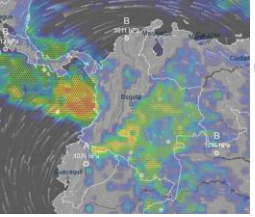
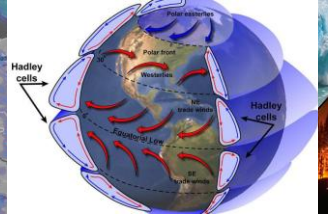
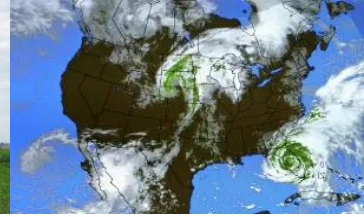
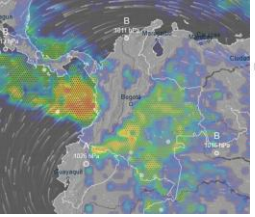
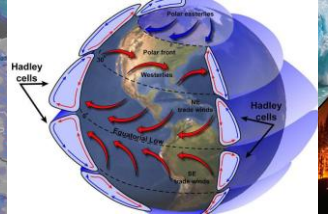
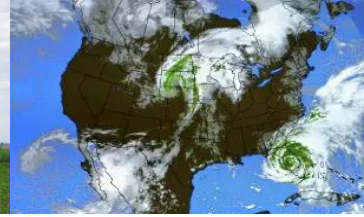





Unidad 5

Variabilidad y cambio climático: observación, proyecciones e impactos



¿Cuál es la diferencia entre variabilidad climática y cambio climático?

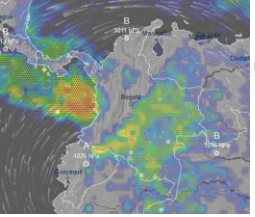
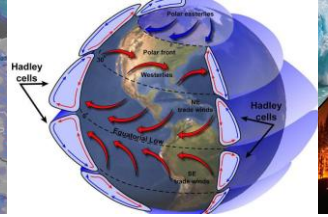
La diferencia fundamental radica en la **escala temporal** de medición. Comprender estas escalas permite distinguir claramente si se trata de variabilidad o cambio climático.

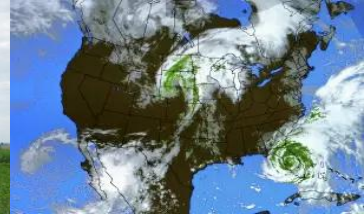
El **tiempo meteorológico** representa el estado presente de las condiciones atmosféricas en un lugar determinado. Sus predicciones son confiables únicamente hasta 10 días; más allá de este período, la incertidumbre aumenta significativamente.

- El **tiempo meteorológico es la condición atmosférica actual en un lugar determinado**. Esto incluye variables como temperatura, precipitación, viento o humedad. Cualquier persona que mire hacia afuera puede ver si está lloviendo, si hay viento, si está soleado o nublado, y puede averiguar qué tan caliente está revisando un termómetro o simplemente sintiéndolo. El tiempo meteorológico es lo que está sucediendo ahora, o lo que es probable que suceda mañana o en un futuro muy cercano.

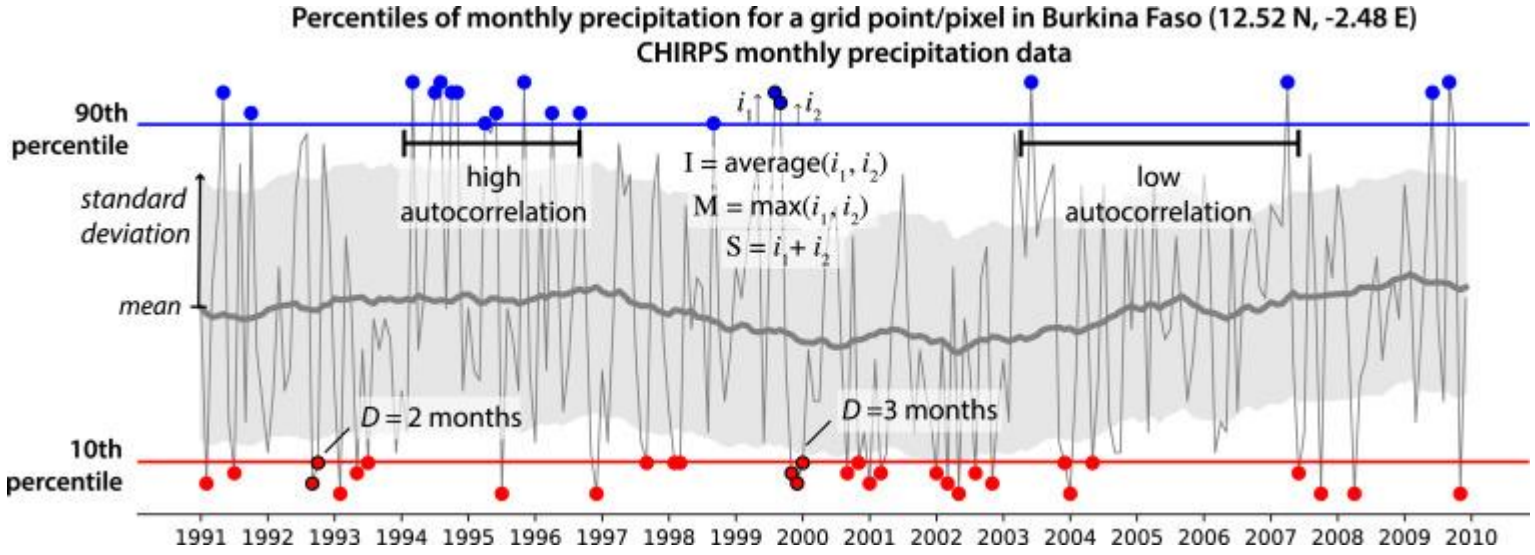
- **El clima es el "promedio" del tiempo meteorológico para un lugar o región determinada.** Define las condiciones meteorológicas típicas para un área específica basándose en promedios a largo plazo

- Cuando se analizan las condiciones atmosféricas durante períodos de uno o varios meses, un año, o hasta dos décadas, hablamos de clima.



- **La variabilidad climática** se refiere a las fluctuaciones de las condiciones climáticas a lo largo del tiempo, esencialmente, cuánto se desvía el clima de su estado promedio, la ocurrencia de eventos extremos, etc.) en todas las escalas temporales y espaciales más allá de las de los eventos meteorológicos individuales. La variabilidad puede resultar de procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna) o de variaciones en fuerzas externas naturales o antropogénicas (variabilidad externa).



Conceptos clave:

Qué mide:

•Cómo cambian la temperatura, las precipitaciones u otras variables climáticas de un año a otro, de una década a otra o durante períodos más largos

•El alcance y la frecuencia de estas variaciones

•Con qué frecuencia ocurren fenómenos extremos (sequías, inundaciones, olas de calor)

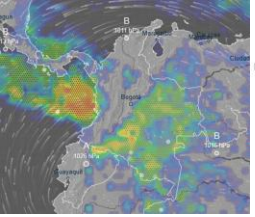
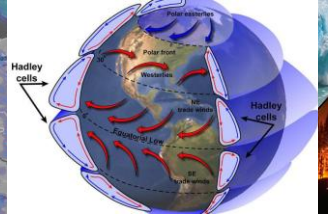
Dos tipos:

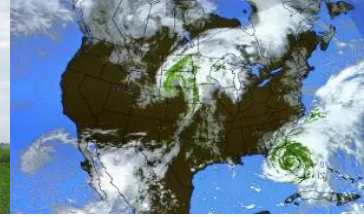
1.Variabilidad interna : Fluctuaciones naturales dentro del sistema climático de la Tierra

1. Ocean currents shifting (like El Niño/La Niña)
2. Los patrones de circulación atmosférica están cambiando
3. Interacciones entre el océano, la atmósfera, el hielo y la tierra

2.Variabilidad externa : Causada por fuerzas externas al sistema climático.

1. **Natural** : erupciones volcánicas, cambios en la actividad solar.
2. **Antropogénico** : actividades humanas como las emisiones de gases de efecto invernadero y los cambios en el uso del suelo.

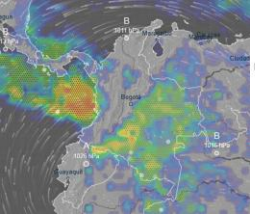
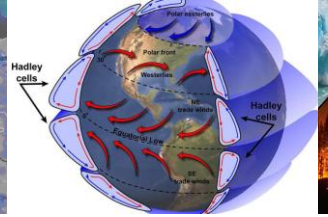


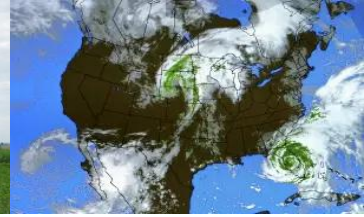
Ejemplo: Piense en la ciudad de Ibagué donde la temperatura promedio en julio es de 25 ˚C. La variabilidad climática describe:

•Algunos años puede ser de 23˚C, otros años de 27˚C.

•Algunas décadas podrían ser consistentemente más cálidas o más frías.

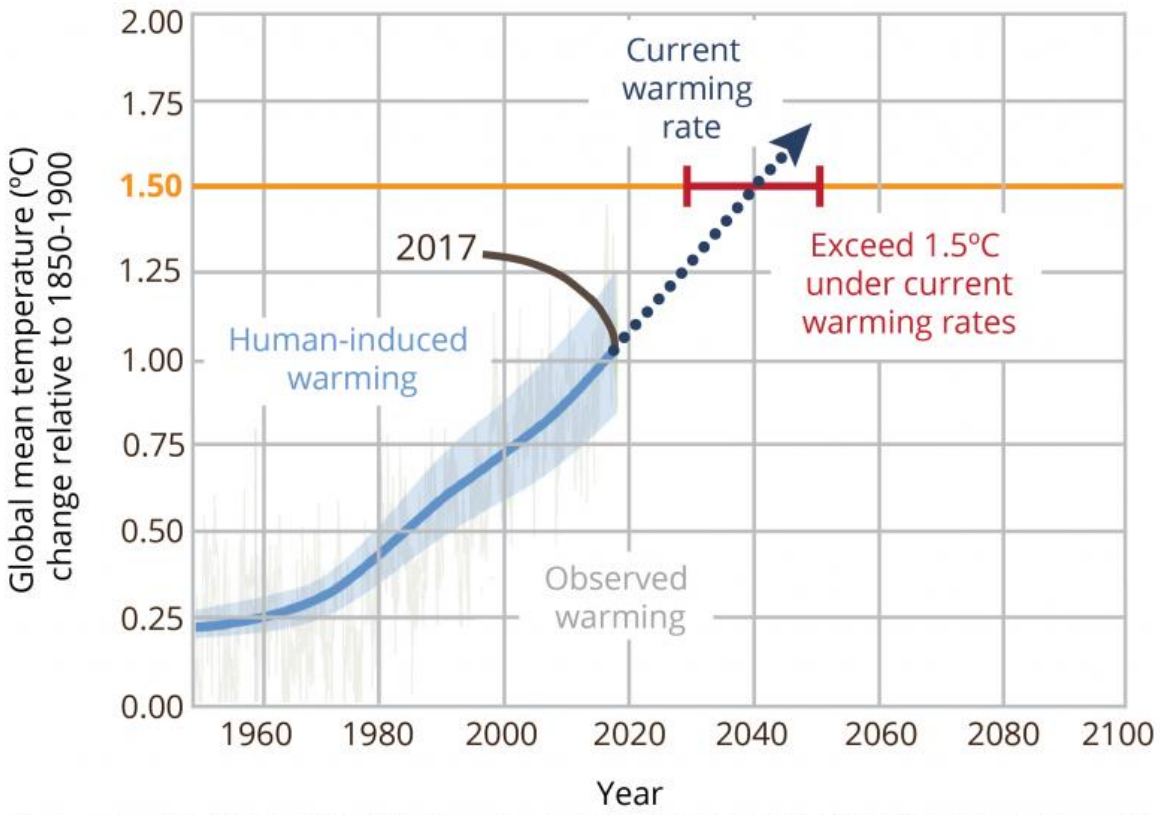
•¿Con qué frecuencia se producen las olas de calor?

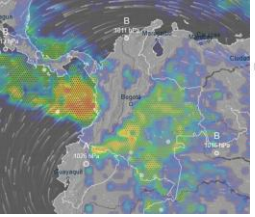
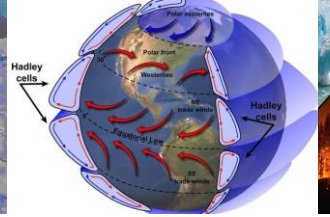


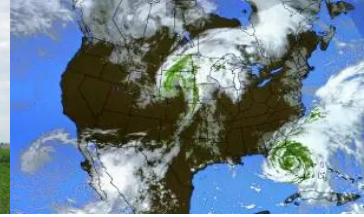
- El **cambio climático** se refiere a cualquier cambio en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o a fuerzas antropogénicas.

- El **cambio climático** se identifica cuando se estudian las variables climáticas durante períodos extensos (30 años o más) y se comparan estos promedios y valores extremos con datos de otras series temporales largas. Por ejemplo, al comparar el comportamiento promedio de las lluvias entre 1986-2016 contra el período 1950-1980, es posible evidenciar si ha ocurrido un cambio climático.



Human activities have caused approximately 1°C of global warming since pre-industrial times (1850-1900). If current rates of warming continue, global warming could reach 1.5°C as soon as 2030 (2030-2052). Figure modified from IPCC Special Report on 1.5°C (Chapter 1, FAQ 1.2, Figure 1).



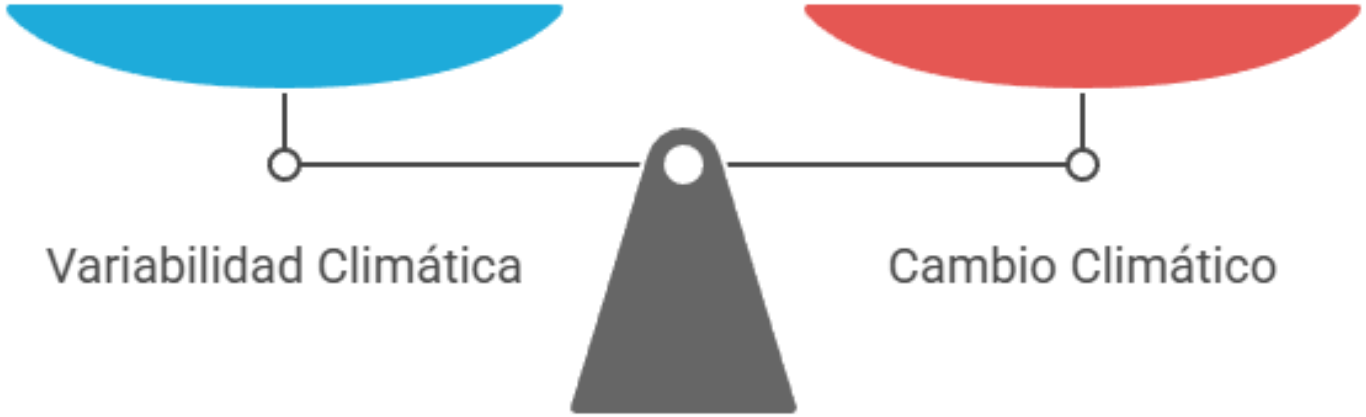
¿Qué es la variabilidad climática?

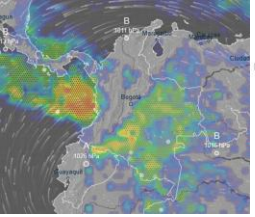
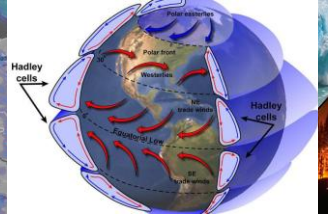
Es la fluctuación natural del clima en torno a su promedio estadístico durante períodos cortos a medianos.

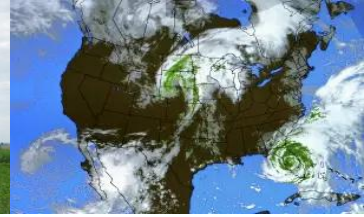
¿Qué es el cambio climático?

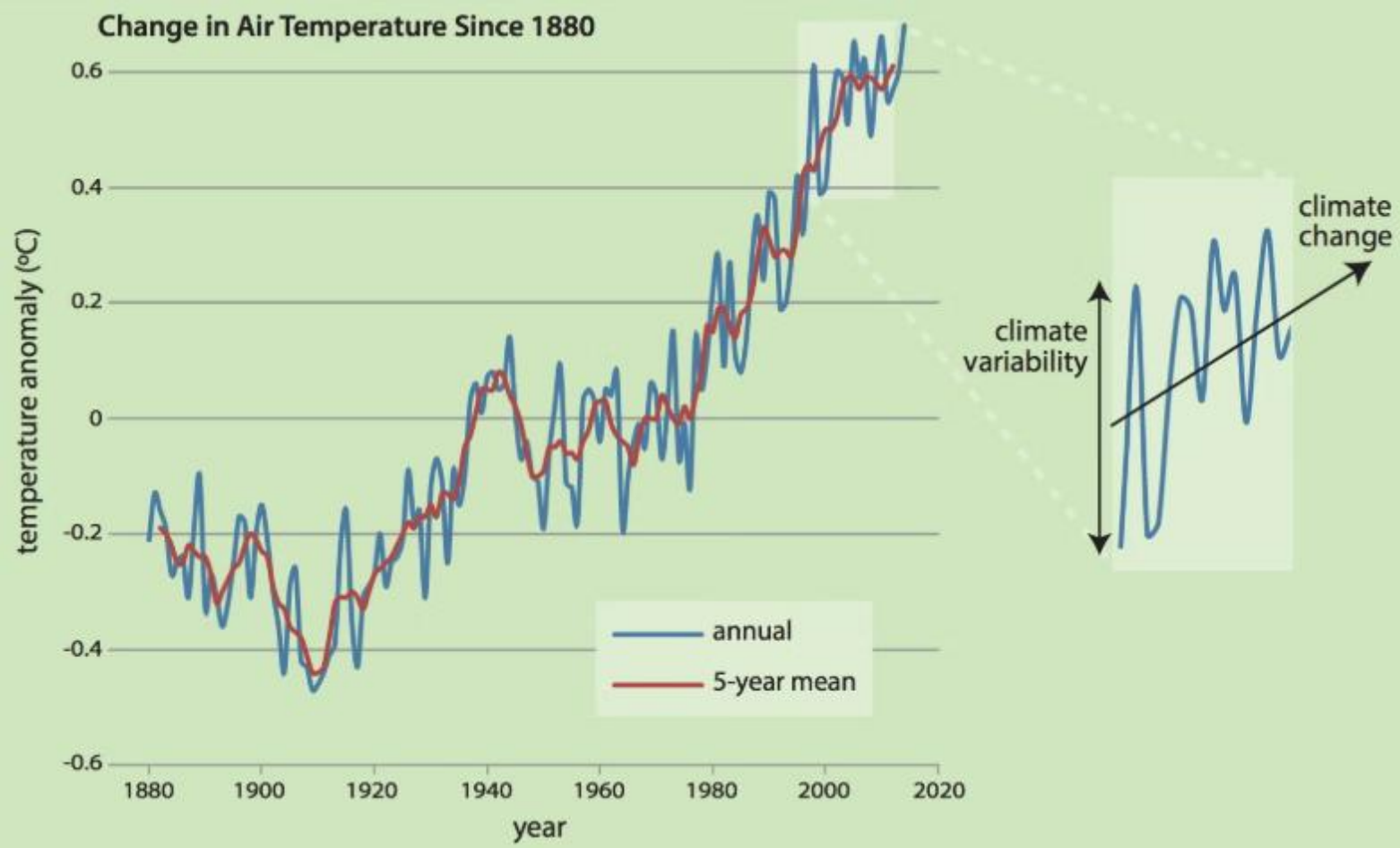
Es la alteración persistente y a largo plazo de los patrones climáticos promedio, típicamente durante décadas o más, causada principalmente por actividades humanas.

Variabilidad Climática	Cambio Climático
Fluctuaciones a Corto Plazo	Tendencias a Largo Plazo
Causas Naturales	Causado por el Hombre
Impacto Temporal	Impacto Persistente





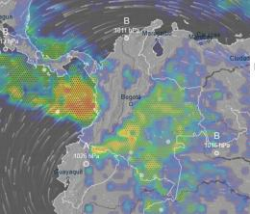
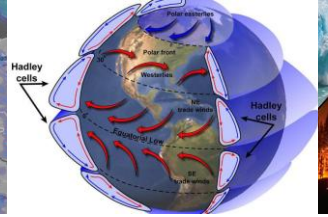


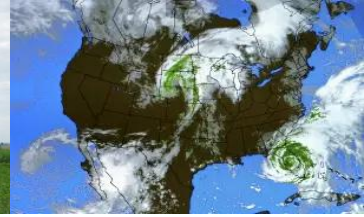
"Variabilidad Climática"

- 2-3 meses
- 6 meses – 1 año
- 1-3 Décadas

"Cambio Climático"

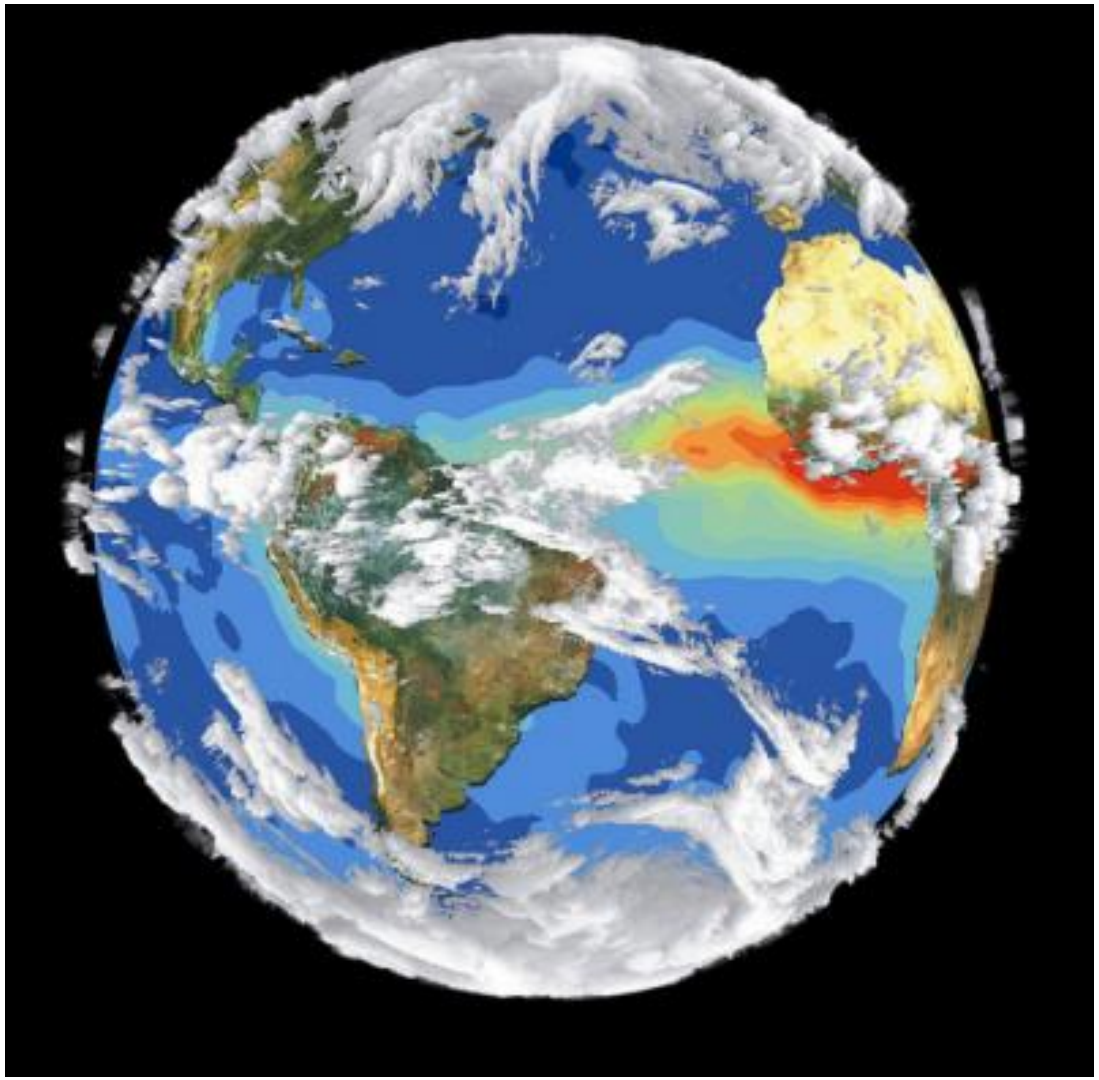
- Varias Décadas
- Siglos



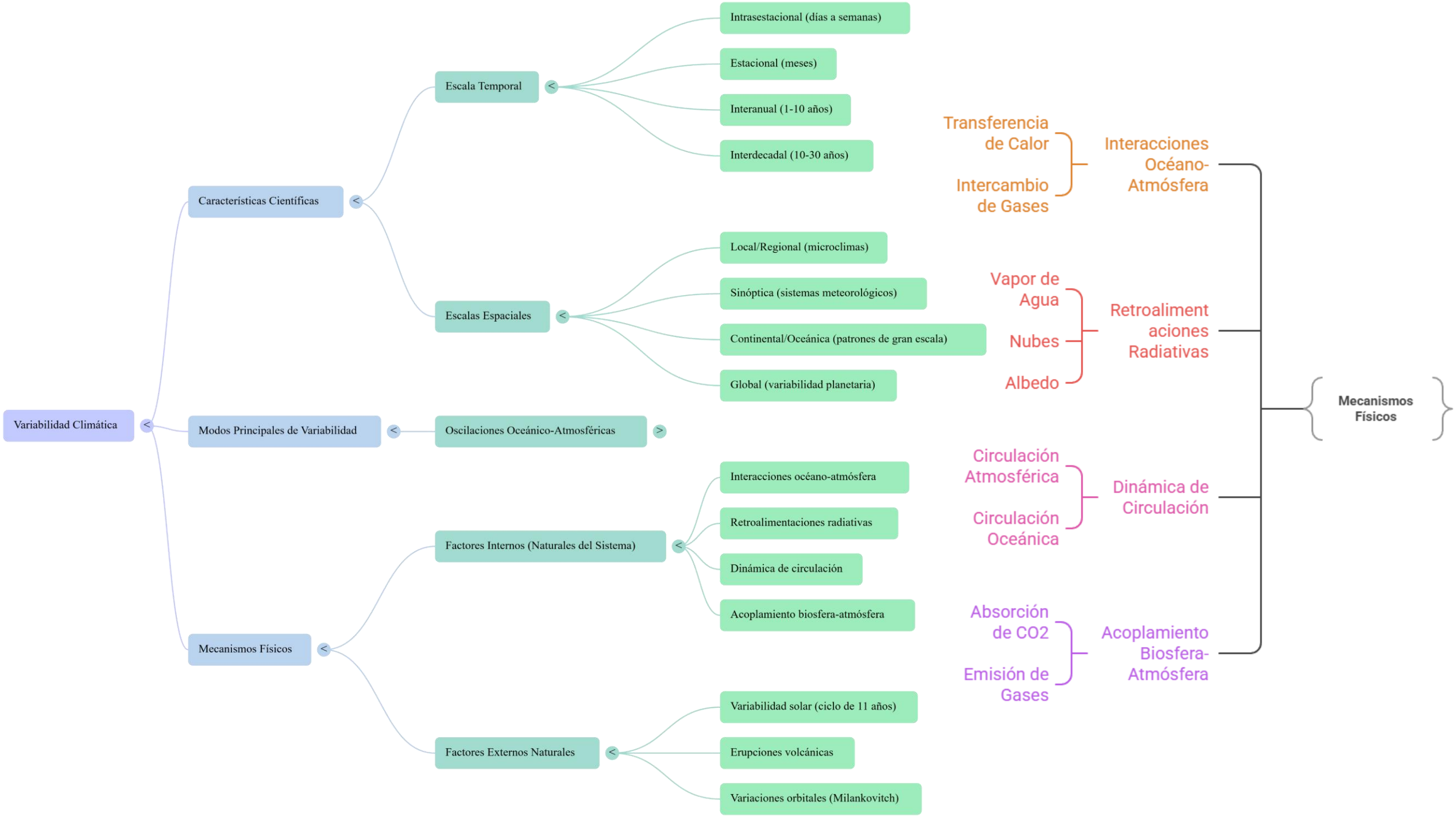
¿Qué es variabilidad climática?

La variabilidad climática se define como las fluctuaciones en las propiedades estadísticas del sistema climático (media, varianza, extremos) que ocurren en escalas temporales que van desde eventos sinópticos individuales hasta escalas interdecadales, excluyendo los cambios de largo plazo o tendencias seculares.



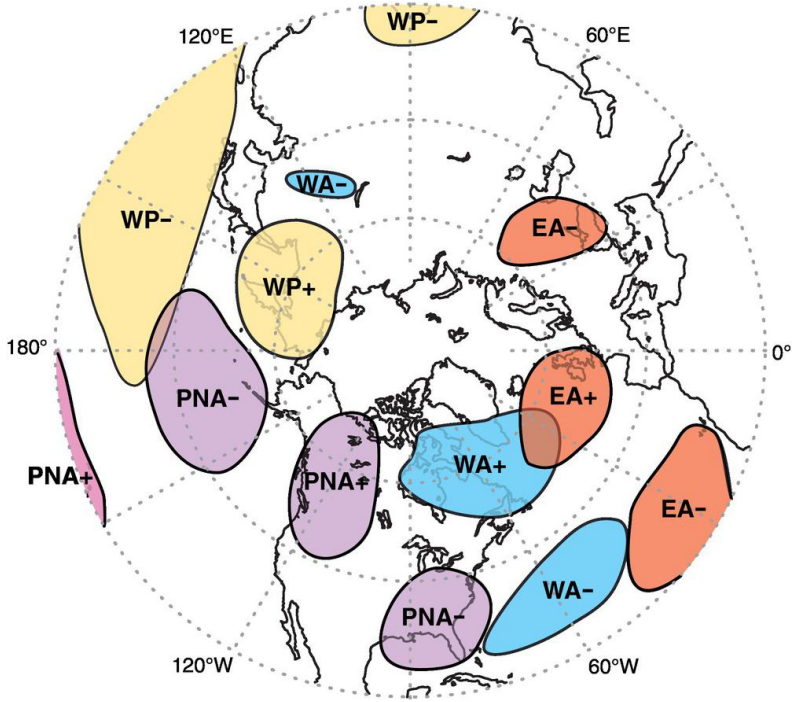
Características Científicas
Escala Temporal:

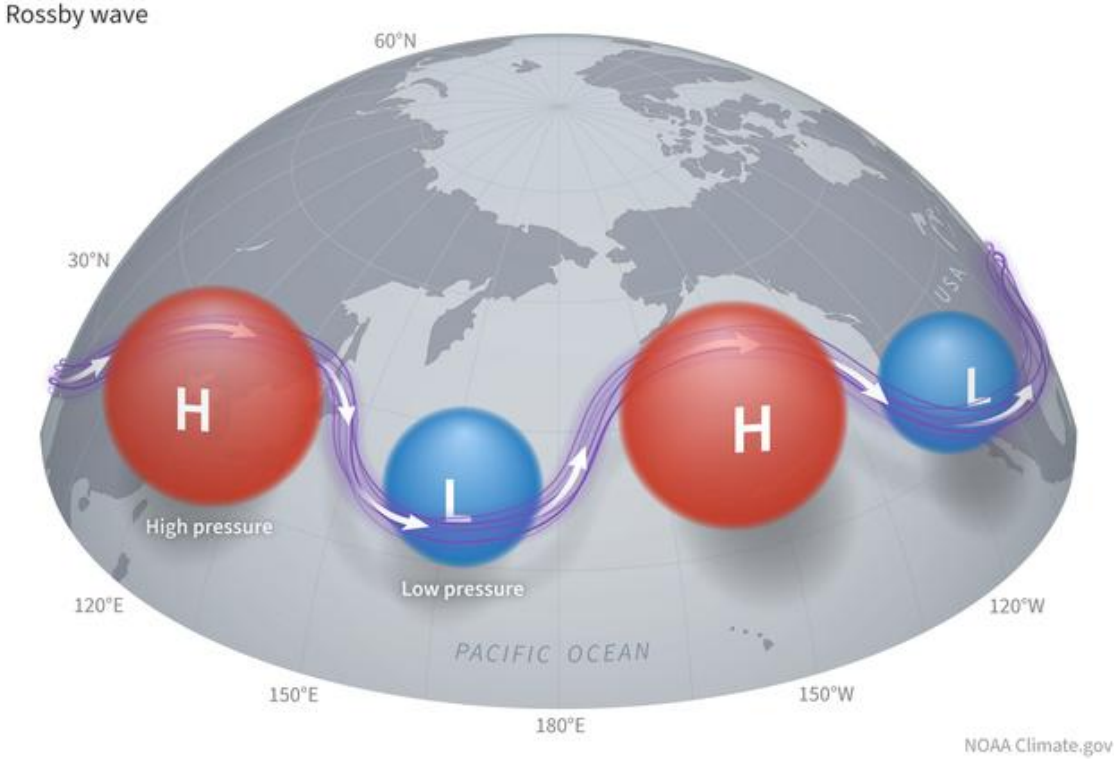
- Intrasestacional: días a semanas
- Estacional: meses
- Interanual: años (1-10 años)
- Interdecadal: décadas (10-30 años)


Variabilidad Climática
Características Científicas
Escala Temporal
Intrasestacional (días a semanas)
Estacional (meses)
Interanual (1-10 años)
Interdecadal (10-30 años)
Escalas Espaciales
Local/Regional (microclimas)
Sinóptica (sistemas meteorológicos)
Continental/Oceánica (patrones de gran escala)
Global (variabilidad planetaria)
Modos Principales de Variabilidad
Oscilaciones Oceánico-Atmosféricas
Mecanismos Físicos
Factores Internos (Naturales del Sistema)
Interacciones océano-atmósfera
Retroalimentaciones radiativas
Dinámica de circulación
Acoplamiento biosfera-atmósfera
Factores Externos Naturales
Variabilidad solar (ciclo de 11 años)
Erupciones volcánicas
Variaciones orbitales (Milankovitch)
Mecanismos Físicos
Interacciones Océano-Atmósfera
Transferencia de Calor
Intercambio de Gases
Retroalimentaciones Radiativas
Vapor de Agua
Nubes
Albedo
Dinámica de Circulación
Circulación Atmosférica
Circulación Oceánica
Acoplamiento Biosfera-Atmósfera
Absorción de CO2
Emisión de Gases

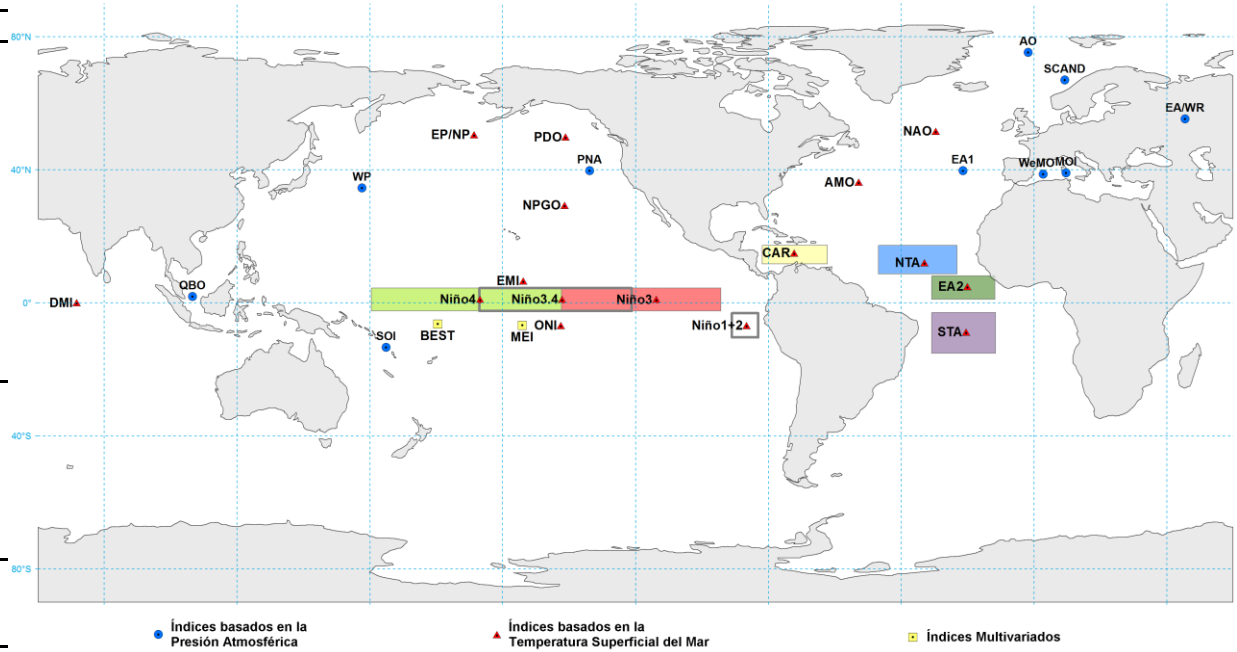
Teleconexiones o patrones macroclimáticos

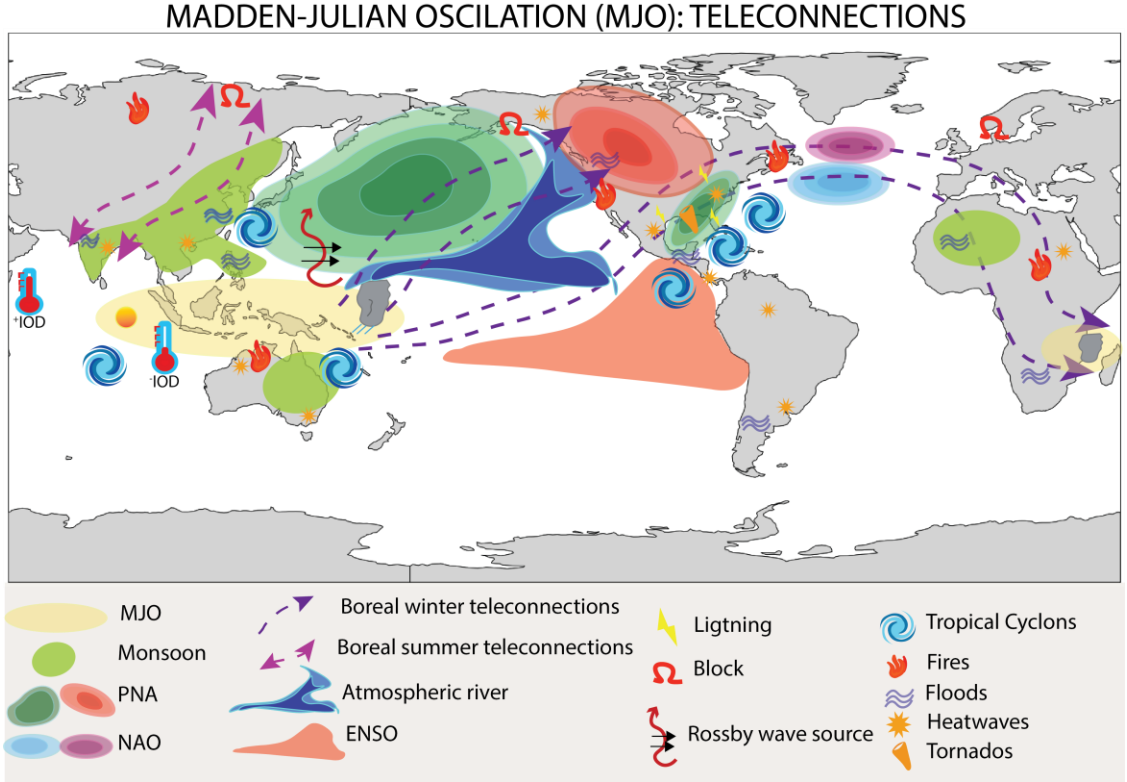
Esta unidad presenta las teleconexiones son mecanismos mediante el cual las condiciones hidrometeorológicas en un lugar pueden afectar e impactar las condiciones hidrometeorológicas en regiones lejanas. El término " patrón *de teleconexión* " se refiere a anomalías de circulación recurrentes, persistentes y a gran escala. Estos patrones *de teleconexión* son modos preferentes de baja frecuencia, es decir, de variabilidad temporal a largo plazo. Las teleconexiones son de interés hidrometeorológico porque pueden causar sequías e inundaciones.





Número	Abreviatura	Descripción
		TELECONECCIONES
1	PNA	Índice Pacífico Norteamericano
2	EPNP	Oscilación Pacífico Este/Pacífico Norte
3	WP	Índice Pacífico Oeste
4	EA/WR	Atlántico Oriental/Ruso Occidental
5	NAO (Jones)	Oscilación Atlántico Norte - Jones
6	NP	Índice Patrón del Pacífico Norte
7	PDO	Oscilación decadal del Pacífico
8	NAO	Oscilación Atlántico Norte
9	EA	Atlántico Ecuatorial
		ATMÓSFERA
10	QBO	Oscilación Cuasi-Bienal
11	GIAM	Momento angular globalmente integrado
12	SOI	Índice Oscilación del Sur
13	AAO	Oscilación Antártica
14	NOI	Índice de Oscilación del Norte
		PRECIPITACIÓN
15	ENSOPI	Índice de precipitación ENSO
16	NBRA	Anomalía de precipitaciones en el Noreste de Brasil
		ENSO
17	MEI V2	Índice Multivariado ENSO V2
18	Niño1+2	SST Extremo Este del Pacífico Tropical
19	Niño 3	SST Extremo Este del Pacífico Tropical
20	Niño 3.4	SST Centro Este Pacífico Tropical
21	Niño 4	SST Pacífico Tropical Central
22	BEST	Serie de tiempo bivariada ENSO
23	EMI	Índice del Niño Modoki
		SST: PACÍFICO
24	ONI	Índice del Niño Oceánico
25	TNI	Índice Trans-Niño
26	WHWP	WP Hemisferio Occidental Tropical
27	PWR	Región WP del Pacífico
28	TPS	EOF SST Pacífico tropical
29	TPI	Índice Tripolar Oscilación del Pacífico Interdecadal
30	HAW	Índice Hawaiano
		SST: ATLÁNTICO
31	TNA	Índice del Atlántico Norte Tropical
32	TSA	Índice del Atlántico Sur Tropical
33	ATT	EOF SST tripolo Atlántico
34	AMO	Oscilación Multidecadal Atlántica sin suavizar
35	AMOs	Oscilación Multidecadal Atlántica suavizado
36	AMM	Modo Meridional Atlántico
37	NTA	Índice del Atlántico Norte Tropical
38	CAR	Índice del Caribe
		OTROS
39	SAM	Modo Anular del Sur
40	DMI	Índice Modo Dipolo

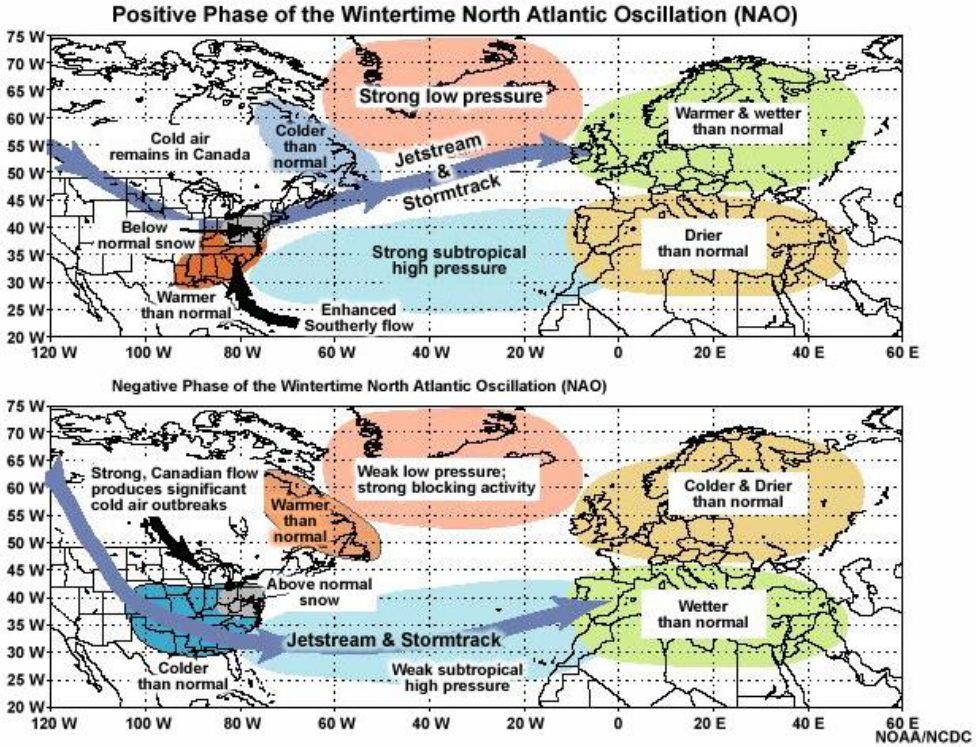


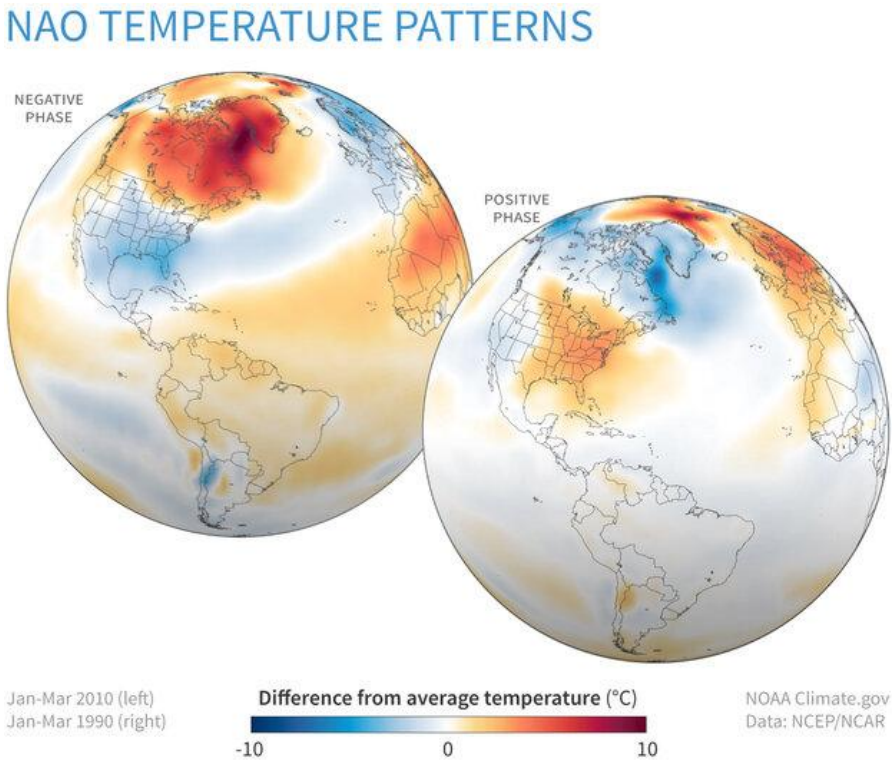


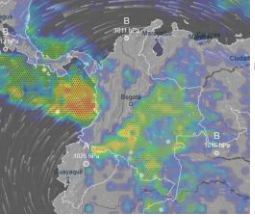
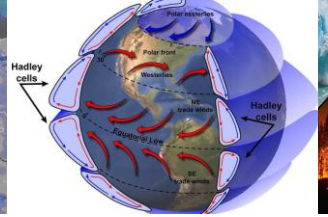
PDO
Afecta el clima del Pacífico en escalas de tiempo de 20-30 años.
Oscilación Decadal del Pacífico
NAO
Influye en los patrones climáticos del Atlántico Norte en escalas de tiempo mensuales a decenales.
Oscilación del Atlántico Norte
MJO
Impacta los patrones climáticos tropicales en ciclos de 30-60 días.
Oscilación de Madden-Julian
ENSO
Impacta el clima global con ciclos de 2-7 años en el Pacífico tropical.
El Niño-Oscilación del Sur)
IOD
Influye en el clima del Océano Índico con ciclos irregulares de 2-5 años.
Dipolo del Océano Índico

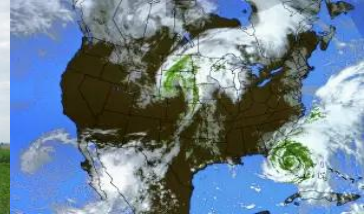
La Oscilación del Atlántico Norte (NAO)

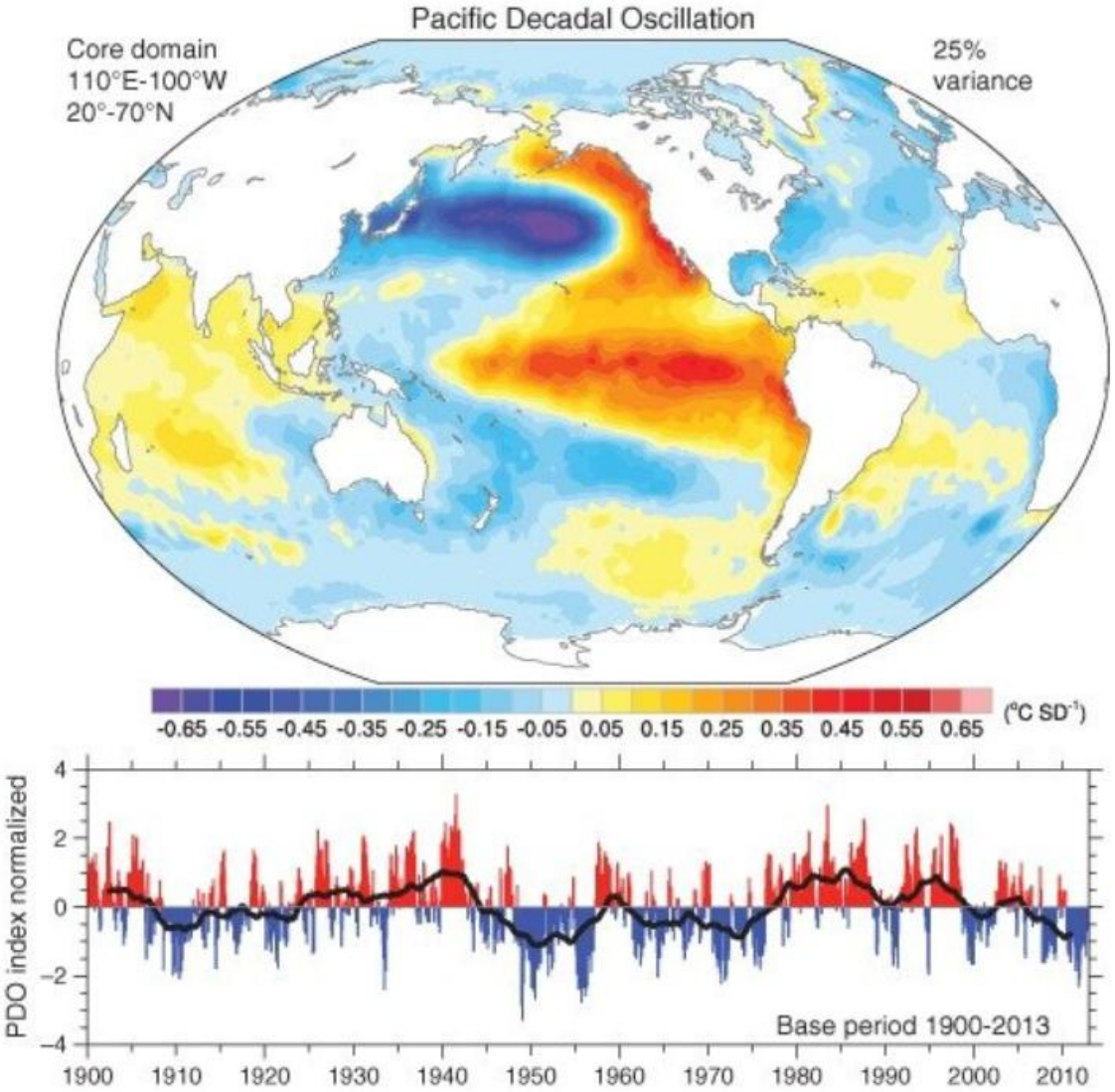
La NAO desempeña un papel fundamental en la modulación del tiempo y el clima en la región atlántica, **incluido el Reino Unido.** El índice NAO se define como la diferencia de presión a nivel del mar entre los sistemas de alta presión subtropical (Azores) y baja presión subpolar (Islandia). Las fases positivas fuertes de la NAO tienden a estar asociadas con temperaturas superiores a lo normal en el este de Estados Unidos y en el norte de Europa, y temperaturas inferiores a lo normal en Groenlandia (y, a menudo, en el sur de Europa y Oriente Medio). También se asocian con precipitaciones superiores a lo normal en el norte de Europa y Escandinavia, y precipitaciones inferiores a lo normal en el sur y centro de Europa.







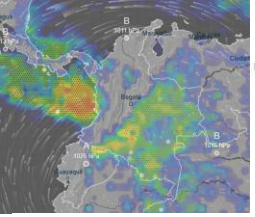
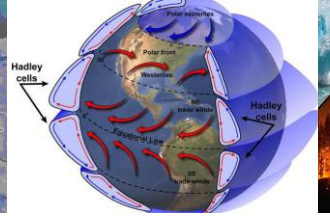


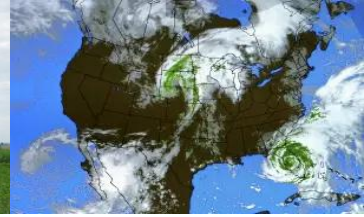
La oscilación decenal del Pacífico (PDO)

- Es un patrón robusto y recurrente de variabilidad climática océano-atmósfera centrada en la cuenca del Pacífico de latitud media. La PDO se detecta usando las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) en el Océano Pacífico Norte, a una latitud de 20°N.

- La PDO es una fluctuación oceánica a largo plazo del Océano Pacífico. La ODP experimenta variaciones de intensidad aproximadamente cada 20 a 30 años. A partir de los datos topográficos de la superficie oceánica, junto con otros datos oceánicos y atmosféricos, los científicos pueden determinar si nos encontramos en una fase fría o cálida.

- Durante el último siglo, la amplitud de este patrón climático ha variado irregularmente en escalas de tiempo interanuales a interdecadales (es decir, períodos de tiempo de unos pocos años hasta períodos de tiempo de varias décadas). Hay evidencia de inversiones en la polaridad predominante (es decir, cambios en aguas superficiales frías versus aguas superficiales cálidas dentro de la región) de la oscilación que ocurrieron alrededor de 1925, 1947 y 1977.

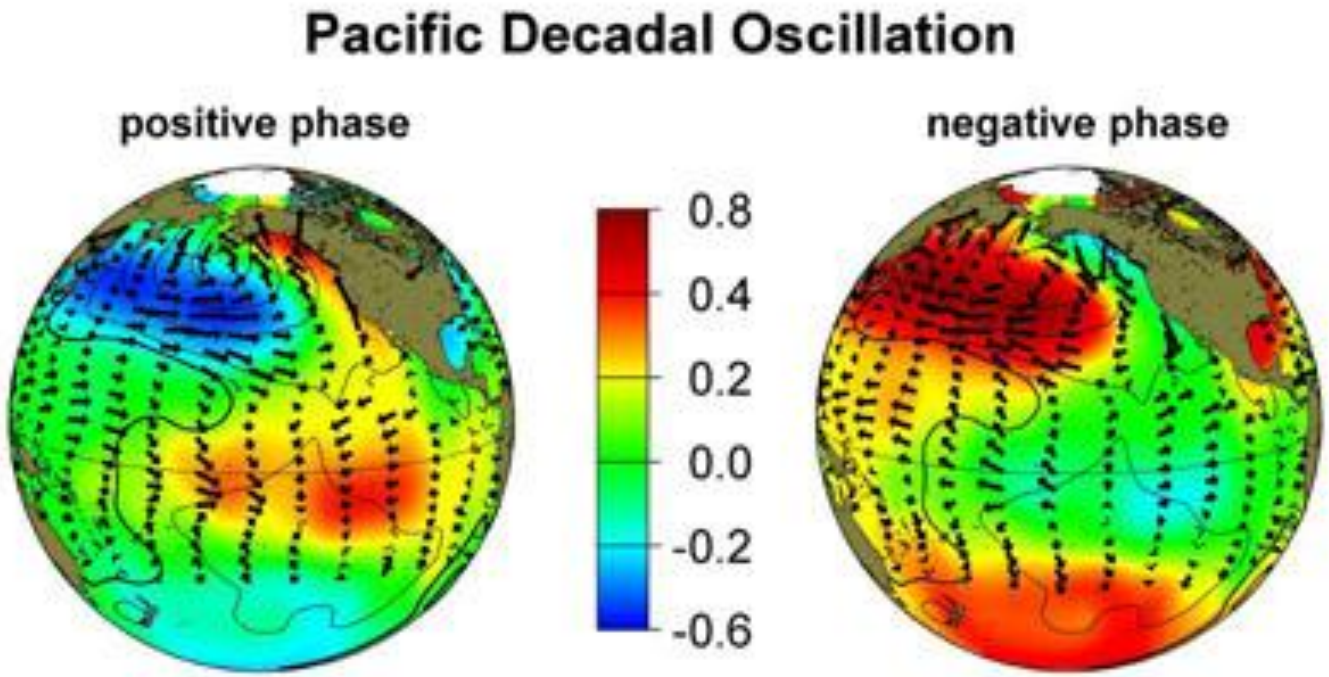



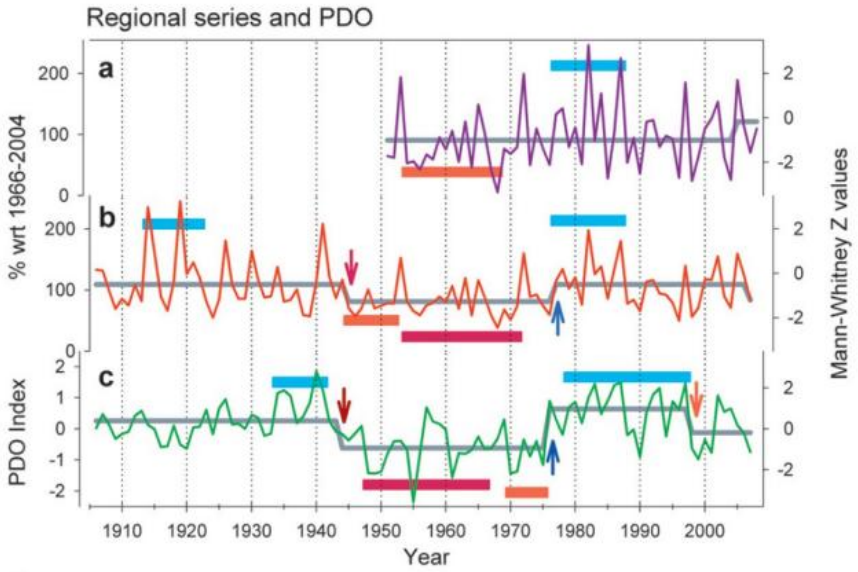


PDO Phase	North Pacific Sea Surface Pressure	North Pacific Sea Surface Temperature	Influence on El Nino Conditions	Influence on La Nina Conditions
Positive	Low	Cold	Enhance	Weaken
Negative	High	Warm	Weaken	Enhance

La Oscilación Decadal del Pacífico se describe a menudo como un patrón de larga duración similar a El Niño de la variabilidad climática del Pacífico (Zhang et al. 1997).

Cambios observados de Precipitación (1960-2000)

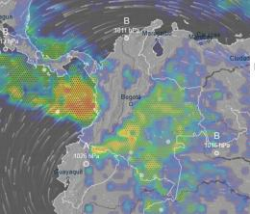
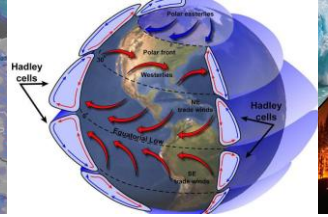


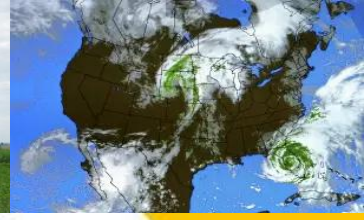


JOURNAL OF HYDROMETEOROLOGY

Intra- to Multidecadal Variations of Snowpack and Streamflow Records in the Andes of Chile and Argentina between 30° and 37°S

MARIANO H. MASIOKAS AND RICARDO VILLALBA



Oscilación Madden-Julian

La OMJ es un patrón climático que consiste en una perturbación atmosférica de gran escala que se desplaza hacia el este a través del océano Índico y el Pacífico tropical. Fue descubierta en los años 70 por Roland Madden y Paul Julian, de ahí su nombre.

Duración y movimiento: Tiene un ciclo de aproximadamente 30-60 días y se mueve lentamente hacia el este a una velocidad de unos 5 metros por segundo.

Impactos globales

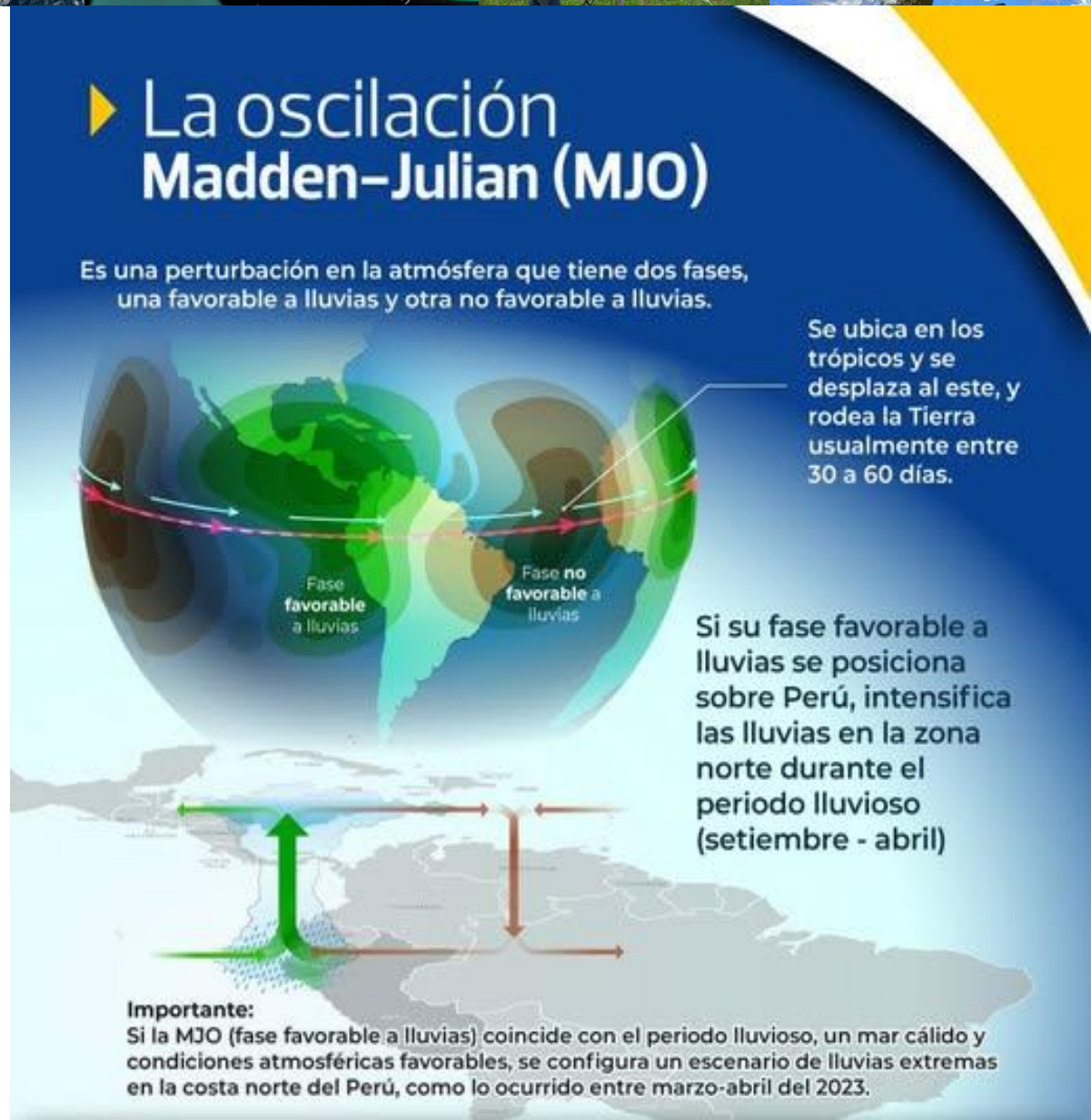
La OMJ influye significativamente en:

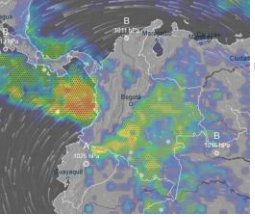
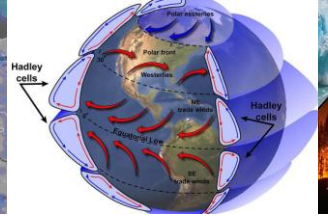
•**Monzones**: Puede intensificar o debilitar los monzones asiáticos y australianos.

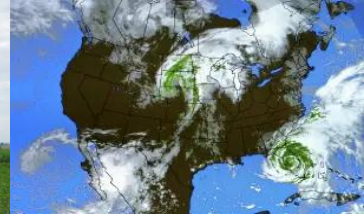
•**Ciclones tropicales**: Modula la actividad de huracanes y tifones

•**El Niño y La Niña**: Puede facilitar el desarrollo de estos fenómenos

•**Clima regional**: Afecta las precipitaciones en regiones tropicales y subtropicales

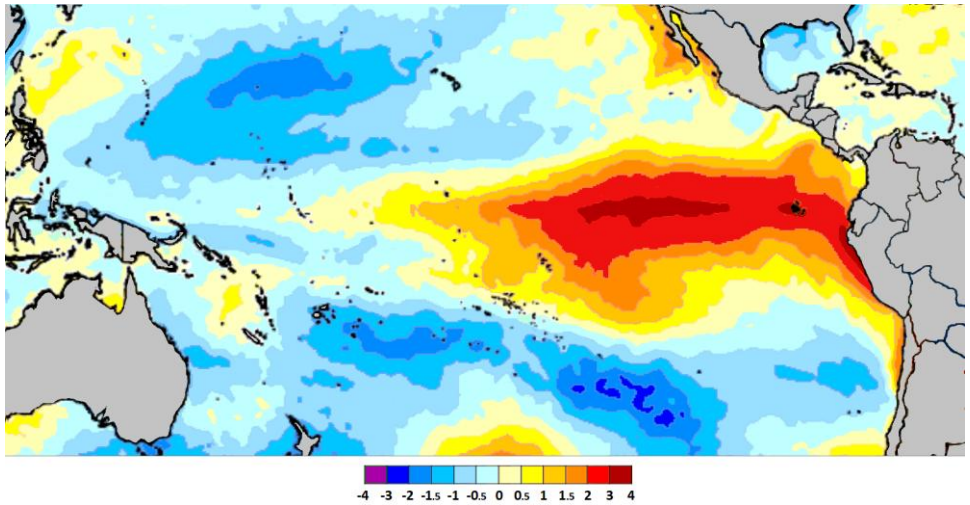


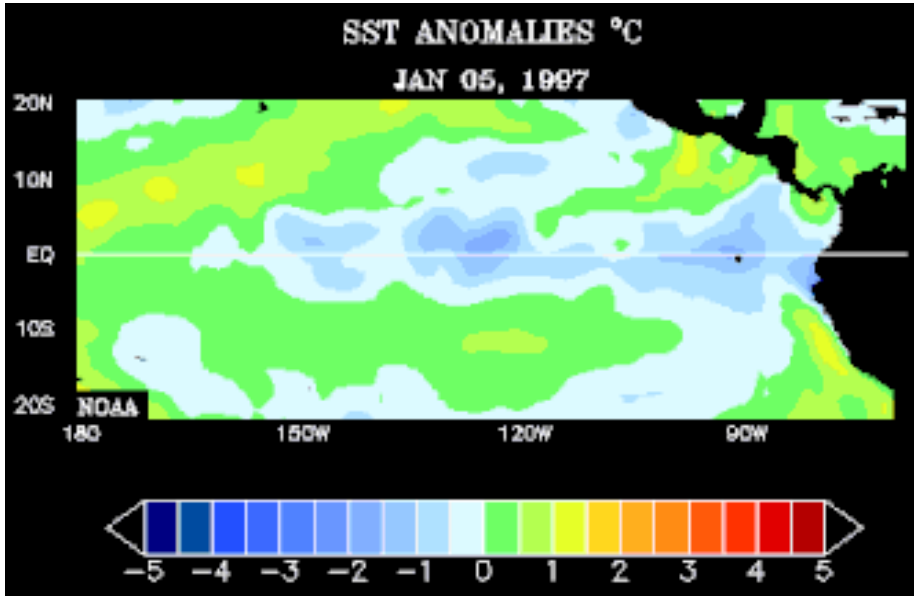





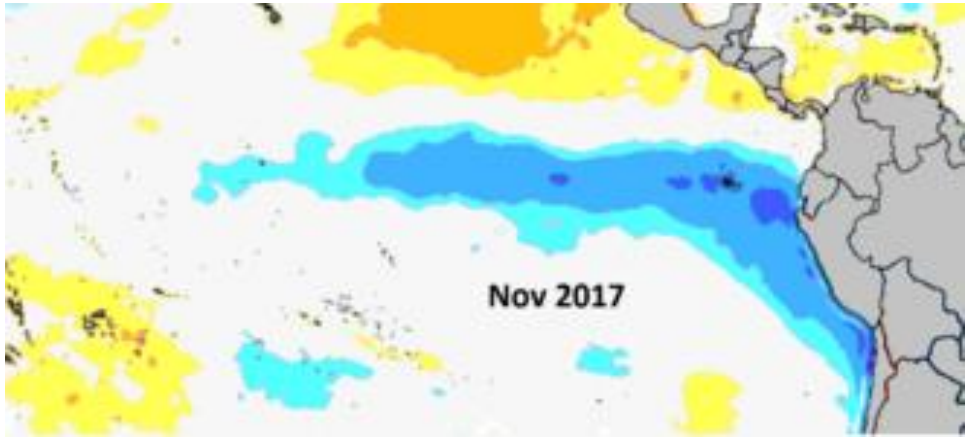
Niño-Oscilación del Sur

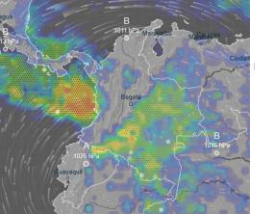
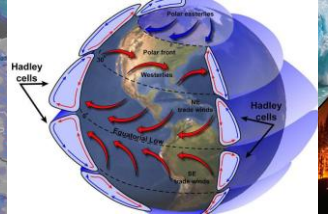
El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) es un patrón climático natural que incluye cambios en la temperatura del océano Pacífico ecuatorial y la presión atmosférica. Se trata de una fluctuación periódica que afecta al clima global, alternando entre tres fases: El Niño (cálida), La Niña (fría) y una fase neutra. El nombre "El Niño" proviene de la corriente cálida que se observa cerca de la costa de Perú alrededor de diciembre,

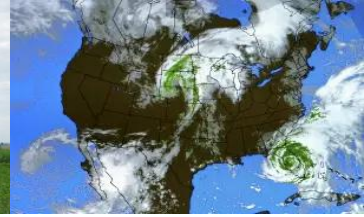




<u>Oscilación del Sur</u>: El componente atmosférico asociado con El Niño y La Niña, que se refiere a los cambios en la presión atmosférica sobre el Pacífico tropical.





El Niño

Durante El Niño, las aguas superficiales del Pacífico ecuatorial central y oriental se calientan anormalmente. Esto ocurre cuando los vientos alisios del este se debilitan o incluso pueden invertir su dirección. Normalmente, estos vientos empujan las aguas cálidas hacia el oeste (Asia), pero cuando se debilitan, las aguas cálidas se extienden hacia el este, llegando hasta las costas de Perú y Ecuador.

Características principales:

•Temperatura del agua superficial 0.5˚C o más por encima del promedio
•Debilitamiento de los vientos alisios
•Reducción de la surgencia de aguas frías en la costa occidental de Sudamérica
•Desplazamiento hacia el este de las zonas de convección y lluvia

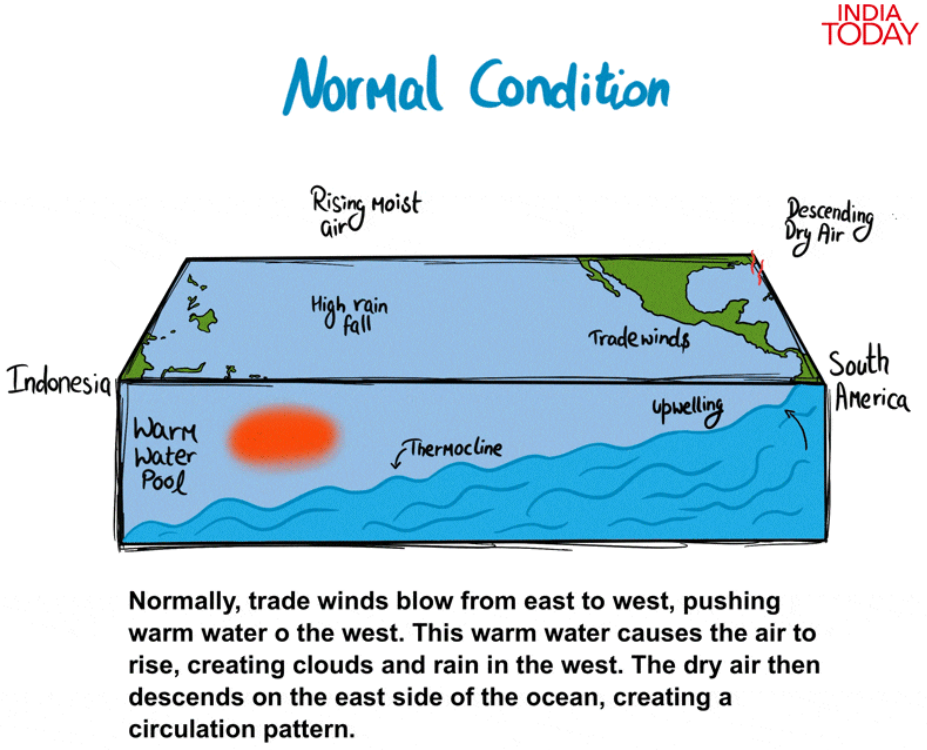
Estos patrones oceánicos y atmosféricos varían en un ciclo irregular de 2 a 7 años, lo que puede causar cambios predecibles en los patrones de viento y lluvia a nivel mundial.

La Niña

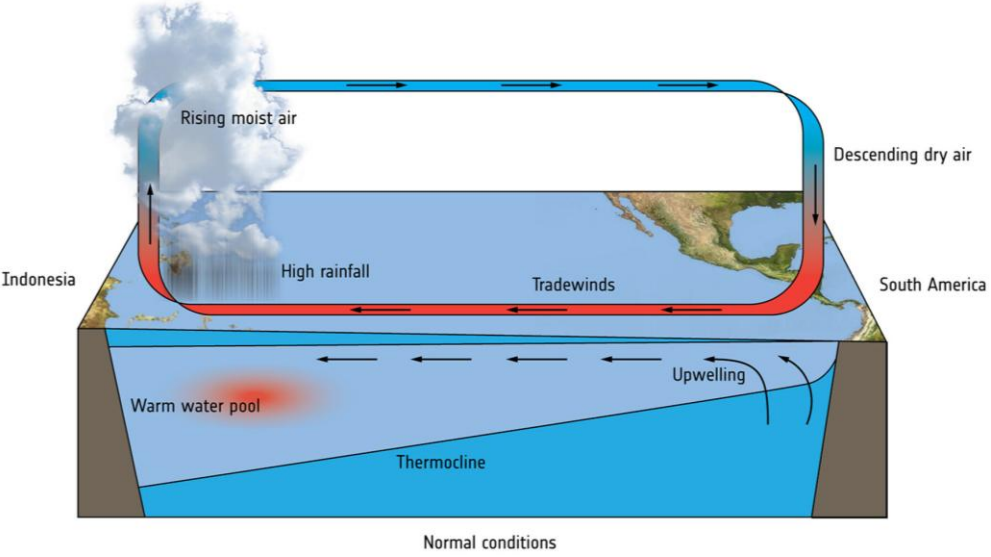
La Niña representa la fase opuesta, con un enfriamiento anormal de las aguas superficiales del Pacífico ecuatorial central y oriental. Los vientos alisios se intensifican más de lo normal, empujando con mayor fuerza las aguas cálidas hacia el oeste y provocando una mayor surgencia de aguas frías en el este.

Características principales:

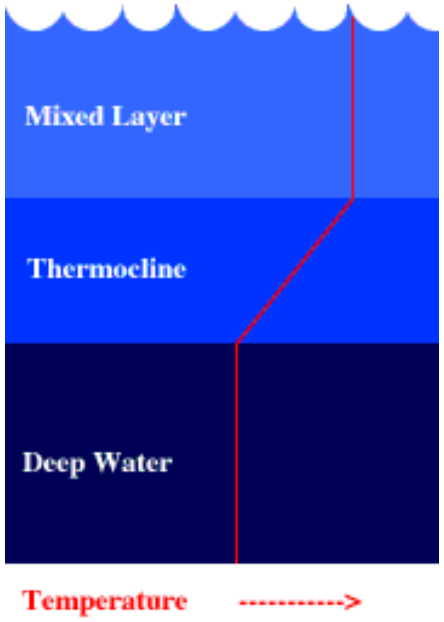
•Temperatura del agua superficial 0.5˚C o más por debajo del promedio
•Intensificación de los vientos alisios
•Mayor surgencia de aguas frías en la costa occidental de Sudamérica
•Concentración de aguas cálidas en el Pacífico occidental

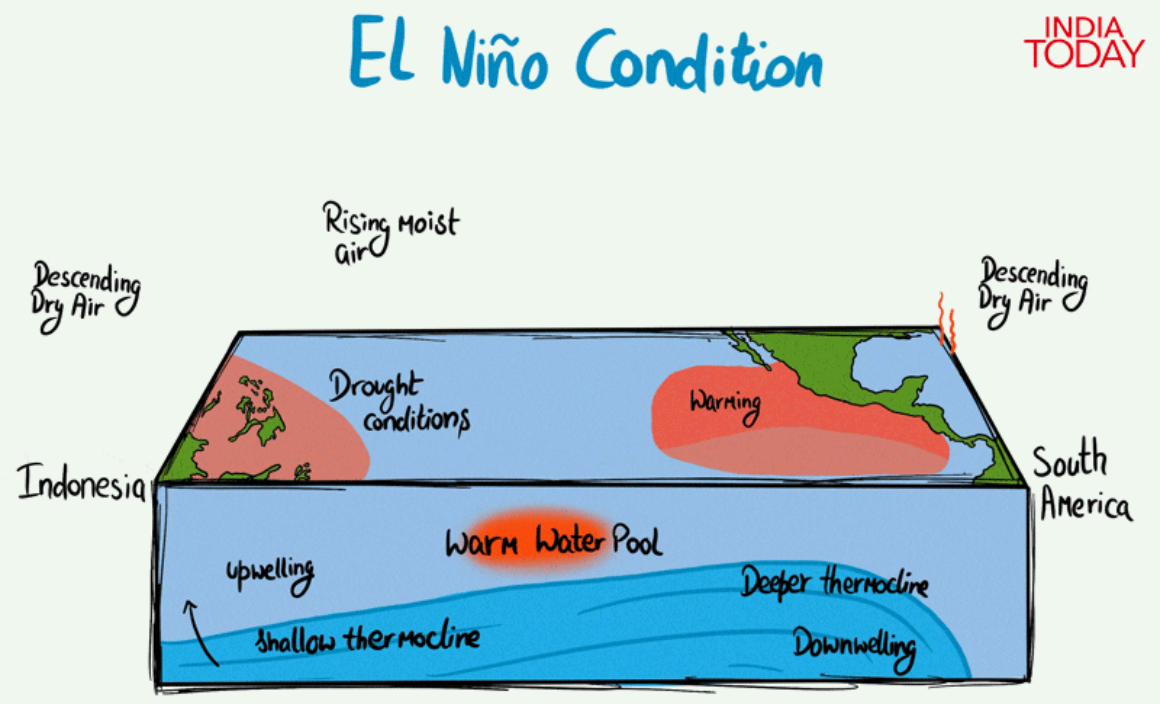


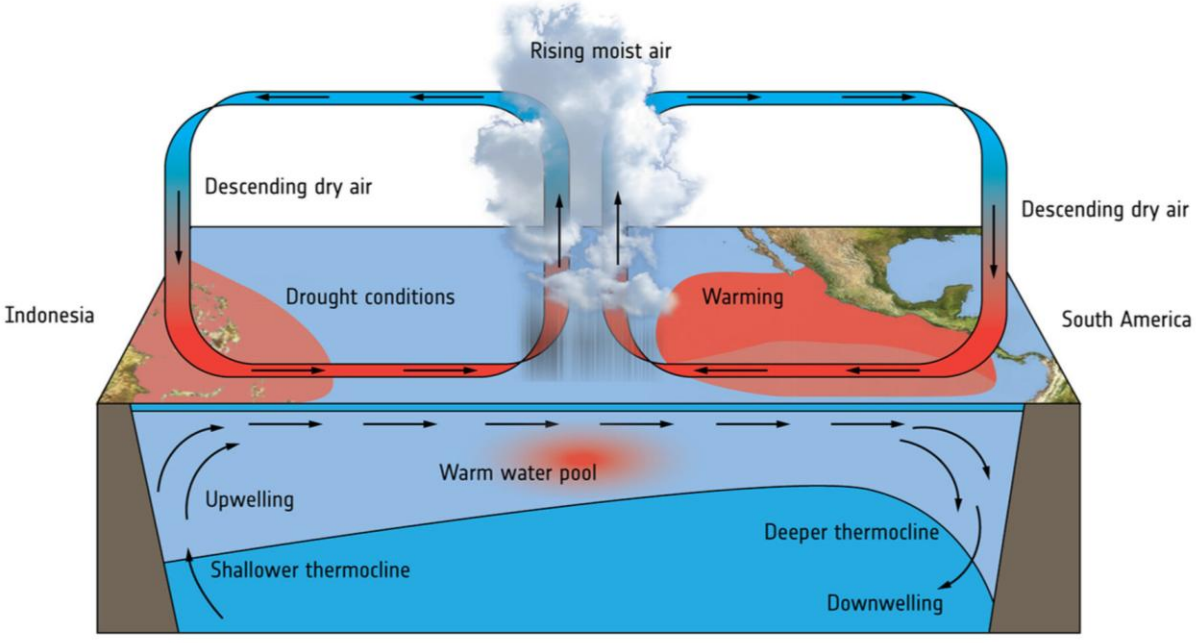
- **Los vientos alisios** soplan de este a oeste a través del Océano Pacífico.
- Estos vientos empujan **el agua superficial cálida** hacia el oeste (hacia Indonesia).
- El agua tibia crea un área llamada "Piscina de Agua Caliente" cerca de Indonesia.
- A medida que esta agua cálida se acumula en el oeste, hace que el aire se eleve, creando **fuertes precipitaciones** en esa región.
- Mientras tanto, en el lado oriental del océano (cerca de América del Sur), **el agua fría surge** de capas oceánicas más profundas.
- Esto crea **aire seco descendente** en el lado este, lo que resulta en condiciones más secas.
- El sistema crea un **patrón de circulación** llamado Circulación de Walker, con el aire ascendiendo en el oeste y descendiendo en el este.
- También hay una **termoclina** (el límite entre el agua cálida de la superficie y el agua fría profunda) que se inclina hacia abajo de este a oeste.



La termoclina es una capa del océano donde se presenta una caída abrupta de la temperatura, en relación con la superficie marina. Los efectos del Fenómeno del Niño llevan a que esta capa se profundice en el lado del continente americano.







El Niño conditions

Condición El Niño

Cambios clave respecto al modo normal:

•**Los vientos alisios se debilitan** significativamente, lo que reduce su capacidad de empujar el agua cálida hacia el oeste.

•La **piscina de agua cálida** que normalmente se encuentra cerca de Indonesia ahora se extiende hacia el este a través del Pacífico.

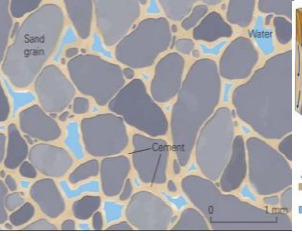
•El agua cálida se acumula a lo largo de la **costa oeste de las Américas** (especialmente América del Sur)

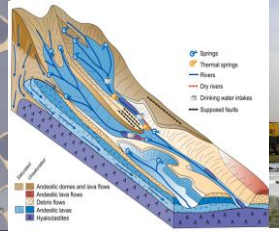
Cambios en el océano:

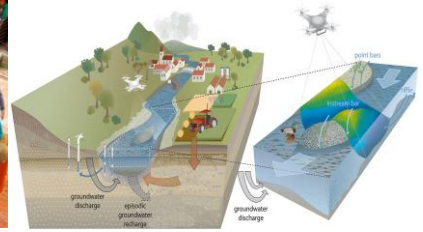
•La **termoclina se hace más profunda** en el lado oriental y **menos profunda** en el lado occidental.

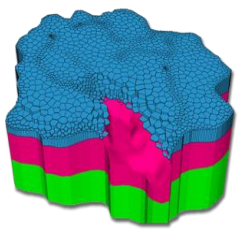
•**Las surgencias disminuyen** a lo largo de la costa sudamericana, reduciendo la circulación normal de agua fría

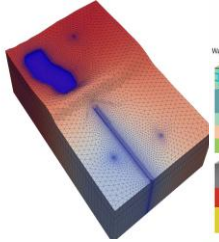
•**El hundimiento** se produce en el Pacífico oriental

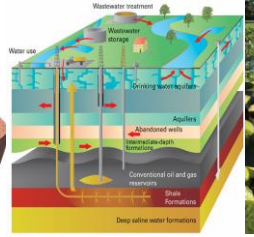


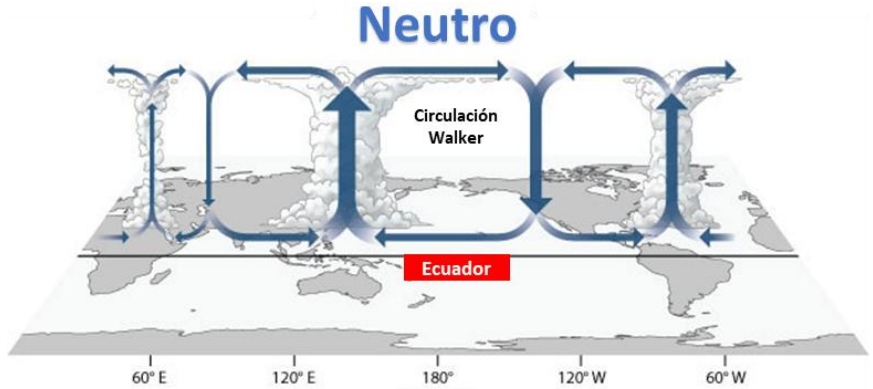




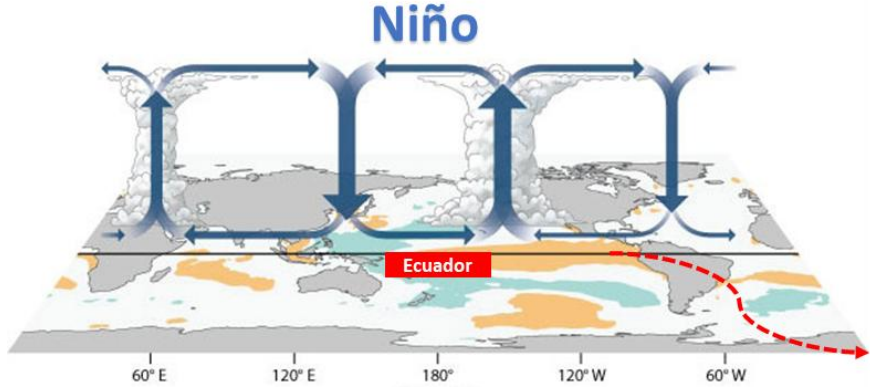




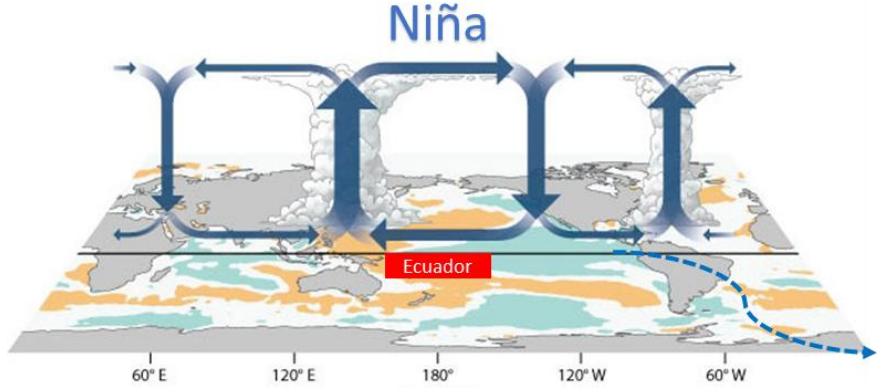




Fenómeno del Niño

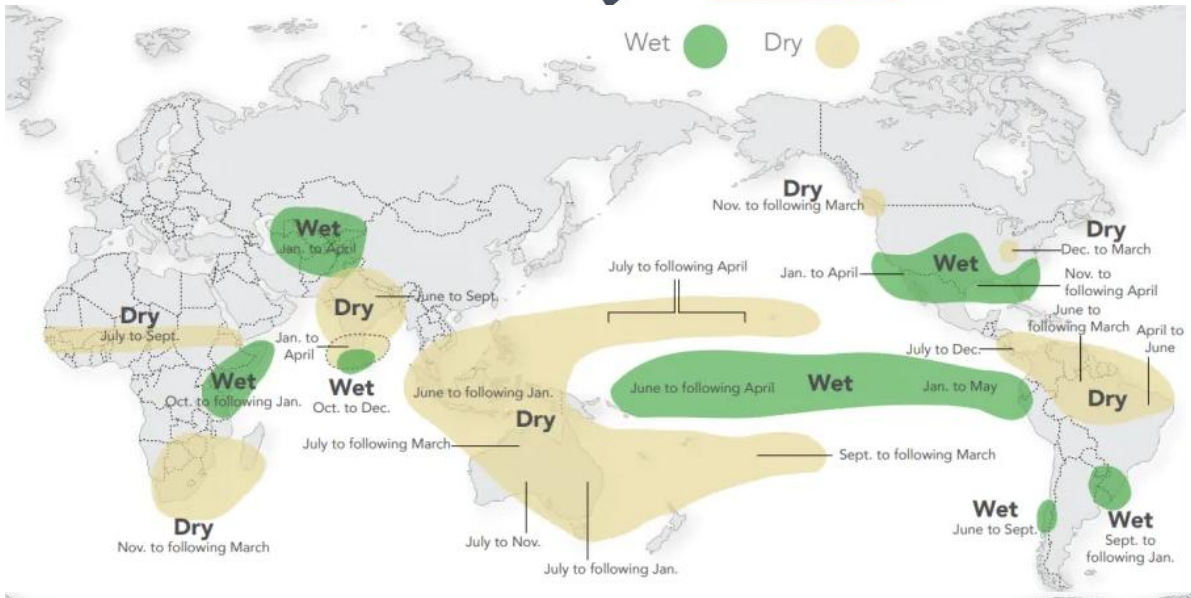


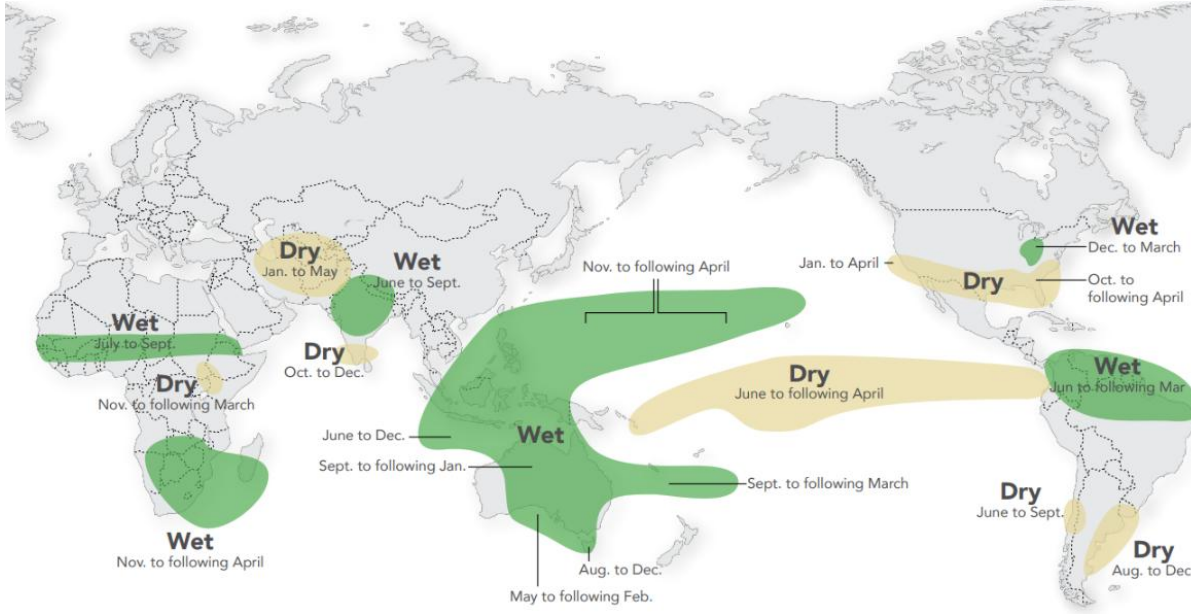
SST Más caliente que el promedio

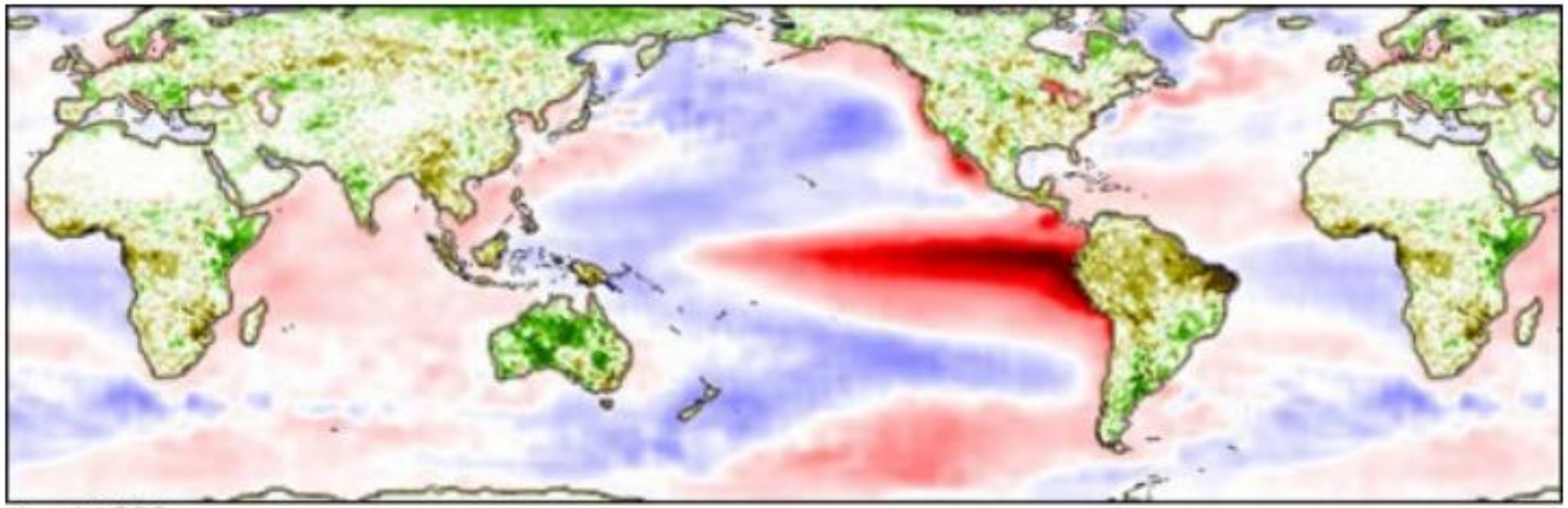


SST Más frío que el promedio

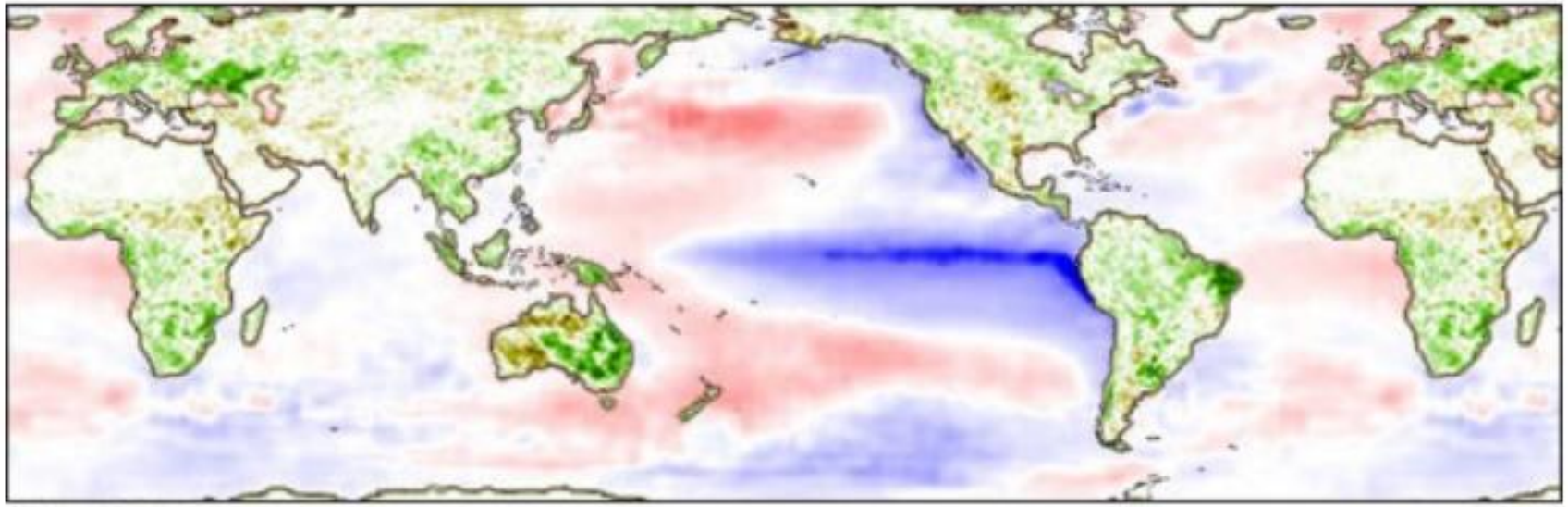
Fenómeno de la Niña



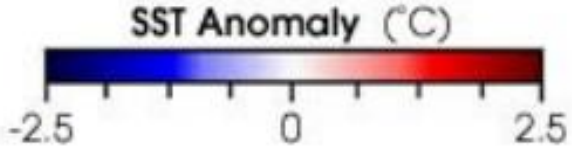


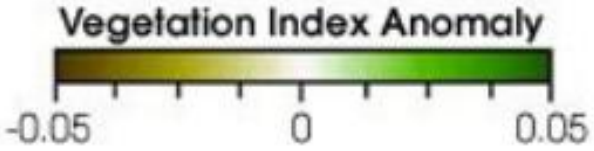


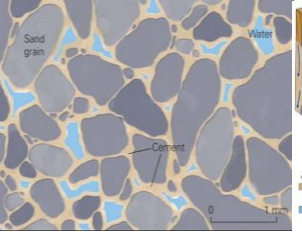
April 1983

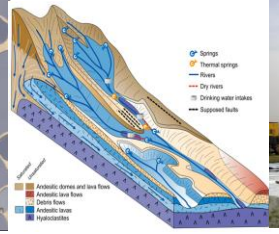


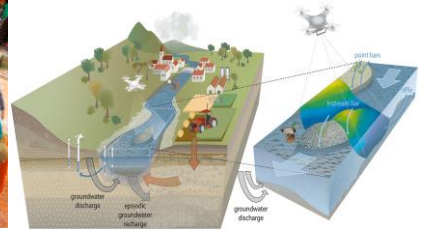
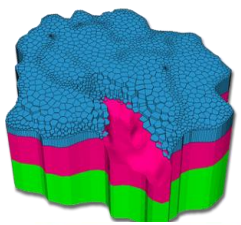
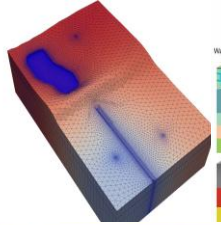
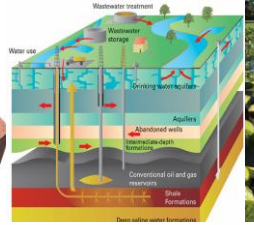
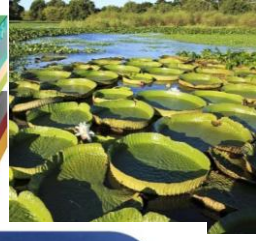
April 1989



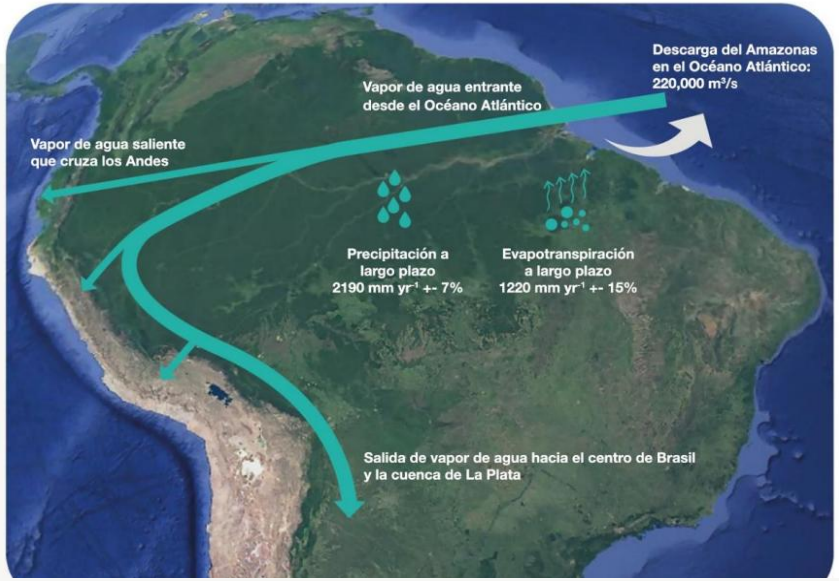


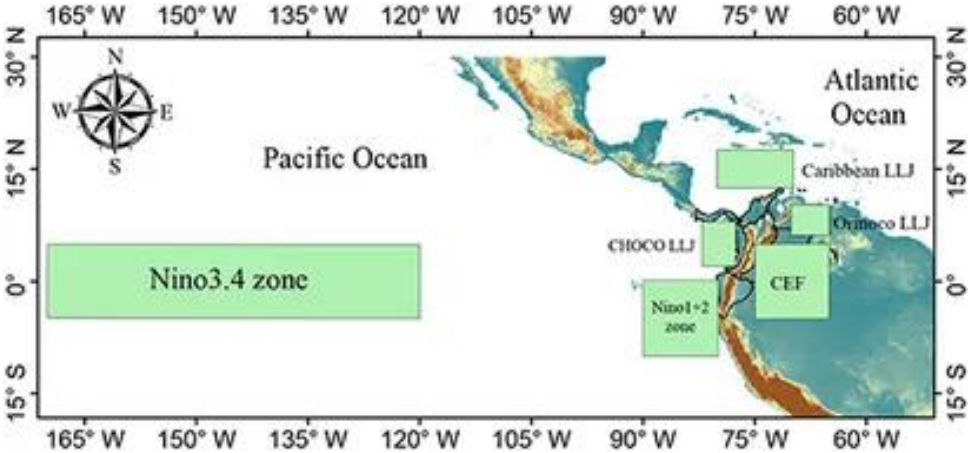


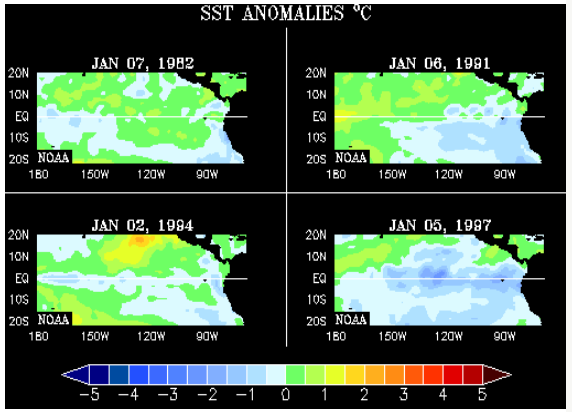


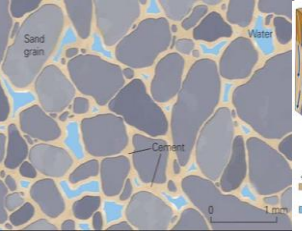






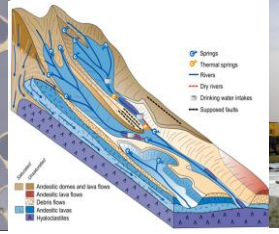
Las anomalías hidroclimáticas en Colombia, se presentan principalmente a variaciones interdecadales, debidas al cambio climático (Poveda, 2004), e interanuales debido a mecanismos físicos, que modifican los patrones de circulación atmosféricos estacionalmente. De acuerdo con Salas et al. (2020), los patrones de circulación atmosférica estacional que interactúan en la variación de los hidroclimática en Colombia son: la oscilación meridional de la zona de convergencia intertropical (Poveda, 2004; Hurtado y Mesa, 2015), la actividad de los vientos alisios del Este (Montealegre y Pabón, 2000), el Niño-oscilación del Sur (Poveda y Mesa, 1997; Poveda et al., 2001), los chorros de viento de bajo nivel del Choco, Orinoco, Caribe (Poveda et al., 2014; Salas et al., 2020), oscilación Madden-Julian (Pabón y Dorado, 2008; Torres-Pineda y Pabón, 2017) y finalmente el flujo transecuatorial (Wang y Fu, 2002), como posible mecanismo físico de transporte de humedad desde el noroeste de la Amazonía hacia el territorio Colombiano.

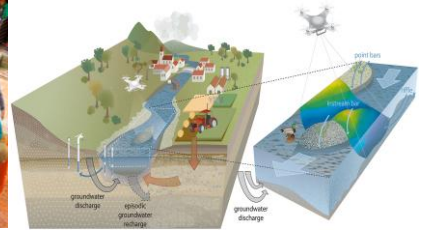


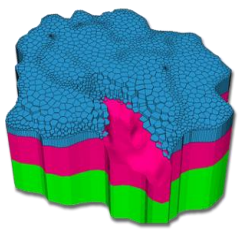
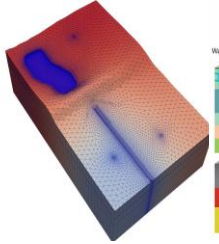
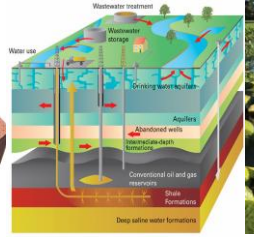




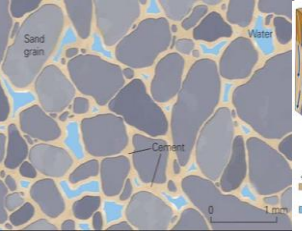


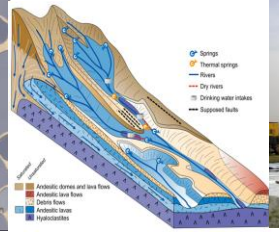


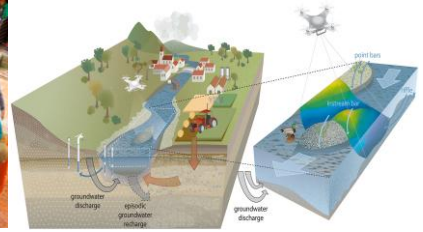


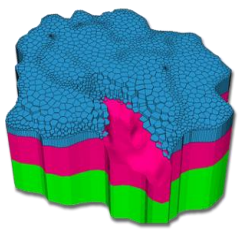




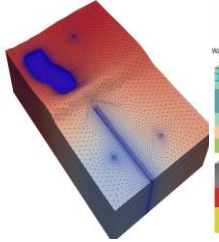
Según Montealegre y Pabón (2000), la variabilidad hidroclimática en Colombia, se encuentra fuertemente controlada por a las fases del ENSO. Cuando la anomalía en la SST del Pacífico Ecuatorial, supera ± 0.5˚C, se presenta el fenómeno del Niño, se experimentan anomalías negativas en la precipitación y el caudal, principalmente hacia los Andes Colombianos (Poveda et al., 2011). Cuando la SST disminuye ± 0.5˚C, se presenta la Niña se invierte la tendencia y se presentan anomalías positivas en la precipitación y el caudal. Cuando ocurren los fenómenos de ENSO en Colombia, presentan un mayor impacto para el caudal que para la precipitación, debido a los efectos análogos de la humedad del suelo y la evapotranspiración (Poveda et al.,2001). El tiempo de recurrencia del fenómeno macro-climático ENSO se encuentra en el orden 2-7 años (Poveda, 2004).

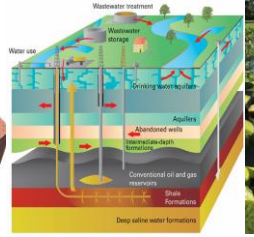


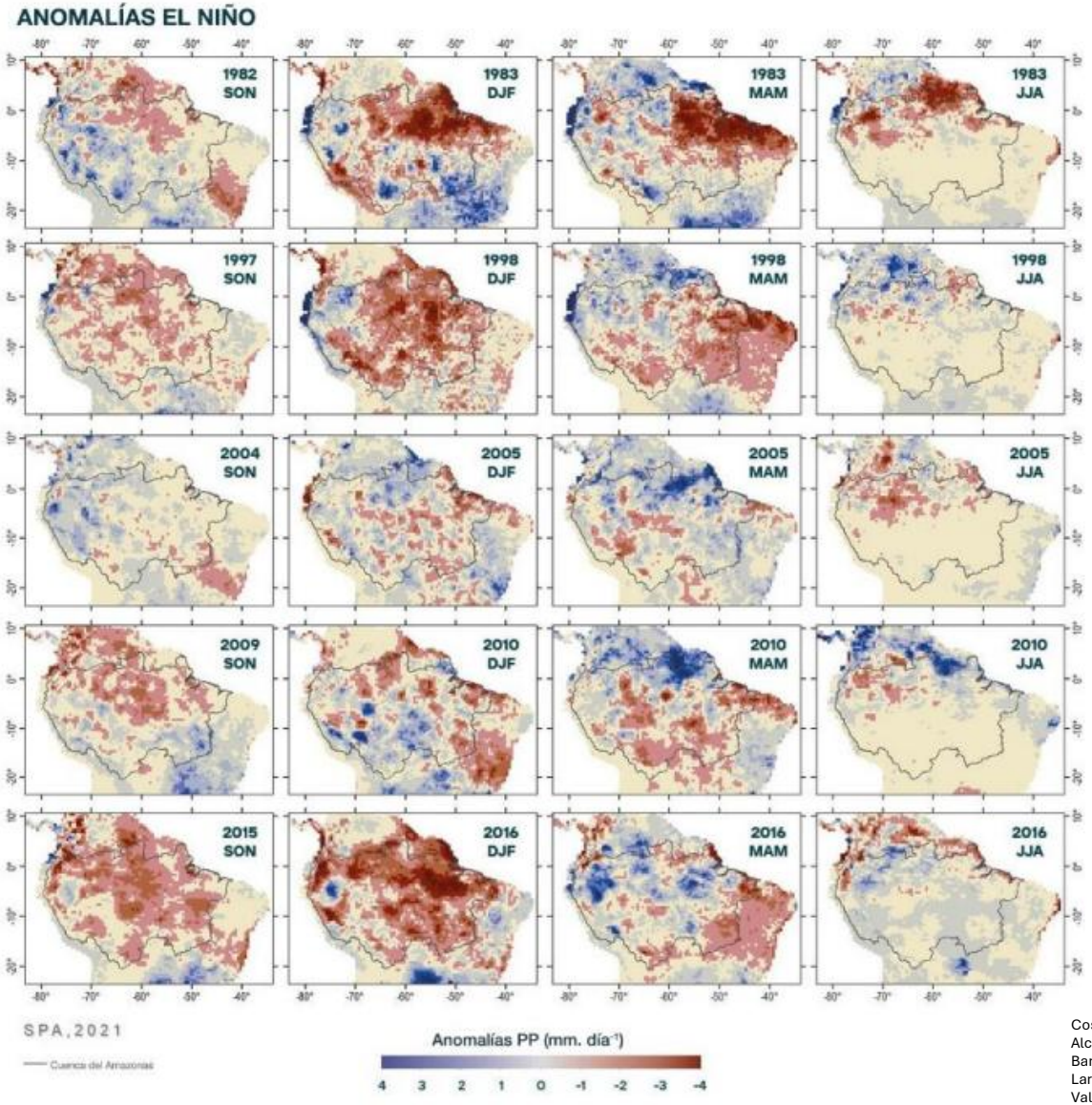


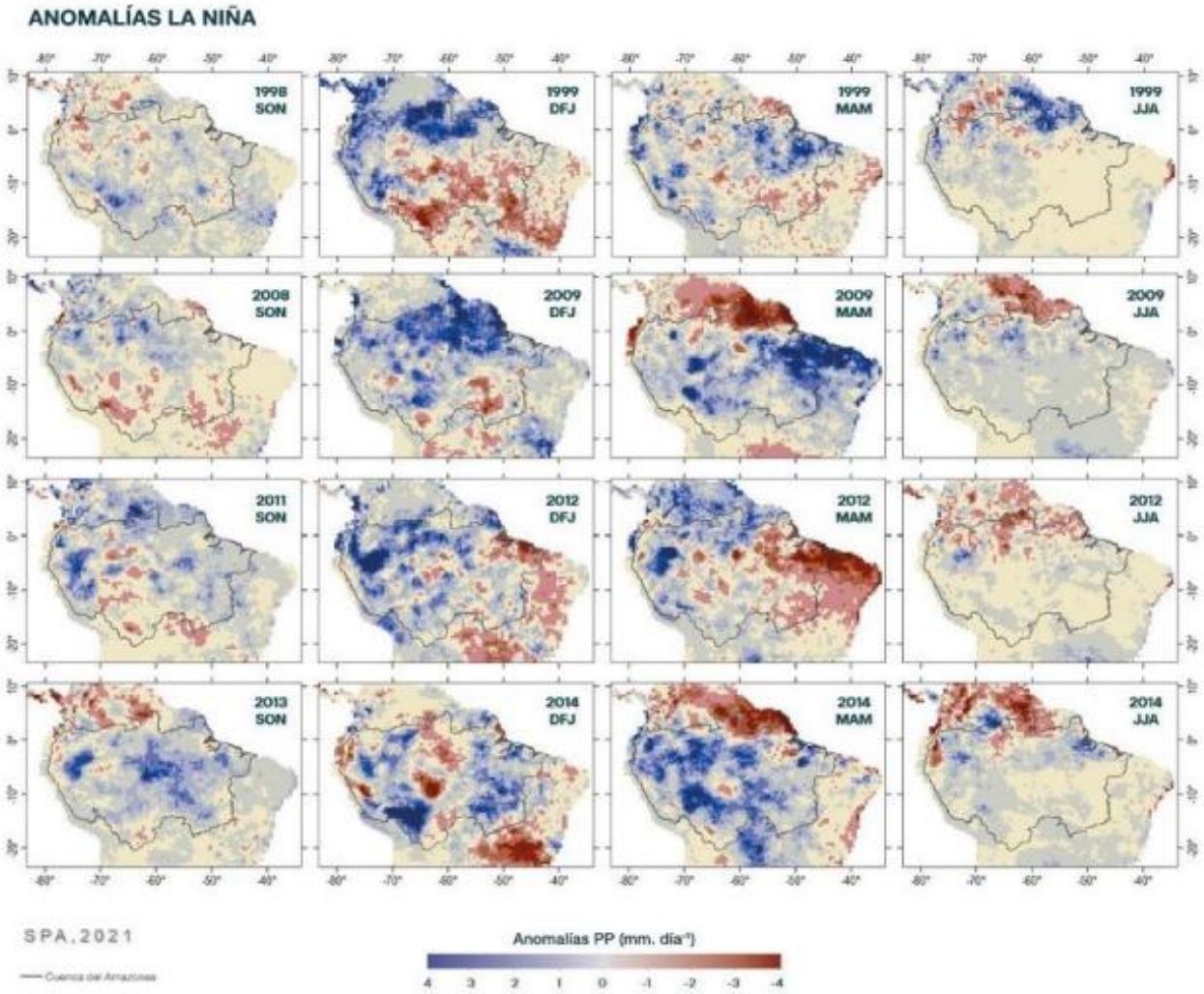




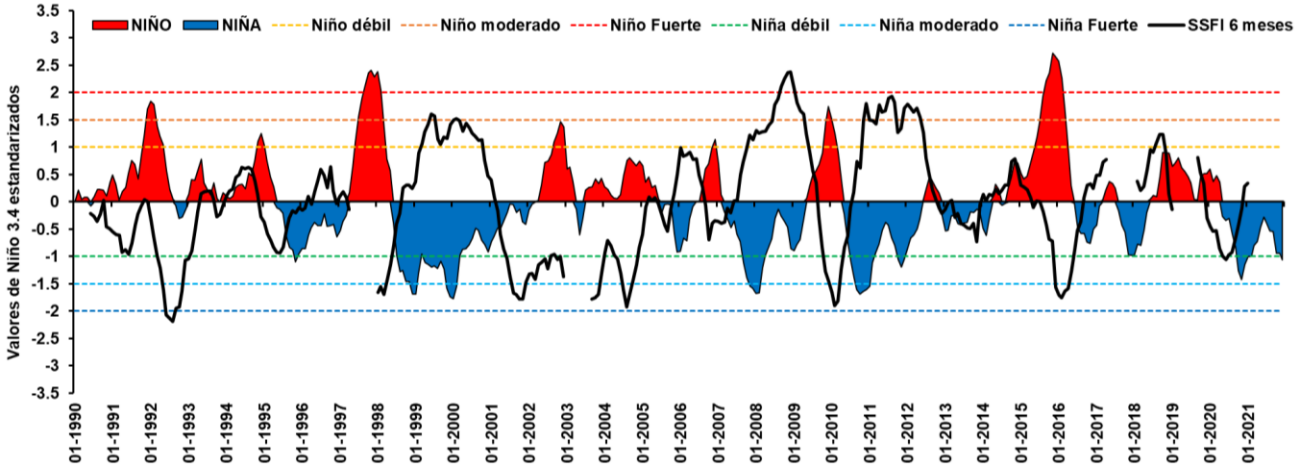


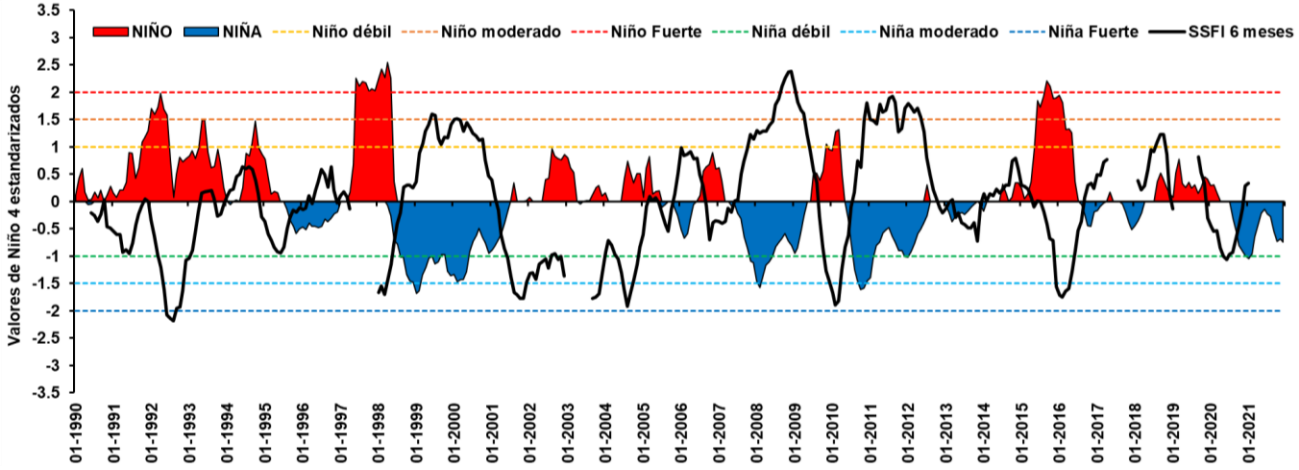


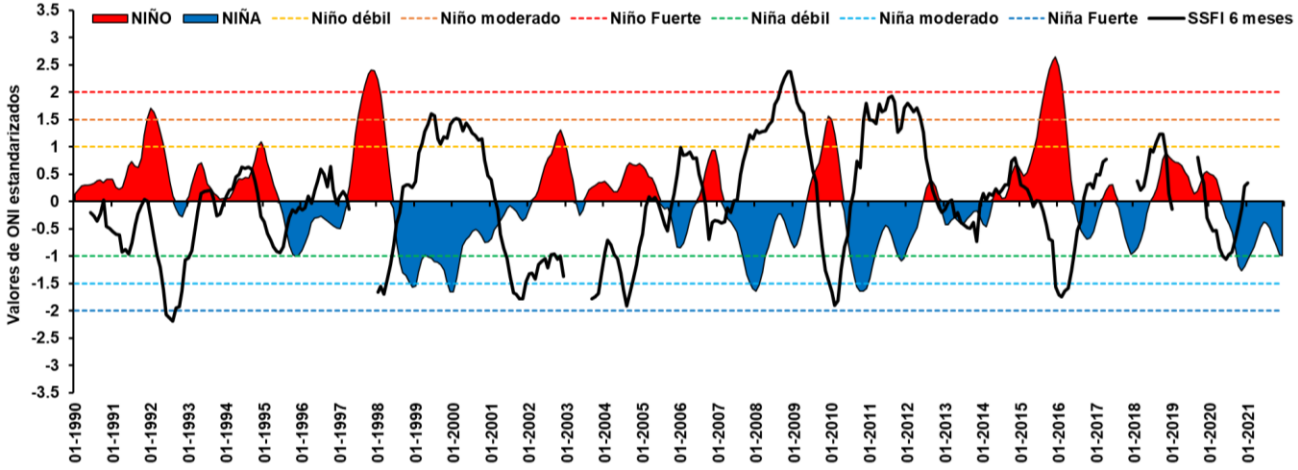


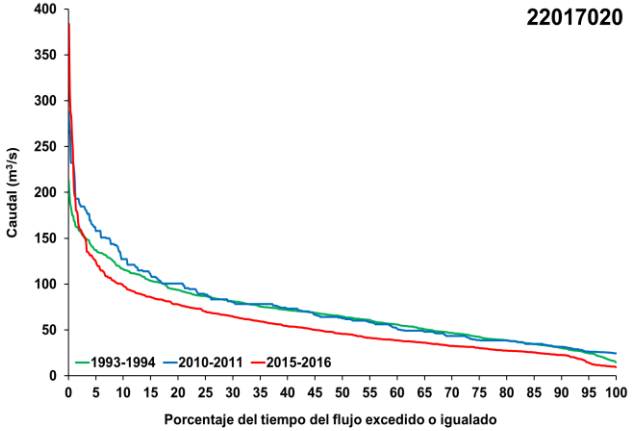


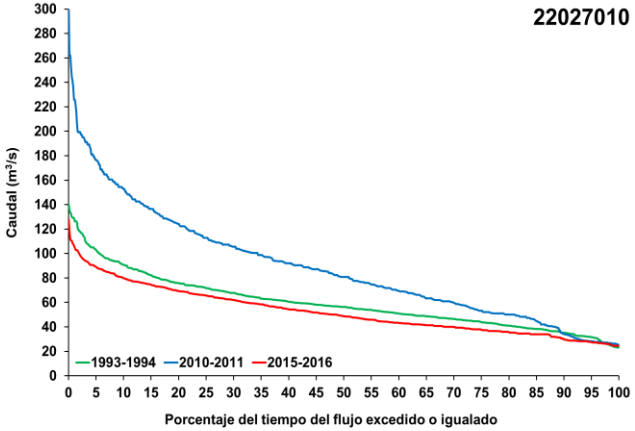
Costa MH, Borma LS, Espinoza JC, Macedo M, Marengo JA, Marra DM, Ometto JP, Gatti LV. 2021. Capítulo 5: El Sistema Físico Hidroclimático de la Amazonía. En: Nobre C, Encalada A, Anderson E, Roca Alcazar FH, Bustamante M, Mena C, Peña-Claros M, Poveda G, Rodriguez JP, Saleska S, Trumbore S, Val AL, Villa Nova L, Abramovay R, Alencar A, Rodríguez Alzza C, Armenteras D, Artaxo P, Athayde S, Barretto Filho HT, Barlow J, Berenguer E, Bortolotto F, Costa FA, Costa MH, Cuvi N, Fearnside PM, Ferreira J, Flores BM, Frieri S, Gatti LV, Guayasamin JM, Hecht S, Hirota M, Hoorn C, Josse C, Lapola DM, Larrea C, Larrea-Alcazar DM, Lehm Ardaya Z, Malhi Y, Marengo JA, Melack J, Moraes R M, Moutinho P, Murmis MR, Neves EG, Paez B, Painter L, Ramos A, Rosero-Peña MC, Schmink M, Sist P, ter Steege H, Val P, van der Voort H, Varese M, Zapata-Ríos G (Eds). Informe de evaluación de Amazonía 2021. Traducido del inglés al español por iTranslate. United Nations Sustainable Development Solutions Network, New York, USA. Disponible de https://www.laamazonia quequeremos.org/pca-publicaciones/. DOI: 10.55161/FAAQ6494

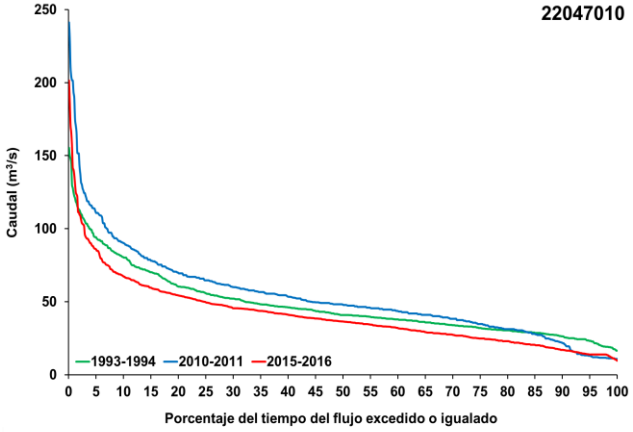

NIÑO
NIÑA
Niño débil
Niño moderado
Niño Fuerte
Niña débil
Niña moderado
Niña Fuerte
SSFI 6 meses
Valores de Niño 3.4 estandarizados

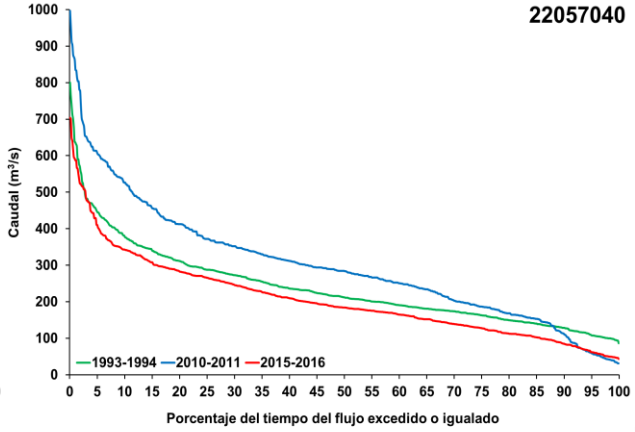

NIÑO
NIÑA
Niño débil
Niño moderado
Niño Fuerte
Niña débil
Niña moderado
Niña Fuerte
SSFI 6 meses
Valores de Niño 4 estandarizados

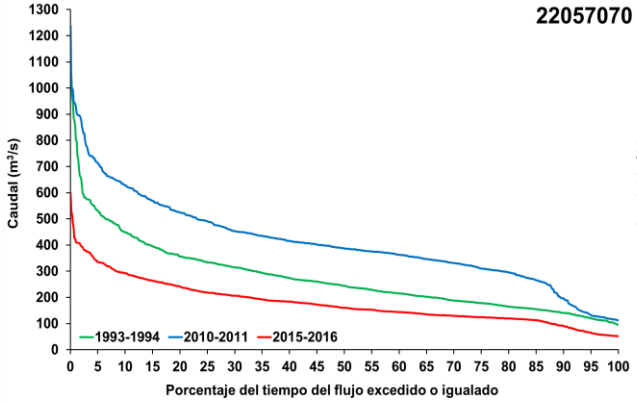

NIÑO
NIÑA
Niño débil
Niño moderado
Niño Fuerte
Niña débil
Niña moderado
Niña Fuerte
SSFI 6 meses
Valores de ONI estandarizados

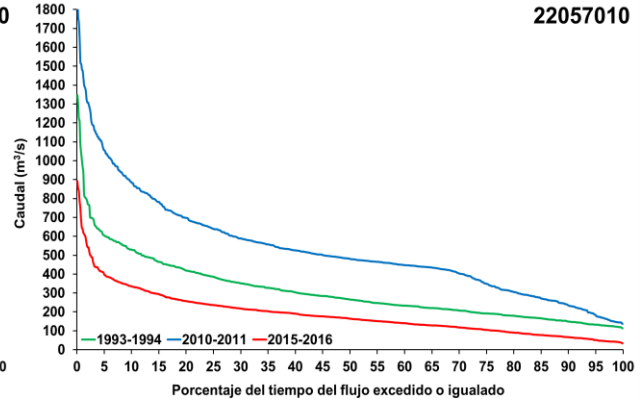

22017020
Caudal (m³/s)
1993-1994
2010-2011
2015-2016
Porcentaje del tiempo del flujo excedido o igualado

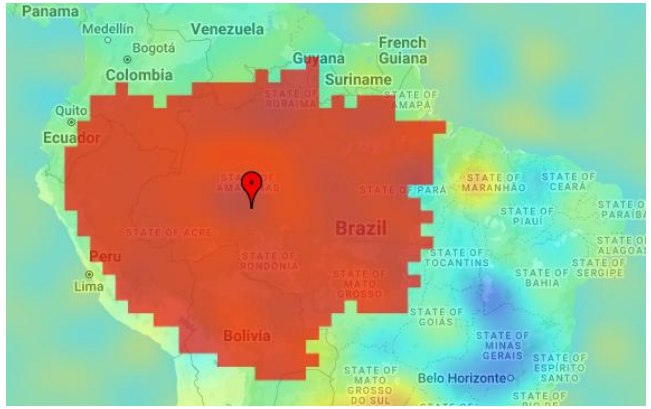

22027010
Caudal (m³/s)
1993-1994
2010-2011
2015-2016
Porcentaje del tiempo del flujo excedido o igualado

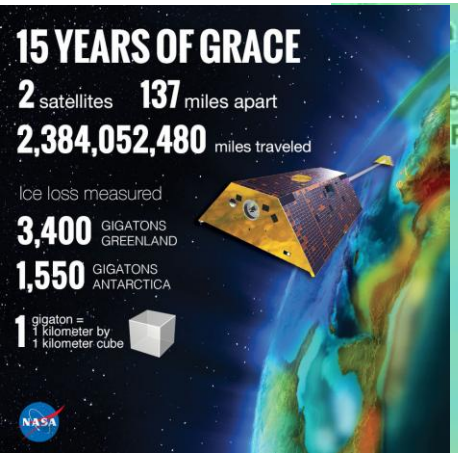

22047010
Caudal (m³/s)
1993-1994
2010-2011
2015-2016
Porcentaje del tiempo del flujo excedido o igualado


22057040
Caudal (m³/s)
1993-1994
2010-2011
2015-2016
Porcentaje del tiempo del flujo excedido o igualado


22057070
Caudal (m³/s)
1993-1994
2010-2011
2015-2016
Porcentaje del tiempo del flujo excedido o igualado

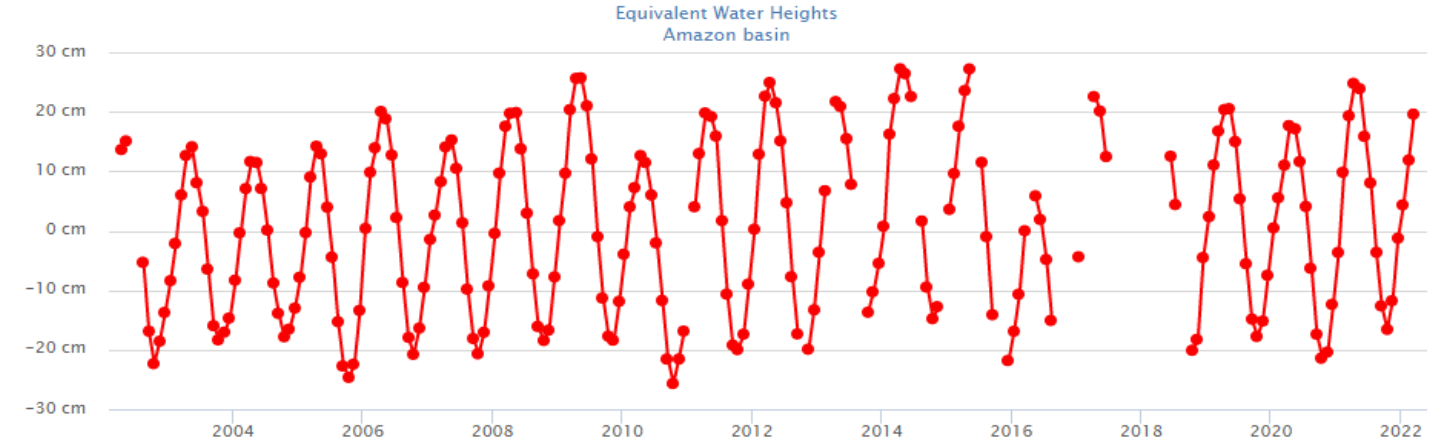

22057010
Caudal (m³/s)
1993-1994
2010-2011
2015-2016
Porcentaje del tiempo del flujo excedido o igualado

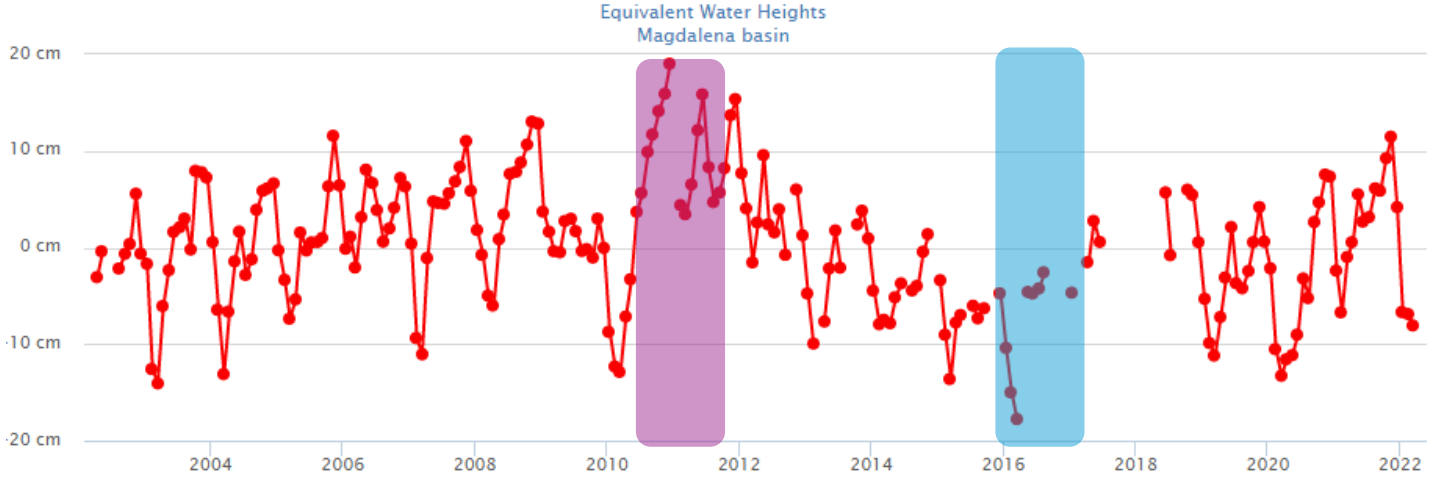

Panama
Medellín
Venezuela
Bogotá
Colombia
Guyana
French Guiana
Suriname
Quito
Ecuador
Brazil
Peru
Lima
Bolivia
Belo Horizonte

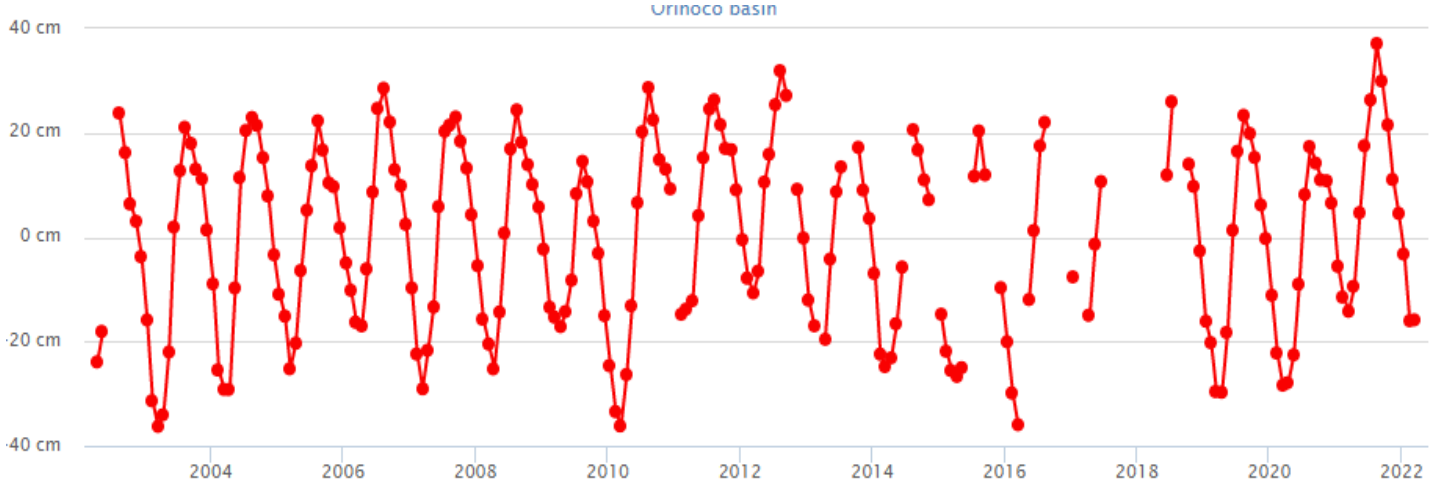

15 YEARS OF GRACE
2 satellites 137 miles apart
2,384,052,480 miles traveled
Ice loss measured
3,400 GIGATONS GREENLAND
1,550 GIGATONS ANTARCTICA
1 gigaton = 1 kilometer by 1 kilometer cube
NASA

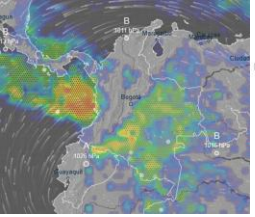
Caracas
Panama
Medellín
Venezuela
Bogotá
Colombia
Quito
Ecuador

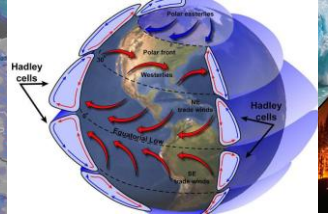
Caribbean Sea
Caracas
Panama
Medellín
Venezuela
Bogotá
Guyana
Colombia
Suriname
STATE OF RORAIMA
Quito
Ecuador
STATE OF AMAZONAS


Equivalent Water Heights
Amazon basin
30 cm
20 cm
10 cm
0 cm
−10 cm
−20 cm
−30 cm
2004
2006
2008
2010
2012
2014
2016
2018
2020
2022

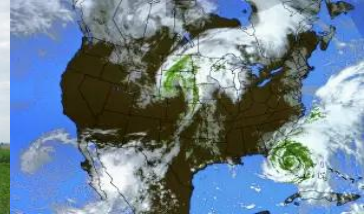

Equivalent Water Heights
Magdalena basin
20 cm
10 cm
0 cm
-10 cm
-20 cm
2004
2006
2008
2010
2012
2014
2016
2018
2020
2022

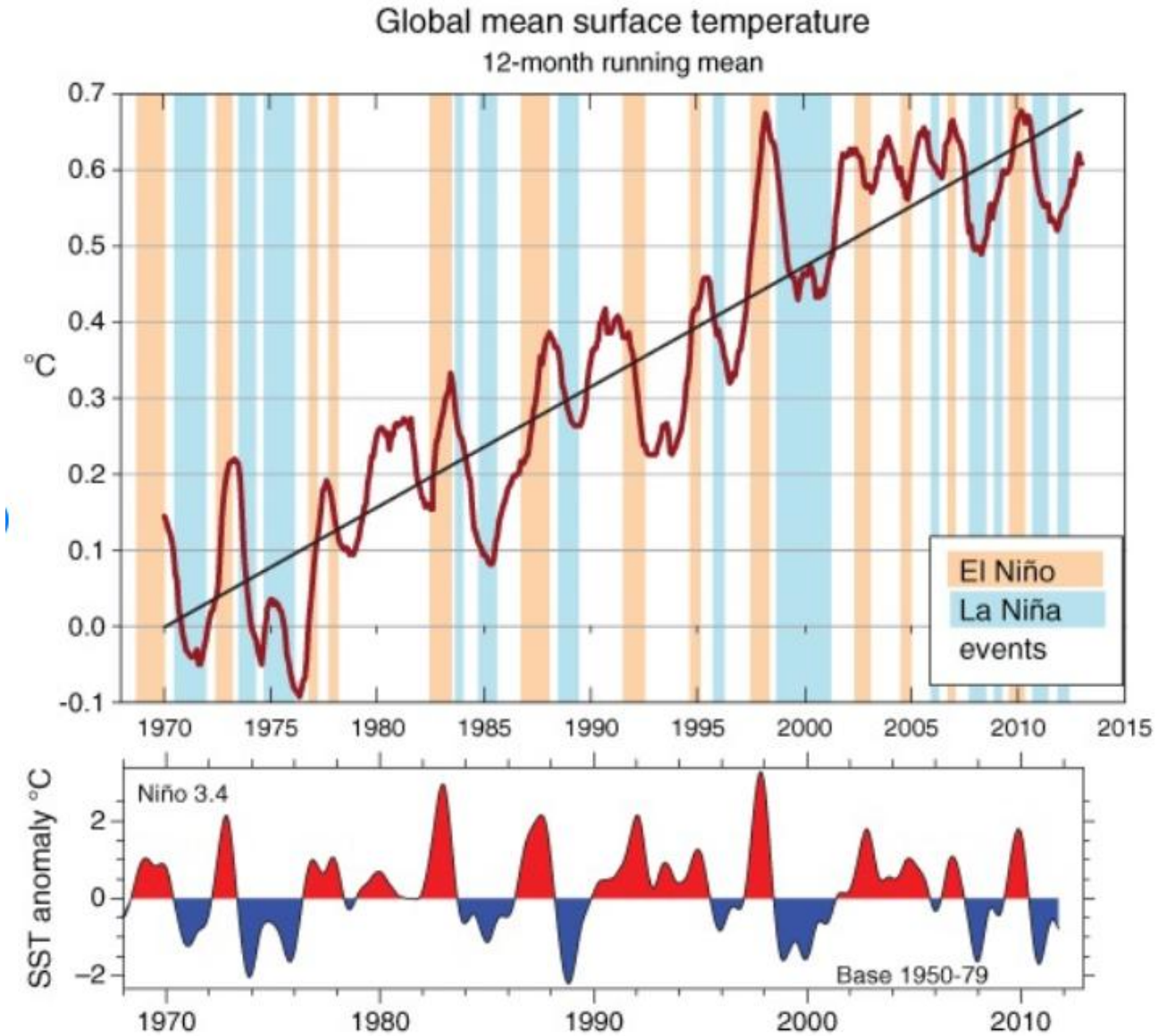

Orinoco basin
40 cm
20 cm
0 cm
-20 cm
-40 cm
2004
2006
2008
2010
2012
2014
2016
2018
2020
2022

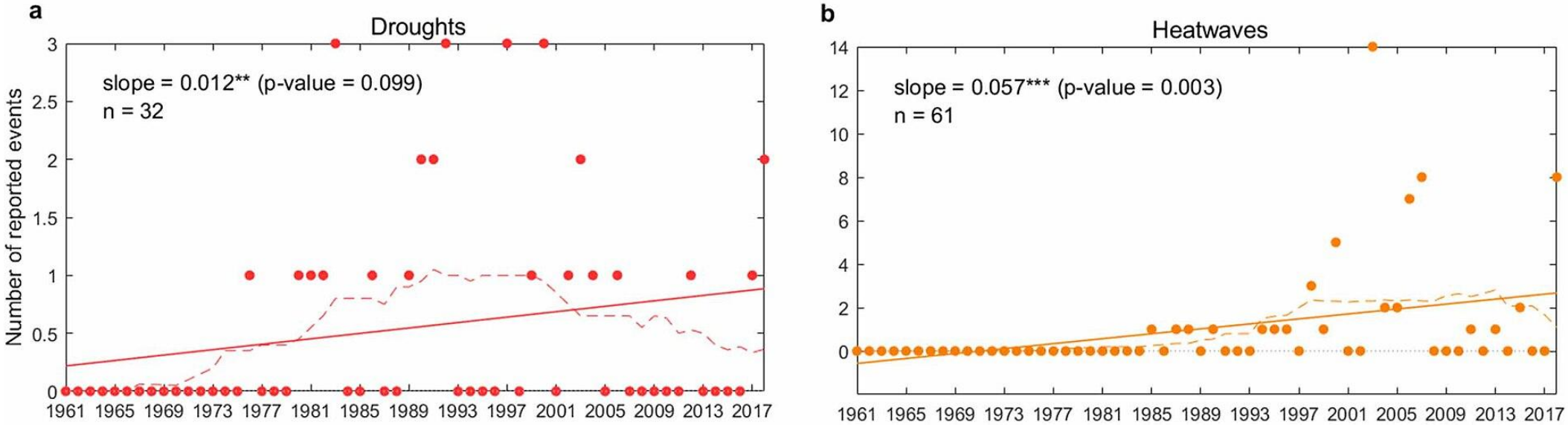



Hadley cells
Polar front
Westerlies
Hadley cells
Equatorial Low

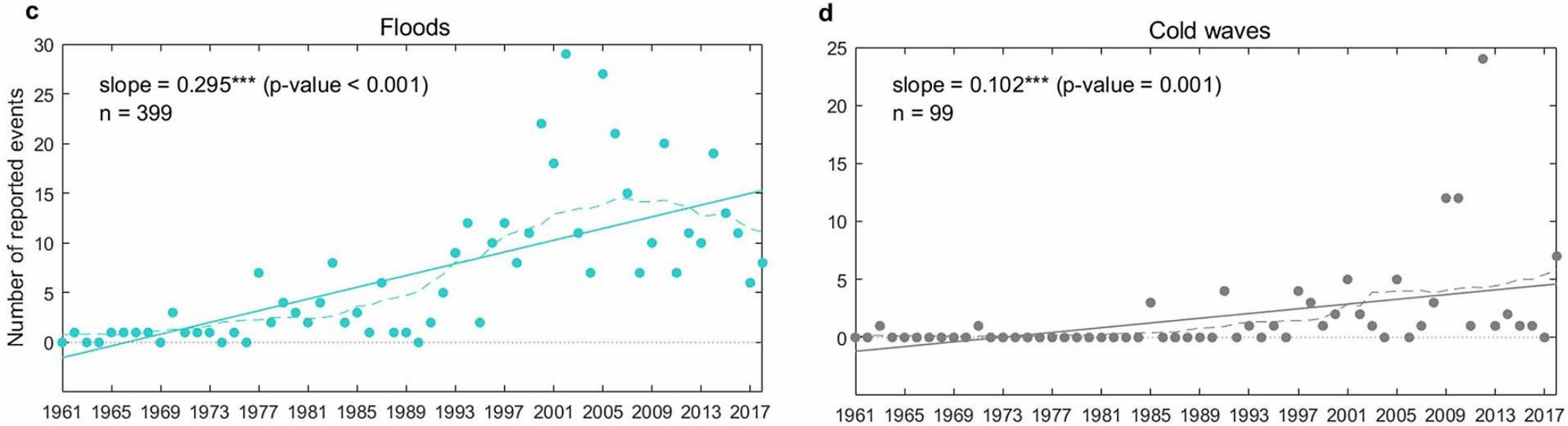
Aqua
SORCE
TRMM
GRACE
Terra
ICESat
CALIPSO
CloudSat
Aura

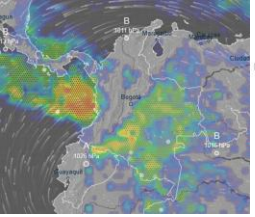
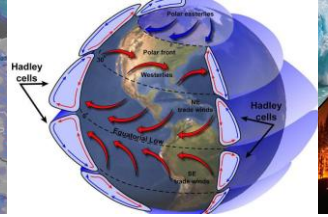


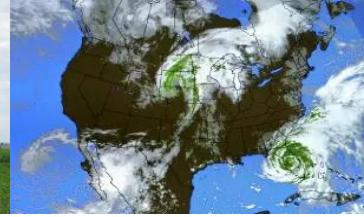

Global mean surface temperature
12-month running mean
°C
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
-0.1
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005
2010
2015
El Niño
La Niña
events
Niño 3.4
SST anomaly °C
2
0
−2
Base 1950-79
1970
1980
1990
2000
2010



The observed increase in extreme weather events in Europe, from 1964 to 2015



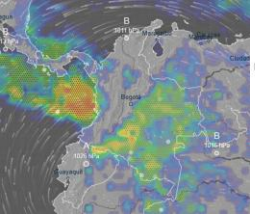
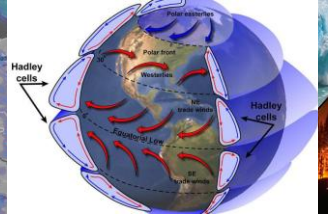



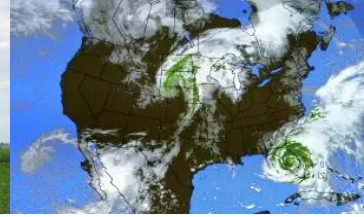


¿Qué es el efecto invernadero?

La temperatura del planeta es controlada por el balance entre la cantidad de energía solar que entra al planeta versus cuánta de esa energía se pierde al ser reflejada (re-irradiada) por la Tierra al espacio. Cuando la energía solar alcanza la superficie terrestre, hace que esta se caliente y como resultado emita ondas de radiación infrarroja. Una parte de esas ondas son retenidas en el planeta gracias a la atmósfera, que está compuesta por gases como el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO2), el metano (CH4), el óxido nitroso (NO3), entre otros, los cuales absorben esas ondas, atrapando la energía emitida por la superficie de la Tierra y permitiendo que la temperatura del planeta aumente hasta los 14 - 15°C, en promedio

Básicamente, este aumento en la temperatura permite que la vida prospere en la Tierra. A este fenómeno de retener calor en el planeta gracias a la composición de la atmósfera se le conoce como el efecto invernadero y de no existir en la Tierra, se calcula que la temperatura media del planeta sería de aproximadamente -19°C

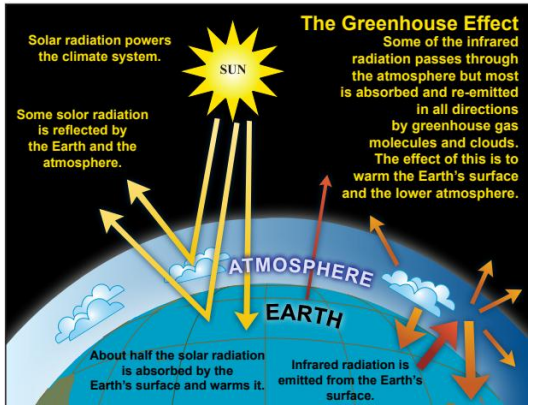


El efecto invernadero natural vs. intensificado
Natural: Mantiene la Tierra habitable desde hace millones de años

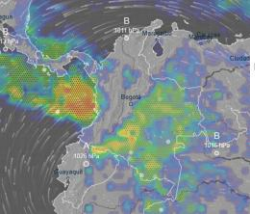
Intensificado por humanos: Desde la Revolución Industrial (1750), hemos aumentado dramáticamente los gases de efecto invernadero, especialmente CO_2, que ha pasado de 280 ppm (partes por millón) a más de 420 ppm actualmente.

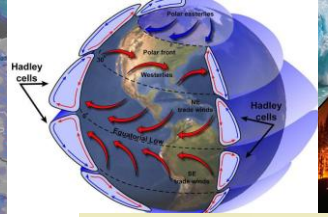
¿Cómo causa el cambio climático?

1. **Más gases = más calor atrapado**: El exceso de CO_2, metano y otros gases retiene más radiación infrarroja
2. **Aumento de temperatura global**: La temperatura promedio ha subido aproximadamente 1.1-1.2˚C desde la era preindustrial
3. **Alteración de sistemas climáticos**: Este calentamiento desencadena efectos en cascada

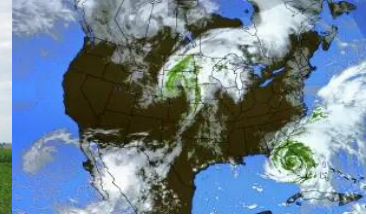


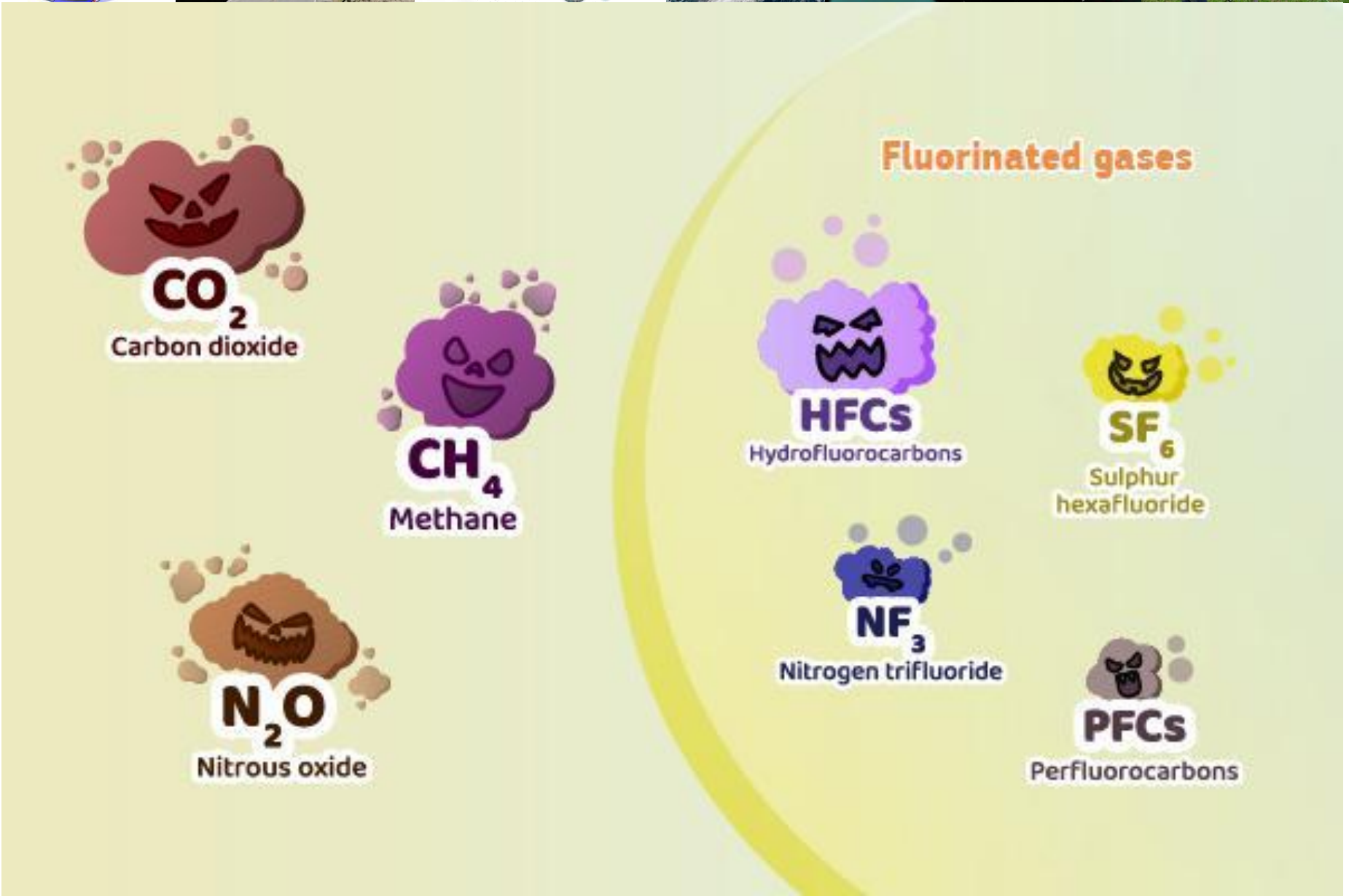
La analogía del carro
¿Has estado dentro de un carro estacionado al sol con las ventanas cerradas? Se pone **súper caliente**, ¿verdad?
•La luz del Sol entra por las ventanas fácilmente ✓
•Calienta los asientos y el volante
•El calor queda atrapado adentro porque el vidrio no lo deja salir
•¡Por eso hace tanto calor!
Eso mismo le pasa a la Tierra: Los gases en el aire funcionan como las ventanas del carro, atrapando el calor.

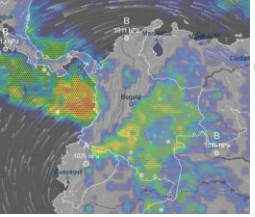
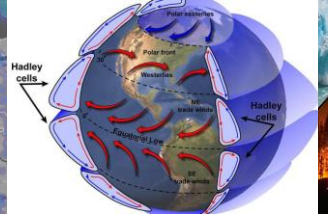


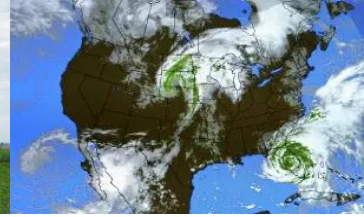

Hadley cells
Polar front
Westerlies
Hadley cells
Equatorial Low

Aqua
SORCE
TRMM
GRACE
Terra
ICESat
CALIPSO
CloudSat
Aura




CO_2
Carbon dioxide
CH_4
Methane
N_2O
Nitrous oxide
Fluorinated gases
HFCs
Hydrofluorocarbons
SF_6
Sulphur hexafluoride
NF_3
Nitrogen trifluoride
PFCs
Perfluorocarbons

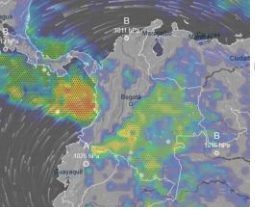
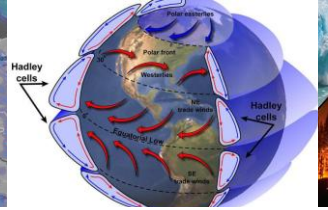



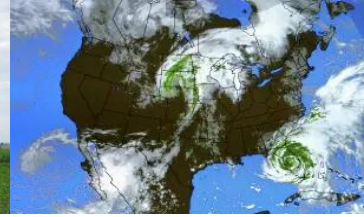


Que es el cambio climático?

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en su Artículo 1, lo define como `**un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables**

El mayor problema de un cambio acelerado en el clima es que nuestras sociedades no están preparadas para asumir los cambios que esto nos pueda traer: derretimiento de las masas glaciares y nevados que abastecen acueductos, cambios en los ciclos de floración y fructificación de las plantas de cultivo, ascensos en el nivel de los mares donde hay mucha población viviendo, mayor ocurrencia y fuerza en lluvias, sequías, huracanes, heladas y granizadas en áreas urbanas y rurales, entre otros fenómenos que sin duda reducen nuestra calidad de vida.



Gases de Efecto Invernadero (GEI)

CO_2: 65%
Principal contribuyente

CH_4: 16%
28x más potente que CO_2

N_2O: 6%
265x más potente que CO_2

F-gases: 2%
Miles de veces más potentes

Indicadores Clave

+1.1°C
Aumento temperatura global desde 1850-1900

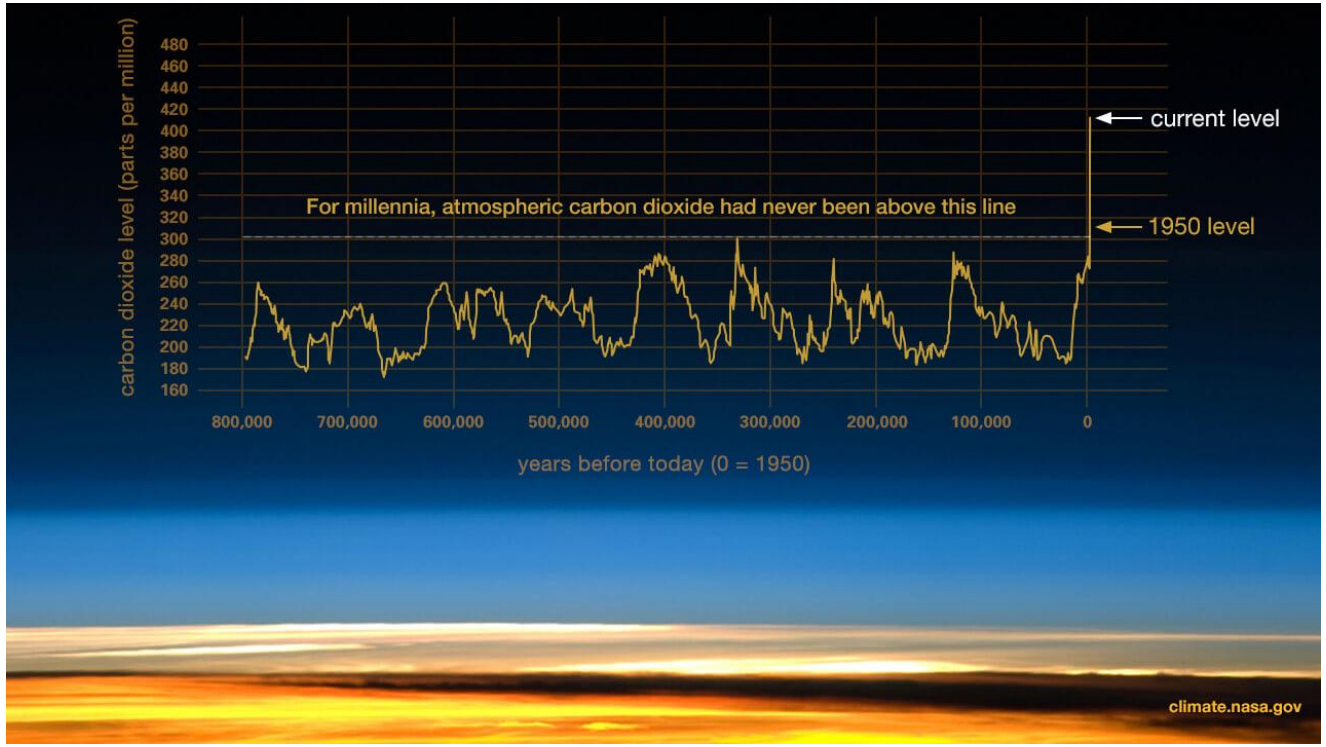
421 ppm
CO_2 atmosférico (2024)

-13%/década
Pérdida de hielo marino ártico

3.4 mm/año
Aumento nivel del mar

Fuentes de Datos

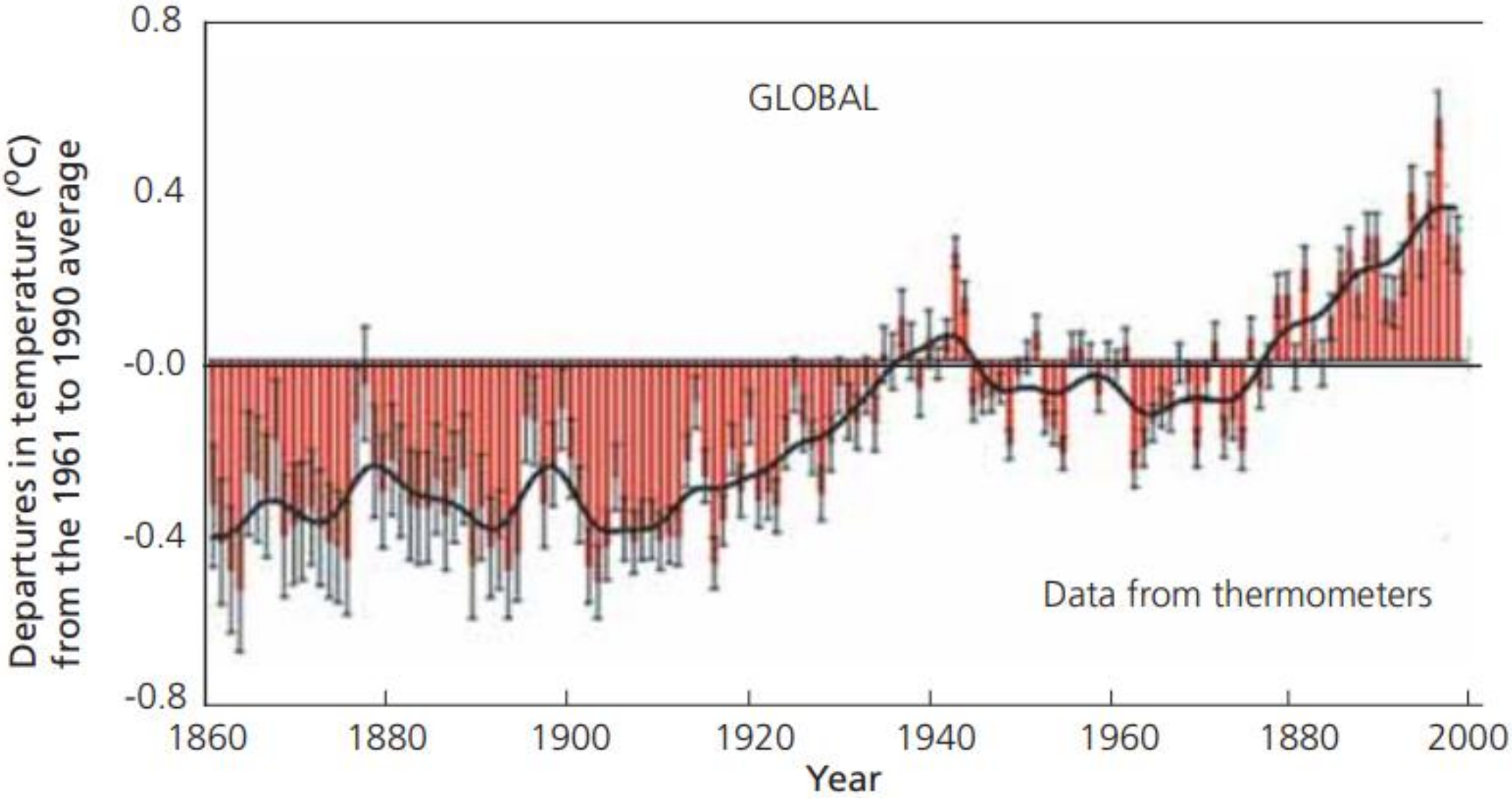
- Núcleos de hielo (paleoclima hasta 800,000 años)
- Estaciones meteorológicas (red global desde 1850)
- Satélites (monitoreo continuo desde 1979)
- Boyas oceánicas y sensores remotos

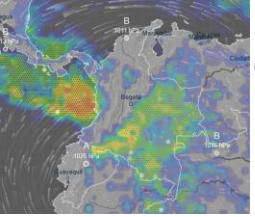


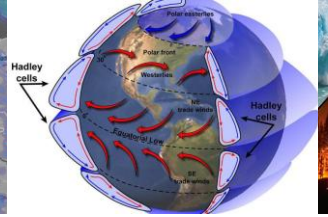
La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha aumentado desde rondar las 280 partes por millón (ppm) en la época preindustrial a 413 ppm a principios de 2020.

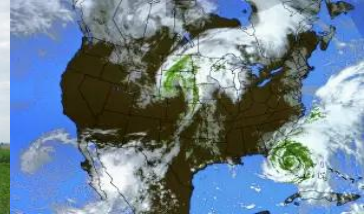
Esta concentración de dióxido de carbono no tiene precedentes en la historia. Los científicos han informado que necesitamos volver a una concentración segura de 350 ppm para 2100 para estabilizar el calentamiento global.

Hadley cells
Hadley cells
Aqua
SORCE
TRMM
GRACE
Terra
ICESat
CALIPSO
CloudSat
Aura


GLOBAL
Departures in temperature (°C) from the 1961 to 1990 average
0.8
0.4
-0.0
-0.4
-0.8
Data from thermometers
1860
1880
1900
1920
1940
1960
1880
2000
Year







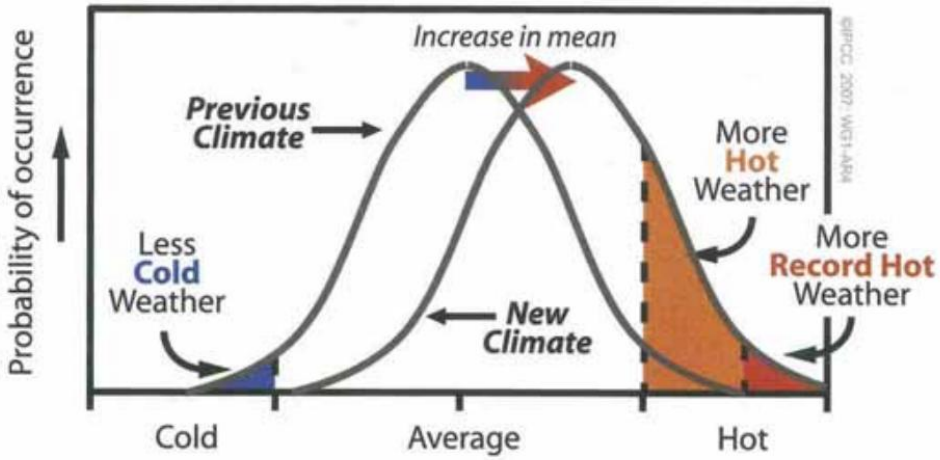
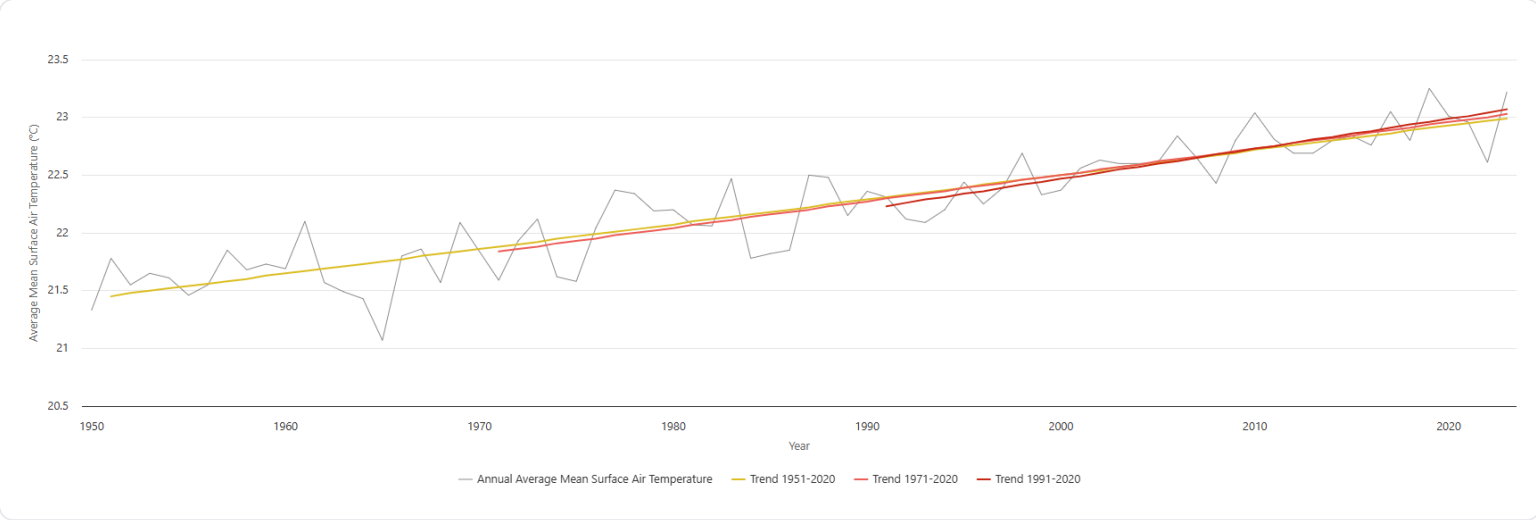


Figure A.7. Schematic showing the effect on extreme temperatures when the mean temperature increases, for a normal temperature distribution. Source: IPCC 2007b

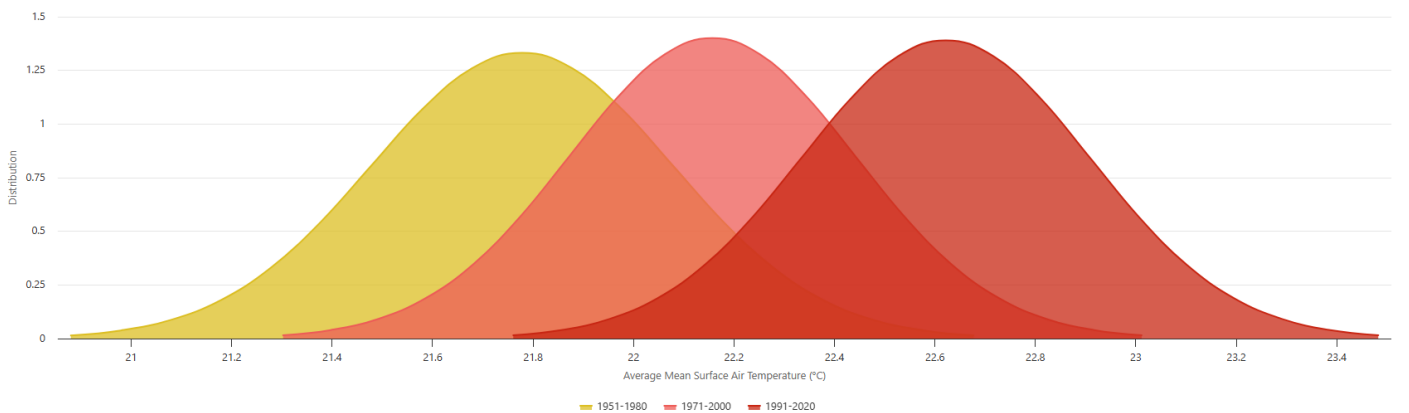
Observed Annual Average Mean Surface Air Temperature Annual Trends with Significance of Trend per Decade

Madagascar • 1950-2023



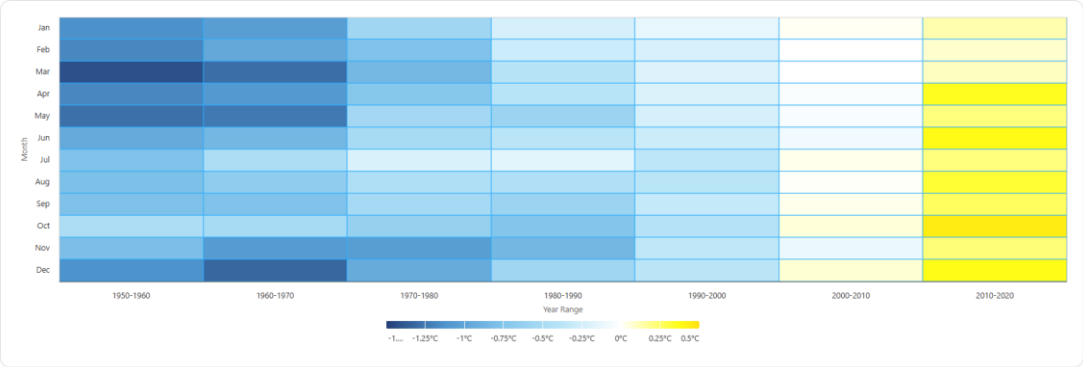
Observed Change in Distribution of Average Mean Surface Air Temperature

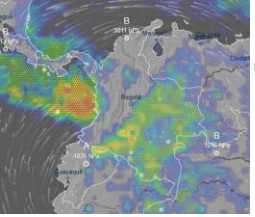
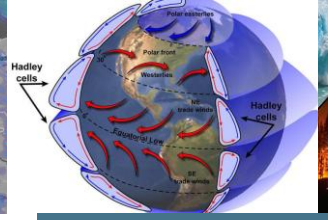
Madagascar • 1951-2020

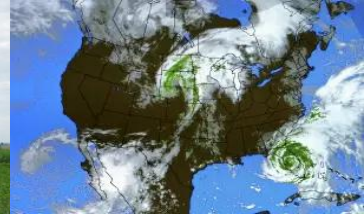


Observed Heat Plot, Average Mean Surface Air Temperature Monthly Trends

Madagascar • 1950-2020 • Ref Period: 1995-2014





Causes and Effects of Climate Change

Causes

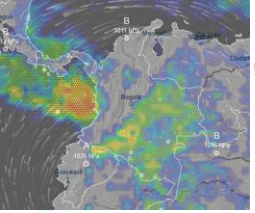
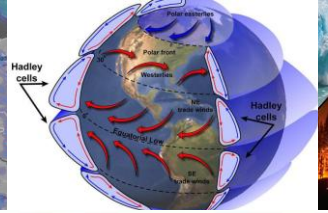
- Rapid industrialization
- Energy use
- Agricultural practices
- Deforestation
- Consumer practices
- Livestock
- Transport
- Resource extraction
- Pollution

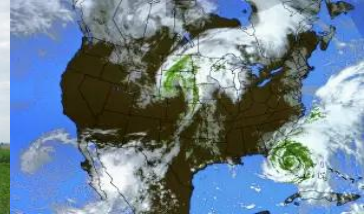
Effects

- Rising temperatures
- Rising sea levels
- Unpredictable weather patterns
- Increase in extreme weather events
- Land degradation
- Loss of wildlife and biodiversity

What are the social impacts of climate change?

Displaced people. Poverty. Loss of livelihood. Hunger. Malnutrition. Increased risk of diseases. Global food and water shortages.

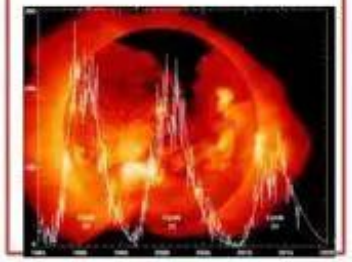





Natural Causes of Climate Change

1 Solar Variation

Solar Cycles, Sunspot



2 Volcanic Eruptions

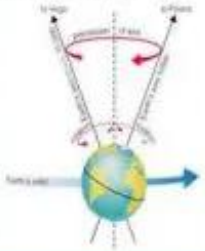
Gases, Magma, Lava

3 Axial Tilt

Earth's Angle-23.5°

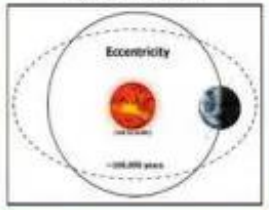
4 Precession

Spinning Top



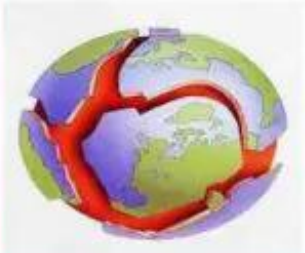
5 Eccentricity

Orbital Path Variation



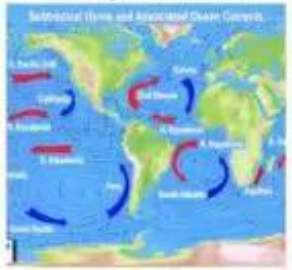
6 Continental Drift

Plate Tectonic



7 Ocean Current

Evaporation

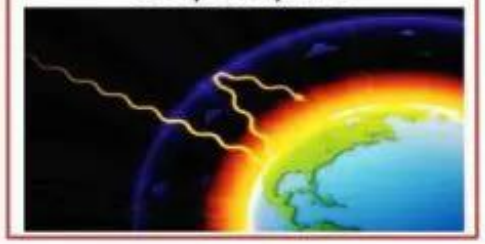


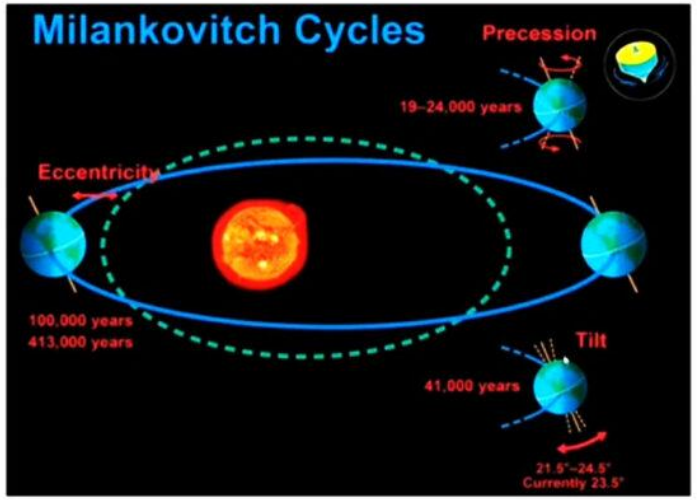
8 Natural Forest Fire

(CO_2) CH_4 & Ashes

9 Greenhouse Gases

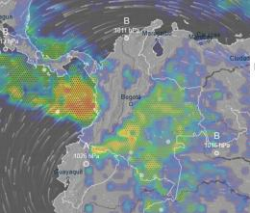
Natural Greenhouse Gases- CO2, CH4, N2O

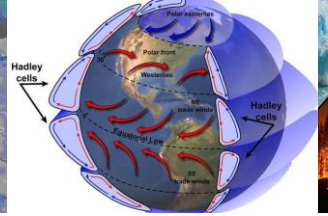




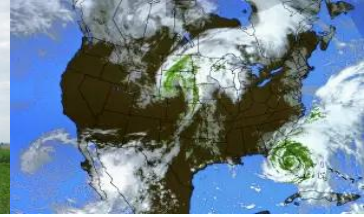
Milankovitch cycles describe how the Earth moves around the Sun

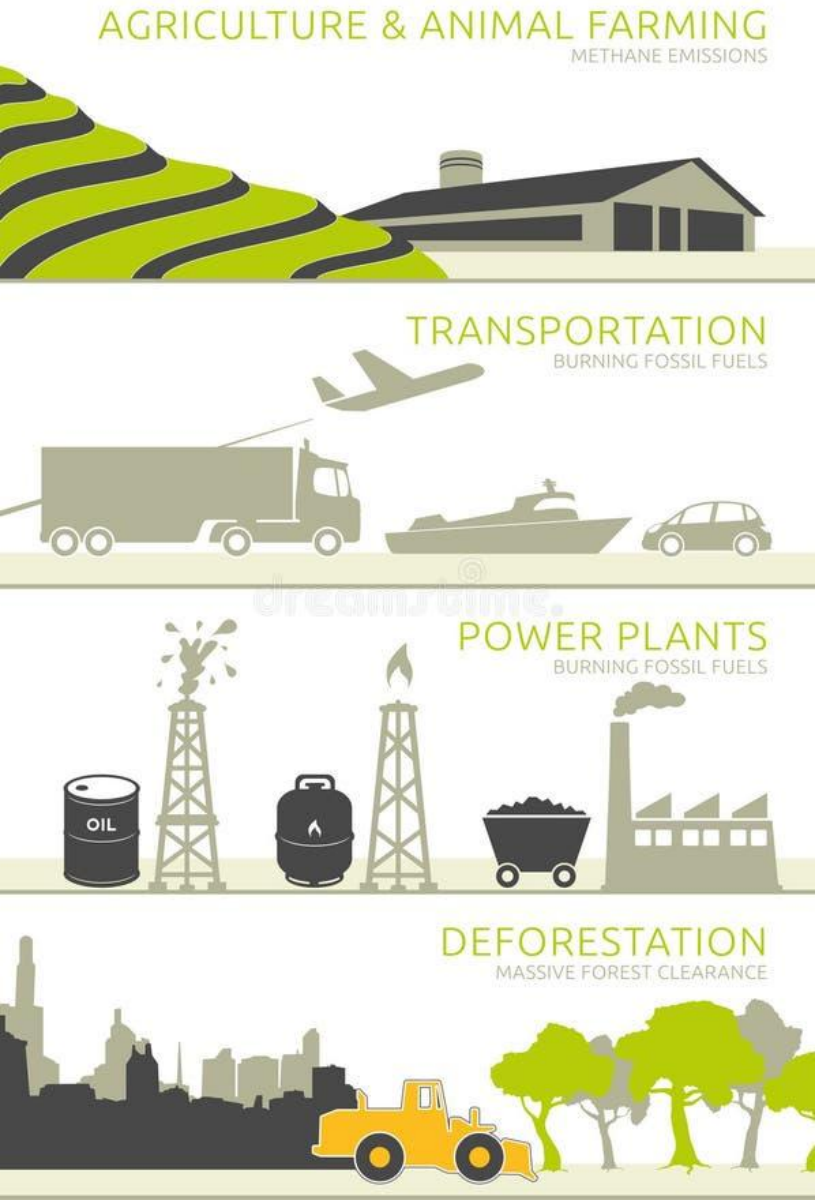
Axial Tilt
Precession
Eccentricity



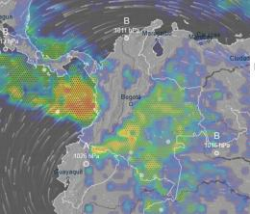

Hadley cells
Polar front
Westerlies
Hadley cells
Equatorial Low

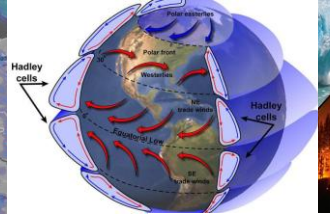
Aqua
SORCE
TRMM
GRACE
Terra
ICESat
CALIPSO
CloudSat
Aura

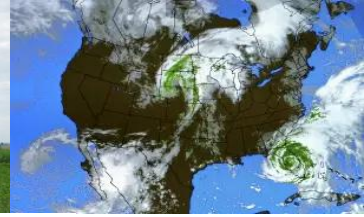



AGRICULTURE & ANIMAL FARMING
METHANE EMISSIONS
TRANSPORTATION
BURNING FOSSIL FUELS
POWER PLANTS
BURNING FOSSIL FUELS
OIL
DEFORESTATION
MASSIVE FOREST CLEARANCE

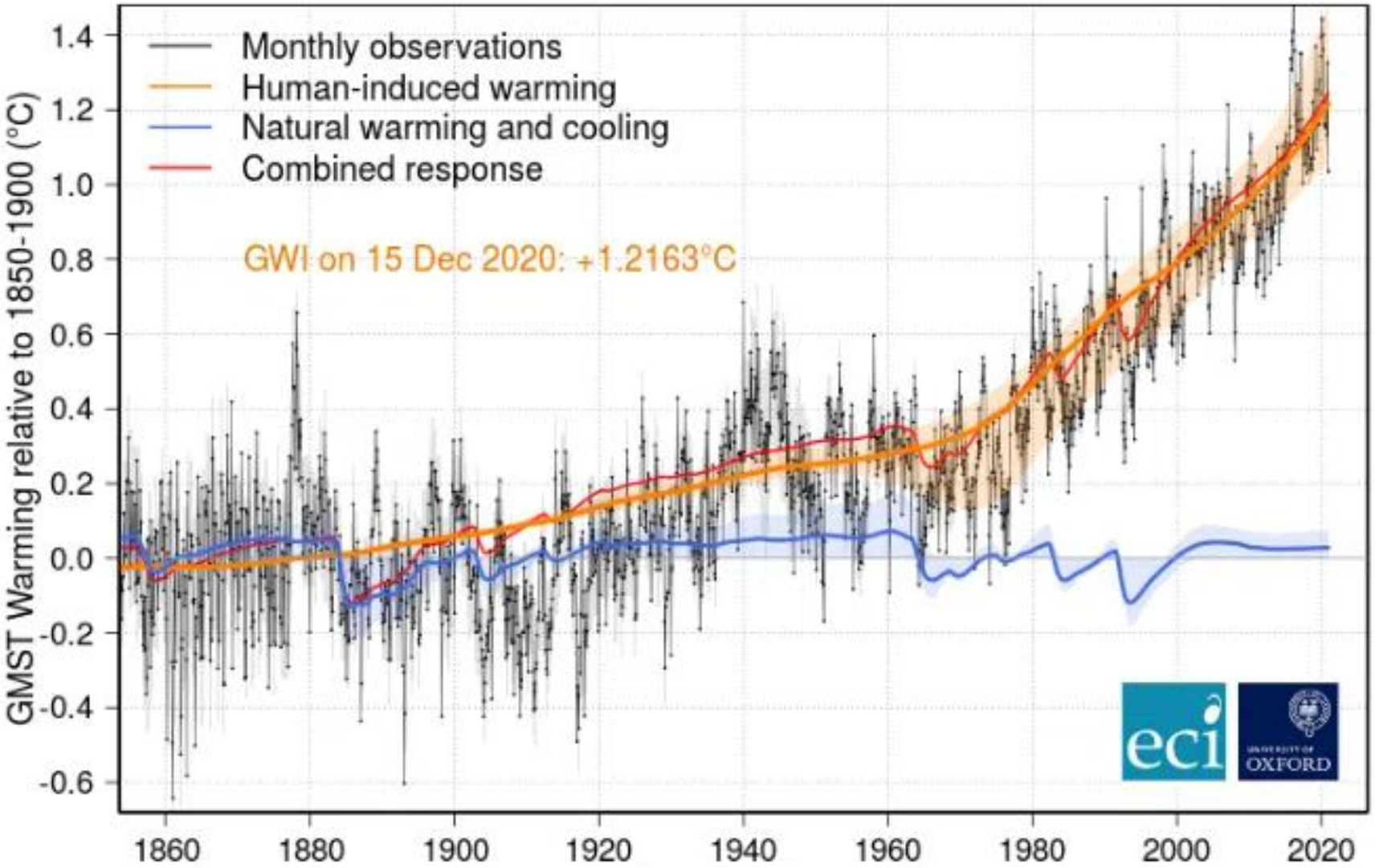
Burning coal, oil and gas
Cutting down forests (deforestation)
Fertilisers containing nitrogen
Increasing livestock farming
Fluorinated gases found in
Air conditioners
Aerosol sprays
electrical distribution systems (in switchgear)
Refrigerators
Insulation



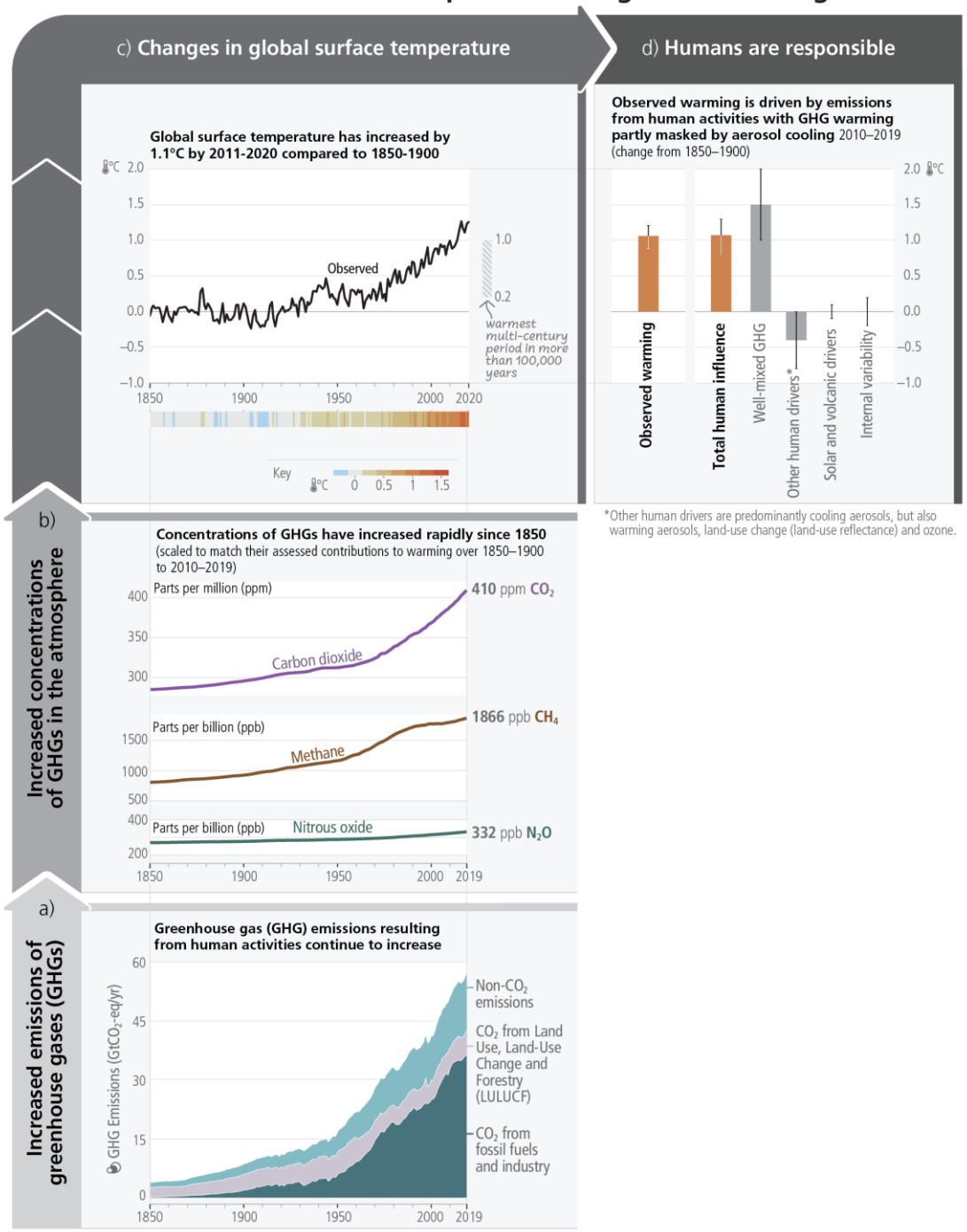




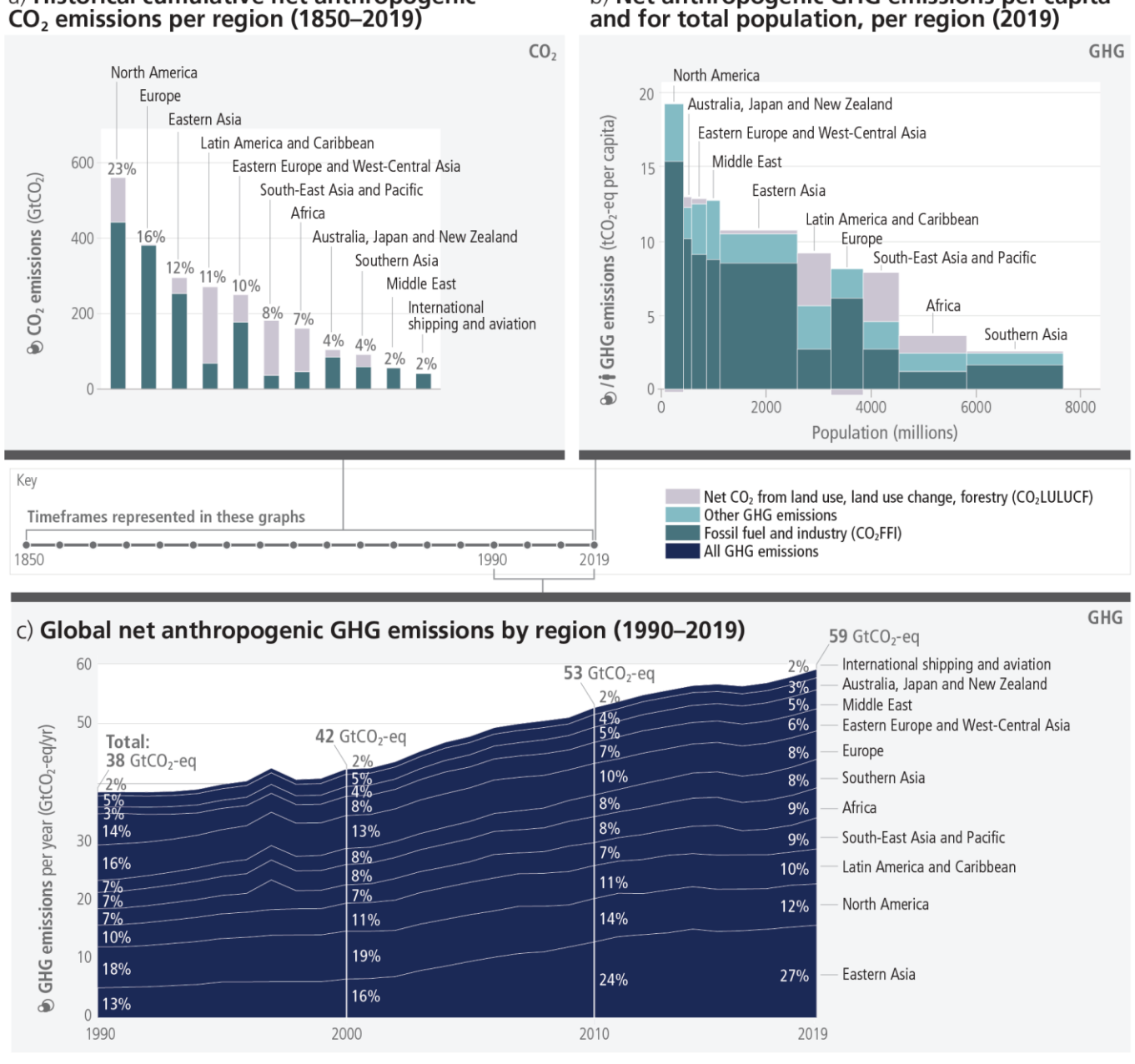
Global Warming Index (aggregate observations) - updated to Dec 2020

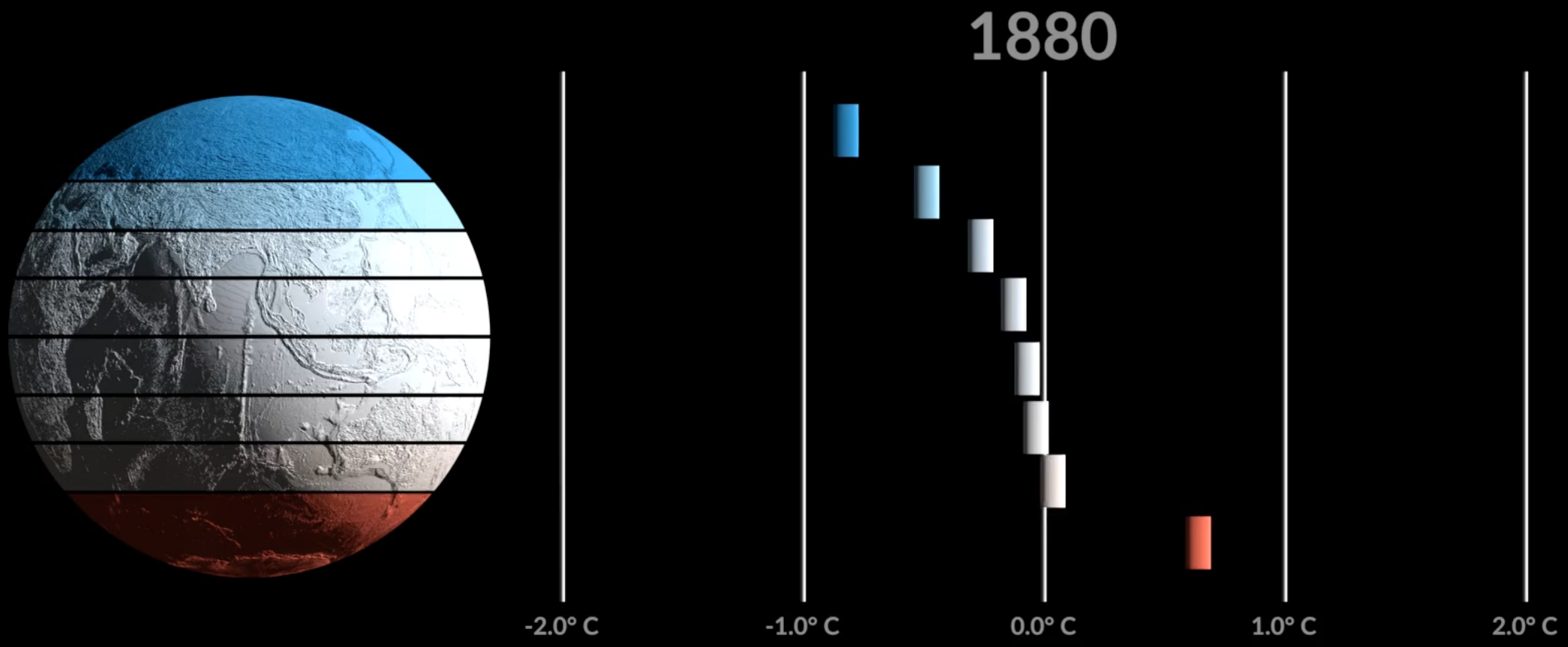


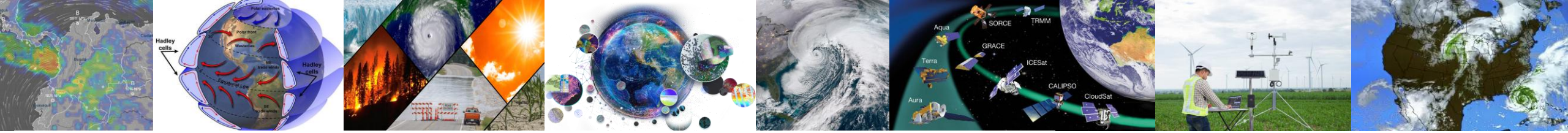
Human activities are responsible for global warming

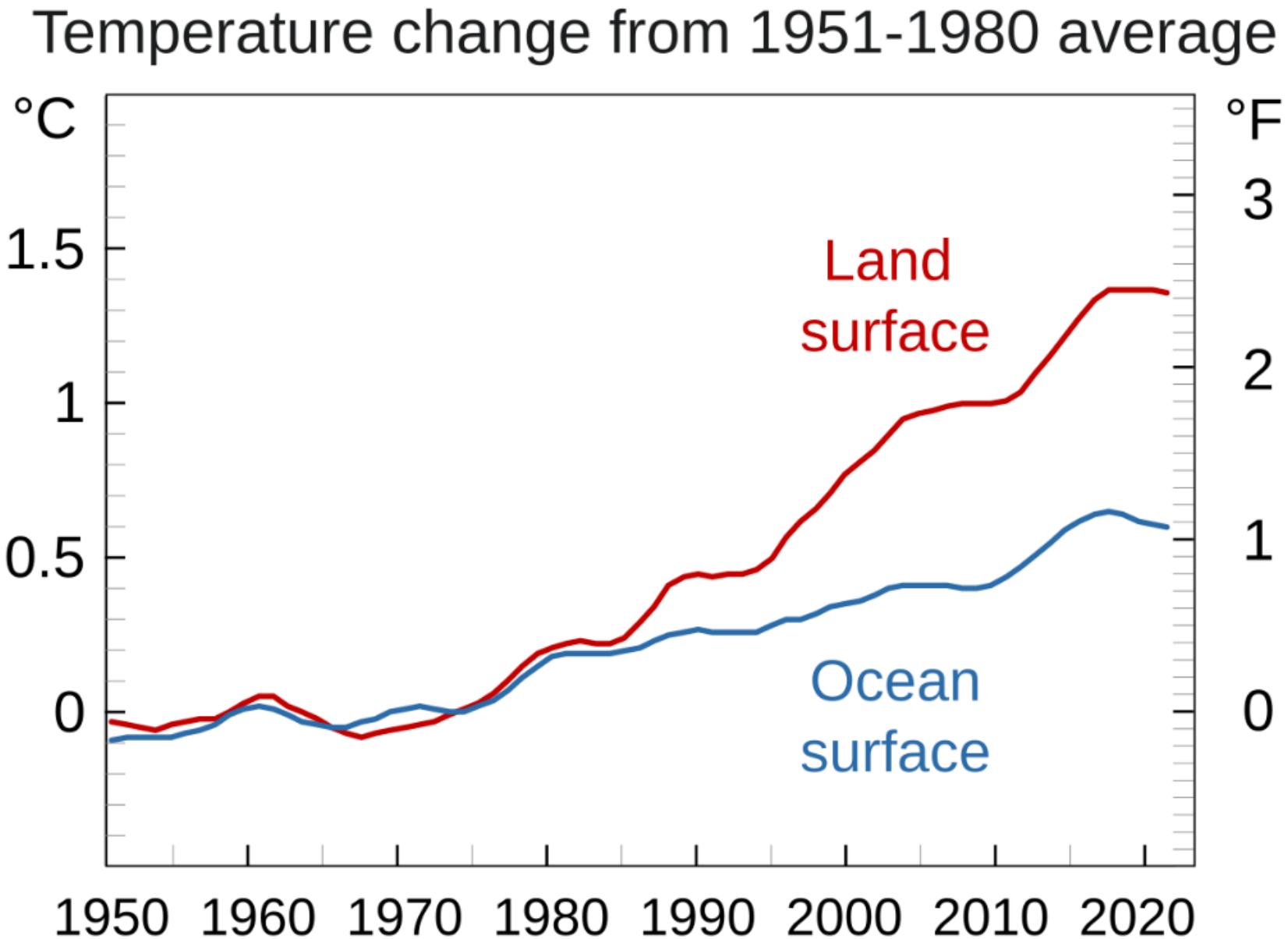


Emissions have grown in most regions but are distributed unevenly, both in the present day and cumulatively since 1850



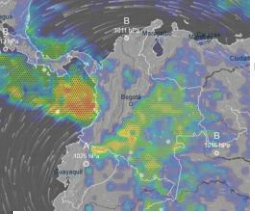

1880
-2.0° C
-1.0° C
0.0° C
1.0° C
2.0° C

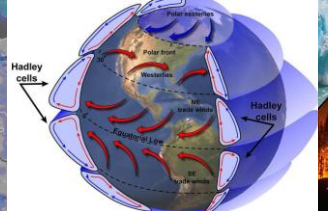


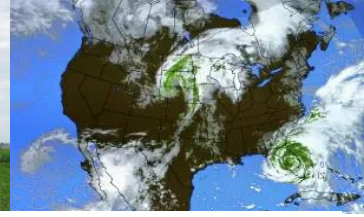


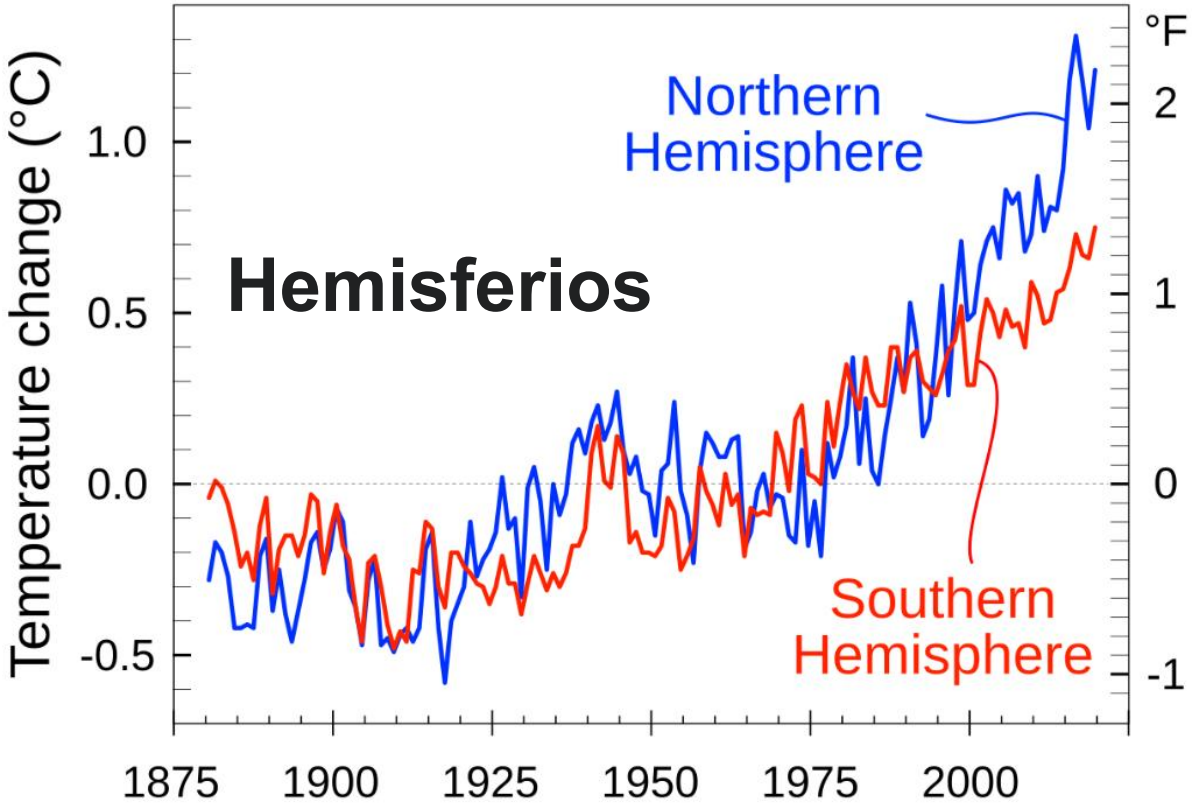
Tierra-océano

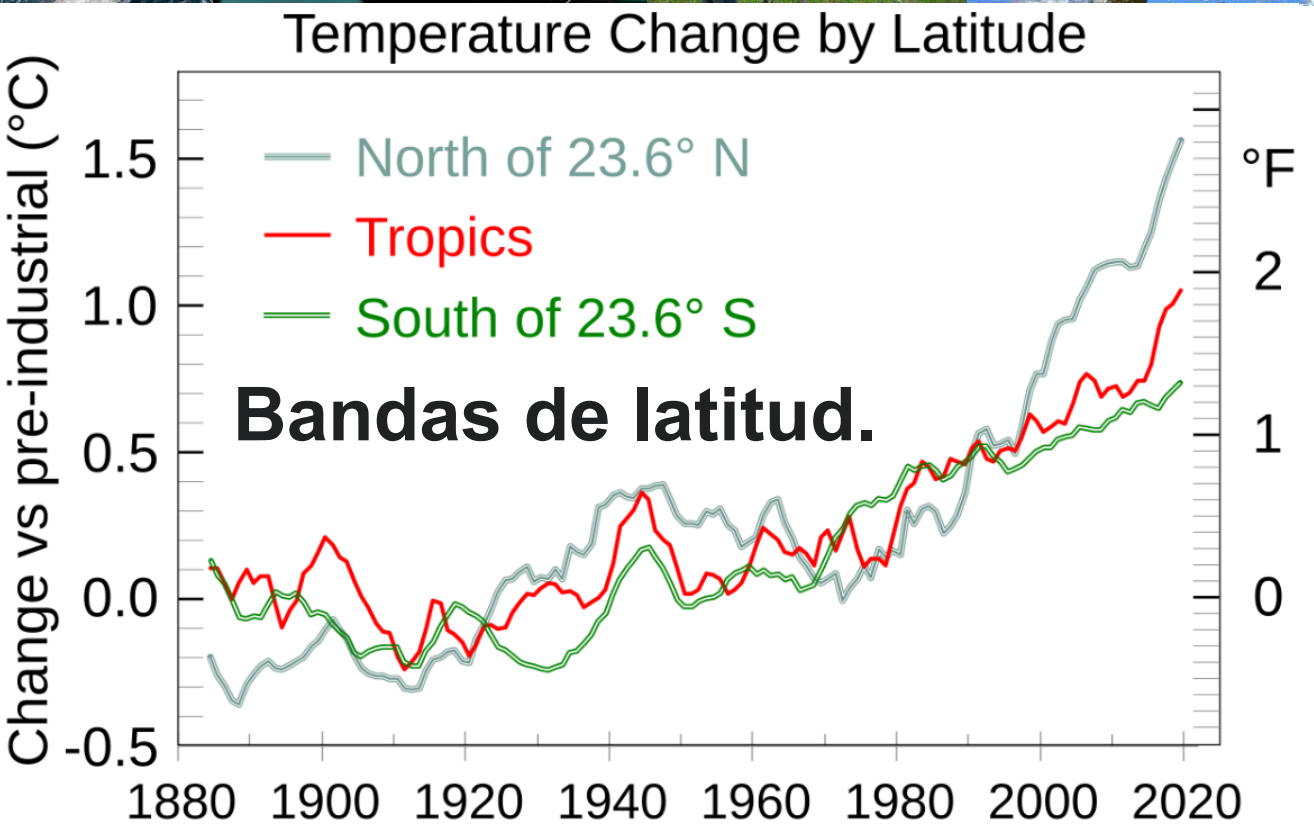
Las temperaturas del aire superficial sobre las masas terrestres han aumentado más rápidamente que las del océano, absorbiendo el océano alrededor del 90% del exceso de calor





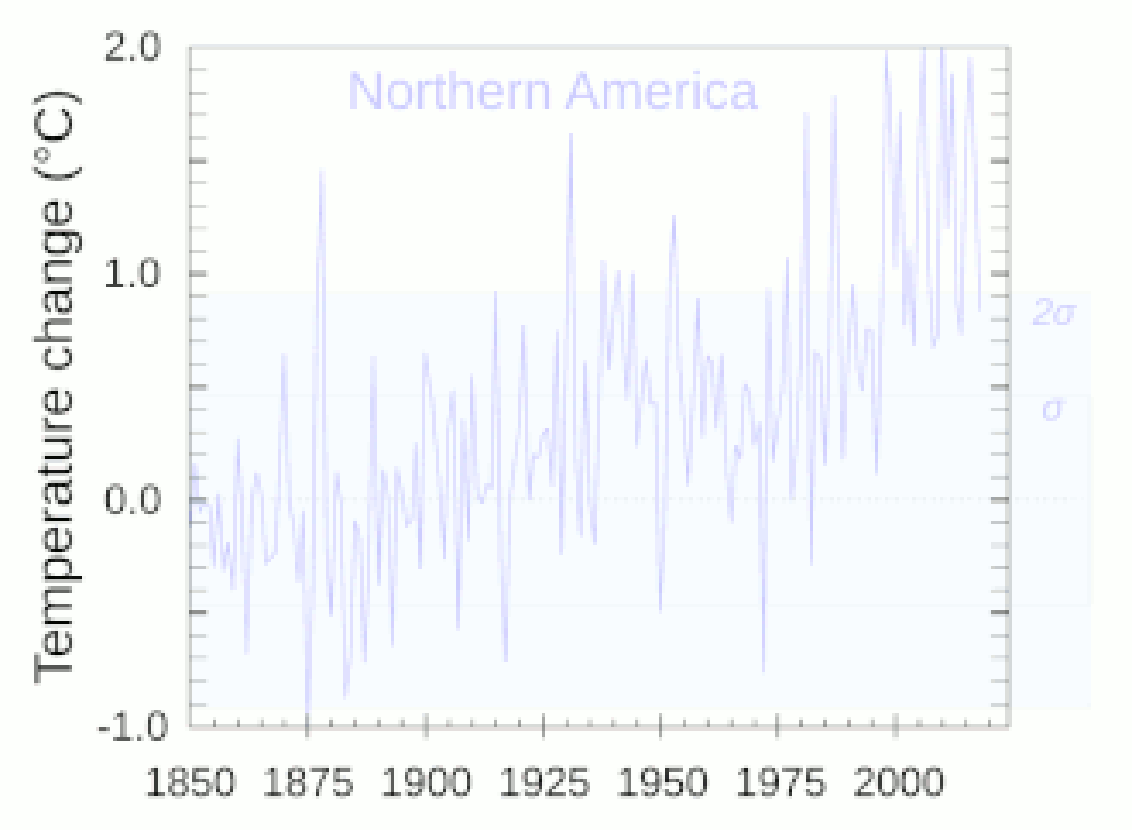


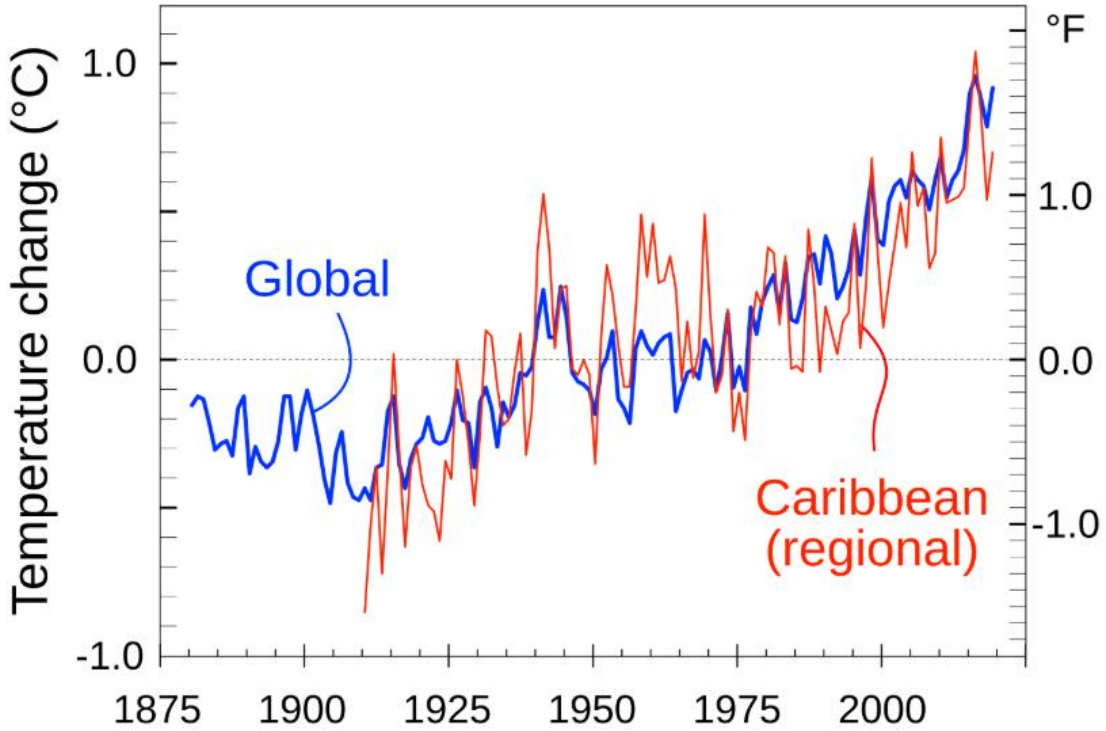




Los cambios de temperatura promedio en los hemisferios han divergido debido al mayor porcentaje de masa continental del Norte y a las corrientes oceánicas globales.

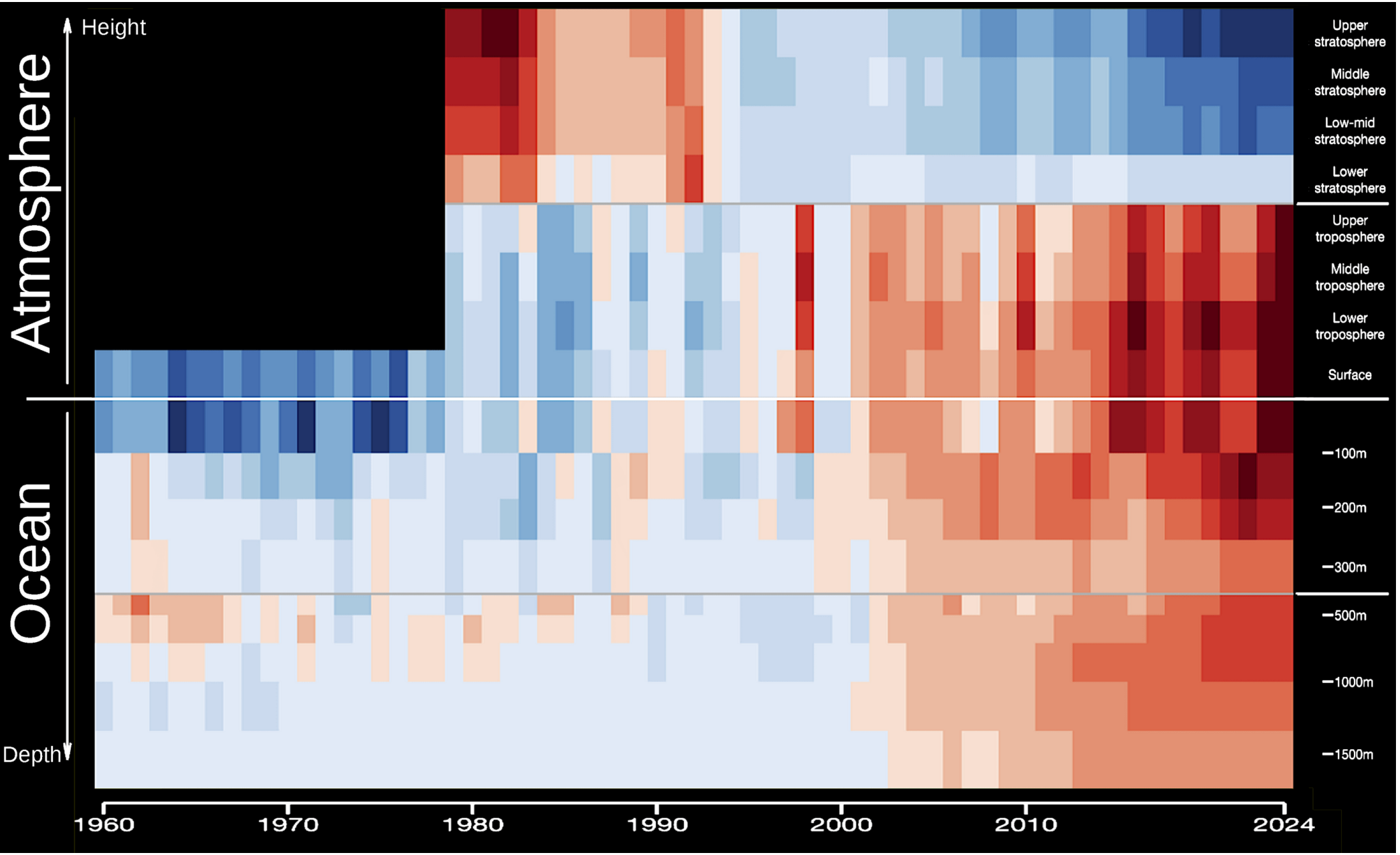
Tres bandas de latitud que cubren respectivamente el 30%, el 40% y el 30% de la superficie global muestran patrones de crecimiento de la temperatura mutuamente distintos en las últimas décadas.





Desviación relativa. Si bien América del Norte se ha calentado más que sus trópicos, estos últimos se han desviado más claramente de la variabilidad histórica normal (bandas de colores: desviaciones estándar de 1σ y 2σ).

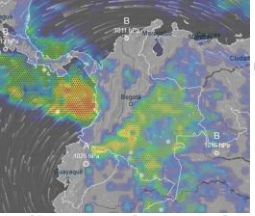
Global versus regional. Por razones geográficas y estadísticas, se esperan mayores variaciones interanuales para regiones geográficas localizadas (p. ej., el Caribe) que para los promedios globales.

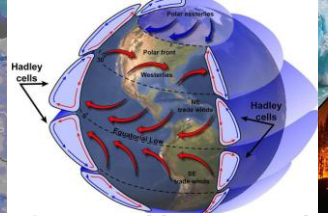


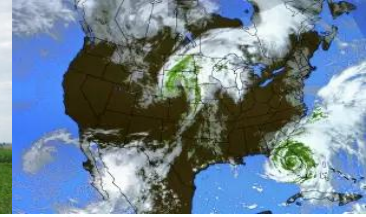
Altitud

Un gráfico de franjas de calentamiento (las azules indican frío, las rojas cálido)

muestra cómo el efecto invernadero atrapa el calor en la atmósfera inferior y los océanos, de modo que la atmósfera superior, al recibir menos energía reflejada, se enfría.

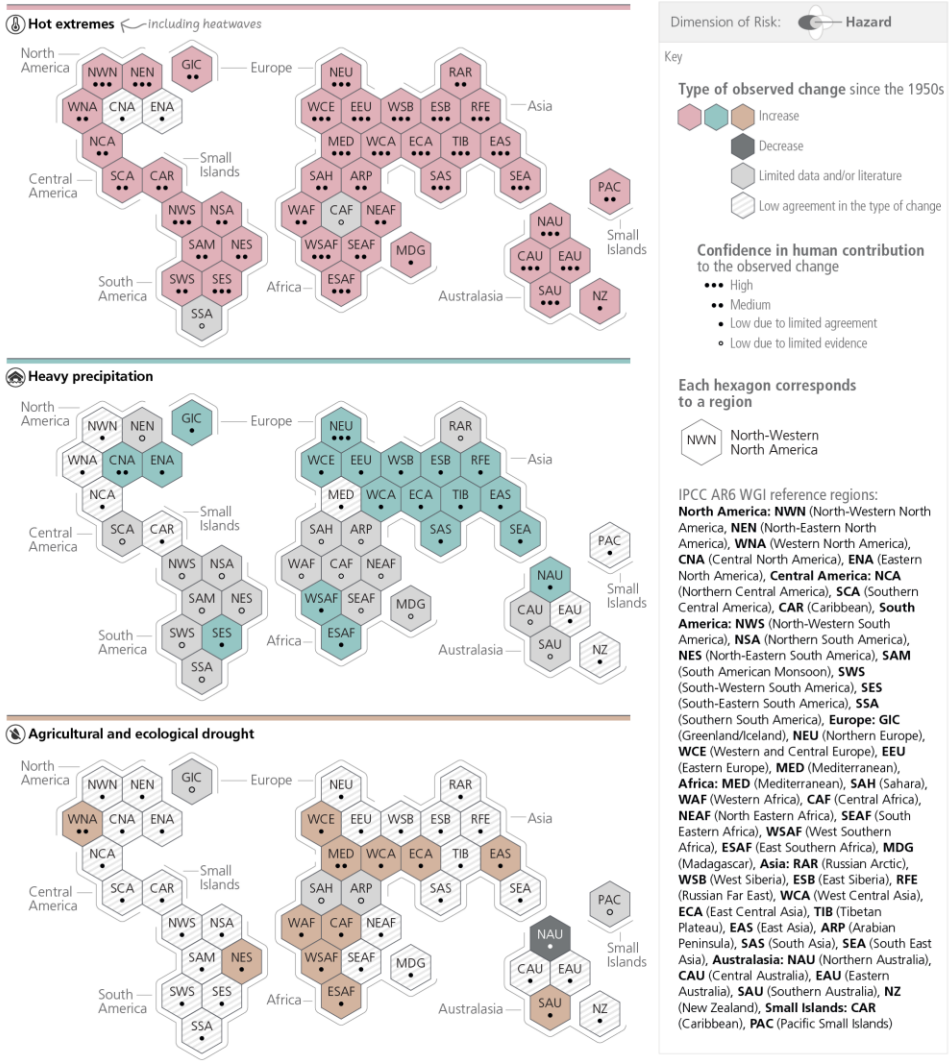




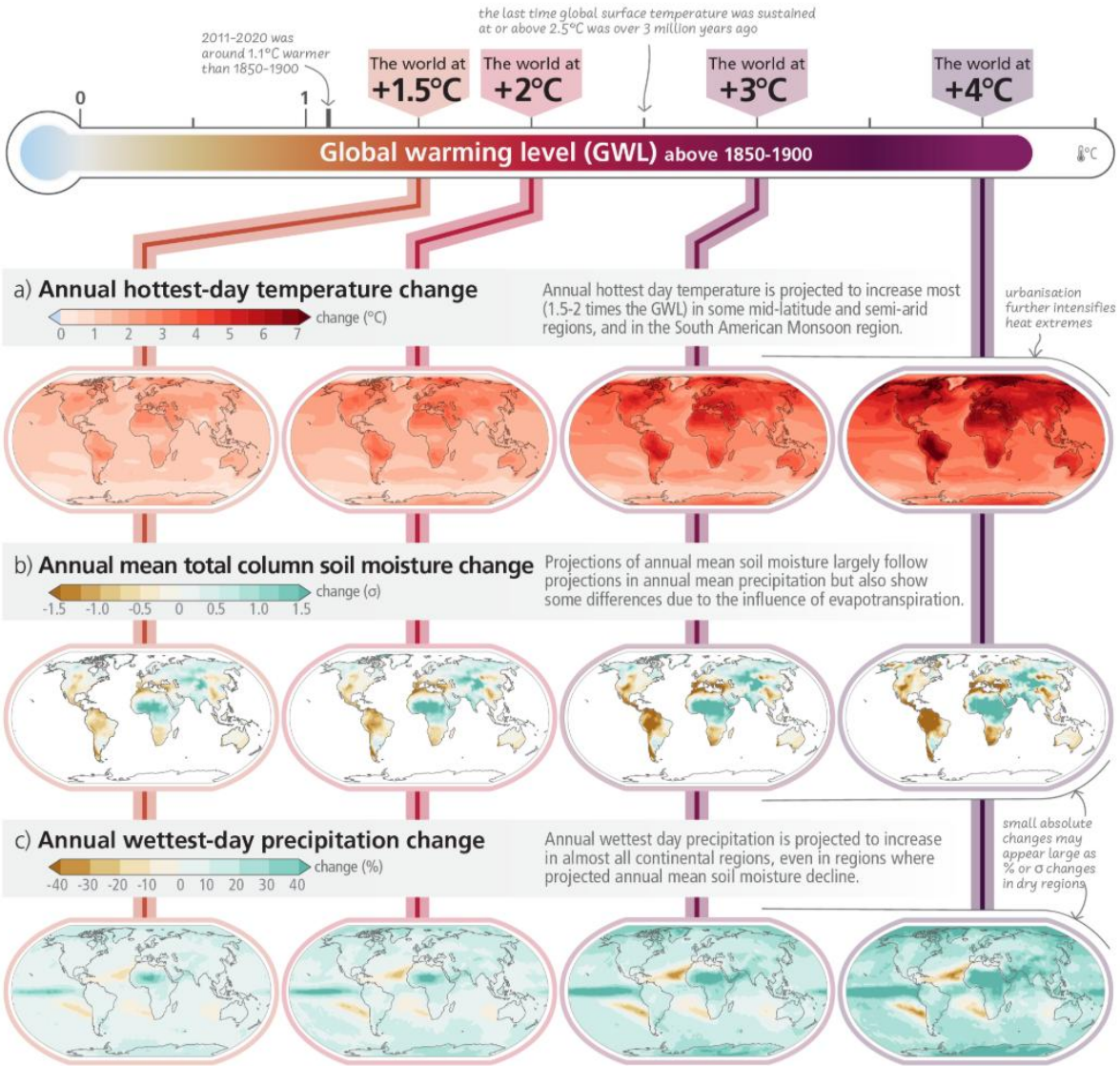


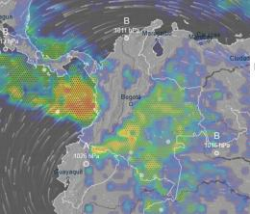
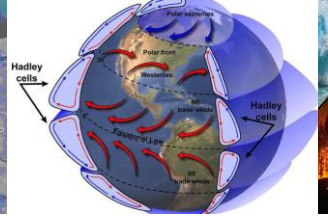
Climate change has impacted human and natural systems across the world with those who have generally least contributed to climate change being most vulnerable

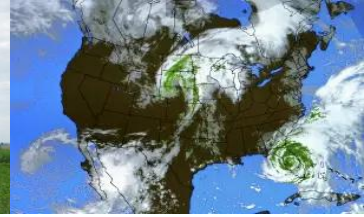
a) **Synthesis of assessment of observed change in hot extremes, heavy precipitation and drought, and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions**

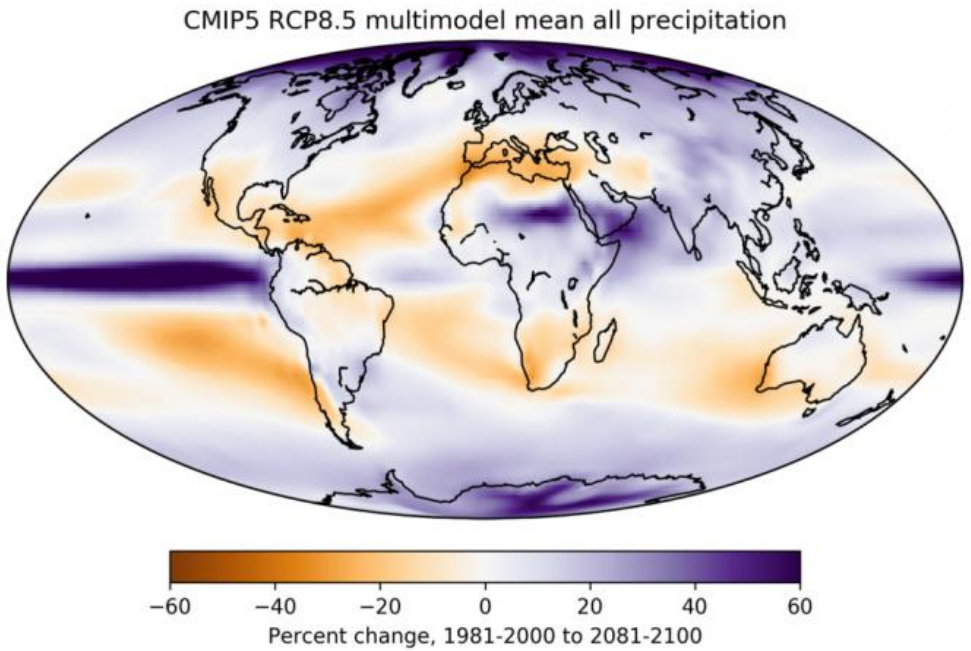


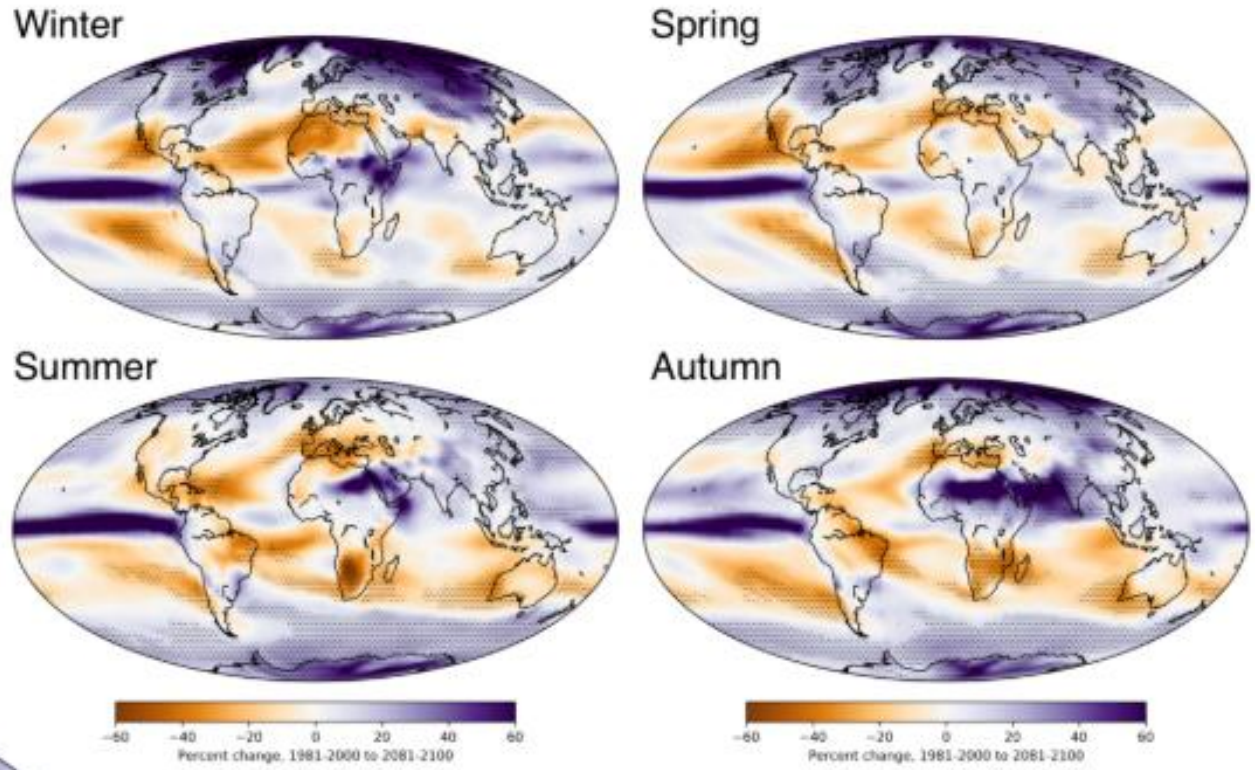
With every increment of global warming, regional changes in mean climate and extremes become more widespread and pronounced

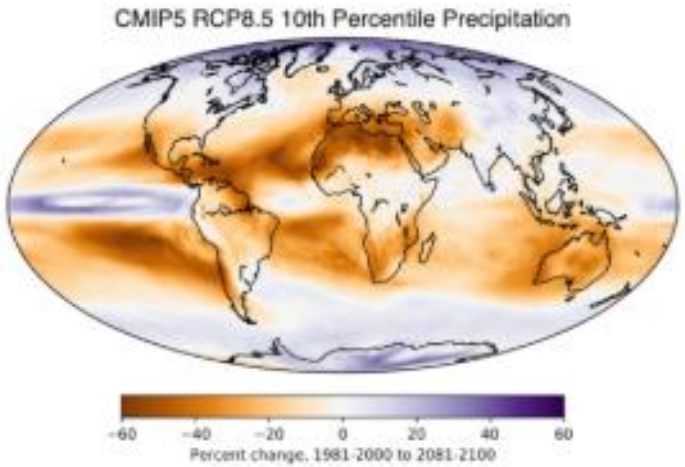


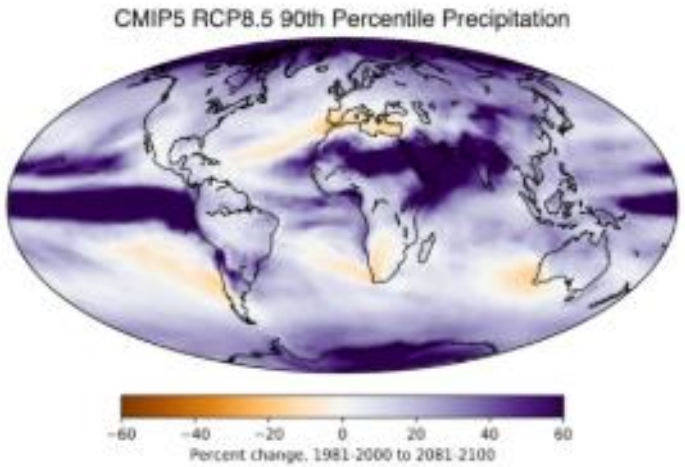





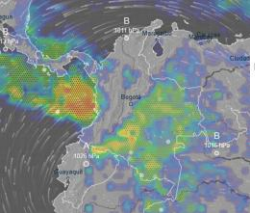


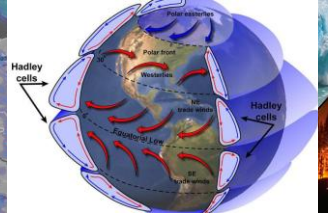


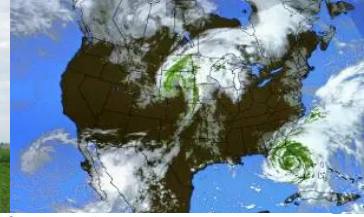




Qué nos dicen los modelos climáticos sobre las precipitaciones futuras?





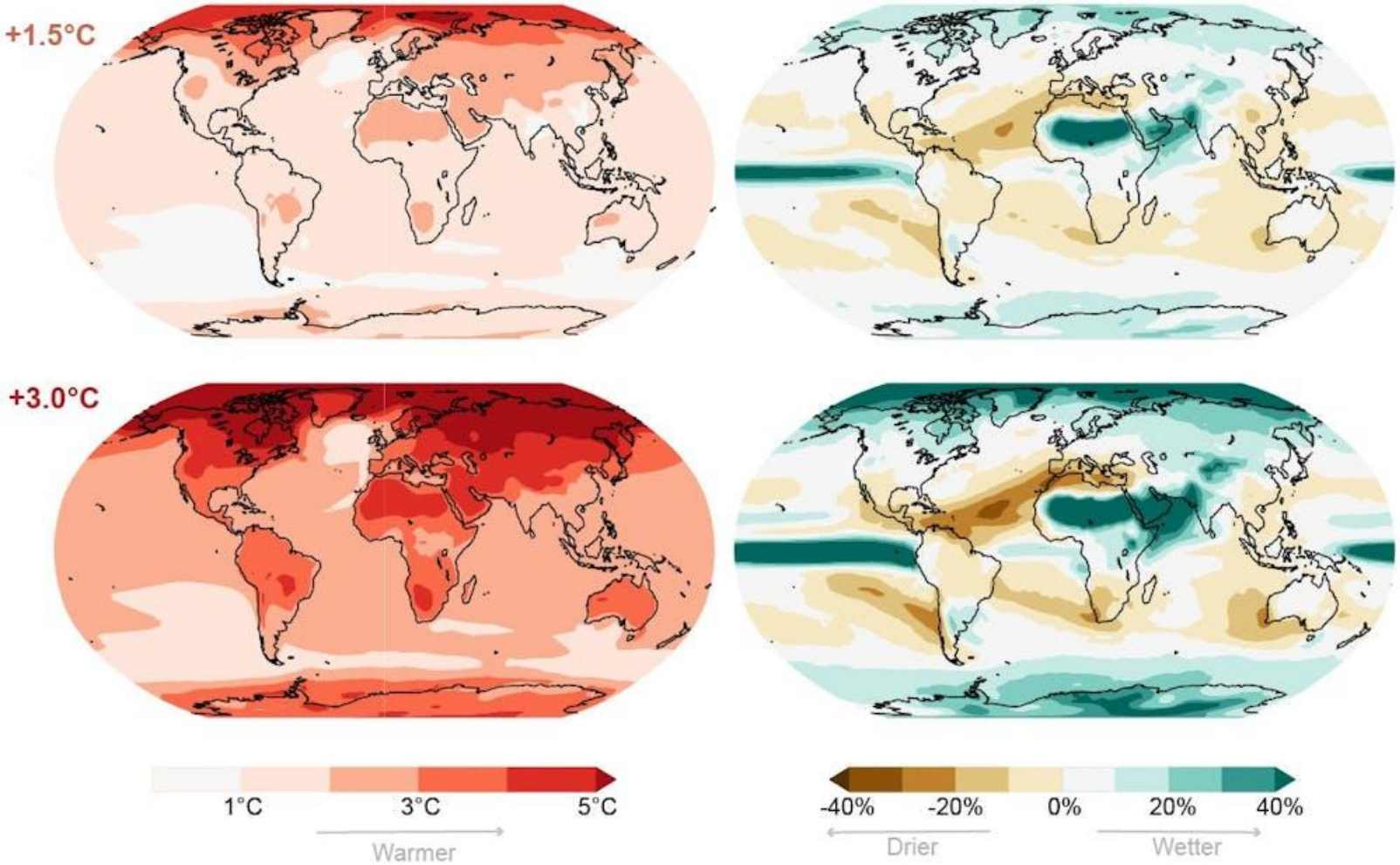


Climate change and regional patterns

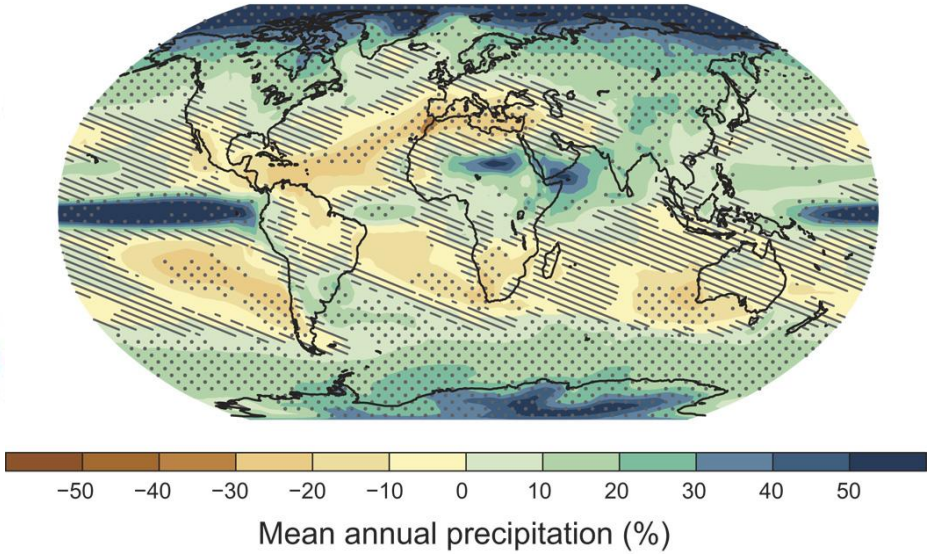
Climate change is not uniform and proportional to the level of global warming.

Warming will be **stronger** in the Arctic, on land and in the Northern Hemisphere

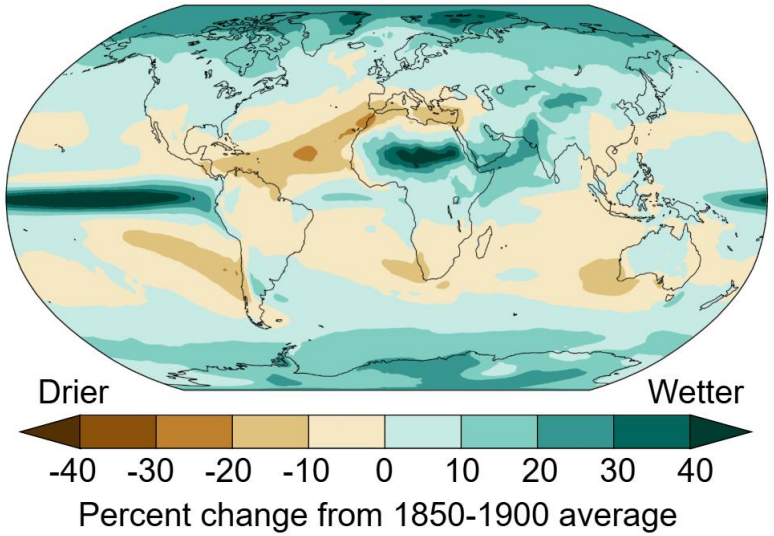
Precipitation will **increase** in high latitudes, the tropics and monsoon regions and **decrease** in the subtropics

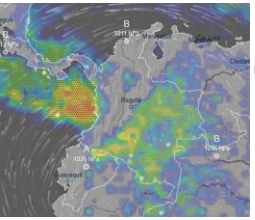


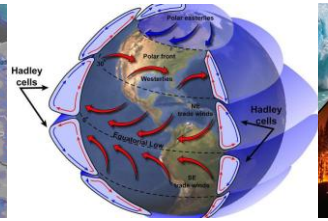
Precipitation response to global warming

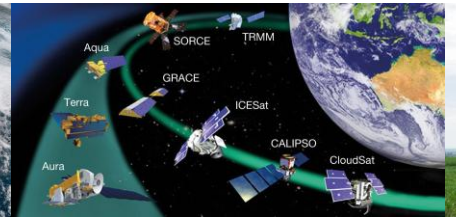


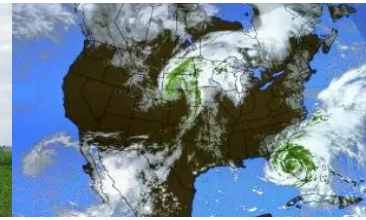
Precipitation changes at 2.0°C (3.6°F)



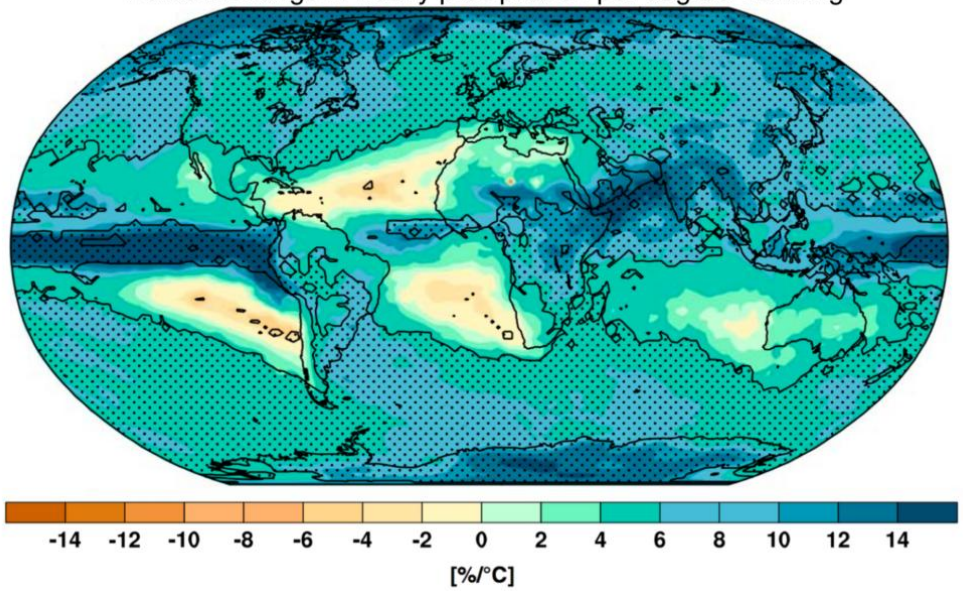




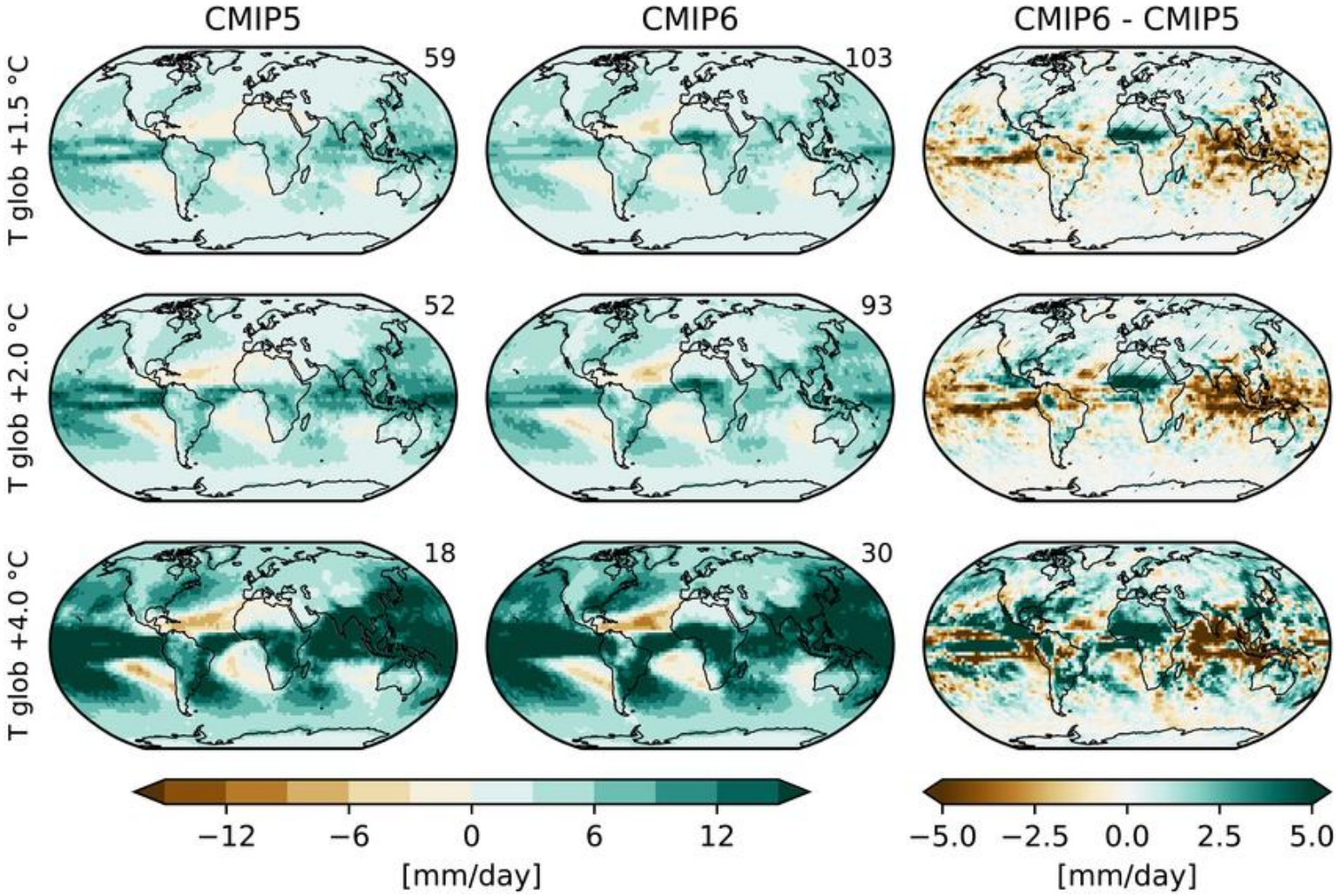


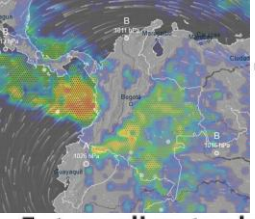
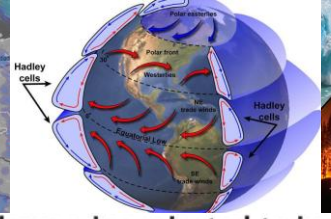


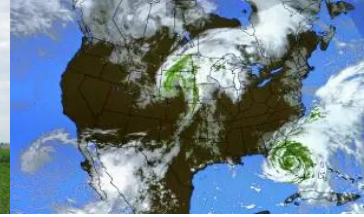
Percent change in heavy precipitation per degree warming



Annual maximum daily rainfall anomaly (Rx1day)



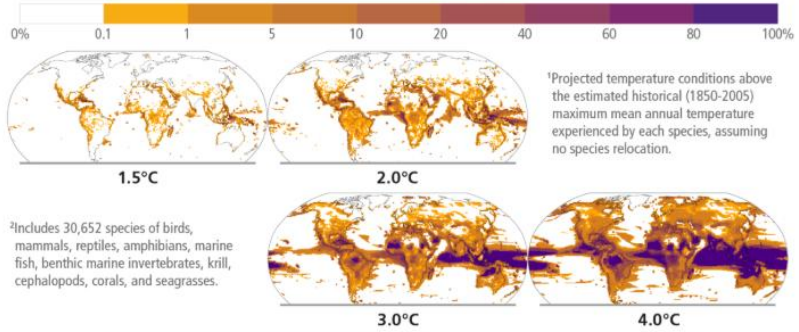


Future climate change is projected to increase the severity of impacts across natural and human systems and will increase regional differences

Examples of impacts without additional adaptation

a) Risk of species losses

Percentage of animal species and seagrasses exposed to potentially dangerous temperature conditions[1, 2]



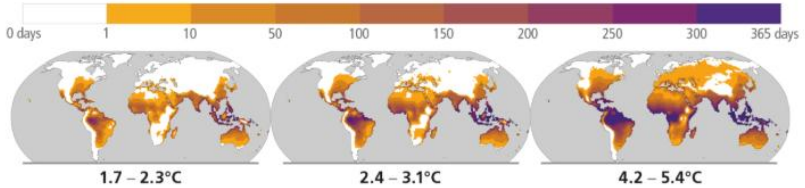
[1]Projected temperature conditions above the estimated historical (1850-2005) maximum mean annual temperature experienced by each species, assuming no species relocation.

[2]Includes 30,652 species of birds, mammals, reptiles, amphibians, marine fish, benthic marine invertebrates, krill, cephalopods, corals, and seagrasses.

b) Heat-humidity risks to human health

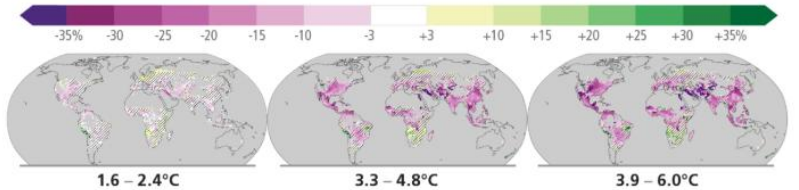
Historical 1991–2005

Days per year where combined temperature and humidity conditions pose a risk of mortality to individuals[3]



[3]Projected regional impacts utilize a global threshold beyond which daily mean surface air temperature and relative humidity may induce hyperthermia that poses a risk of mortality. The duration and intensity of heatwaves are not presented here. Heat-related health outcomes vary by location and are highly moderated by socio-economic, occupational and other non-climatic determinants of individual health and socio-economic vulnerability. The threshold used in these maps is based on a single study that synthesized data from 783 cases to determine the relationship between heat-humidity conditions and mortality drawn largely from observations in temperate climates.

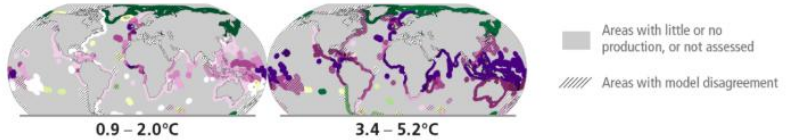
c) Food production impacts



c1) **Maize yield**[4]
Changes **(%)** in yield

[4]Projected regional impacts reflect biophysical responses to changing temperature, precipitation, solar radiation, humidity, wind, and CO_2 enhancement of growth and water retention in currently cultivated areas. Models assume that irrigated areas are not water-limited. Models do not represent pests, diseases, future agro-technological changes and some extreme climate responses.

c2) **Fisheries yield**[5]
Changes **(%)** in maximum catch potential

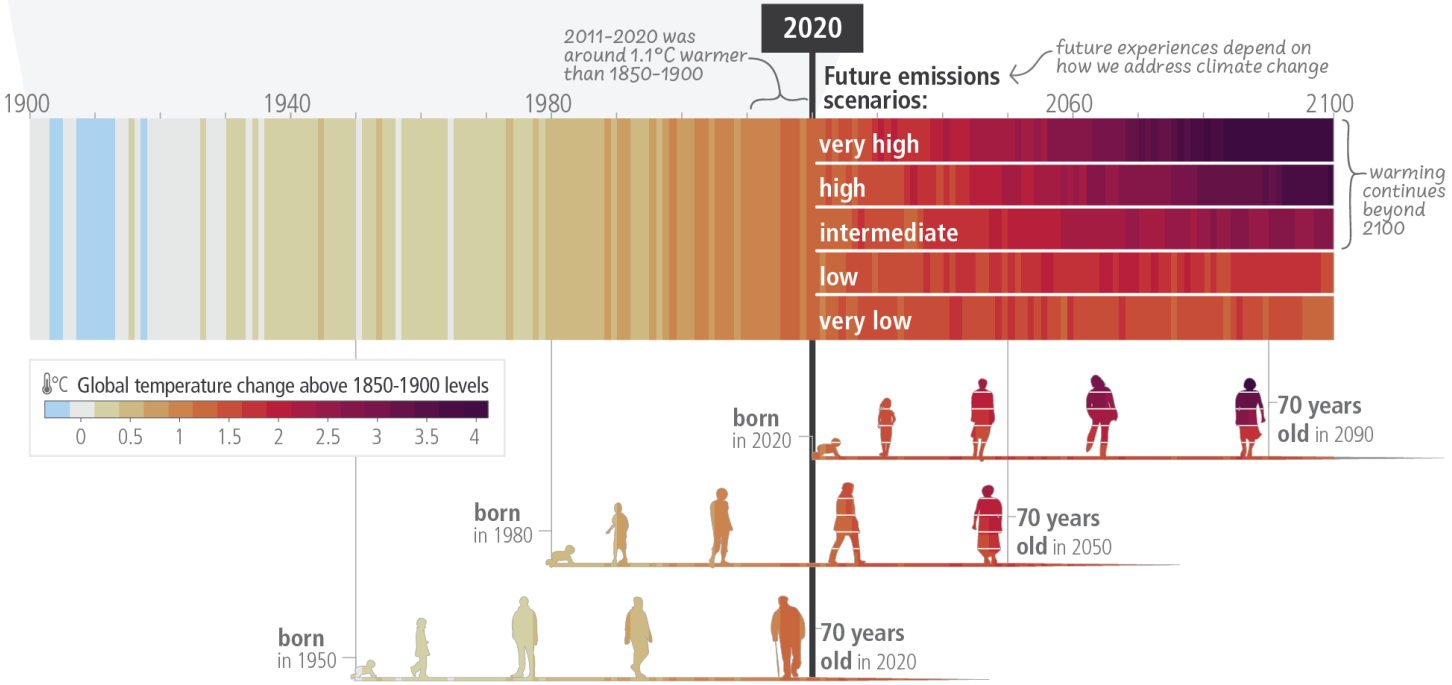


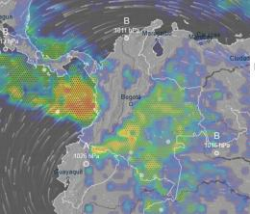
Areas with little or no production, or not assessed

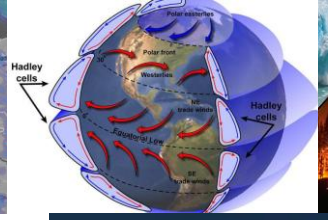
Areas with model disagreement

[5]Projected regional impacts reflect fisheries and marine ecosystem responses to ocean physical and biogeochemical conditions such as temperature, oxygen level and net primary production. Models do not represent changes in fishing activities and some extreme climatic conditions. Projected changes in thea Arctic regions have low confidence due to uncertainties associated with modelling multiple interacting drivers and ecosystem responses.

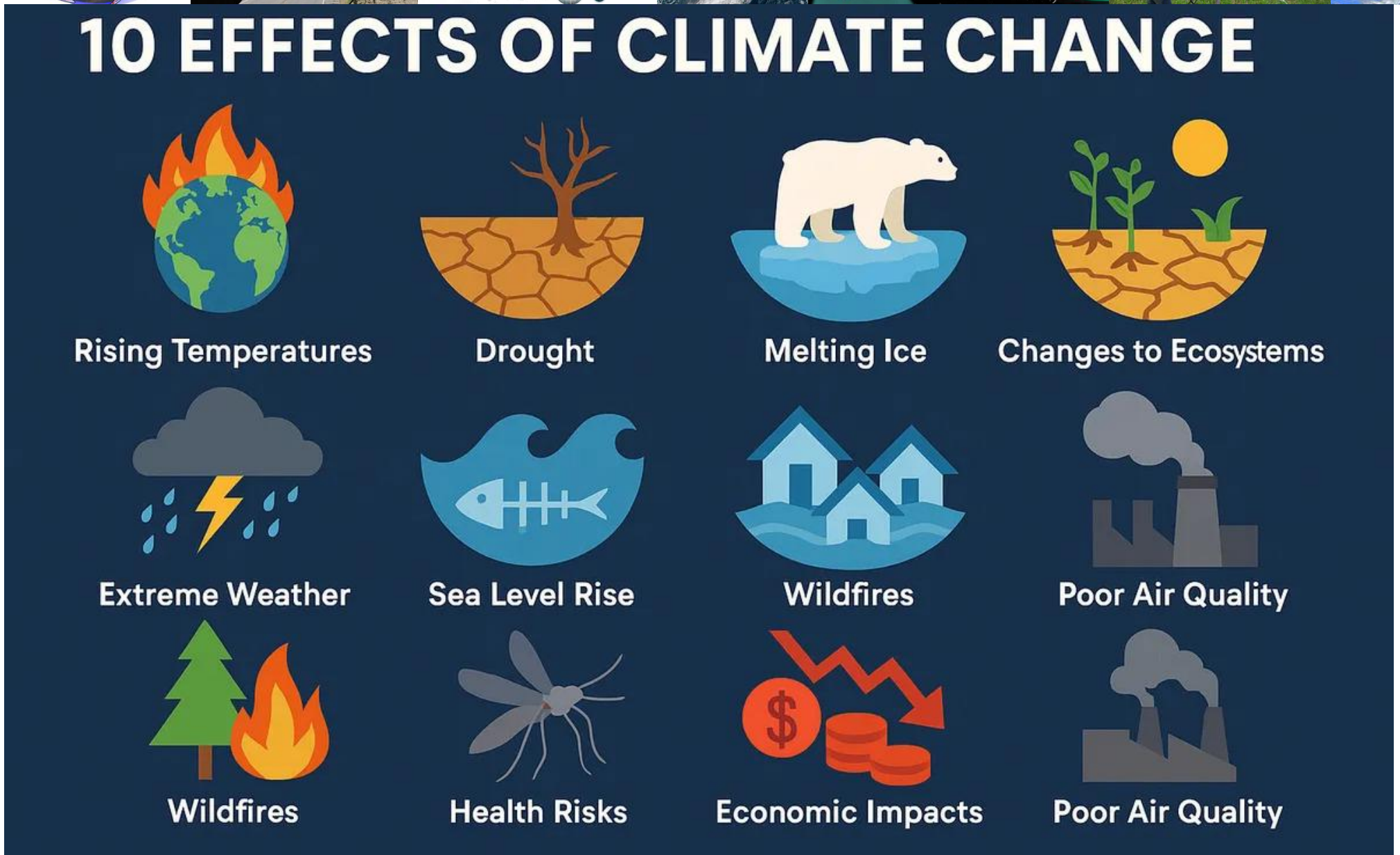
c) The extent to which current and future generations will experience a hotter and different world depends on choices now and in the near-term

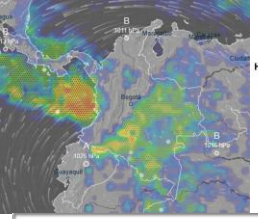


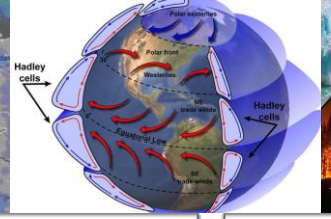



Hadley cells
Polar front
Westerlies
Hadley cells
Equatorial Low

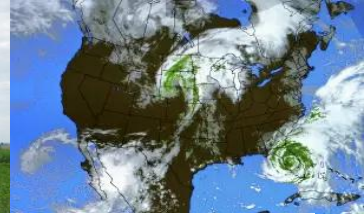
Aqua
SORCE
TRMM
GRACE
Terra
ICESat
CALIPSO
CloudSat
Aura

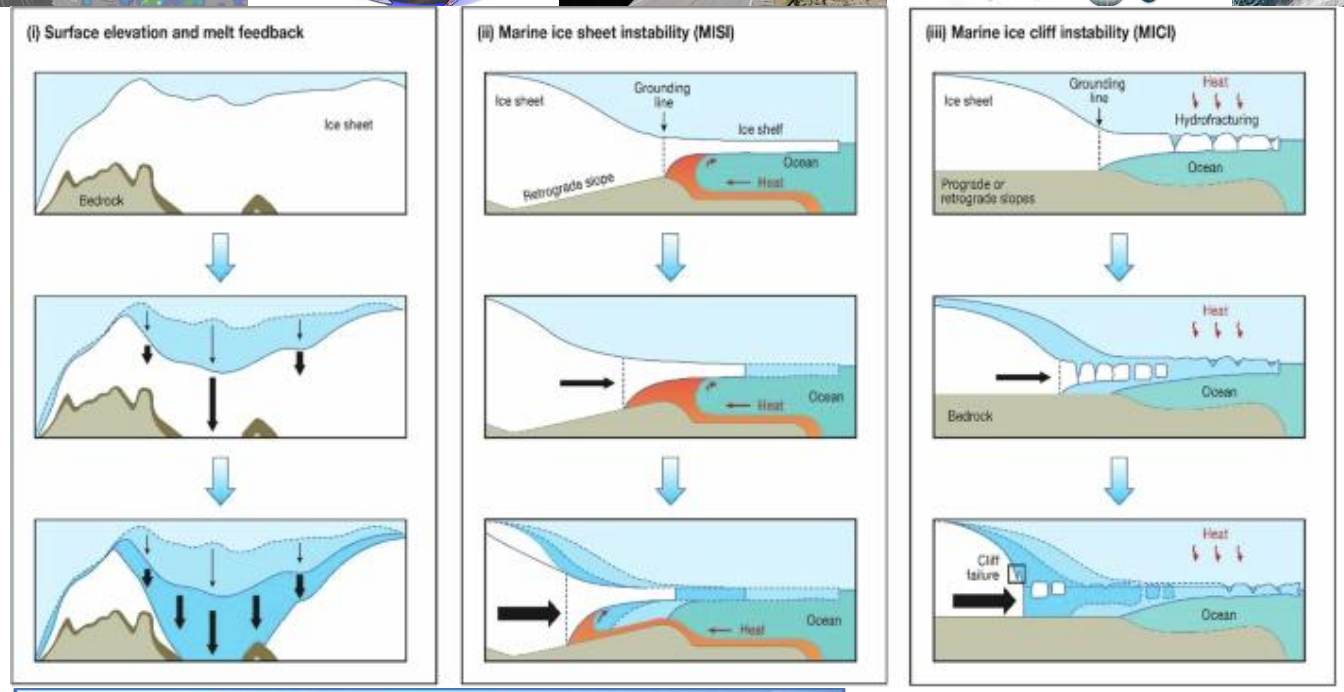

10 EFFECTS OF CLIMATE CHANGE
Rising Temperatures
Drought
Melting Ice
Changes to Ecosystems
Extreme Weather
Sea Level Rise
Wildfires
Poor Air Quality
Wildfires
Health Risks
Economic Impacts
Poor Air Quality

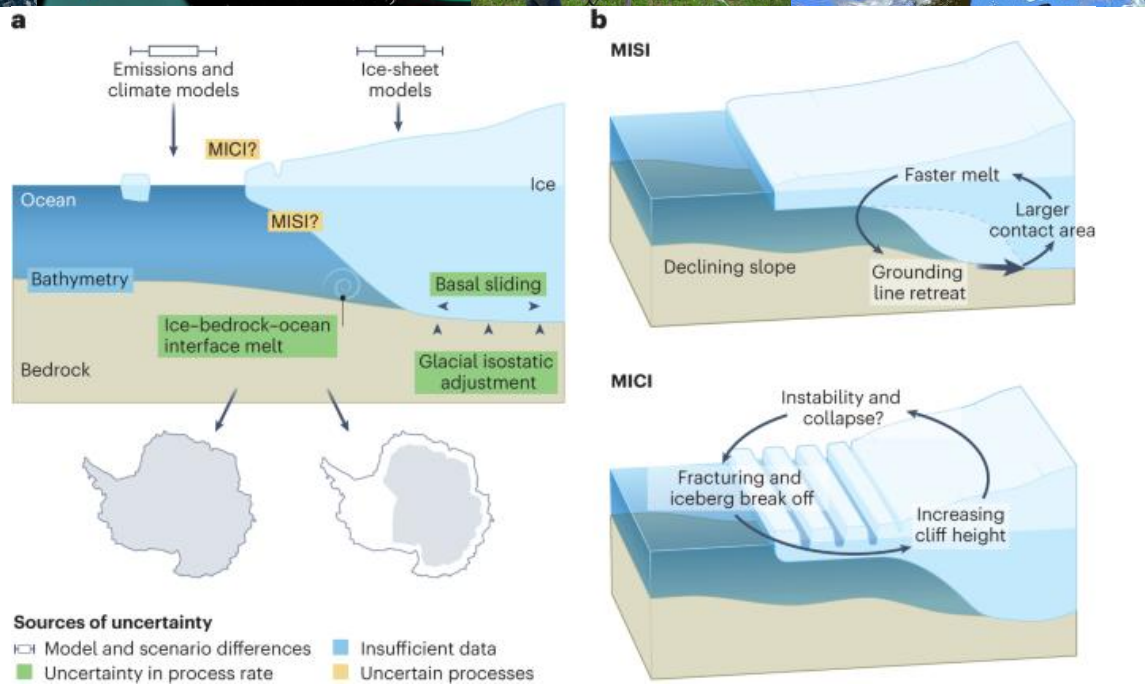


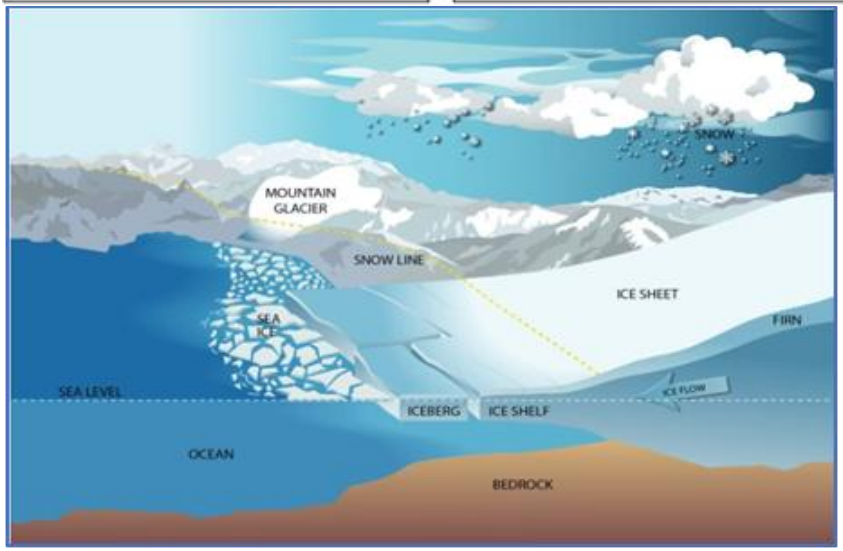

Hadley cells
Polar front
Westerlies
Equatorial Low
Hadley cells

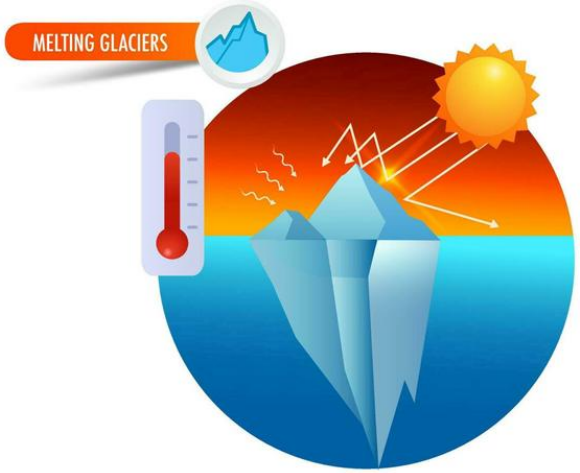
Aqua
SORCE
TRMM
GRACE
Terra
ICESat
CALIPSO
CloudSat
Aura

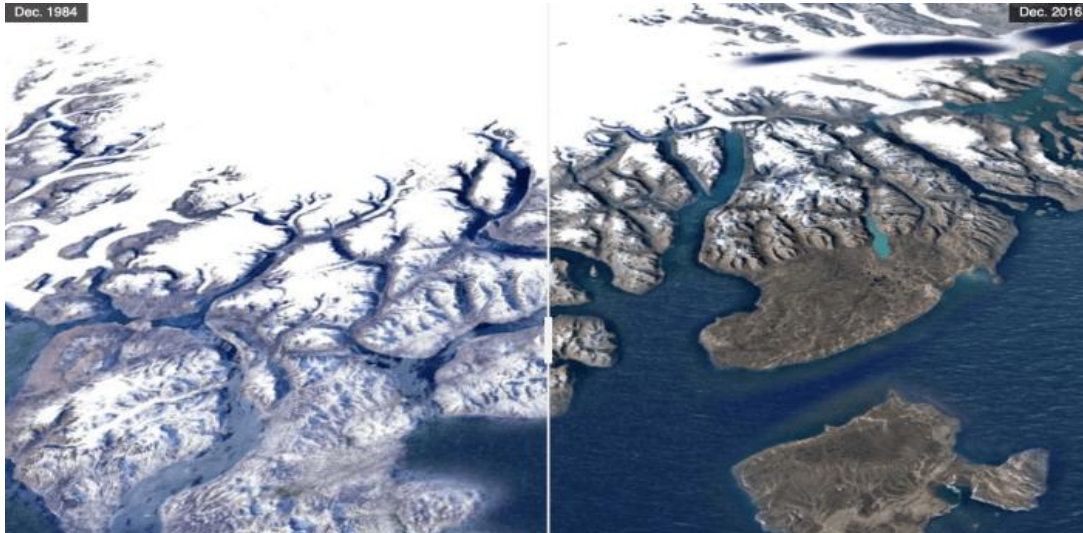


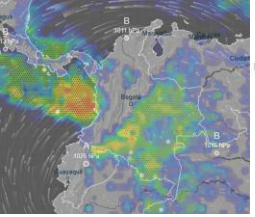
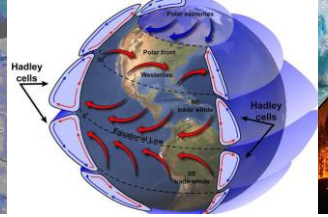

(i) Surface elevation and melt feedback
Ice sheet
Bedrock
(ii) Marine ice sheet instability (MISI)
Ice sheet
Grounding line
Ice shelf
Ocean
Retrograde slope
Heat
(iii) Marine ice cliff instability (MICI)
Ice sheet
Grounding line
Heat
Hydrofracturing
Ocean
Prograde or retrograde slopes
Bedrock
Cliff failure

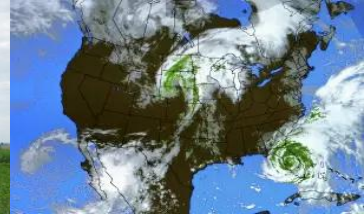

a
Emissions and climate models
Ice-sheet models
MICI?
Ocean
Ice
MISI?
Bathymetry
Basal sliding
Ice–bedrock–ocean interface melt
Glacial isostatic adjustment
Bedrock
Sources of uncertainty
Model and scenario differences
Insufficient data
Uncertainty in process rate
Uncertain processes
b
MISI
Faster melt
Larger contact area
Declining slope
Grounding line retreat
MICI
Instability and collapse?
Fracturing and iceberg break off
Increasing cliff height


SNOW
MOUNTAIN GLACIER
SNOW LINE
ICE SHEET
SEA ICE
FIRN
SEA LEVEL
ICEBERG
ICE SHELF
ICE FLOW
OCEAN
BEDROCK


MELTING GLACIERS

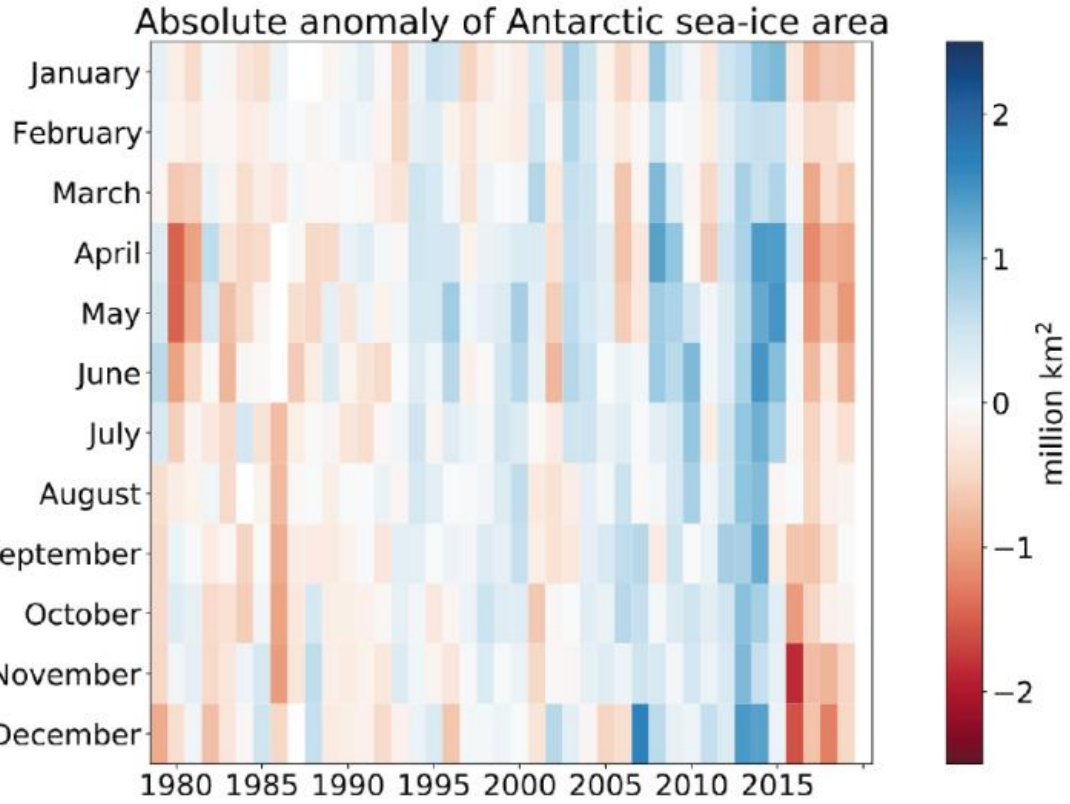

Dec. 1984
Dec. 2016

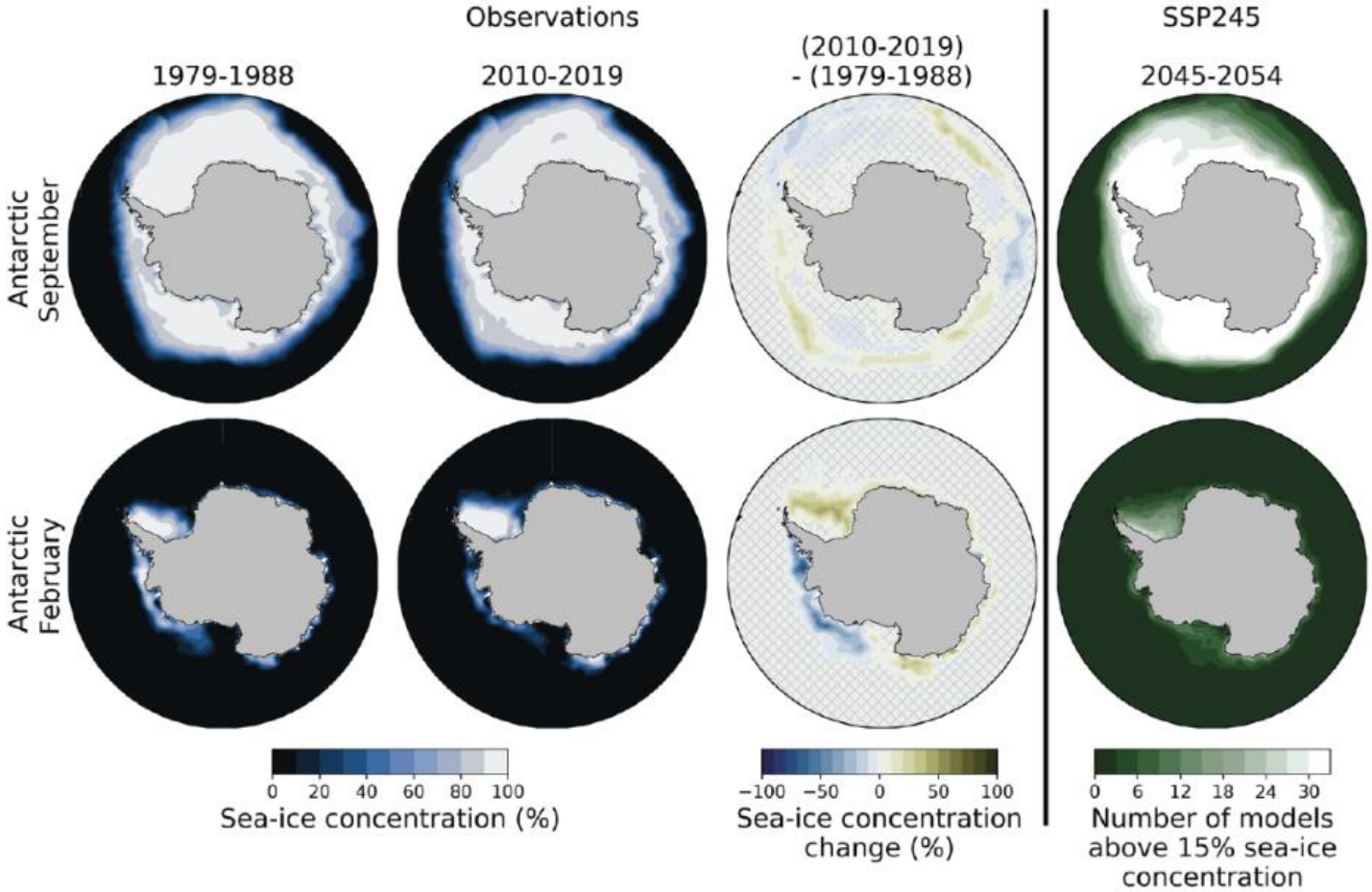



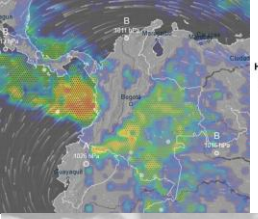


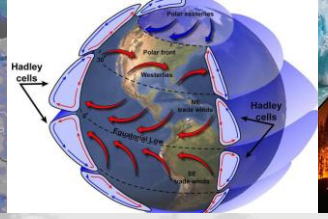
Antarctic sea-ice historical records and CMIP6 projections

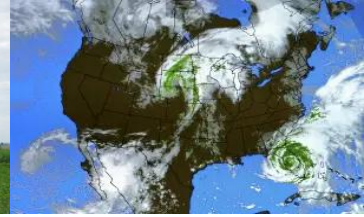
Anomaly time series, maps of seasonal sea-ice concenration and changes, and projected sea-ice metrics in SSP2-4.5

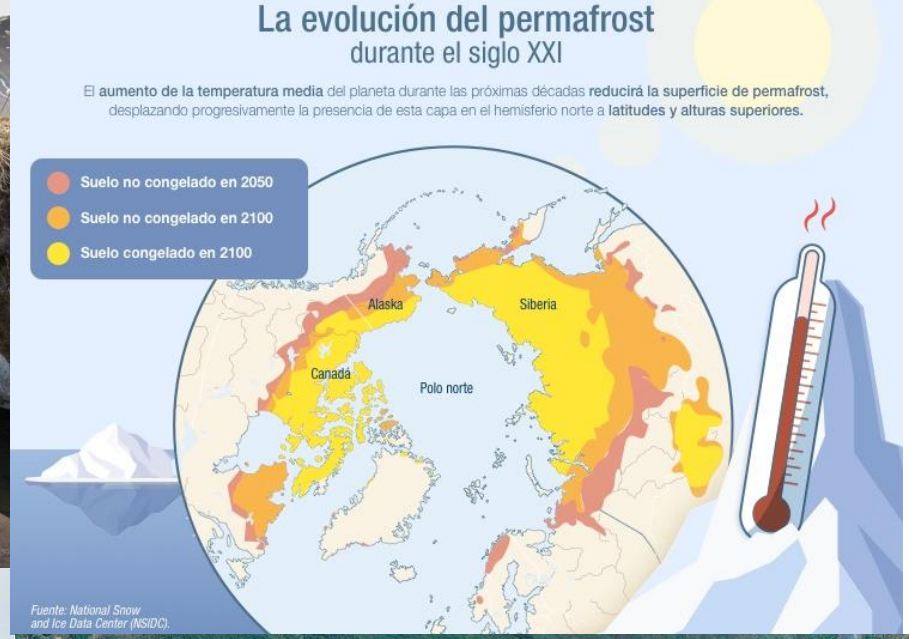










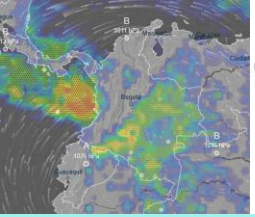
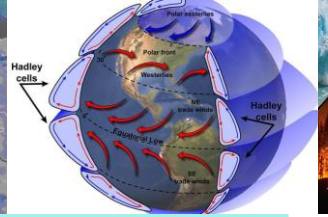


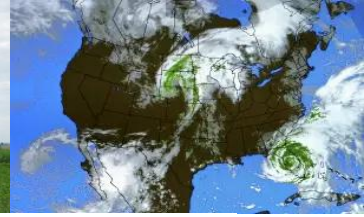
¿Qué es el permafrost?

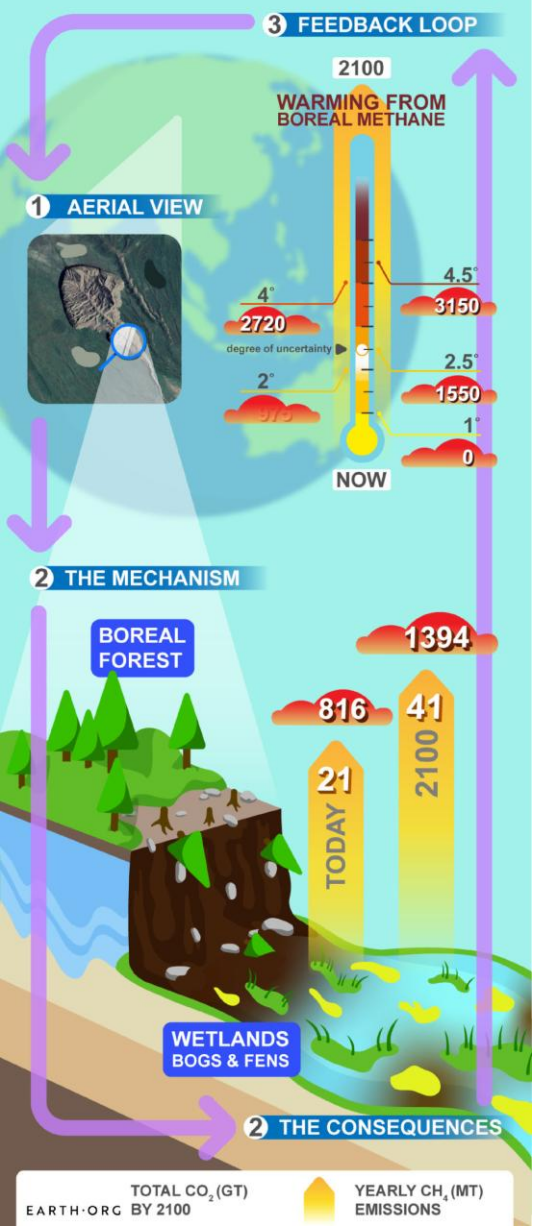
El permafrost está compuesto de arena, tierra y rocas unidas por el hielo, creando formaciones que pueden alcanzar los 600 metros de profundidad. Cerca de la superficie, los paisajes boreales ricos en permafrost contienen grandes cantidades de carbono orgánico procedente de plantas muertas que no pudieron descomponerse debido a las bajas temperaturas. Cuando el permafrost se descongela, las bacterias descomponen la materia orgánica y la reciclan en metano, lo que provoca un mayor calentamiento, que a su vez a su vez provoca un mayor deshielo

Efectos del deshielo del permafrost

Los modelos actuales consideran que las emisiones provocadas por el deshielo del permafrost son sustanciales, pero solo simulan un derretimiento gradual. Un artículo reciente publicado por Nature afirma que es probable que alrededor del 20 % del permafrost del planeta se descongele **abruptamente.** Esto implica derrumbes, deslizamientos de tierra y erosión





Consecuencias del deshielo del permafrost

Liberación de gases de efecto invernadero

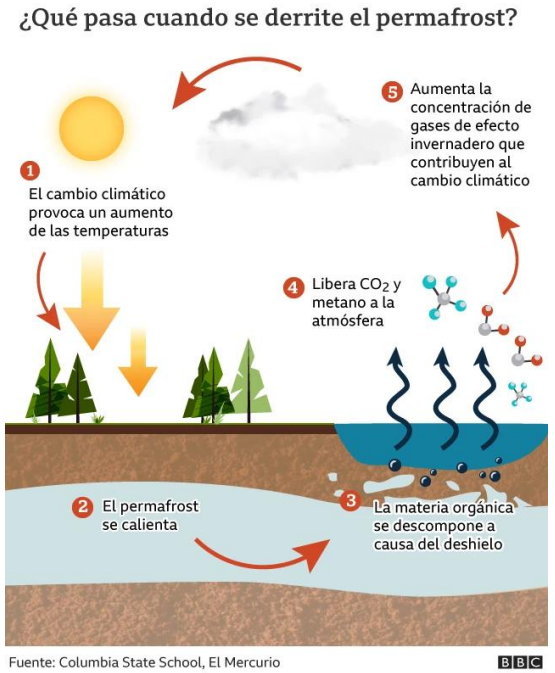
Como ya hemos comentado, el permafrost mantiene retenidas gigatoneladas de metano y dióxido de carbono en el subsuelo. Su progresiva liberación produciría una aceleración del calentamiento global que, a su vez, provocaría una aceleración del derretimiento del permafrost.

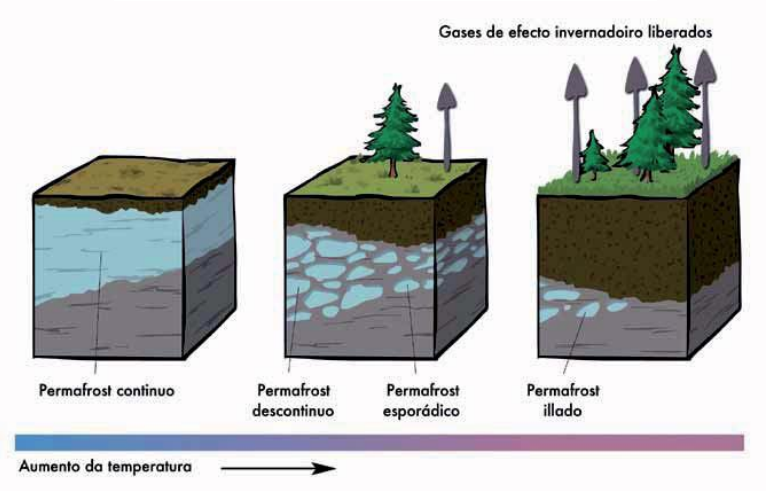
Liberación de virus y bacterias

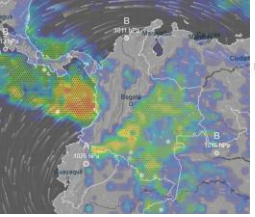
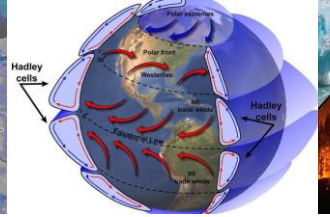
En agosto de 2016, en la tundra siberiana un niño de 12 años falleció y decenas de personas fueron hospitalizadas por un brote de carbunco (ántrax) liberado por la descongelación de una capa de permafrost en la que yacía el cadáver de un reno. Los científicos han encontrado en el permafrost microbios con más de 400.000 años de antigüedad, por eso se cree que muchos de los virus que han acechado a la humanidad a lo largo de su historia —como la peste bubónica o la viruela— se encuentran en estado latente en este estrato congelado.

Daños a los ecosistemas y su biodiversidad

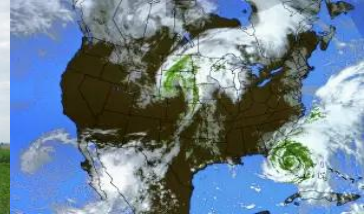
El derretimiento del permafrost siberiano está convirtiendo partes de la tundra en paisajes enlodados, haciendo que la flora local desaparezca y que la fauna que se alimenta de ella no tenga nada que llevarse a la boca. Asimismo, cuando se descongela el permafrost situado bajo cuerpos de agua, como los lagos, el agua se filtra en el terreno desapareciendo y provocando sequías.

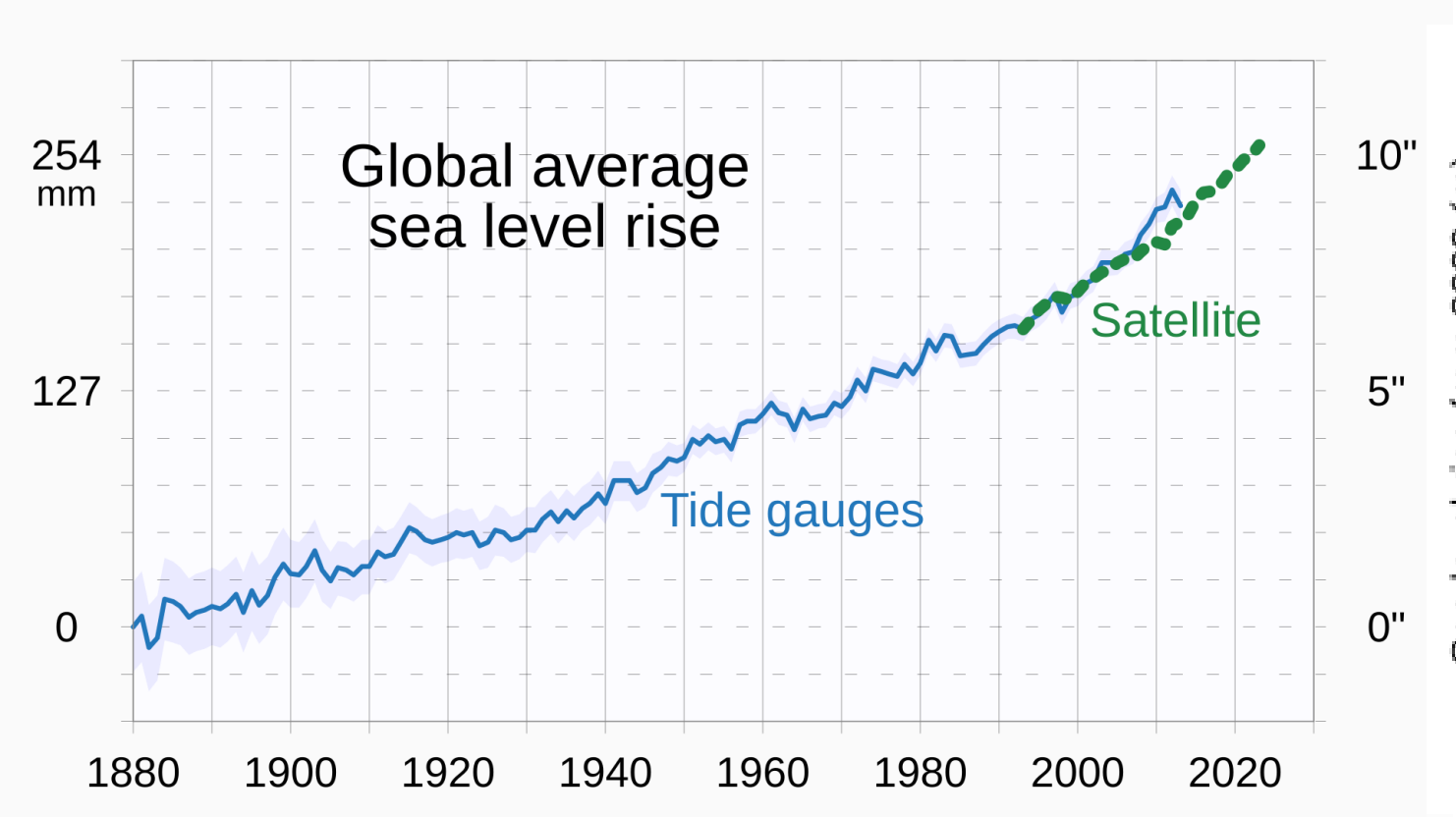


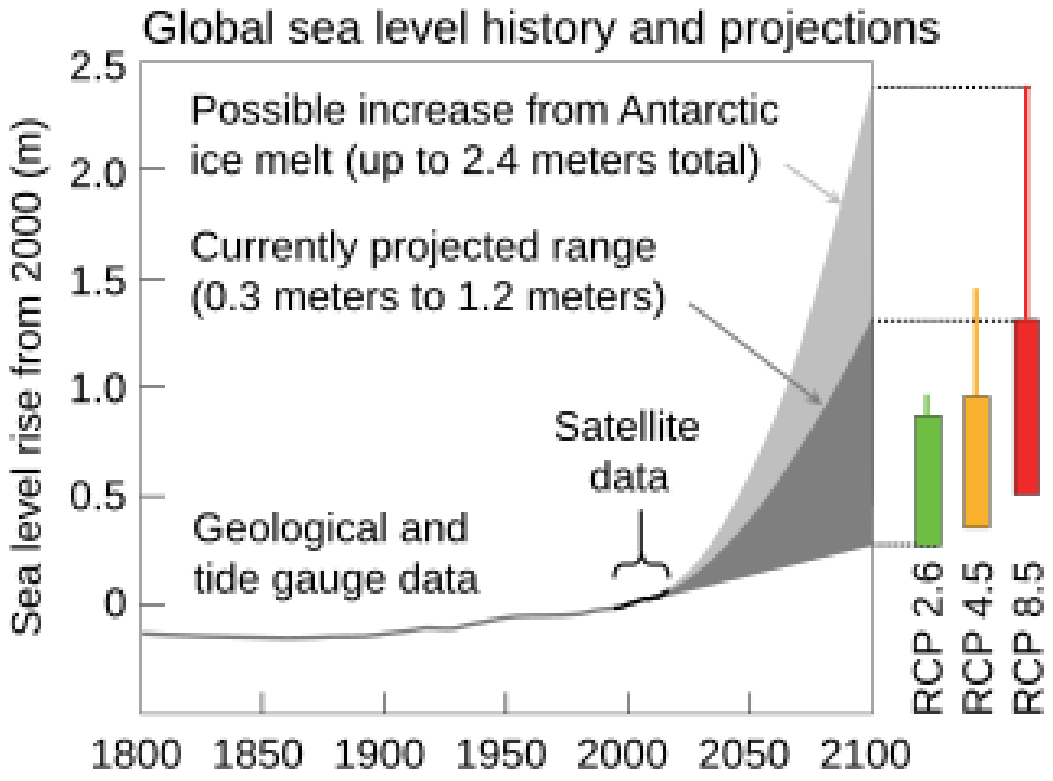


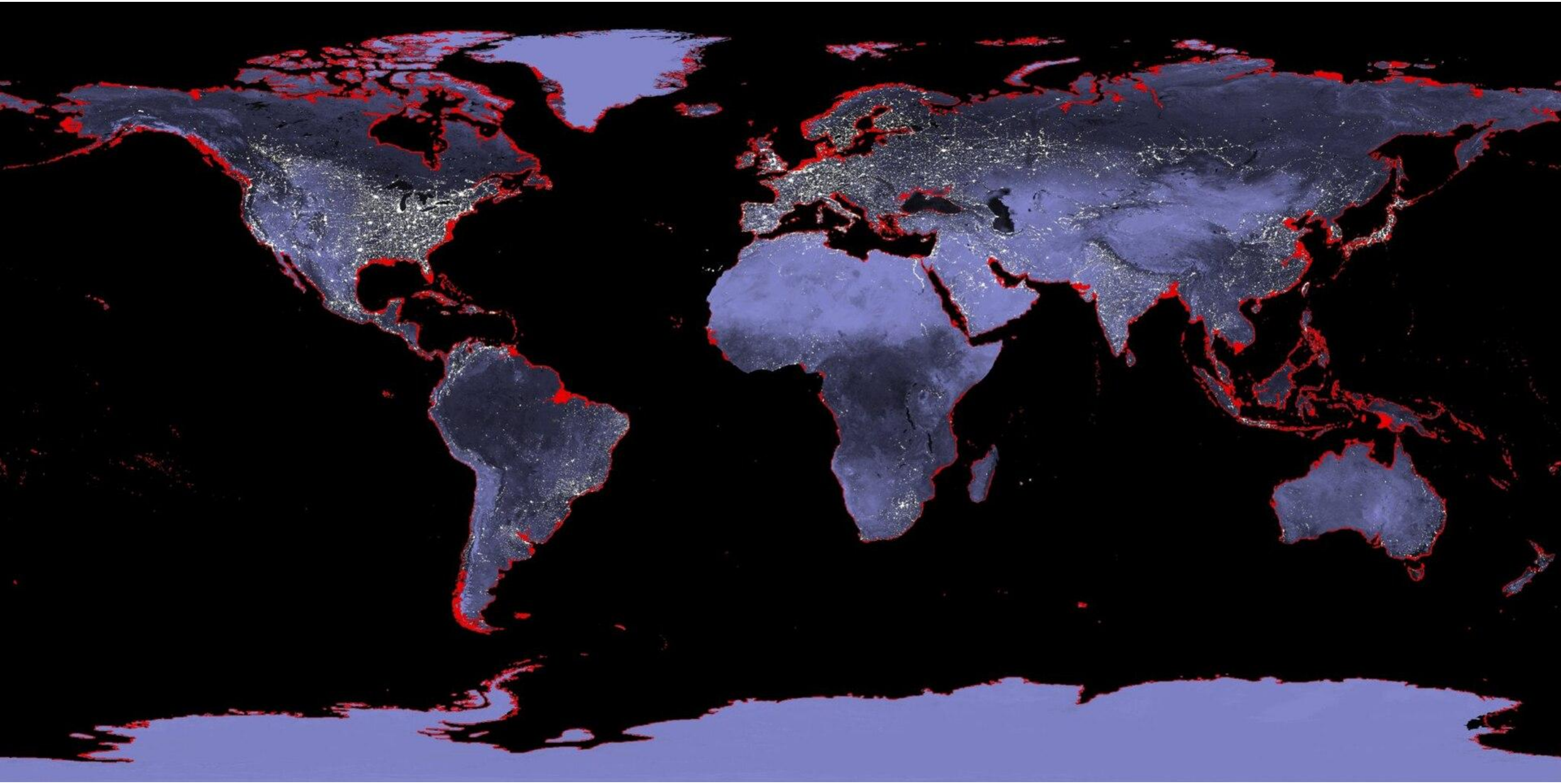


Hadley cells
Polar front
Westerlies
Hadley cells
Equatorial Low

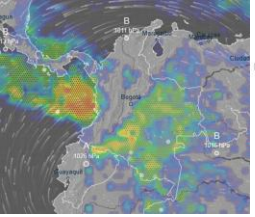
Aqua
SORCE
TRMM
GRACE
Terra
ICESat
CALIPSO
CloudSat
Aura

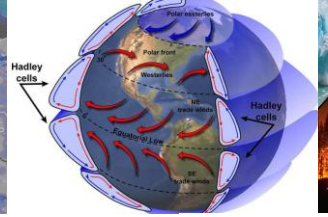



Global average sea level rise
254 mm
127
0
10"
5"
0"
Satellite
Tide gauges
1880
1900
1920
1940
1960
1980
2000
2020

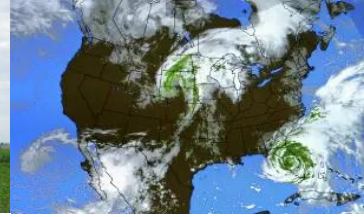

Global sea level history and projections
Sea level rise from 2000 (m)
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0
Possible increase from Antarctic ice melt (up to 2.4 meters total)
Currently projected range (0.3 meters to 1.2 meters)
Satellite data
Geological and tide gauge data
RCP 2.6
RCP 4.5
RCP 8.5
1800
1850
1900
1950
2000
2050
2100



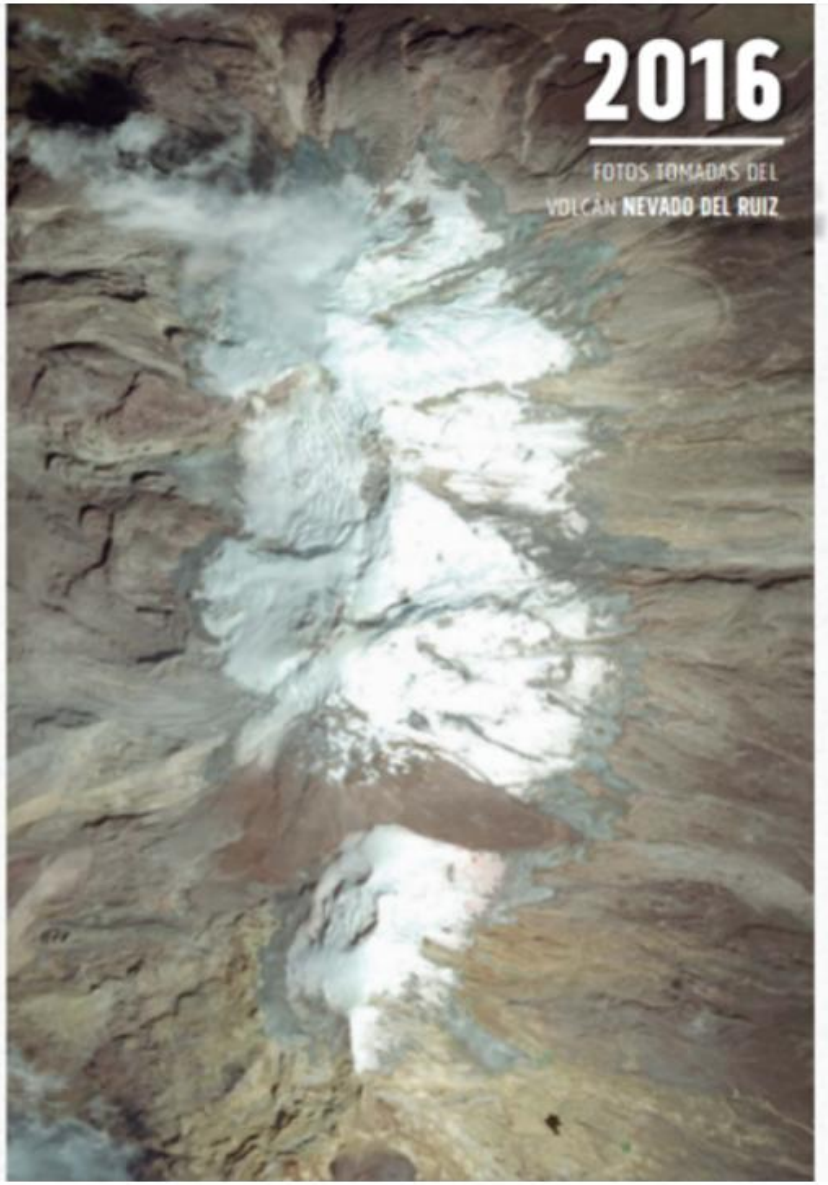


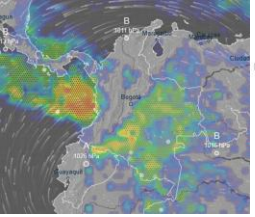

Hadley cells
Polar easterlies
Polar front
Westerlies
Hadley cells
Equatorial Low

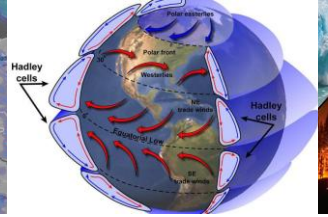
Aqua
SORCE
TRMM
GRACE
Terra
ICESat
CALIPSO
CloudSat
Aura

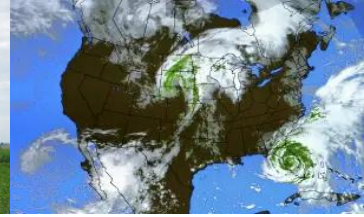


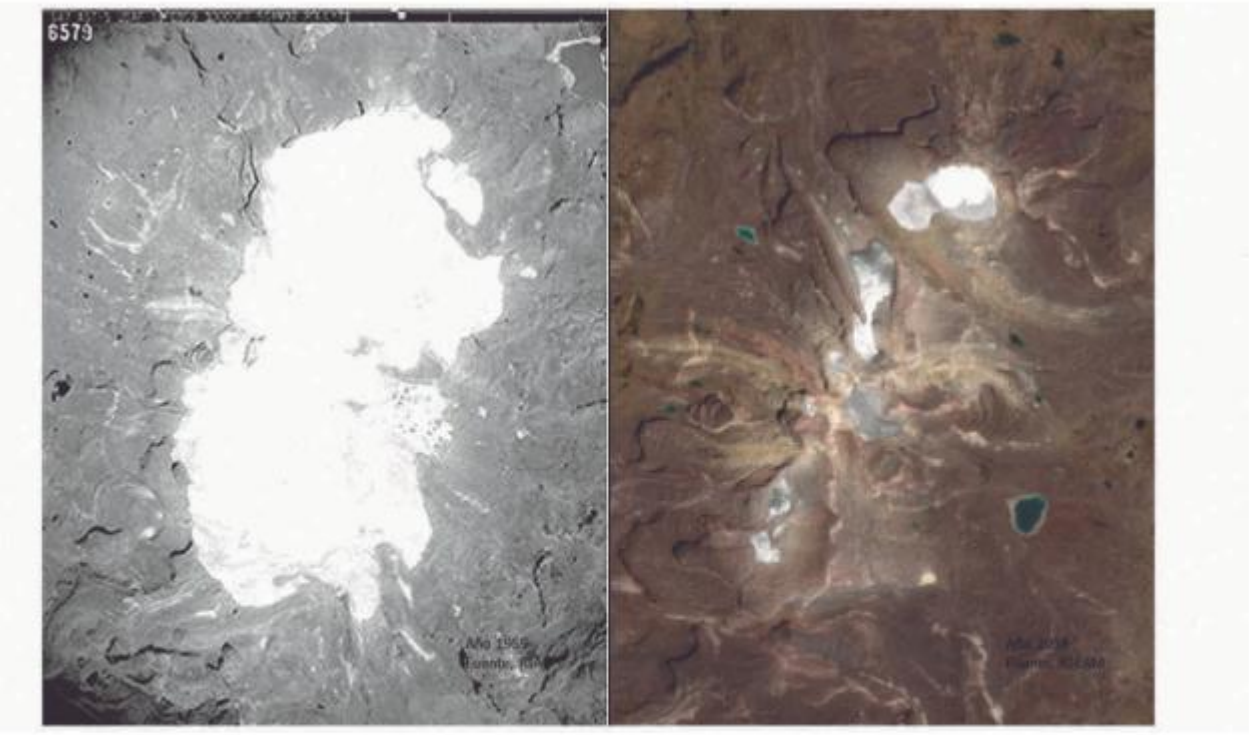
1959
FOTOS TOMADAS DEL
VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ


2016
FOTOS TOMADAS DEL
VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ

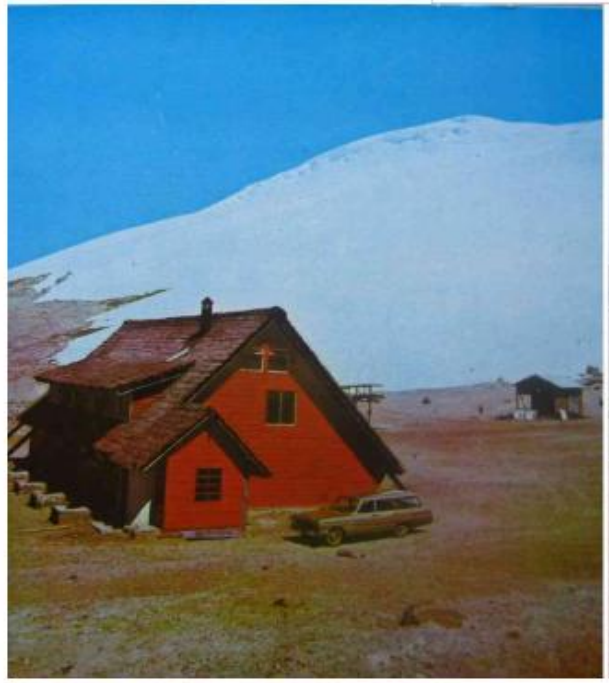








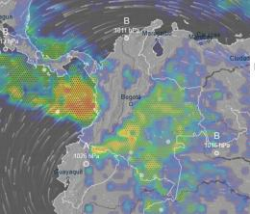
Vista aérea de la masa glaciar del Nevado Santa Isabel en 1959 (izquierda) y 2018 (derecha). Foto: IGAC e Ideam.

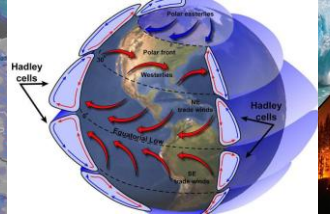


Refugio del Nevado del Ruiz en 1970.

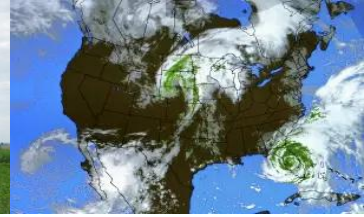
Refugio del Nevado de Ruiz en 2006.

Fotos: Unidad Administrativa Especial Del Sistema De Parques Nacionales Naturales (UAESPNN)

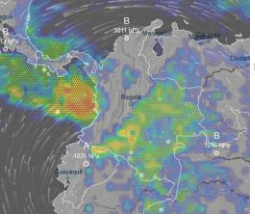


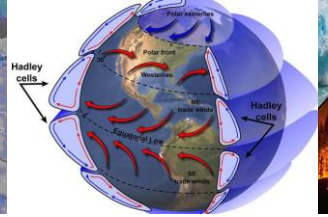

Hadley cells
Polar front
Westerlies
Hadley cells
Equatorial Low

Aqua
SORCE
TRMM
GRACE
Terra
ICESat
CALIPSO
CloudSat
Aura

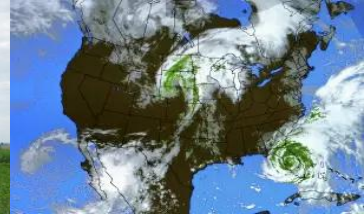


Glaciar Conejeras - Nevado Santa Isabel
2015
2020
2022
2023




Hadley cells
Hadley cells
Polar front
Westerlies
Equatorial Low

Aqua
SORCE
TRMM
GRACE
Terra
ICESat
CALIPSO
CloudSat
Aura

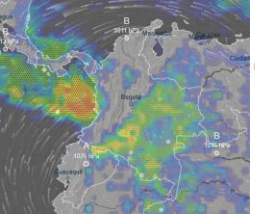


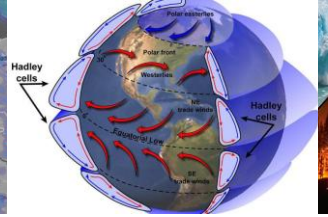
2005

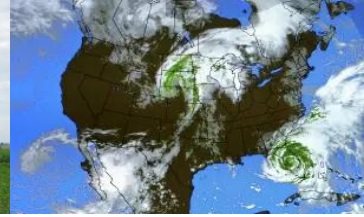
2014

2018

2023



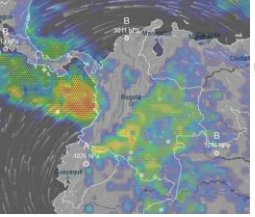


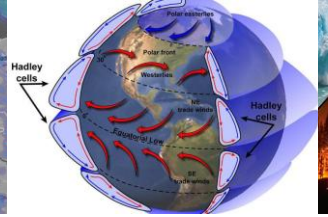


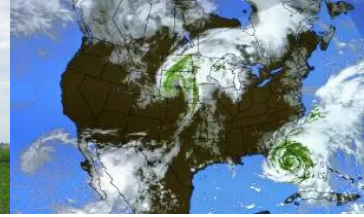
Fuente: Thomas van der Hammen. Año 1959

Fuente: IDEAM. Año 2015

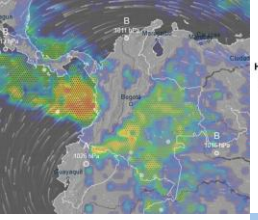
Comparativo del sistio Cerros de la Plaza en el Nevado de El Cocuy en 1959 y 2015. Fotos: Thomas van der Hammen e Ideam.

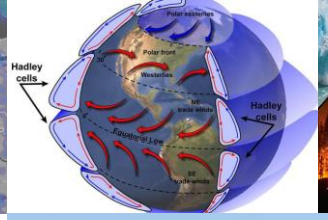




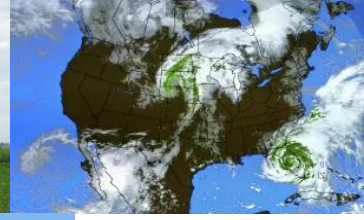


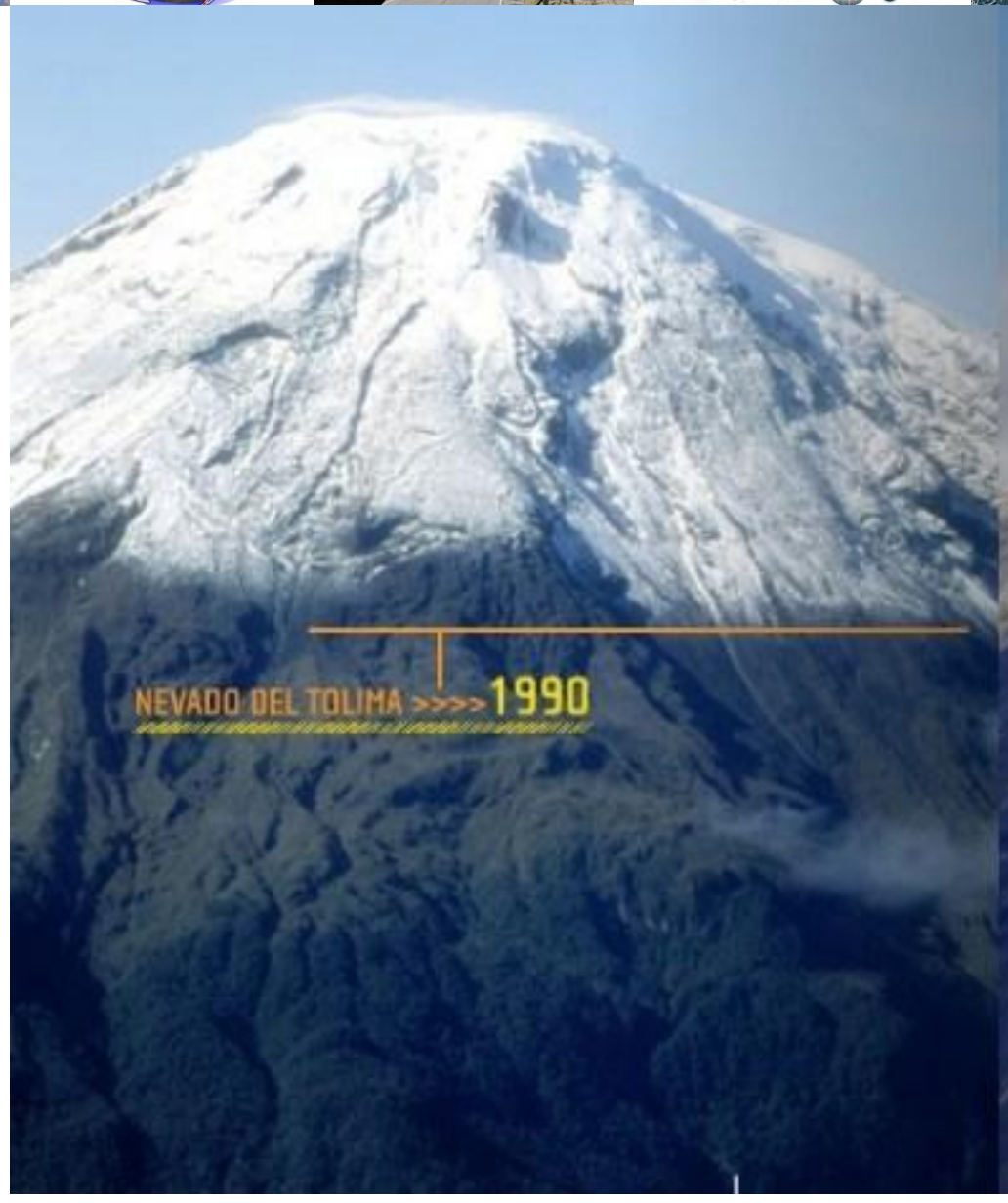
Masa glaciar del Nevado del Tolima en 1947 y 2018. Fotos: Hans Koester y Jorge Luis Ceballos/Ideam.

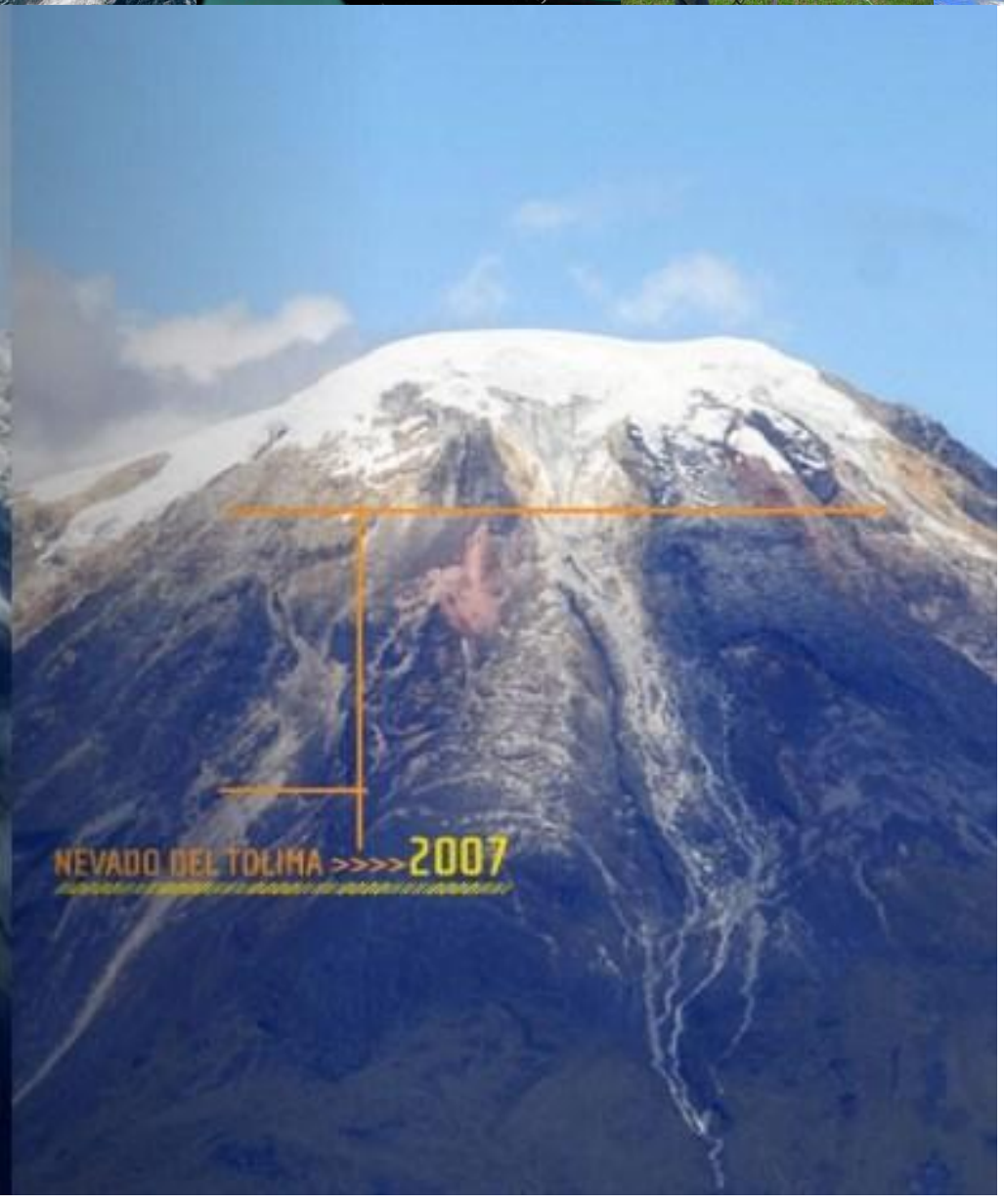


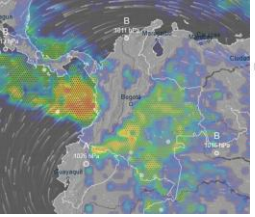
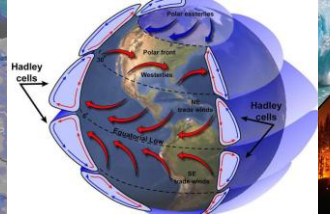

Hadley cells
Polar front
Hadley cells

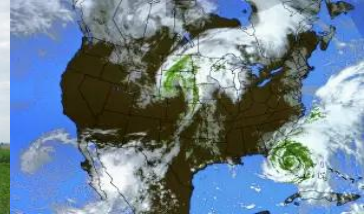
Aqua
SORCE
TRMM
GRACE
Terra
ICESat
CALIPSO
CloudSat
Aura




NEVADO DEL TOLIMA >>>> 1990

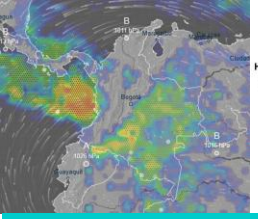
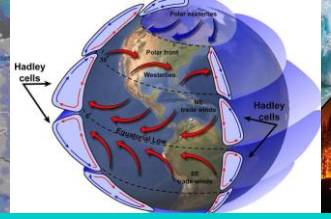

NEVADO DEL TOLIMA >>>> 2007

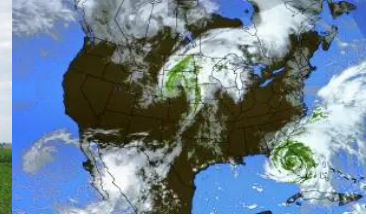





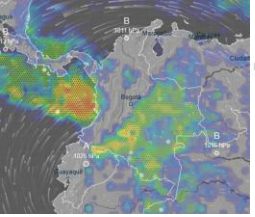
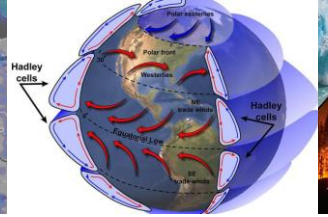
Evolución del área glaciar de cada uno de los nevados colombianos

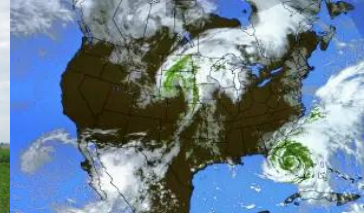
Año	Volcán nevado de Santa Isabel (km²)	Volcán nevado del Tolima (km²)	Volcán nevado del Ruiz (km²)	Sierra Nevada de Santa Marta (km²)	Sierra nevada de El Cocuy (km²)	Volcán nevado del Huila (km²)	Área glaciar total (km²)
1850	27,80	8,60	47,50	82,60	148,70	33,70	348,90
1958	9,51	2,70	21,24	19,40	38,18	17,36	108,39
1986	6,51	1,64	17	13,54	31,46	14,57	84,74
2010	1,80	0,74	9,70	7,40	16	9,70	45,34
2016	1,01	0,62	9,03	7,10	14	7,50	39,26
2017	0,66	0,58	8,40	6,71	13,32	7,30	
2018	0,63						36,94



GLOBAL WARMING CLIMATE CHANGE

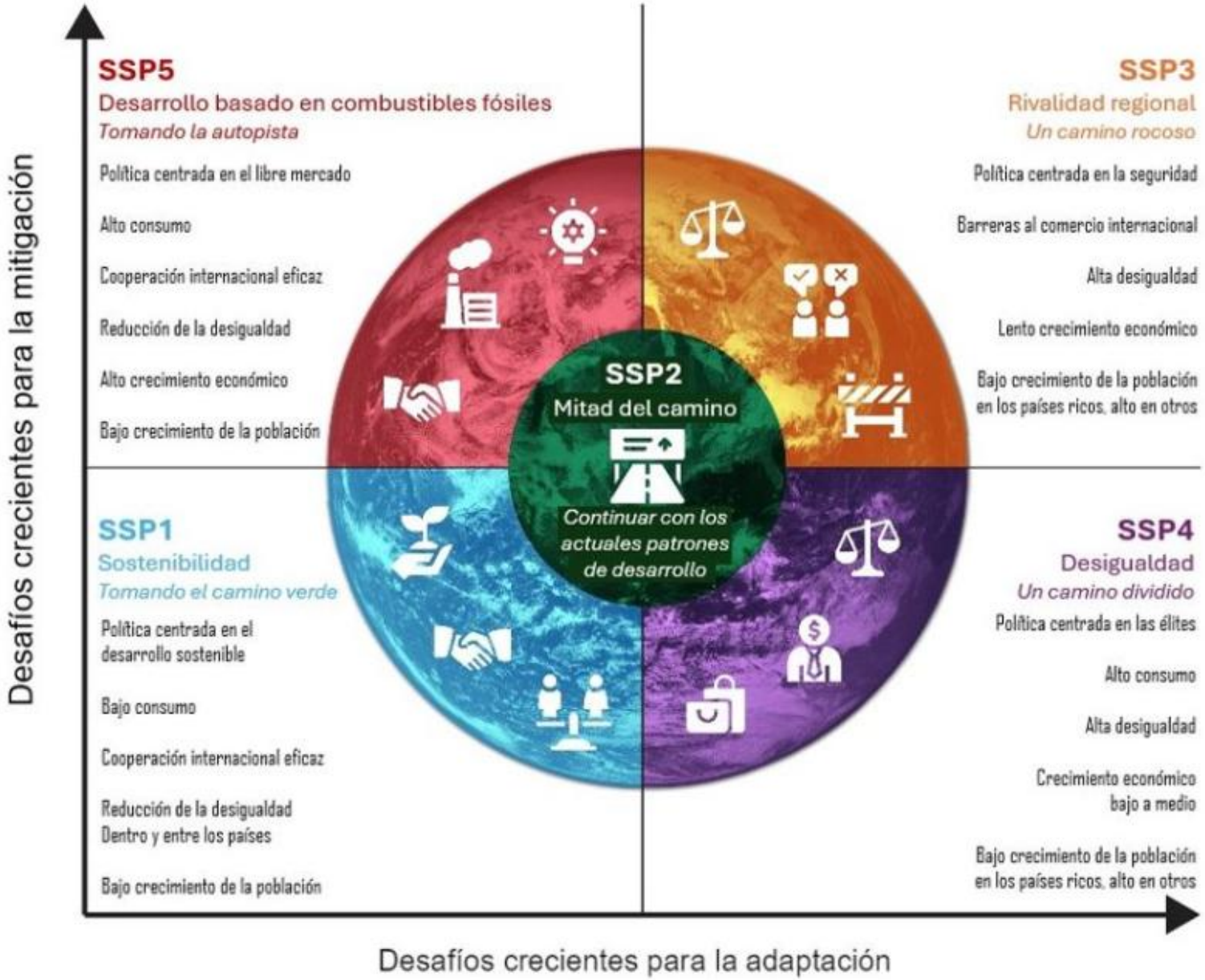



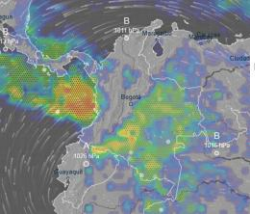
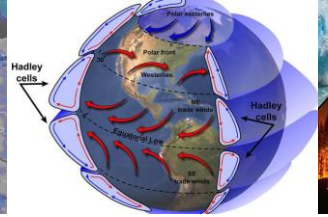


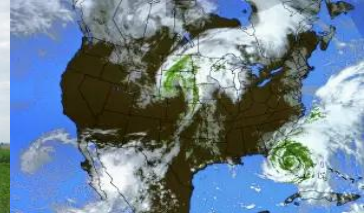
Escenarios de cambio climático

Los escenarios de cambio climático son descripciones coherentes, internamente consistentes y convincentes de cómo sería el clima en el futuro ante diferentes cambios en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por las actividades humanas. Estos escenarios no son pronósticos o predicciones, sino imágenes alternativas de cómo el futuro puede desarrollarse bajo ciertas condiciones.

Se construyen mediante modelos climáticos computacionales que simulan las interacciones complejas entre la atmósfera, los océanos, la superficie terrestre y el hielo.

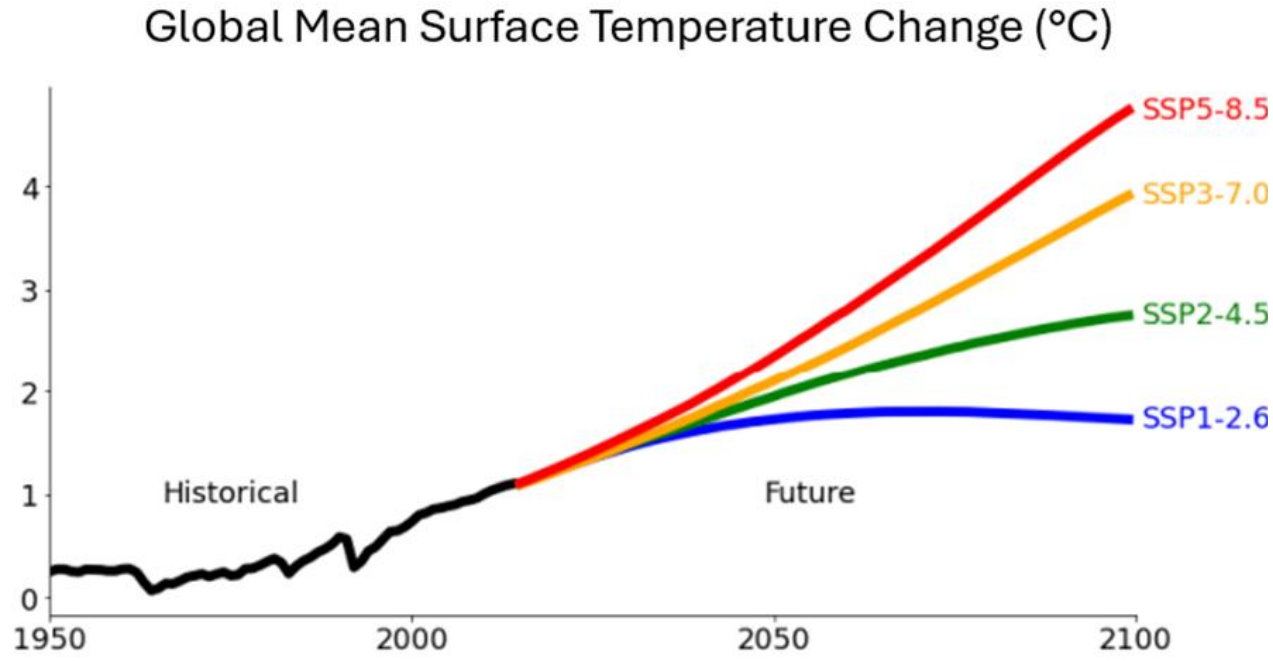


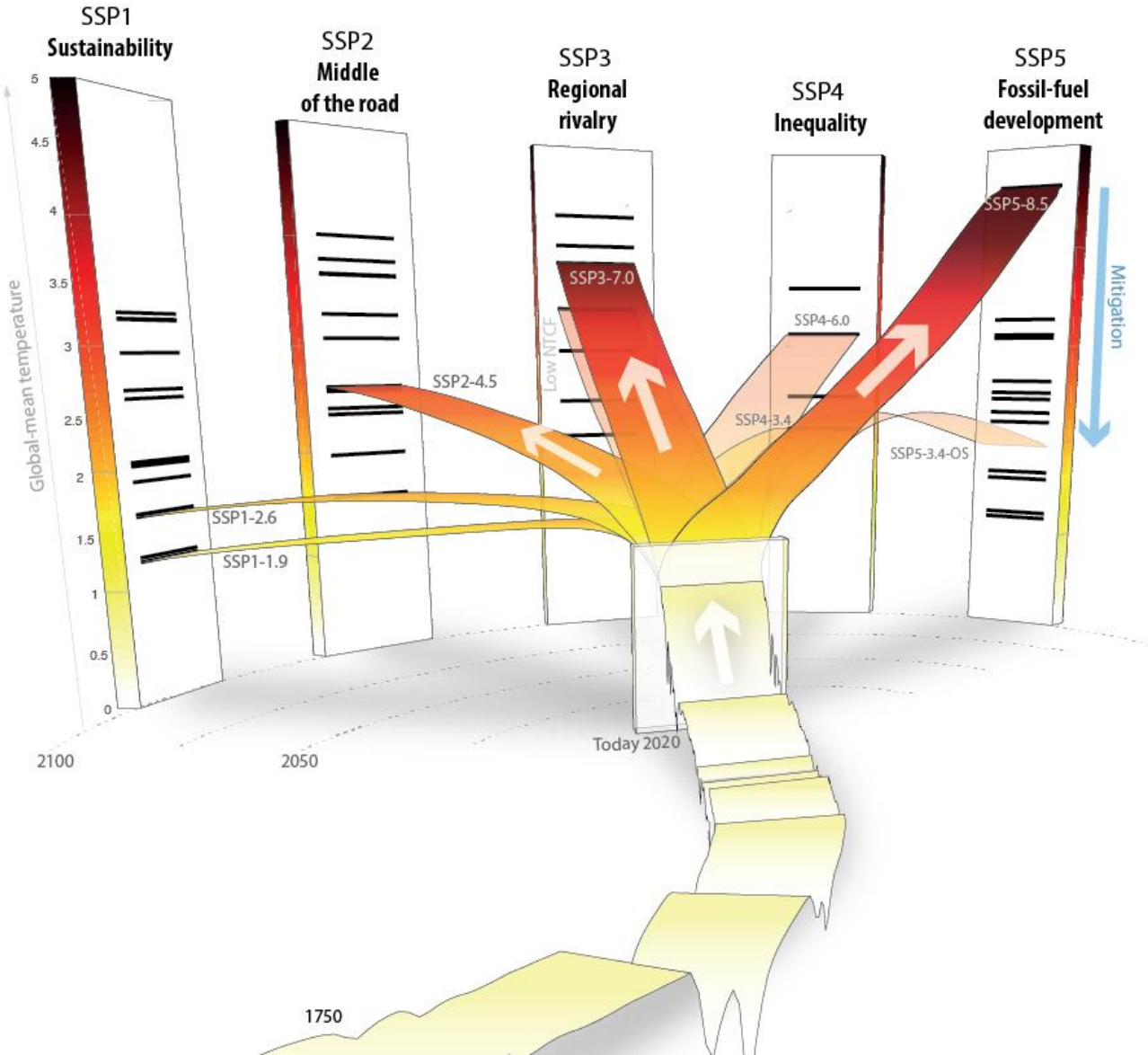



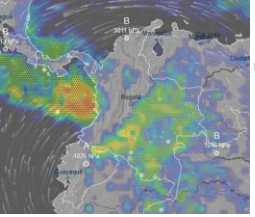
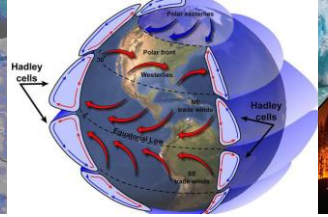


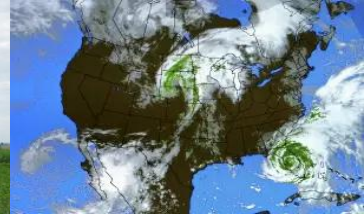
Shared Socio-economic Pathways (SSPs)

Las Vías Socioeconómicas Compartidas son un conjunto de narrativas que describen posibles vías de desarrollo futuro para la sociedad humana, en particular en relación con el uso de combustibles fósiles y los factores socioeconómicos que lo impulsan.

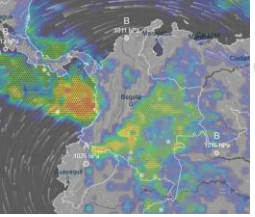
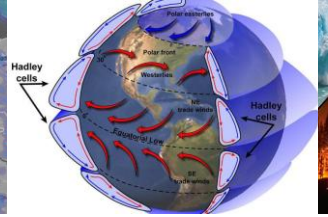


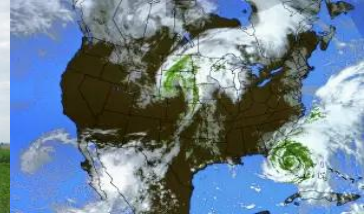




SSP	Nombre	Características Principales	Cooperación Internacional	Desigualdad	Tecnología	Desafíos Mitigación	Desafíos Adaptación
SSP1	Sostenibilidad (Taking the Green Road)	Transición hacia prácticas sostenibles, desarrollo humano inclusivo, economía baja en carbono, inversión en educación y salud	Alta - Fuerte cooperación global	Baja - Reducción progresiva de desigualdades	Enfocada en sostenibilidad y eficiencia	**Bajos**	**Bajos**
SSP2	Camino Intermedio (Middle of the Road)	Continuación de tendencias actuales, desarrollo desigual, progreso lento hacia sostenibilidad, cambios graduales	Media - Cooperación moderada con altibajos	Media - Desigualdades persistentes	Avances moderados y desiguales	**Medios**	**Medios**
SSP3	Rivalidad Regional (A Rocky Road)	Fragmentación global, nacionalismo, competencia por recursos, bajo crecimiento económico, degradación ambiental	Baja - Desintegración y rivalidad entre regiones	Alta - Creciente dentro y entre países	Lento desarrollo, enfoque en seguridad nacional	**Altos**	**Altos**
SSP4	Desigualdad (A Road Divided)	Estratificación social extrema, élites globales vs. mayoría vulnerable, inversión concentrada, baja cohesión social	Baja entre mayorías, alta entre élites	Muy alta - División extrema de recursos y oportunidades	Avanzada para élites, limitada para mayorías	**Bajos**	**Altos**
SSP5	Desarrollo con Combustibles Fósiles (Taking the Highway)	Crecimiento económico acelerado, explotación intensiva de fósiles, consumo elevado, urbanización rápida, alta inversión en instituciones	Alta - Mercados globales integrados	Baja - Reducción gracias a crecimiento económico	Muy avanzada, intensiva en energía	**Altos**	**Bajos**

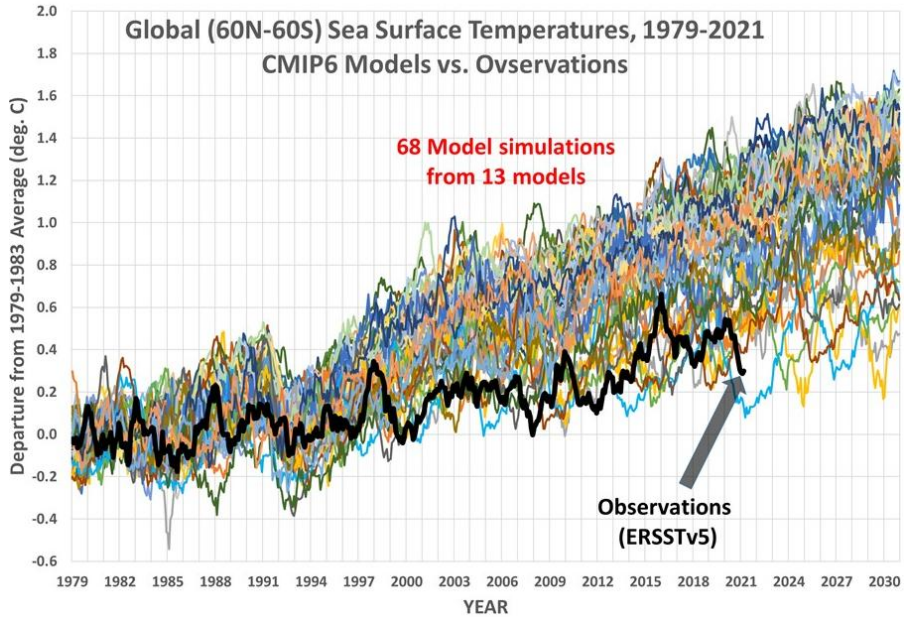



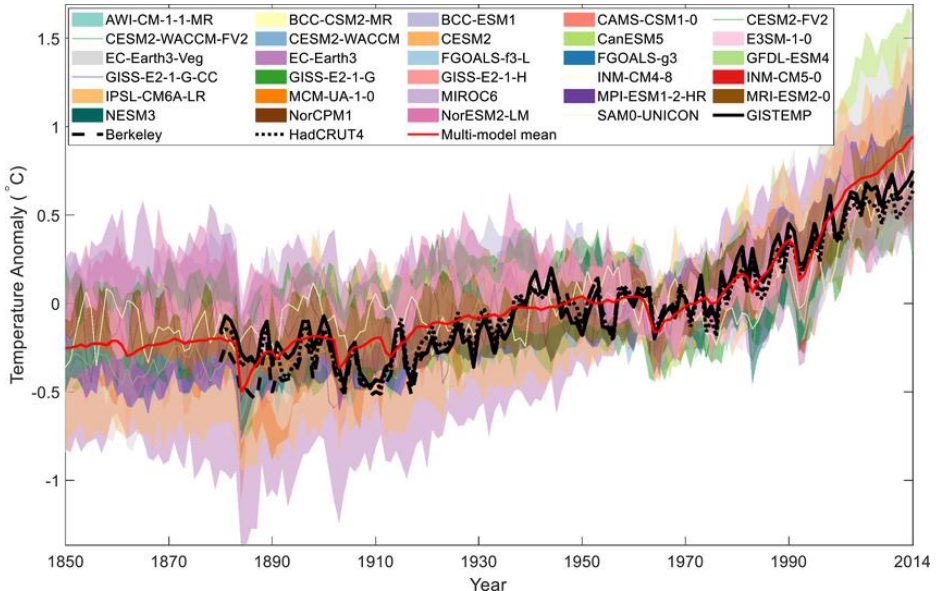


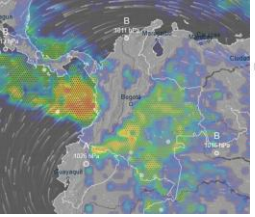
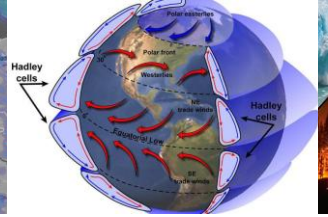
- Los modelos de evaluación integrados son modelos informáticos complejos que "combinan diferentes ramas del conocimiento para explorar cómo el desarrollo humano y las decisiones sociales interactúan con el mundo natural y lo afectan".

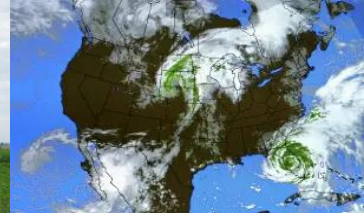
- Examinan los factores que influyen en las emisiones de gases de efecto invernadero, como las opciones de uso de energía, la tecnología energética, los cambios en el uso de la tierra y las tendencias sociales, y al vincular módulos que representan la economía global y sus sistemas energéticos, terrestres y climáticos, pueden explorar retroalimentaciones y compensaciones y responder a preguntas del tipo "¿qué pasaría si…?"

Model
BCC-ESM1
BCCCSM2MR
CESM2
CESM2-WACCM
CNRM-ESM2-1
CNRMCM61
CanESM5
E3SM-1-0
EC-EARTH3-VEG
GFDL-CM4
GFDL-ESM4
GISSE2-1-G
GISSE2-1-H
HADGEM3-GC31-LL
INM-CM4-8
IPSL-CM6A-LR
MIROC-ES2L
MIROC6
MPI-ESM1-2-HR
MRI-ESM2
NESM3
NORCPM1
NORESM2-LM
SAM0UNICON
UKESM1-0-LL



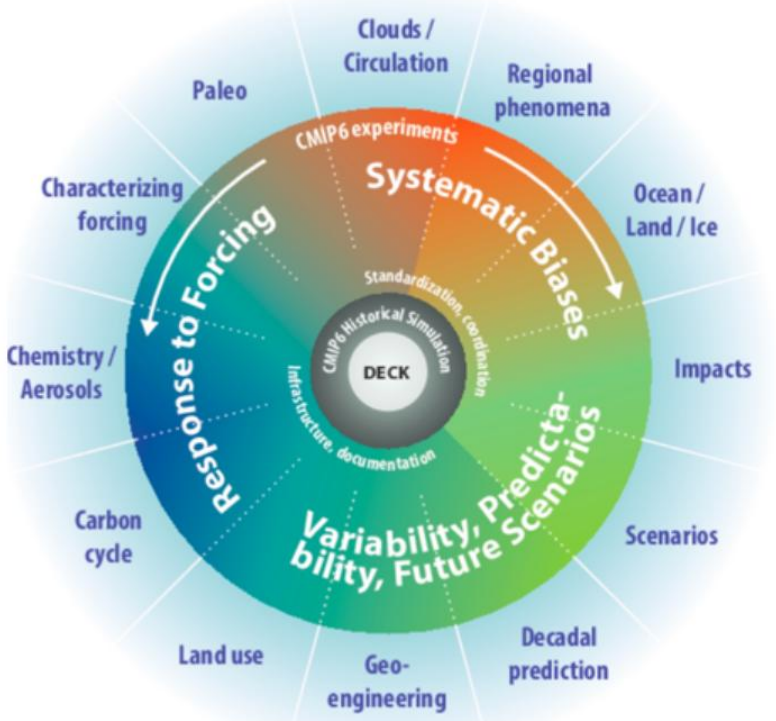




CMIP es un proyecto del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas que proporciona proyecciones climáticas para comprender los cambios climáticos pasados, presentes y futuros.

CMIP6 experimental design



DECK (entry card for CMIP)

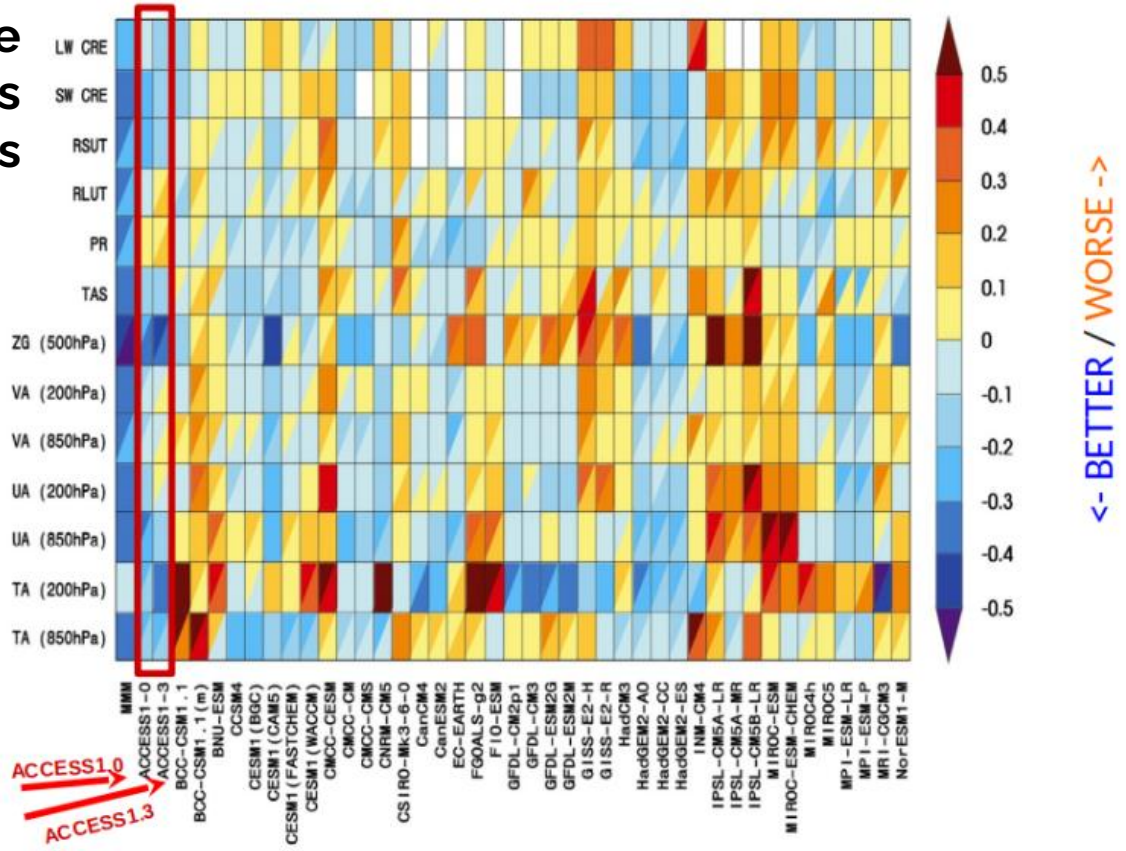
i. AMIP simulation (~1979-2014)
ii. Pre-industrial control simulation
iii. 1%/yr CO_2 increase
iv. Abrupt 4xCO_2 run

CMIP6 Historical Simulation (entry card for CMIP6)

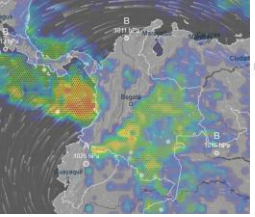
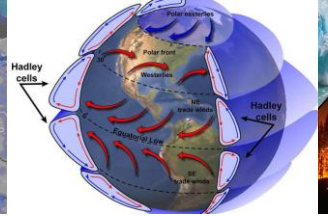
v. Historical simulation using CMIP6 forcings (1850-2014)

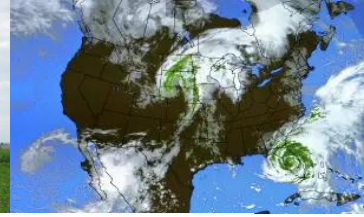
(DECK & CMIP6 Historical Simulation to be run for each model configuration used in the subsequent CMIP6-Endorsed MIPs)

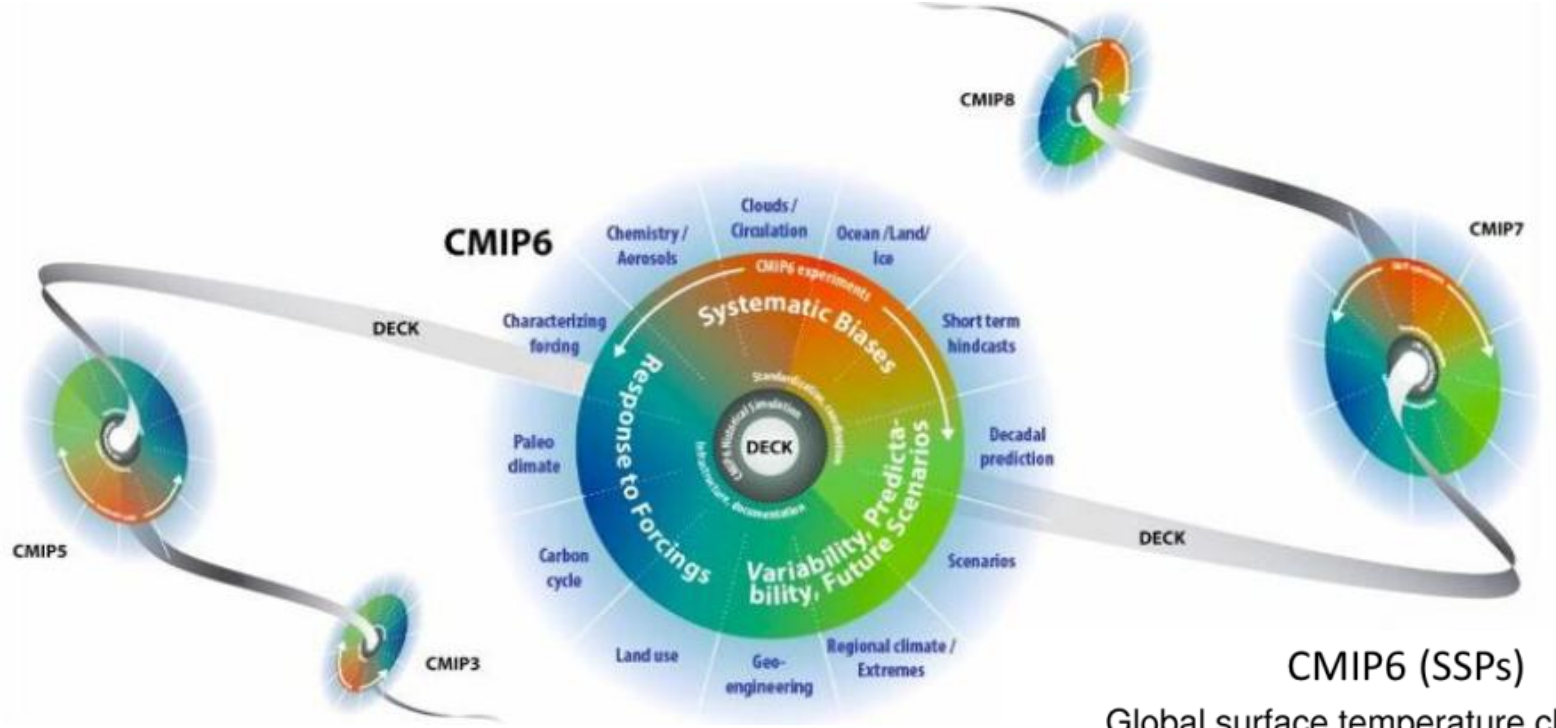
Eyring et al., 2016

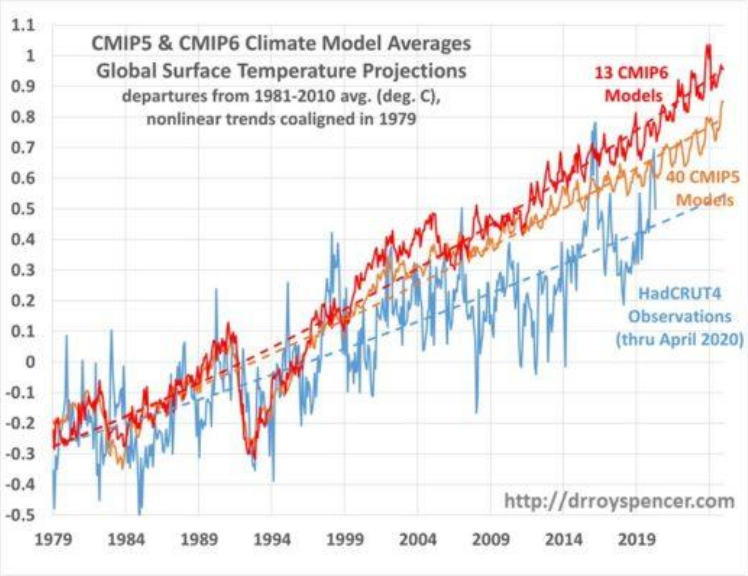


Blue – better
Red – worst
Multi-model mean is best.
ACCESS models good.

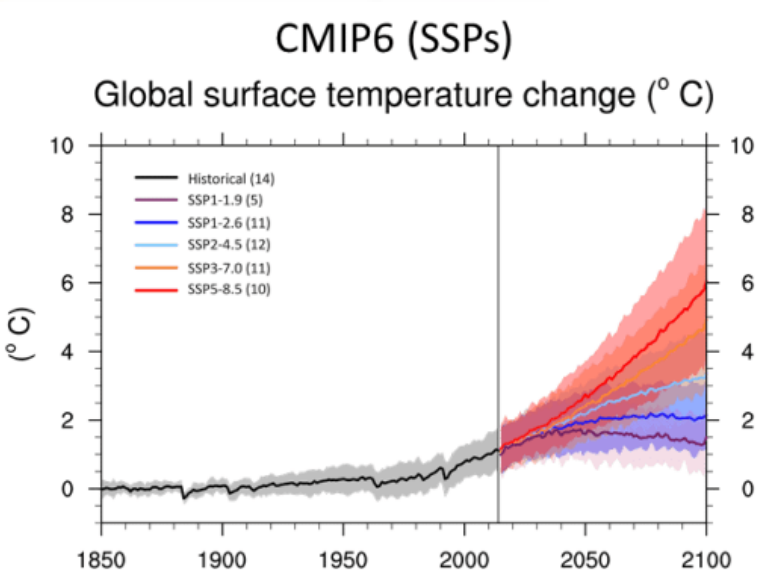



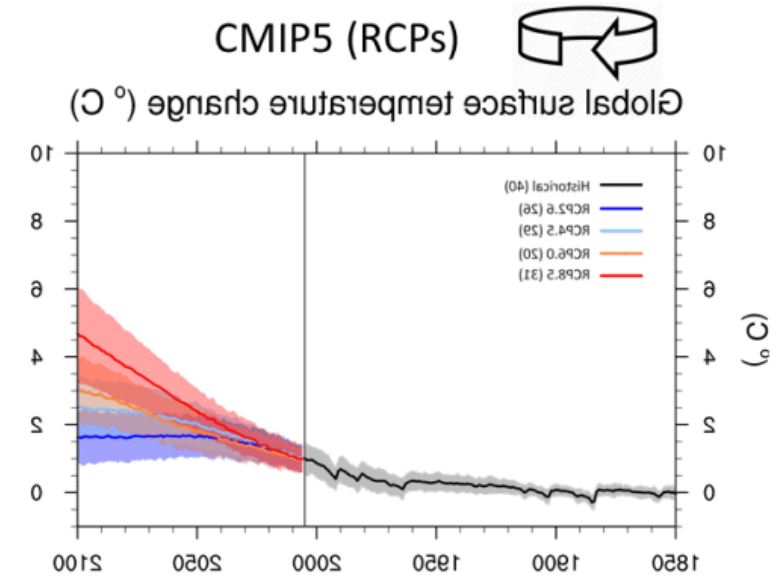






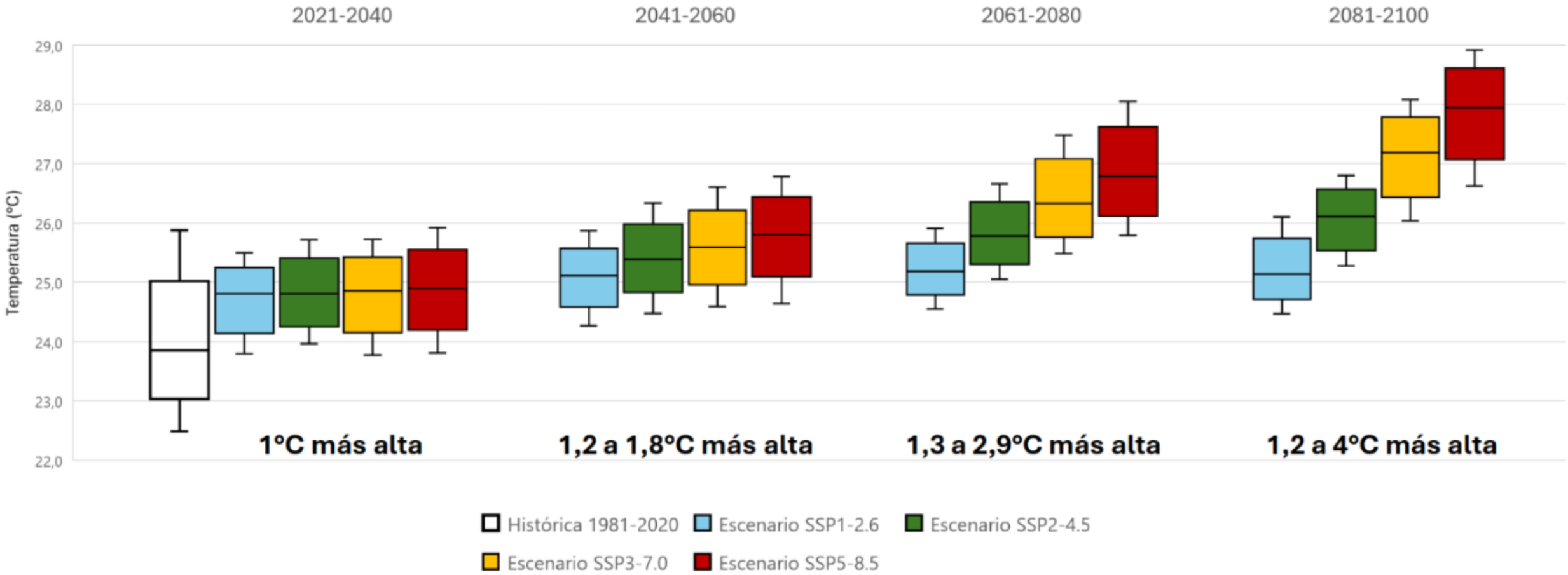
El CMIP se ha organizado en diferentes fases, cada una con nuevos y mejorados protocolos de experimentación con modelos climáticos, estándares y mecanismos de distribución de datos. **El CMIP6** es la fase más reciente en publicar sus datos de salida de modelado para uso general, mientras que la fase más reciente, **el CMIP7,** se encuentra en sus primeras etapas de organización.

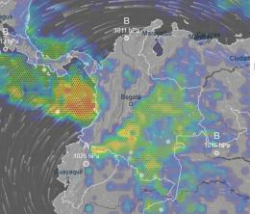
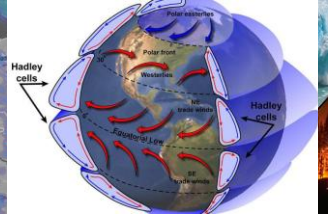


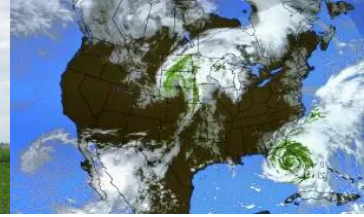


Cambios futuros temperatura media en Colombia

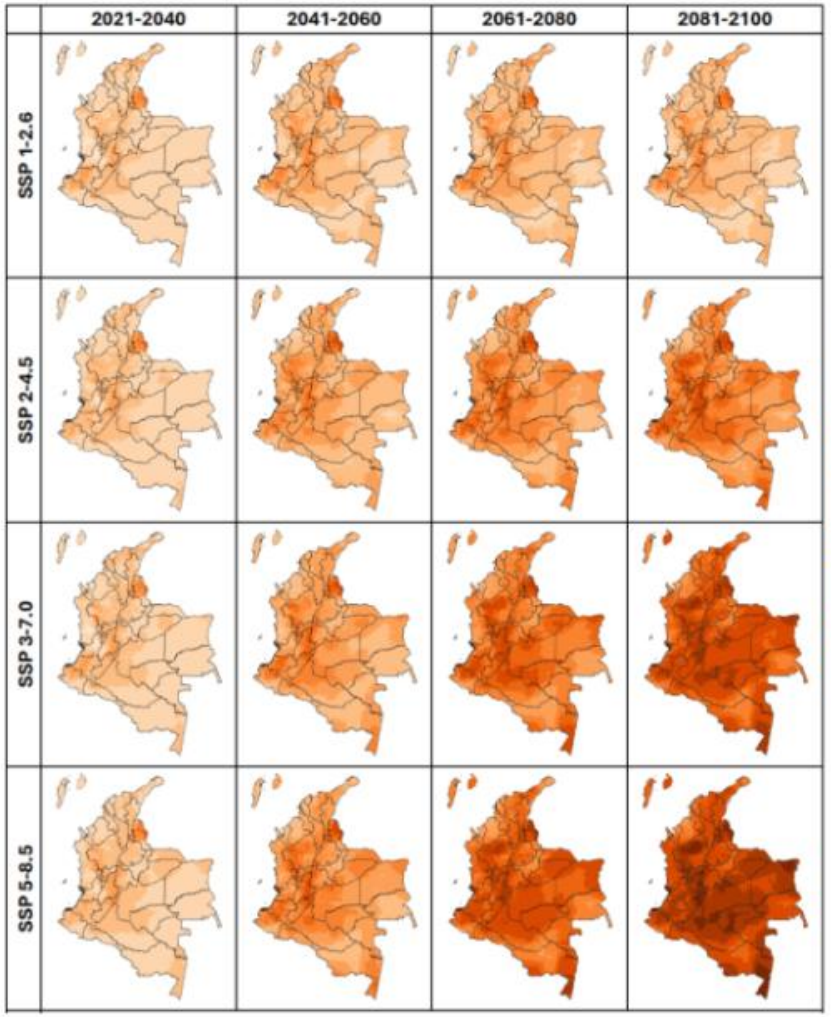
ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO CUARTA COMUNICACIÓN NACIONAL DE COLOMBIA



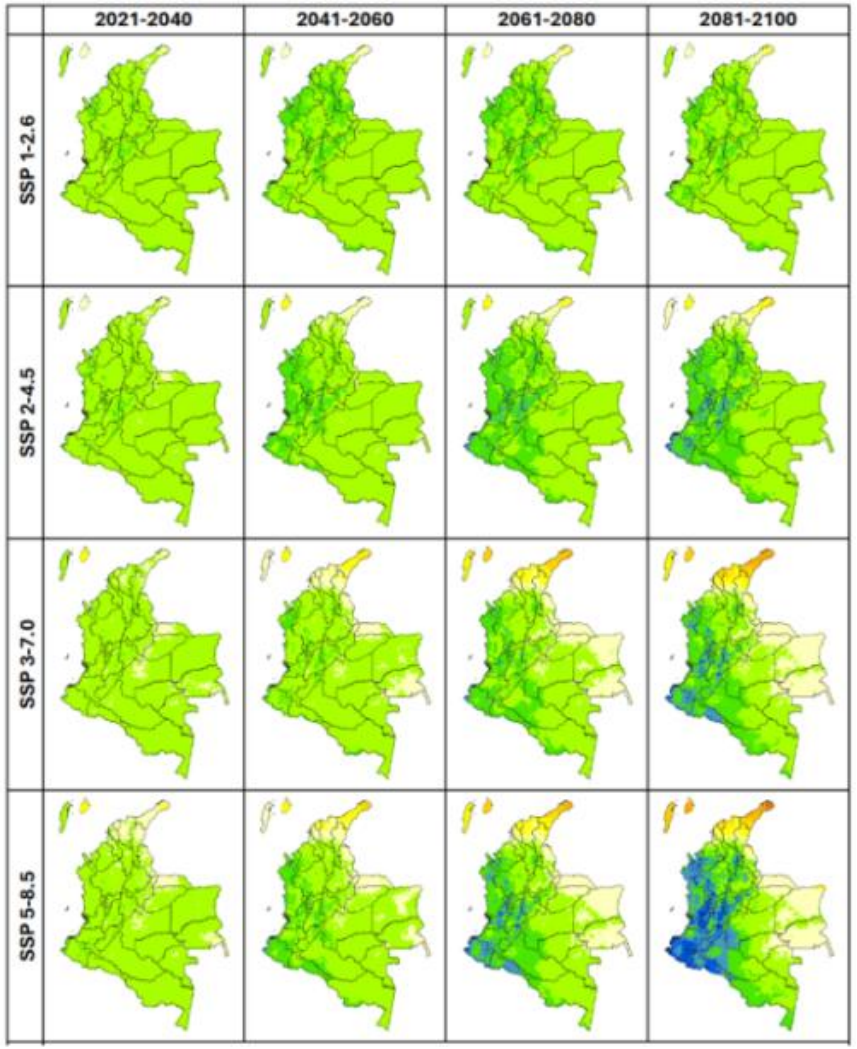


Cambios espaciales temperatura media y precipitación en Colombia bajo los escenarios de cambio climático CMIP6



- Aumento entre 0 y 0,5ºC
- Aumento entre 0,5 y 1ºC
- Aumento entre 1 y 1,5ºC
- Aumento entre 1,5 y 2ºC
- Aumento entre 2 y 2,5ºC
- Aumento entre 2,5 y 3ºC
- Aumento entre 3 y 4ºC
- Aumento entre 4 y 5ºC
- Aumento de más de 5ºC

- Reducción de más del 50%
- Reducción entre 40% y 50%
- Reducción entre 30% y 40%
- Reducción entre 20% y 30%
- Reducción entre 10% y 20%
- Reducción entre 0% y 10%
- Aumento entre 0% y 10%
- Aumento entre 10% y 20%
- Aumento entre 20% y 30%
- Aumento entre 30% y 40%
- Aumento entre 40% y 50%
- Aumento de más del 50%



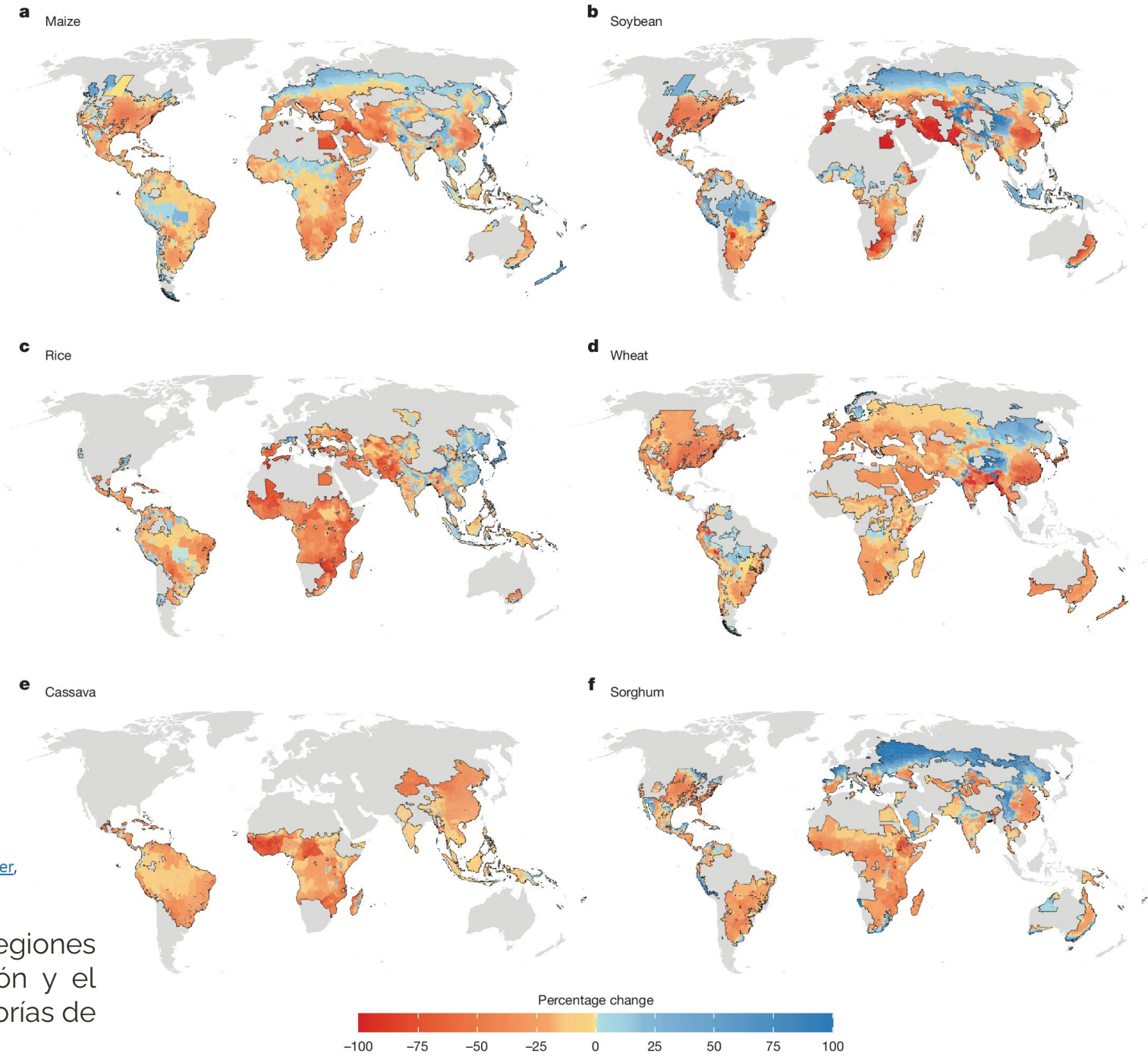
Impactos principales

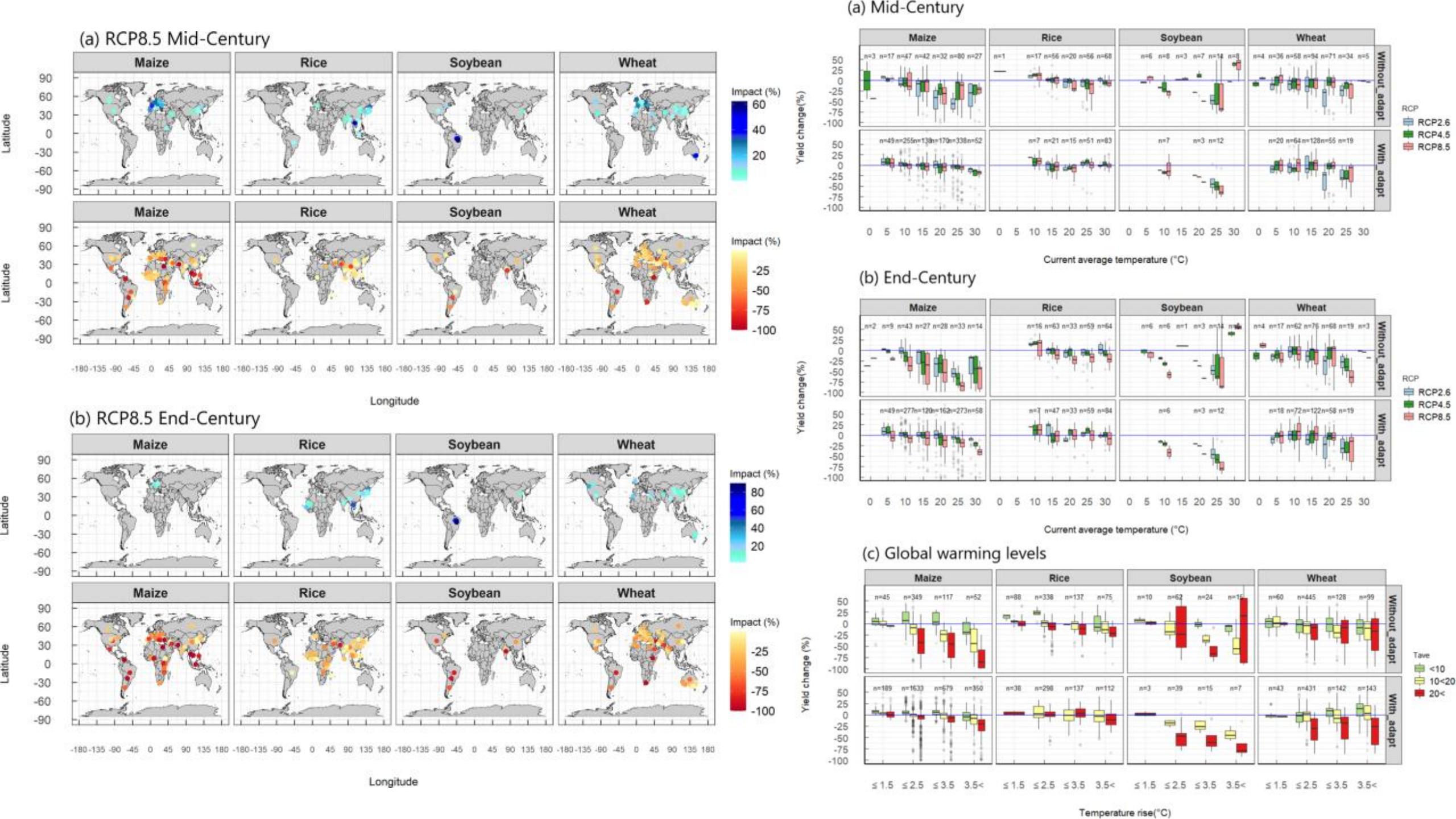
- **Alteraciones en los patrones de lluvia**: Las sequías prolongadas y las lluvias irregulares dificultan la planificación de siembras y reducen la disponibilidad de agua para riego. Algunas regiones experimentan inundaciones más frecuentes que dañan cultivos.
- **Aumento de temperaturas**: El calor extremo reduce los rendimientos de cultivos básicos como trigo, maíz y arroz. Las olas de calor durante las etapas críticas de floración pueden causar pérdidas totales de cosecha.
- **Cambios en las zonas de cultivo**: Las áreas tradicionalmente aptas para ciertos cultivos se están desplazando hacia latitudes más altas o mayores altitudes. Esto obliga a los agricultores a adaptar sus prácticas o cambiar de cultivos.
- **Plagas y enfermedades**: El clima más cálido permite que insectos y patógenos sobrevivan en nuevas regiones y se reproduzcan más rápidamente, aumentando las pérdidas por plagas.
- **Degradación del suelo**: La erosión se intensifica con lluvias más torrenciales, mientras que las sequías prolongadas reducen la materia orgánica y fertilidad del suelo.
- **Impacto en la ganadería**: El estrés térmico en animales reduce su productividad, y los cambios en pastizales afectan la alimentación del ganado.

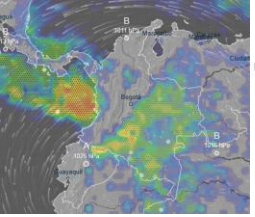
Impacts of climate change on global agriculture accounting for adaptation

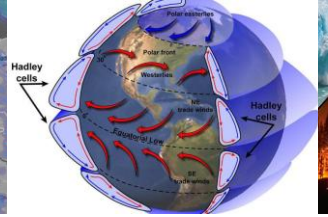
Andrew Hultgren, Tamma Carleton, Michael Delgado, Diana R. Gergel, Michael Greenstone, Trevor Houser, Solomon Hsiang, Amir Jina, Robert E. Kopp, Steven B. Malevich, Kelly E. McCusker, Terin Mayer, Ishan Nath, James Rising, Ashwin Rode & Jiacan Yuan

El estudio se basa en observaciones de más de 12.000 regiones en 55 países. El equipo analizó los costos de adaptación y el rendimiento de cultivos que aportan dos tercios de las calorías de la humanidad: trigo, maíz, arroz, soja, cebada y yuca.

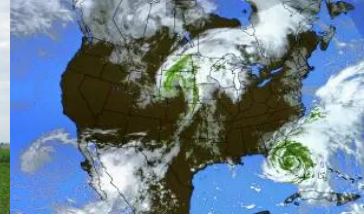


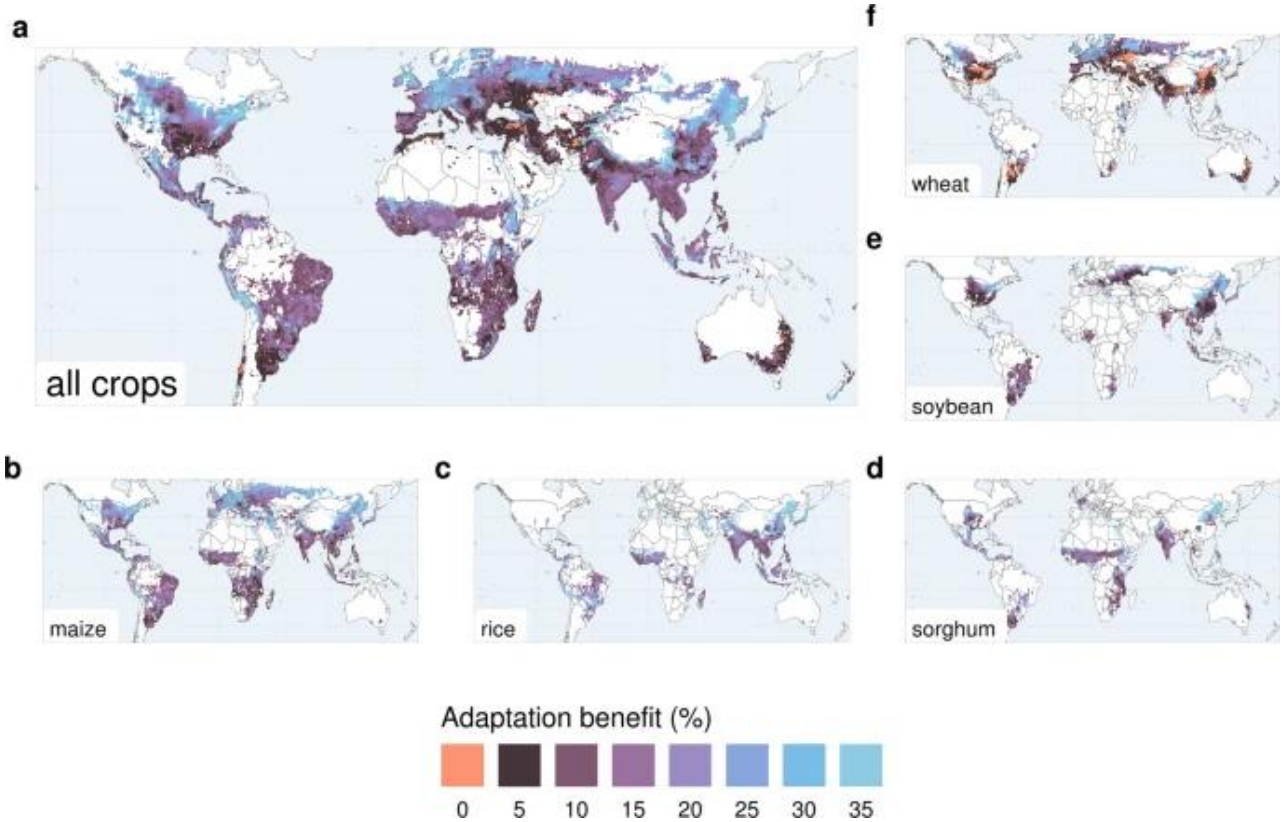

(a) RCP8.5 Mid-Century
Maize
Rice
Soybean
Wheat
Impact (%)
Latitude
Longitude
(b) RCP8.5 End-Century
(a) Mid-Century
Without_adapt
With_adapt
Yield change(%)
Current average temperature (°C)
RCP
RCP2.6
RCP4.5
RCP8.5
(b) End-Century
(c) Global warming levels
Yield change (%)
Temperature rise(°C)
Tave
<10
10<20
20<

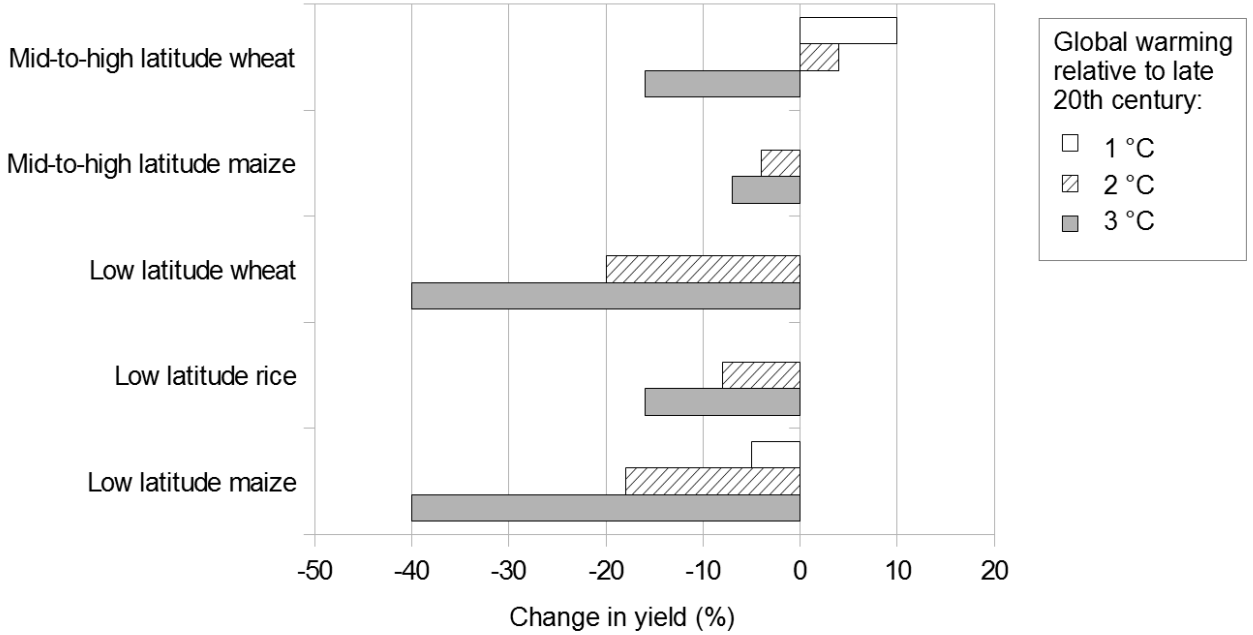


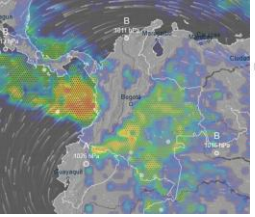

Hadley cells
Polar front
Westerlies
Hadley cells
Equatorial Low

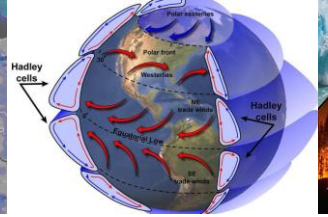
Aqua
SORCE
TRMM
GRACE
Terra
ICESat
CALIPSO
CloudSat
Aura



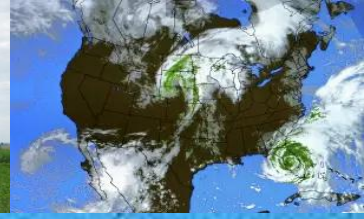

a
all crops
b
maize
c
rice
d
sorghum
e
soybean
f
wheat
Adaptation benefit (%)
0
5
10
15
20
25
30
35

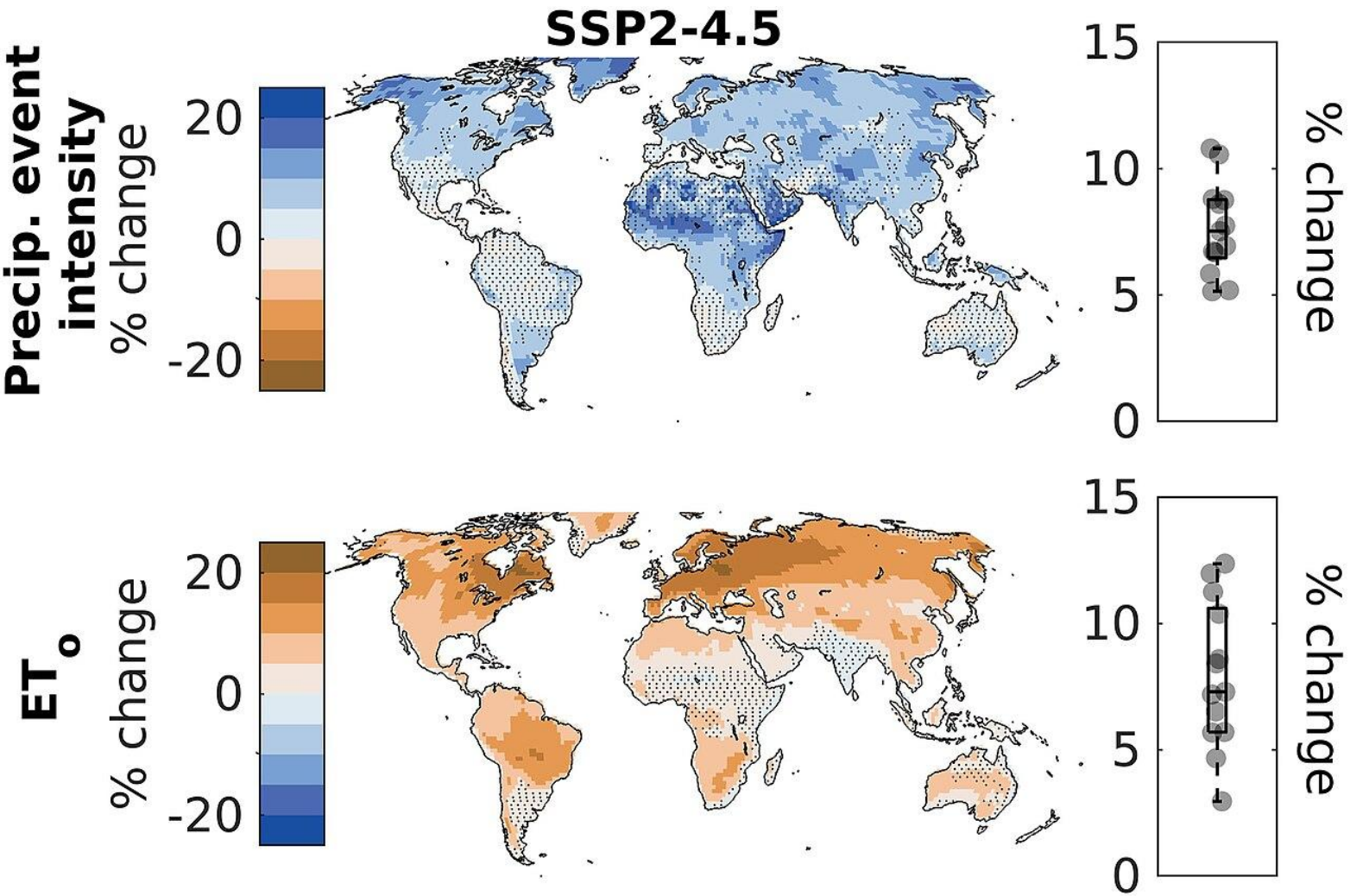

Mid-to-high latitude wheat
Mid-to-high latitude maize
Low latitude wheat
Low latitude rice
Low latitude maize
-50
-40
-30
-20
-10
0
10
20
Change in yield (%)
Global warming relative to late 20th century:
1 °C
2 °C
3 °C

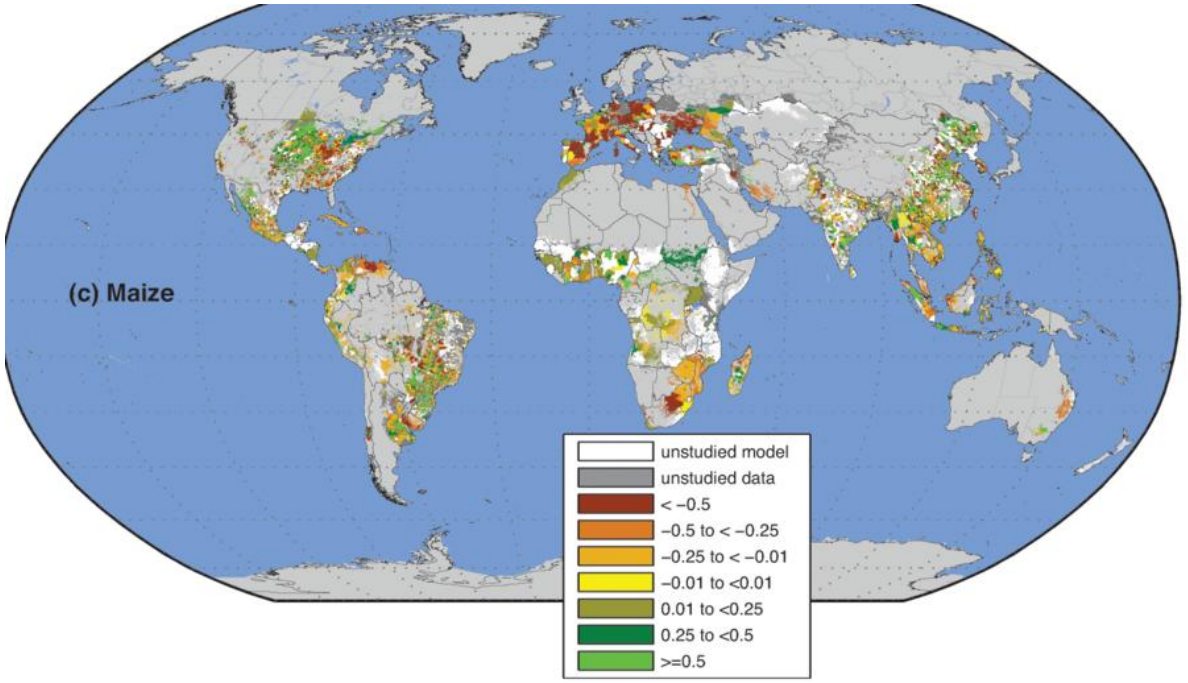


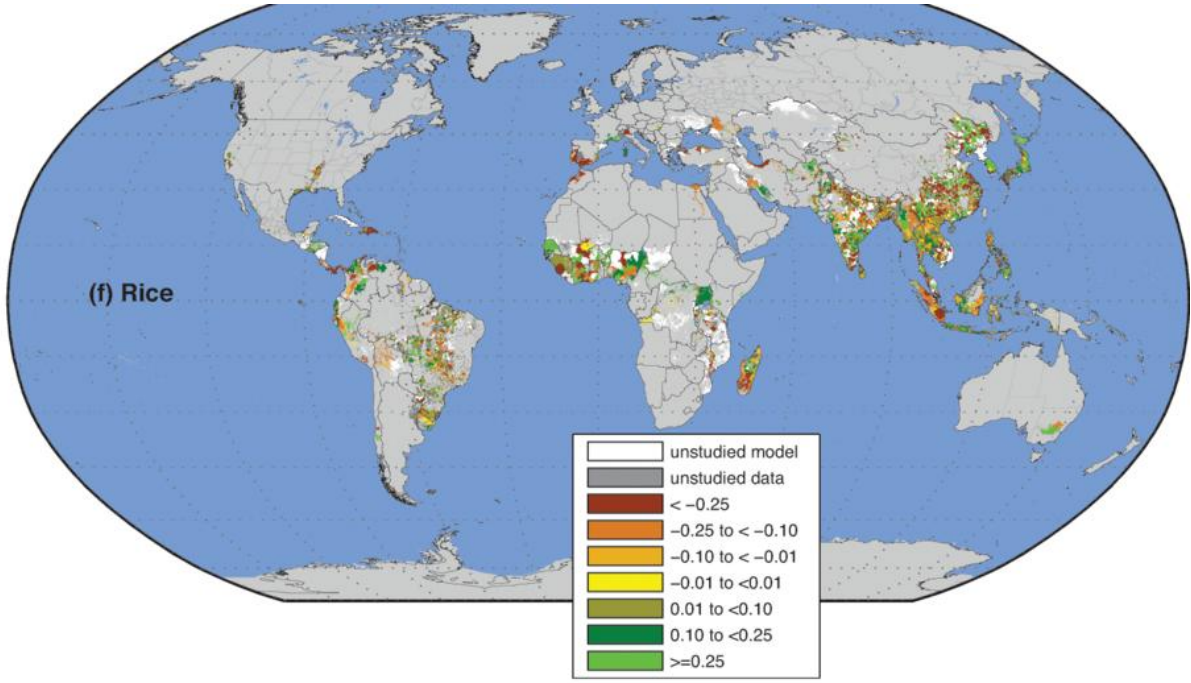

Hadley cells
Polar front
Westerlies
Hadley cells
Equatorial Low

Aqua
SORCE
TRMM
GRACE
Terra
ICESat
CALIPSO
CloudSat
Aura

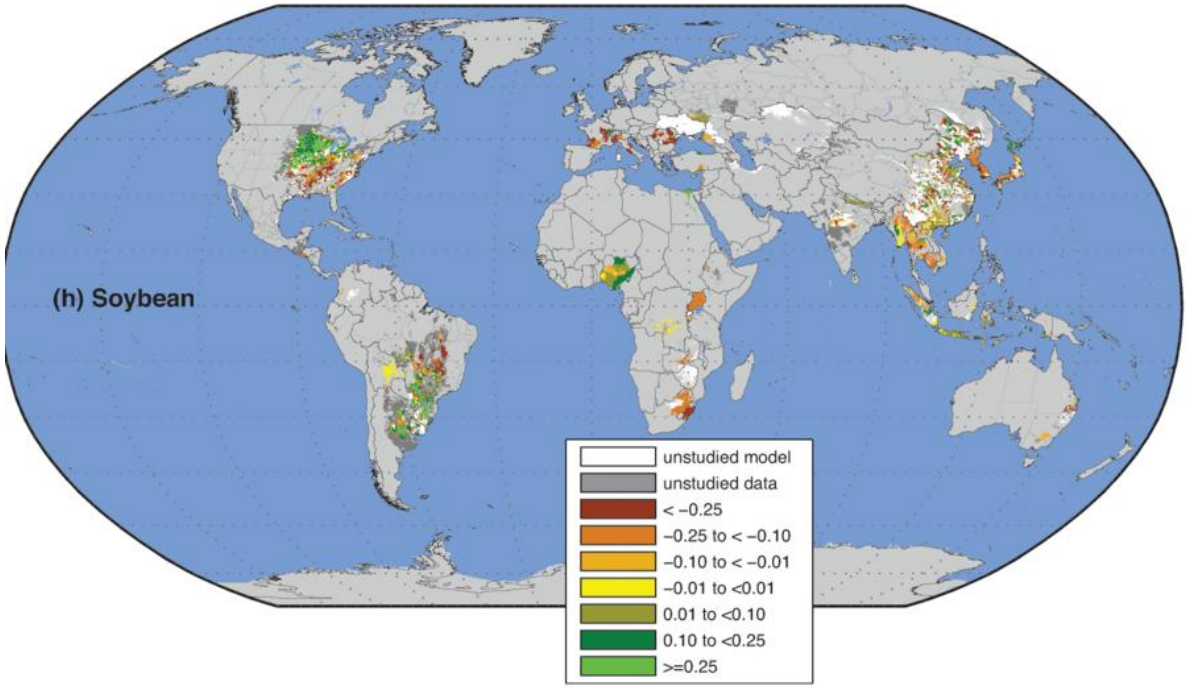


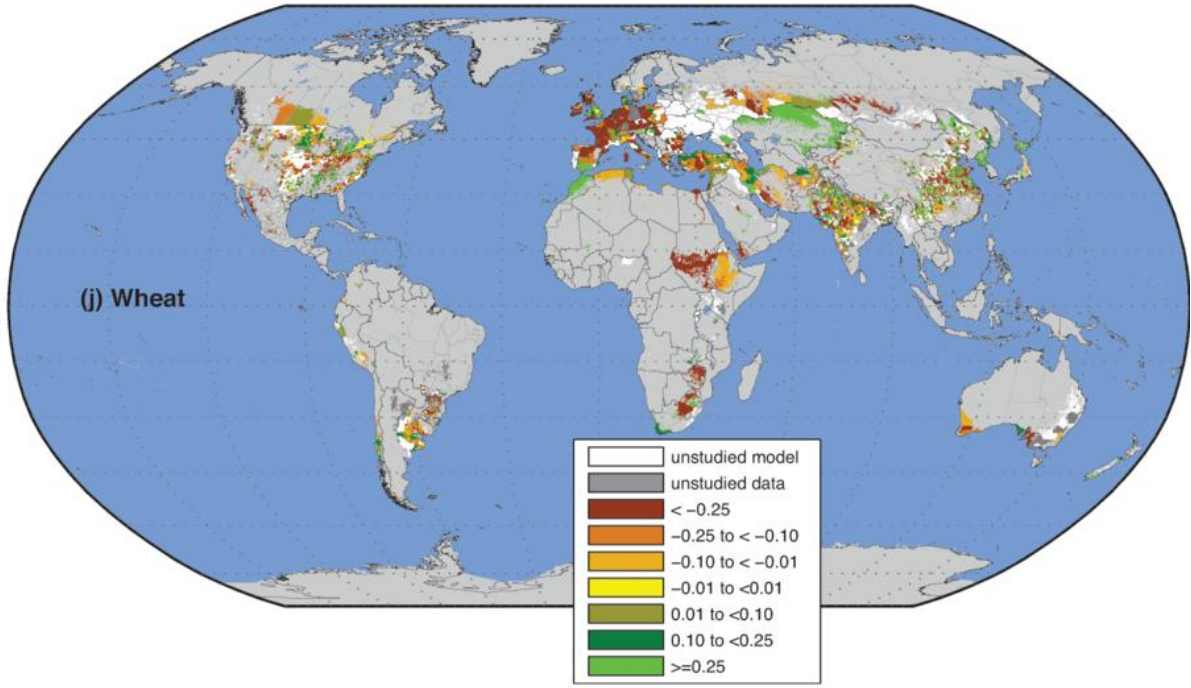

SSP2-4.5
Precip. event intensity
% change
20
0
-20
15
10
5
0
% change
ET$_o$
% change
20
0
-20
15
10
5
0
% change



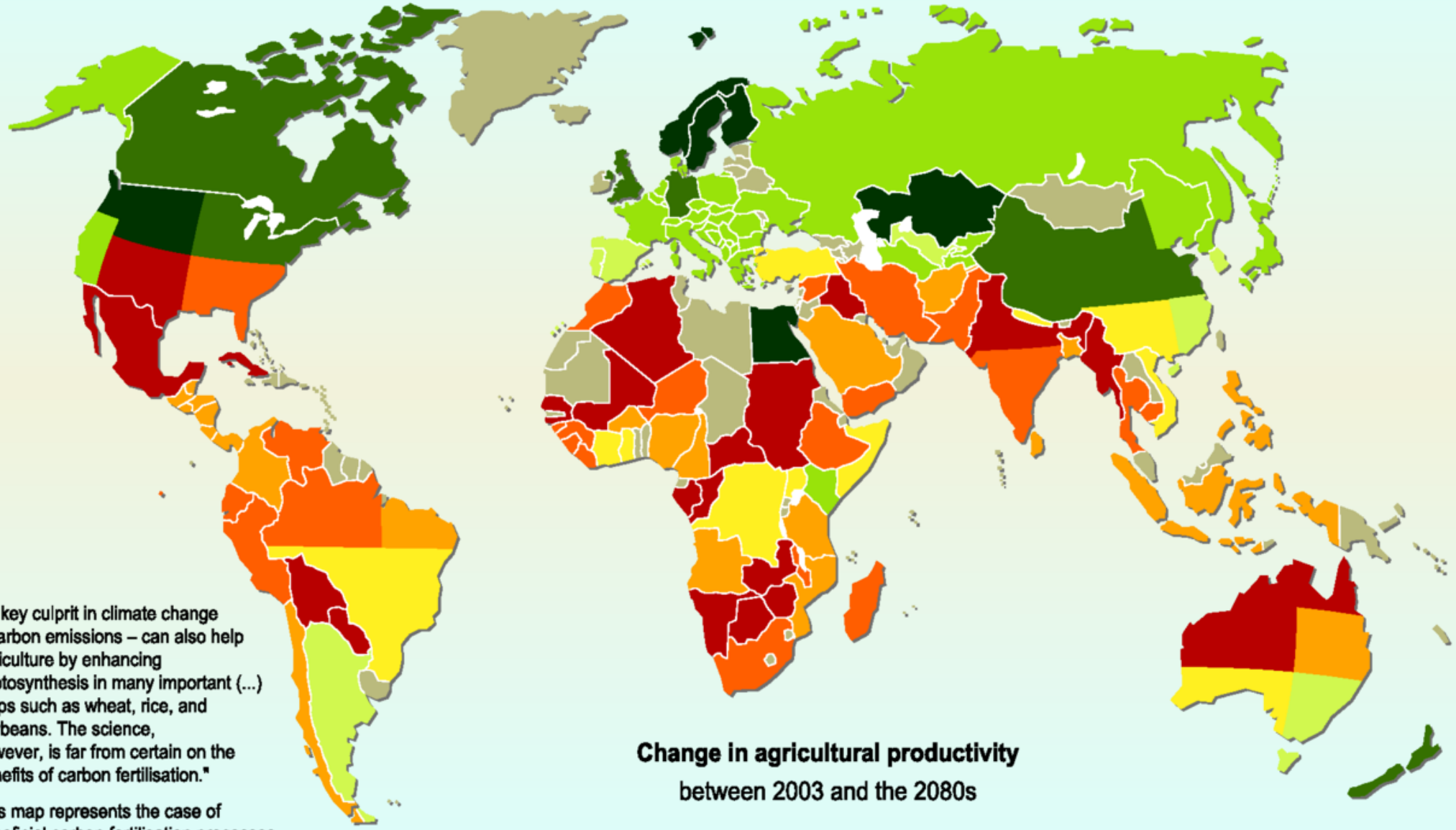


The already observed effects of climate change on the production of four major crops





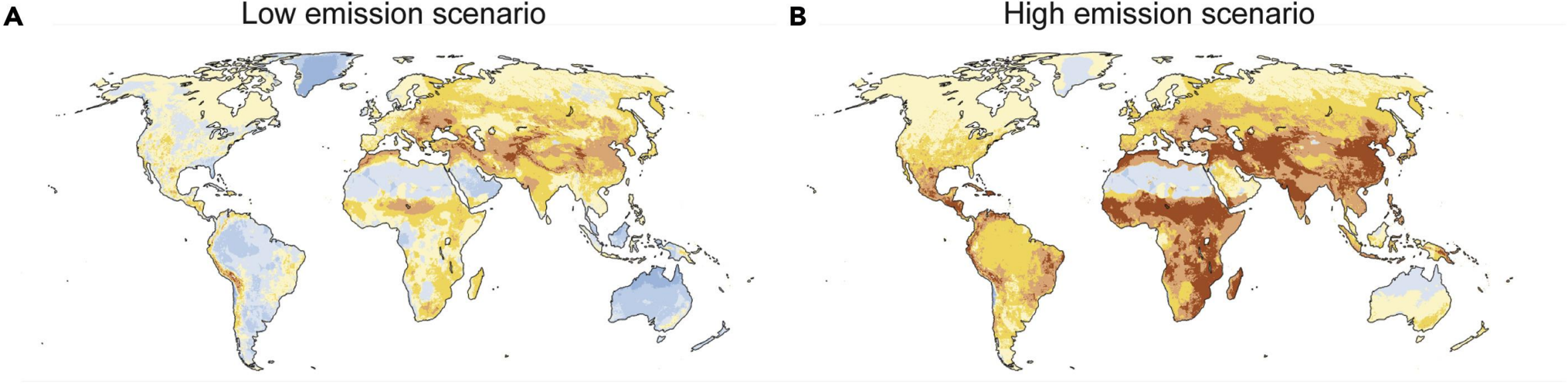
Projected impact of climate change on agricultural yields



" A key culprit in climate change – carbon emissions – can also help agriculture by enhancing photosynthesis in many important (...) crops such as wheat, rice, and soybeans. The science, however, is far from certain on the benefits of carbon fertilisation."

This map represents the case of beneficial carbon fertilisation processes.

Source: Cline W., 2007, *Global Warming and Agriculture*.



Food crop production (%)

Resilience	low	moderate	high	very high	low	moderate	high	very high
	0	0.3	5.5	1.4	0	0	0	7.3
	1.2	1.6	13	2.1	0	0	1	17
	4.9	3.9	8.1	3.7	0	0	4.4	16
	17	17	19	0.6	0.5	0	21	32

Livestock production (%)

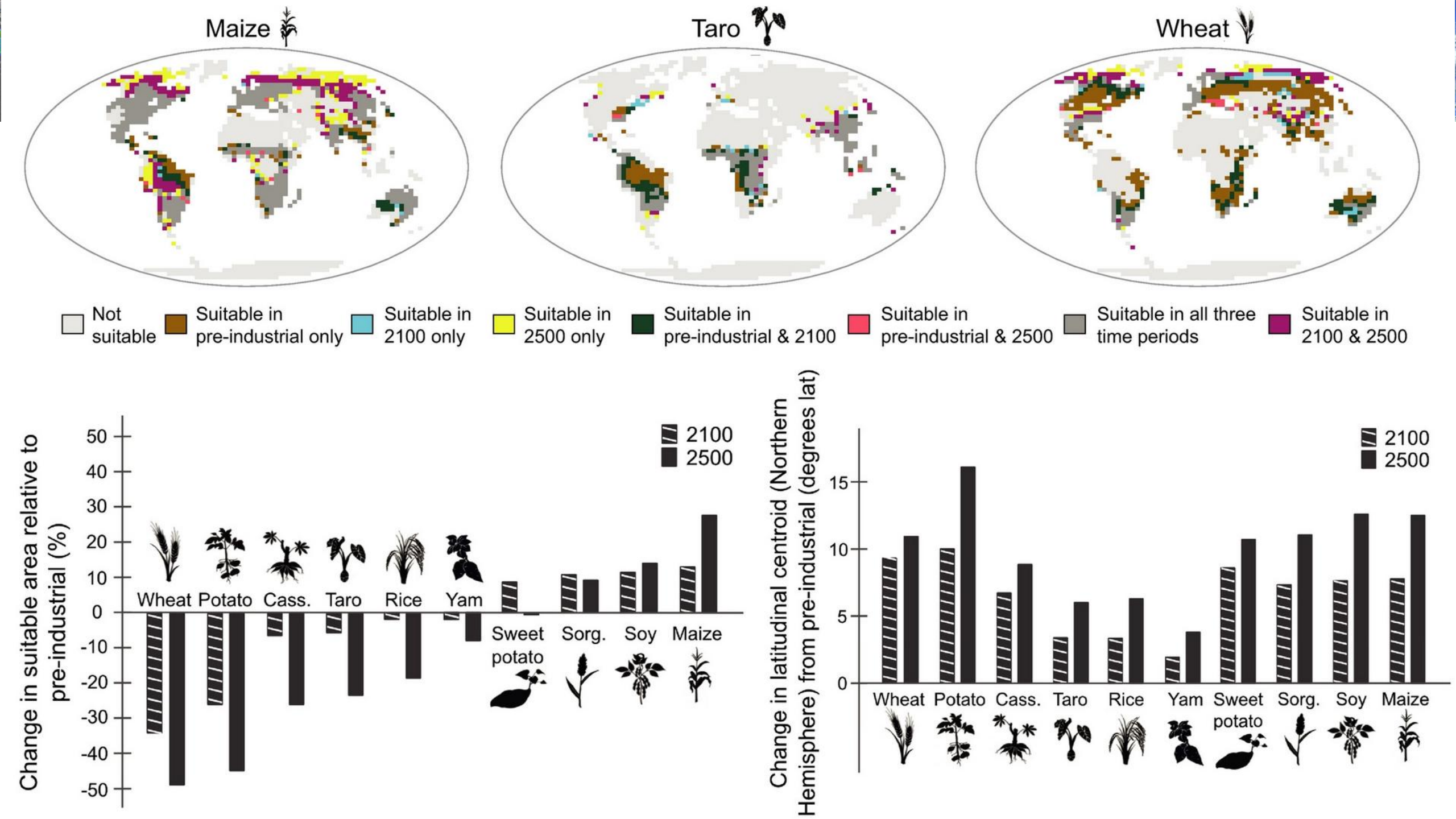
Resilience	low	moderate	high	very high	low	moderate	high	very high
very high	0.2	0.9	3.3	1.1	0	0	0.3	5.2
high	2.5	5.3	7.8	2	0	0	1.9	16
moderate	5.9	8.3	6.4	2.5	0.2	0	4.4	18
low	14	23	15	1.3	0.3	0	19	34

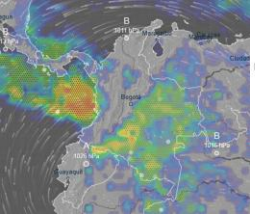
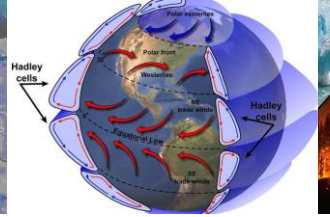
Holdridge change

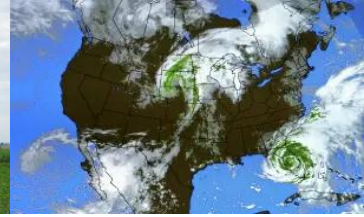
High risk zone

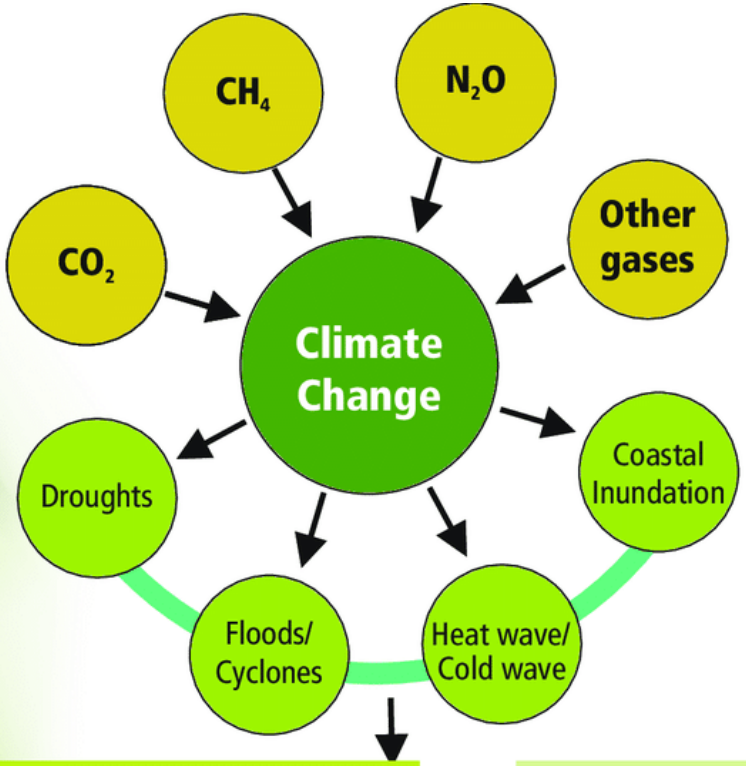
Critical risk zone

La resiliencia al cambio climático es la capacidad de los sistemas naturales, sociales y económicos para absorber, adaptarse y recuperarse de los impactos del cambio climático, manteniendo sus funciones esenciales.


Maize
Taro
Wheat
Not suitable
Suitable in pre-industrial only
Suitable in 2100 only
Suitable in 2500 only
Suitable in pre-industrial & 2100
Suitable in pre-industrial & 2500
Suitable in all three time periods
Suitable in 2100 & 2500
Change in suitable area relative to pre-industrial (%)
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
2100
2500
Wheat
Potato
Cass.
Taro
Rice
Yam
Sweet potato
Sorg.
Soy
Maize
Change in latitudinal centroid (Northern Hemisphere) from pre-industrial (degrees lat)
15
10
5
0
2100
2500
Wheat
Potato
Cass.
Taro
Rice
Yam
Sweet potato
Sorg.
Soy
Maize



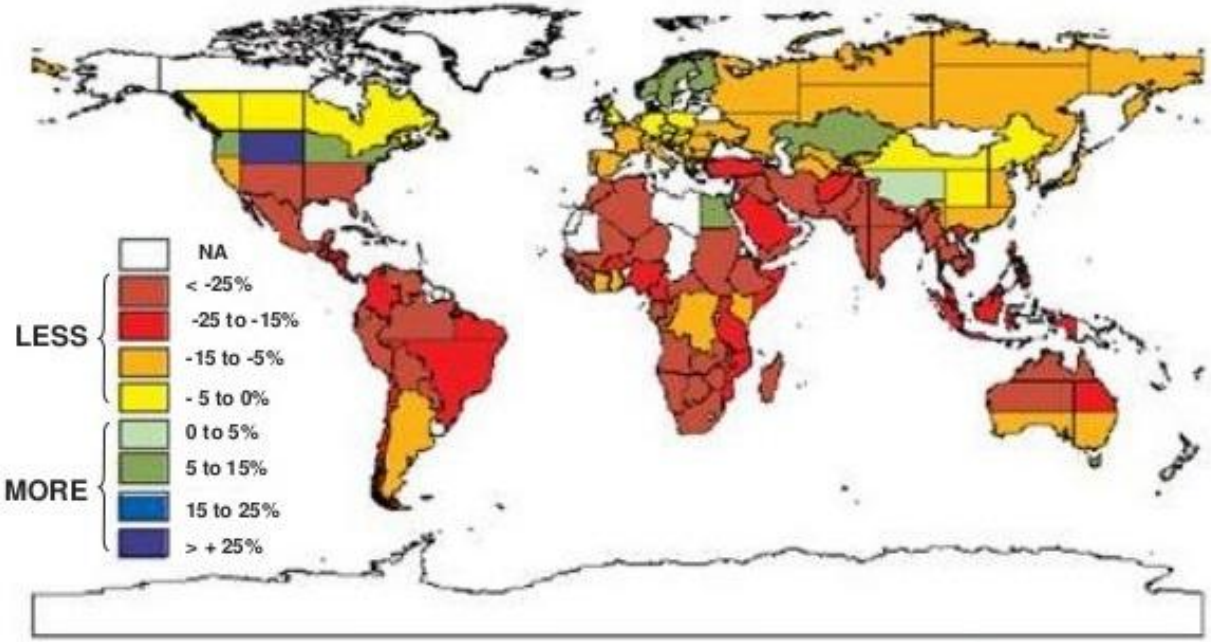


- Loss of Crops Yield and Horticulture
- Reduced Livestock Productivity
- Reduced Fish Production

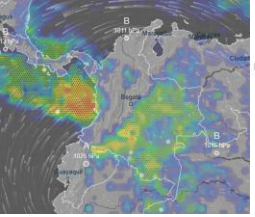
→

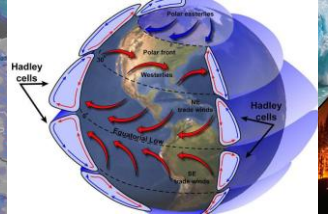
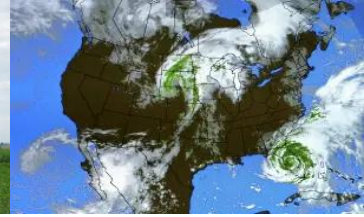
- Negative Impacts on Food Security
- Nutritional Security and Rural Livelihoods

Modelled % change in agricultural production due to climate change, 2080



Source: Cline WR, 2007: Global warming and agriculture: Impact estimates by country. Washington, D.C.: Center for Global Development, Peterson Institute for International Economics (cited in von Braun J (IFPRI), 2007




Hadley cells
Polar easterlies
Polar front
Westerlies
Hadley cells
Equatorial Low

Aqua
SORCE
TRMM
GRACE
Terra
ICESat
CALIPSO
CloudSat
Aura