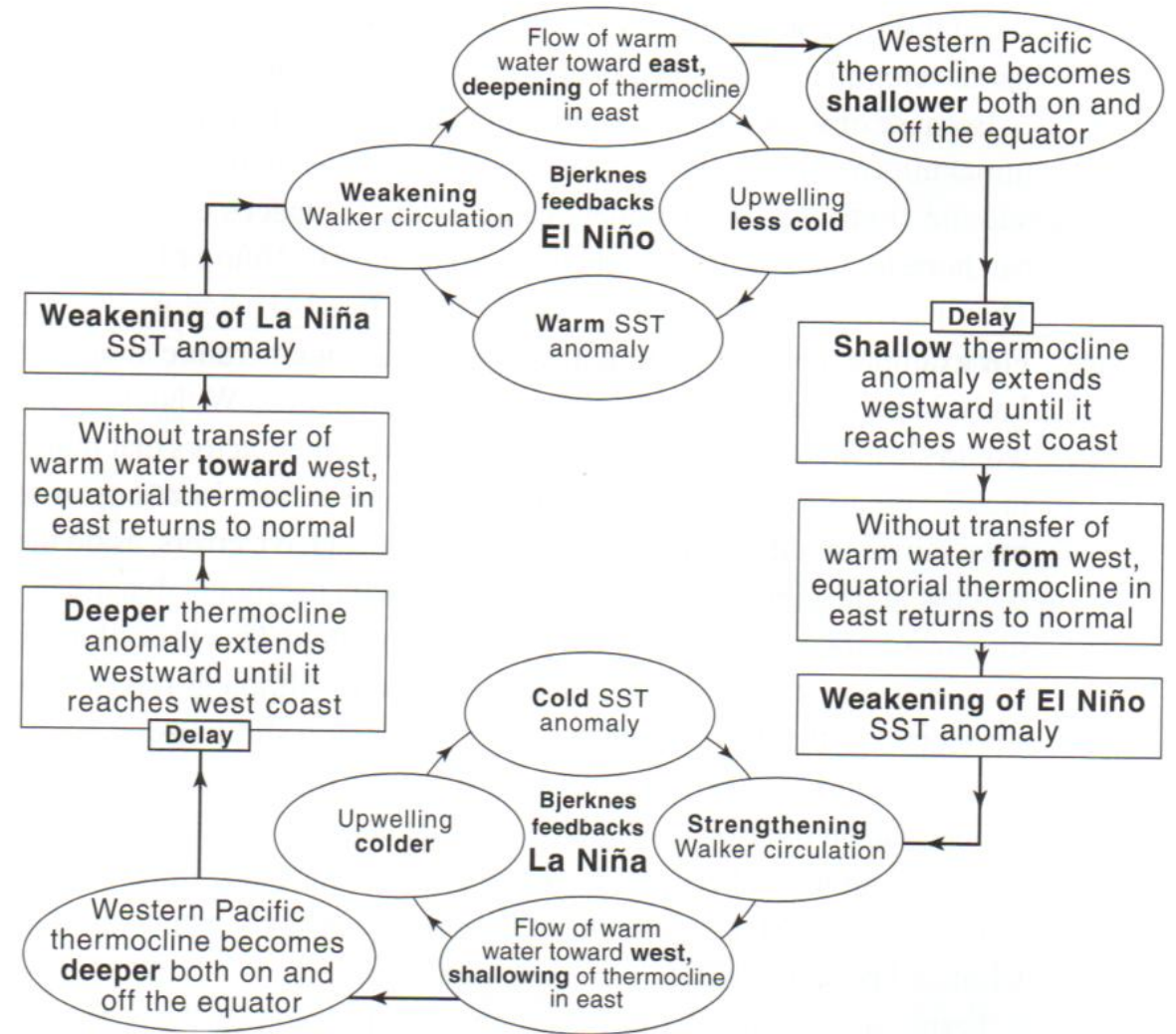
Fase de maduración y decaimiento: existe un proceso que debilita al Niño.

- ✓ El debilitamiento de los alisios genera:
 - ✓ una onda de Kelvin que se propaga hacia el Este a lo largo del Ecuador en subsuperficie, profundizando la termoclina y favoreciendo el calentamiento en el Pacífico Central/Este.
 - ✓ Al Norte y Sur del Ecuador, se generan ondas de Rossby que se propagan hacia el Oeste.
- ✓ Al llegar a la región del Pacífico occidental (cerca de Indonesia), las ondas de Rossby se reflejan como ondas de Kelvin que viajan nuevamente hacia el Este, haciendo más somera la termoclina.
- ✓ Cuando llegan a la costa de Sudamérica (6-7 meses) después refuerzan el afloramiento y enfrían las aguas superficiales, rompiendo la retroalimentación positiva y contribuyendo al fin del evento El Niño.



El Niño – Oscilación del Sur

Visión esquemática del ciclo



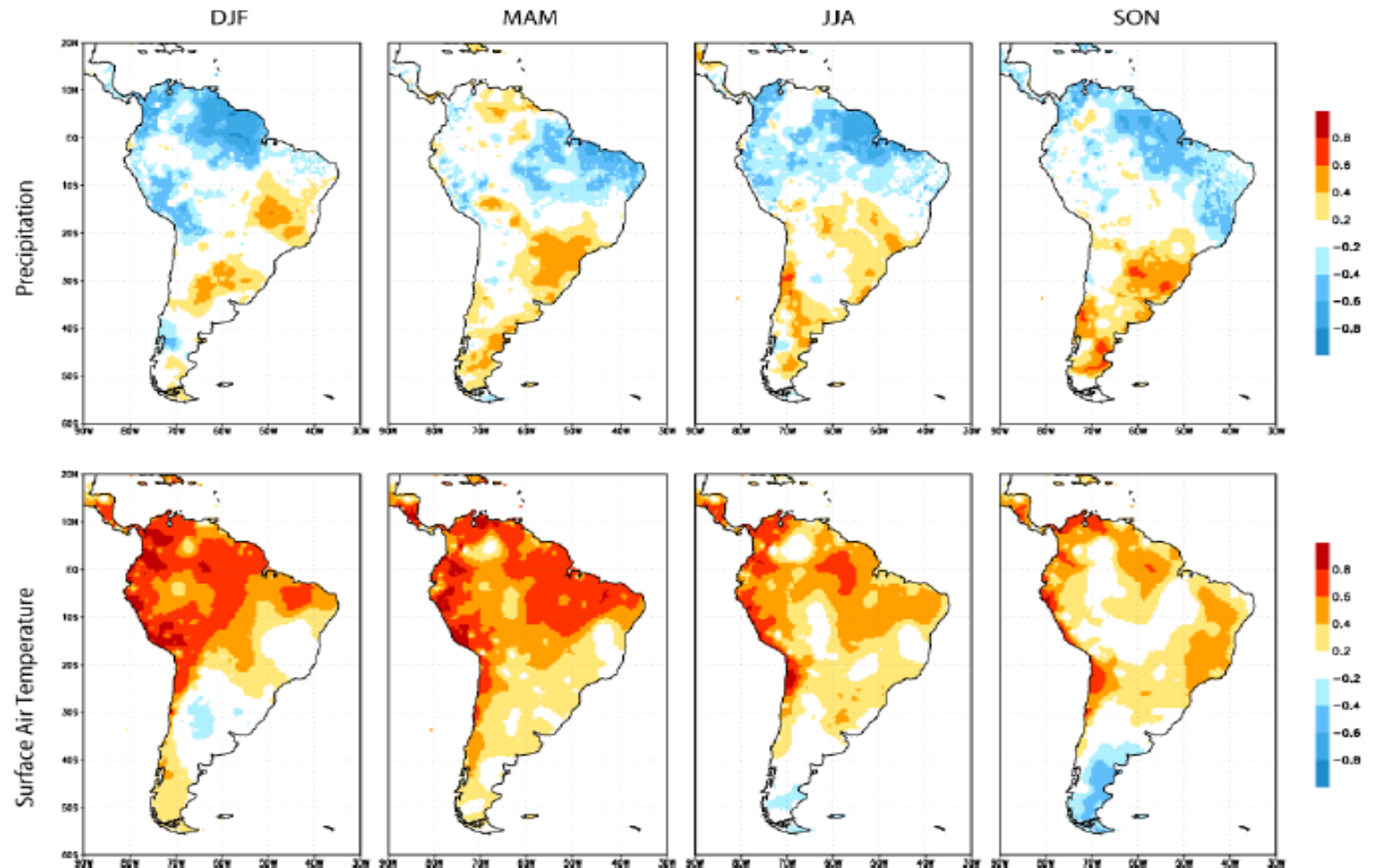
Schematic of the mechanism for ENSO cyclic behavior. The feedback loops marked “Bjerknes feedbacks” at the top and bottom (ovals) indicate the sequence of ocean–atmosphere feedbacks that reinforce El Niño and La Niña extreme phases respectively. An additional oval in each phase gives the thermocline behavior in the western Pacific as a consequence of deepening or shallowing in the east. Initially the western Pacific thermocline has no effect on the feedbacks but it eventually has a delayed effect leading to the steps of the transition phase (rectangles). The first two steps involve subsurface processes not visible at the surface. Bold type denotes aspects that differ between phases.

El Niño – Oscilación del Sur (ENSO)

¿Cómo influye regiones tan remotas?

- ✓ El calentamiento asociado a El Niño en la región ecuatorial cambia las regiones de lluvia en el Pacífico (que tiende a seguir las aguas cálidas).
- ✓ En la formación de nubes se libera calor latente (QL) a la atmósfera tropical en lugares donde comúnmente no pasa.
- ✓ Esas regiones deben sacarse energía extra y lo hacen a través de la propagación de ondas hacia los dos hemisferios.

Seasonal correlation between Precip/SAT and Multivariate ENSO Index (50 years of data)



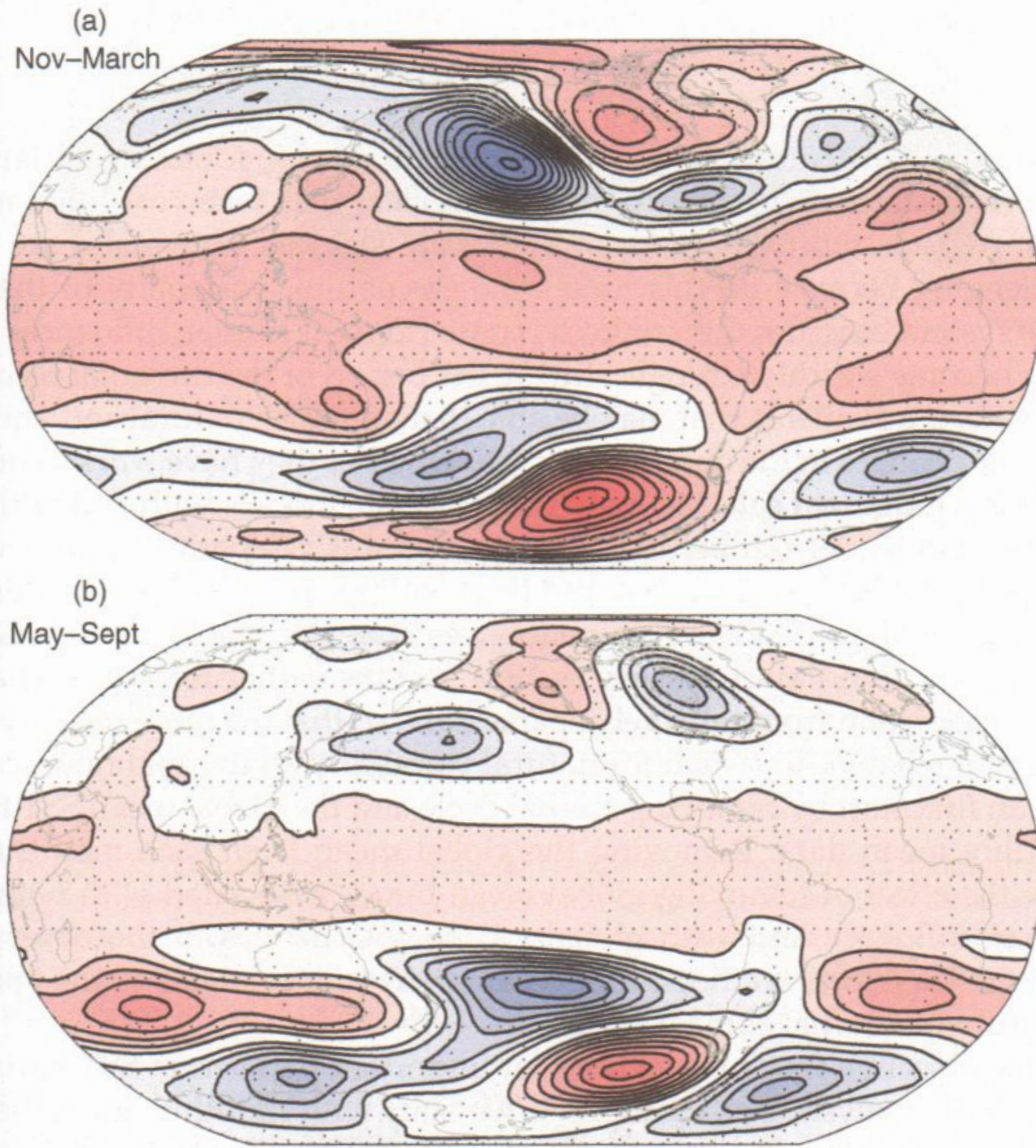


FIGURE 8.14 Regression of monthly 500 hPa height anomalies with the Niño-3 Index of SST for November to March (a) and May to September (b) seasons. Contour interval is 2 m, the zero contour is not shown and positive values are shaded red. Based on NOAA Twentieth Century Reanalysis and NOAA Extended SST data sets from 1871 to 2013.

El Niño – Oscilación del Sur

¿Cómo influye regiones tan remotas?

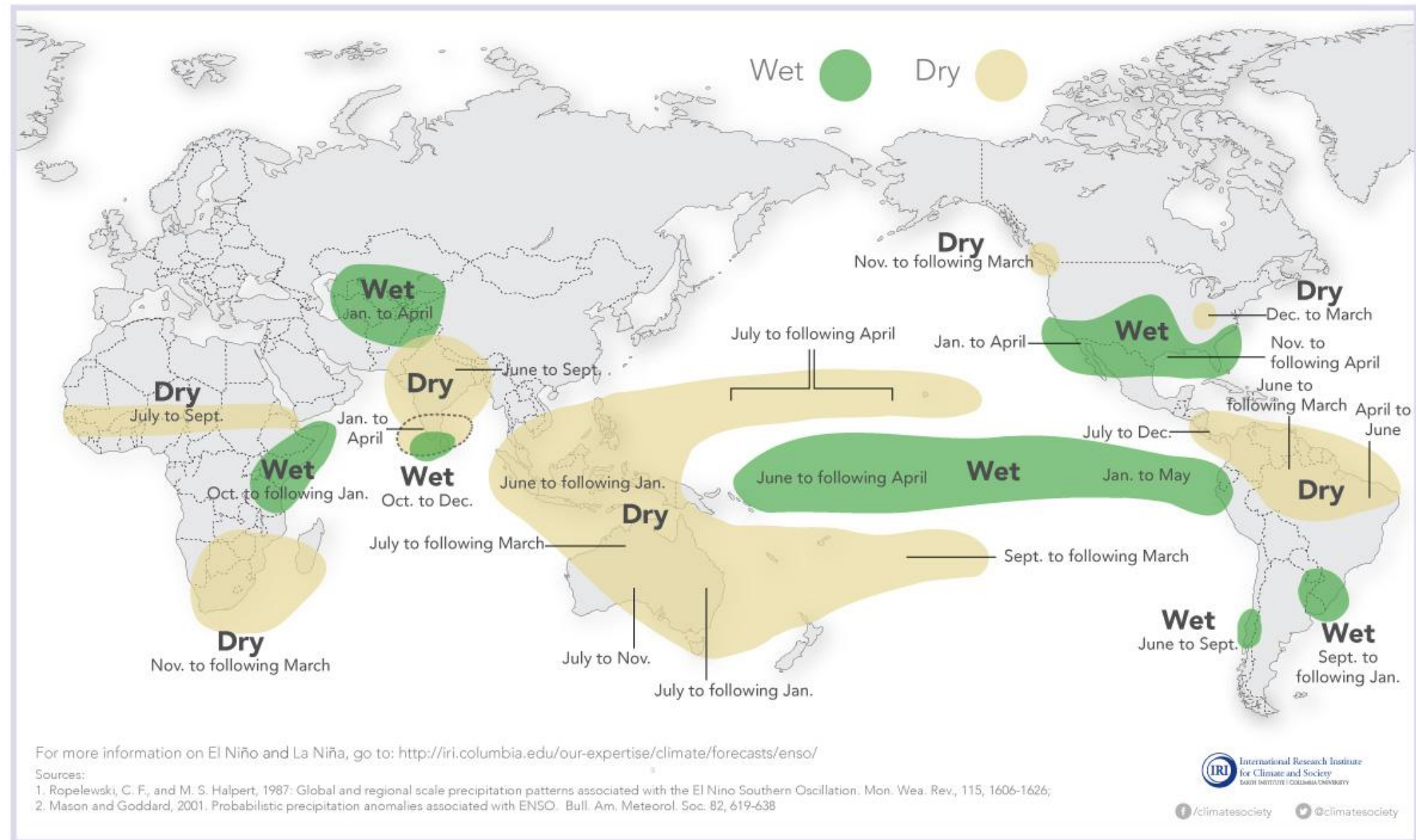
- ✓ La respuesta de la atmósfera extratropical depende de las anomalías de calor liberado cuando las precipitaciones se desplazan siguiendo las aguas cálidas.
- ✓ Las ondas forzadas en la zona tropical se propagan hacia los polos y hacia el Este (teleconexiones), siguiendo una trayectoria en forma de arco e interaccionan con los vientos medios y los ciclones/anticiclones de latitudes medias.



Estos fenómenos condicionan el clima de Uruguay y están asociados con su variabilidad, así como con la variabilidad de climas en muchas otras regiones del planeta

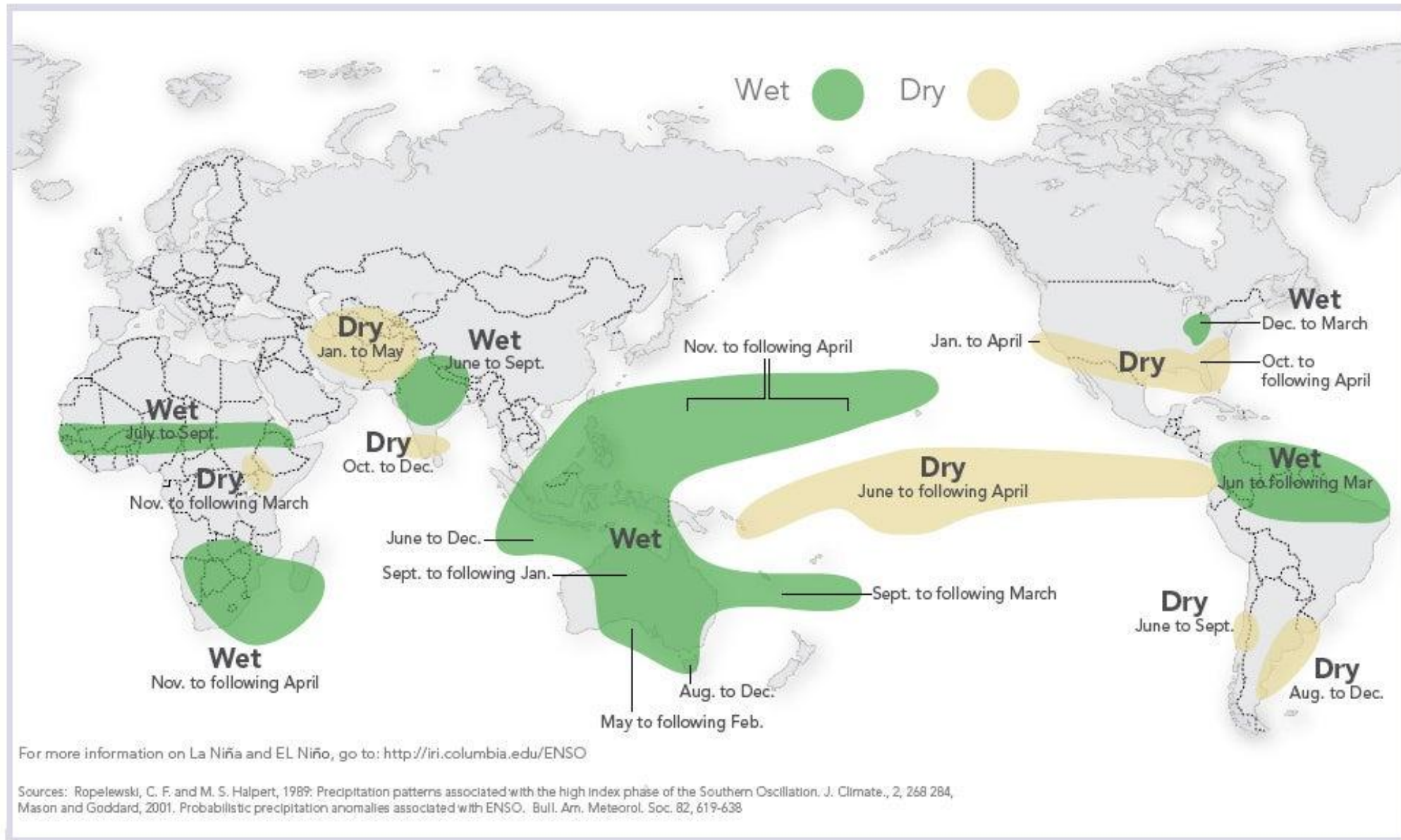
El Niño and Rainfall

El Niño conditions in the tropical Pacific are known to shift rainfall patterns in many different parts of the world. Although they vary somewhat from one El Niño to the next, the strongest shifts remain fairly consistent in the regions and seasons shown on the map below.

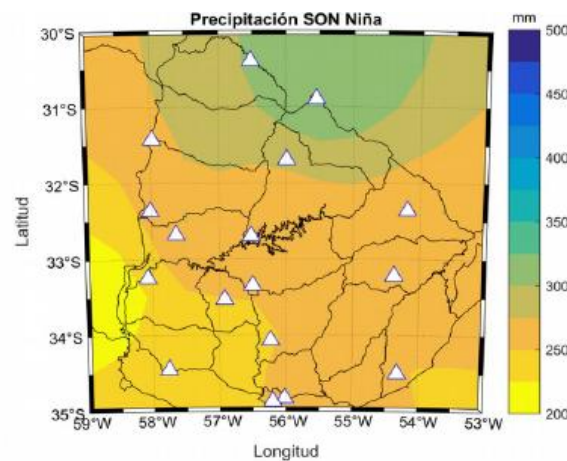
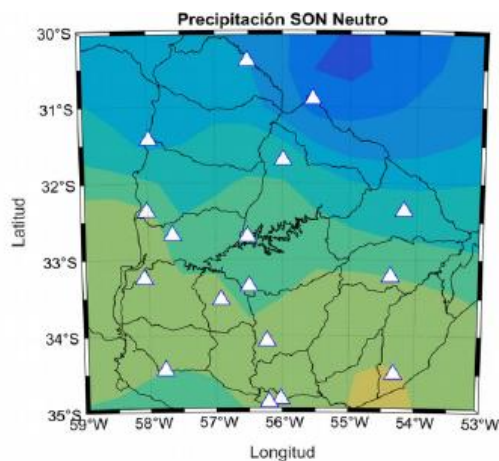
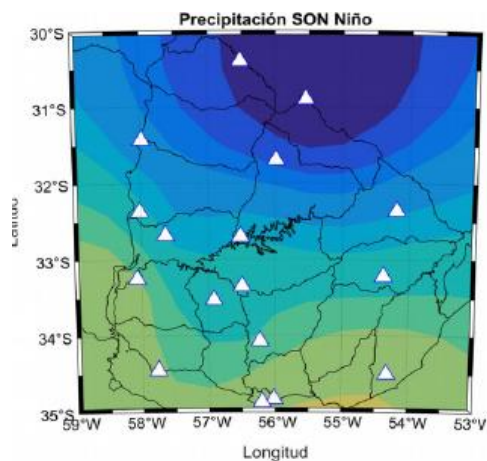


La Niña and Rainfall

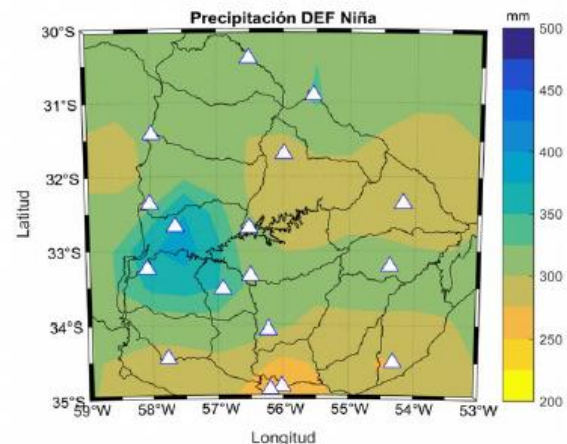
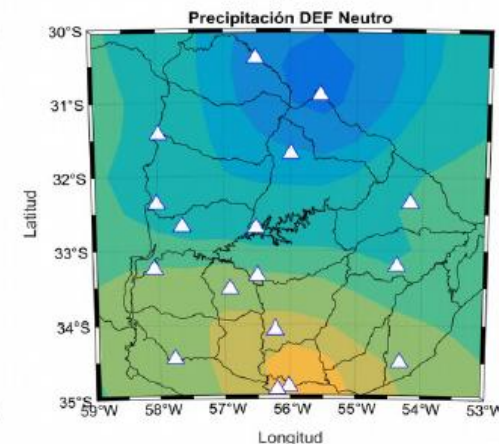
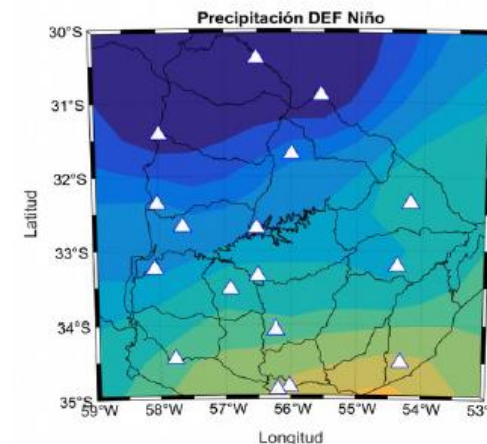
La Niña conditions in the tropical Pacific are known to shift rainfall patterns in many different parts of the world. Although varying somewhat from one La Niña to the next, the strongest shifts are fairly consistent in the regions and seasons shown on the map below.



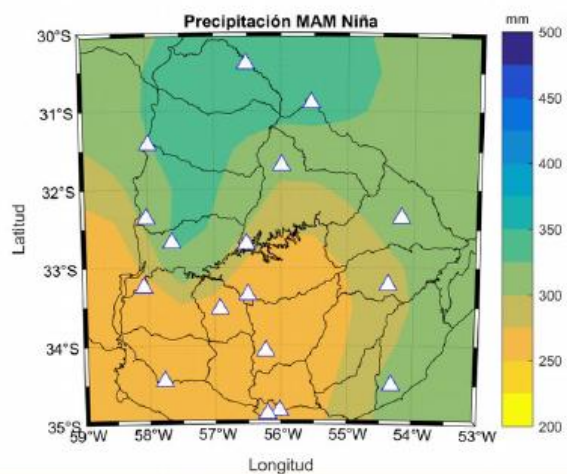
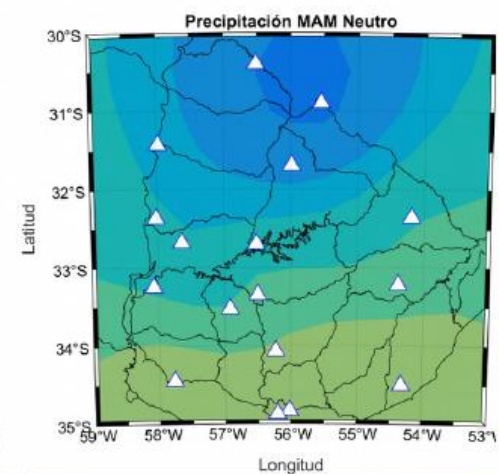
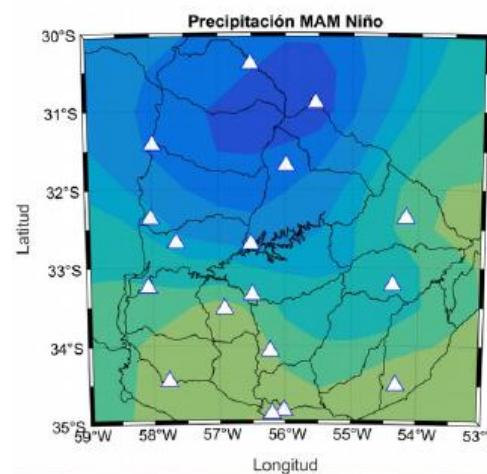
Primavera



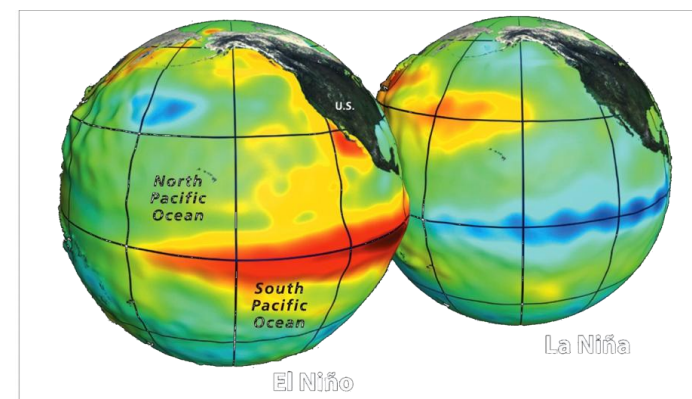
Verano



Otoño



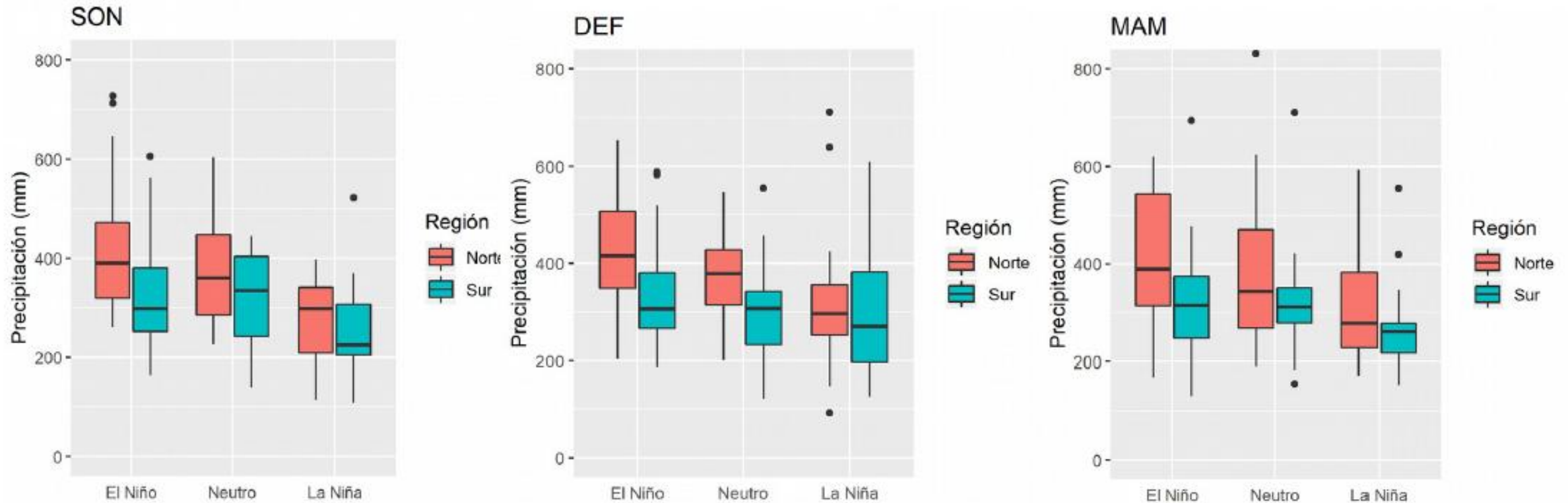
Impacto promedio de El Niño y La Niña sobre las lluvias en Uruguay



Variabilidad y cambio climático en Uruguay.
 Barreiro M., Arizmendi F. & Trinchín R.
 Departamento de Ciencias de la Atmósfera.
 Instituto de Física, Facultad de Ciencias,
 UdelAR. Octubre 2019.

El Niño – Oscilación del Sur

Impactos sobre Uruguay



El Niño – Oscilación del Sur

Impactos sobre Uruguay

Norte



Primavera

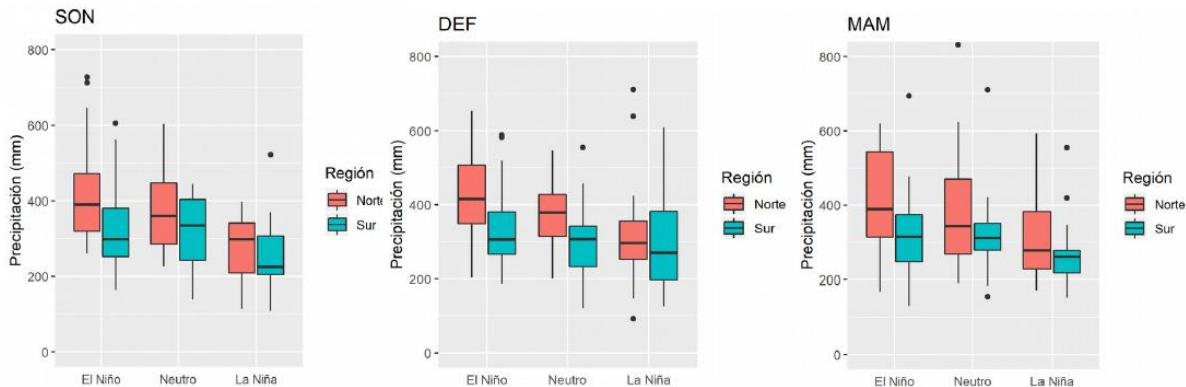
- Durante años Neutros la variabilidad en las lluvias es grande: 250 o 600 mm
- Hay eventos Niña que llueve más que la mediana de años Neutros (400 mm) pero en otros se reduce a 100 mm
- Años Niño no son tan diferente a años Neutros, excepto los casos extremos.

Verano

- El Niño aumenta mediana y varianza frente a años Neutros
- La Niña disminuye mediana frente a años Neutros

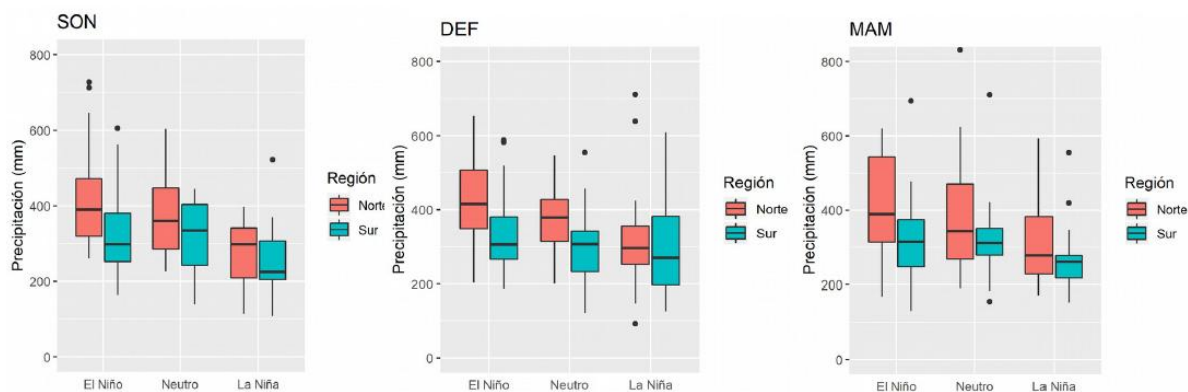
Otoño

- El Niño aumenta mediana frente a años Neutros
- La Niña disminuye mediana frente a años Neutros
- Gran varianza en las lluvias durante MAM independientemente de ENOS.



El Niño – Oscilación del Sur

Impactos sobre Uruguay



Sur

Primavera

- Clara disminución en las lluvias durante años Niña

Verano

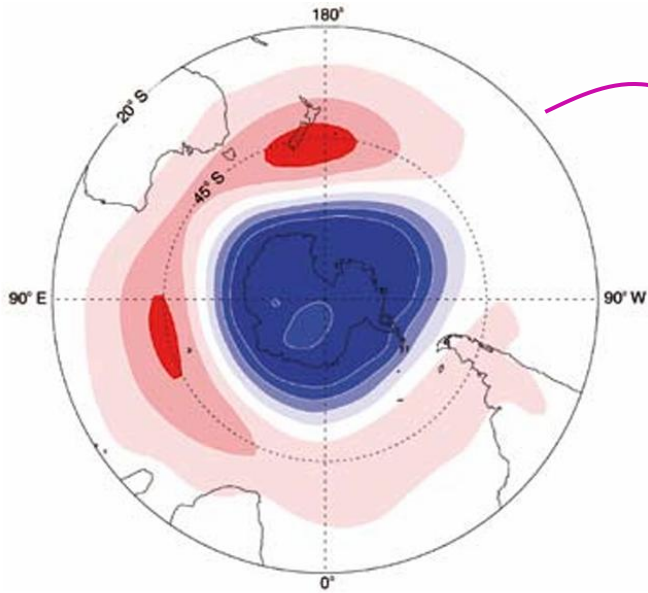
- Aumento de varianza durante años La Niña comparado con años Neutro y Niño

Otoño

- Disminución de mediana y varianza durante años La Niña
- Aumento de varianza durante años El Niño

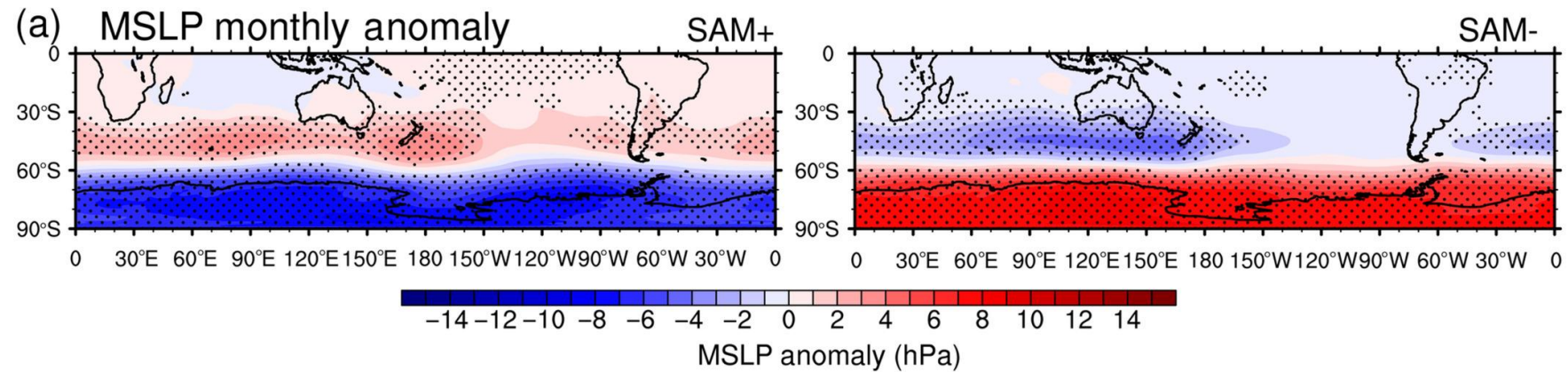
Modo *Anular* del Sur

Modo Anular del Sur (SAM)



Pattern of the pressure variations associated with the positive phase of the SAM. Blue shading indicates below-average pressures and red shading indicates above-average pressures.

Composites mensuales de presión media a nivel del mar (MSLP). Datos: ERA5



El SAM representa una oscilación asociada con la **redistribución de masa** entre las latitudes medias ($\sim 40\text{--}50^\circ\text{S}$) y las latitudes altas ($>60^\circ\text{S}$), caracterizada por una marcada simetría zonal.

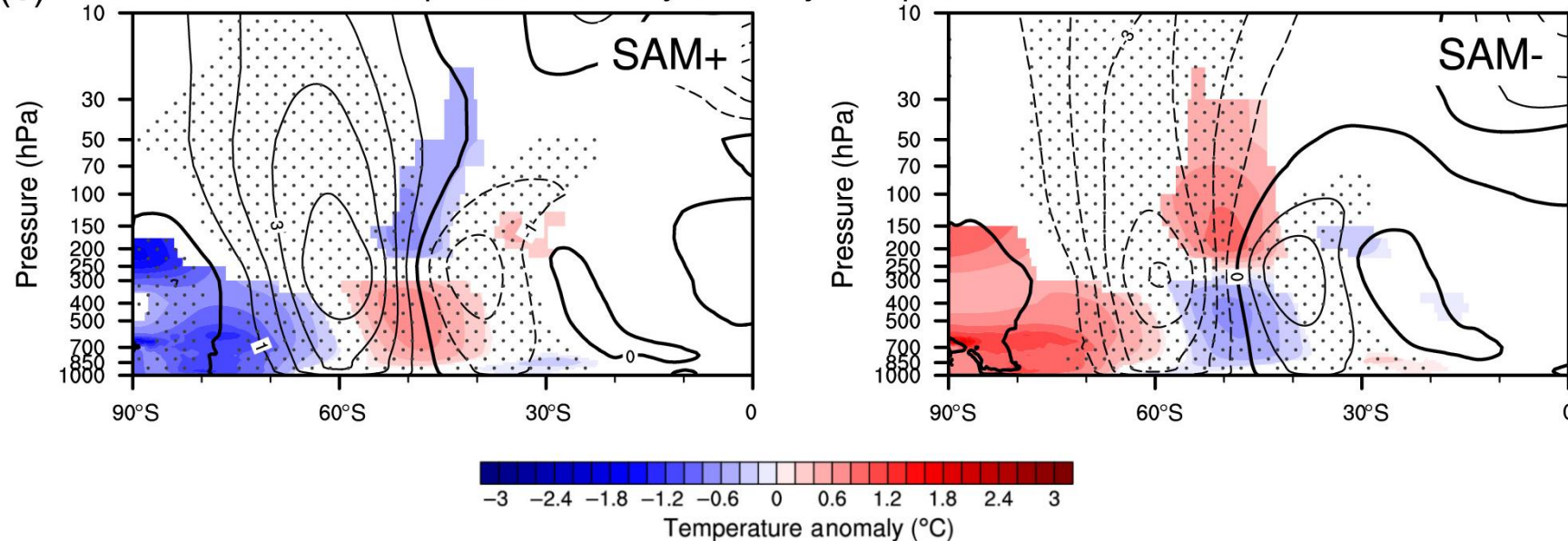
Da lugar a anomalías de presión en superficie que permiten caracterizar sus fases (positiva/negativa)

Modo Anular del Sur (SAM)

Da lugar a anomalías de presión en superficie que permiten caracterizar sus fases (positiva/negativa), y por lo tanto **da lugar a anomalías de viento zonal** (*gobierna el desplazamiento del cinturón de vientos del oeste que circunvala la Antártida en la dirección norte-sur; ocupa toda la tropósfera con el mismo signo*)

Determina cambios en la intensidad y la posición del jet polar

(b) SAM zonal wind & temperature monthly anomaly composites



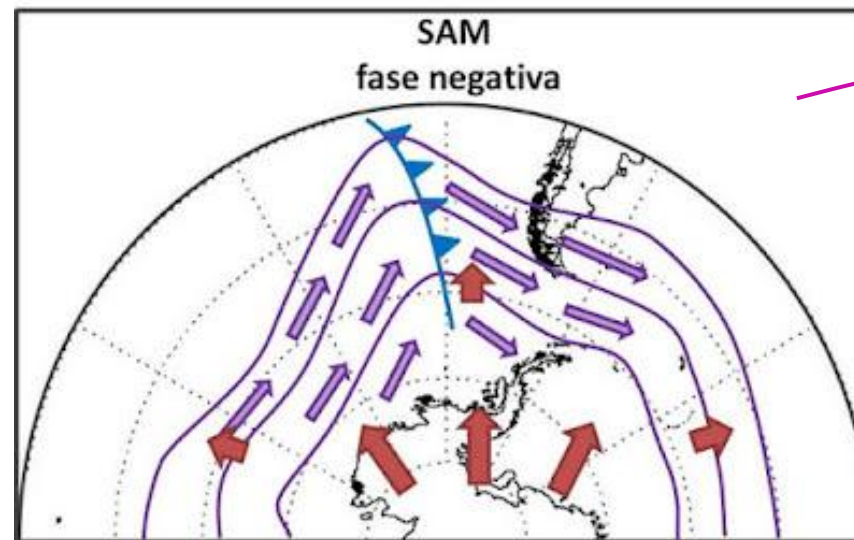
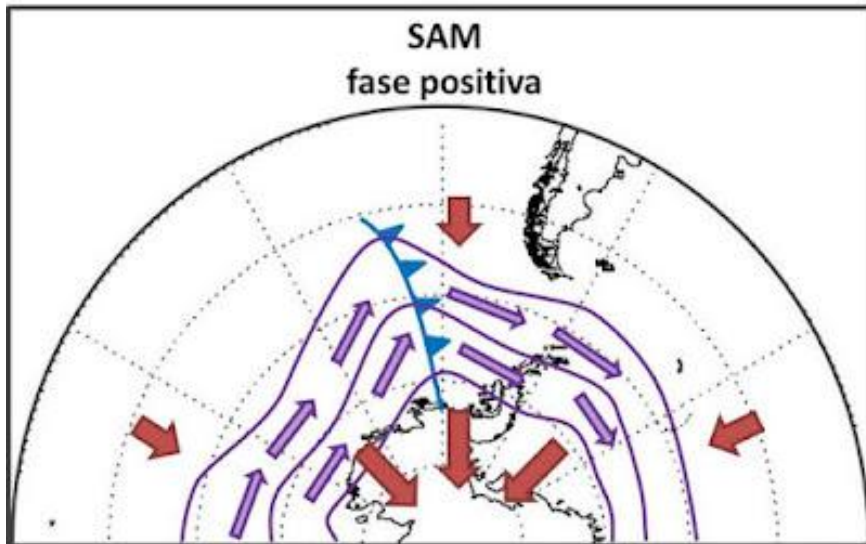
Vientos del oeste se desplazan hacia el sur (contraen hacia la Antártida).

Vientos del oeste se desplazan hacia el norte

Los composites se basan en los meses que se encuentran fuera de $\pm 0.75\sigma$ respecto al promedio del período 1979–2018.

Modo Anular del Sur (SAM)

Es el principal modo de variabilidad en escalas de tiempo mayores a meses en la circulación atmosférica extratropical del Hemisferio Sur, afectando la intensidad y posición de los frentes y otros sistemas de latitudes medias

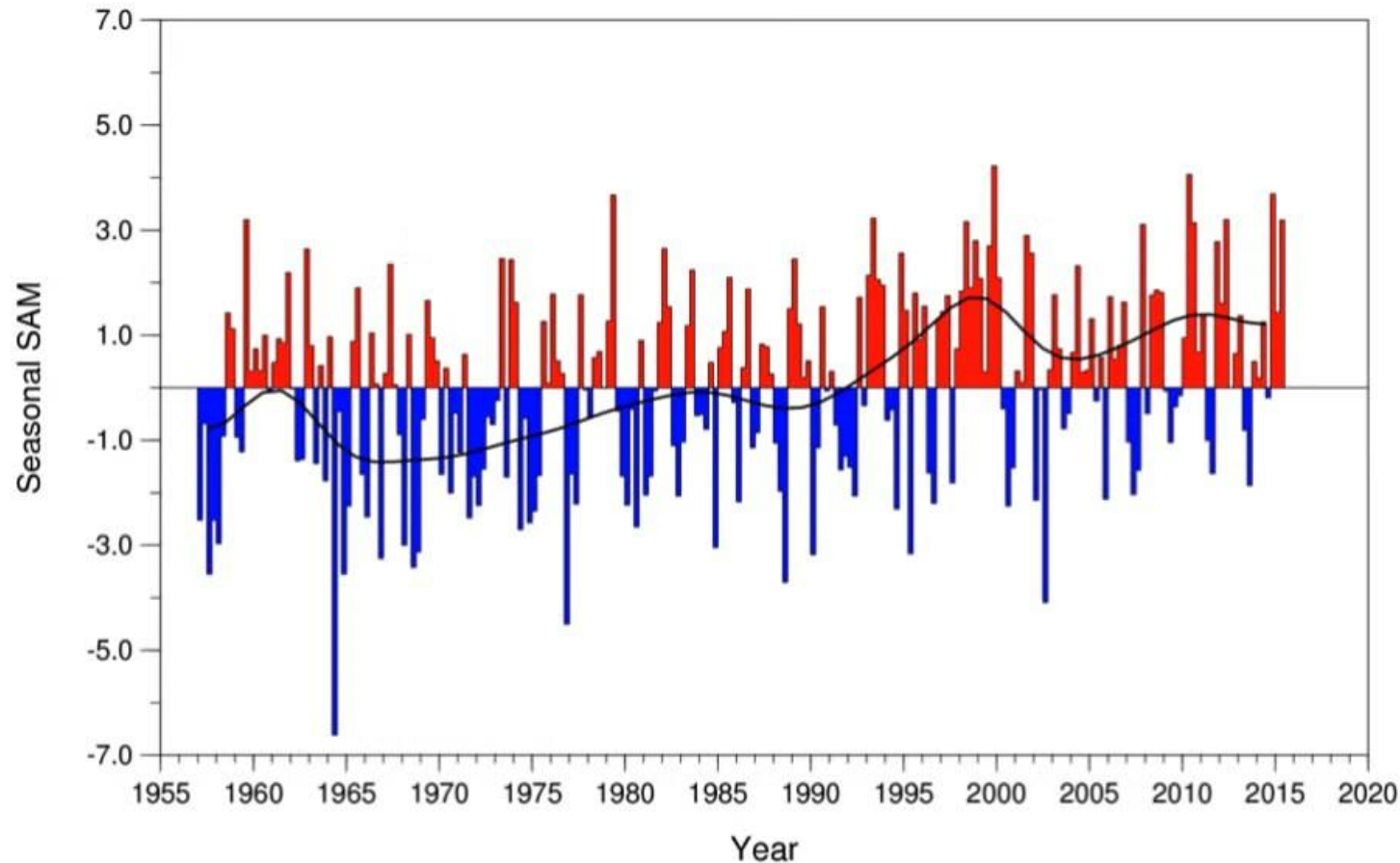


El mayor efecto de la **fase negativa** se produce en primavera: genera un aumento de humedad e incremento de la pp sobre el sureste de Sudamérica.

- Cinturón de vientos del oeste se desplaza hacia el sur (se contrae hacia la Antártida).
- Limita la penetración de los frentes fríos, tiende a producir condiciones más estables.

- Cinturón de vientos del oeste se expande hacia el Norte.
- Ayuda al ingreso de frentes fríos provenientes del Sur hacia Sudamérica. Se asocia con mayores pp y menores T.

Modo Anular del Sur (SAM)



Se ha identificado una **tendencia positiva del Índice SAM** estadísticamente significativa durante el otoño y el verano austral.

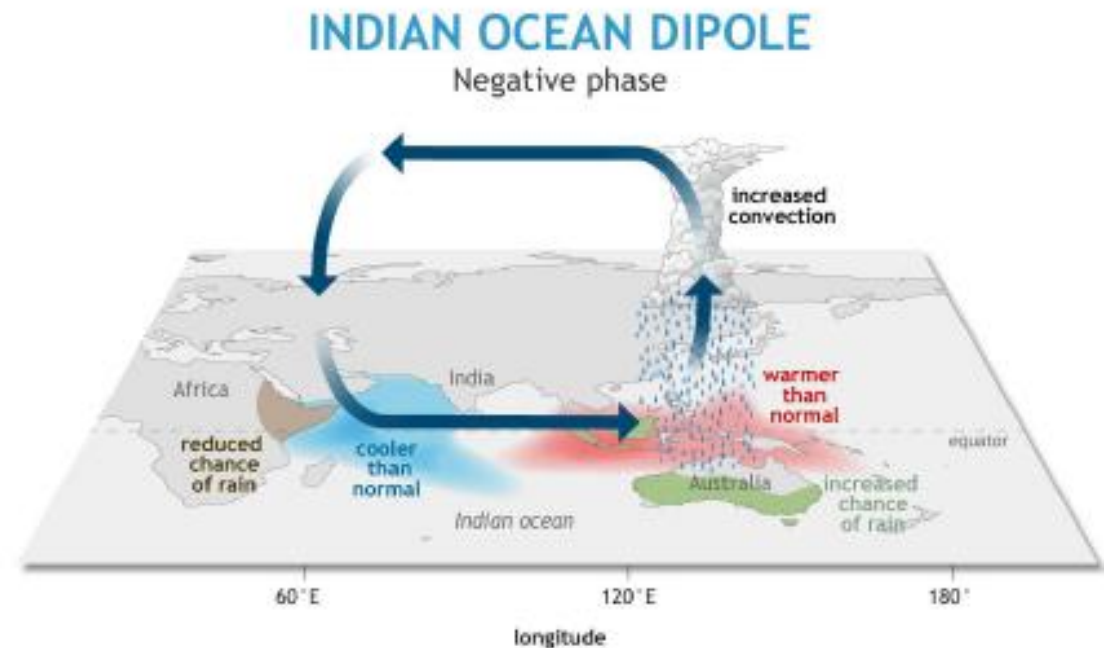
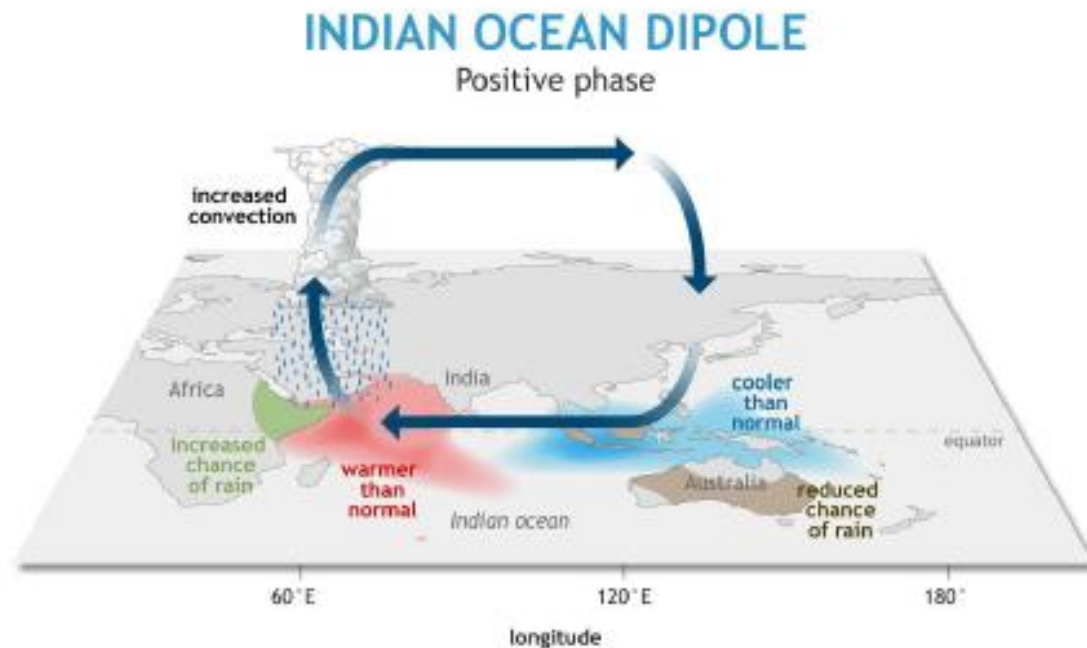
Desde la década de 1990, la fase positiva de SAM se ha vuelto más frecuente, lo que se ha asociado al debilitamiento de la capa de ozono en la Antártida

Dipolo del Océano Índico

Dipolo del Océano Índico (IOD)

El Dipolo del Océano Índico es un patrón climático vinculado con anomalías de TSM.

- ✓ Durante su fase positiva, las aguas cálidas se desplazan hacia la parte occidental del Océano Índico, mientras que en la parte oriental afloran aguas frías y profundas. Este patrón se invierte durante la fase negativa.
- ✓ Las distintas fases del IOD tienen influencia sobre el clima de nuestra región.



Dipolo del Océano Índico (IOD)

IOD negativo genera un tren de ondas que converge con el tren de ondas generado por La Niña. Como consecuencia, se genera un patrón de bloqueo en el Sureste de Sudamérica que debilita la corriente en chorro e inhibe la convección en la región, reforzando las anomalías negativas de precipitación (Lopes et al., 2022; Chan et al., 2008).

La ocurrencia simultánea de un IOD negativo y La Niña está asociada a anomalías de circulación ciclónica en niveles altos centradas sobre Uruguay, a una disminución del aporte de humedad hacia la región debido al debilitamiento del jet de capas bajas, y a las mayores anomalías negativas de precipitación en el sur de Uruguay y la provincia de Buenos Aires (Barreiro, 2024)

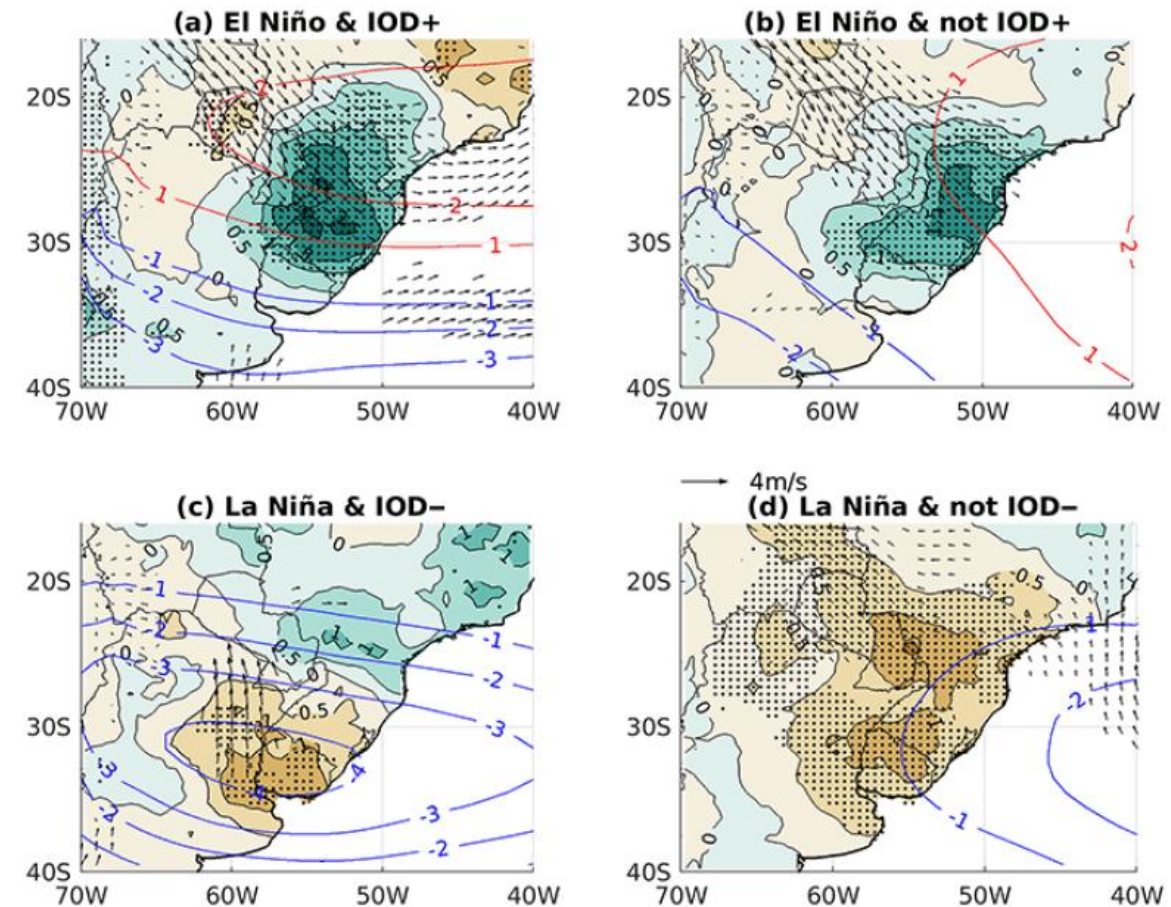
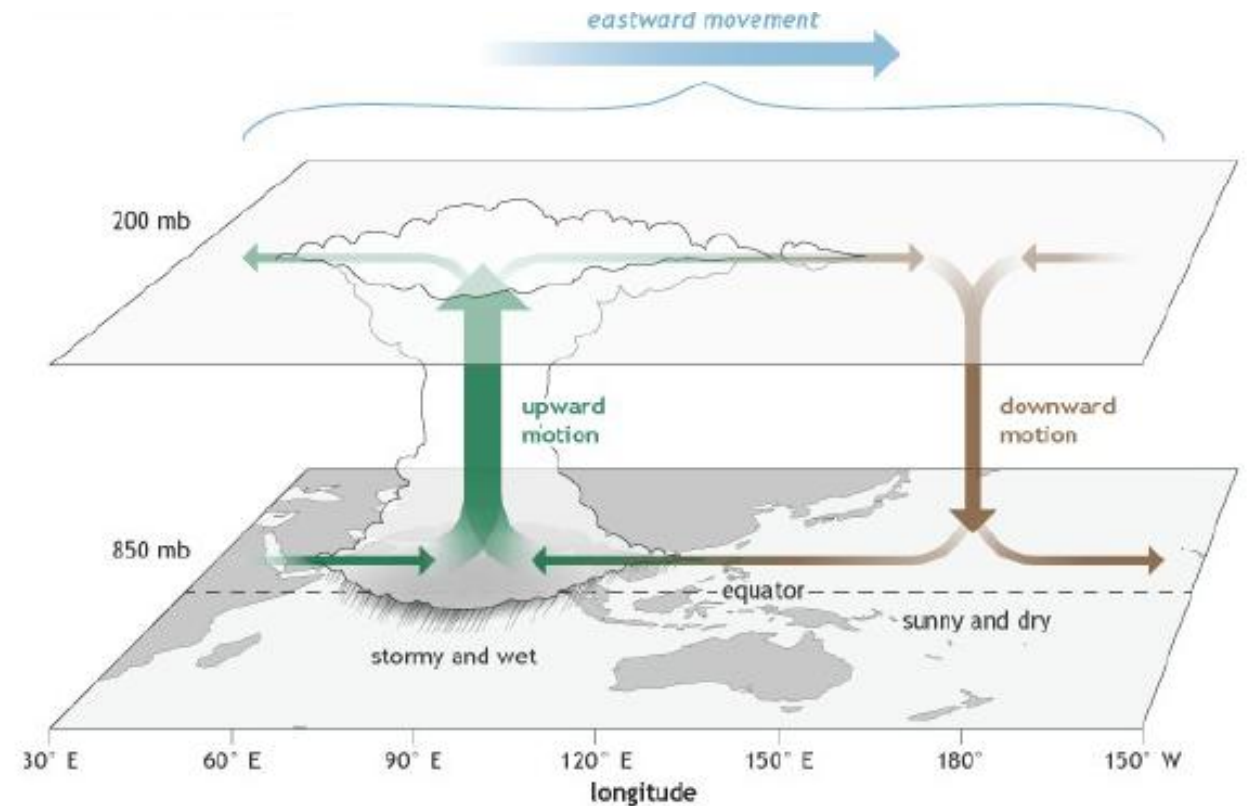


Figure 5. Composite during September–November for (a) Niño and Indian Ocean Dipole (IOD)+ ($n = 5$), (b) Niño and not IOD+ ($n = 6$), (c) Niña & IOD- ($n = 3$), (d) Niña and not IOD- ($n = 9$). Rainfall (mm) in shading, 850 hPa winds, and 300 hPa geopotential height anomaly fields. Dots indicate regions where rainfall anomalies are statistically significant; only significant winds are shown. The IOD index was downloaded from NOAA/PSL <https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/DMI/>; IOD years are those with a magnitude larger than one standard deviation. The number of years considered in each case is indicated by “ n .” Statistical significance as in Figure 3. Data from ERA5 reanalysis, period 1950–2022.

Oscilación de Madden-Julian

Oscilación de Madden-Julian (MJO)

- ✓ La MJO es el principal modo de variabilidad intraestacional (30–90 días) en la atmósfera tropical, con un período de 40-60 días.
- ✓ Consiste en patrones acoplados de circulación atmosférica y convección profunda, propagándose hacia el Este, principalmente sobre la región Indo-Pacífica (en el hemisferio occidental la propagación es más rápida, pero sin acoplamiento convectivo).
- ✓ Modula la convección profunda tropical, interactúa con el océano subyacente y genera teleconexiones extratropicales, [influyendo en sistemas meteorológicos a gran escala](#).



Presenta una fase activa (convección/precipitación intensa) y una fase inactiva (convección débil), conectadas por circulaciones zonales de gran escala que atraviesan toda la troposfera.

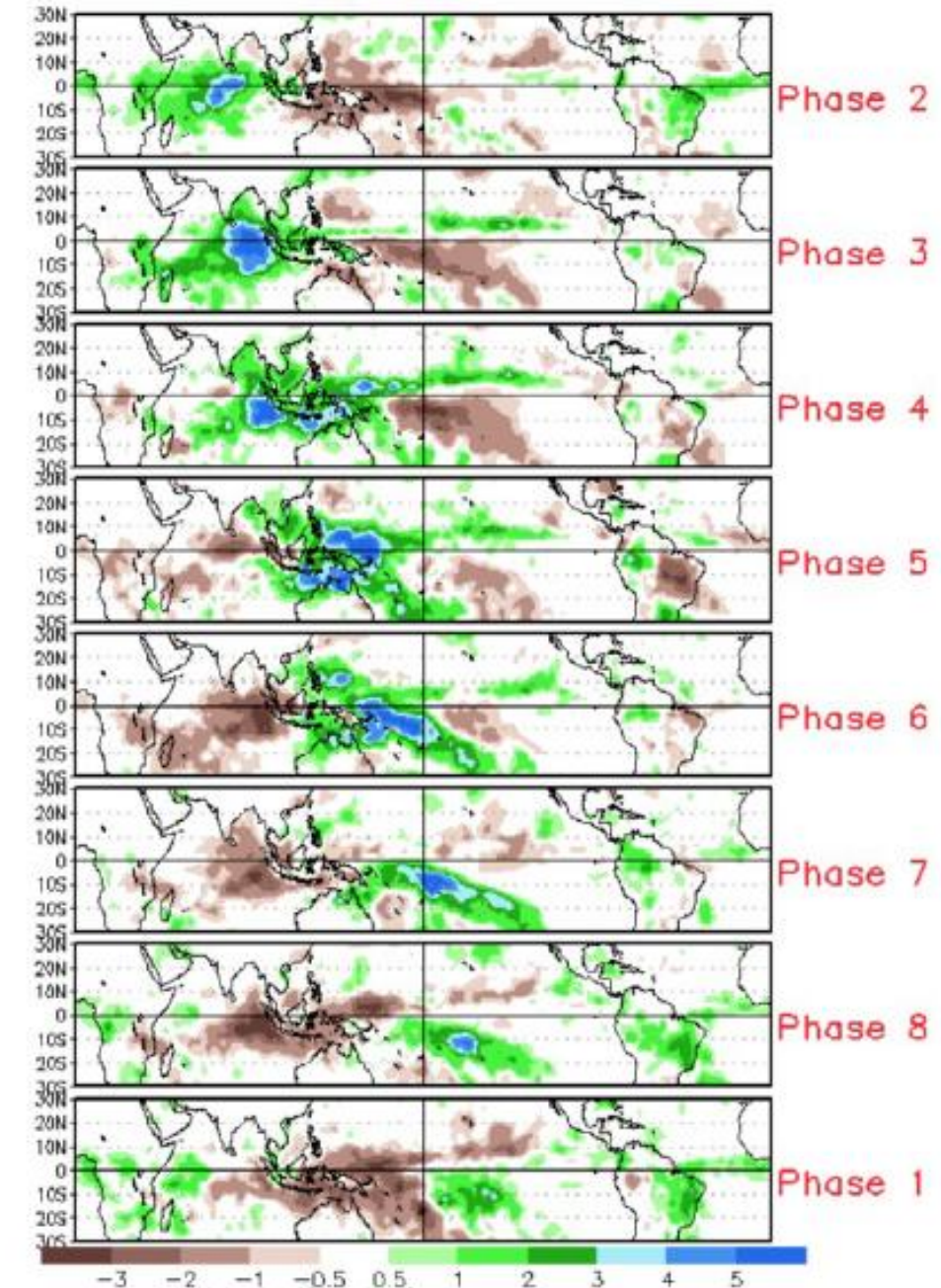
Oscilación de Madden-Julian

Se caracteriza por **8 fases** de acuerdo con la ubicación de su fase activa.

Tiene influencia sobre las precipitaciones de nuestra región a través de dos mecanismos:

- Interacciones intra-trópicos: cambios en la circulación divergente a medida que la MJO se propaga hacia el Este.
- Interacciones trópico-extratropical: excitación y dispersión de ondas de Rossby desde la región indo-pacífica (trenes de onda que se extienden por el Pacífico sur hasta Sudamérica).

Difference from average rainfall for all MJO events from 1979-2012 for November-March for the eight phases. The green shading denotes above-average rainfall, and the brown shading shows below-average rainfall.



Oscilación de Madden-Julian

Las fases 8 y 1 (3 y 4) de la MJO están correlacionadas con períodos secos (lluviosos) sobre el Sureste de Sudamérica, lo que puede dar cierta predictibilidad en escala subestacional durante la temporada cálida en ciertas ventas temporales.

Intraseasonal Predictions for the South American Rainfall Dipole

Nicolás Díaz¹, Marcelo Barreiro¹, and Nicolás Rubido^{1,2,3}

¹Instituto de Física de Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, ²Aberdeen Biomedical Imaging Centre, University of Aberdeen, Aberdeen, UK, ³Institute for Complex Systems and Mathematical Biology, University of Aberdeen, Aberdeen, United Kingdom

1 NOVEMBER 2022

DÍAZ ET AL.

7093

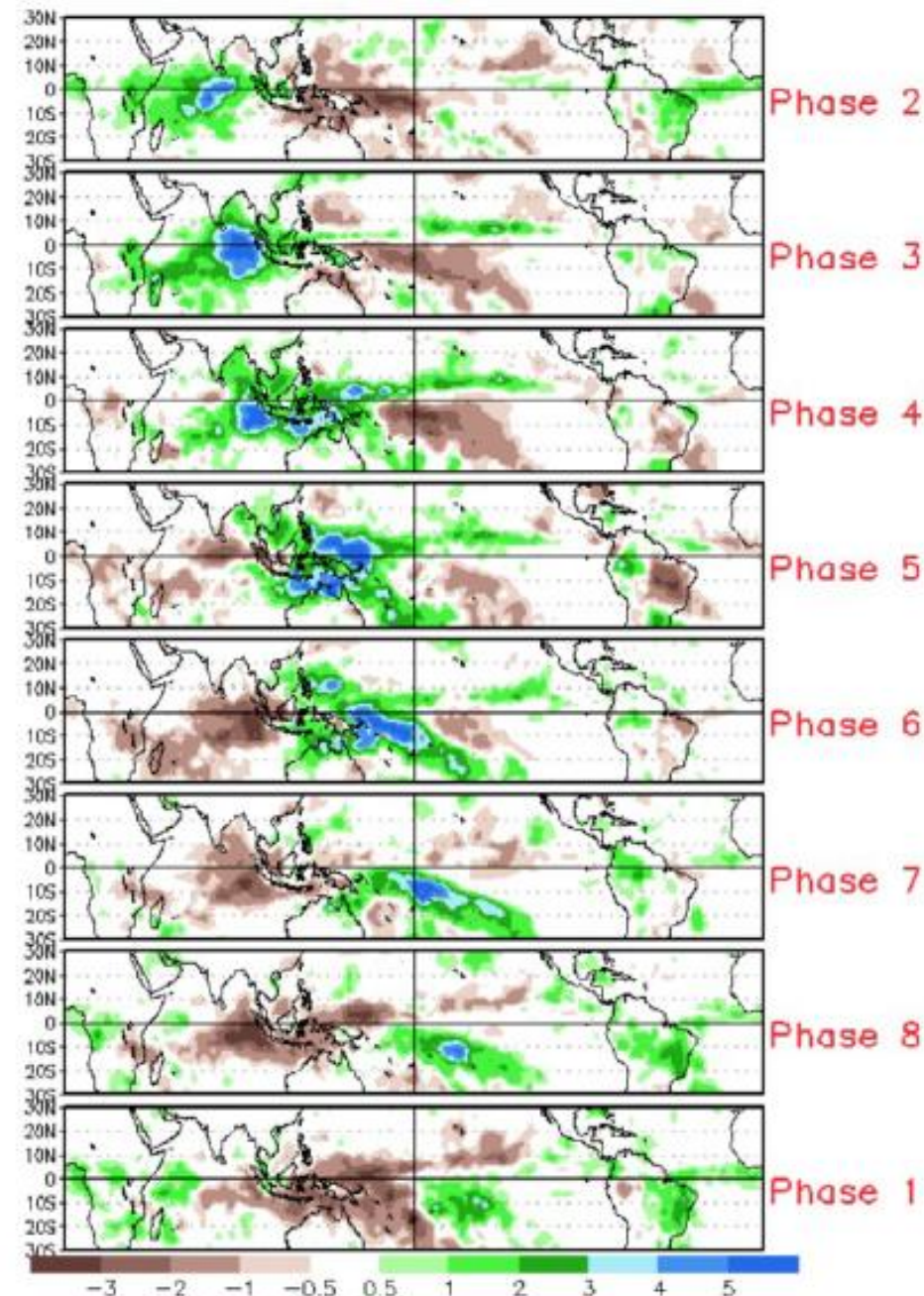
The Distinct Influence of Two Madden-Julian Trajectory Classes on the South American Dipole

NICOLÁS DÍAZ,^a MARCELO BARREIRO,^a AND NICOLÁS RUBIDO^{b,a}

^a Universidad de la República, Instituto de Física de Facultad de Ciencias, Montevideo, Uruguay

^b University of Aberdeen, King's College, Institute for Complex Systems and Mathematical Biology, Aberdeen, United Kingdom

Difference from average rainfall for all MJO events from 1979-2012 for November-March for the eight phases. The green shading denotes above-average rainfall, and the brown shading shows below-average rainfall.



Oscilación decadales y multidecadales

Oscilaciones decadales y de mayor escala temporal

Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) & Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO)

Dificultad en la caracterización por:

- Acotados registros instrumentales en escalas largas de tiempo
- Cambios en el sistema climático derivados de forzantes antropogénicos en las últimas décadas (donde hay mejores registros instrumentales).

Estrategias para sortear (al menos parcialmente) las dificultades:

- Modelos climáticos
- Tratamientos estadísticos apropiados (ej. remover ciclos estacionales y medias globales) de variables con datos disponibles (ej. mapas de TSM; empiezan a mediados del Siglo XIX, aunque con extrapolación de datos escasos).

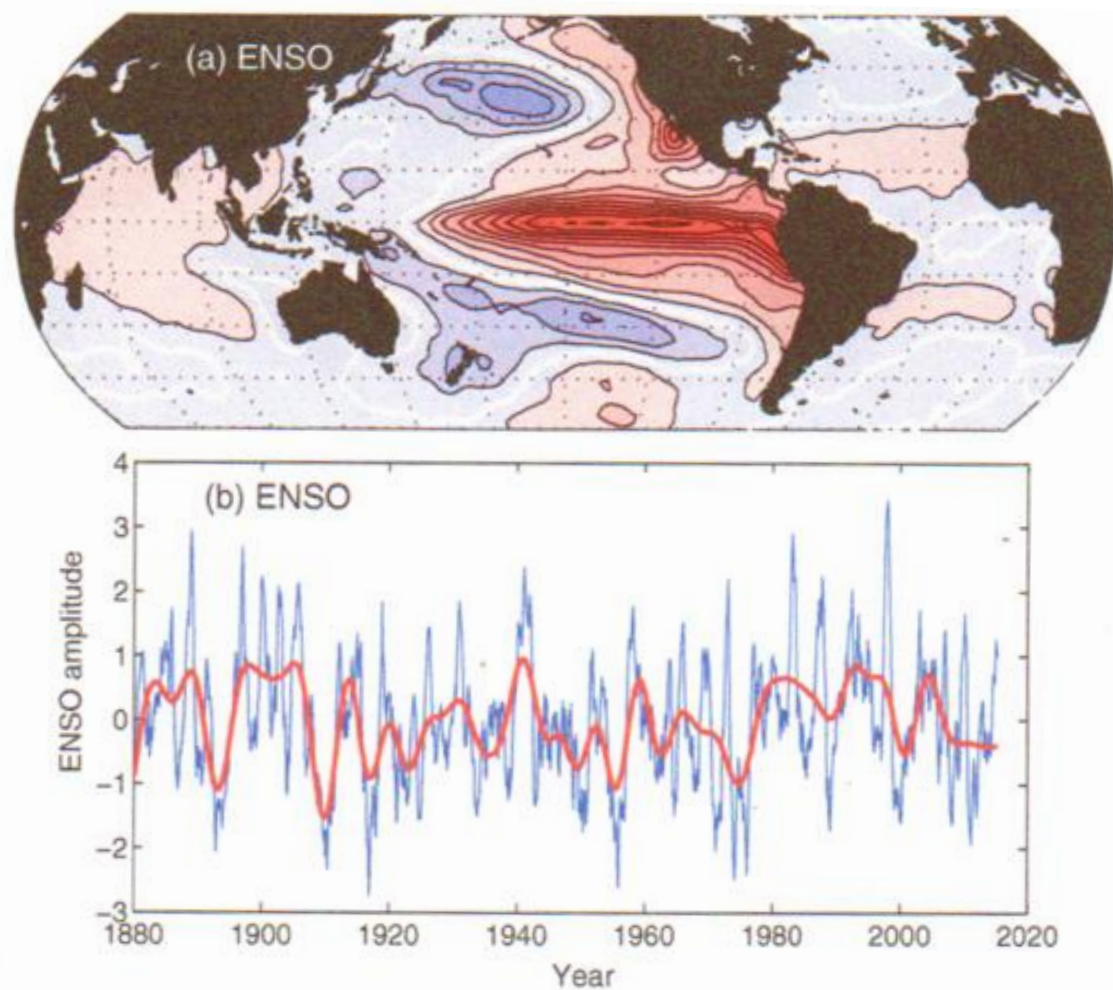


FIGURE 8.15 The structure of El Niño. (a) The spatial pattern of ENSO; the regression of monthly SST onto the first EOF of global SST from 1880 through January 2015. Contour interval is 0.1 K, positive anomalies are red and the zero contour is in white. (b) The time structure of ENSO; time series of the amplitude of the spatial pattern in units of standard deviations. The red line is smoothed to remove periods shorter than six years.

El espectro de potencia muestra una fuerte **variabilidad en períodos de 2-7 años de ENSO**



Además de esta variabilidad de 2-7 años, existen variaciones de períodos más largos (**línea roja; filtra variaciones en períodos menores a 6 años**).

Dado que ENSO es un modo de variabilidad interanual dominante, **sus variaciones decadales tienen una influencia global significativa**.

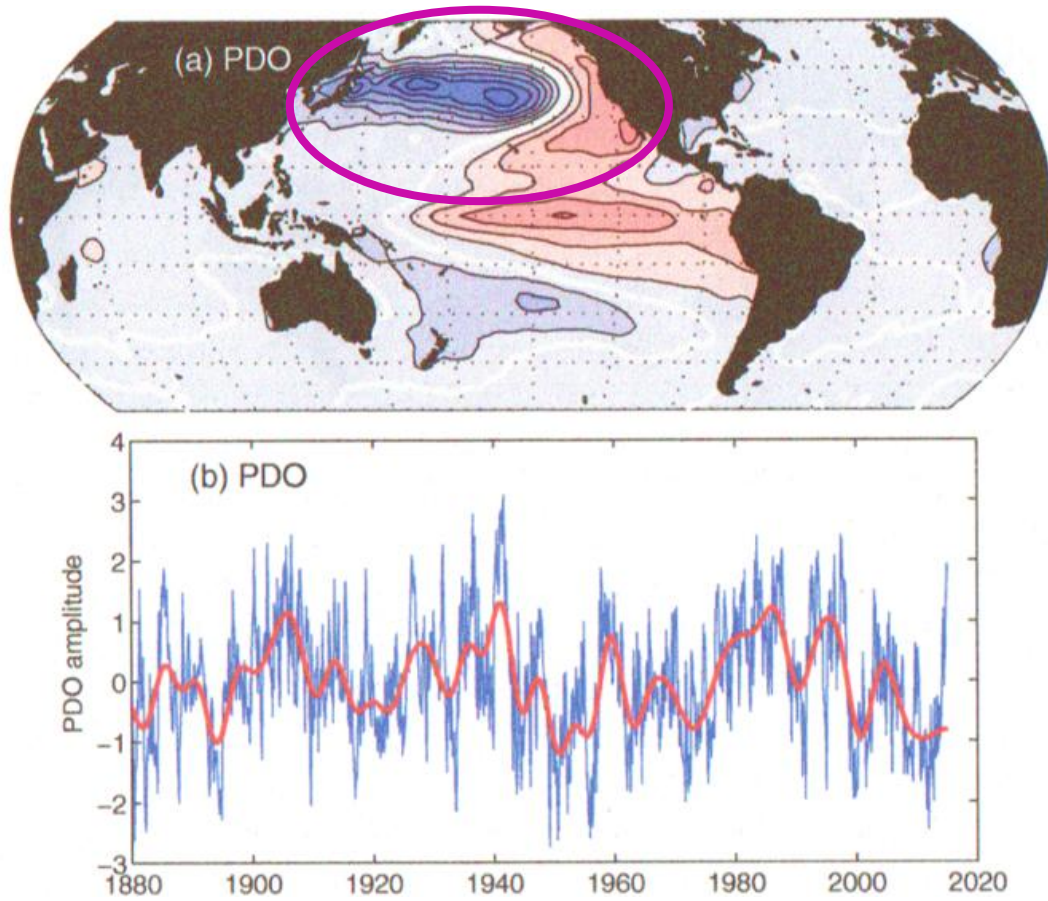
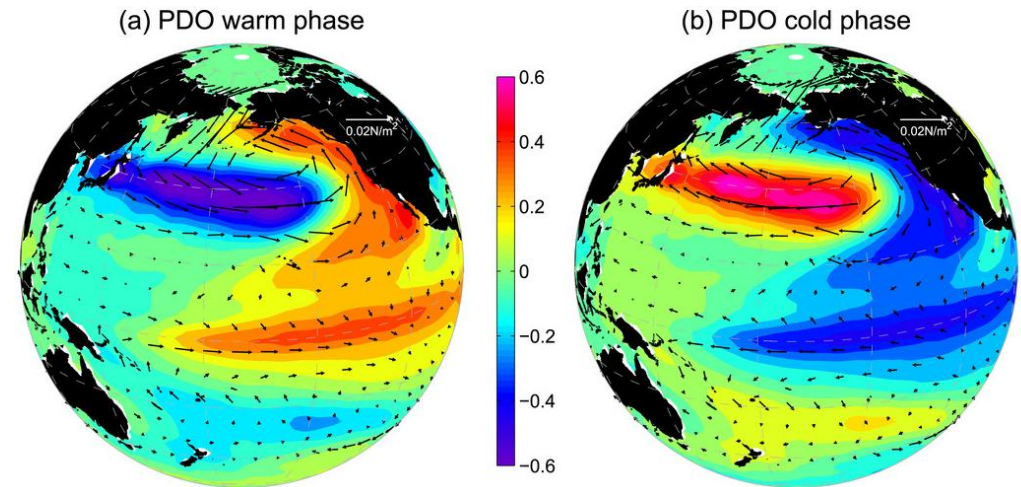


FIGURE 8.16 The structure of the PDO. (a) The spatial pattern of the PDO; the regression of monthly SST onto the first EOF of SST north of 20°N in the Pacific from 1880 through January 2015. Contour interval is 0.1 K, positive anomalies are red and the zero contour is in white. (b) The time structure of the PDO; time series of the amplitude of the spatial pattern in units of standard deviations.

Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)

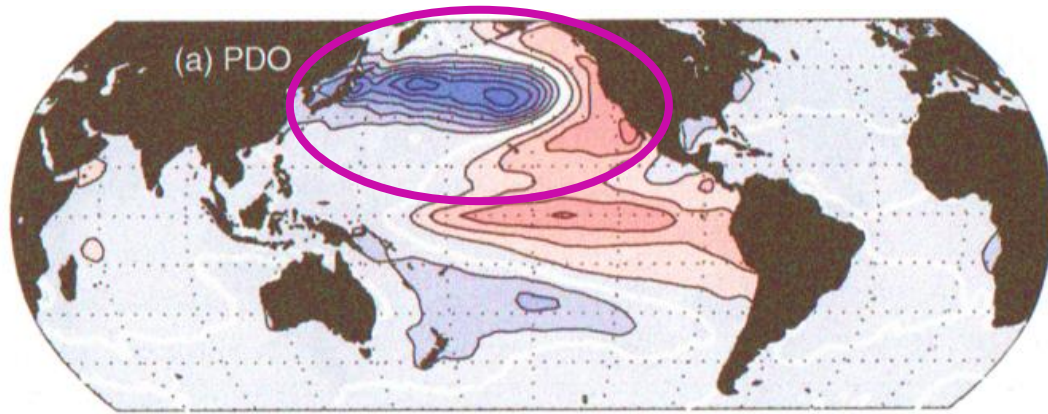
Es un modo de variabilidad oceánico que consiste en un calentamiento (enfriamiento) de las aguas tropicales (extratropicales) del Pacífico y viceversa.

*Se podría argumentar que la **Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)** es una componente de baja frecuencia de ENSO.*



Zhang, L., and T. L. Delworth, 2015

La PDO es el patrón de TSM dominante en el Pacífico Norte, al norte de 20°N (Mantua et al., 1997).
Presenta variabilidad en períodos de 40 - 60 años.

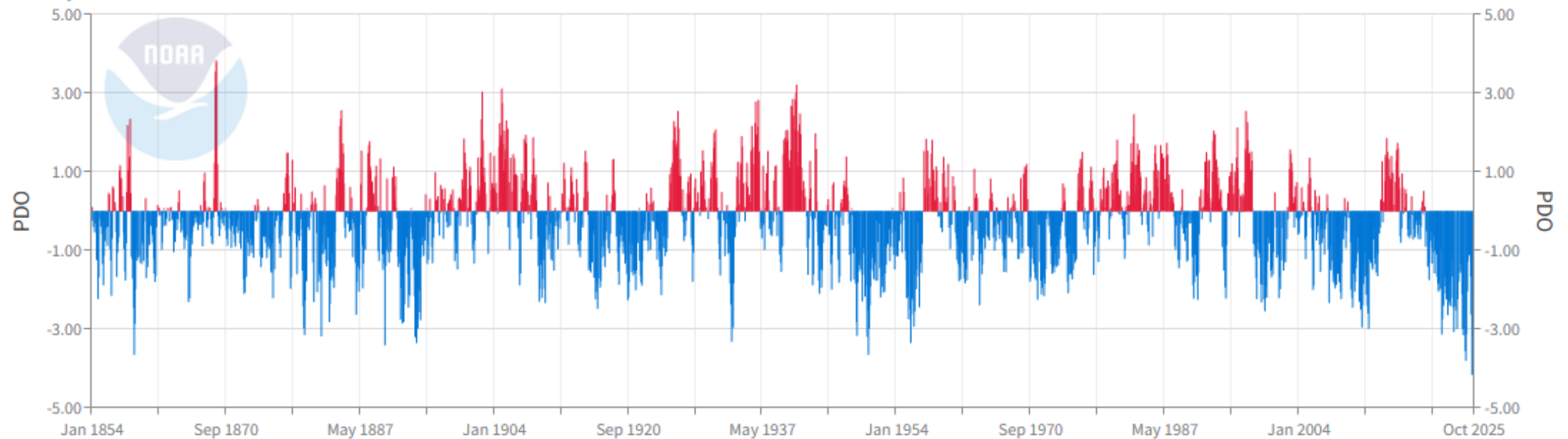


Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)

Es un modo de variabilidad oceánico que consiste en un calentamiento (enfriamiento) de las aguas tropicales (extratropicales) del Pacífico y viceversa.

Pacific Decadal Oscillation (PDO)

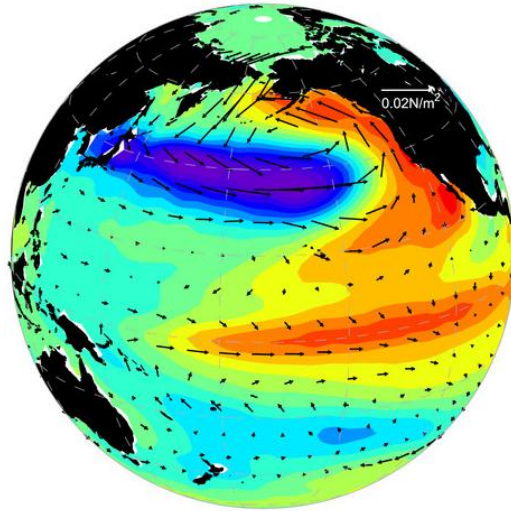
January 1854-October 2025



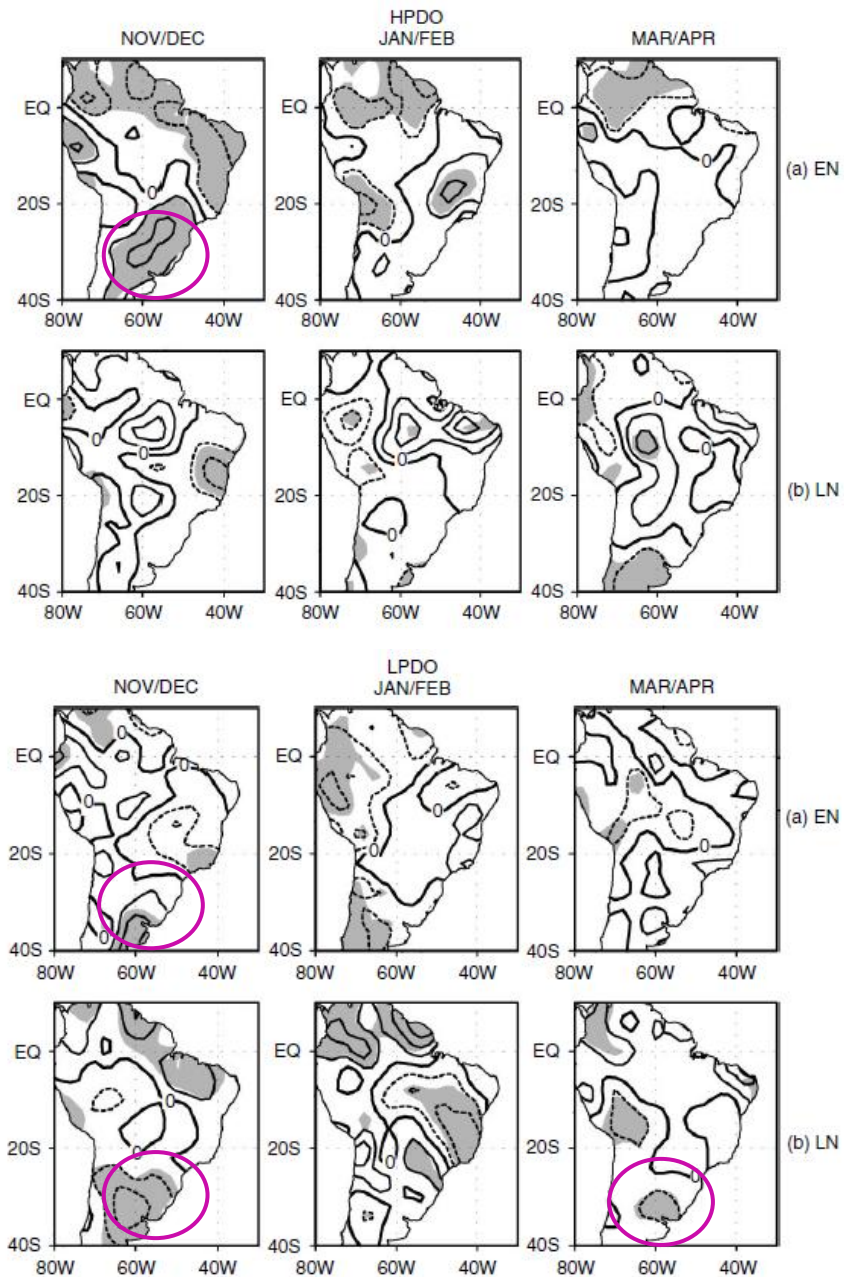
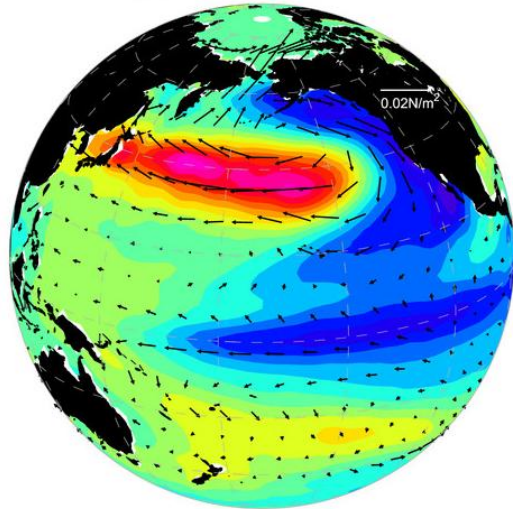
Source: <https://www.ncei.noaa.gov/pub/data/cmb/ersst/v5/index/ersst.v5.pdo.dat>

Powered by ZingChart

(a) PDO warm phase



(b) PDO cold phase



Anomalías de lluvia

Interferencias constructivas:

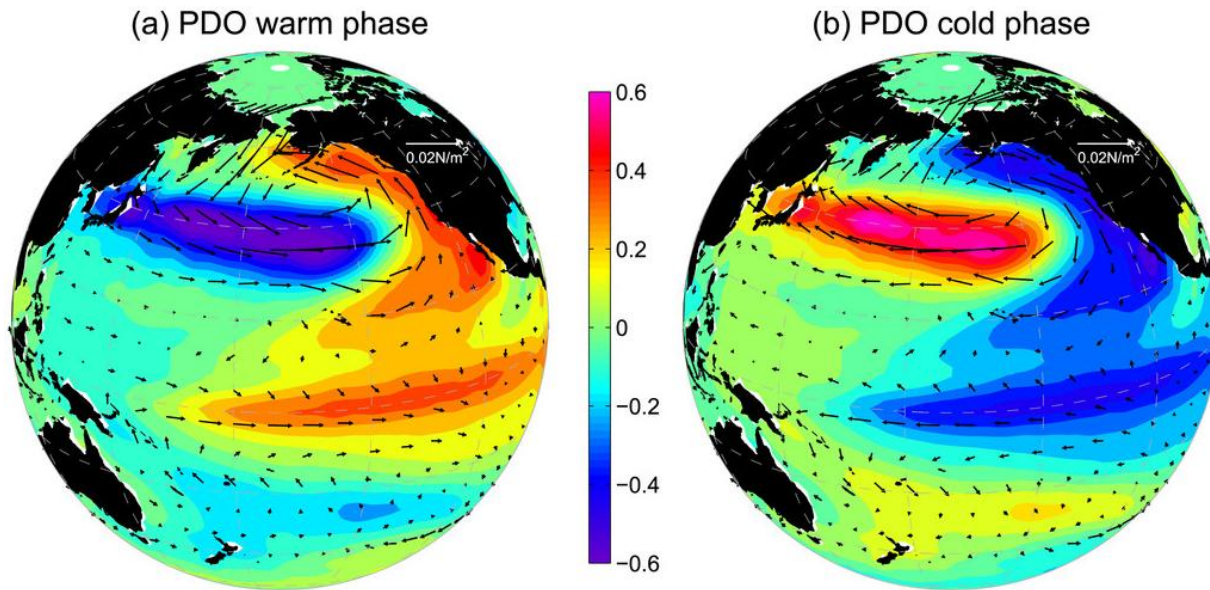
- ✓ Niño + PDO Positivo
- ✓ Niña + PDO Negativa

Interferencias destructivas:

- ✓ Niño + PDO Negativa
- ✓ Niña + PDO Positivo

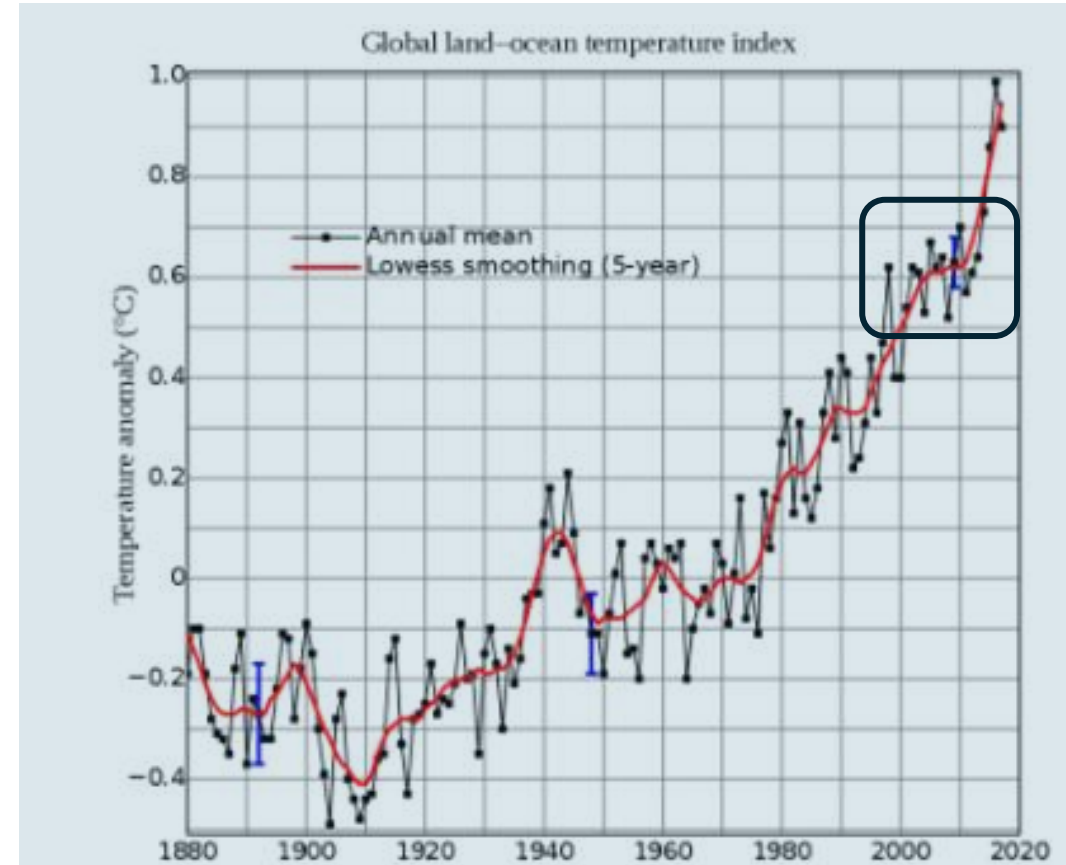
Figure 3. Mean standardized rainfall anomalies for the HPDO phase during Nov/Dec, Jan/Feb, and Mar/Apr of: (a) EN years; (b) LN years; (c) EN – LN composites, and (d) EN + LN composites. Contour interval is 0.3 standard deviations, with negative (positive) contours being dashed (continuous). Shaded areas encompass significant values at the 95% confidence level

Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)



Se han propuesto varios mecanismos de generación de la PDO, aunque al día de hoy no existe una teoría aceptada para explicarla:

- Interacciones océano-atmósfera en los extratropicos.
- Respuesta del océano a la variabilidad atmosférica.
- Teleconexiones entre los trópicos y extratropicos.



Durante el “hiatus” del calentamiento global (1998-2013), la PDO estuvo en fase negativa, enfriando el Pacífico tropical y favoreciendo una mayor absorción oceánica de energía, lo que redujo el calentamiento de la superficie terrestre

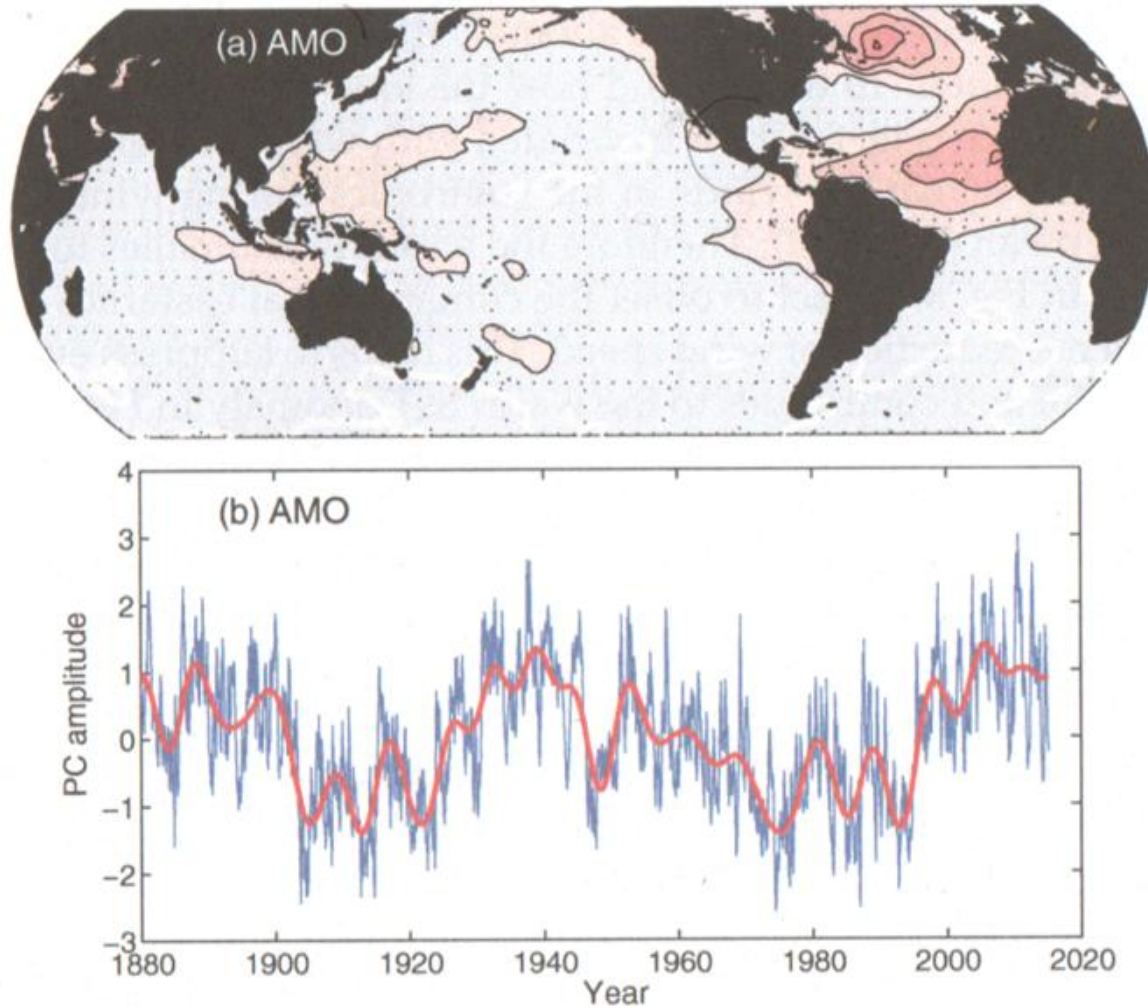
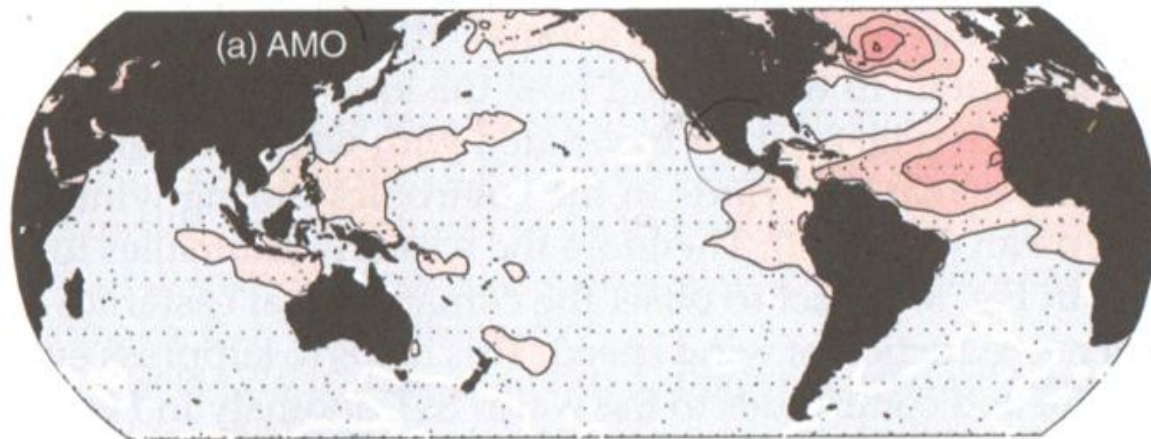


FIGURE 8.17 The structure of the AMO. (a) The spatial pattern of the AMO; the regression of monthly SST onto the first EOF of SST north of 20°S in the Atlantic Ocean from 1880 through January 2015. Contour interval is 0.1 K, positive anomalies are red and the zero contour is in white. (b) The time structure of the AMO; time series of the amplitude of the spatial pattern in units of standard deviations.

Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO)

Es un modo de variabilidad oceánico que consiste en un calentamiento/enfriamiento de las aguas del Océano Atlántico Norte, con un período estimado de 60-80 años.

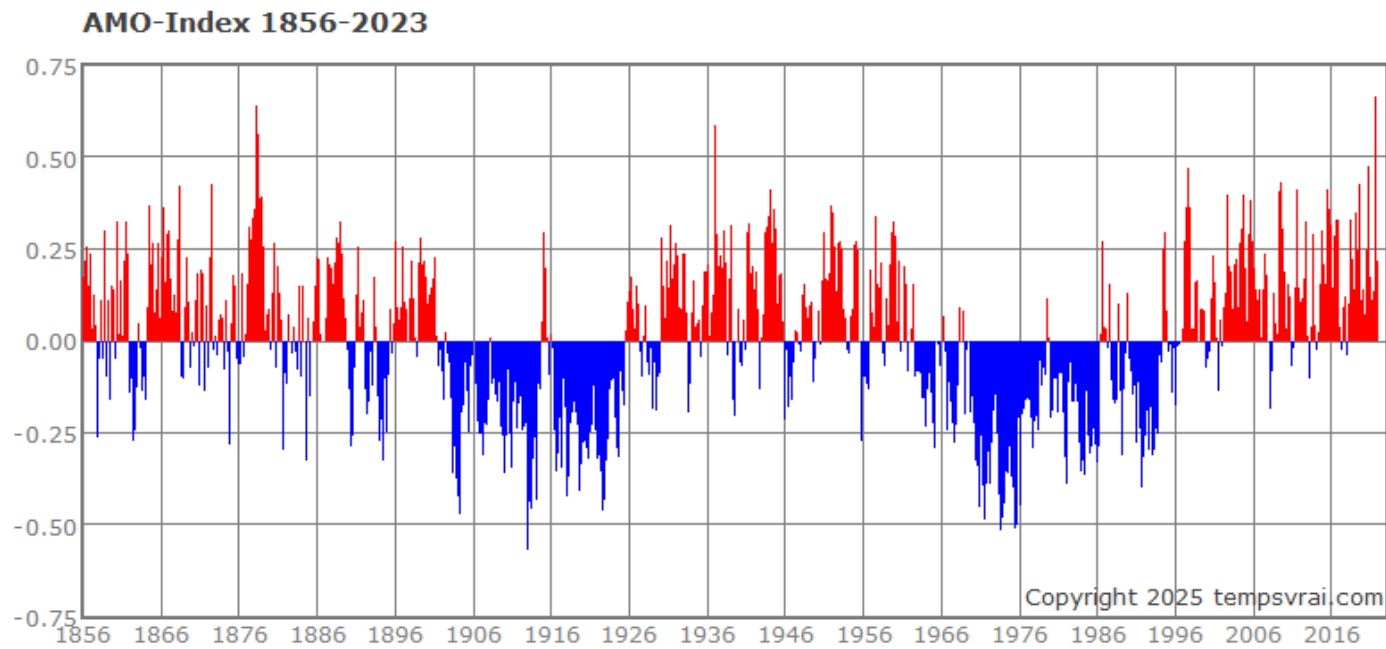
- ✓ Fase positiva: calentamiento desde el Ecuador hasta el Ártico. Máximos de TSM cerca de Groenlandia.
- ✓ Fase negativa: enfriamiento generalizado de la cuenca.



Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO)

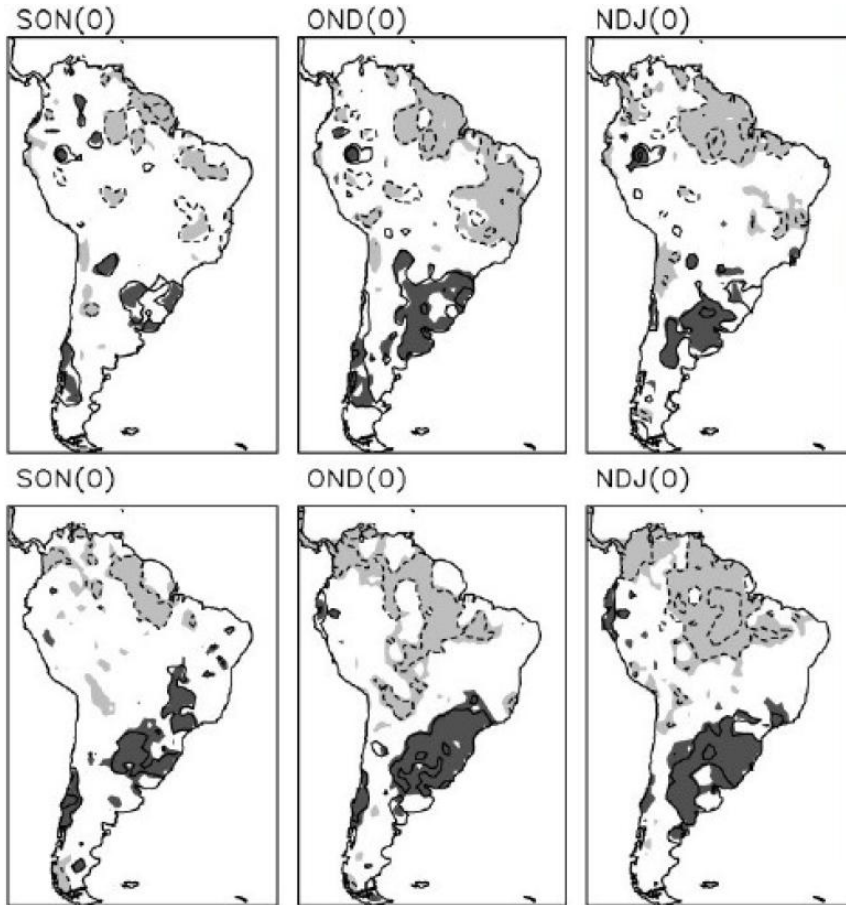
Impactos principales:

- ✓ Mayor frecuencia de huracanes en el Atlántico durante la fase cálida.
- ✓ Desplazamiento hacia el norte de la Zona de Convergencia Intertropical, lo que genera, entre otros impactos, déficit de lluvias en el nordeste de Brasil.
- ✓ Variaciones decadales en la precipitación tropical.



[AMO-Index - meteo.plus](https://meteo.plus)

Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO)

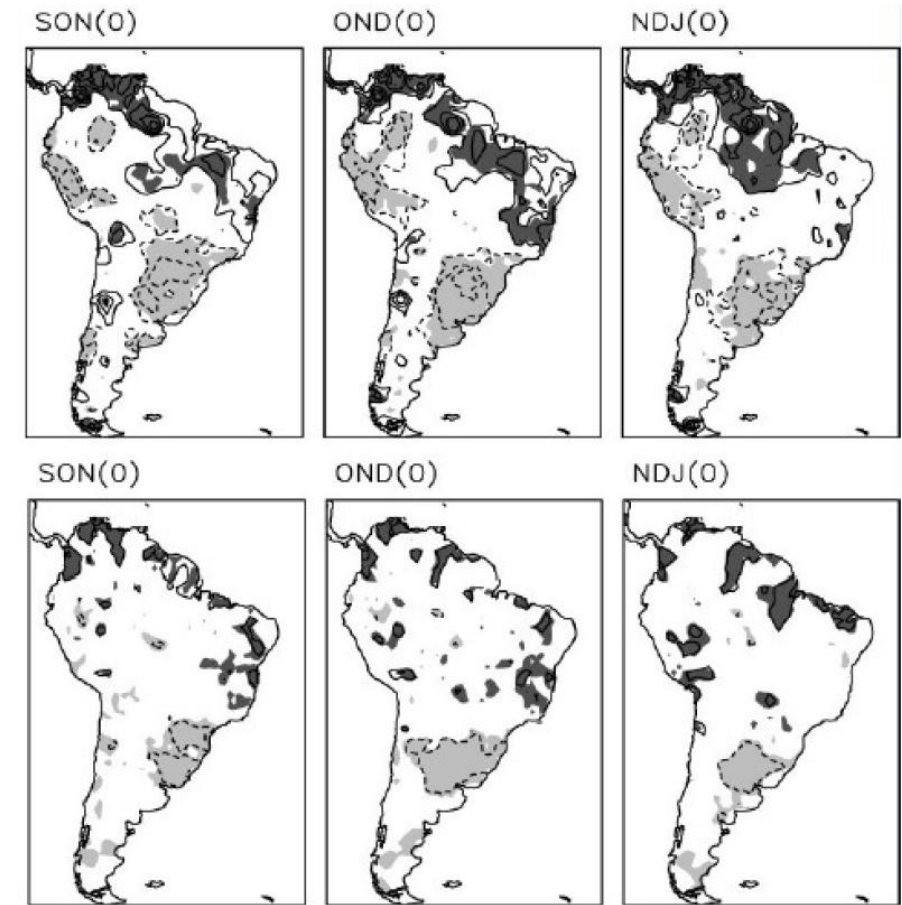


La Niña

Niña + AMO Positivo
Interferencia constructiva
Niña + AMO Negativa
Interferencia destructiva

El Niño

Niño + AMO Negativa
Interferencia constructiva
Niño + AMO Positiva
Interferencia destructiva



Una de tantas herramientas...

Índices de Teleconexiones



CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - UNIFEI

[QUEM SOMOS](#)[ESTAÇÃO METEOROLÓGICA](#)[TEMPO/CLIMA](#)[HIDROLOGIA](#)[AMBIENTE](#)[PRODUTOS VARIADOS](#)[PROJETOS](#)[TRAININGS](#)

ÍNDICES DE TELECONEXÕES

Teleconexão

PDO	PNA	AMO	WP	EPNP	NAO	TPI
-2.38	0.63	0.76	1.22	-1.54	-0.63	-1.37

Atmosférico

AAO	AO	QBO	SOI	MJO ¹
-0.71	0.05	-24.26	0.1	0

Índico

SIOD	IOD	SWIO	WTIO
-0.31	0.15	0.55	0.16

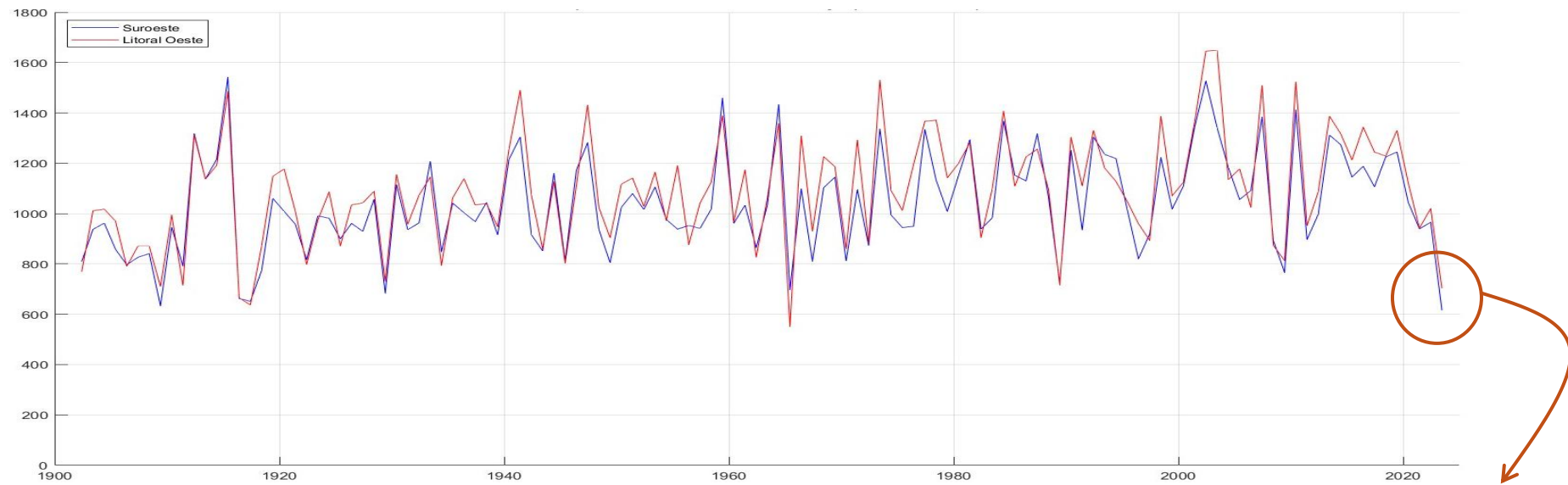
ENSO

ONI	MEI	TNI	NIN12	NIN03	NIN34	NIN04
-0.17	-0.36	0.09	-0.18	-0.41	-0.27	-0.44

Atlântico

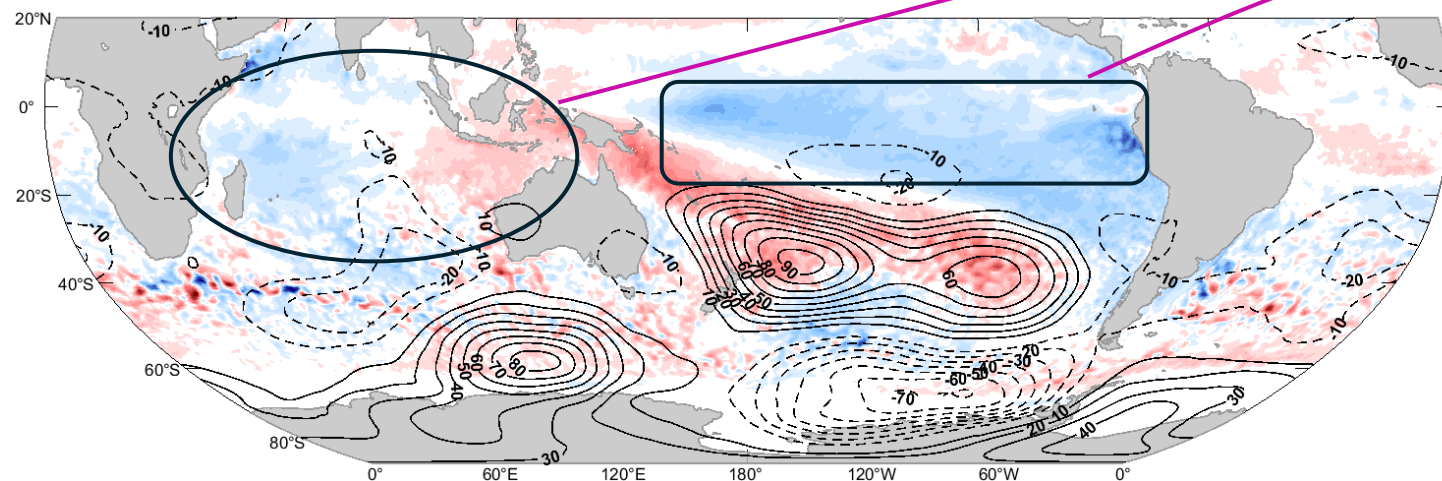
TNA	TSA	SAT	NAT	SAODI	SASDI	IASAS	ITSMRG2	ITSMRG2_RG3
0.59	0.36	0.19	0.45	-	0.1	116.73	0.91	0.53

Un caso de estudio conocido...



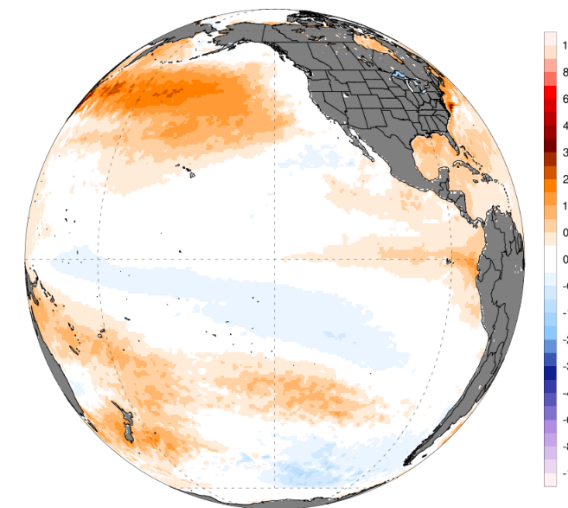
Sequía 2022-23: [Represa Canelón Grande, 03/2023](#); [Productor de Canelones, 02/2023](#); Imágenes: La Diaria.

Un caso de estudio conocido...

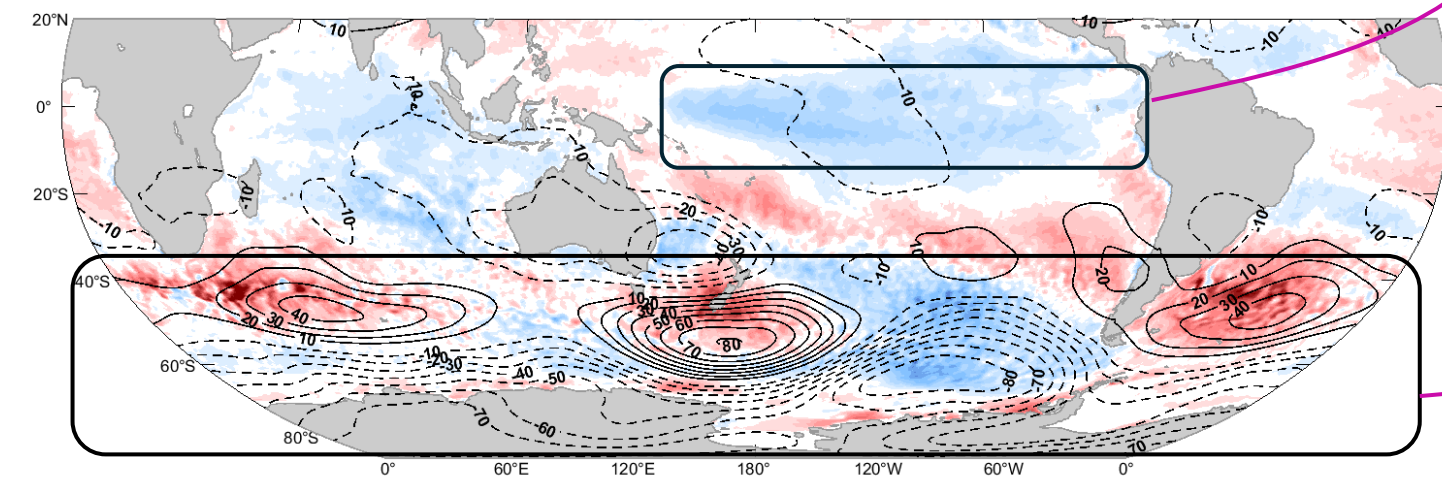


IOD negativo

La Niña

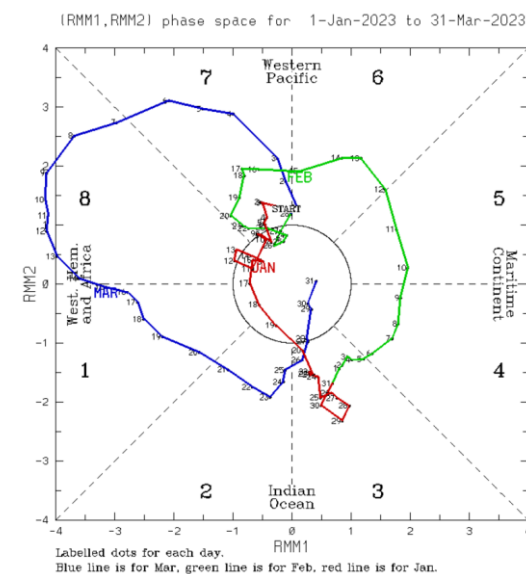


PDO negativa 2022-23



SAM positivo

+



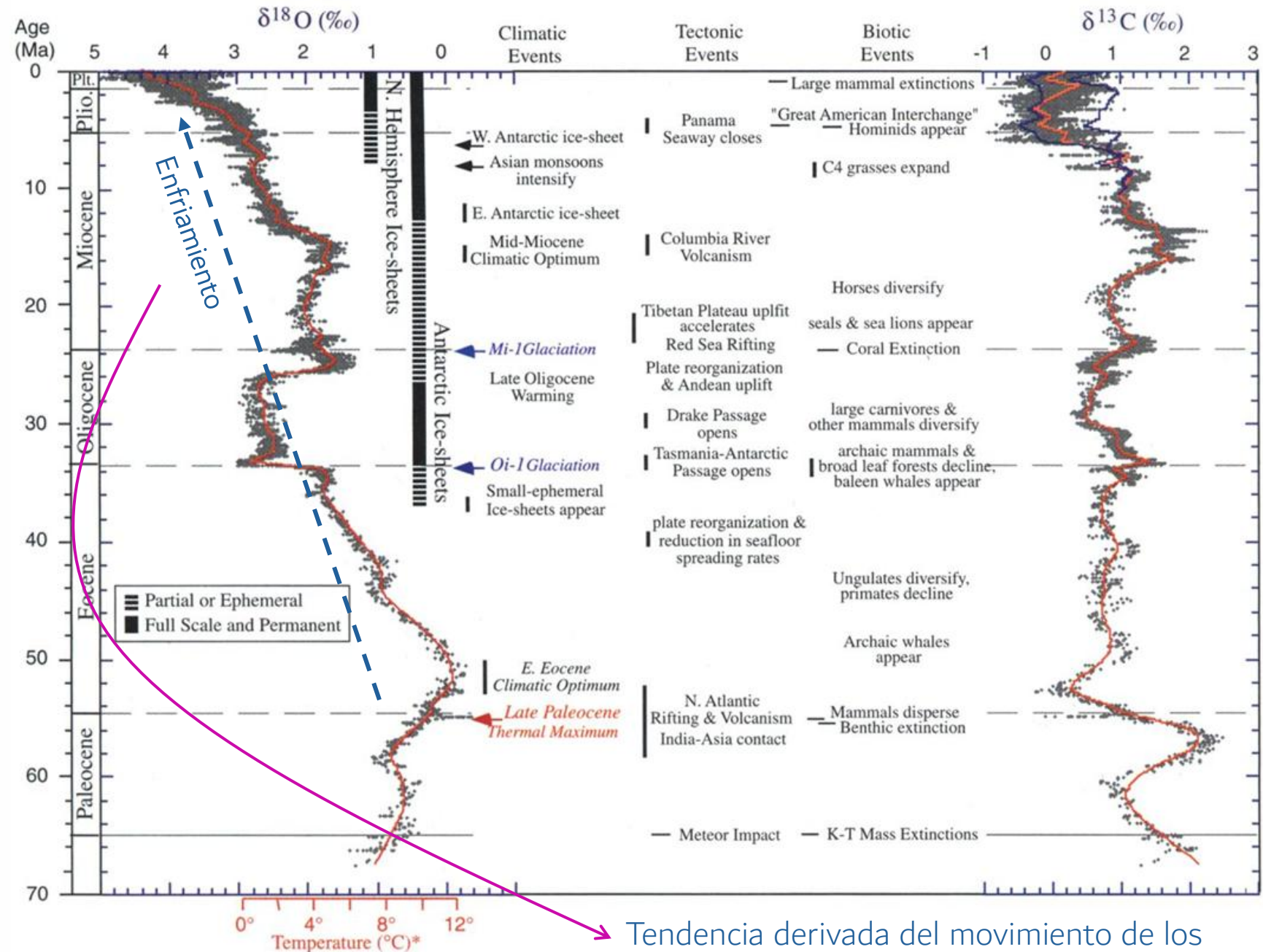
MJO fase 8-1
(marzo 2023)

Variabilidad climática en escalas
de miles a millones de años

Tendencias, ritmos y anomalías en el clima global desde hace 65 millones de años hasta el presente

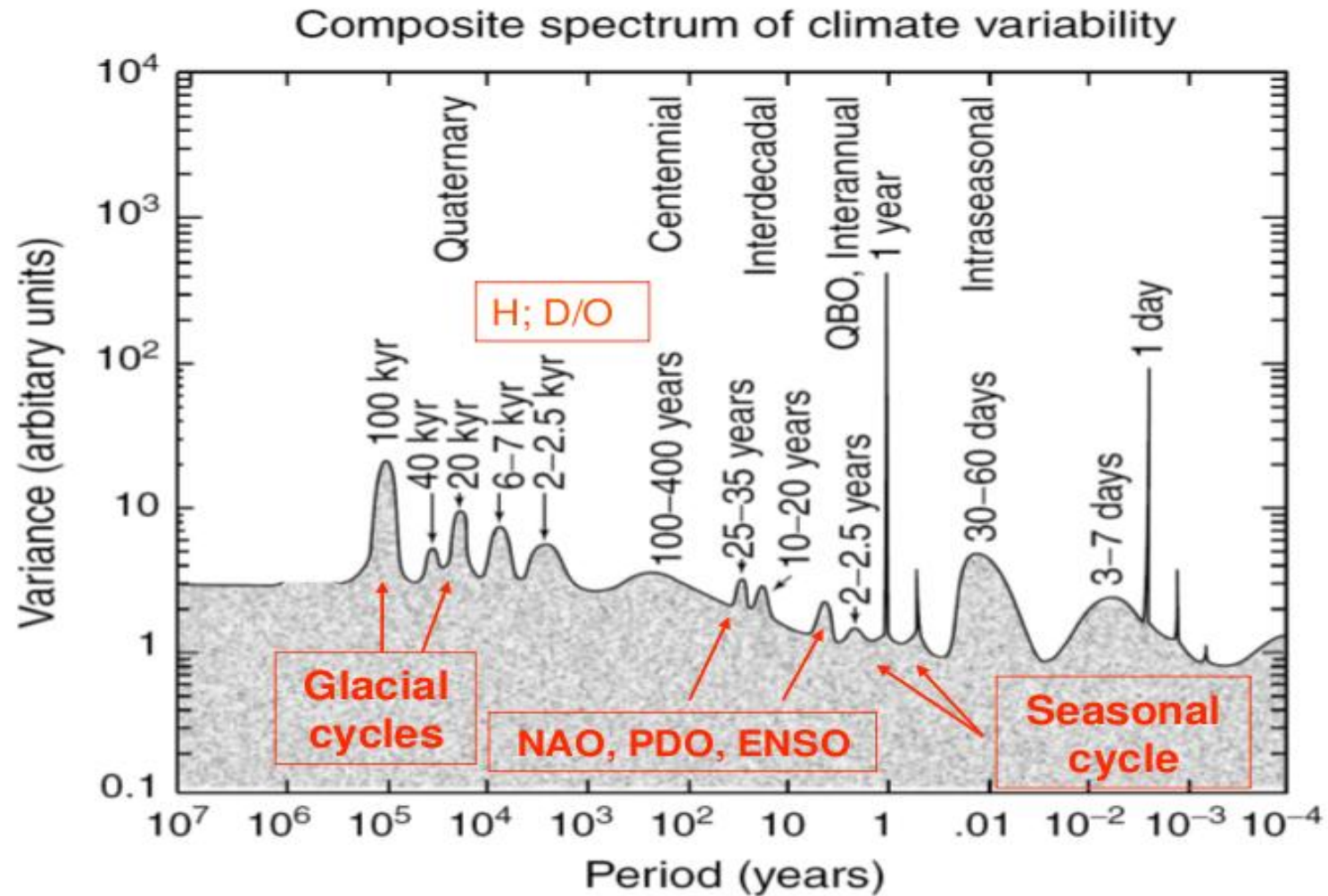
Zachos et al., 2001

Fig. 2. Global deep-sea oxygen and carbon isotope records based on data compiled from more than 40 DSDP and ODP sites (36). The sedimentary sections from which these data were generated are classified as pelagic (e.g., from depths >1000 m) with lithologies that are predominantly fine-grained, carbonate-rich (>50%) oozes or chalks. Most of the data are derived from analyses of two common and long-lived benthic taxa, *Cibicidoides* and *Nuttallides*. To correct for genus-specific isotope vital effects, the $\delta^{18}\text{O}$ values were adjusted by +0.64 and +0.4‰ (124), respectively. The absolute ages are relative to the standard GPTS (36, 37). The raw data were smoothed using a five-point running mean, and curve-fitted with a locally weighted mean. With the carbon isotope record, separate curve fits were derived for the Atlantic (blue) and Pacific above the middle Miocene to illustrate the increase in basin-to-basin fractionation that exceeds ~1.0‰ in some intervals. Prior to 15 Ma, interbasin gradients are insignificant or nonexistent (39). The $\delta^{18}\text{O}$ temperature scale was computed for an ice-free ocean [~1.2‰ Standard Mean Ocean Water (SMOW)], and thus only applies to the time preceding the onset of large-scale glaciation on Antarctica (~35 Ma) (43). From the early Oligocene to present, much of the variability (~70%) in the $\delta^{18}\text{O}$ record reflects changes in Antarctica and Northern Hemisphere ice volume (40). The vertical bars provide a rough qualitative representation of ice volume in each hemisphere relative to the LGM, with the dashed bar representing periods of minimal ice coverage ($\leq 50\%$), and the full bar representing close to maximum ice coverage (>50% of present). Some key tectonic and biotic events are listed as well (4, 5, 35).

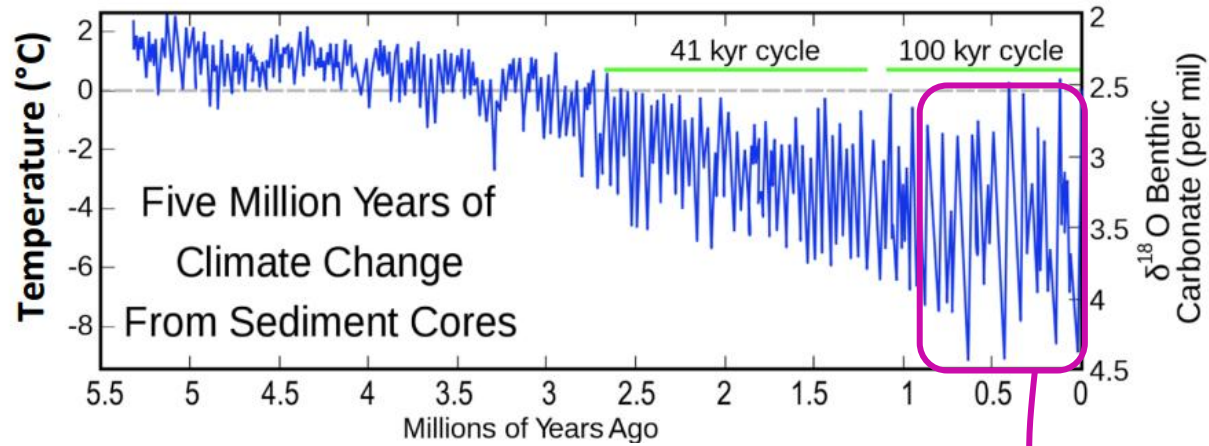


Tendencia derivada del movimiento de los continentes, alejándose de la Antártida

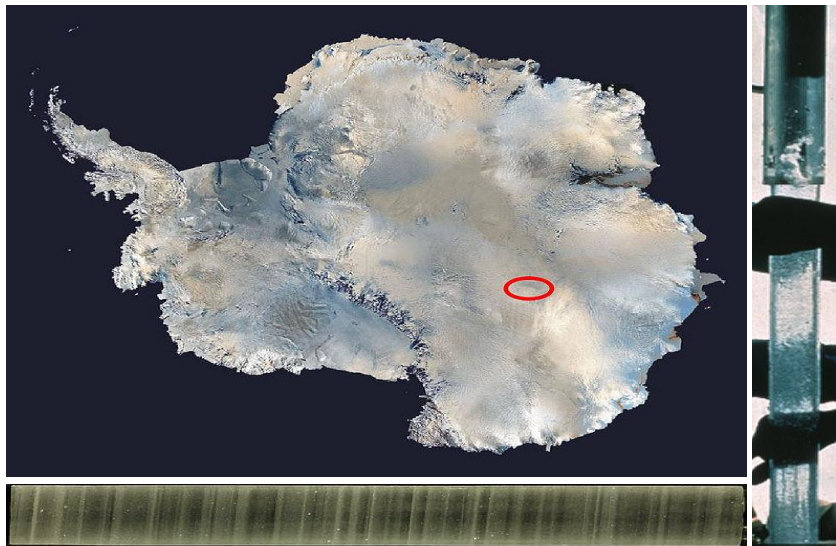
Variabilidad climática en diversas escalas temporales



Variabilidad climática en diversas escalas temporales



[Berkeley Initiative in Global Change Biology](#)



Último millón de años:

Ciclos de 80-120 mil años en la temperatura y en la $[\text{CO}_2]$

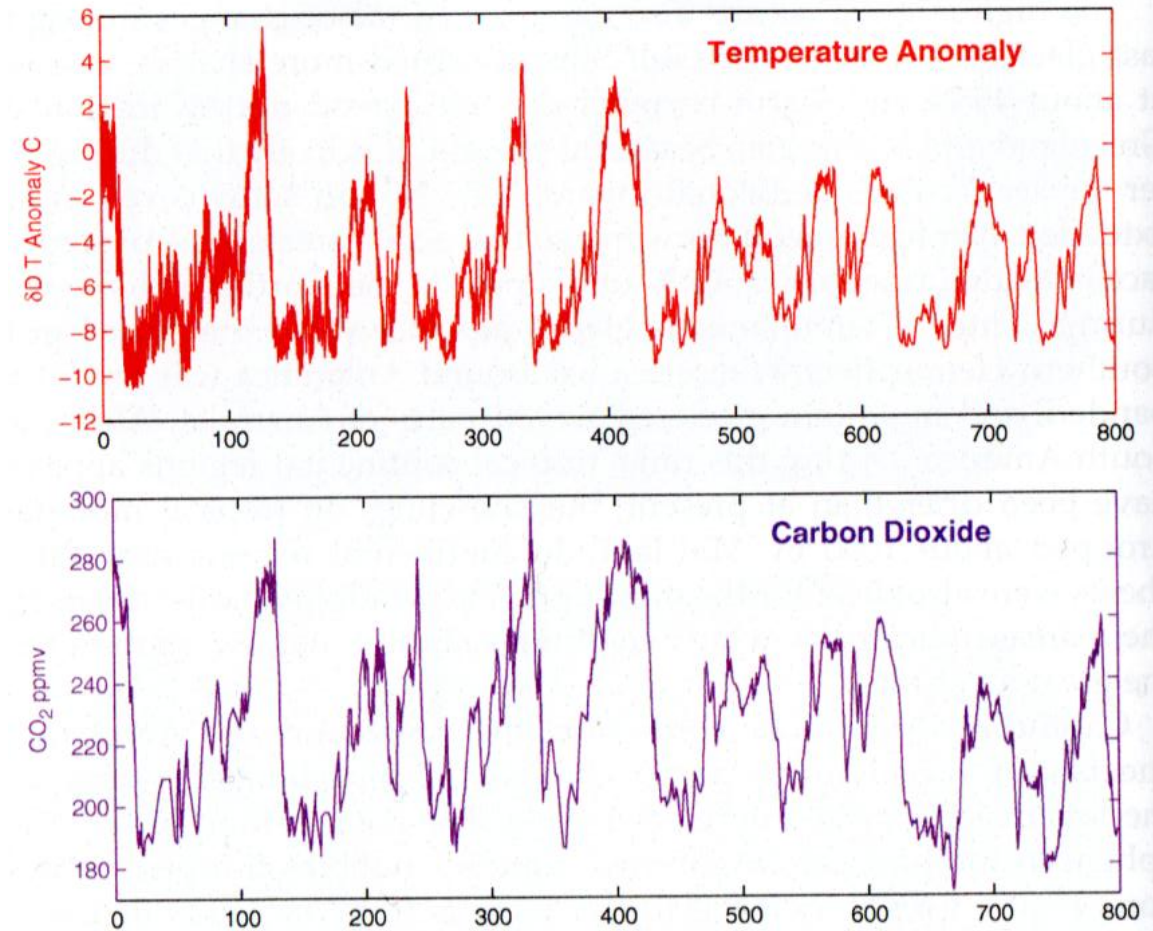
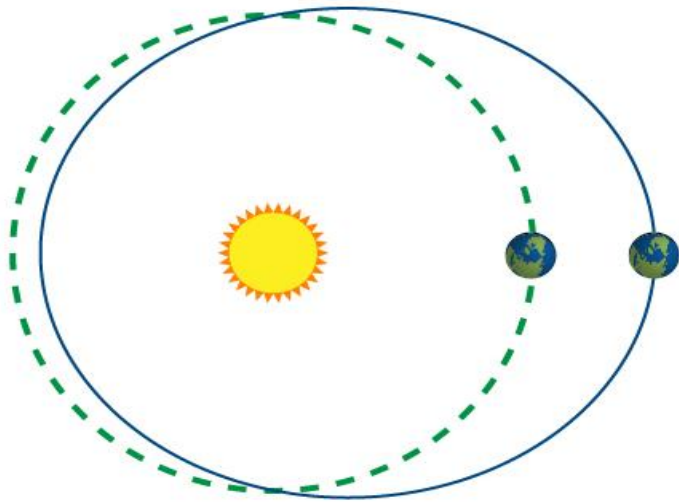


FIGURE 9.8 Estimates of temperature, CO_2 , CH_4 , and dust from ice cores drilled at Dome C in Antarctica plotted as functions of time before present for the past 800,000 years. Data from NOAA/NCDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA; Jouzel et al. (2007), Lambert et al. (2008), Loulergue et al. (2008), and Luthi et al. (2008).

Variabilidad climática en diversas escalas temporales

Ciclos de Milankovitch



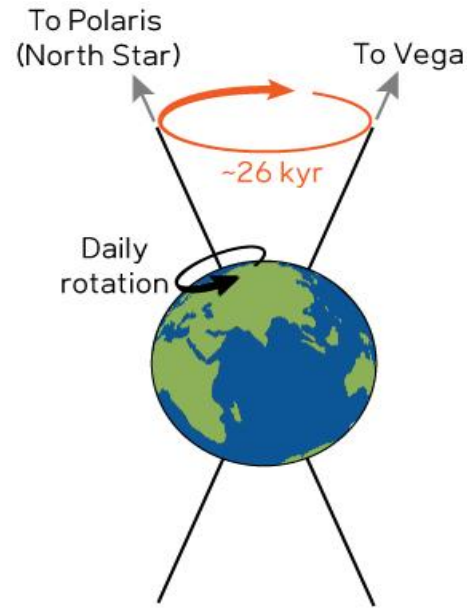
Eccentricity

Variabilidad en la excentricidad de la órbita (100.000 años)



Obliquity (Tilt)

Variabilidad en el ángulo de inclinación del eje de rotación de la Tierra (41.000 años)



Orbital Precession

Variabilidad en el movimiento de precesión (26.000 años)

Determina la cantidad de radiación que llega a las zonas polares, y por lo tanto la superficie/volumen de hielo en escalas largas de tiempo.

cambios climáticos globales en escalas de decenas de miles de años en el último millón de años (períodos glaciares e interglaciares).

Variabilidad climática en diversas escalas temporales

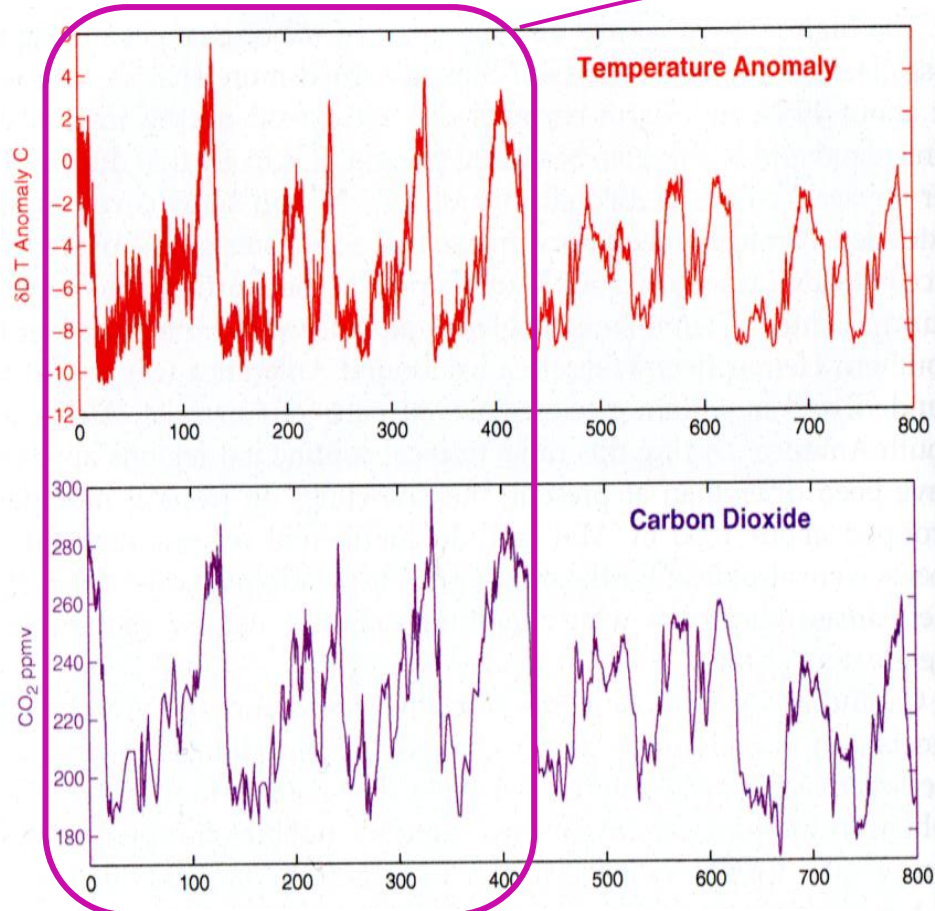
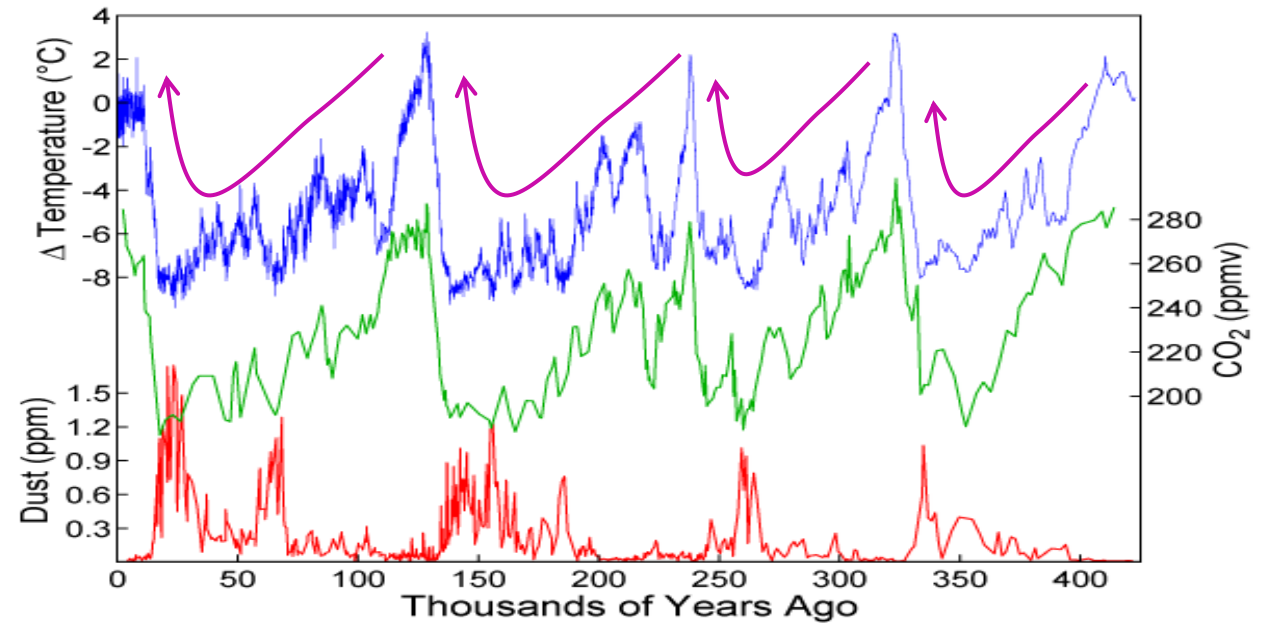


FIGURE 9.8 Estimates of temperature, CO_2 , CH_4 , and dust from ice cores drilled at Dome C in Antarctica plotted as functions of time before present for the past 800,000 years. Data from NOAA/NCDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA; Jouzel et al. (2007), Lambert et al. (2008), Loulergue et al. (2008), and Luthi et al. (2008).

¿Cómo comienzan y terminan los períodos glaciares?



¿Cómo es la relación entre temperatura y $[\text{CO}_2]$?

Pleistoceno: las transiciones entre períodos glaciares e interglaciares fue dominado por variaciones en los parámetros orbitales (cambios en T y volumen de hielo), mientras que el CO_2 atmosférico respondió a estos cambios, conformando una retroalimentación positiva

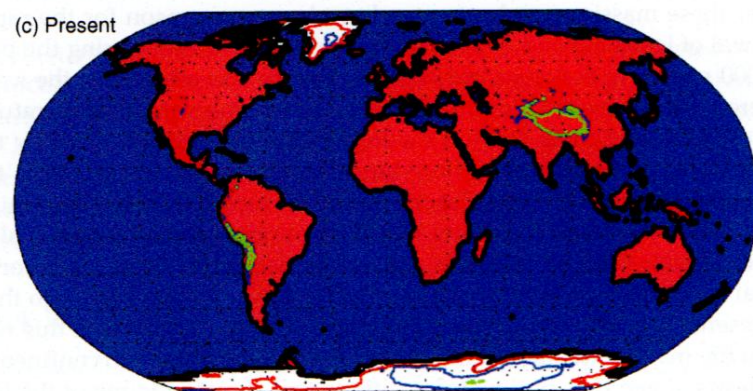
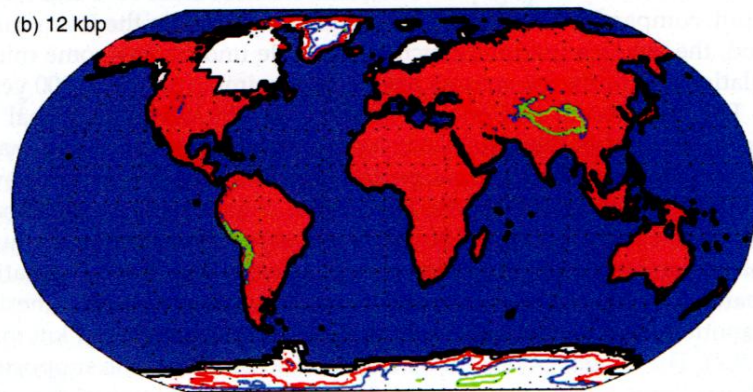
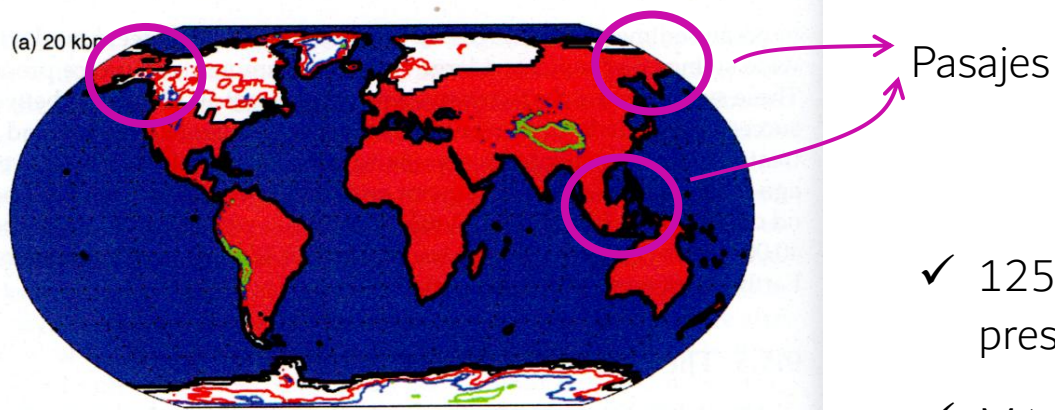
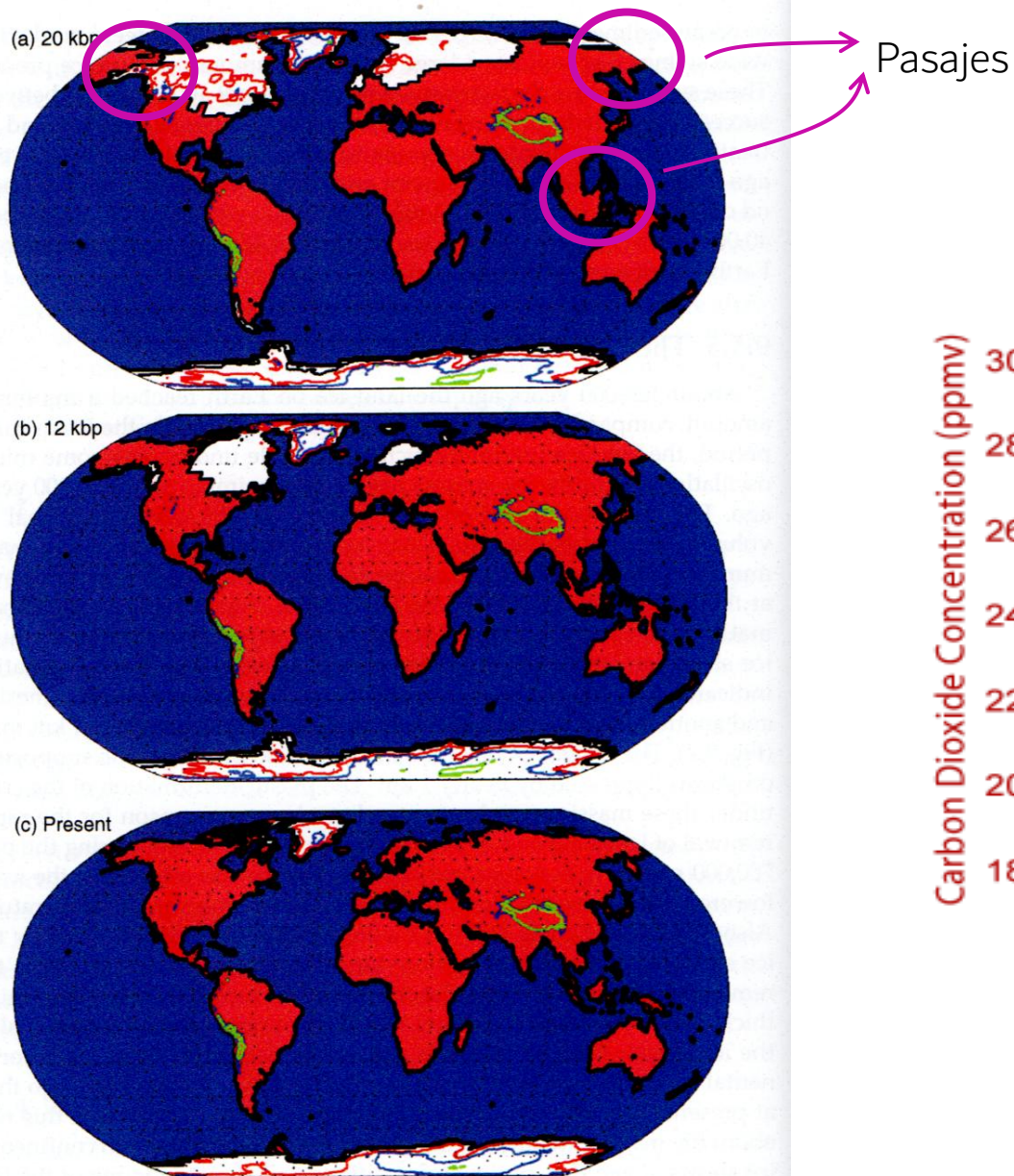


FIGURE 9.7 Maps of ice sheets and elevation above sea level for (a) 20 kbp, (b) 12 kbp and (c) present. White indicates perennial ice sheet positions. Red, blue, and green contours represent 2000, 3000, and 4000 m elevations, respectively. Data from Peltier (1994), archived by the NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder, Co.

Variabilidad climática

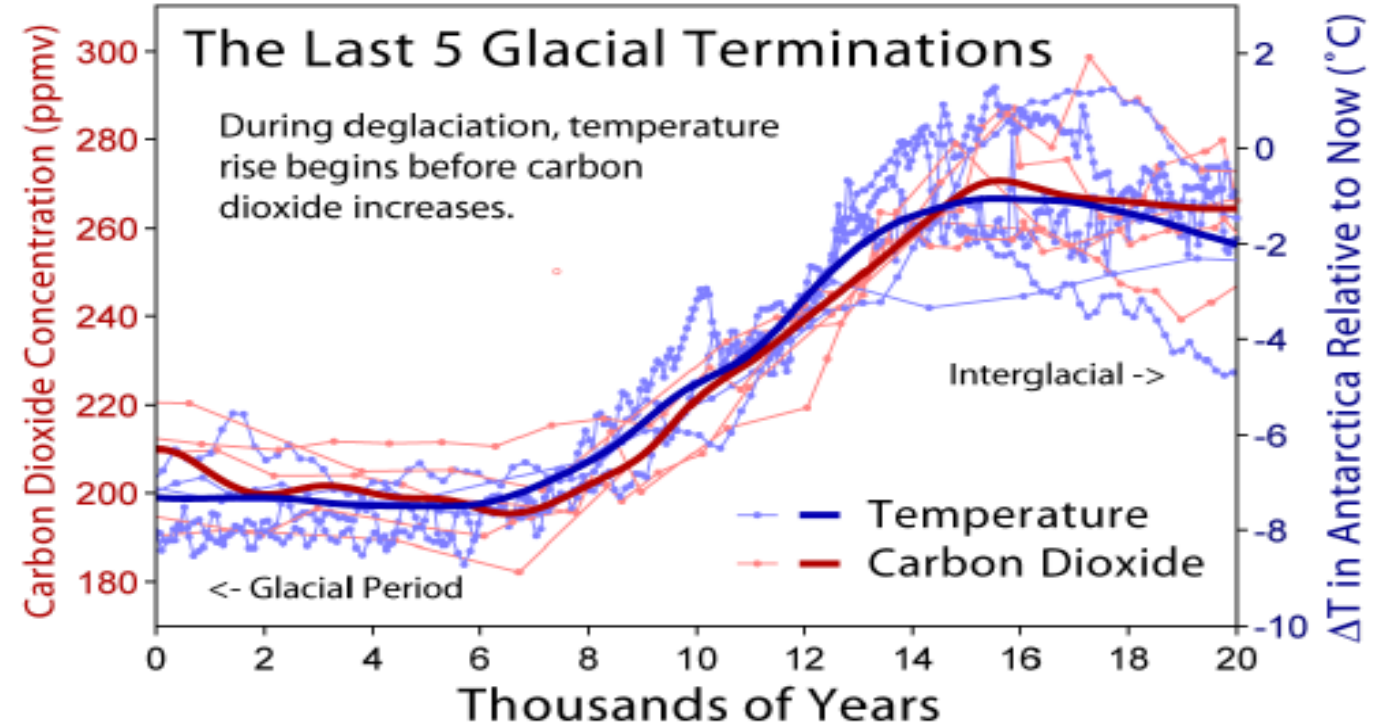
Últimos 150.000 años

- ✓ 125.000 años atrás: último mínimo en la cobertura de hielo antes del presente (comparable con actual período interglaciar)
- ✓ Máximo glacial hace 20.000 años (nivel del mar ~120 m menor al nivel actual), seguido por abrupto cambio en el volumen de hielo global.
 - ✓ Durante los máximos glaciares la corteza terrestre se hunde lentamente por el peso de la masa de hielo (~1 km), lo que podría ser una de las razones para explicar las salidas rápidas de períodos glaciares en los últimos 800.000 años (la altura del hielo se reduce y queda expuesta a mayores temperaturas atmosféricas + lagos glaciares se forman en las depresiones y se filtra agua salada que ayuda en el derretimiento y salida de agua glacial).
 - ✓ Cambios en la circulación oceánica en latitudes altas (corrientes cálidas no alcanzaban latitudes altas).
 - ✓ Eventos particulares de cambios abruptos derivados de interacciones entre componentes del sistema climático: *Younger Dryas* (evento frío durante la salida de la última glaciación), eventos Dansgaard-Oeschger (rápido calentamiento seguido por enfriamiento lento) y eventos Heinrich (importantes descargas de sedimentos hacia los océanos arrastrados por glaciares/icebergs)



Variabilidad climática

Períodos glaciares - interglaciares



Las terminaciones toman alrededor de 10.000 años y son procesos “discontinuos” con cambios rápidos.

FIGURE 9.7 Maps of ice sheets and elevation above sea level for (a) 20 kbp, (b) 12 kbp and (c) present. White indicates perennial ice sheet positions. Red, blue, and green contours represent 2000, 3000, and 4000 m elevations, respectively. Data from Peltier (1994), archived by the NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder, Co.

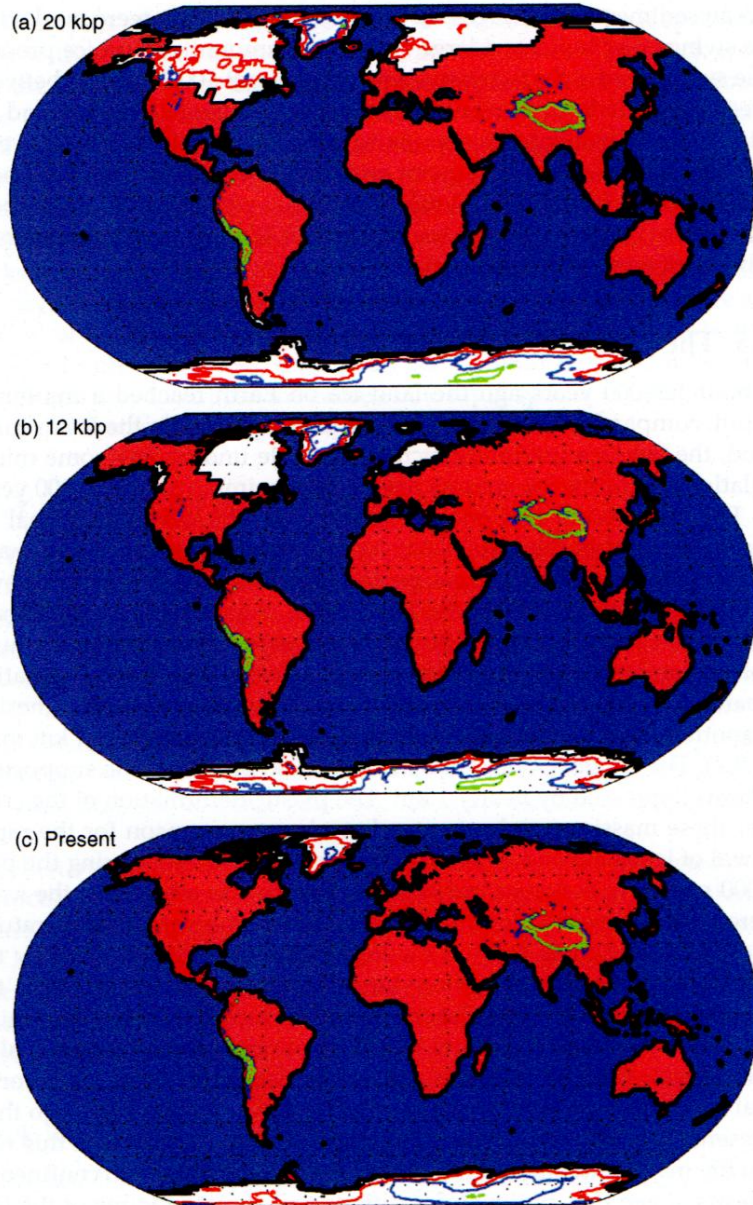
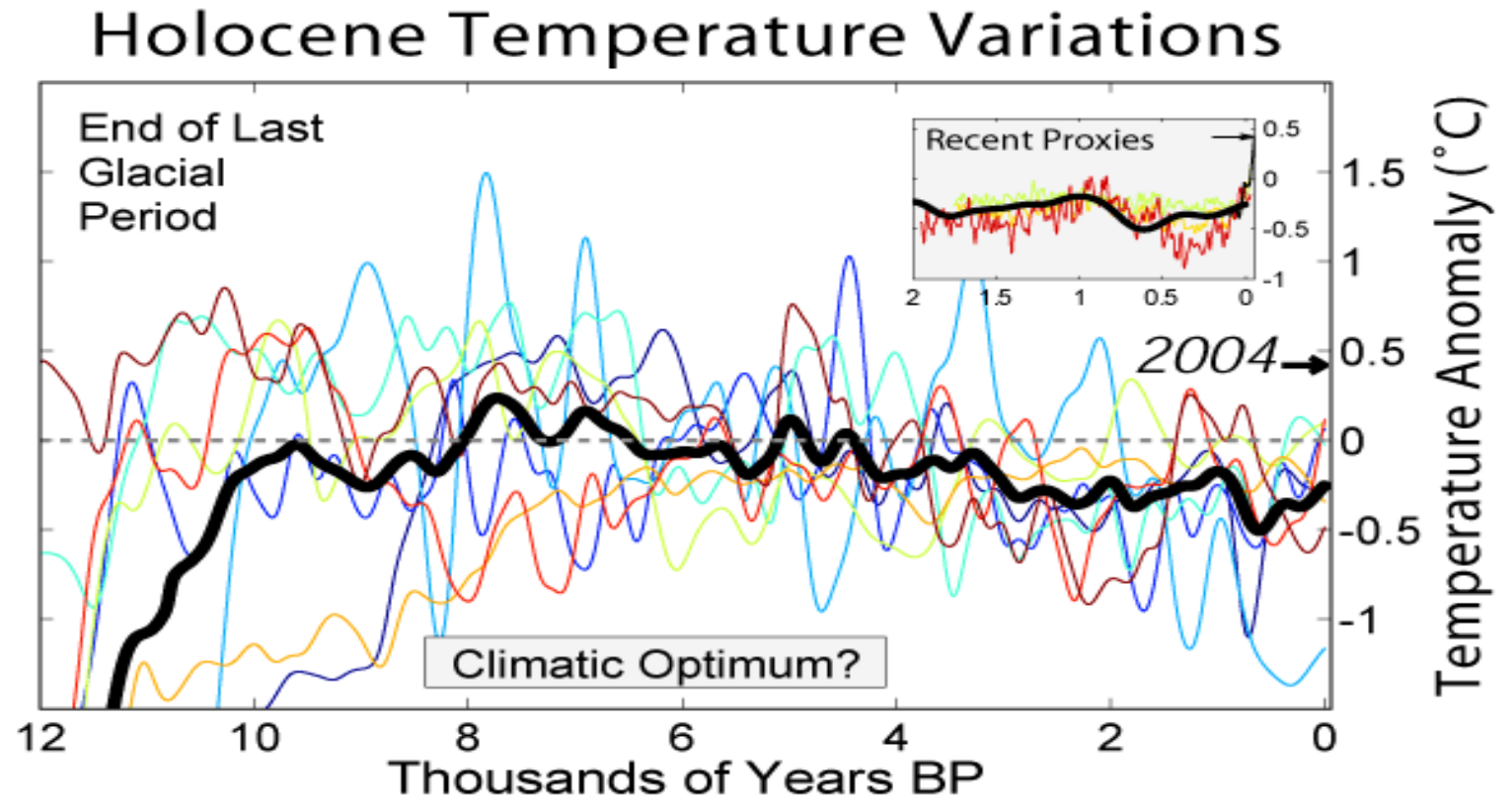


FIGURE 9.7 Maps of ice sheets and elevation above sea level for (a) 20 kbp, (b) 12 kbp and (c) present. White indicates perennial ice sheet positions. Red, blue, and green contours represent 2000, 3000, and 4000 m elevations, respectively. Data from Peltier (1994), archived by the NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder, Co.

Variabilidad climática

Últimos 12.000 años



Cambio climático

Cambio climático

Algunos datos

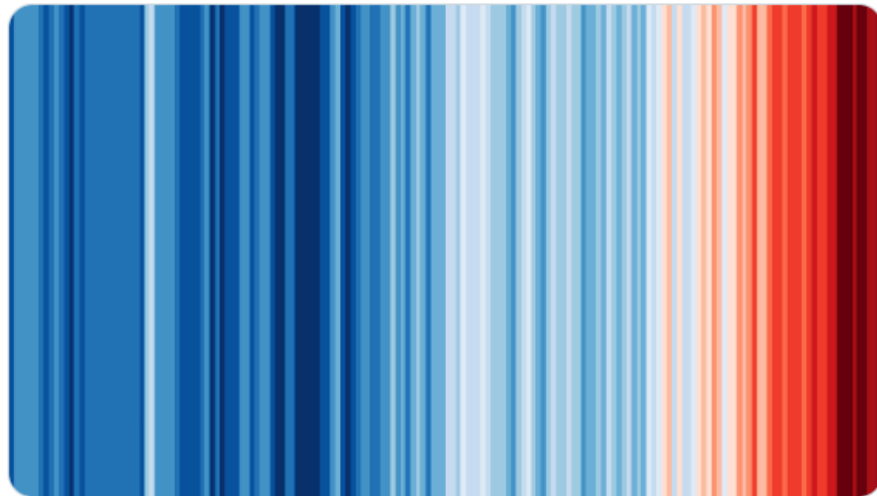


Ed Hawkins
@ed_hawkins

2023 was the warmest year on record globally by a large margin. Another dark red stripe gets added, though I think I need a new colour.

[#ShowYourStripes](#)

[Traducir post](#)



Ed Hawkins • 2º

Professor of Climate Science | MBE | Creator of Warmin...

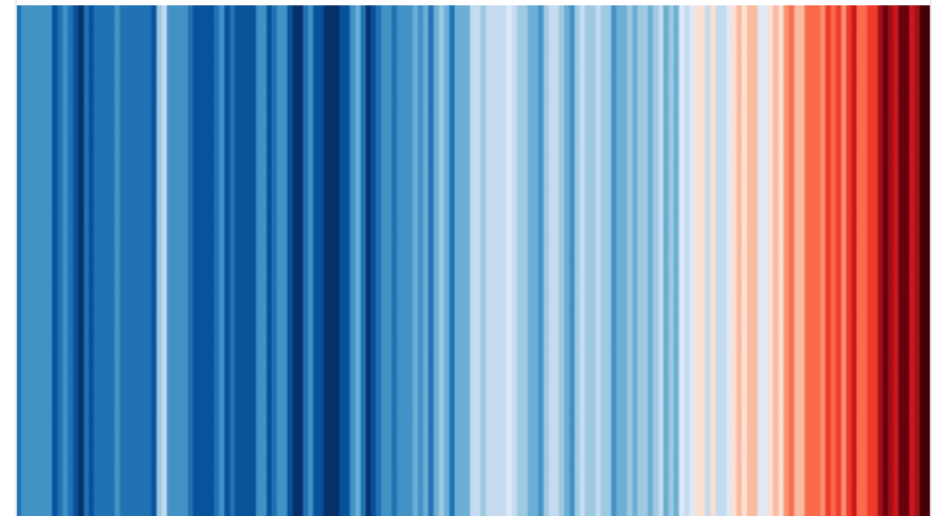
1 mes • 🌐

[+ Seguir](#) ...

The data is in. 2024 was the warmest year on record, and probably in the whole of human history – about 1.6°C warmer than the pre-industrial period.

More than 1 billion individual thermometer measurements, made by thousands of people over many decades, have been condensed into a single number.

[Mostrar traducción](#)



2023 fue el año más cálido hasta... 2024

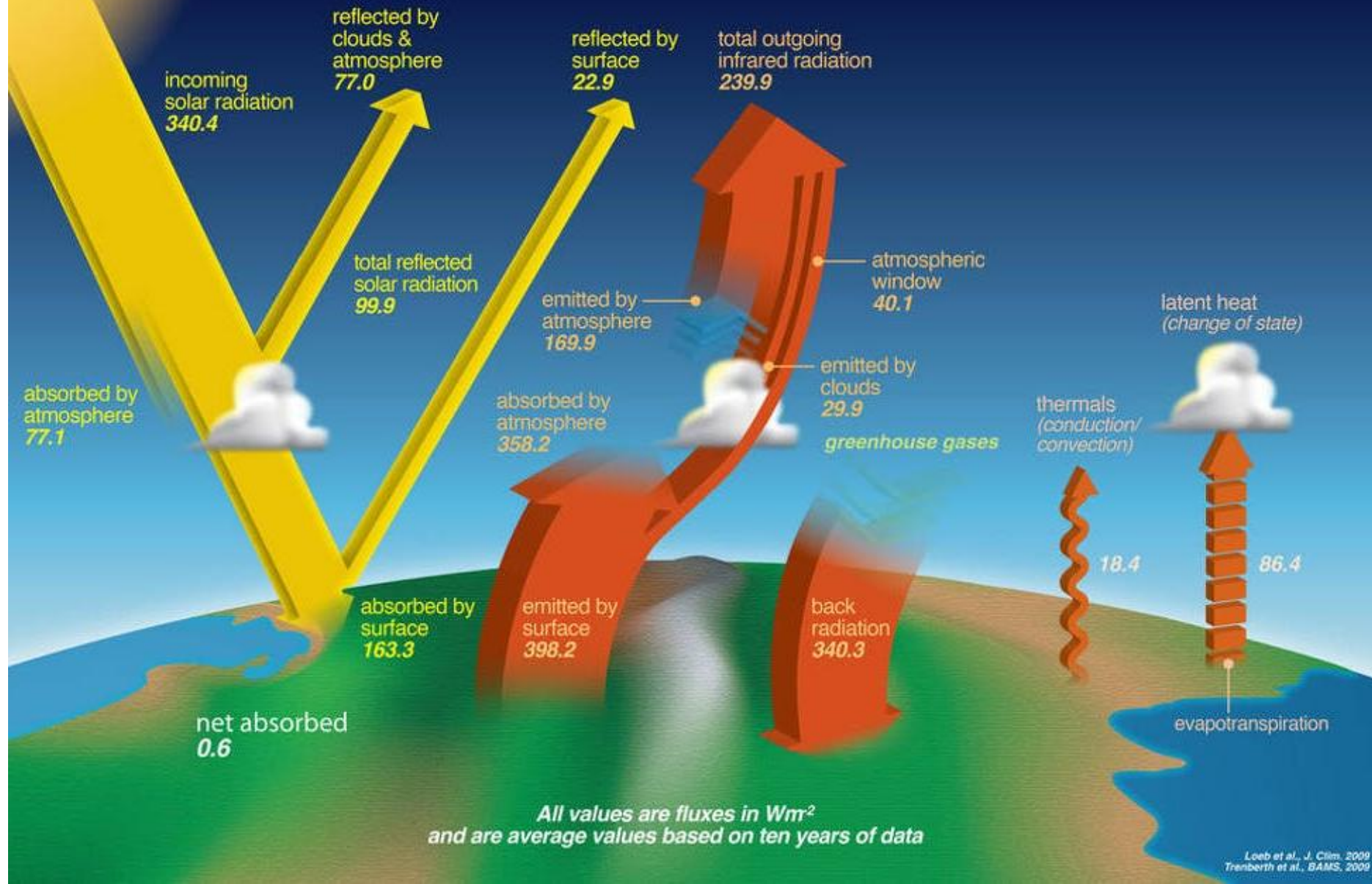
[My new dark red climate stripe for 2024 shows it's the hottest year yet](#)

Cambio climático

La evolución del clima depende de dos tipos de factores:

- **Variaciones forzadas:** respuestas del sistema climático a cambios en forzantes externos:
 - Forzantes astronómicos (energía incidente): irradiancia solar, parámetros orbitales de la Tierra.
 - Forzantes terrestres (energía retenida): variaciones en la composición química de la atmósfera (efecto invernadero), variaciones en el albedo (reflectividad).
- **Variaciones internas:** inestabilidades internas y mecanismos de retroalimentación (interacciones no lineales entre componentes del sistema).

earth's energy *budget*

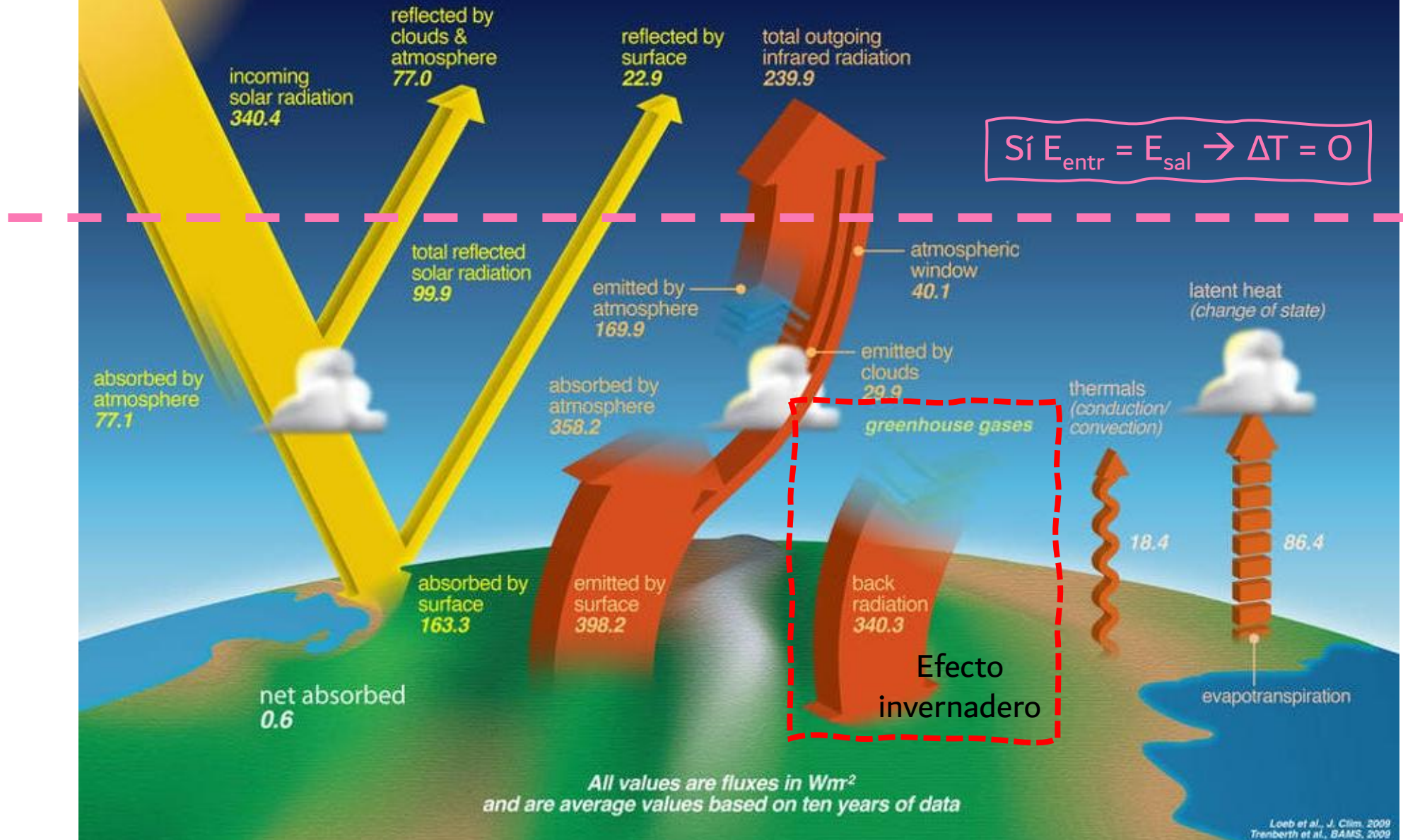


earth's energy *budget*

(+) Energía
entrante

(-) Energía saliente
(reflectividad/albedo)

(-) Energía saliente (radiación IR)

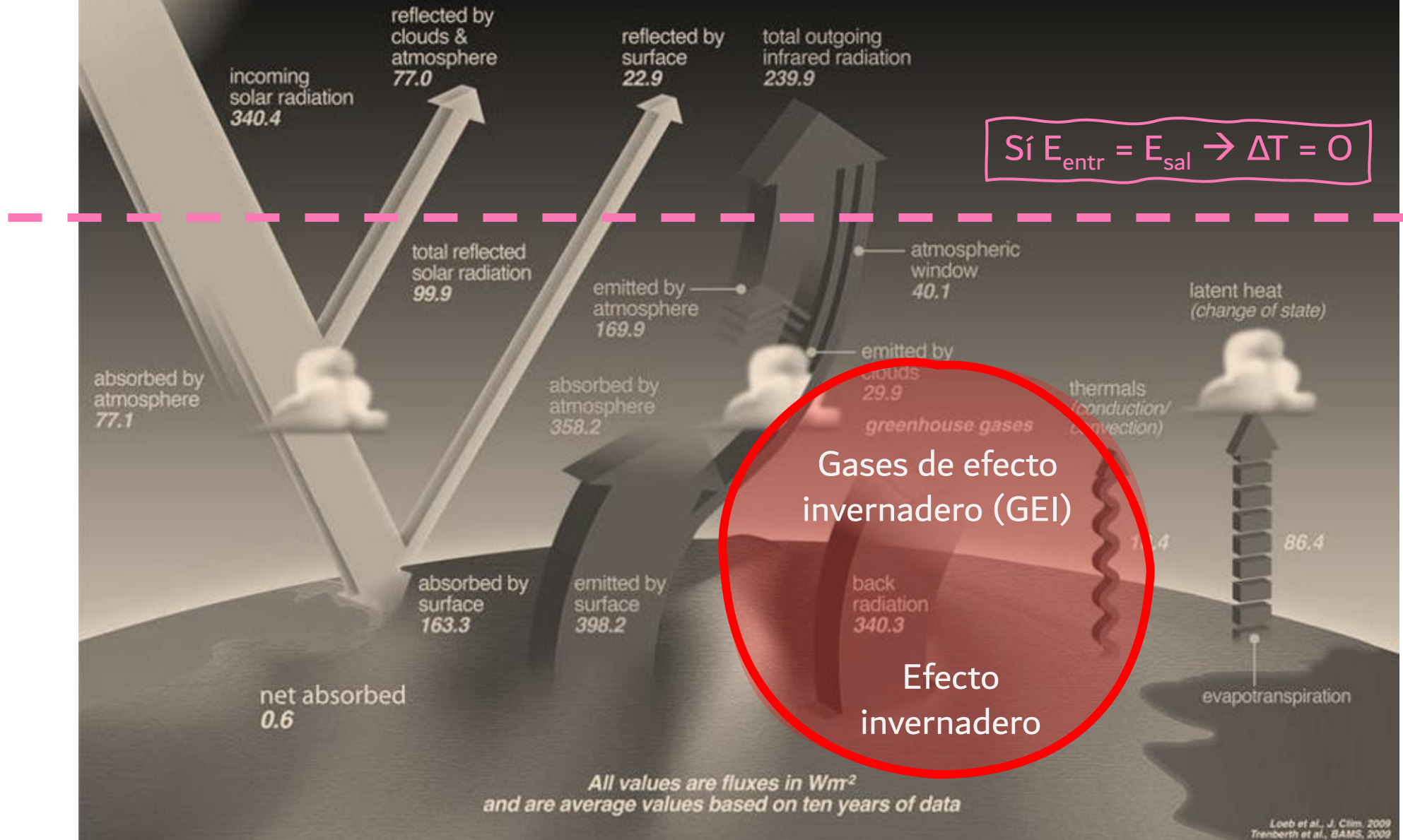


earth's energy *budget*

(+) Energía
entrante

(-) Energía saliente
(reflectividad/albedo)

(-) Energía saliente (radiación IR)



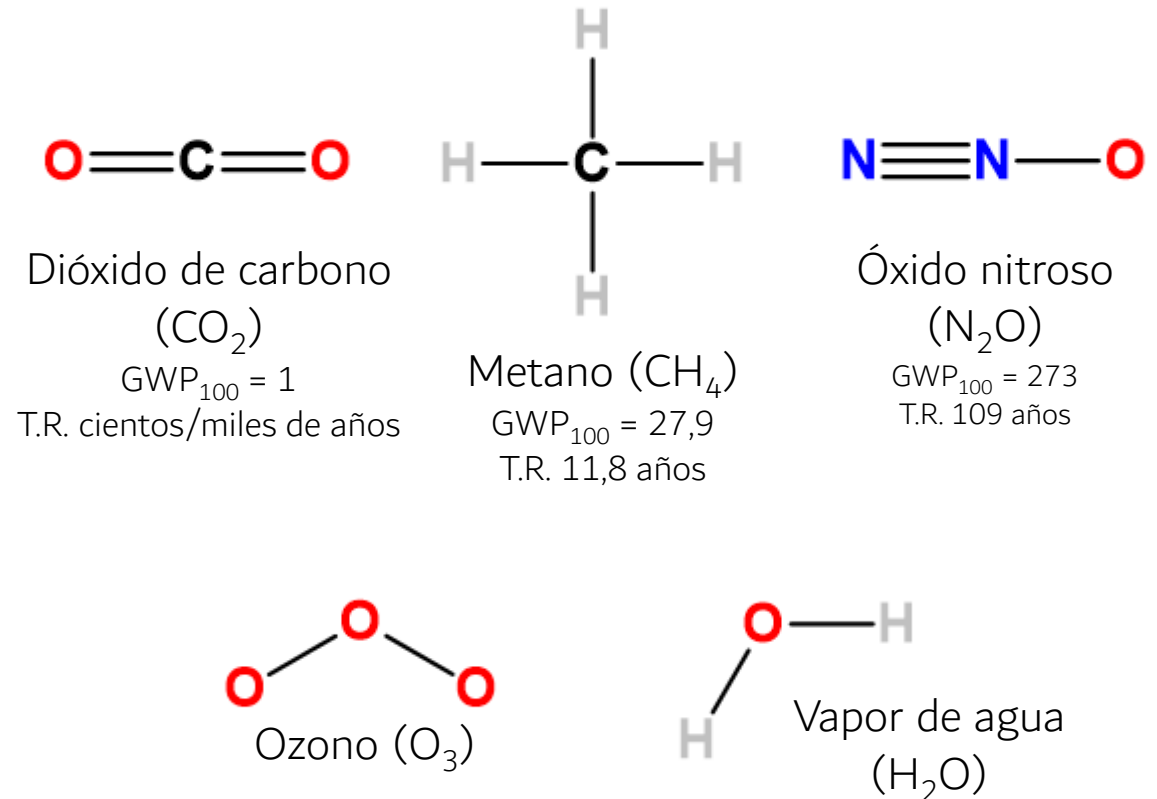
Fuente: NASA
IPCC AR6.
Climate Change:
The Physical
Science Basis.
WGI 2021.

Cambio climático

Los **gases de efecto invernadero** son no interaccionan con la radiación solar incidente (longitud de onda corta [UV/visible]), pero absorben y reemiten parte de la radiación emitida por la superficie de la tierra (longitud de onda larga [infrarrojo]).

Algunos gases son especialmente efectivos como gases de efecto invernadero debido a:

- Su estructura molecular (define longitud de onda/intensidad de la radiación que absorben).
- Su concentración en la atmósfera.
- Su tiempo de residencia en la atmósfera (T.R.).



earth's energy *budget*

(+) Energía
entrante

(-) Energía saliente
(reflectividad/albedo)

(-) Energía saliente (radiación IR)

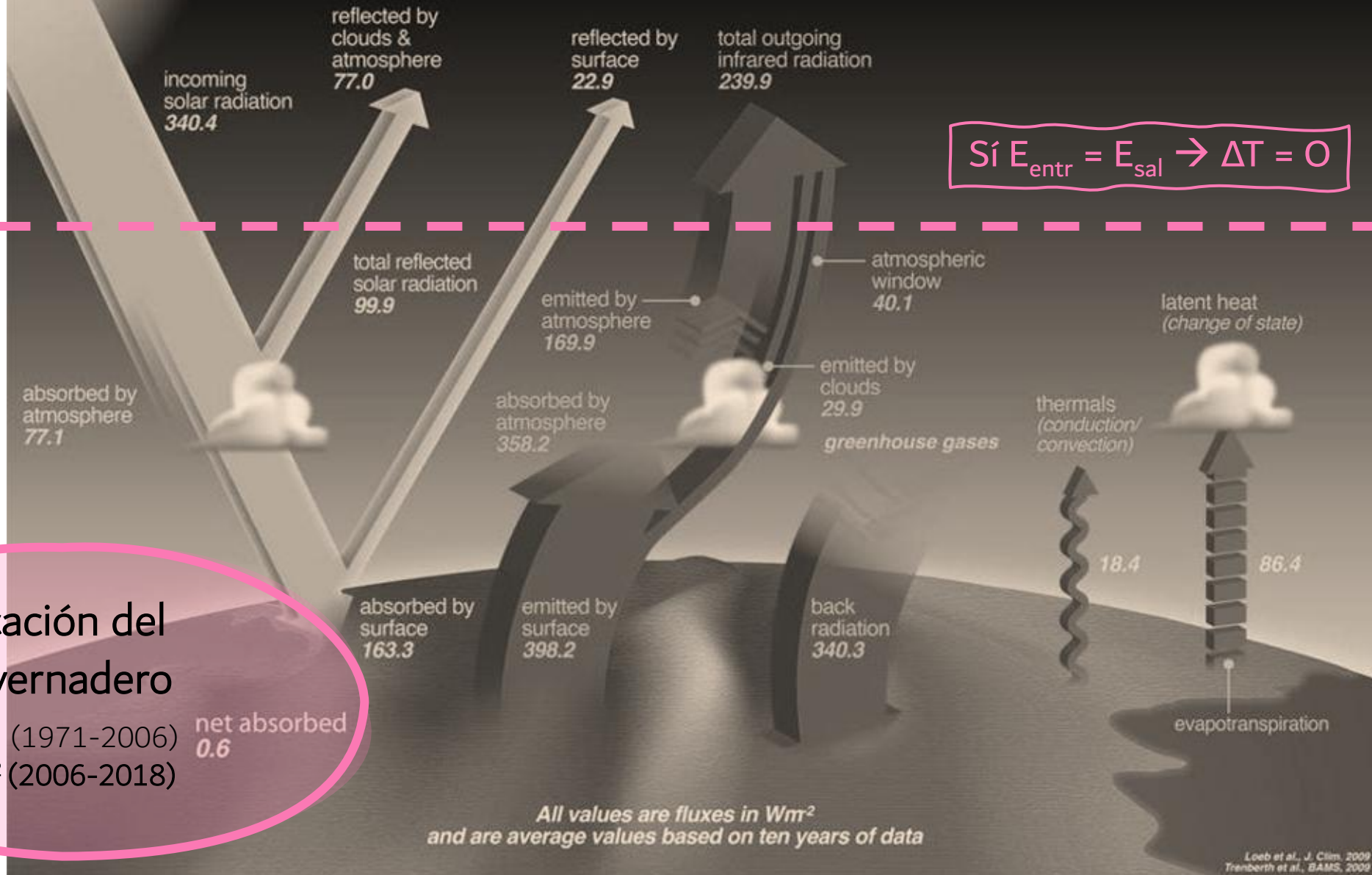
$$\text{Sí } E_{\text{entr}} = E_{\text{sal}} \rightarrow \Delta T = 0$$

Intensificación del efecto invernadero

+0,50 W/m² (1971-2006)

+0,79 W/m² (2006-2018)

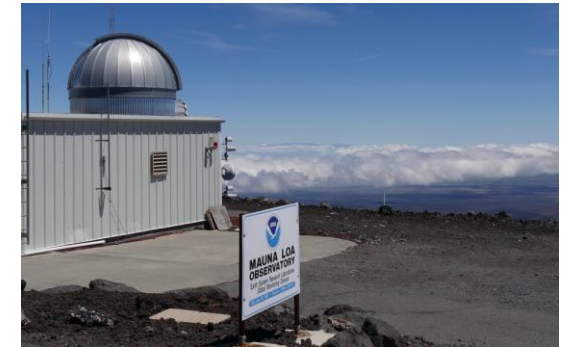
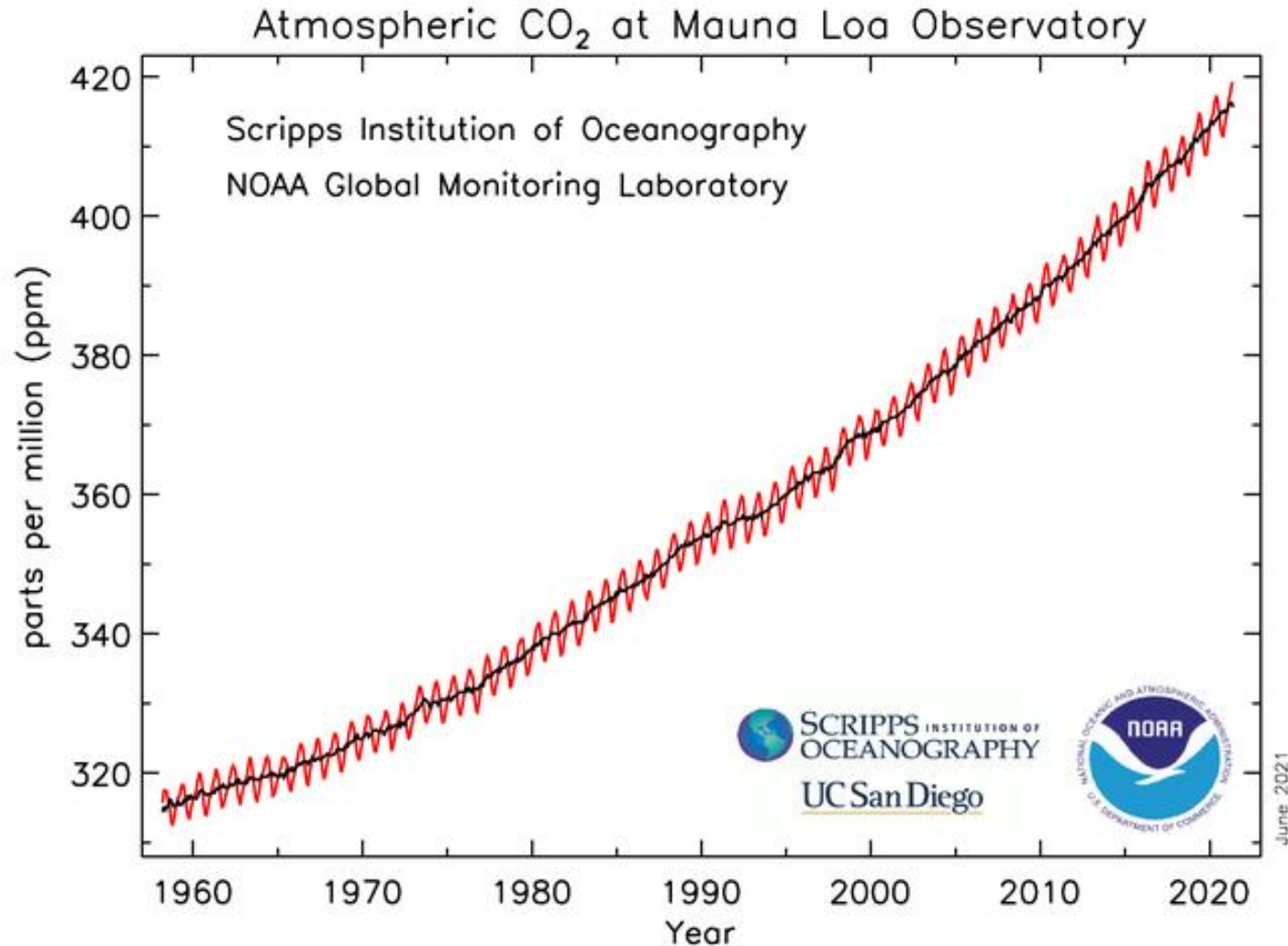
net absorbed
0.6



Fuente: NASA
IPCC AR6.
Climate Change:
The Physical
Science Basis.
WGI 2021.

¿Por qué se ha intensificado el efecto invernadero?

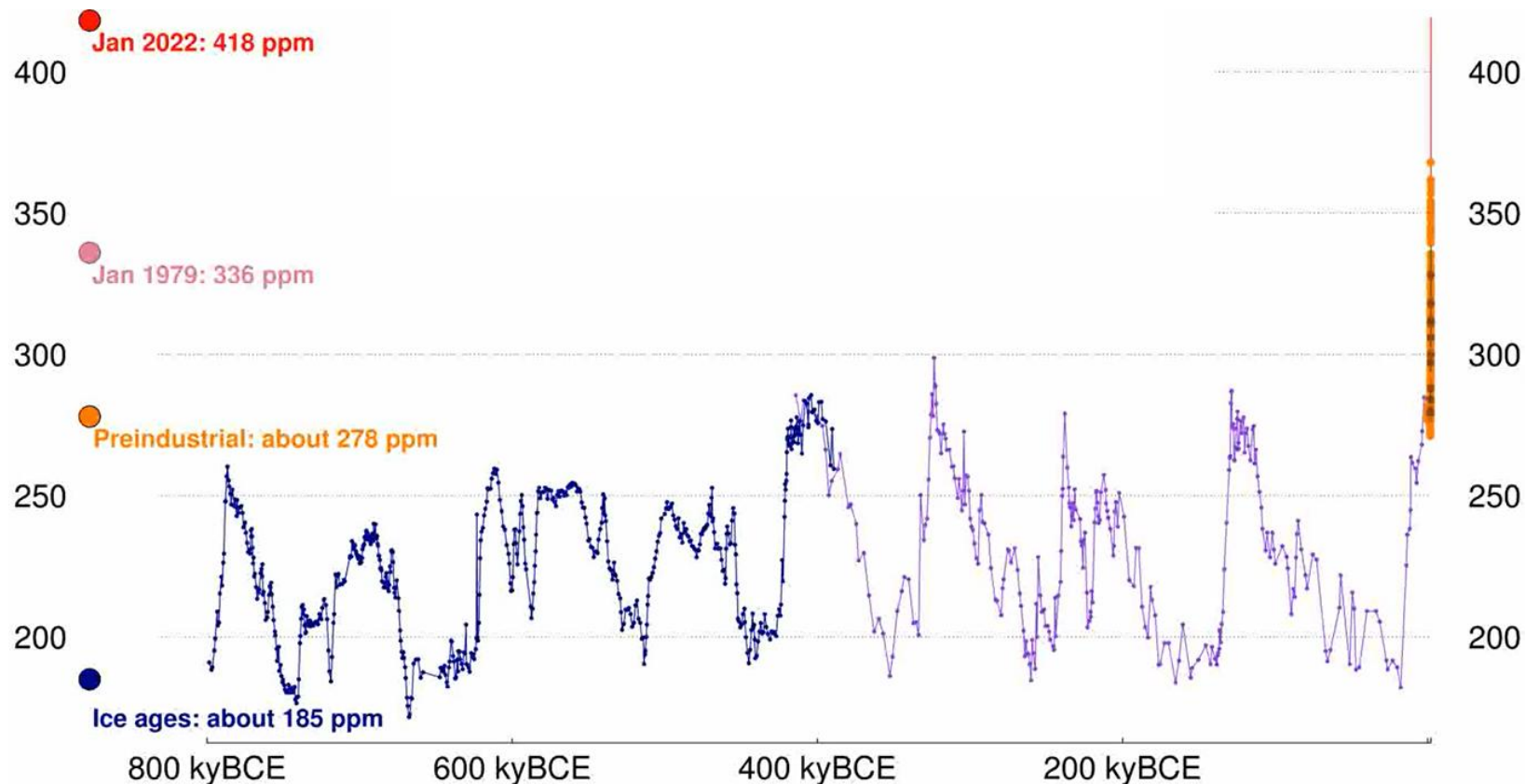
Intensificación del efecto invernadero



Oceanic and Atmospheric
Research – NOAA research.

Intensificación del efecto invernadero

¿Por qué se ha intensificado el efecto invernadero?



La concentración atmosférica de CO₂ es la más alta en al menos 2 millones de años

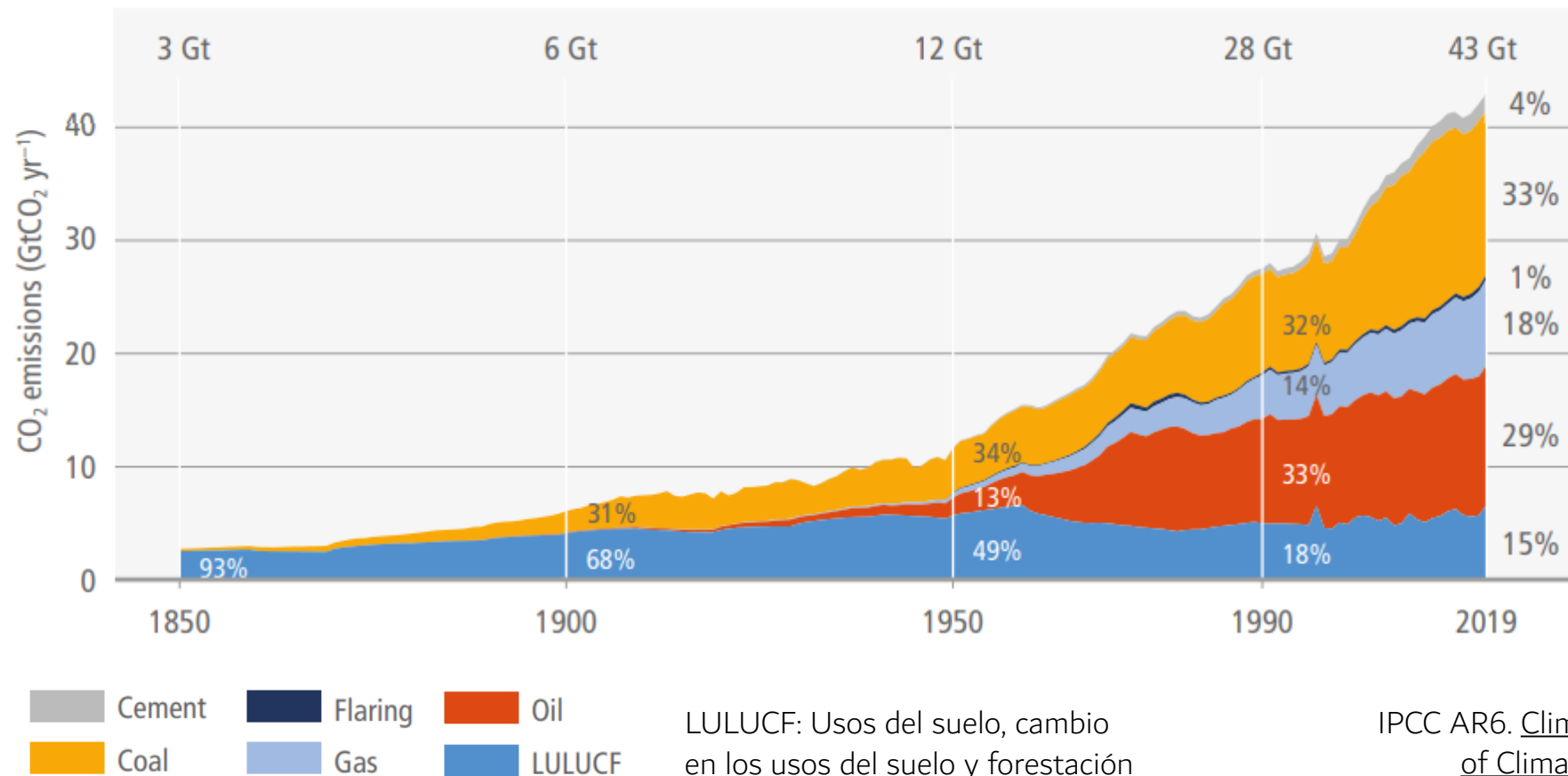
2,5 millones de años

Evolución del género *Homo* en África: *Homo habilis*

Intensificación del efecto invernadero

¿Por qué se ha intensificado el efecto invernadero?

Emisiones de CO₂ por fuente 1850-2019

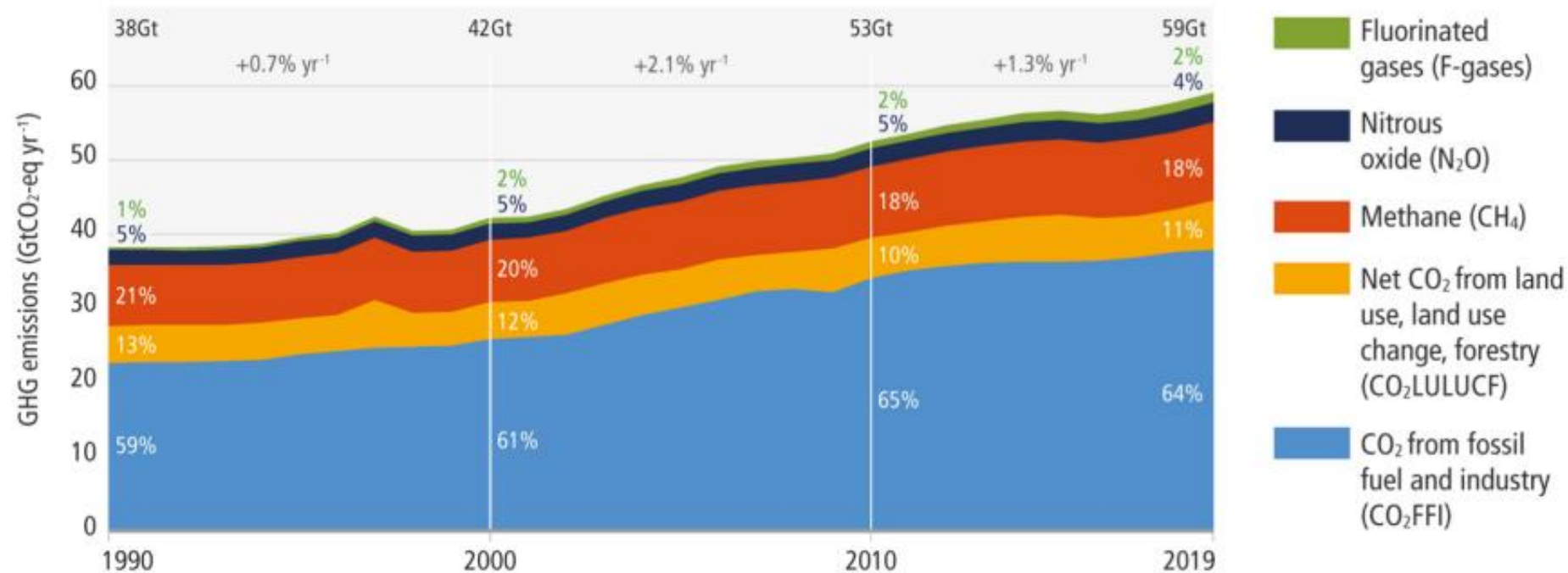


IPCC AR6. [Climate Change: Mitigation of Climate Change](#). WGIII 2022.

Intensificación del efecto invernadero

¿Por qué se ha intensificado el efecto invernadero?

Emisiones de los principales gases de efecto invernadero 1990-2019



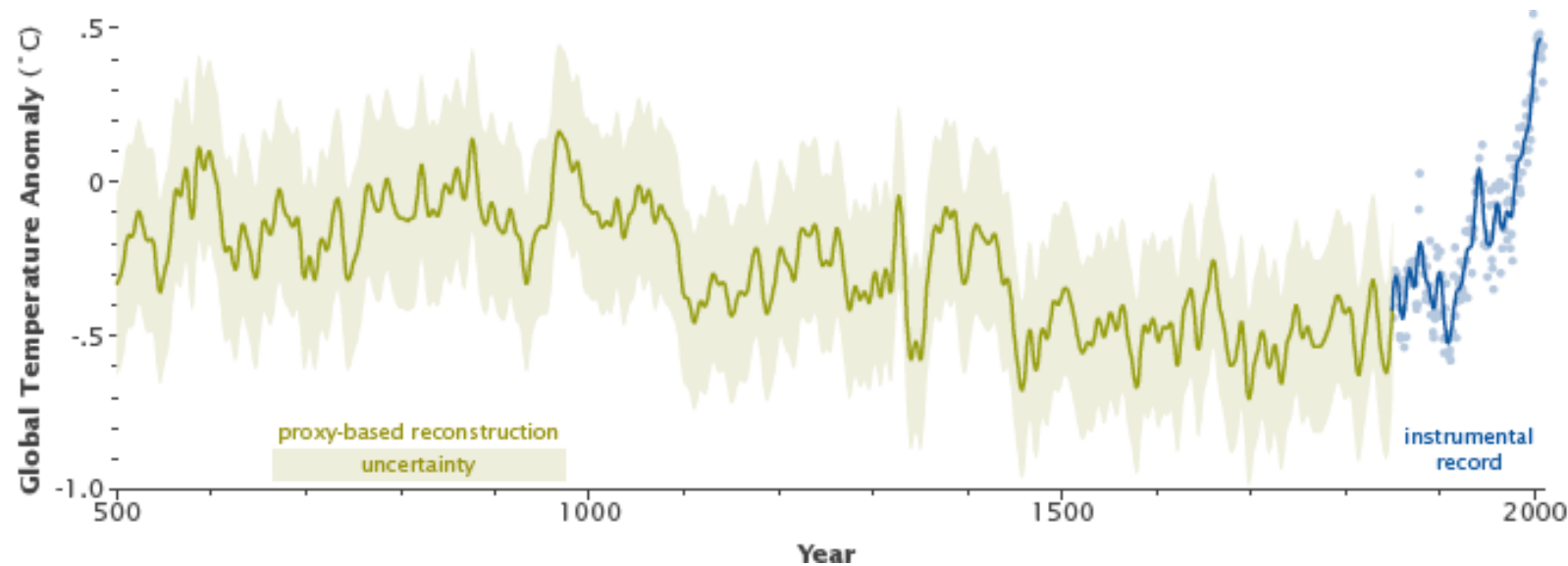
Las emisiones de origen humano han aumentado para todos los principales gases de efecto invernadero entre 1990 y 2019

Calentamiento global

La intensificación del efecto invernadero (forzante climático) genera una acumulación de energía en el sistema climático y en consecuencia, un aumento de la **temperatura** media global en superficie: **calentamiento global** →

Temperatura

Magnitud que expresa la energía interna de un sistema termodinámico



La temperatura media global en el período 2001-2020 fue $0,99^{\circ}\text{C}$ [$0,84$ - $1,10$] $^{\circ}\text{C}$ superior a la de 1850-1900.

La temperatura media global en el período 2011-2020 fue $1,09^{\circ}\text{C}$ [$0,95$ a $1,20$] $^{\circ}\text{C}$ superior a la de 1850-1900

Calentamiento global

El clima tiene variabilidad en todas las escalas temporales, desde segundos hasta millones de años. Entonces, ¿el calentamiento global podría responder a la variabilidad climática natural?

El “cambio climático” en su acepción común refiere al cambio en el clima global como consecuencia de las actividades humanas

Su estudio consta de dos pasos:

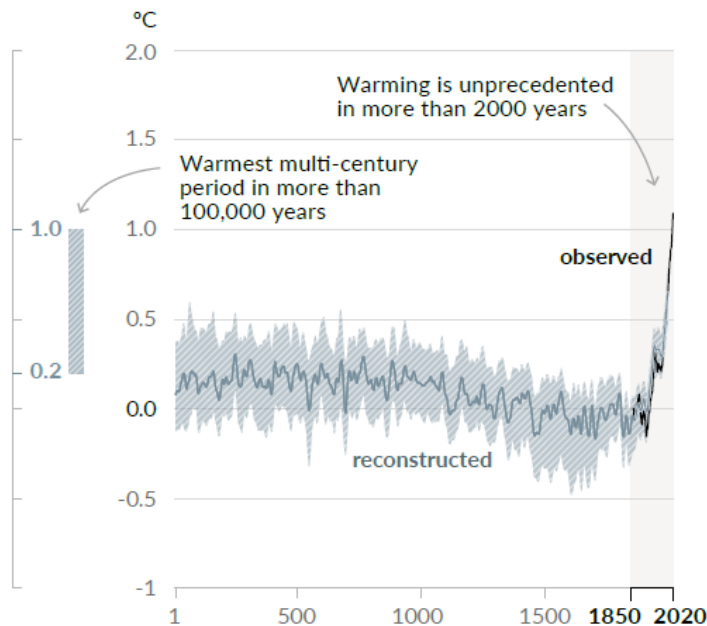
- **Detección:** detectar cambios en períodos largos (series temporales largas de observaciones, teoría, modelos numéricos, proxies).
- **Atribución:** demostrar que el cambio detectado no es parte de la variabilidad.

Calentamiento global

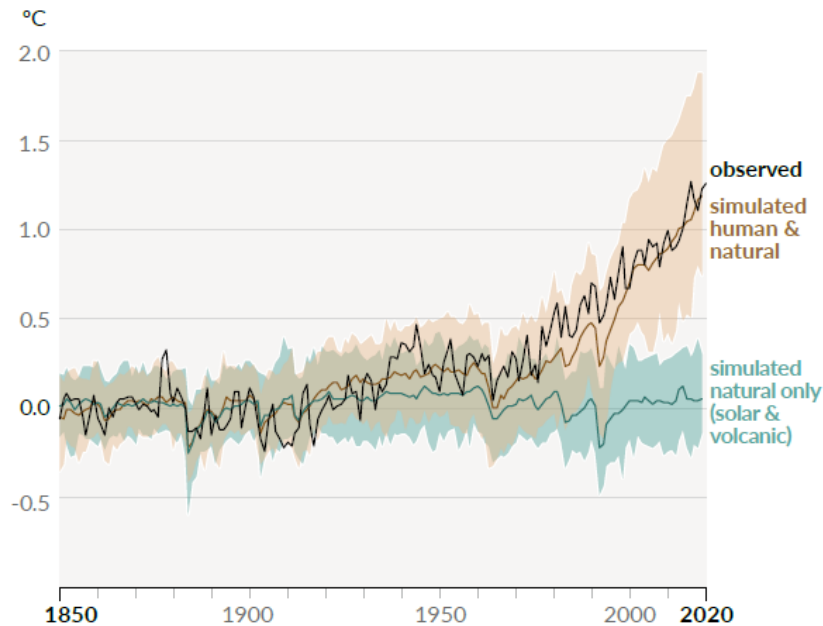
¿el calentamiento global podría responder a la variabilidad climática natural?

Changes in global surface temperature relative to 1850-1900

a) Change in global surface temperature (decadal average) as reconstructed (1-2000) and observed (1850-2020)



b) Change in global surface temperature (annual average) as observed and simulated using human & natural and only natural factors (both 1850-2020)

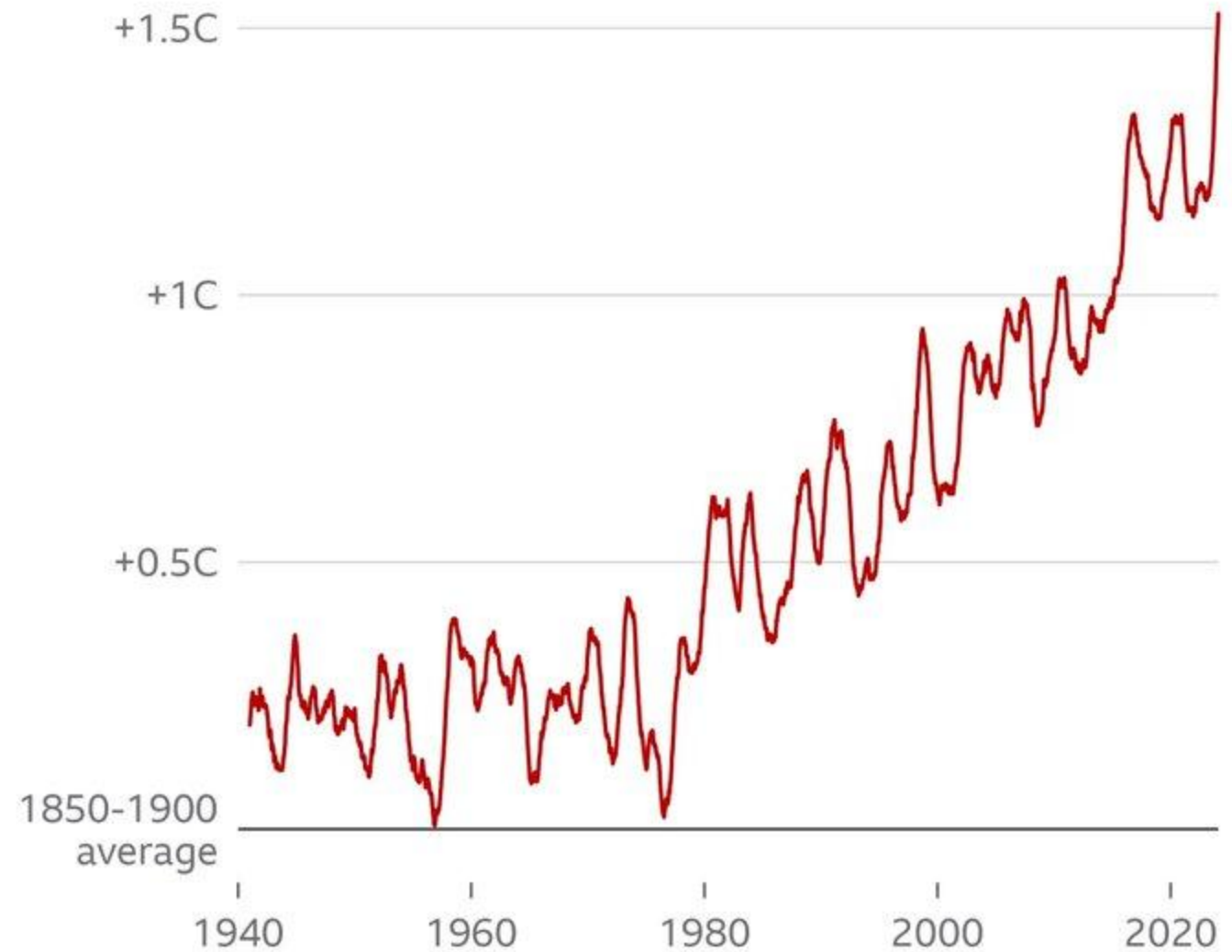


“Es **inequívoco** que la influencia humana ha calentado la atmósfera, los océanos y la superficie terrestre”

En el año 2021 el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) entendió que la evidencia acumulada era suficiente para afirmar la influencia inequívoca de las actividades humanas en el aumento de temperatura.

Temperature rises pass 1.5C for full year

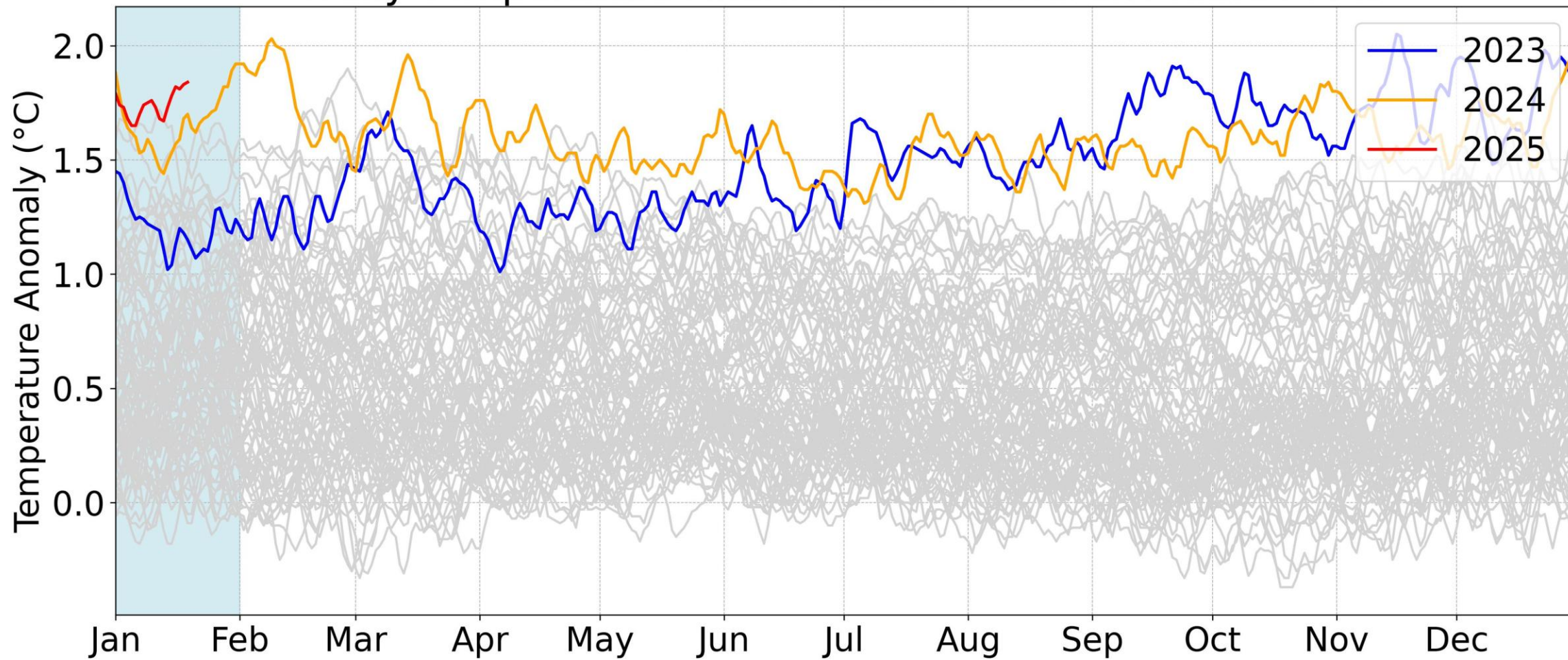
Average global air temperature compared with pre-industrial levels, running average of 365 days



Source: ERA5, C3S/ECMWF

BBC

Daily Temperature Anomalies for Different Years ERA5





Celeste Saulo • Siguiendo

Secretary-General of the World Meteorological Organization

4 días •



The world just had the warmest January on record.

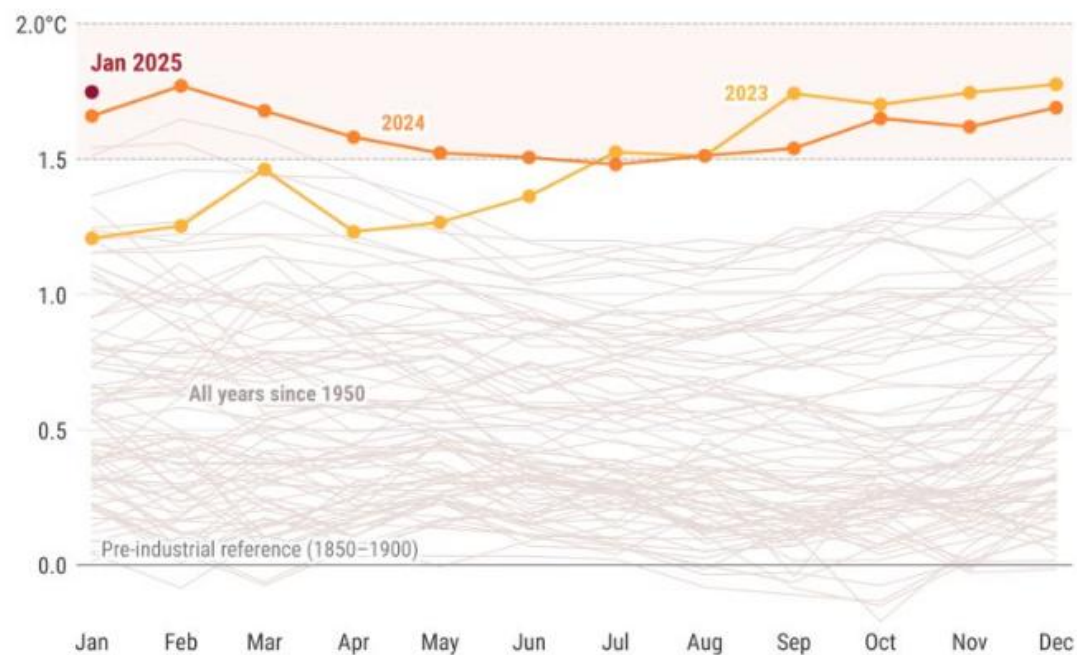
January 2025 was 1.75°C above the pre-industrial level (1850-1900), according to [Copernicus ECMWF](#).

This is despite the emergence of a [#LaNiña](#) which has (or is meant to have) a temporary cooling effect.



Monthly global surface air temperature anomalies

Data source: ERA5 • Reference period: pre-industrial (1850–1900) • Credit: C3S/ECMWF

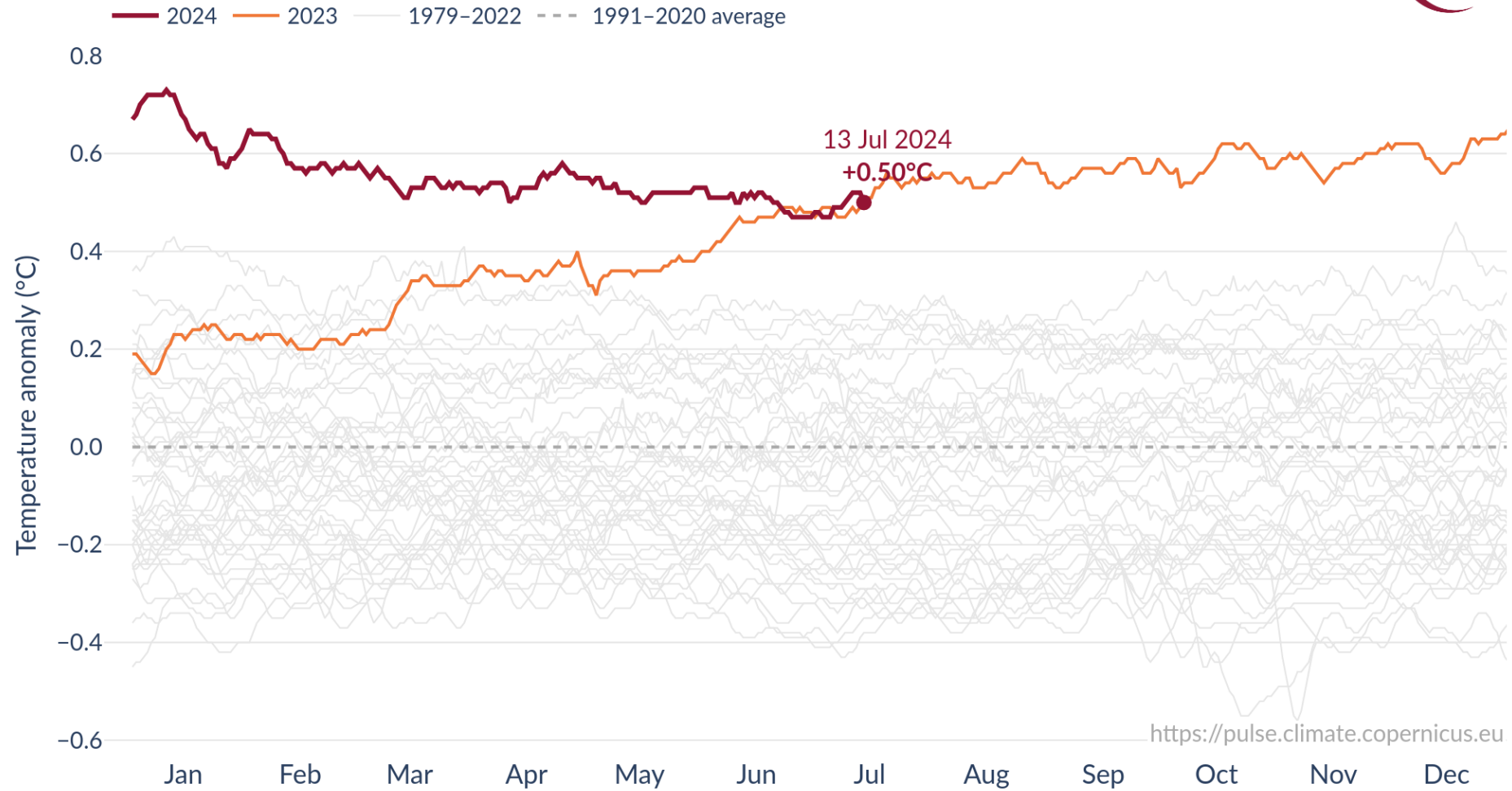


PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



Daily sea surface temperature anomaly for 60°S–60°N

Data: ERA5 1979–2024 • Reference period: 1991–2020 • Credit: C3S/ECMWF



PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION

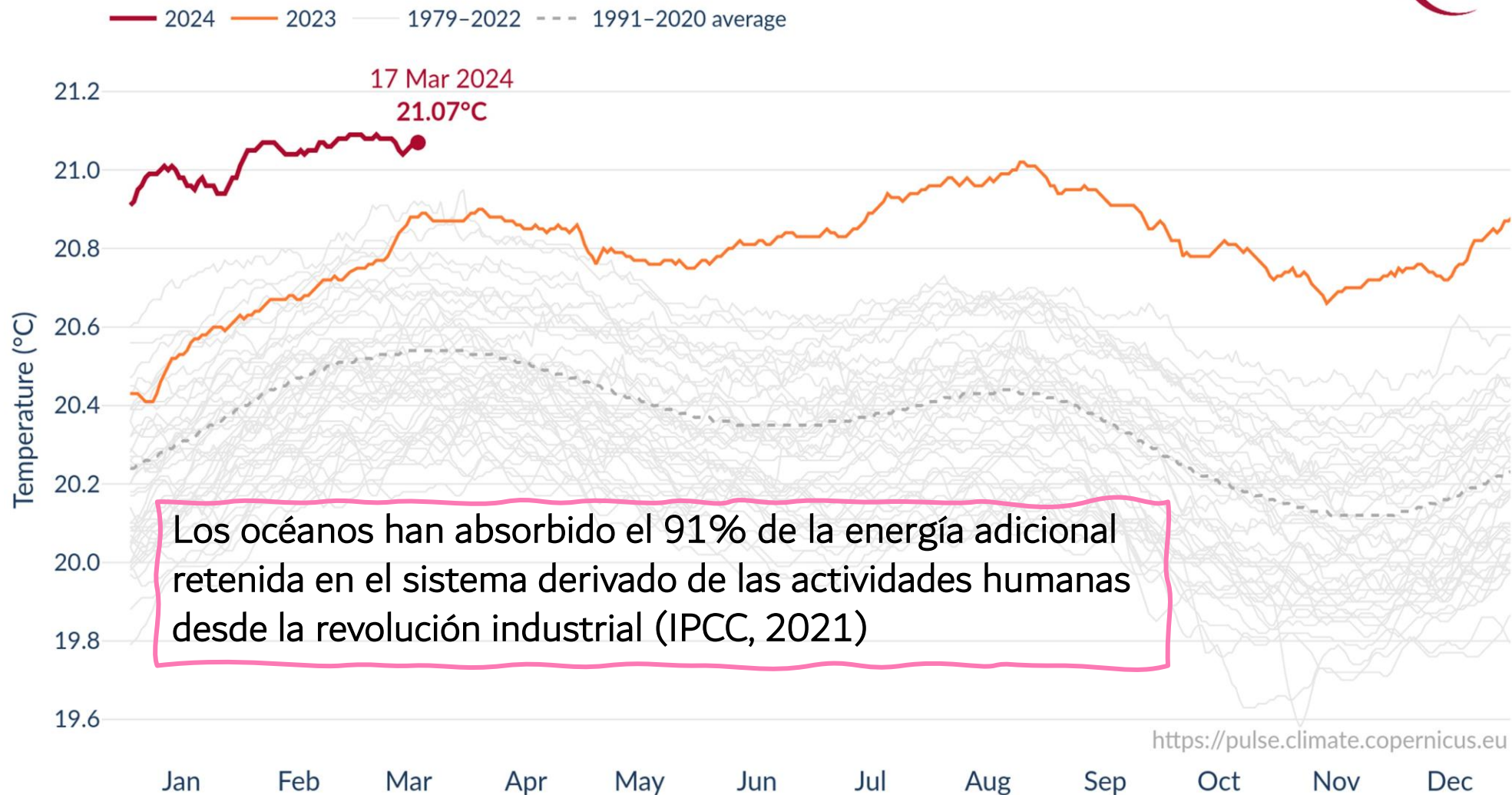


IMPLEMENTED BY
ECMWF



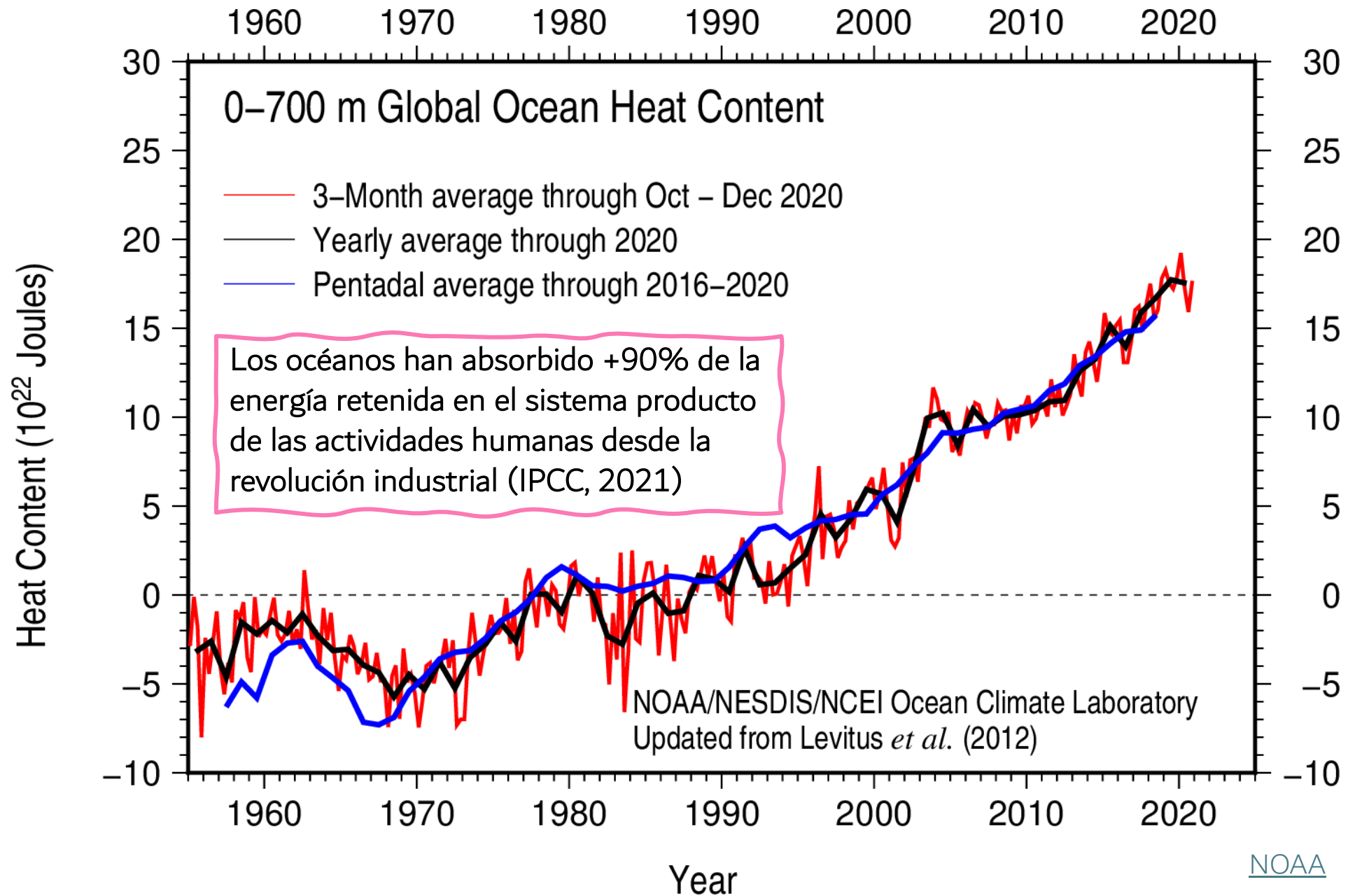
Daily sea surface temperature for 60°S–60°N

Data: ERA5 1979–2024 • Credit: C3S/ECMWF



PROGRAMME OF THE
EUROPEAN UNION

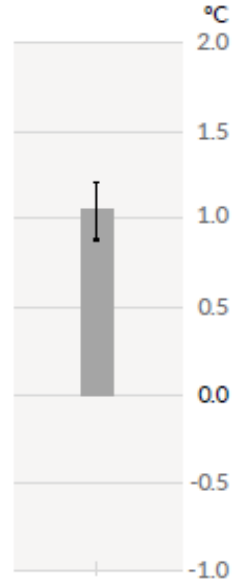




Calentamiento global

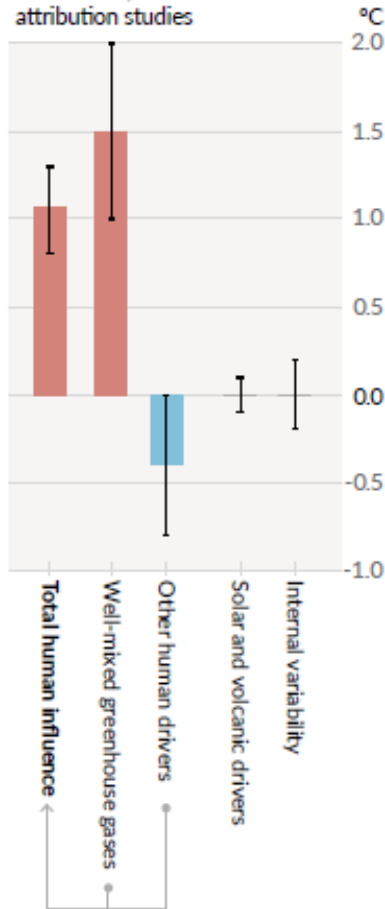
Observed warming

a) Observed warming 2010-2019 relative to 1850-1900

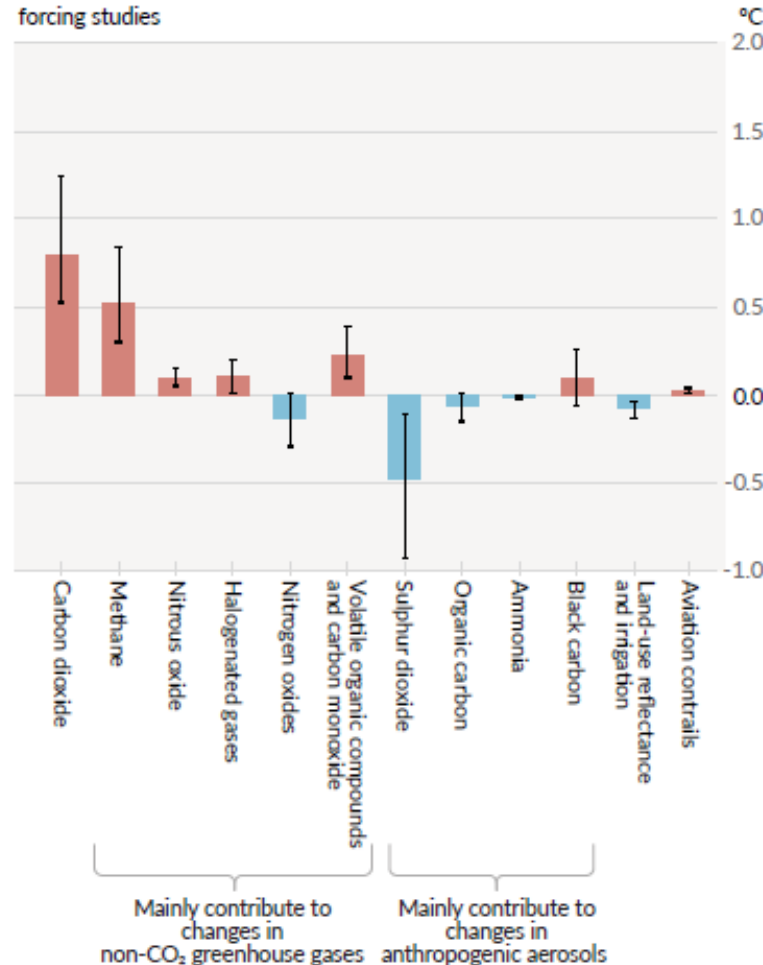


Contributions to warming based on two complementary approaches

b) Aggregated contributions to 2010-2019 warming relative to 1850-1900, assessed from attribution studies



c) Contributions to 2010-2019 warming relative to 1850-1900, assessed from radiative forcing studies



“El calentamiento observado es impulsado por actividades humanas, con el calentamiento derivado de los gases de efecto invernadero parcialmente enmascarados por el efecto de enfriamiento de los aerosoles”

Calentamiento global

- Atmósfera más cálida:
 - Eventos de precipitación extrema más frecuentes e intensos
 - Eventos de calor extremo más frecuentes e intensos
- Océanos más cálidos:
 - Aumento del nivel del mar
 - Eventos de calor extremo más frecuentes e intensos
- Derretimiento de casquetes polares y hielos continentales
- Cambios en la circulación atmosférica y oceánica: cambios en los climas a nivel global
- Cambios en los ecosistémicas (¿sensibilidad de los ecosistemas?)

Cambio climático

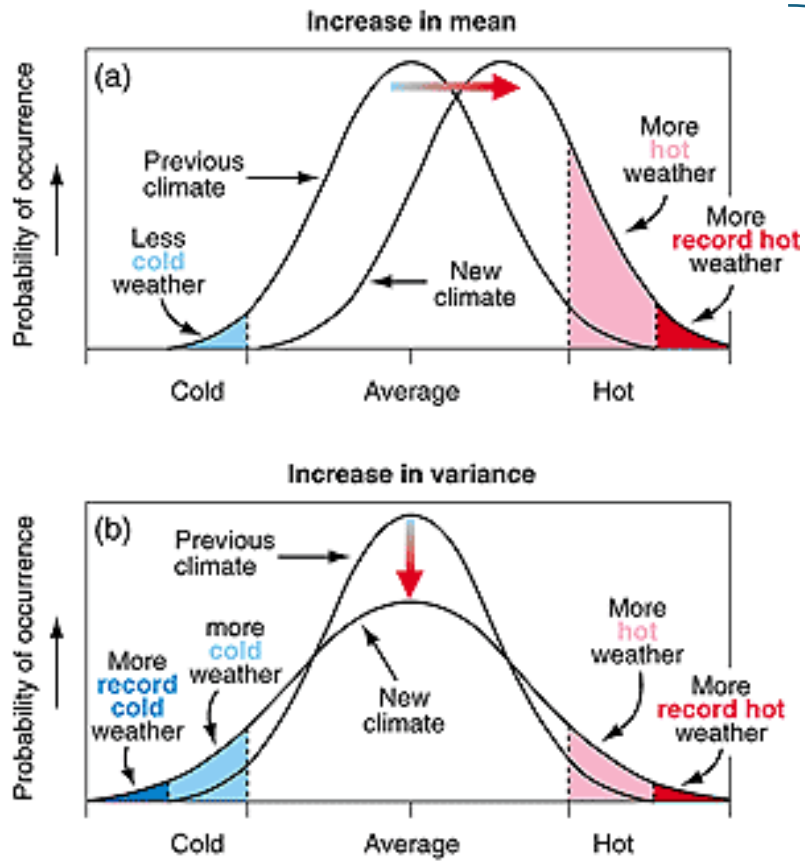
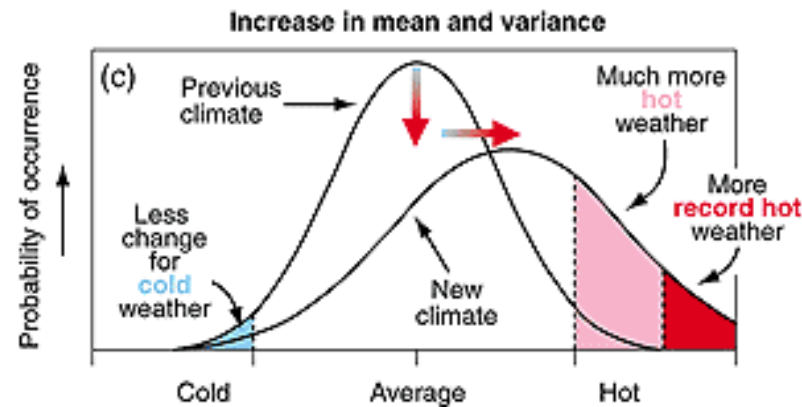


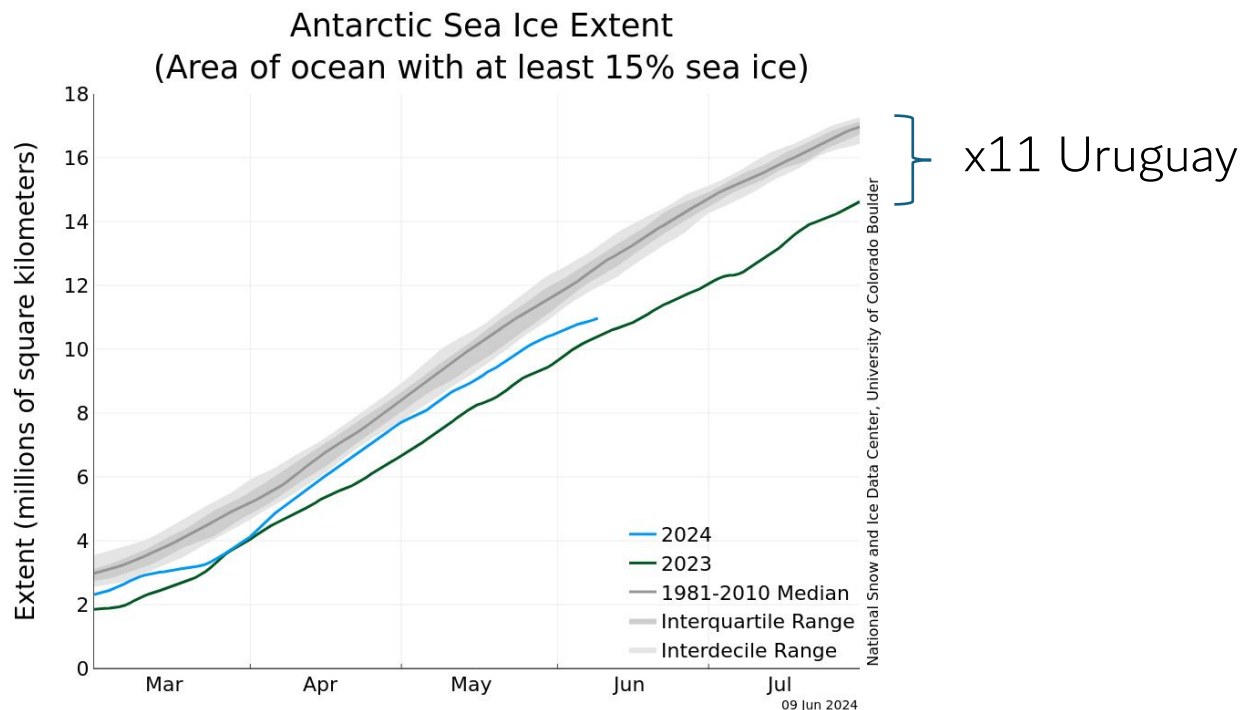
Imagen: [IPCC](#).

Los cambios en el sistema climático se manifiestan en **cambios del clima en todo el planeta** (evolución de valores medios y variabilidad; frecuencia e intensidad de eventos extremos)

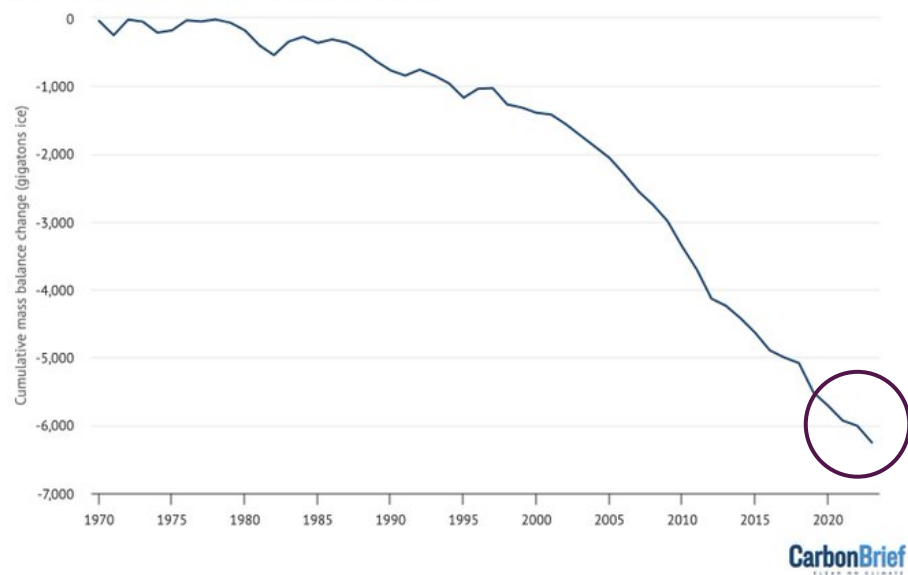


¿Aumenta la temperatura?
¿Llueve más? ¿Llueve menos?
¿hay mayores probabilidades
de olas de calor? ¿de sequías?

Los fenómenos físicos que explican el clima en regiones específicas son múltiples, de diversa escala e interaccionan de forma compleja, por lo que las variaciones del clima son difíciles de generalizar

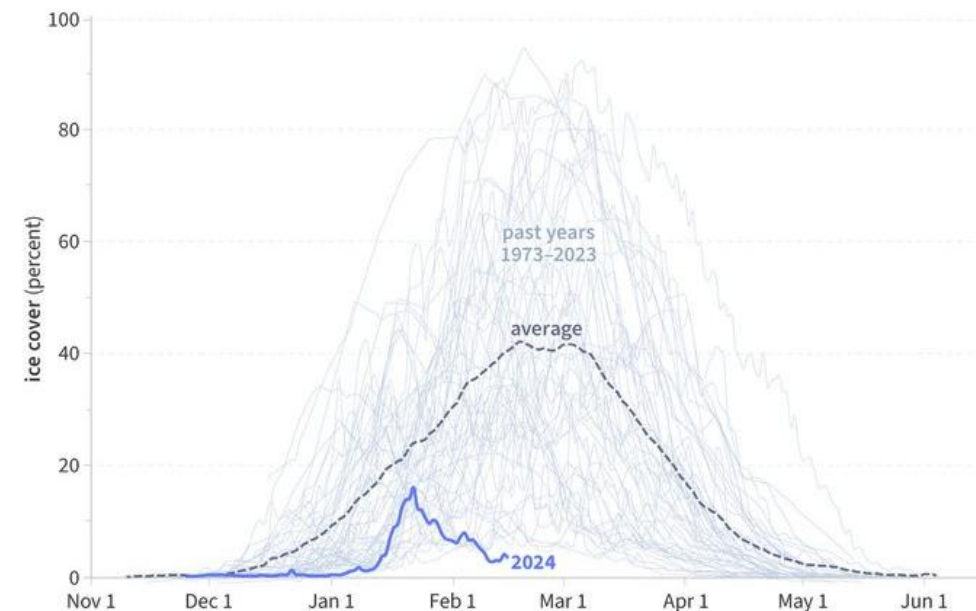


Greenland ice sheet mass balance, 1970-2023



Great Lakes ice coverage

2023-24 season to date (February 15)

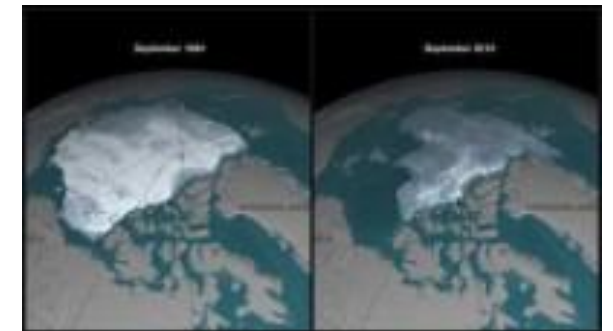
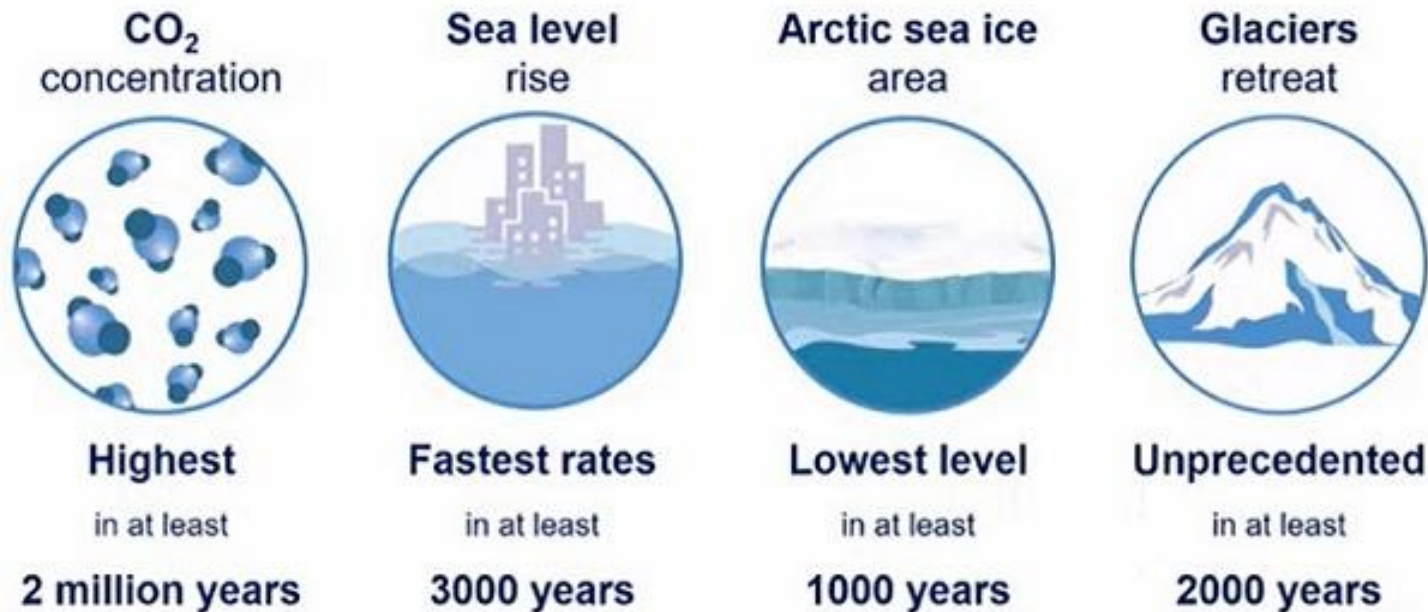


NOAA Climate.gov
Data: NOAA Coastwatch

La superficie de Uruguay cubierta por una masa de hielo de 37 m de alto (Edificio de 12 pisos) o la superficie de Argentina cubierta por una masa de hielo de 2,5 m de alto (alto de una habitación)

Cambio climático

Algunos números que surgen del último informe del IPCC (2022)



Desaparición del hielo ártico
NASA

Cambio climático

Retroceso de glaciares: Glaciar Bear. Kenai Fjords National Park, Alaska



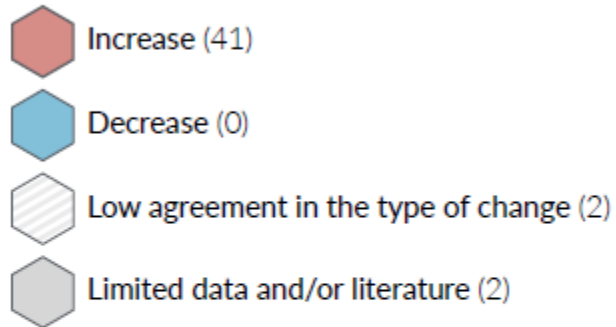
National Park Service. U.S. Department of the Interior



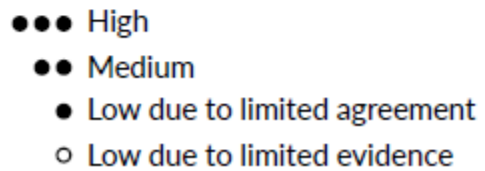
Cambio climático

Algunas manifestaciones del cambio climático

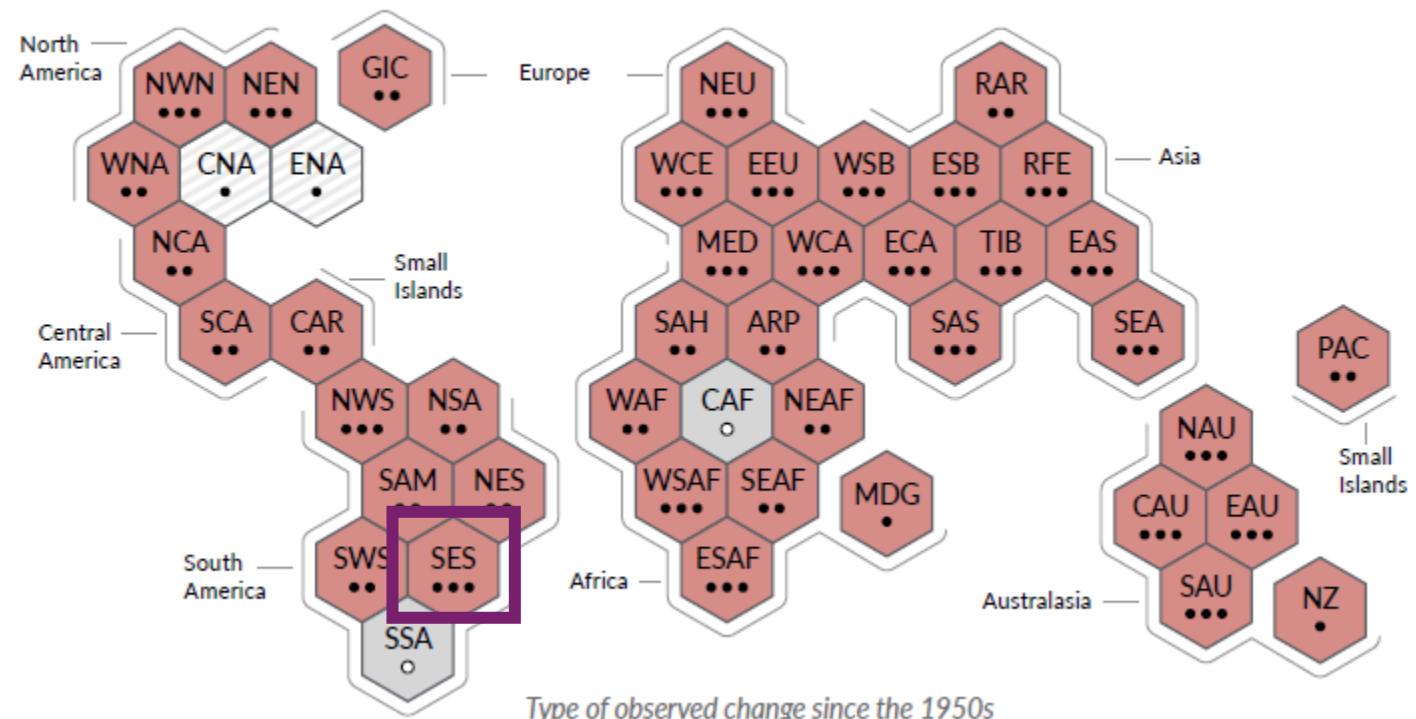
Type of observed change
in hot extremes



Confidence in human contribution
to the observed change



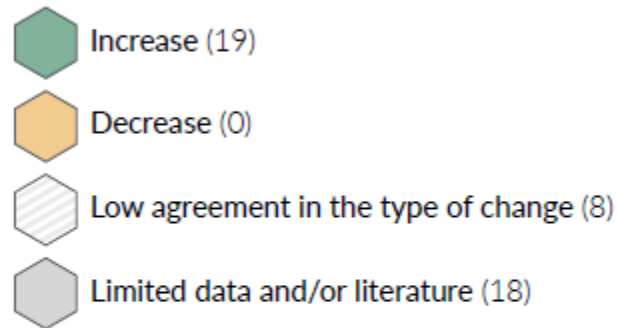
a) Synthesis of assessment of observed change in **hot extremes** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions



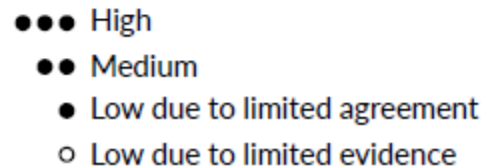
Cambio climático

Algunas manifestaciones del cambio climático

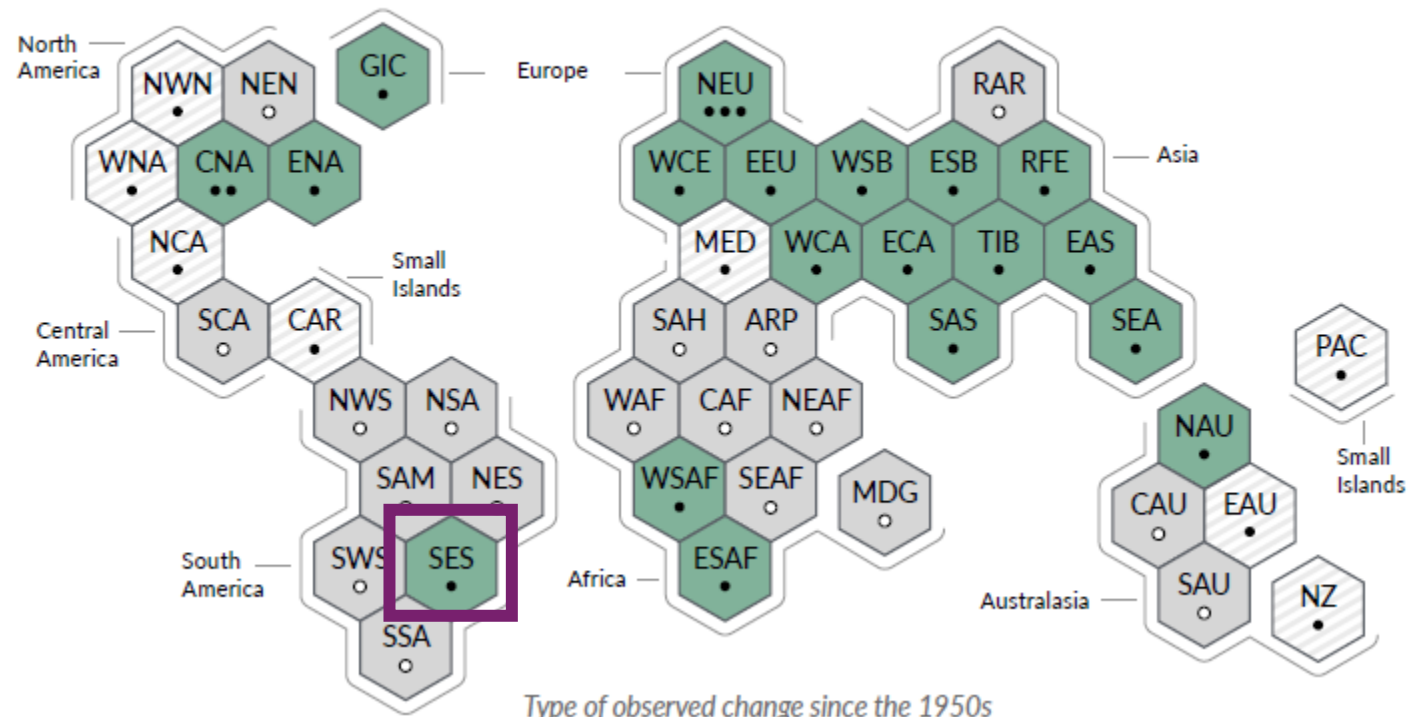
Type of observed change
in heavy precipitation



Confidence in human contribution
to the observed change

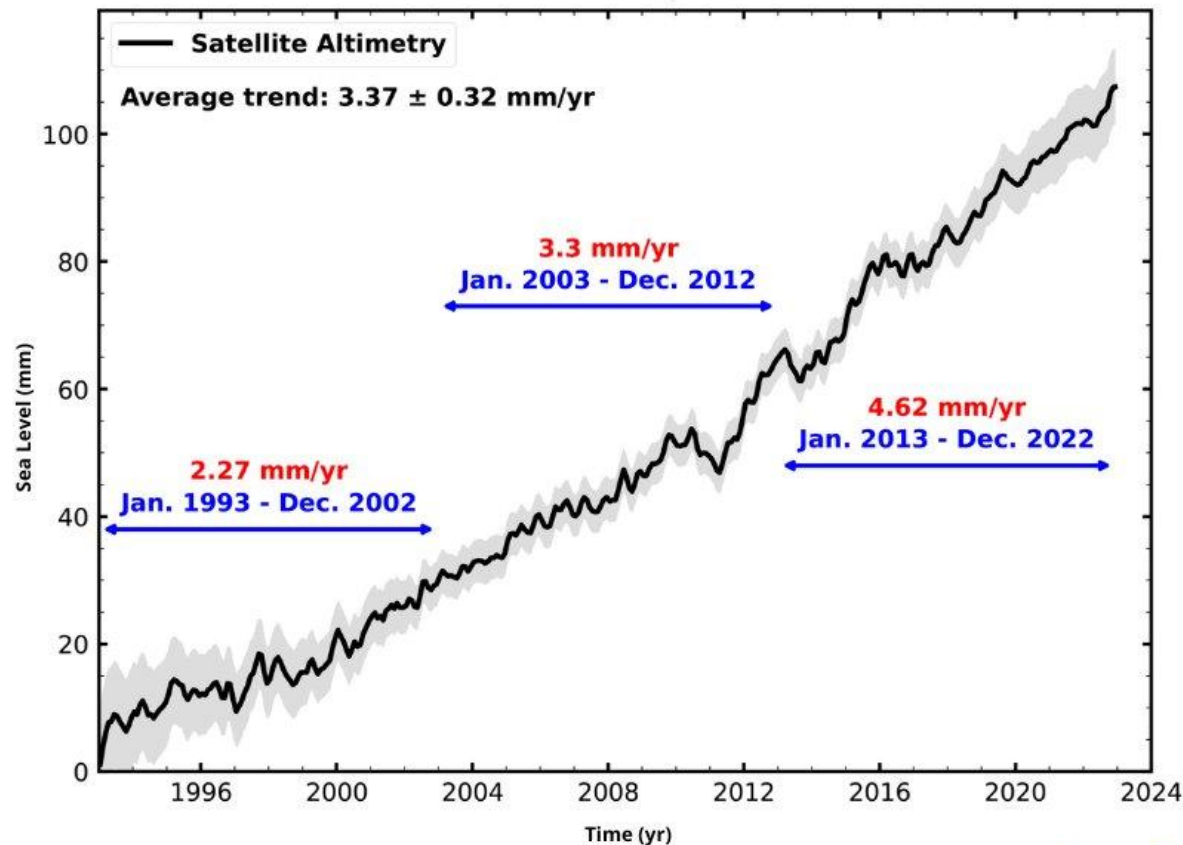


b) Synthesis of assessment of observed change in **heavy precipitation** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions



Cambio climático

Global Mean Sea Level

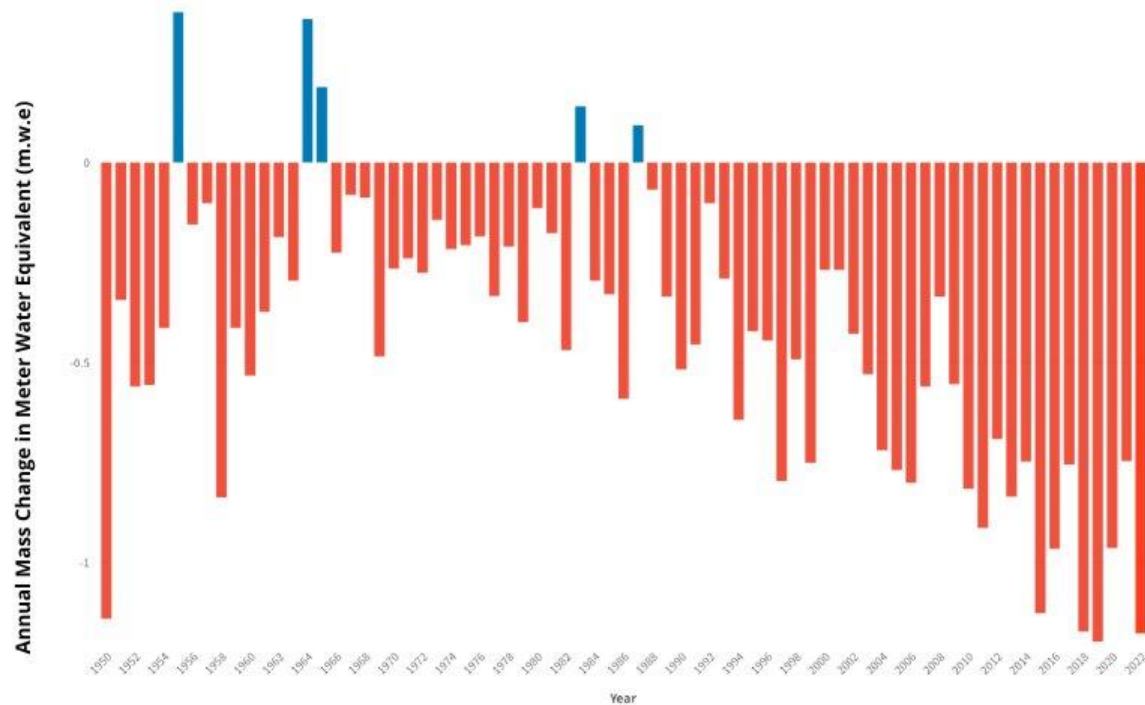


Informe del estado del clima global 2022;
Organización Mundial de Meteorología

El aumento del nivel del mar se está acelerando y el calor del océano está aumentando, y esta tendencia continuará durante muchos siglos.

Cambio climático

Global Annual Mass Change of Reference Glaciers 1950-2022



Source: [World Glacier Monitoring Service \(WGMS\)](#)

Informe del estado del clima global 2022;
Organización Mundial de Meteorología

Europa batió récords de derretimiento de glaciares en 2022. Suiza perdió el 6% del volumen de hielo de los glaciares en solo un año.

Cambio climático

“Human-induced climate change is already affecting many weather and climate extremes in every region across the globe. Evidence of **observed changes in extremes such as heatwaves, heavy precipitation, droughts, and tropical cyclones**, and, in particular, their attribution to human influence, has strengthened since the Fifth Assessment Report”

Los impactos del cambio climático se manifiestan cada vez más severa y frecuentemente



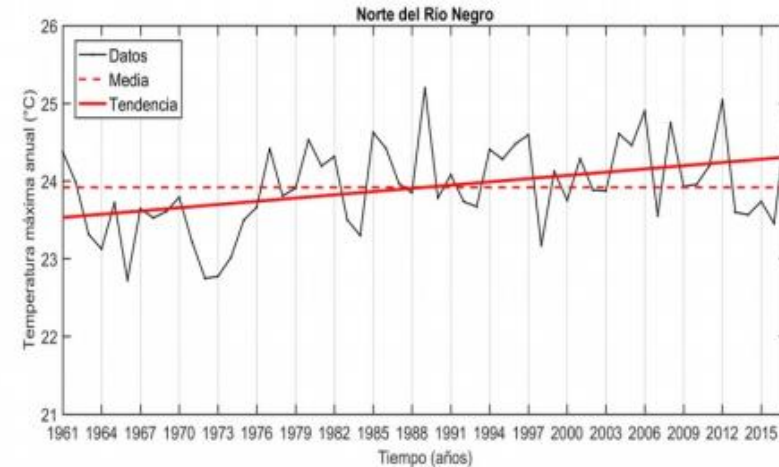
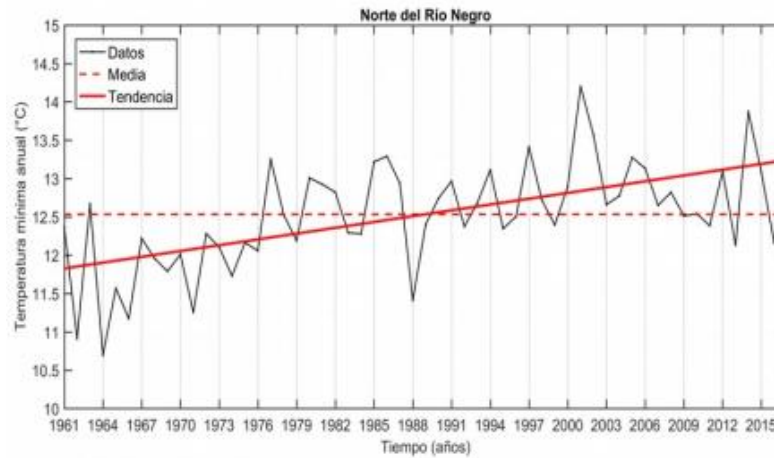
Cambio climático

Tendencias en Uruguay – temperatura (1961-2015)

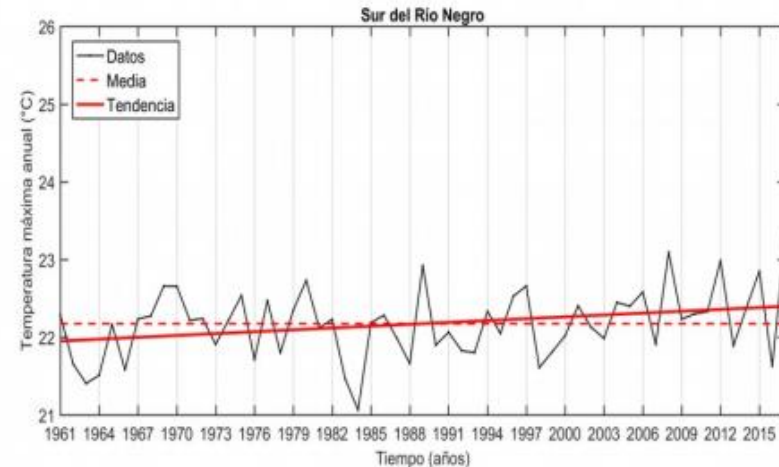
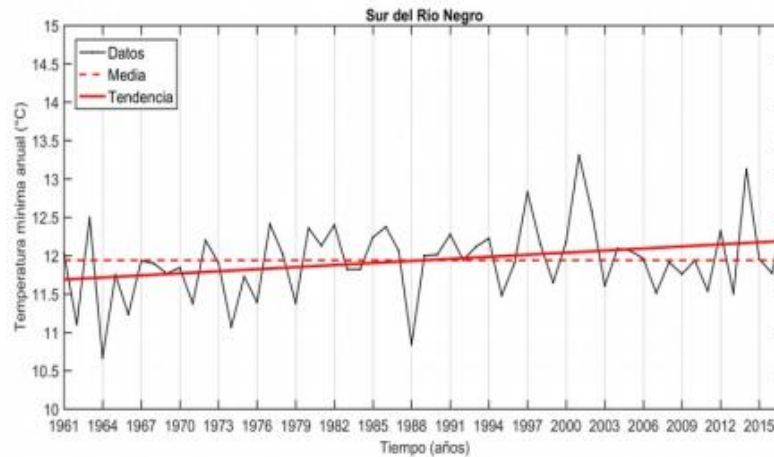
Mínima media anual

Máxima media anual

Norte RN

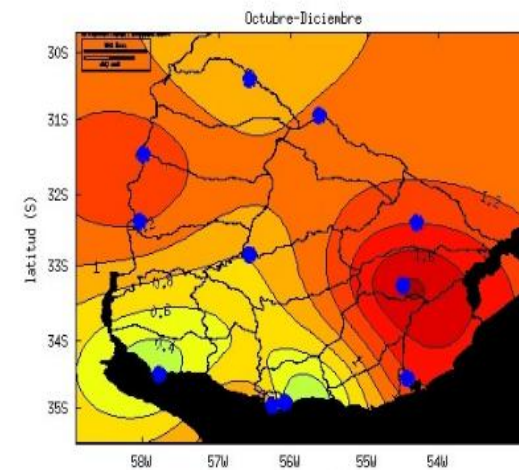
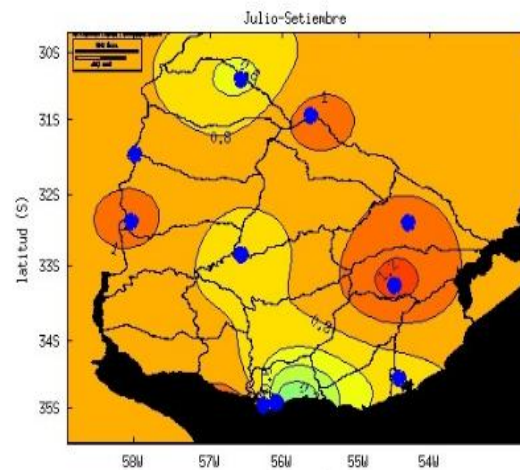
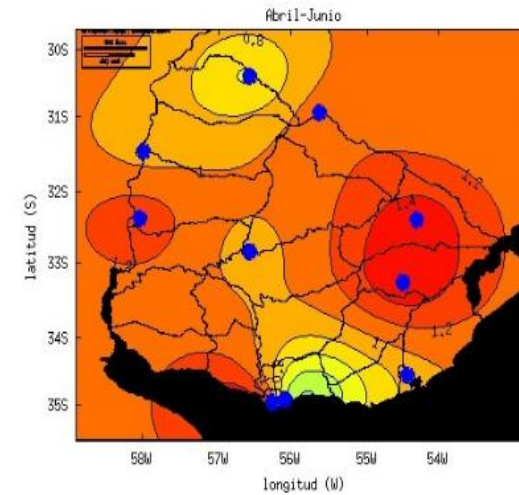
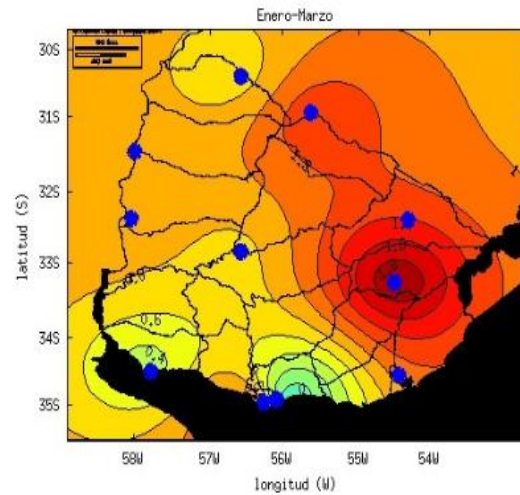


Sur RN



Cambio climático

Tendencias en Uruguay – temperatura (1961-2015)

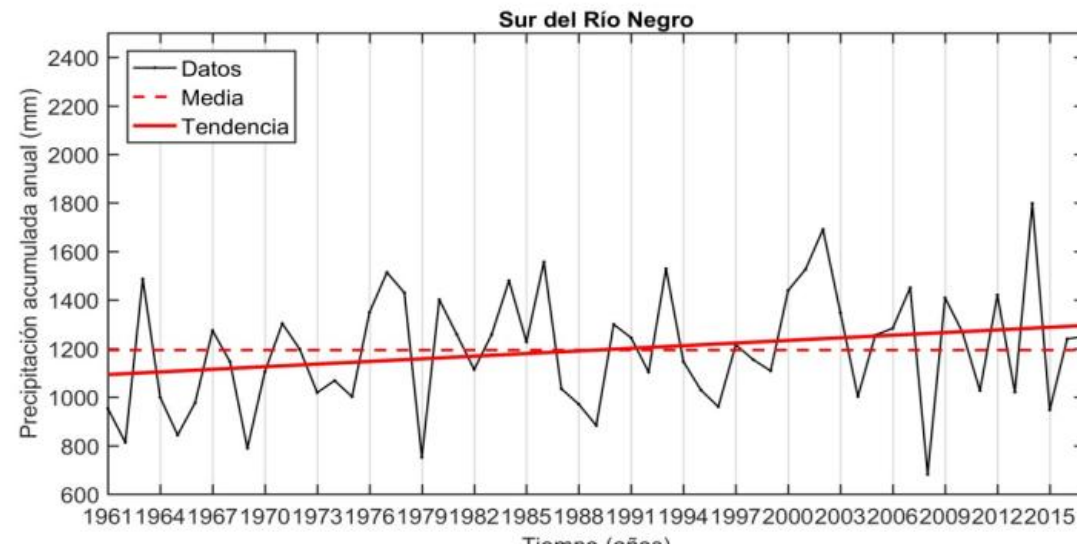
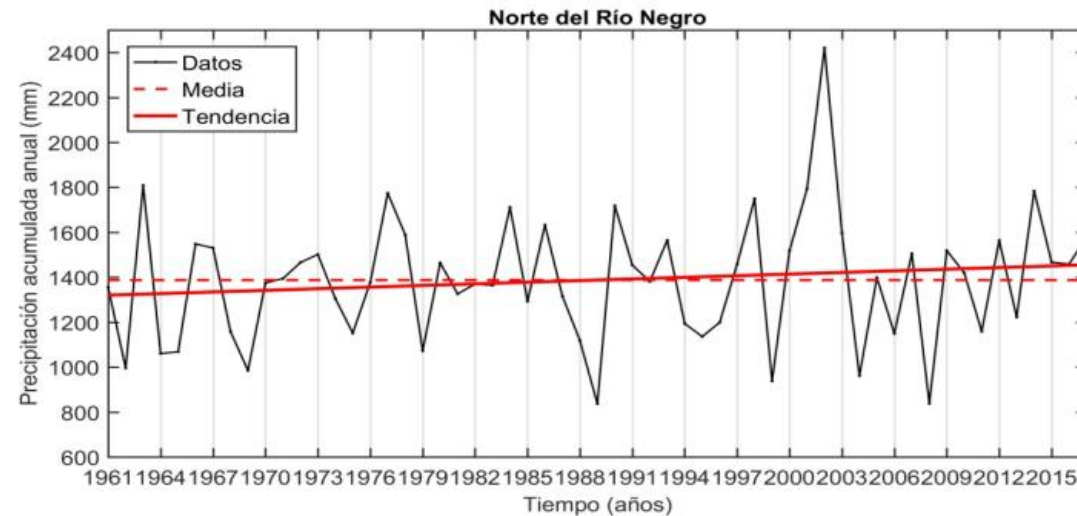


Cambio climático

Tendencias en Uruguay – precipitación (1961-2015)

La tendencia observada en las lluvias es menor que la variabilidad en el acumulado anual.

Esto dificulta la detección y muestra que nuestro país debe continuar su adaptación a la variabilidad climática.



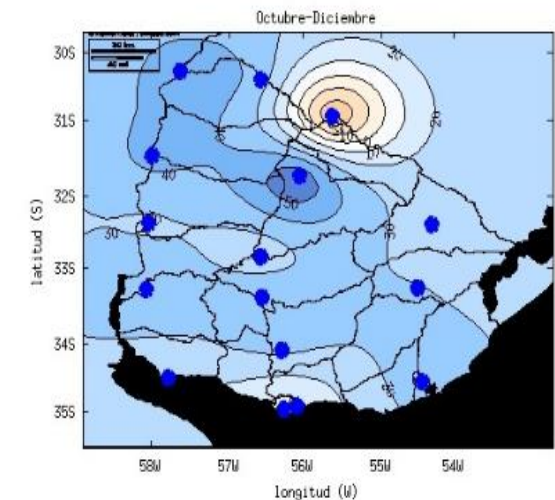
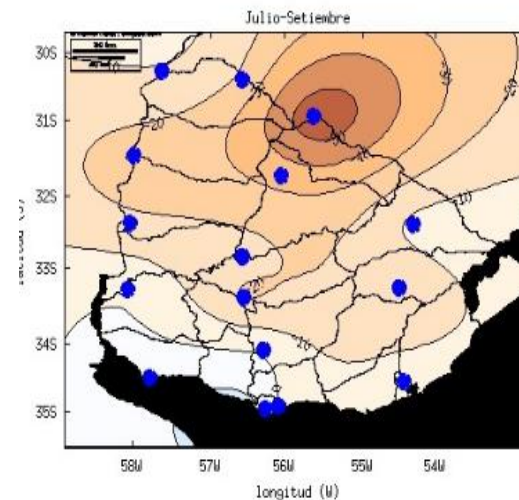
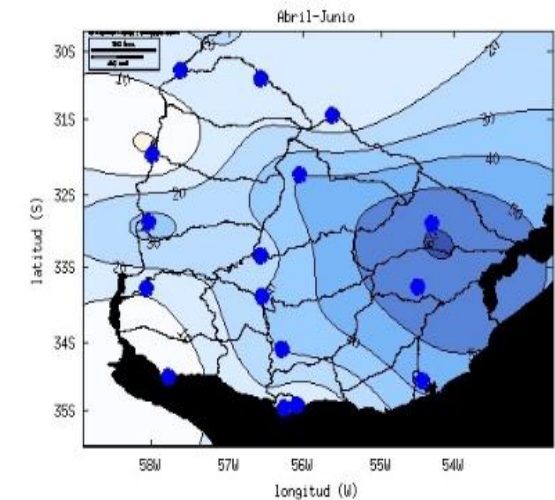
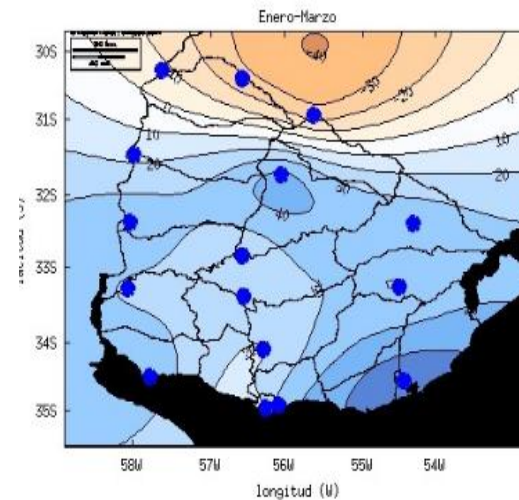
Cambio climático

Tendencias en Uruguay – precipitación (1961-2015)

A nivel estacional: tendencia positiva durante verano, otoño y primavera en casi todo el país

En invierno tendencia negativa, sobre todo al Norte del Río Negro.

La diferencia en tendencias observadas durante las estaciones cálida y fría implican un aumento en la estacionalidad de las lluvias: **mayor diferencia invierno-verano.**



Cambio climático

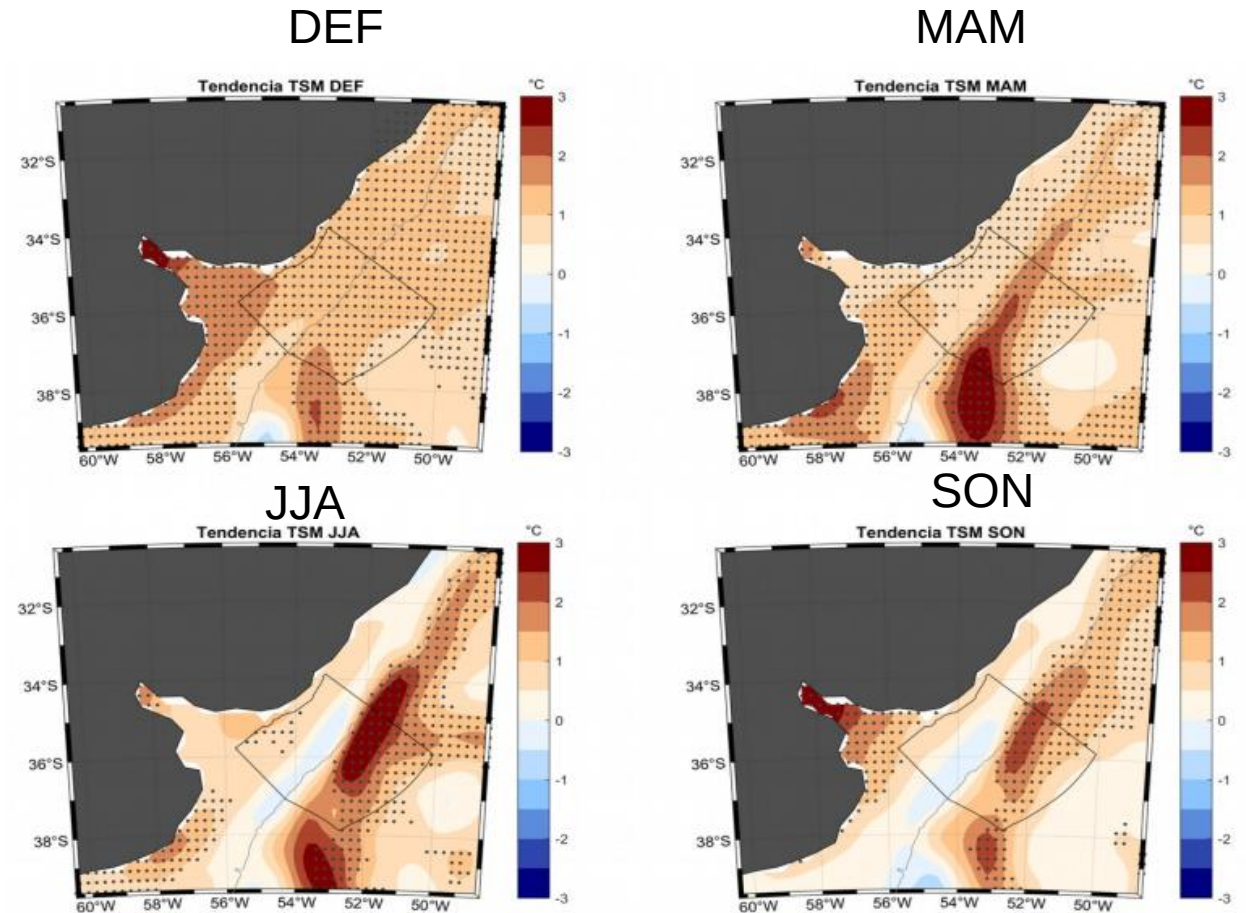
Tendencias en Uruguay – temperatura de superficie del mar (1981-2017)

Aumento de TSM con dos máximos:

En el Río de la Plata (mas marcado en primavera y verano)

En la ZEE sobre el talud:

- Con tendencias cercanas a 2-3°C
- Es de las regiones con mayor tendencia.
- Evidencia un corrimiento al Sur de la Corriente de Brasil (consecuencia del corrimiento al Sur de los vientos de la cuenca).



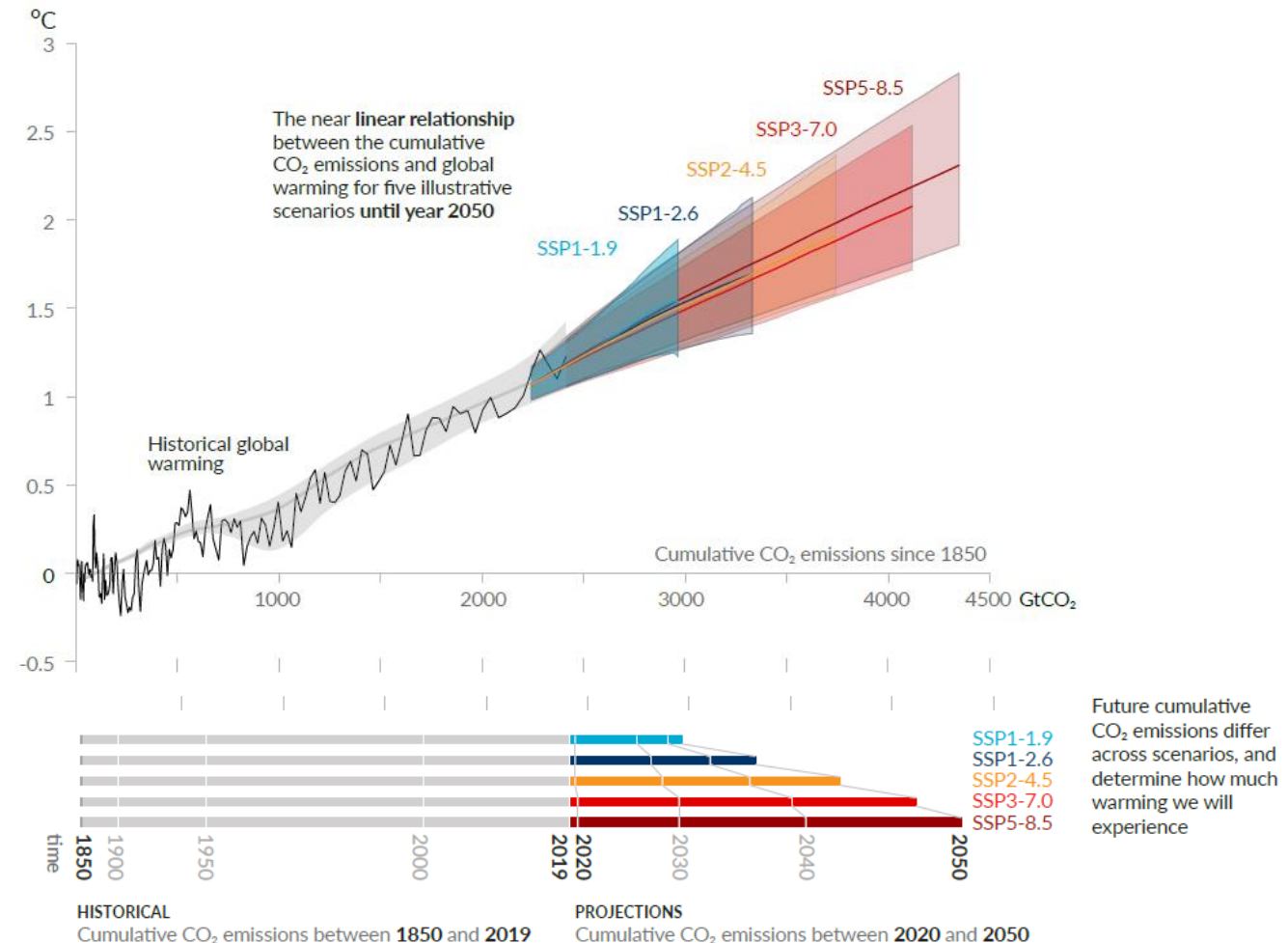
Cambio climático

La temperatura media global en superficie continuará aumentando hasta al menos mediados de siglo en todos los escenarios de emisiones considerados.

El calentamiento global de 1,5°C y 2°C se superará durante el siglo XXI a menos que se produzcan reducciones drásticas en las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero en las próximas décadas

IPCC AR6. Climate Change: The Physical Science Basis. WGI 2021

Global surface temperature increase since 1850-1900 (°C) as a function of cumulative CO₂ emissions (GtCO₂)



Cambio climático

Todas las predicciones climáticas coinciden en que

- ✓ El retroceso de los glaciares y pérdida del hielo marino en el Ártico continuarán por décadas.
- ✓ El derretimiento de capas de hielo de Groenlandia y la Antártida continuará por miles de años.
- ✓ Los cambios en los océanos continuarán por cientos a miles de años (acidificación por absorción de CO₂ con implicancias en la biota)
- ✓ El nivel del mar continuará aumentando por miles de años debido al aumento de temperatura y derretimiento de hielos.

Cambio climático

Proyecciones - Uruguay

El acumulado anual de precipitaciones tiene gran variabilidad.

Los modelos capturan esta variabilidad interanual observada.

Las proyecciones muestran la variabilidad superpuesta a una tendencia gradual positiva

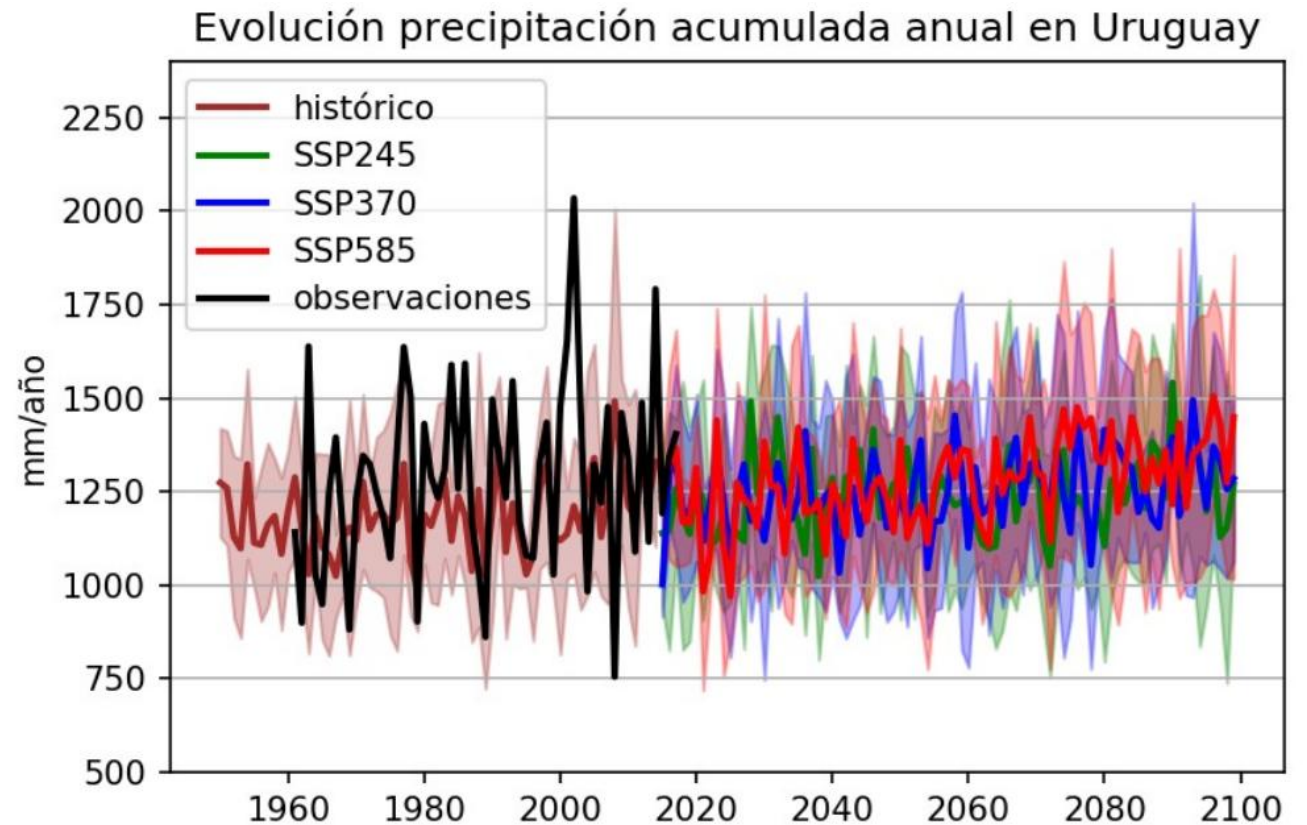


Figura 58 – Evolución de la precipitación anual acumulada sobre Uruguay observada, simulada en el período histórico y proyectada según los diferentes escenarios.

Cambio climático

Proyecciones - Uruguay

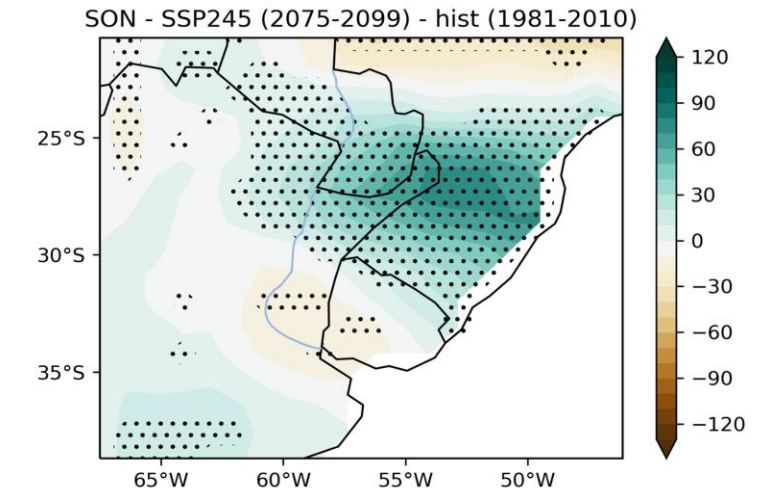
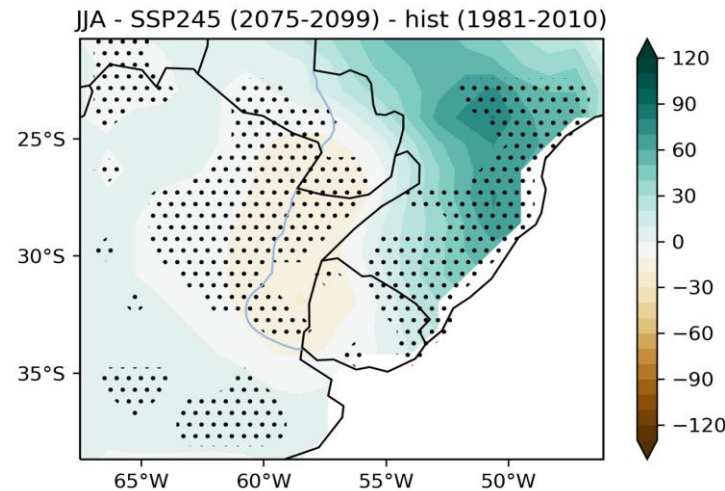
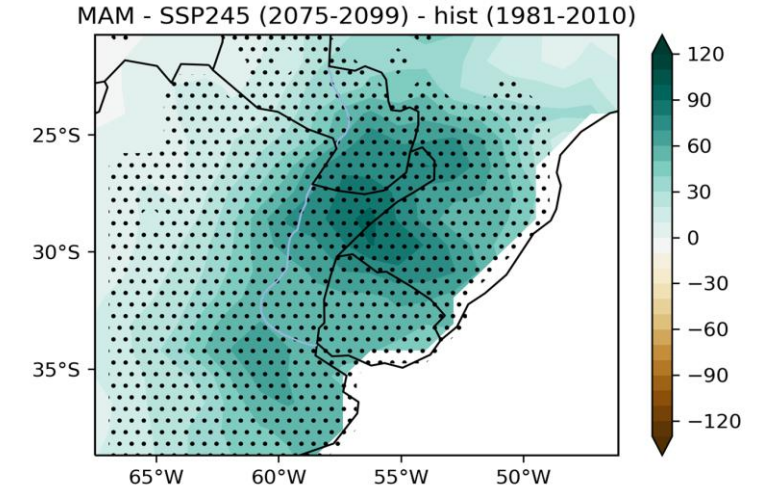
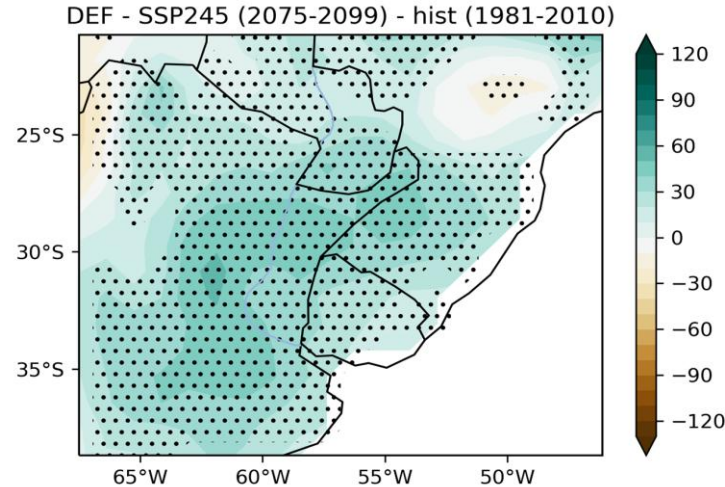
SSP245, 2075-2099

DEF: aumento en casi todo el país, excepto sureste

MAM: máximo aumento en todo el país

JJA: aumento al este

SON: señal débil, disminución suroeste



Cambio climático

Proyecciones - Uruguay

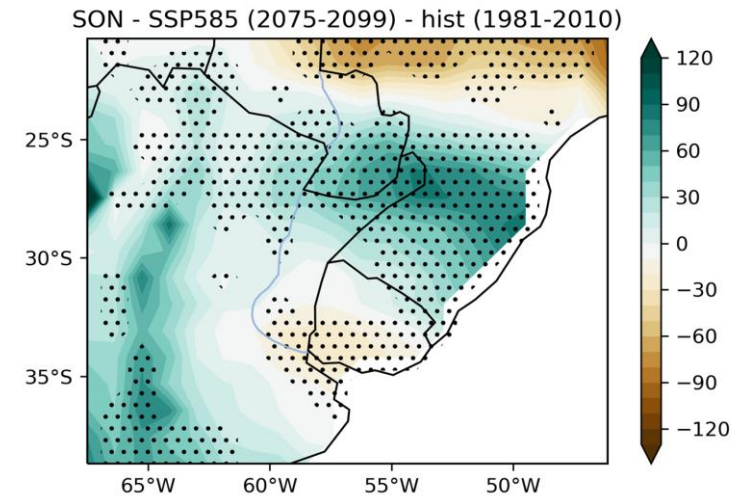
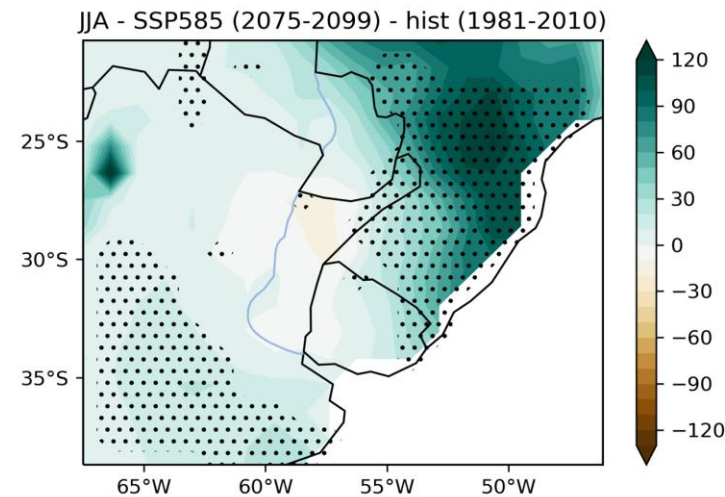
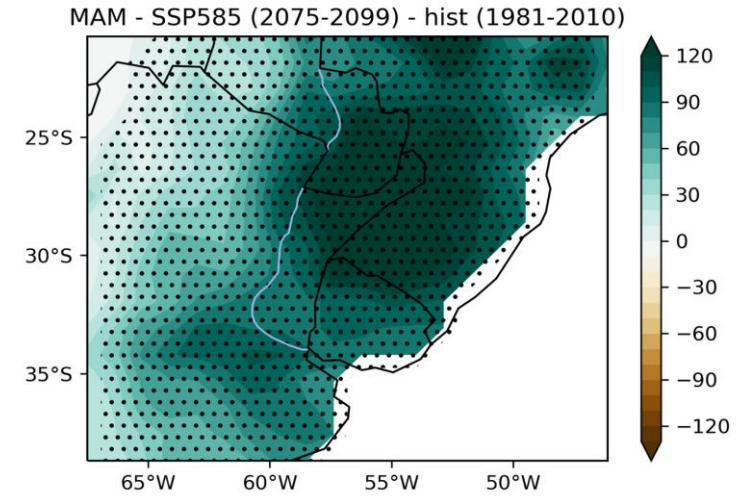
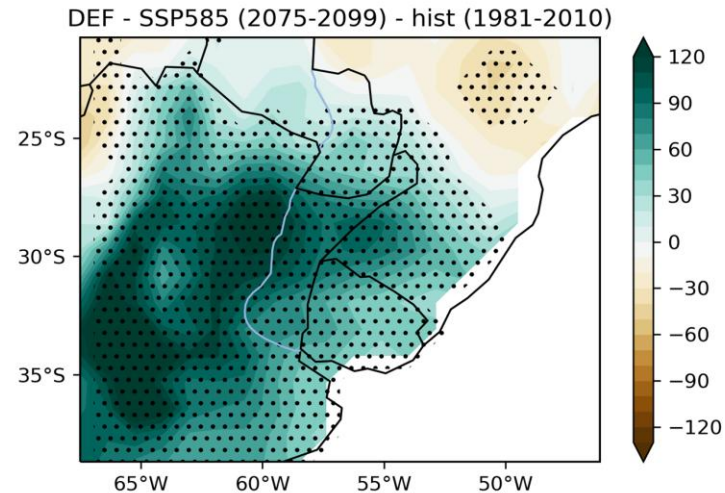
SSP585, 2075-2099

DEF: aumento en todo el país

MAM: máximo aumento

JJA: aumento al este

SON: disminución al sur



Cambio climático

Proyecciones - Uruguay

Al igual que la T_{media} del aire, la TSM aumenta linealmente con el tiempo (su magnitud depende del escenario particularmente luego de 2060)

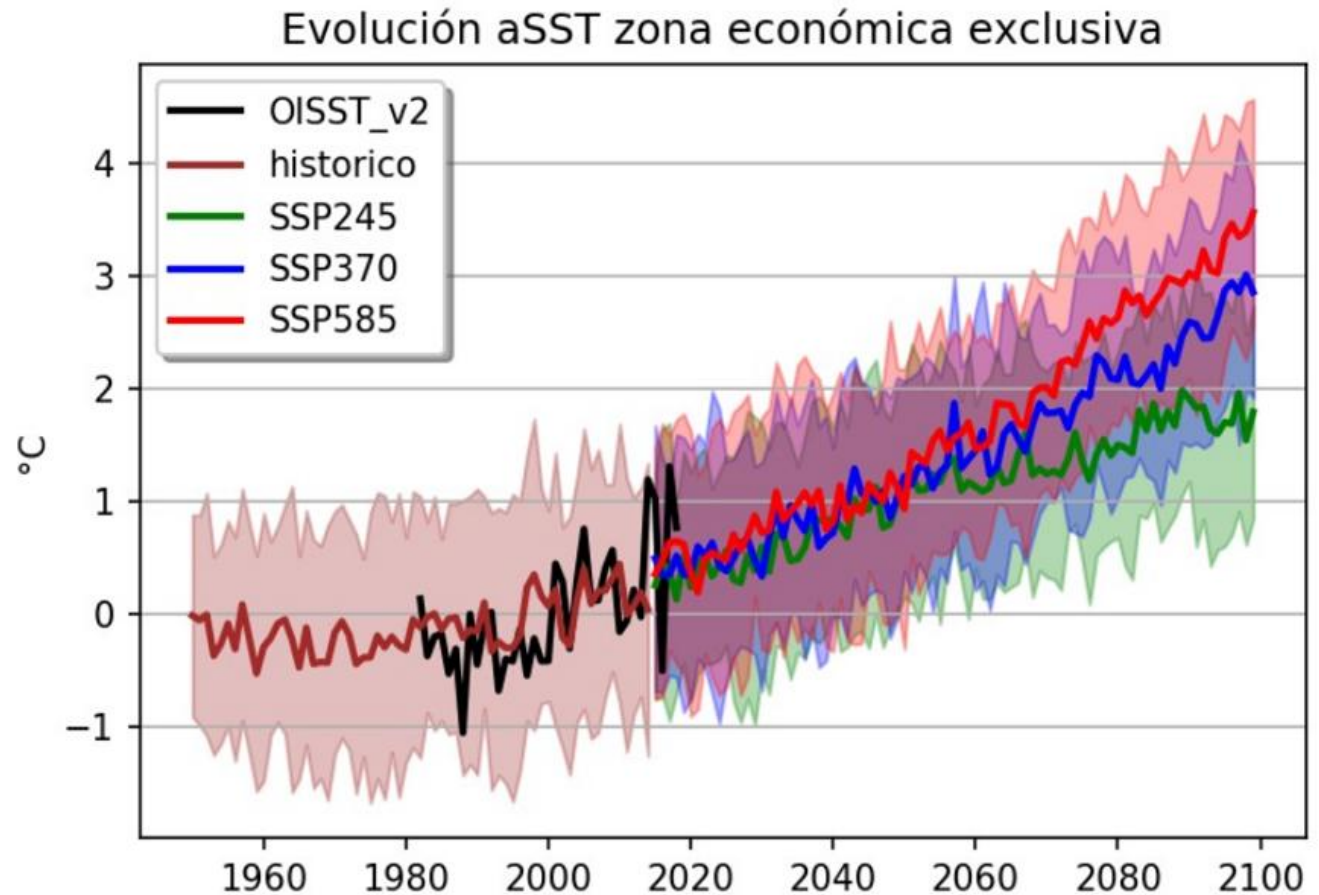
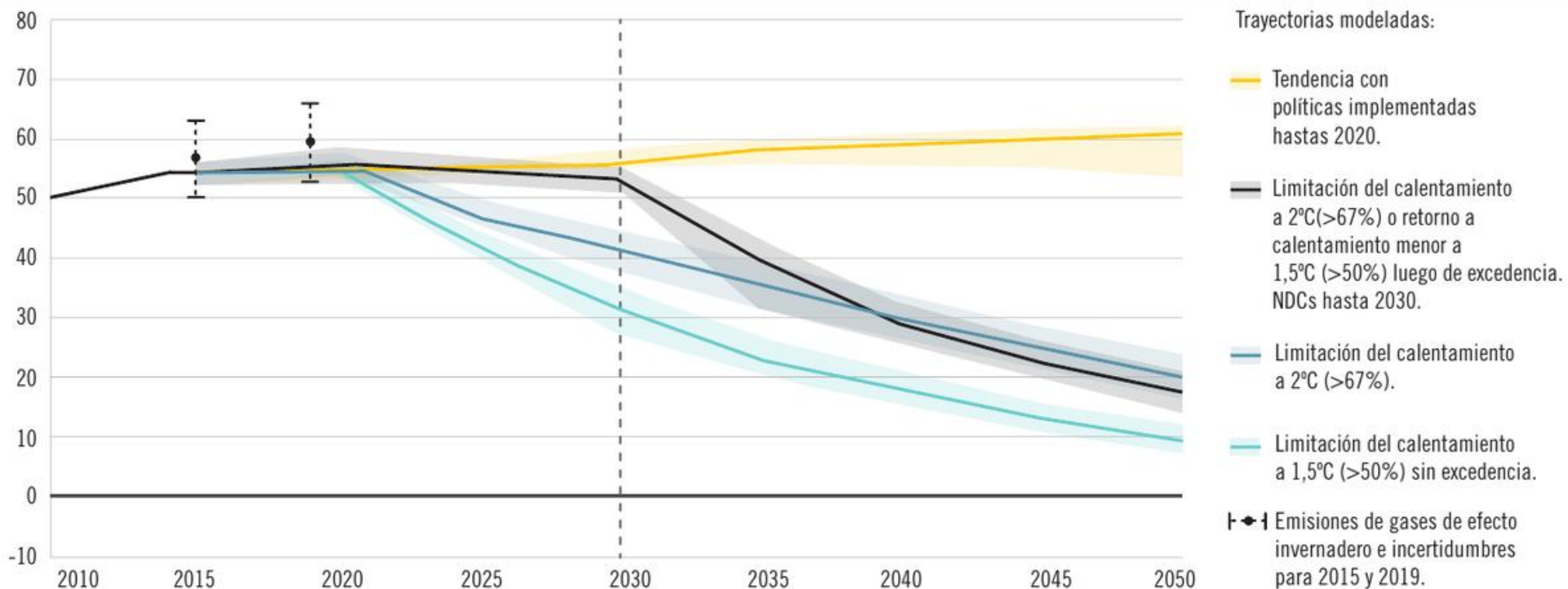


Figura 65 – Evolución de la TSM (con respecto a la media 1981-2010) observada, simulada histórica y proyectada para los diferentes escenarios.

Cambio climático

Trayectorias de emisiones compatibles con los objetivos del Acuerdo de París

EMISIONES GLOBALES PROYECTADAS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GTCO₂-EQ/AÑO)



Fuente: IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change.

Nota: GTCO₂-eq: Gigatoneladas de CO₂ equivalente (métrica GWP100-ARG).