INTRODUCCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO



Benjamin I Cook

PAUTAS PARA HOY

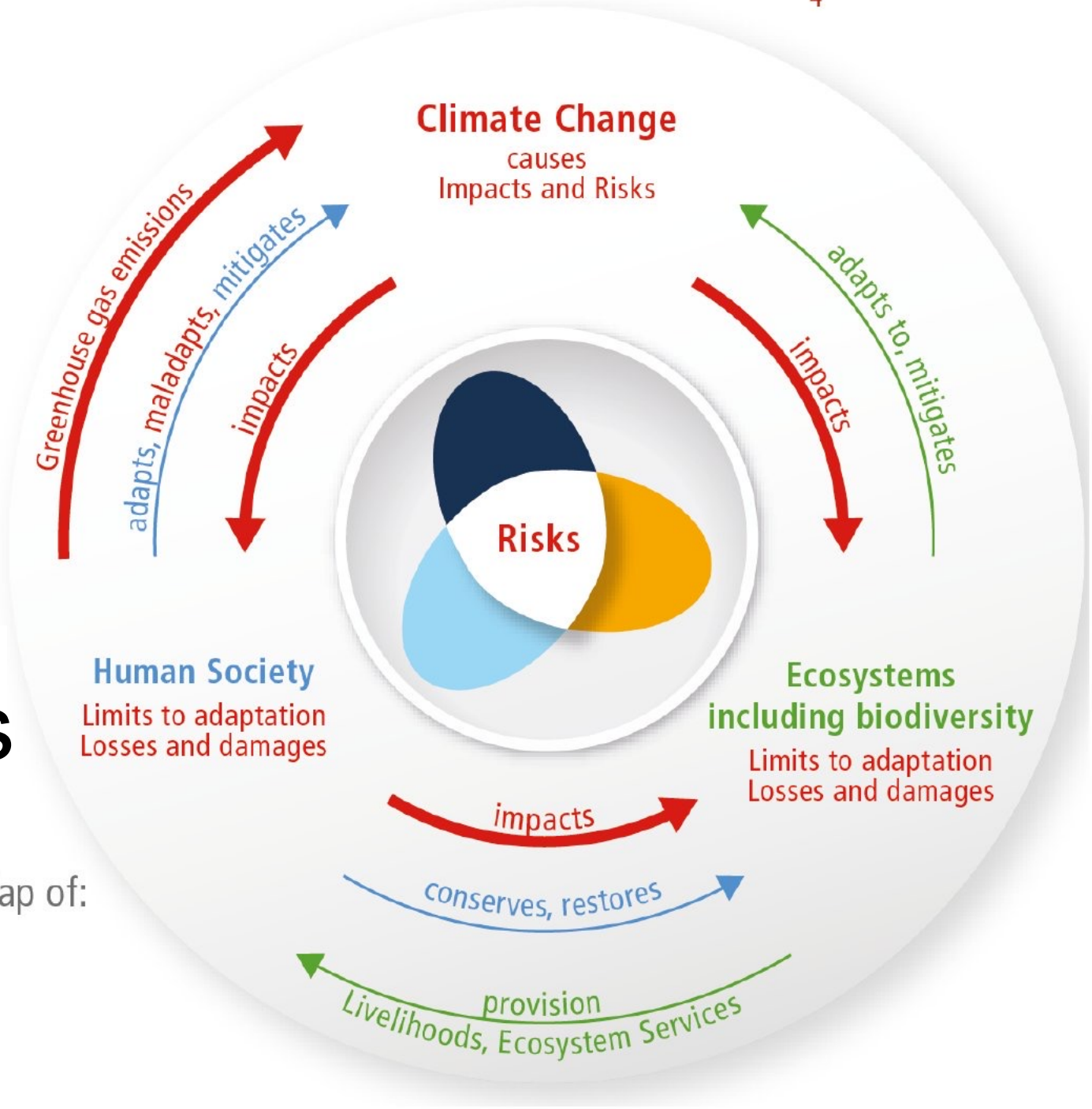
OBJETIVO: ofrecer una comprensión física básica del cambio climático y de sus incertidumbres, y mostrar cómo la ciencia puede orientar la adaptación y la mitigación

HAGA PREGUNTAS a medida que surjan
en el chat de Zoom

PREGUNTA DE CALENTAMIENTO

¿QUÉ PORCENTAJE DEL CALENTAMIENTO GLOBAL PUEDE ATRIBUIRSE A LAS ACTIVIDADES HUMANAS?

El cambio climático es un factor clave de los riesgos futuros



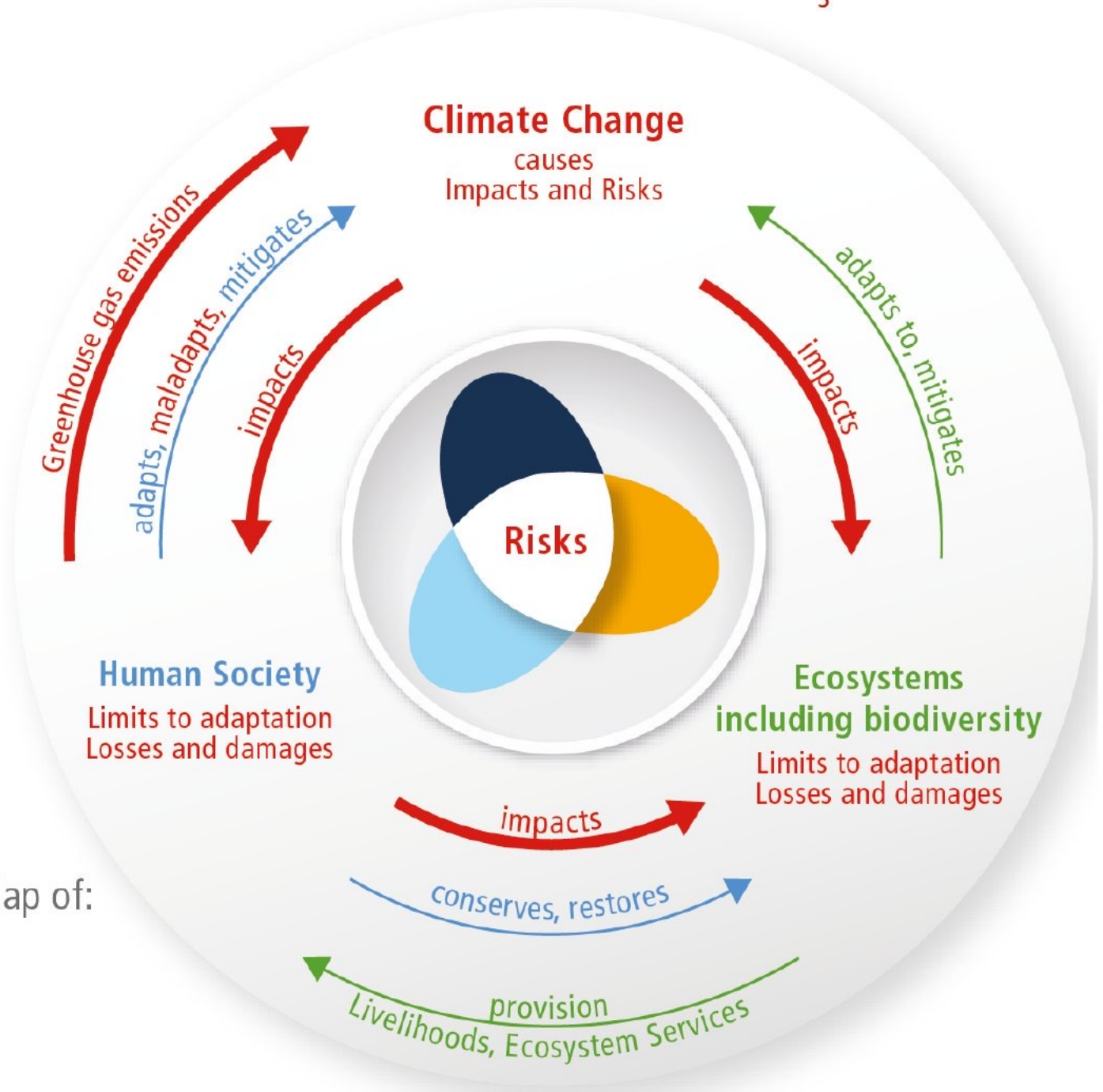
The risk propeller shows that risk emerges from the overlap of:

Climate hazard(s) | Vulnerability | Exposure

...of human systems, ecosystems and their biodiversity

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/

Los impactos dependen TAMBIÉN de: dónde vive (exposición) y de su grado de adaptación (vulnerabilidad)



The risk propeller shows that risk emerges from the overlap of:

Climate hazard(s) | Vulnerability | Exposure

...of human systems, ecosystems and their biodiversity

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/

Gestionar los riesgos climáticos implica

Entender lo que está pasando

(ciencia del clima)

Gestionar los riesgos climáticos implica

Entender lo que está pasando

(ciencia del clima)

Evitar todo el calentamiento posible

(mitigación)

Gestionar los riesgos climáticos implica

Entender lo que está pasando

(ciencia del clima)

Evitar todo el calentamiento posible

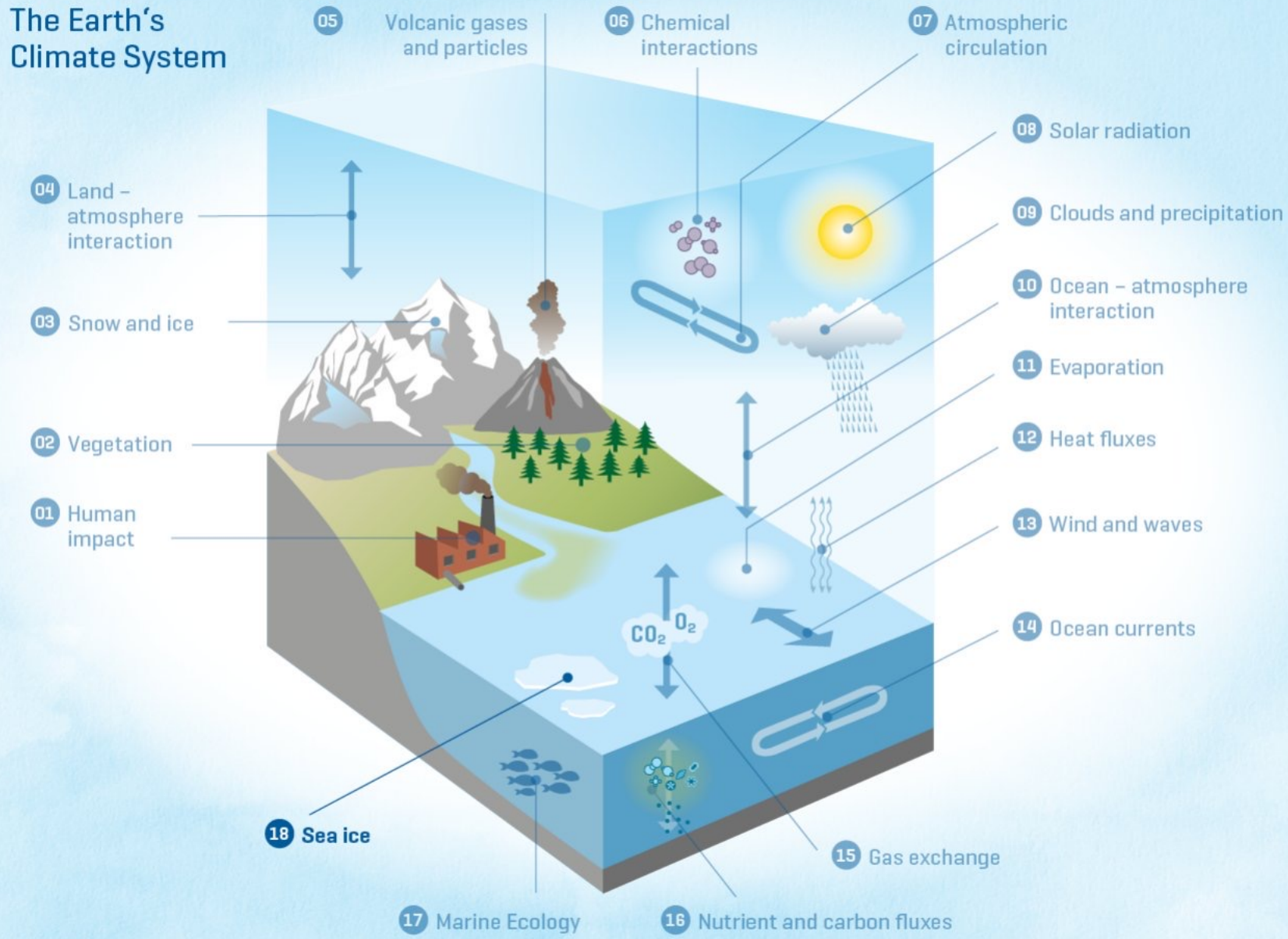
(mitigación)

Afrontar los cambios que sí ocurren

(adaptación)

CIENCIA DEL CLIMA

El sistema climático terrestre



https://www.geomar.de/en/discover/ocean-and-climate/model-simulations/the-earths-climate-system

¿Qué es el clima?

WEATHER

WHAT YOU GET

CONDITIONS OF THE ATMOSPHERE OVER A SHORT PERIOD OF TIME

CAN CHANGE WITHIN MINUTES OR HOURS



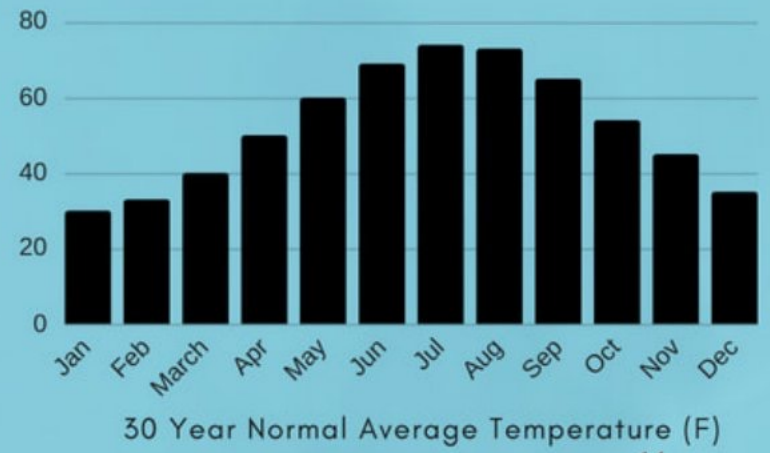
VS

CLIMATE

WHAT YOU EXPECT

HOW THE ATMOSPHERE BEHAVES OVER A LONG PERIOD OF TIME AND SPACE

AVERAGE REGIONAL WEATHER PATTERN OVER DECADES



https://www.alabamawx.com/wp-content/uploads/2019/06/weather-vs-climate_orig.jpg


CLIMA
es lo que esperas
EL TIEMPO
es lo que te toca

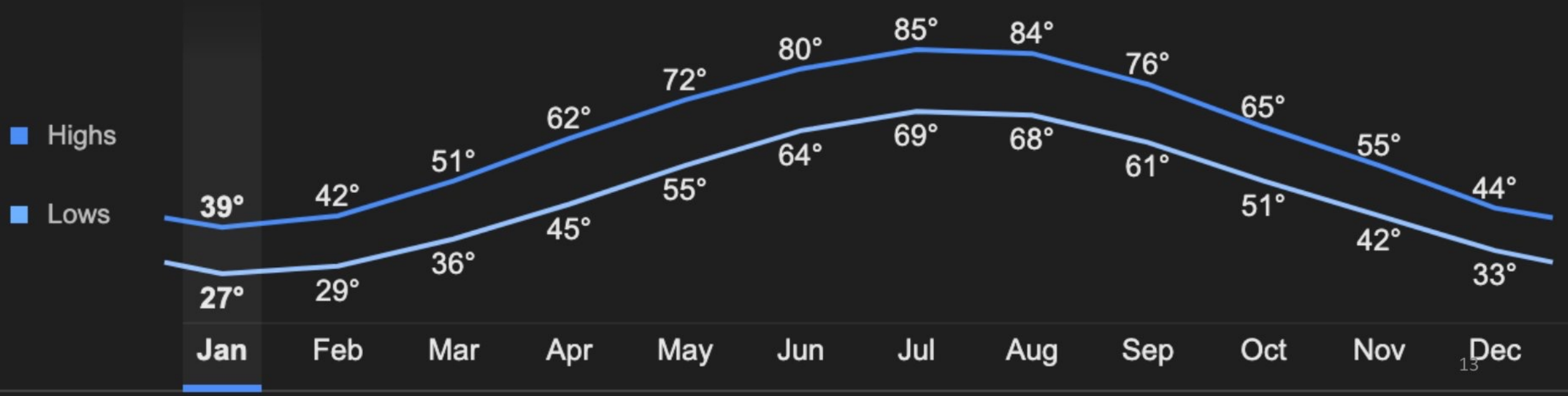
21 °F | °C
Precipitation: 0%
Humidity: 50%
Wind: 14 mph

Weather

Tuesday 2:00 PM
Sunny

Temperature | Precipitation | Wind

Temperatures (°F)



CUANDO HABLAMOS DE CAMBIO CLIMÁTICO, NO INTENTAMOS PREDECIR EL TIEMPO

¿Lloverá el 14 de abril de 2091?

¿Qué calor hará el 21 de julio de 2085?

CUANDO HABLAMOS DE CAMBIO CLIMÁTICO, NO INTENTAMOS PREDECIR EL TIEMPO

¿Lloverá el 14 de abril de 2091?

-> ¿Cuál será la lluvia media de abril en la década de 2090?

¿Qué calor hará el 21 de julio de 2085?

CUANDO HABLAMOS DE CAMBIO CLIMÁTICO, NO INTENTAMOS PREDECIR EL TIEMPO

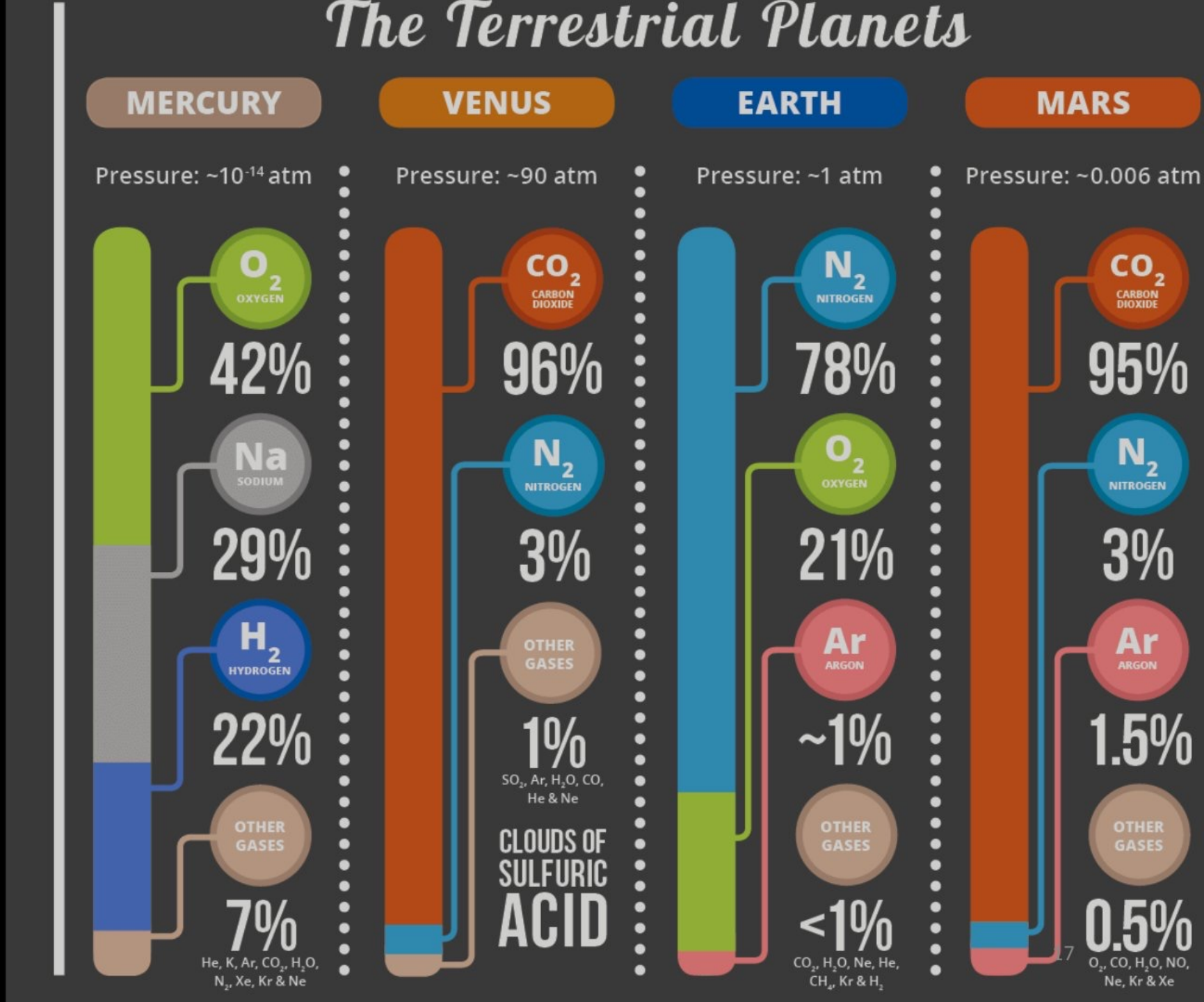
¿Lloverá el 14 de abril de 2091?

-> ¿Cuál será la lluvia media de abril en la década de 2090?

¿Qué calor hará el 21 de julio de 2085?

-> ¿Cuánto habrán aumentado el gravedad de las olas de calor a finales del siglo XXI?

La atmósfera terrestre



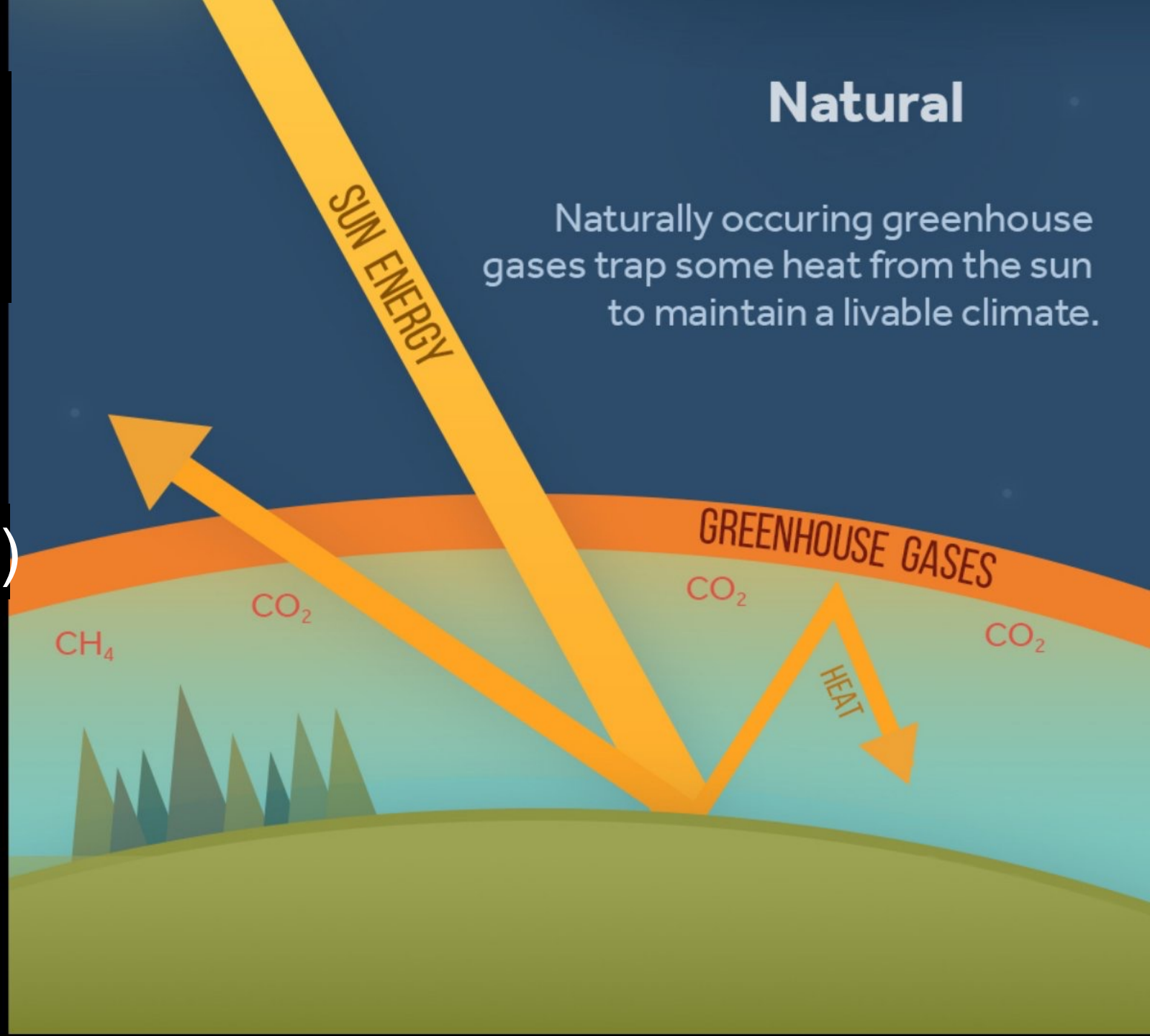
El efecto invernadero

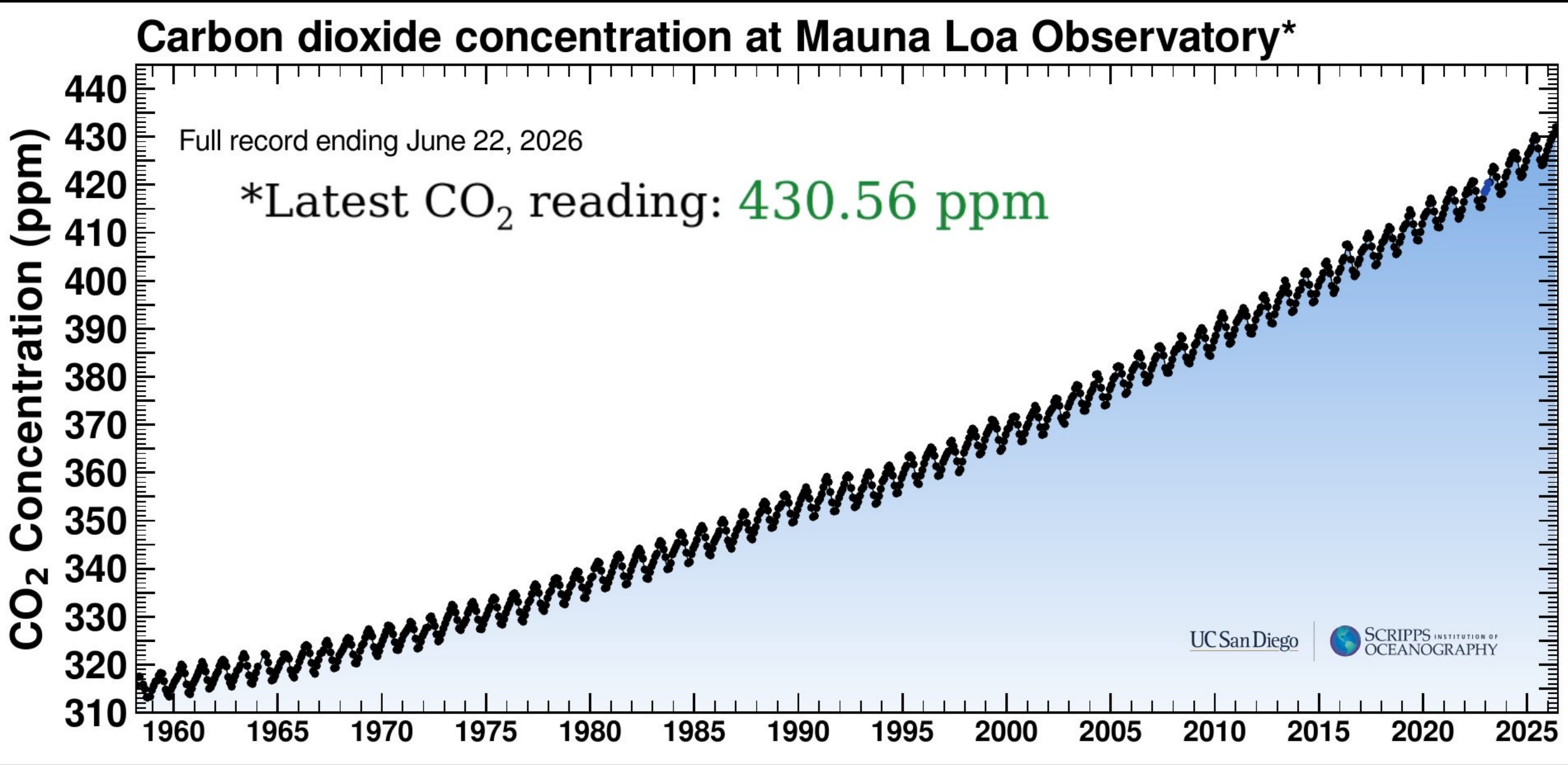
vapor de agua

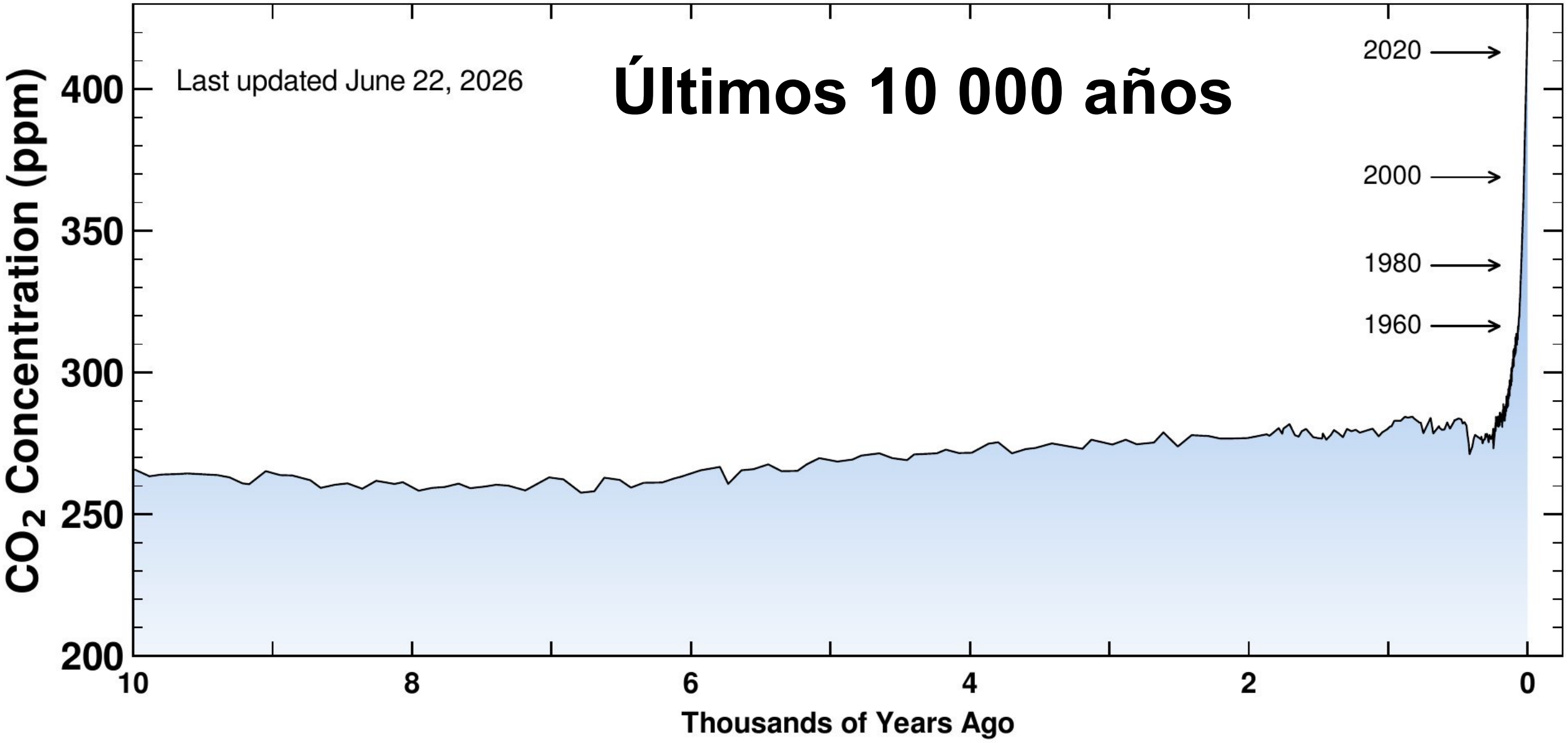
dióxido de carbono (CO_2)

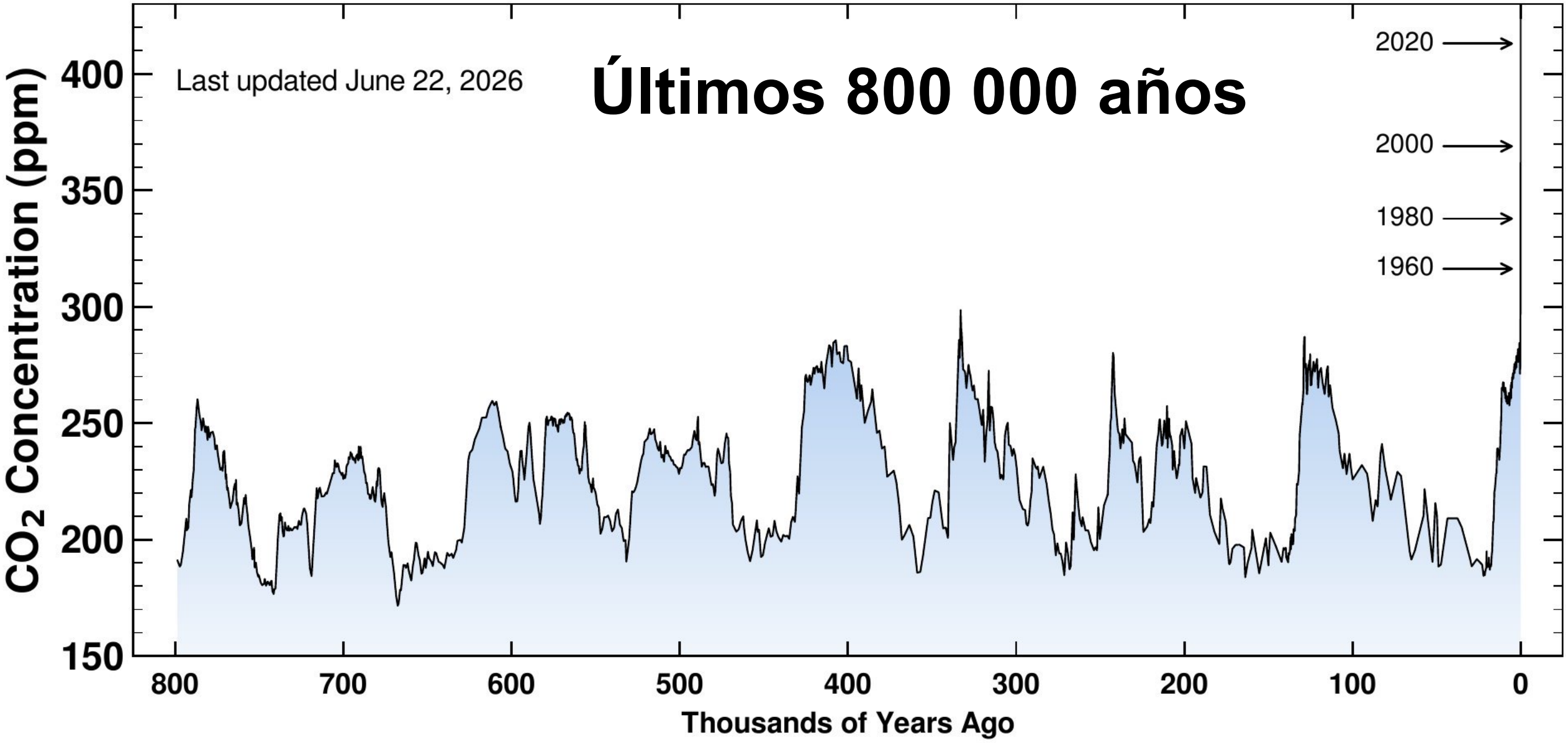
metano (CH_4)

óxido nitroso (N_2O)

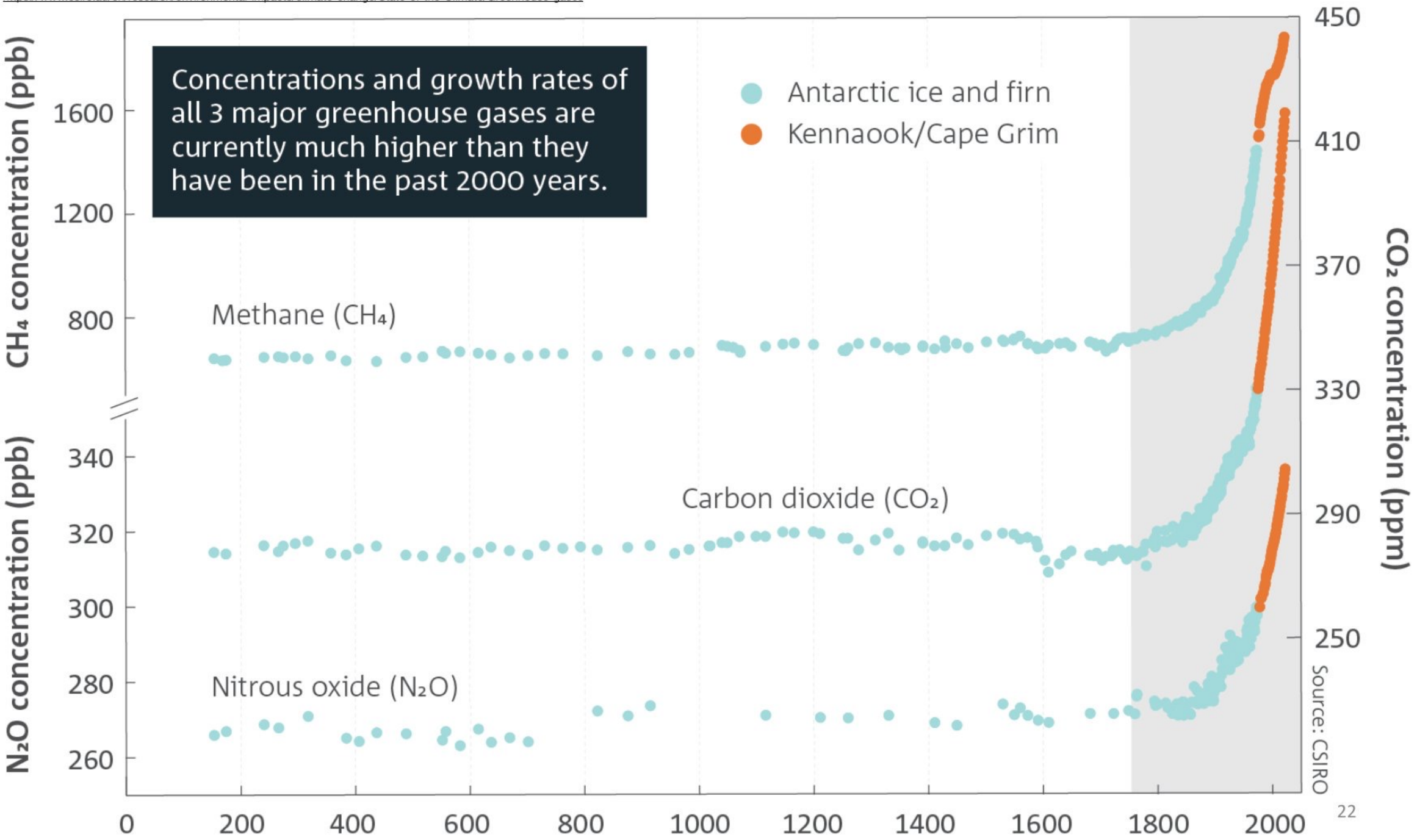



Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory*
Full record ending June 22, 2026
*Latest CO_2 reading: 430.56 ppm
CO_2 Concentration (ppm)
440
430
420
410
400
390
380
370
360
350
340
330
320
310
1960
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005
2010
2015
2020
2025
UC San Diego
SCRIPPS INSTITUTION OF OCEANOGRAPHY

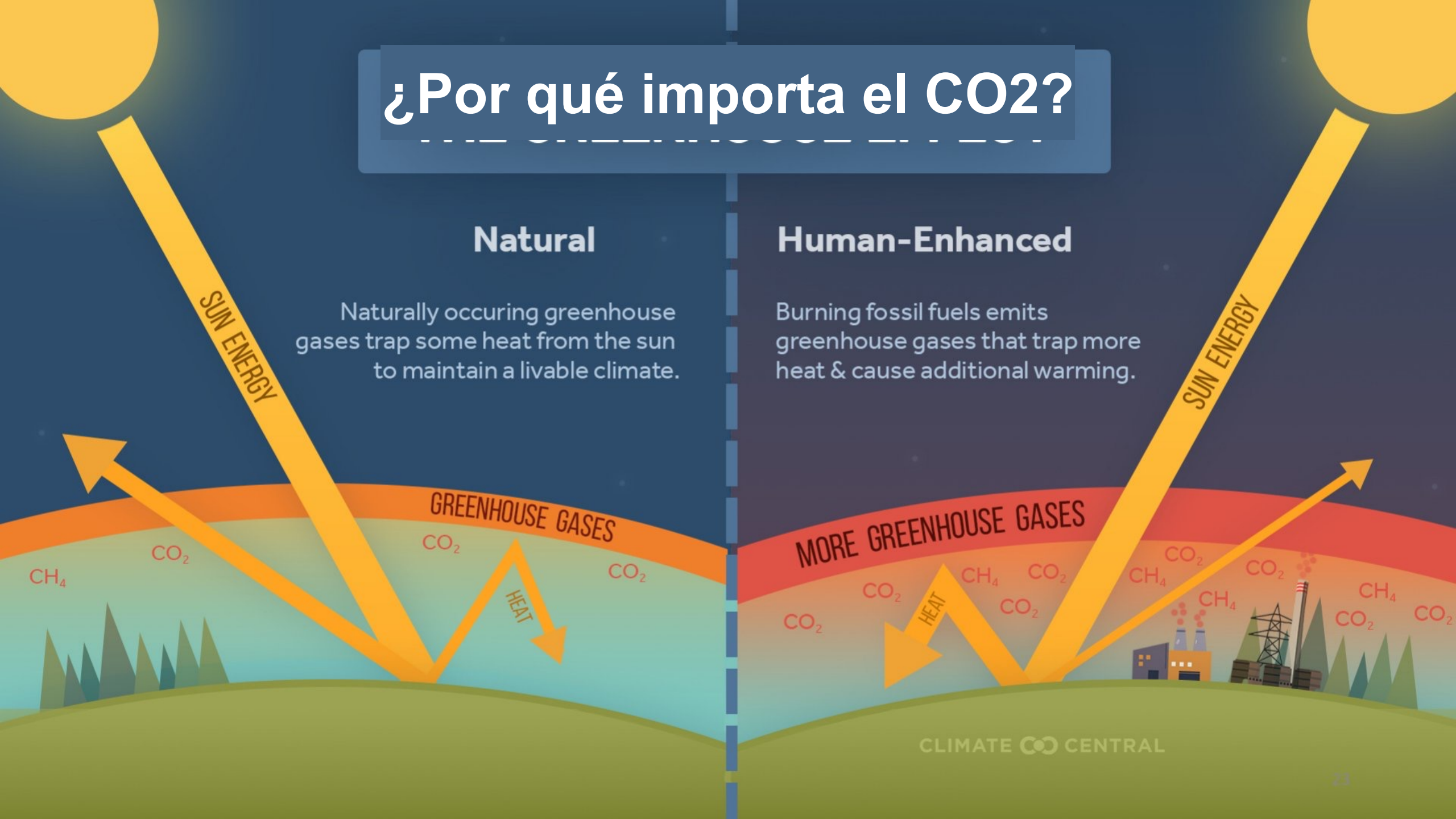

Last updated June 22, 2026
Últimos 10 000 años
2020
2000
1980
1960
CO2 Concentration (ppm)
400
350
300
250
200
10
8
6
4
2
0
Thousands of Years Ago


Last updated June 22, 2026
Últimos 800 000 años
2020
2000
1980
1960
CO2 Concentration (ppm)
400
350
300
250
200
150
800
700
600
500
400
300
200
100
0
Thousands of Years Ago

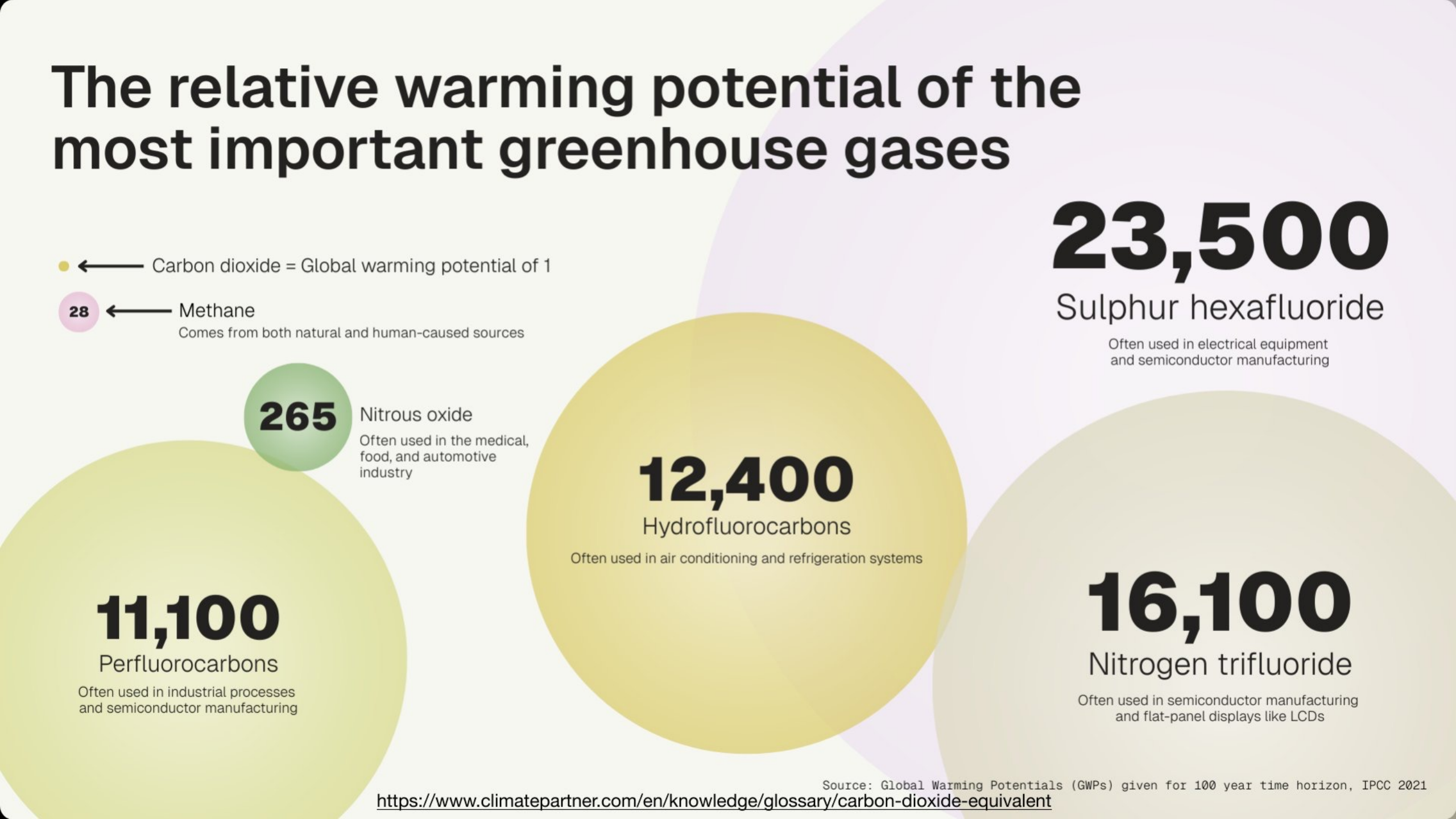
https://www.csiro.au/en/research/environmental-impacts/climate-change/State-of-the-Climate/Greenhouse-gases



¿Por qué importa el CO2?



The relative warming potential of the most important greenhouse gases

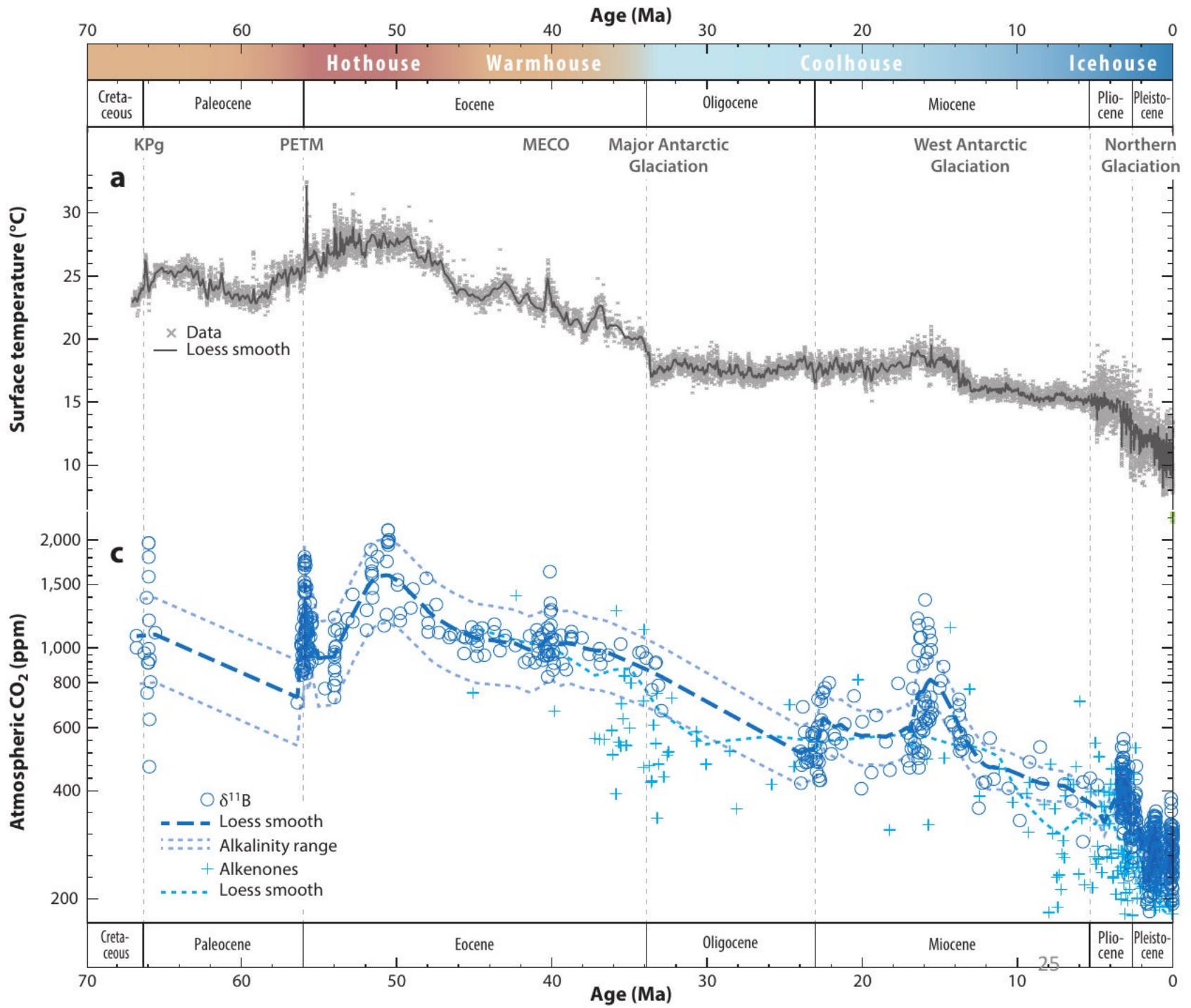


Source: Global Warming Potentials (GWPs) given for 100 year time horizon, IPCC 2021

https://www.climatepartner.com/en/knowledge/glossary/carbon-dioxide-equivalent

En el pasado, cuando el CO2 es

alto, las temperaturas son altas

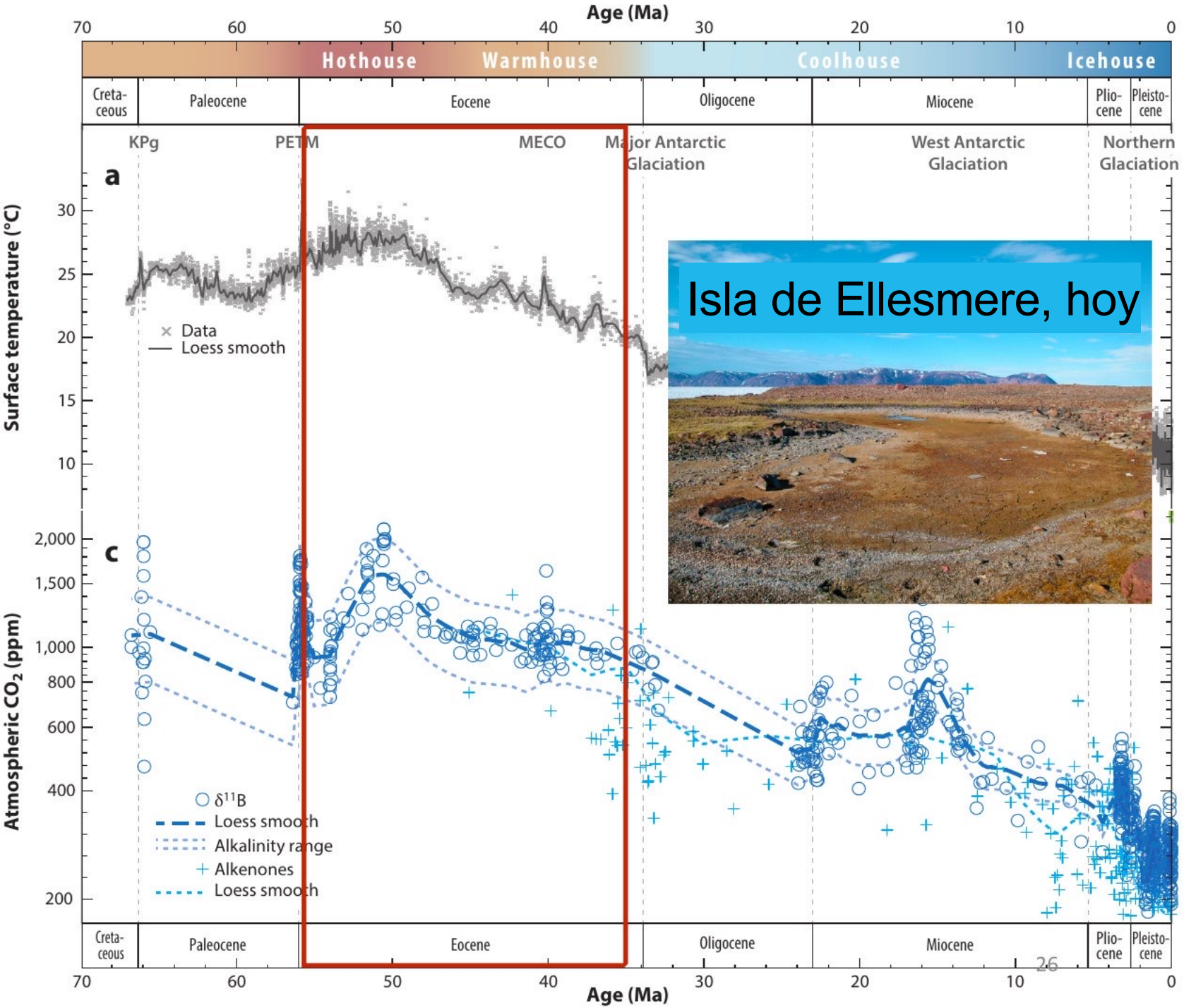


https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-earth-082420-063026

El Eoceno (56-33,9 Ma)

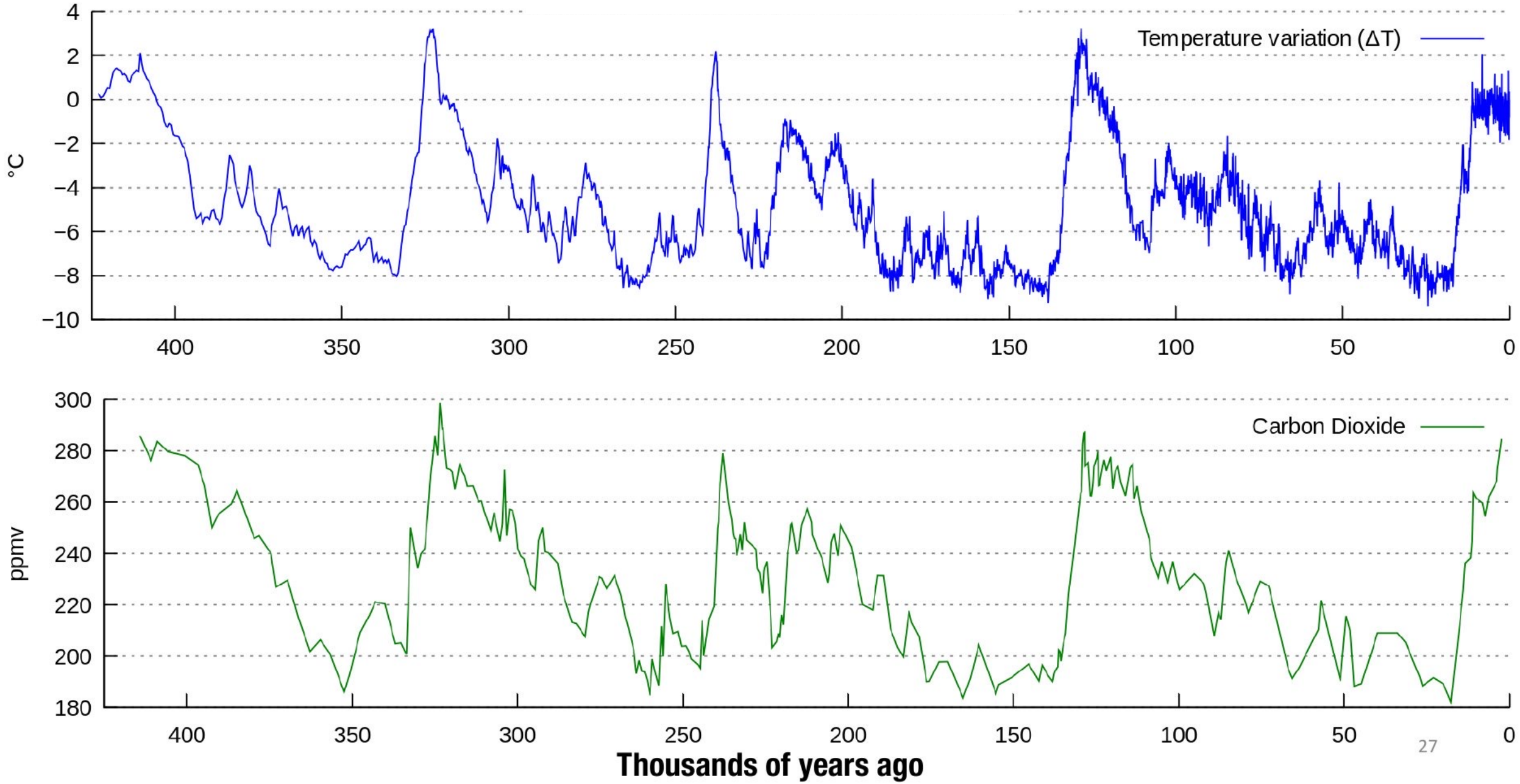
Isla de Ellesmere, hace 50 Ma



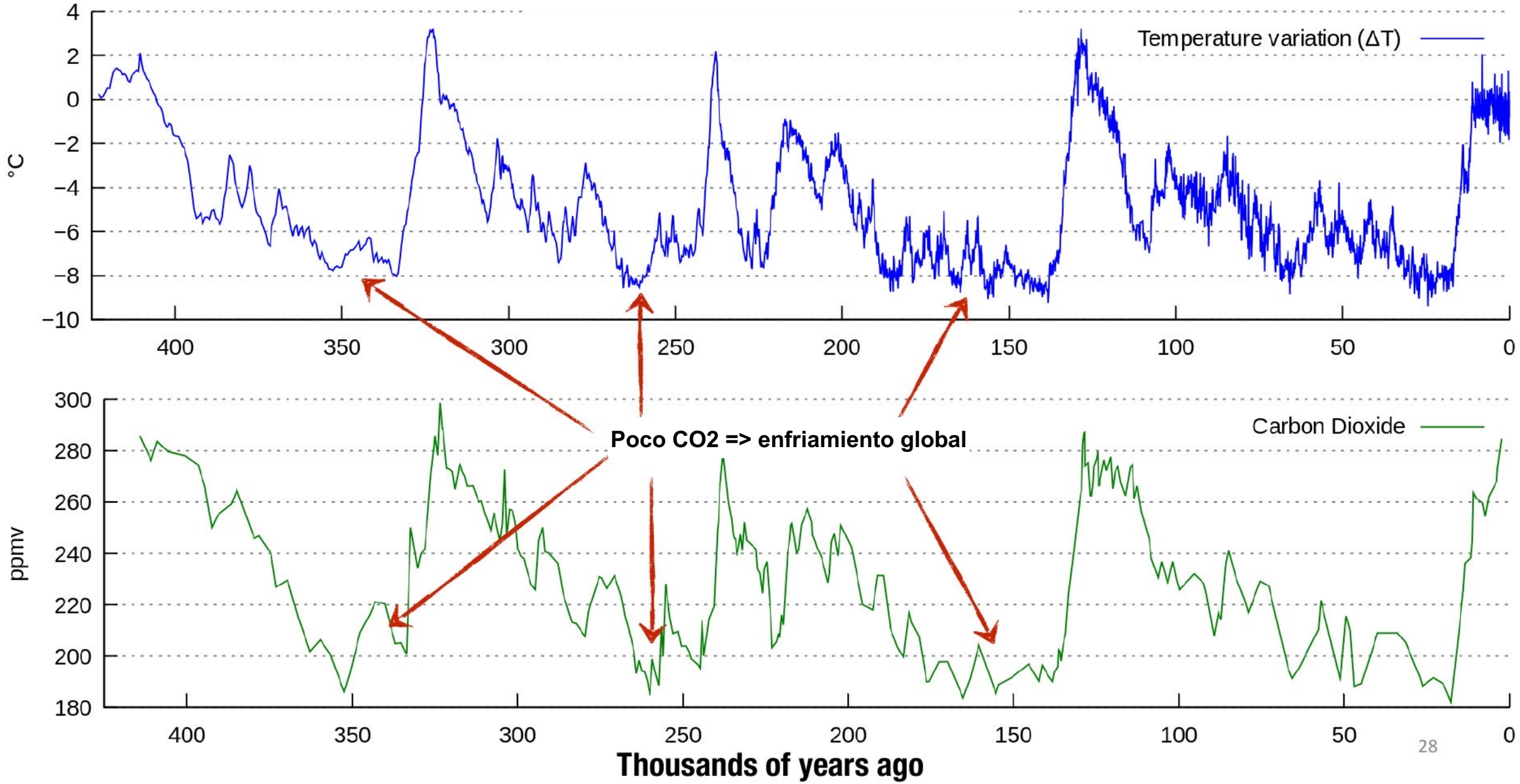


https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-earth-082420-063026

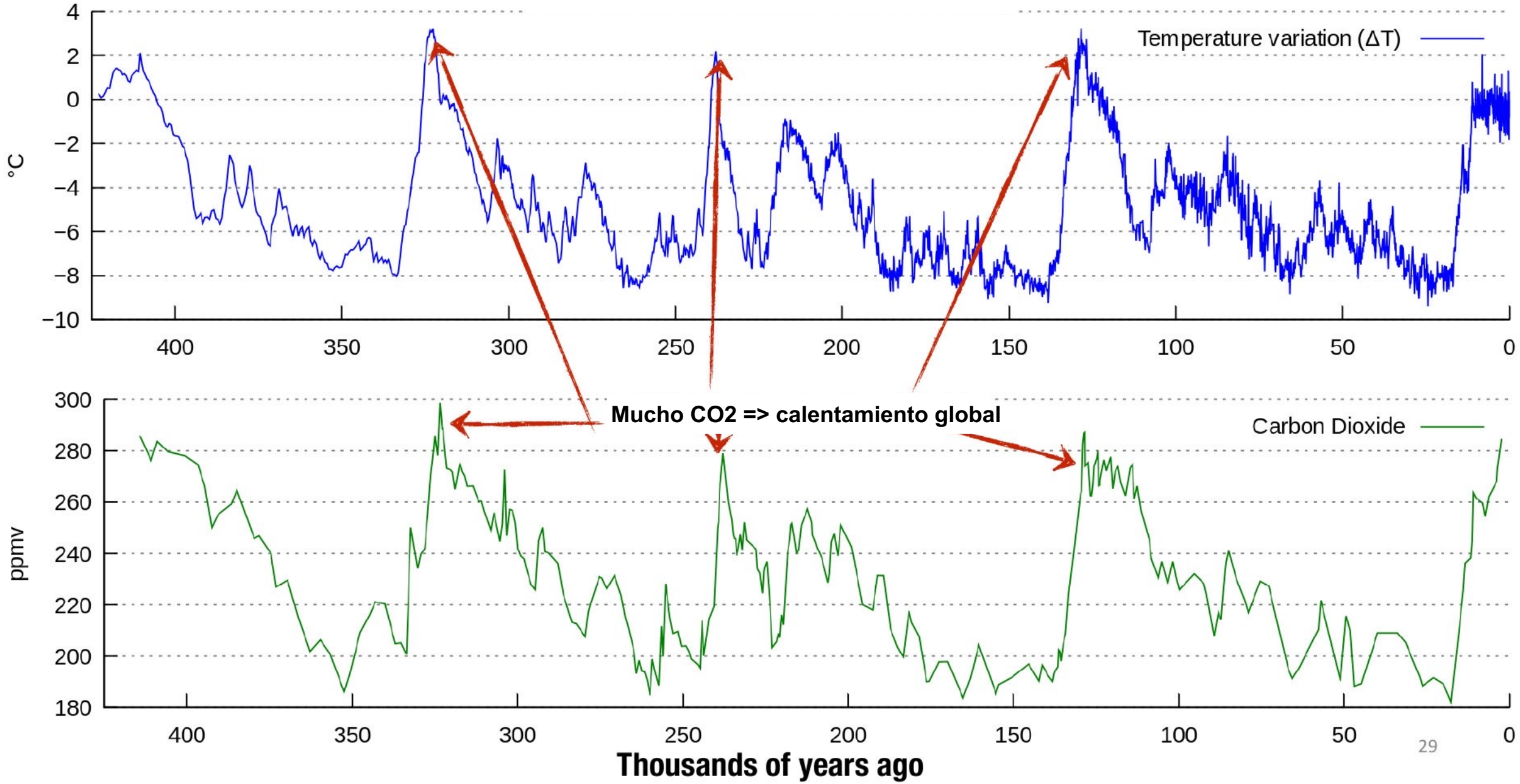
Ciclos glaciales



Ciclos glaciales



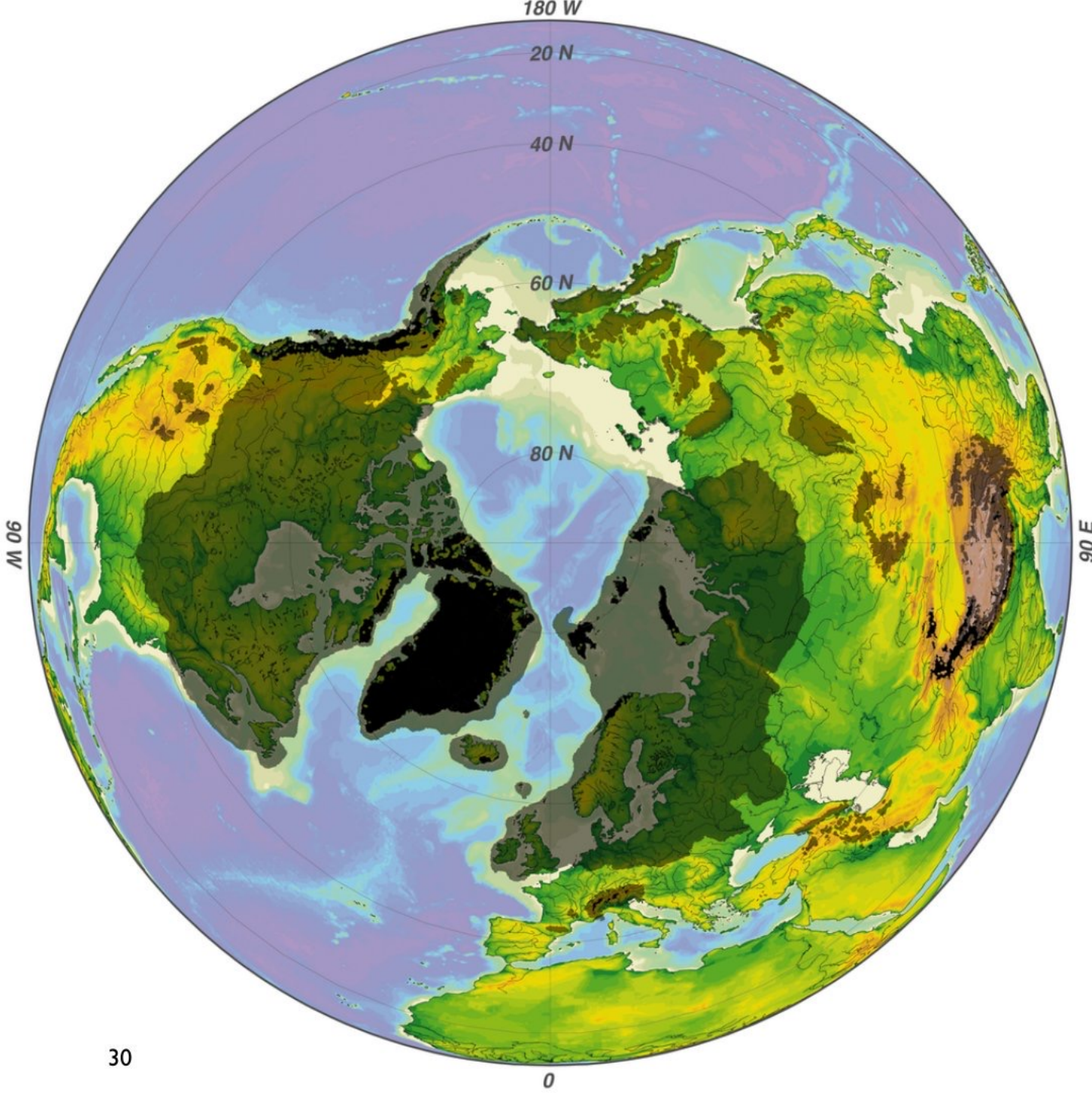
Ciclos glaciales



Mantos de hielo durante el UMG

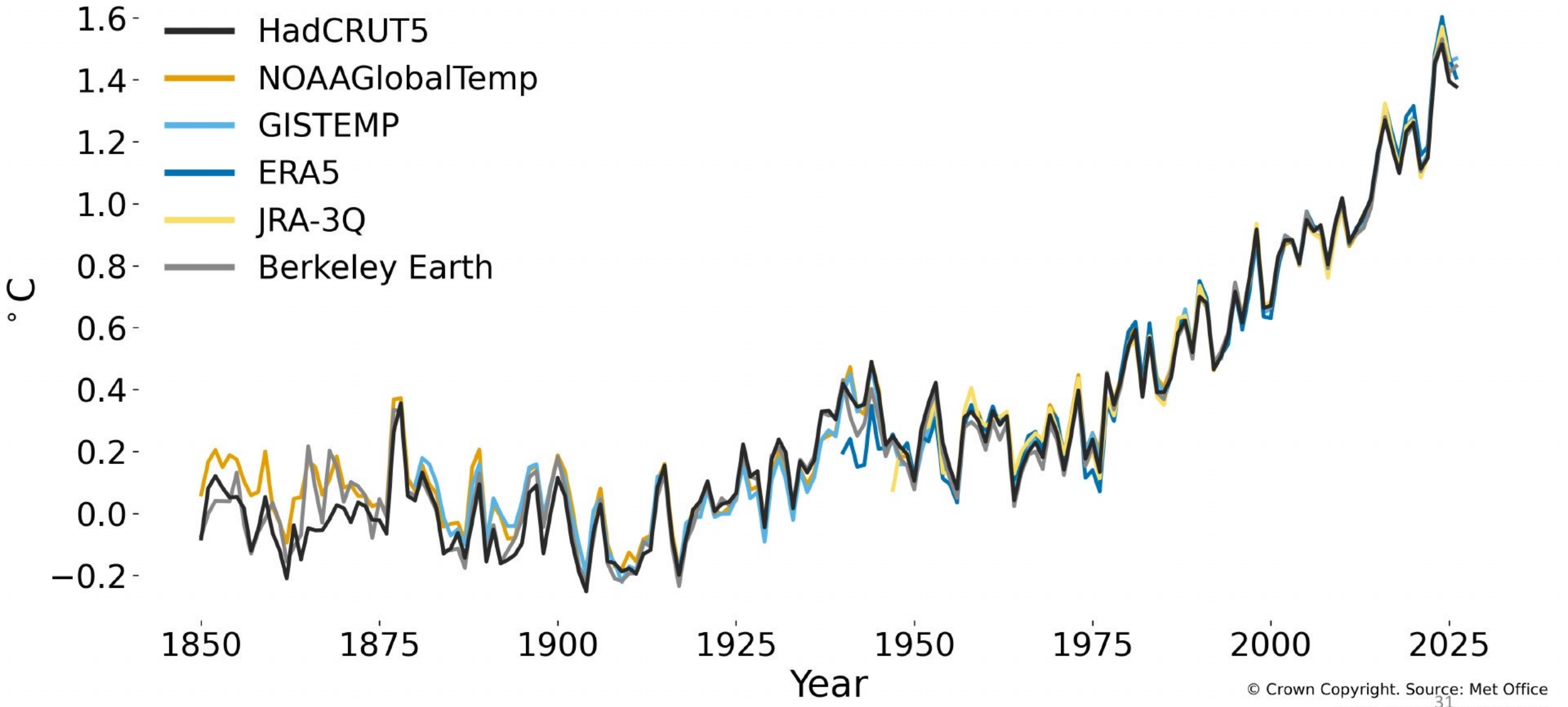
oscuro = hoy

claro = hace ~25 000 años



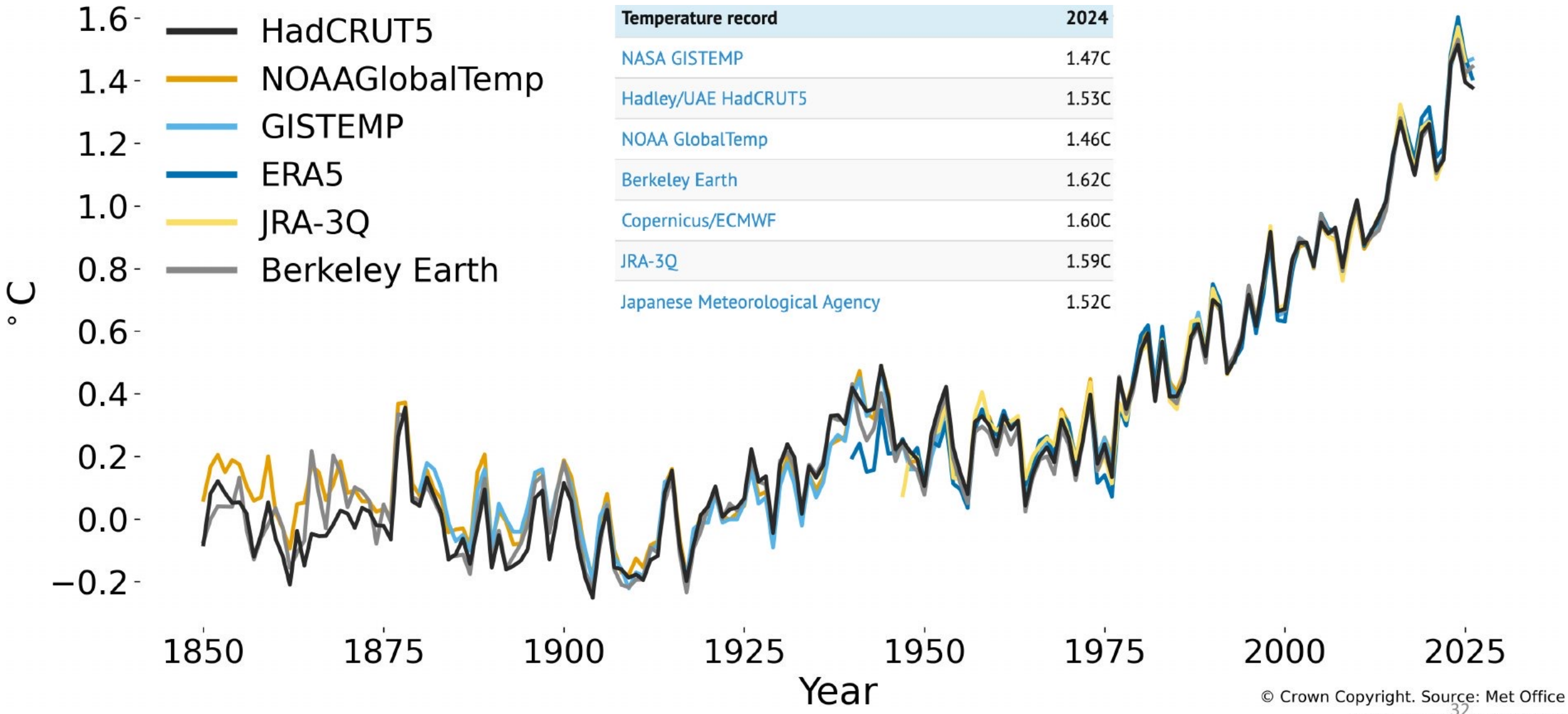
images from: http://en.wikipedia.org/wiki/Ice_age

EL MUNDO SE ESTÁ CALENTANDO



© Crown Copyright. Source: Met Office
Figure updated: 09/06/2026

RÉCORD DE CALOR: 2024

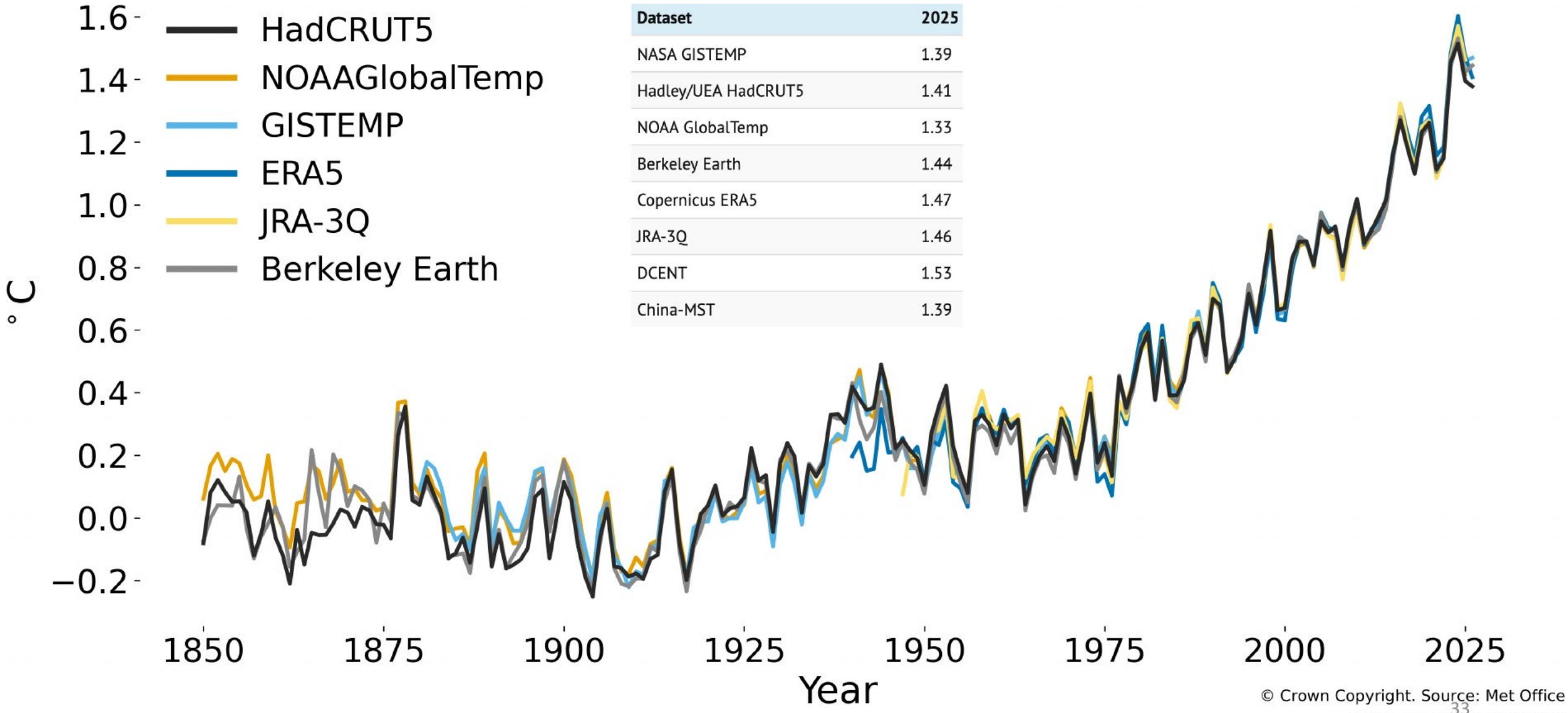


Temperature record	2024
NASA GISTEMP	1.47C
Hadley/UAE HadCRUT5	1.53C
NOAA GlobalTemp	1.46C
Berkeley Earth	1.62C
Copernicus/ECMWF	1.60C
JRA-3Q	1.59C
Japanese Meteorological Agency	1.52C

© Crown Copyright. Source: Met Office
Figure updated: 09/06/2026

https://www.carbonbrief.org/state-of-the-climate-2024-sets-a-new-record-as-the-first-year-above-1-5c/

2025: PUESTO 2.º O 3.º

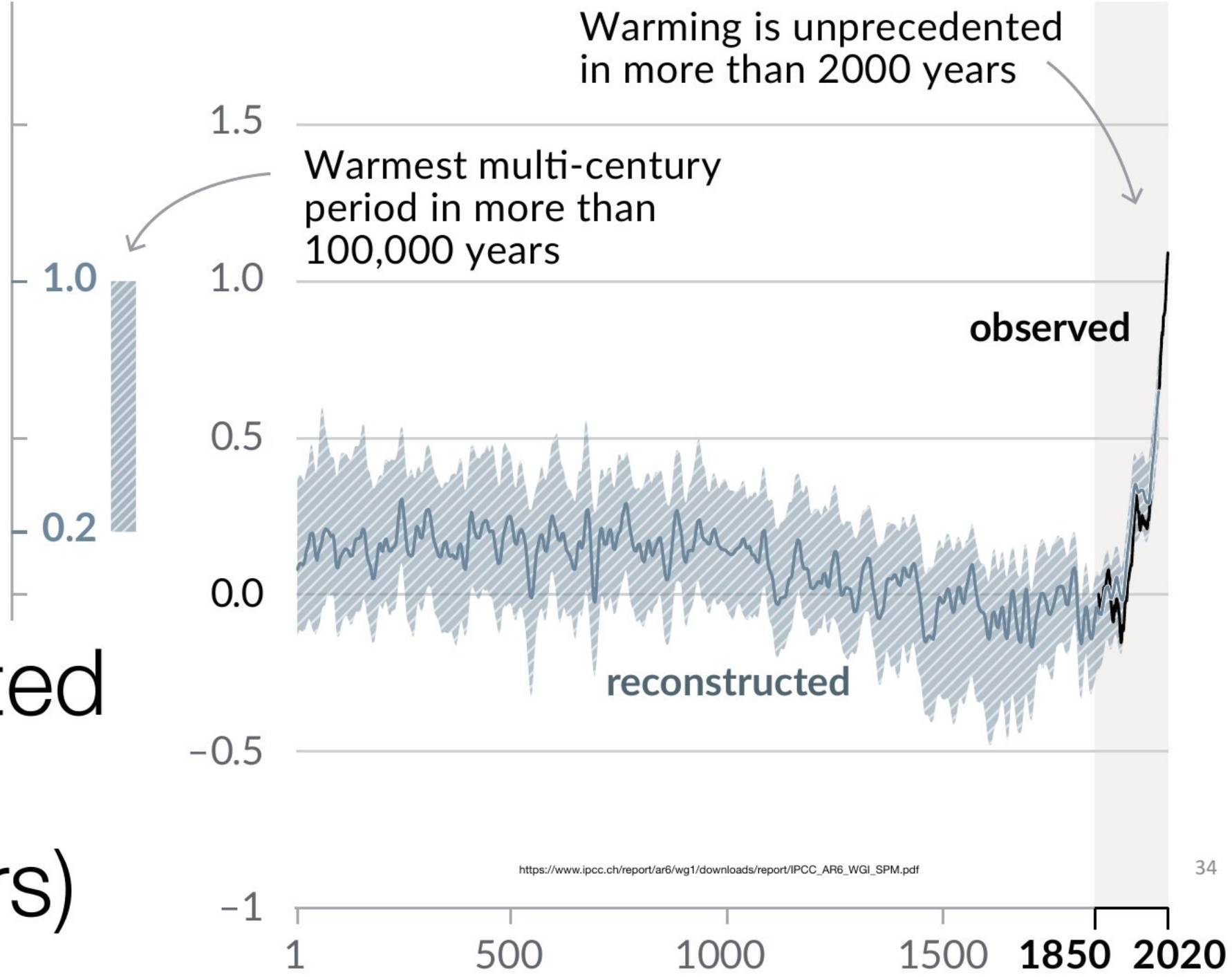


Dataset	2025
NASA GISTEMP	1.39
Hadley/UEA HadCRUT5	1.41
NOAA GlobalTemp	1.33
Berkeley Earth	1.44
Copernicus ERA5	1.47
JRA-3Q	1.46
DCENT	1.53
China-MST	1.39

© Crown Copyright. Source: Met Office
Figure updated: 09/06/2026

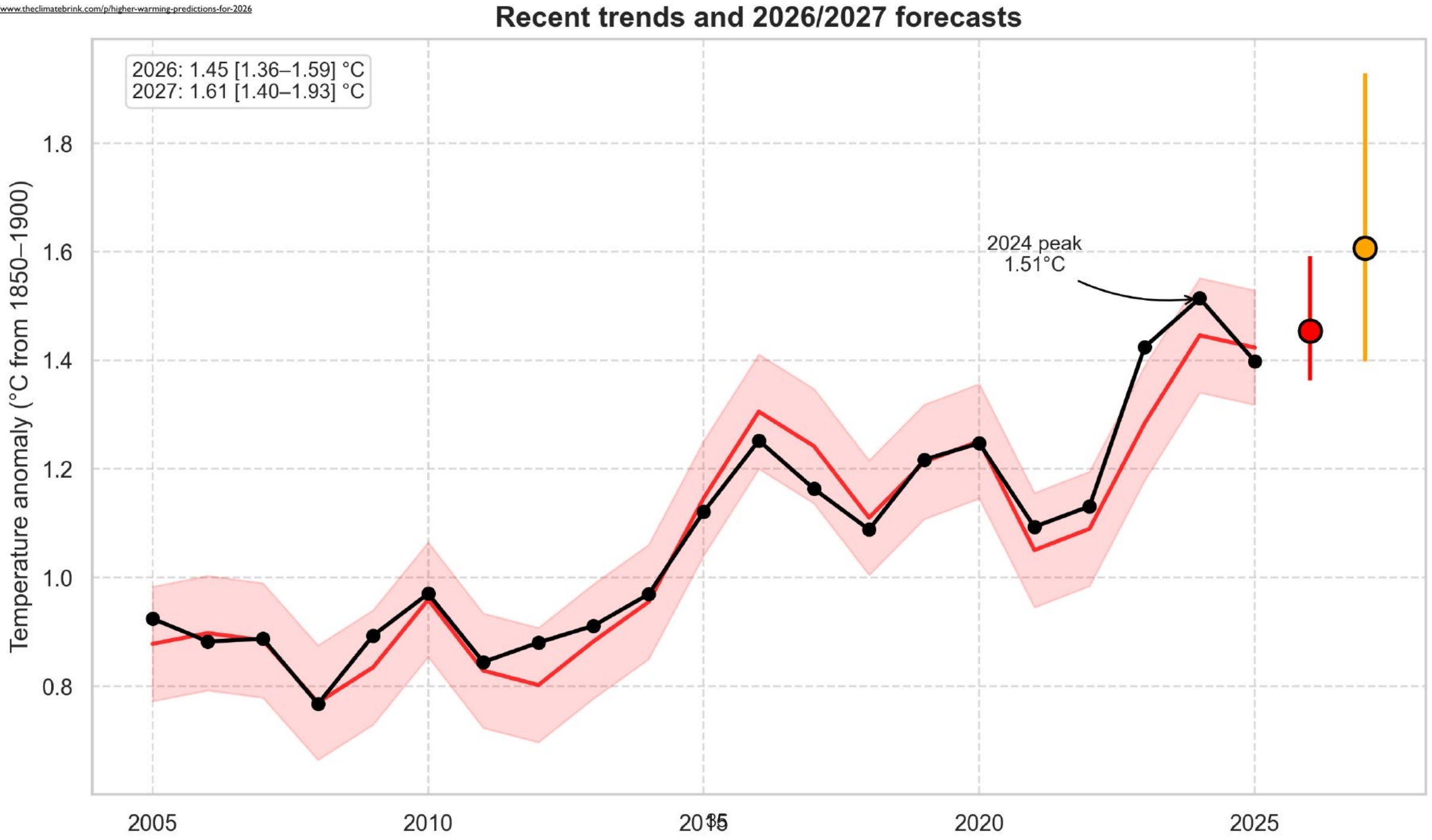
https://www.carbonbrief.org/state-of-the-climate-2025-in-top-three-hottest-years-on-record-as-ocean-heat-surges/

Unprecedented warming (last 2000 yrs)



https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf

https://www.theclimatebrink.com/p/higher-warming-predictions-for-2026

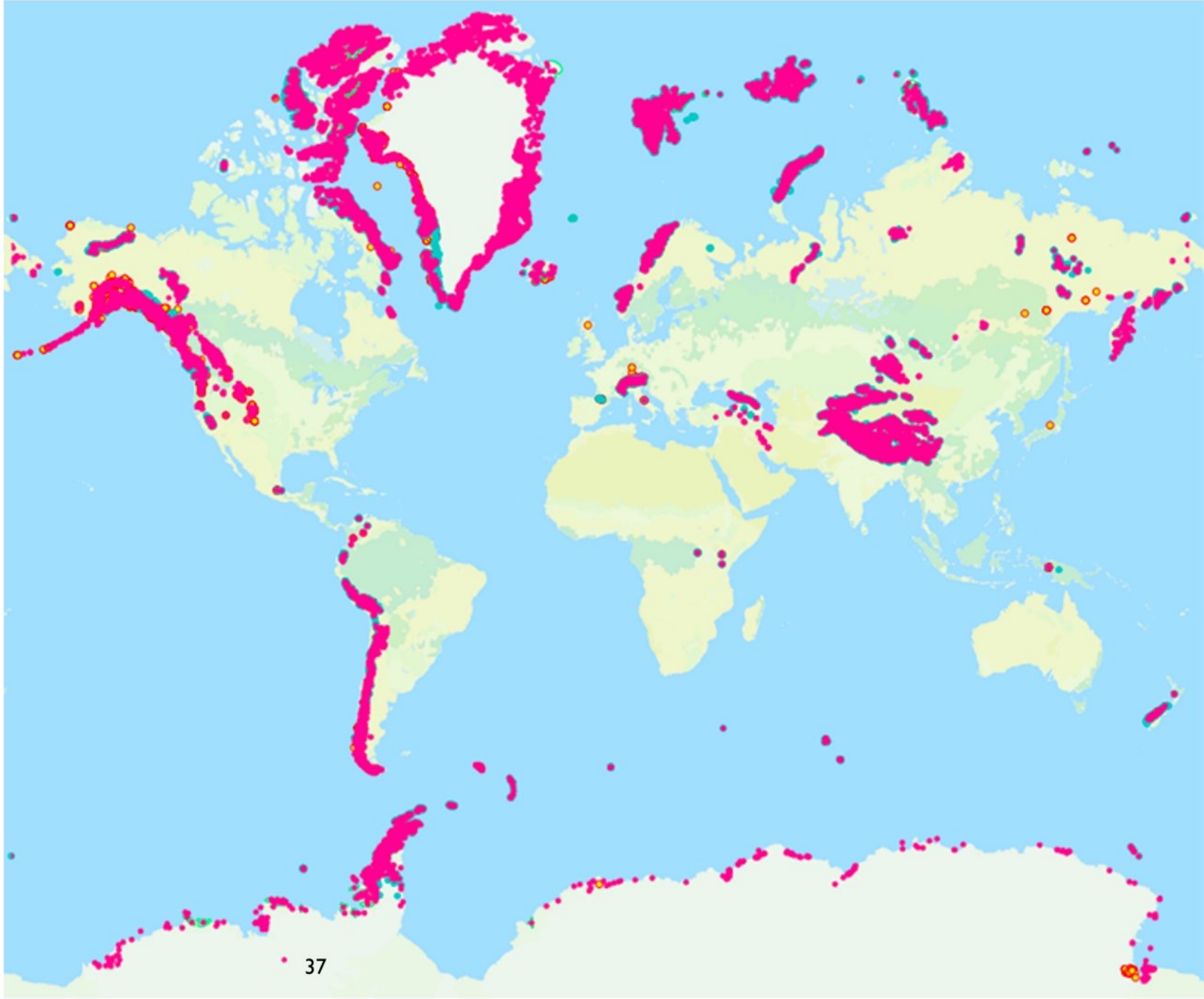




Señales de un mundo que se calienta

Glaciares / mantos de hielo

Enormes
masas de hielo
que se mueven
despacio sobre tierra



https://nsidc.org/cryosphere/glaciers/questions/located.html

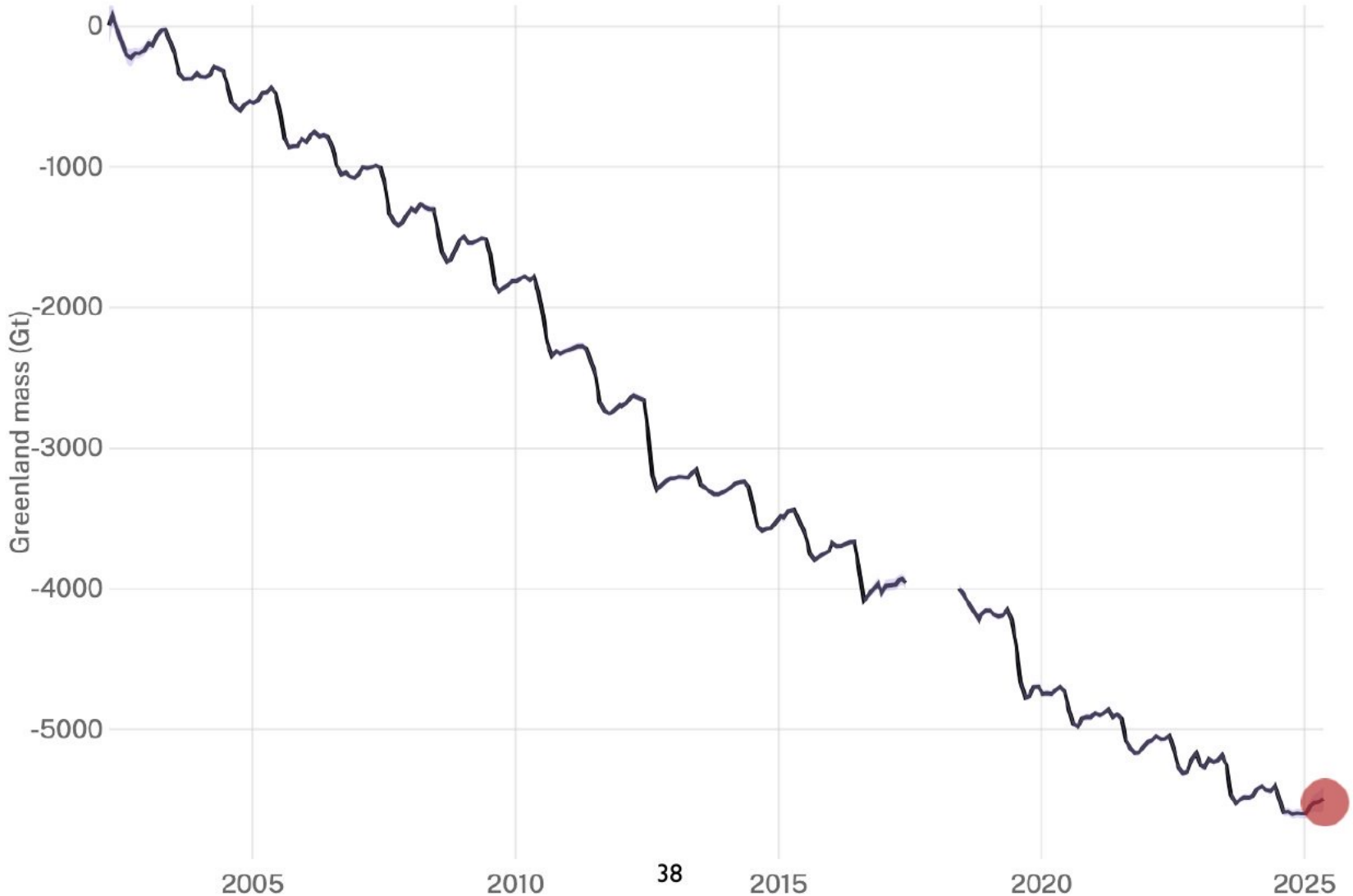
GREENLAND MASS VARIATION SINCE 2002

Data source: Ice mass measurement by NASA's GRACE satellites. **Gap represents time between missions.**
Credit: NASA

RATE OF CHANGE

↓264

billion metric tons per year since 2002

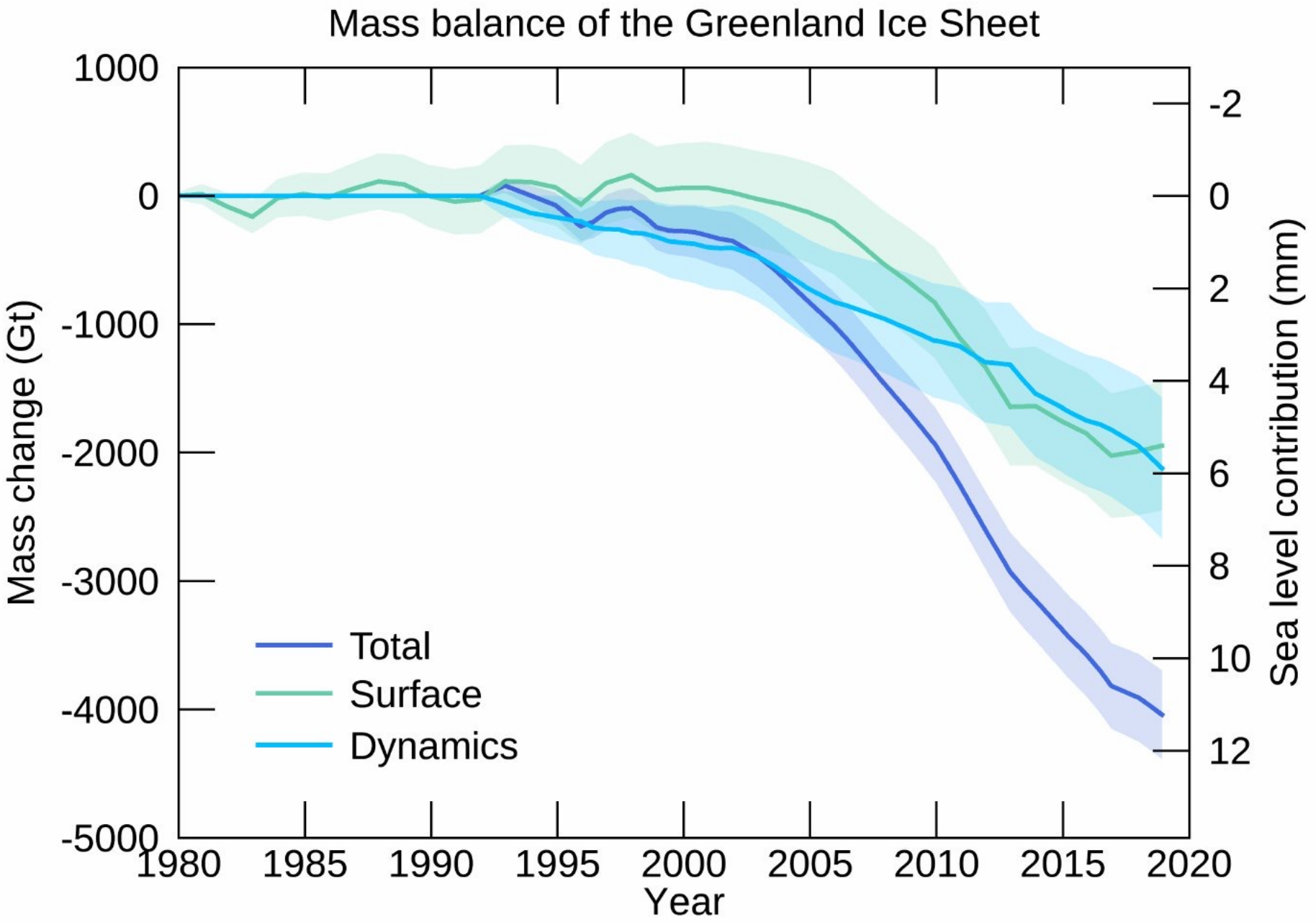


https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/

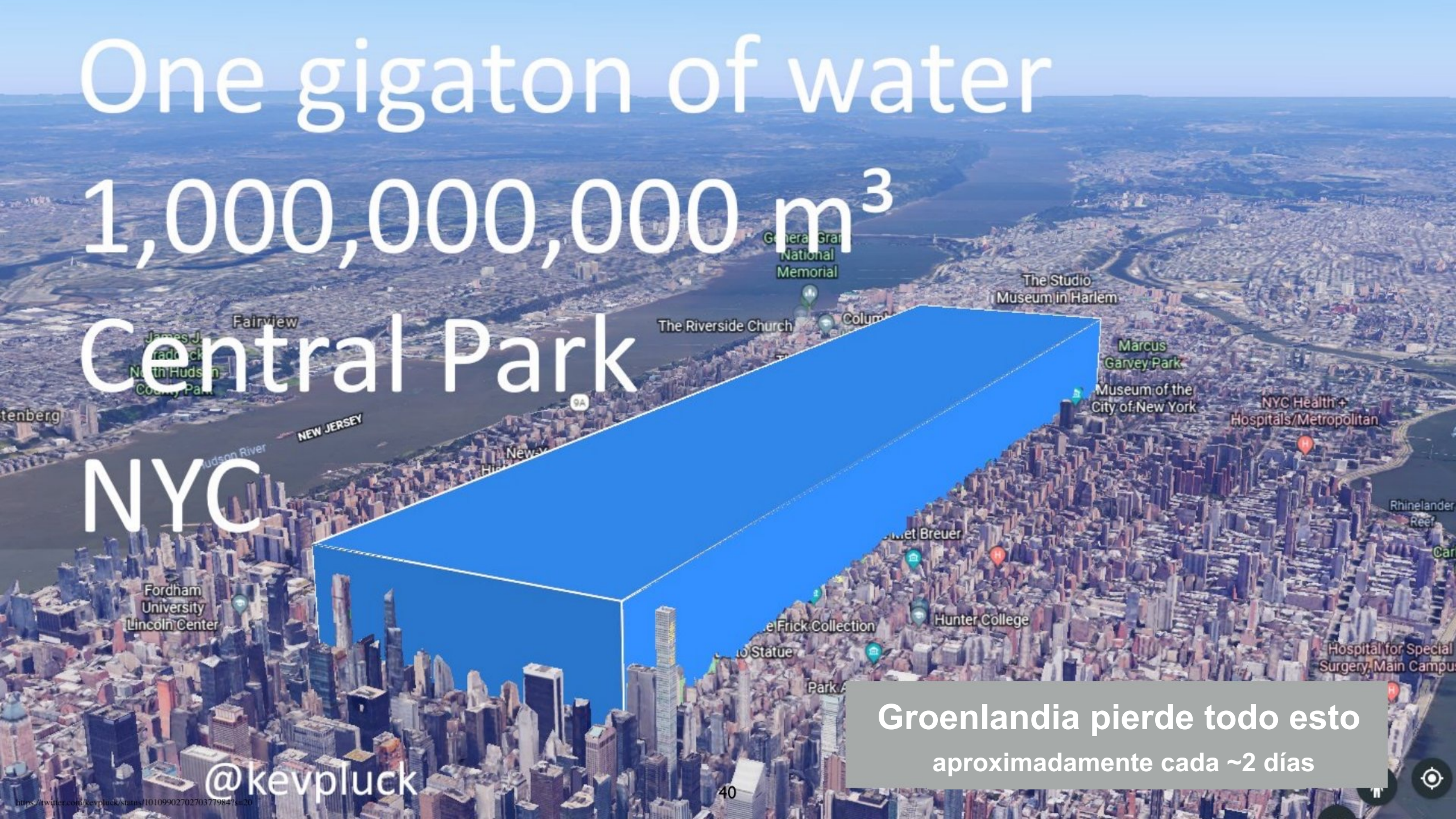
Manto de hielo de Groenlandia

1 Gt =

- Masa de todos los mamíferos terrestres (sin contar a los humanos)
- 2 veces la masa de todos los humanos de la Tierra
- 5,5 millones de ballenas azules
- 3 millones de Boeing 747



https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gigatonne
https://climate.copernicus.eu/ESOTC/2019/ice-sheets
https://www.nature.com/articles/s41586-019-1855-2.pdf


One gigaton of water
1,000,000,000 m³
Central Park
NYC
@kevpluck
Groenlandia pierde todo esto
aproximadamente cada ~2 días
https://twitter.com/kevpluck/status/1010990270270377984?s=20

Glaciar McCarty, Alaska





http://www.windows2universe.org/teacher_resources/teach_glacier.html

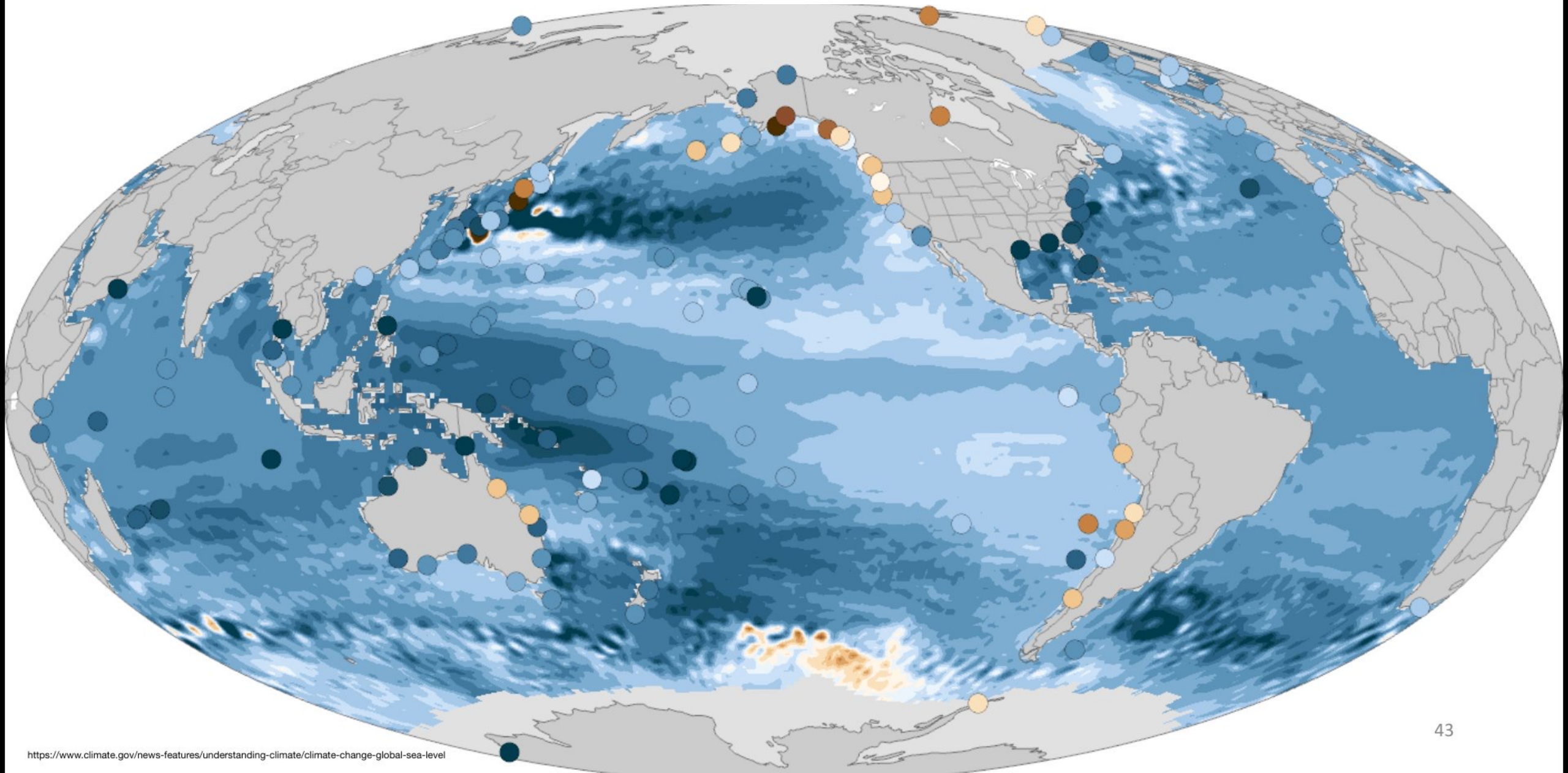
Glaciar Blomstrandbreen
Svalbard, Noruega



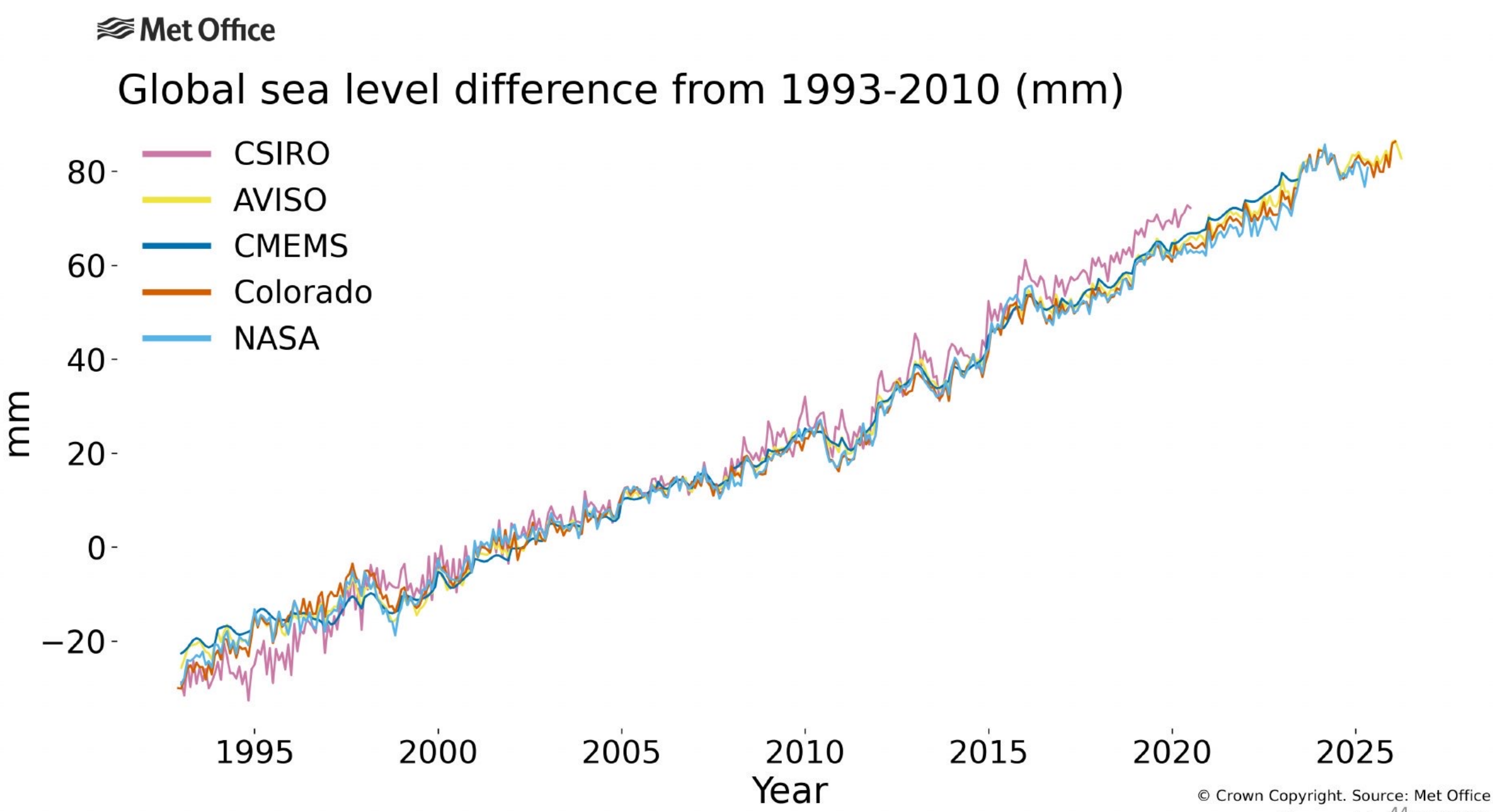


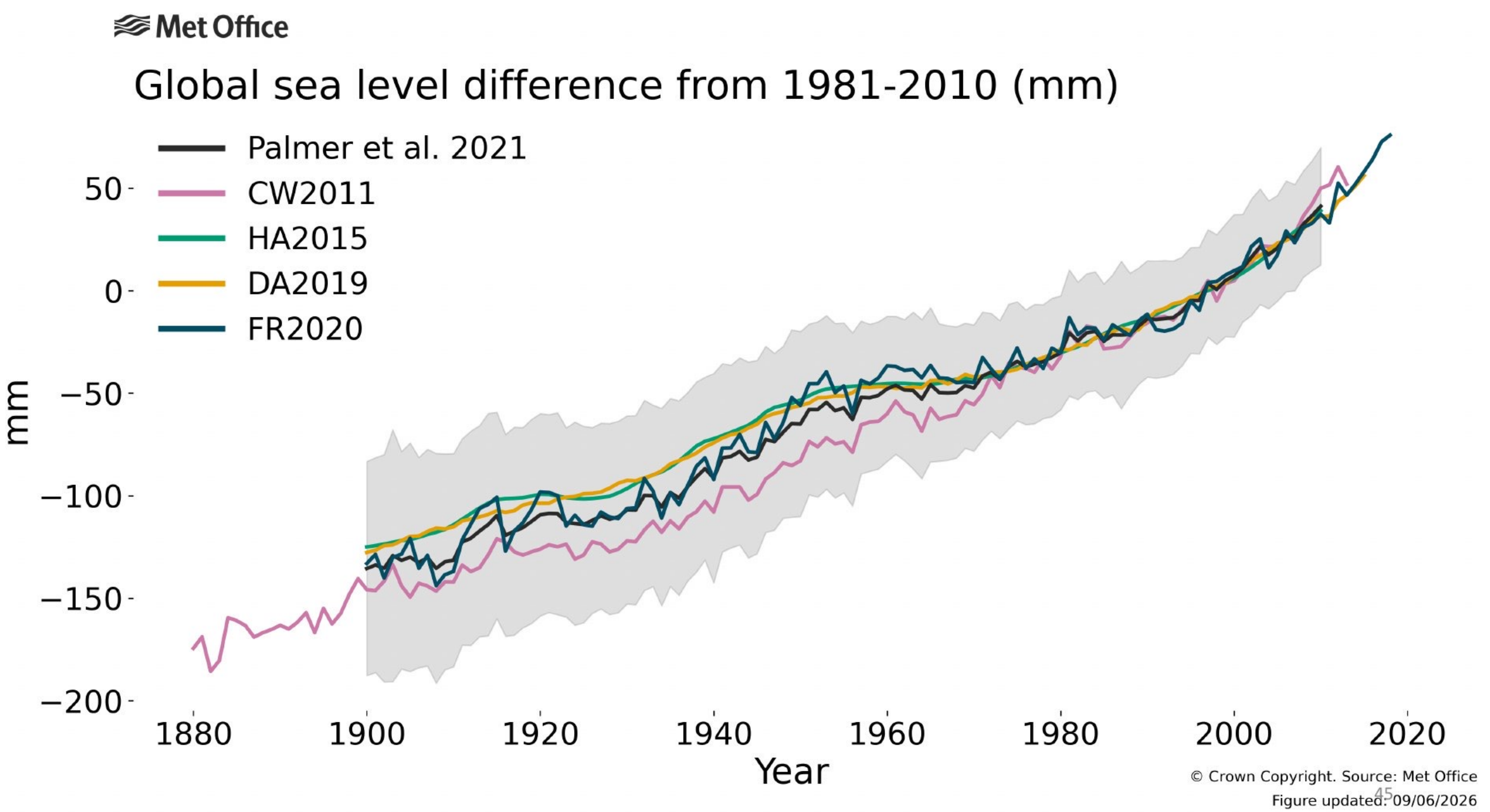
https://www.theguardian.com/environment/2024/nov/05/people-do-not-want-to-believe-it-is-true-the-photographer-capturing-the-vanishing-of-glaciers

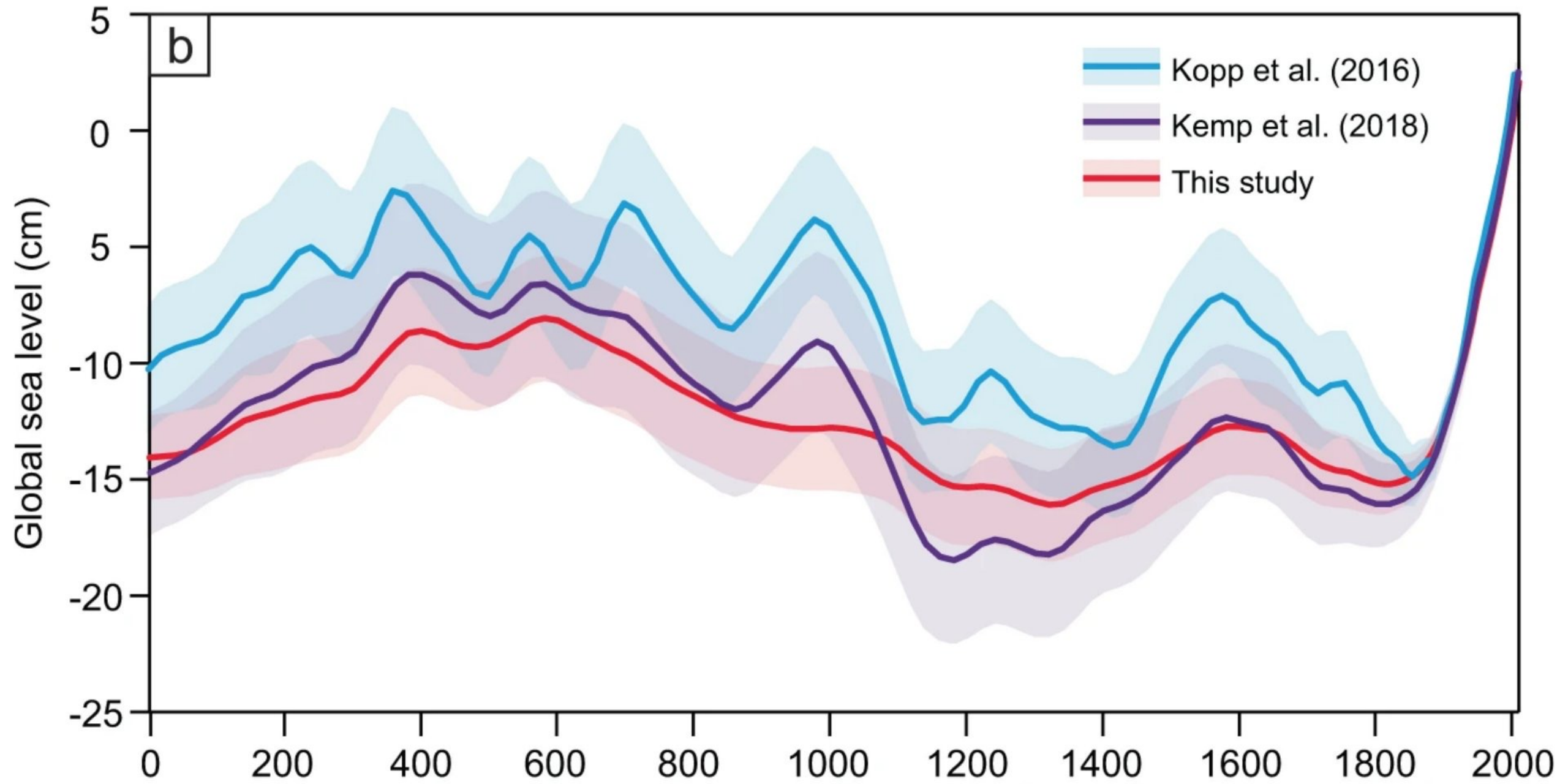
Cambio del nivel del mar (cm, 1993-2023)



https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level


Met Office
Global sea level difference from 1993-2010 (mm)
CSIRO
AVISO
CMEMS
Colorado
NASA
80
60
40
20
0
−20
mm
1995
2000
2005
2010
2015
2020
2025
Year
© Crown Copyright. Source: Met Office
Figure updated: 09/06/2026

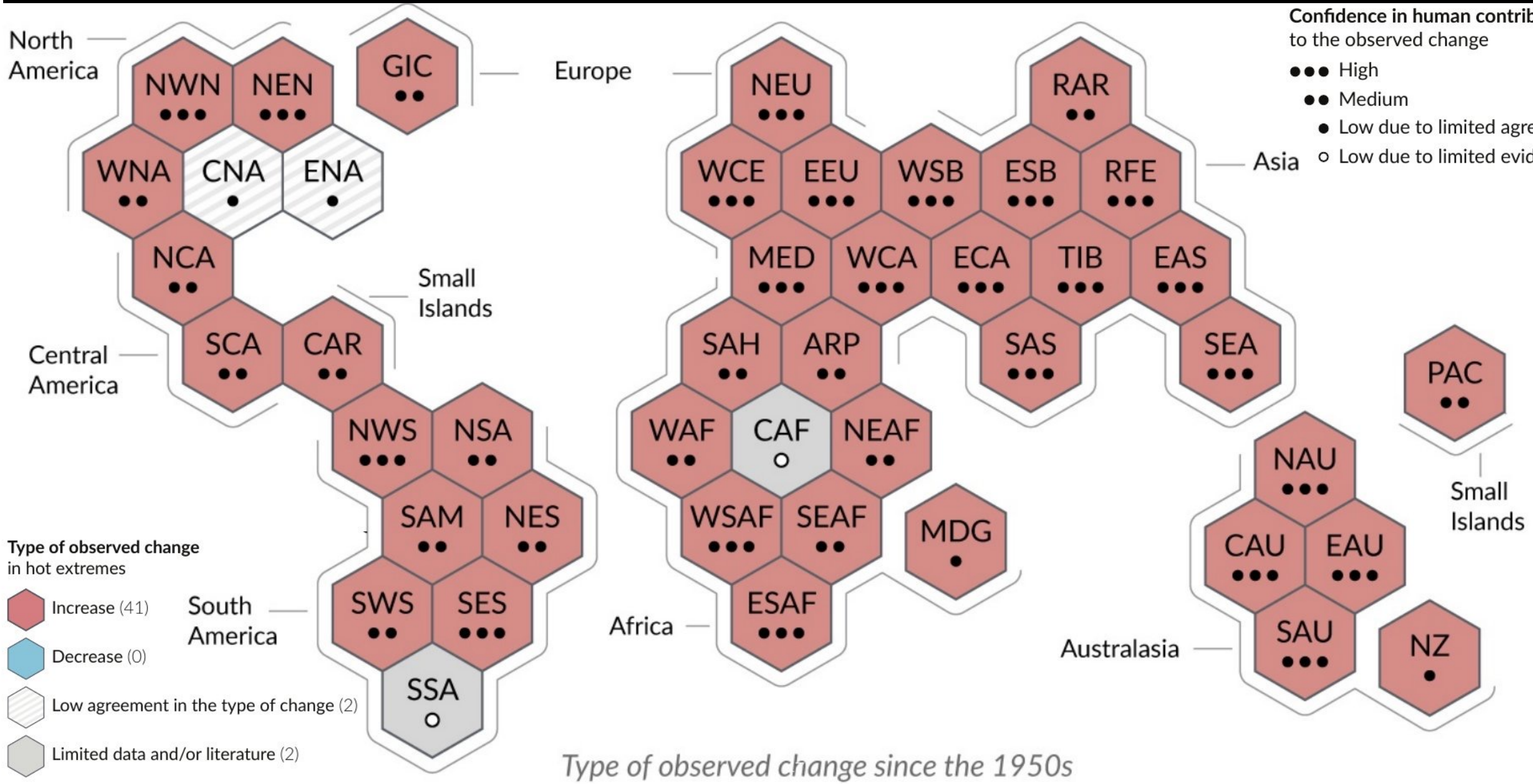

Met Office
Global sea level difference from 1981-2010 (mm)
Palmer et al. 2021
CW2011
HA2015
DA2019
FR2020
50
0
−50
−100
−150
−200
mm
1880
1900
1920
1940
1960
1980
2000
2020
Year
© Crown Copyright. Source: Met Office
Figure updated: 09/06/2026



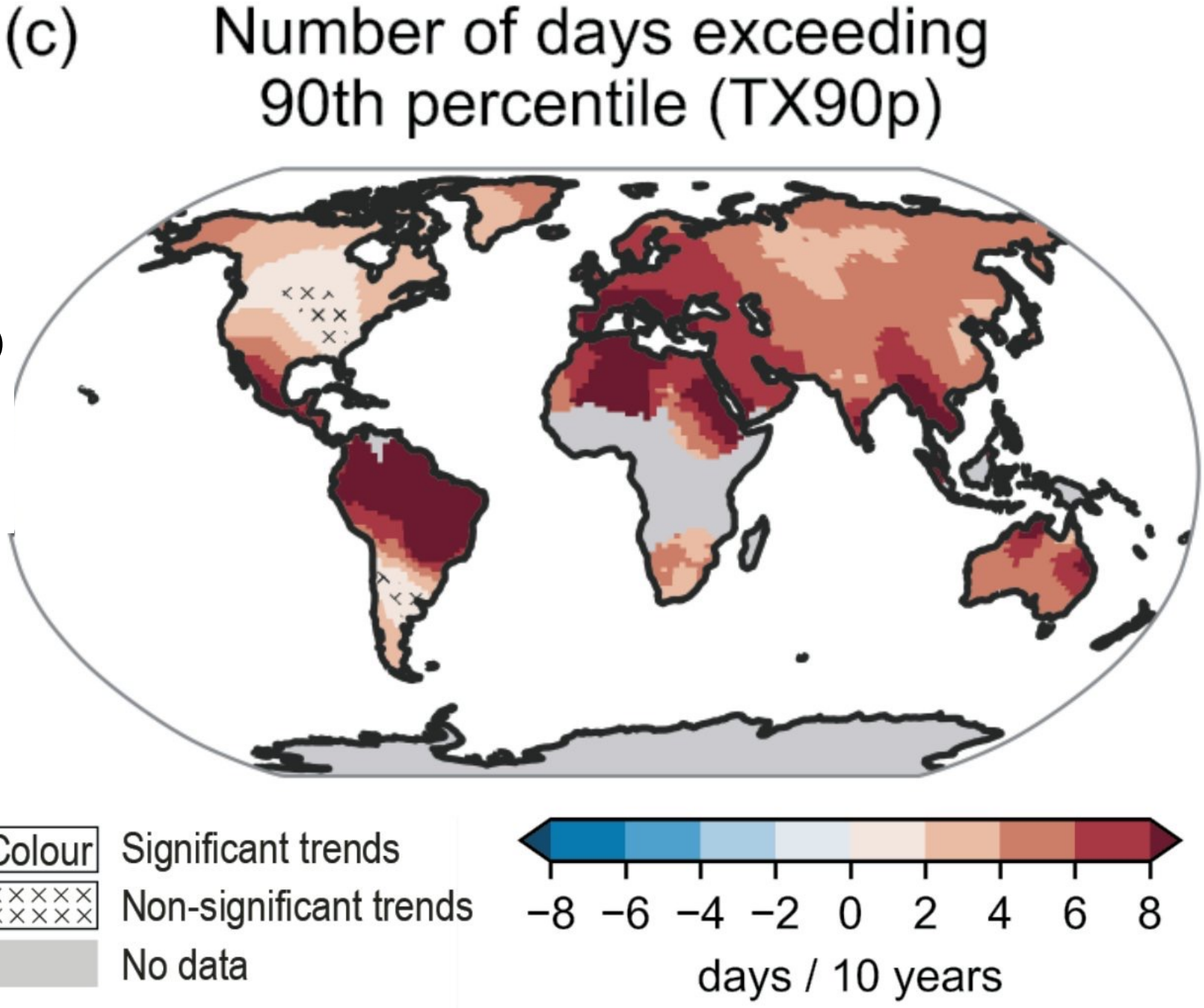
el más alto en 2000 años

https://www.nature.com/articles/s41467-021-22079-2/

Las olas de calor aumentan casi en todas partes



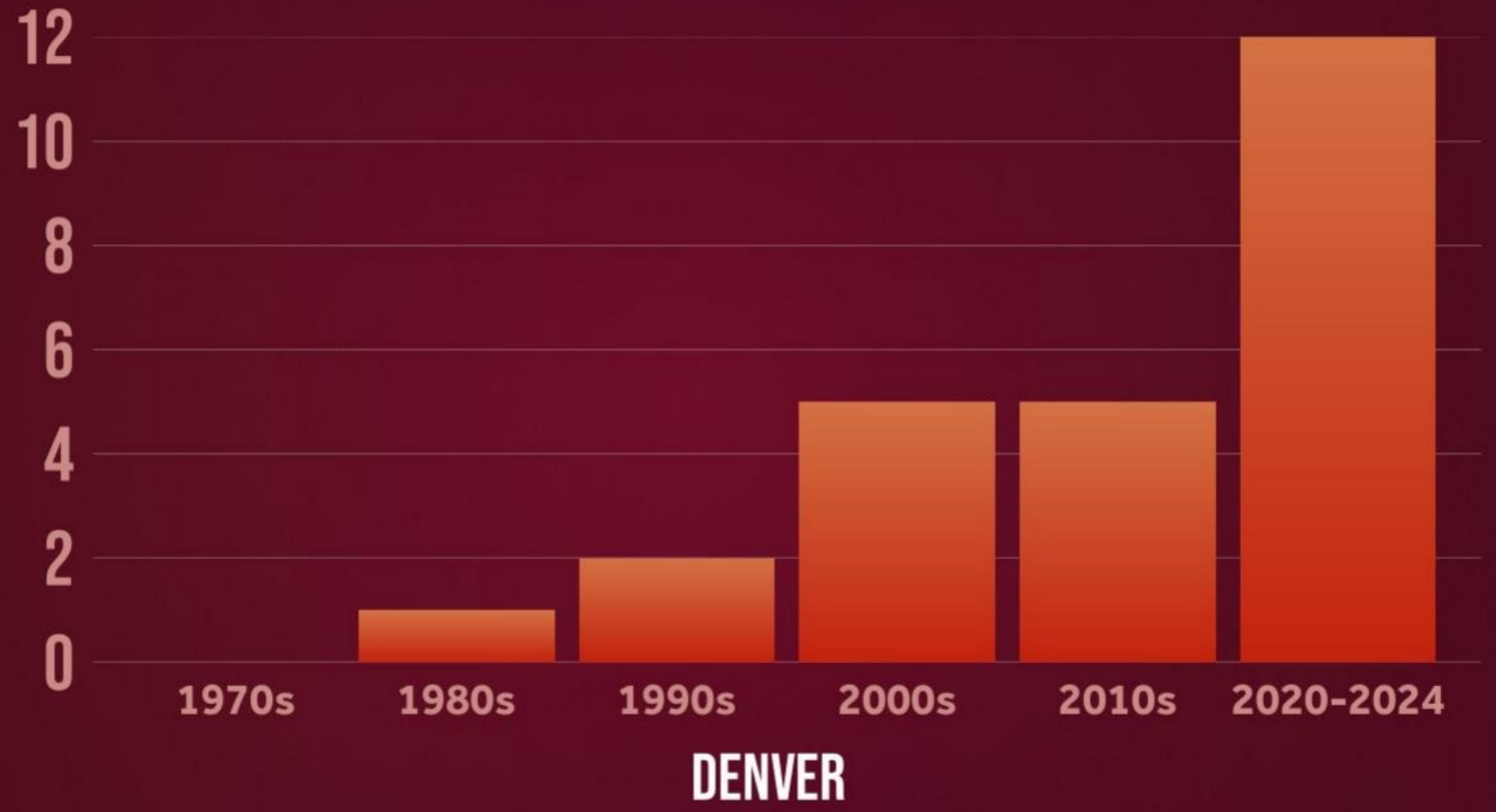
Tendencia, días de calor extremo (1960-2018)



https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-11/

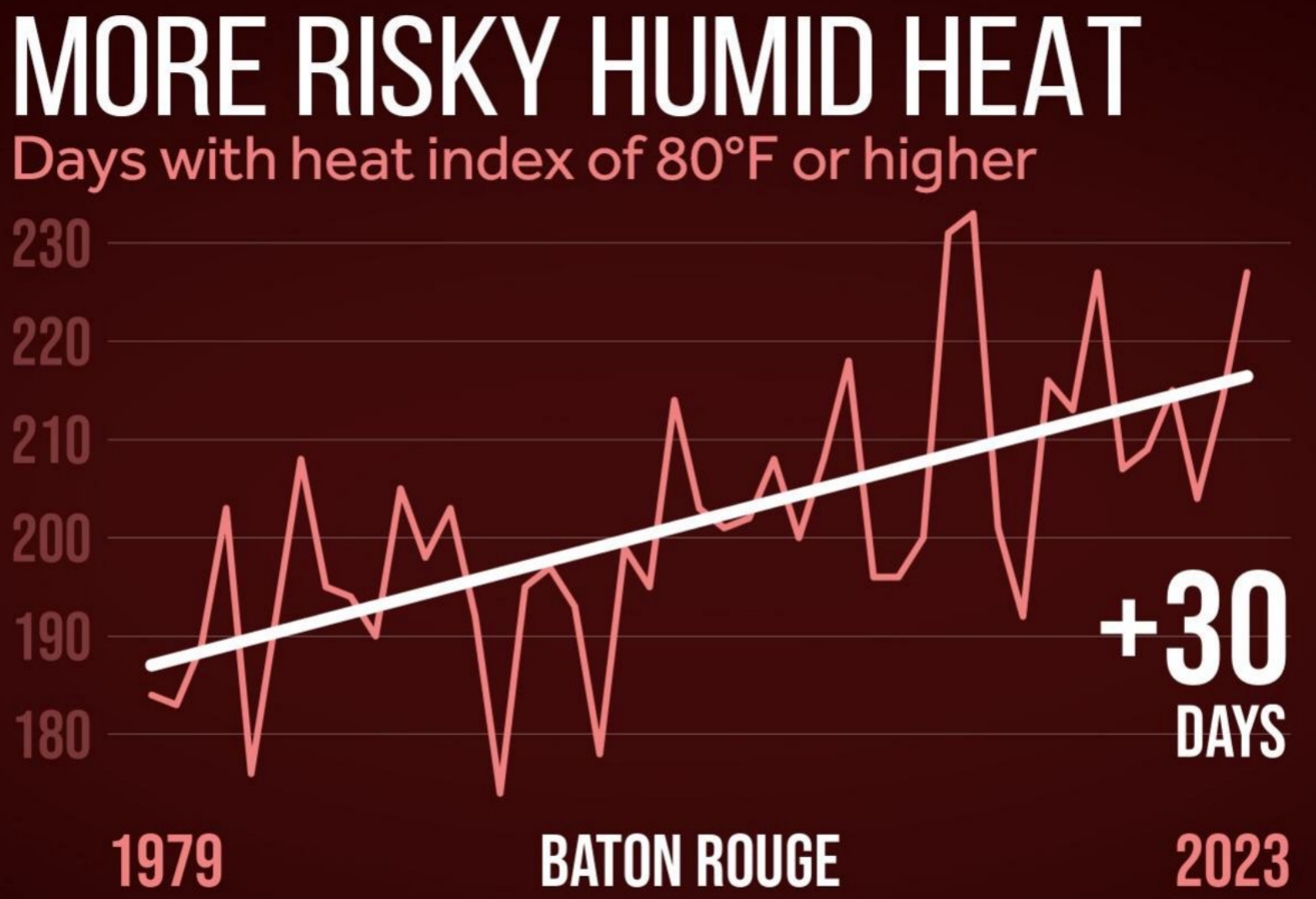
CLIMATE CHANGE-FUELED EXTREME HEAT

Average annual extremely hot summer days made at least 2x more likely by climate change

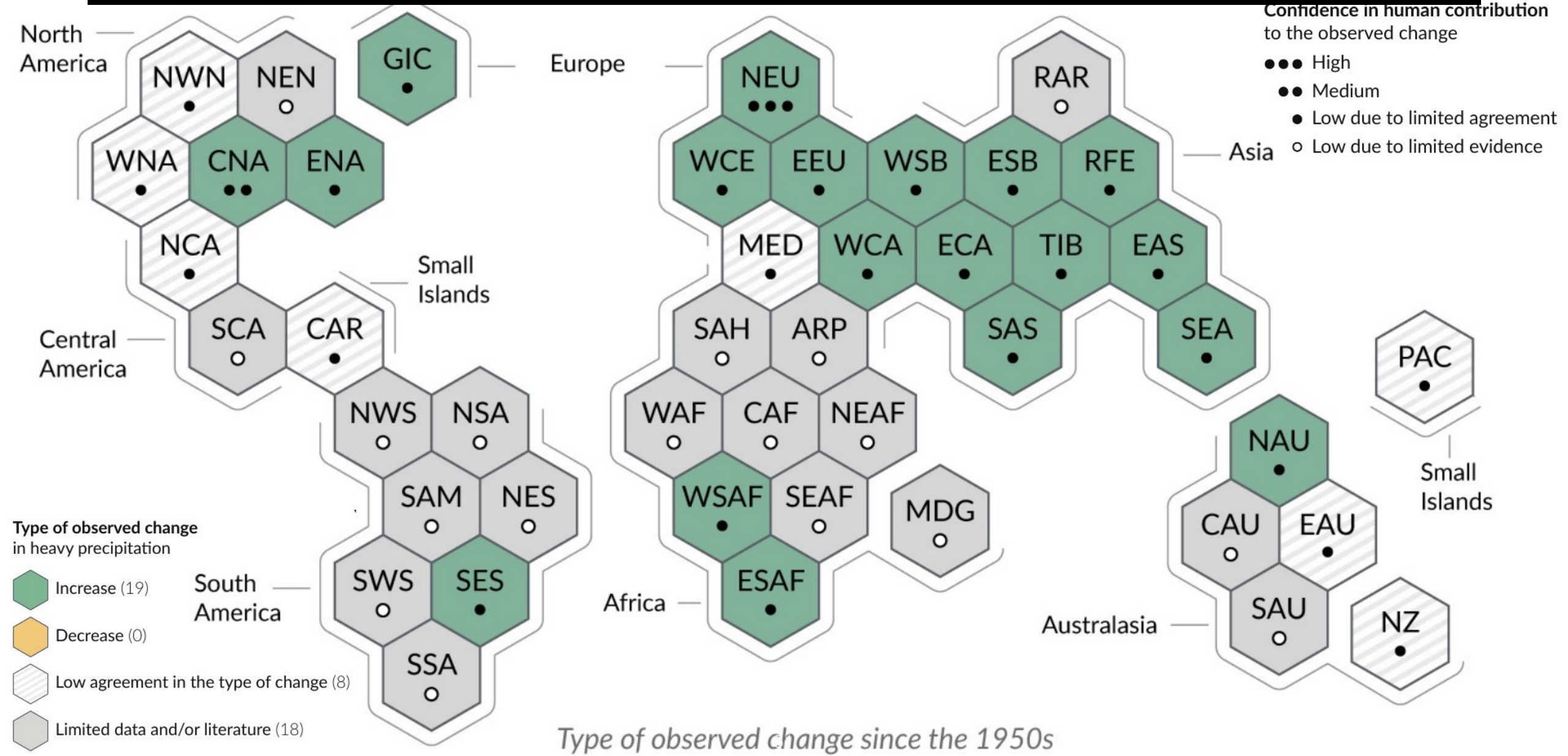


Average annual summer (June-August) days with maximum temperatures at or above 96.1°F (local 95th percentile) and a Climate Shift Index level of 2 or higher.
Source: ERA5 and Climate Central's Climate Shift Index system.

CLIMATE CENTRAL


MORE RISKY HUMID HEAT
Days with heat index of 80°F or higher
230
220
210
200
190
180
+30
DAYS
1979
BATON ROUGE
2023
Annual count of days with a heat index of 80°F or higher.
Source: gridMET
CLIMATE CENTRAL

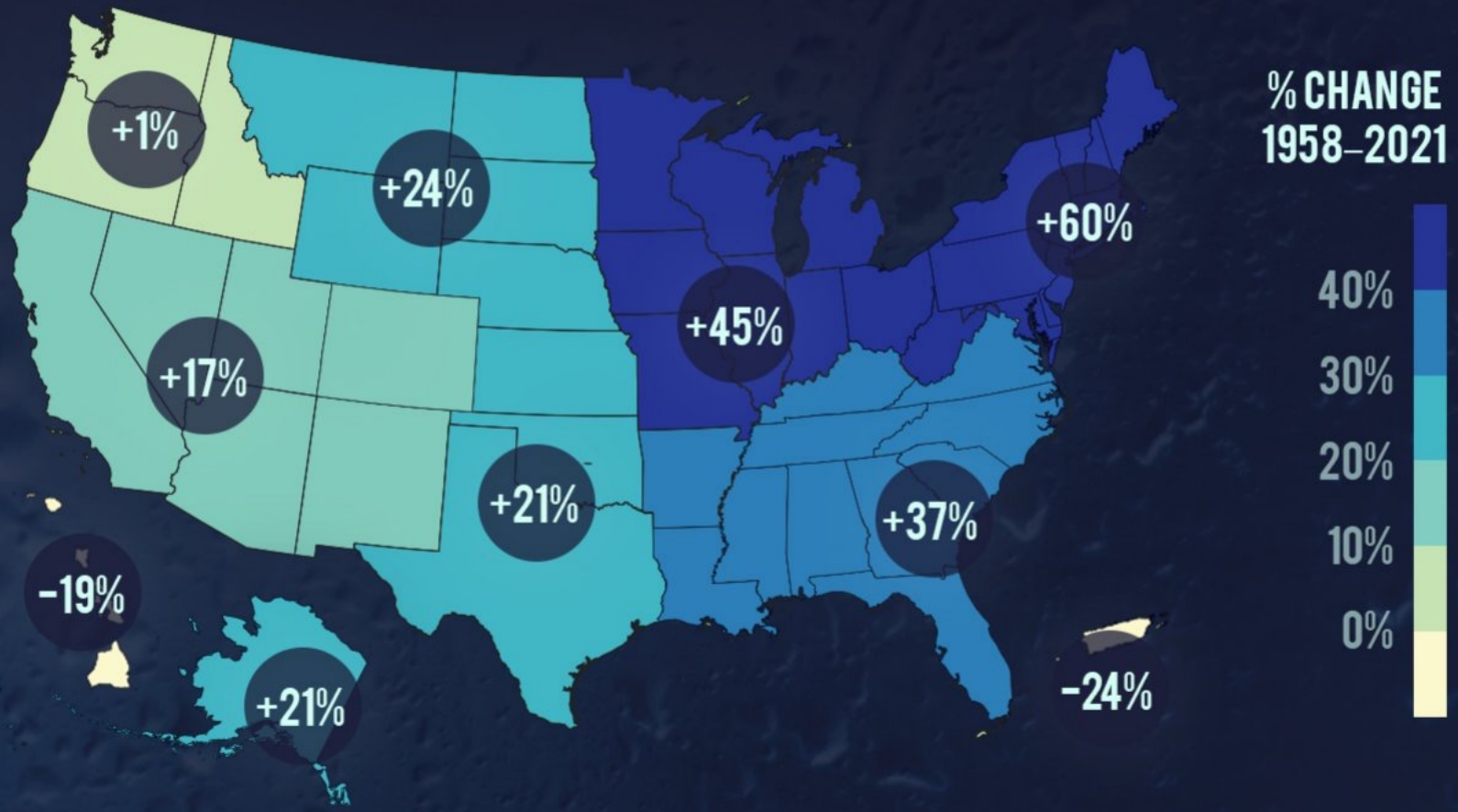
Tormentas más intensas en algunas regiones



Type of observed change since the 1950s

HEAVIER DOWNPOURS

Change in precipitation on heaviest 1% of days



Change in total precipitation falling on the heaviest 1% of days, 1958–2021.
Source: USGCRP, 2023: Fifth National Climate Assessment.

CLIMATE CENTRAL

¿Cómo sabemos que los cambios que vemos se deben a las actividades humanas?

Detección: ¿CÓMO han cambiado las cosas?
Ej.: ¿hace más calor?

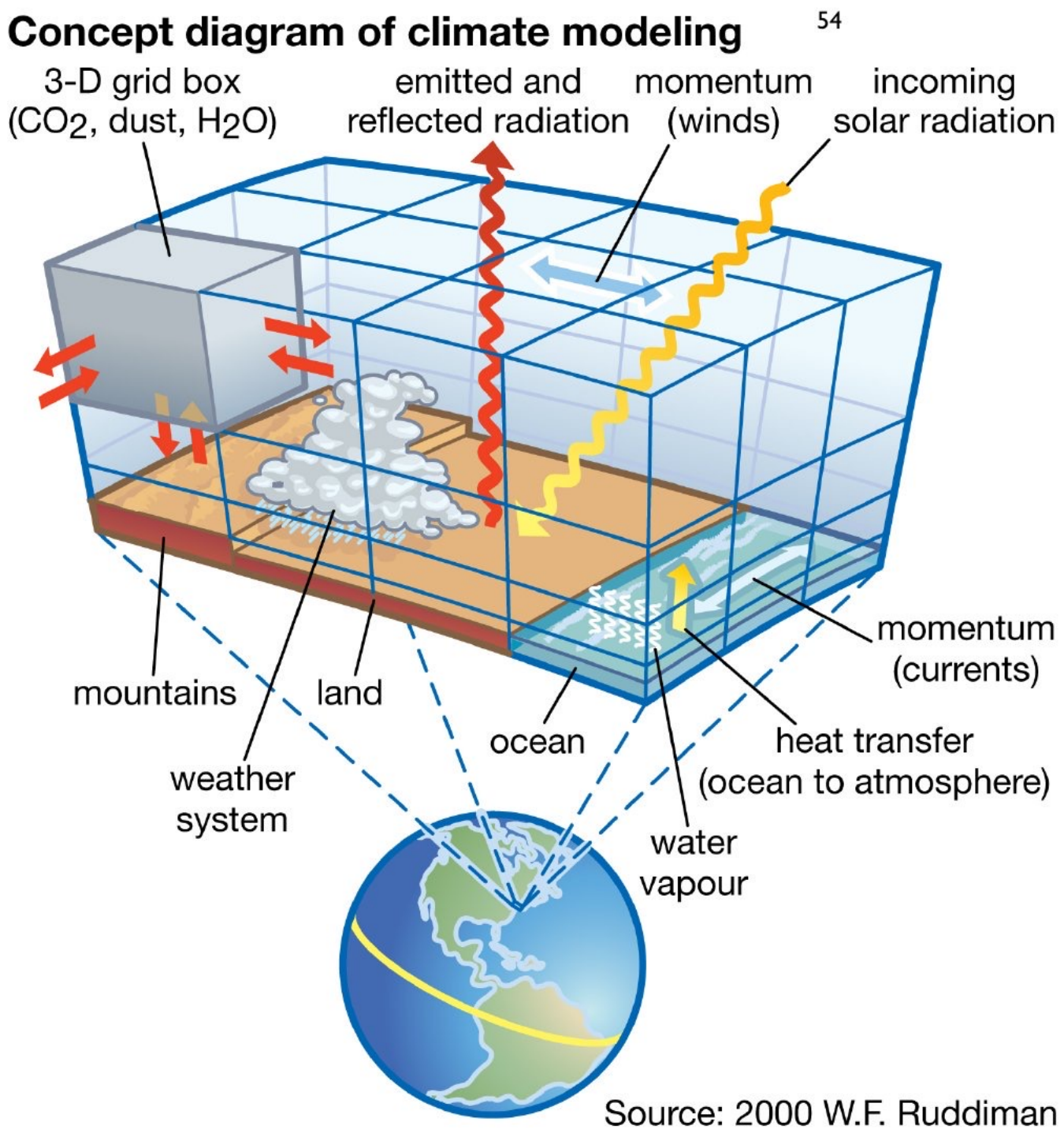
Atribución: ¿POR QUÉ han cambiado las cosas?
Ej.: ¿hace más calor por las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero?

Modelos climáticos

programas informáticos que simulan el estado del sistema climático a partir de forzamientos prescritos (volcanes, GEI, variabilidad solar, etc.)

Herramientas clave para la atribución y el estudio del clima futuro

el tipo de modelo climático más común es el modelo de circulación general (MCG)



https://www.nature.com/articles/s41612-025-00955-8

Hotter

What's Really Warming the World?

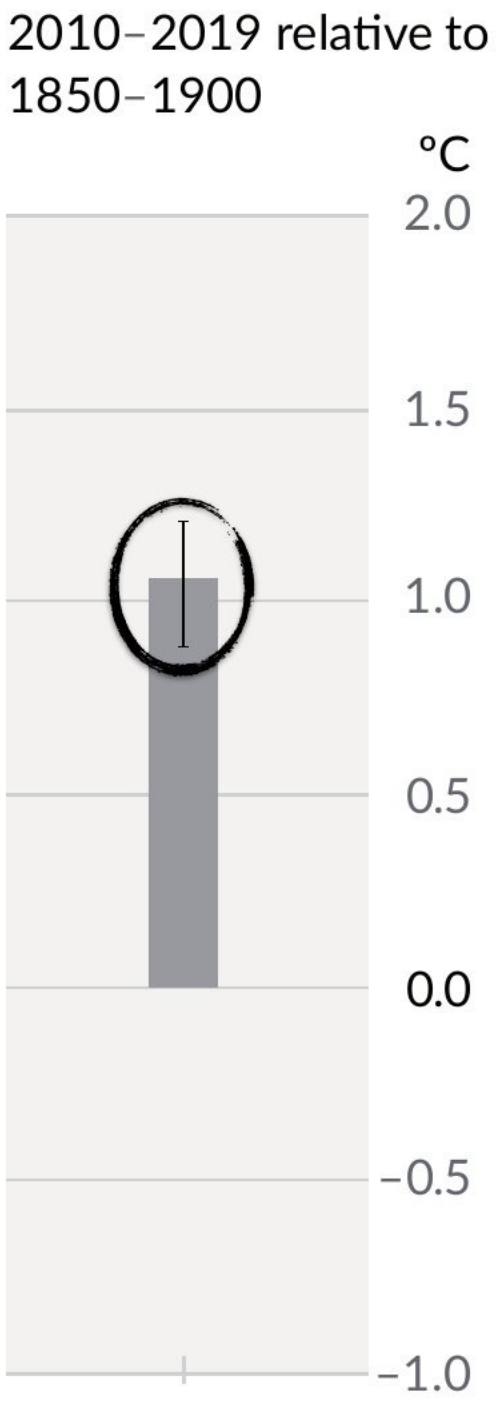
Skeptics of manmade climate change offer various natural causes to explain why the Earth has warmed 1.4 degrees Fahrenheit since 1880. But can these account for the planet's rising temperature? Watch to see how much different factors, both natural and industrial, contribute to global warming, based on findings from NASA's Goddard Institute for Space Studies.

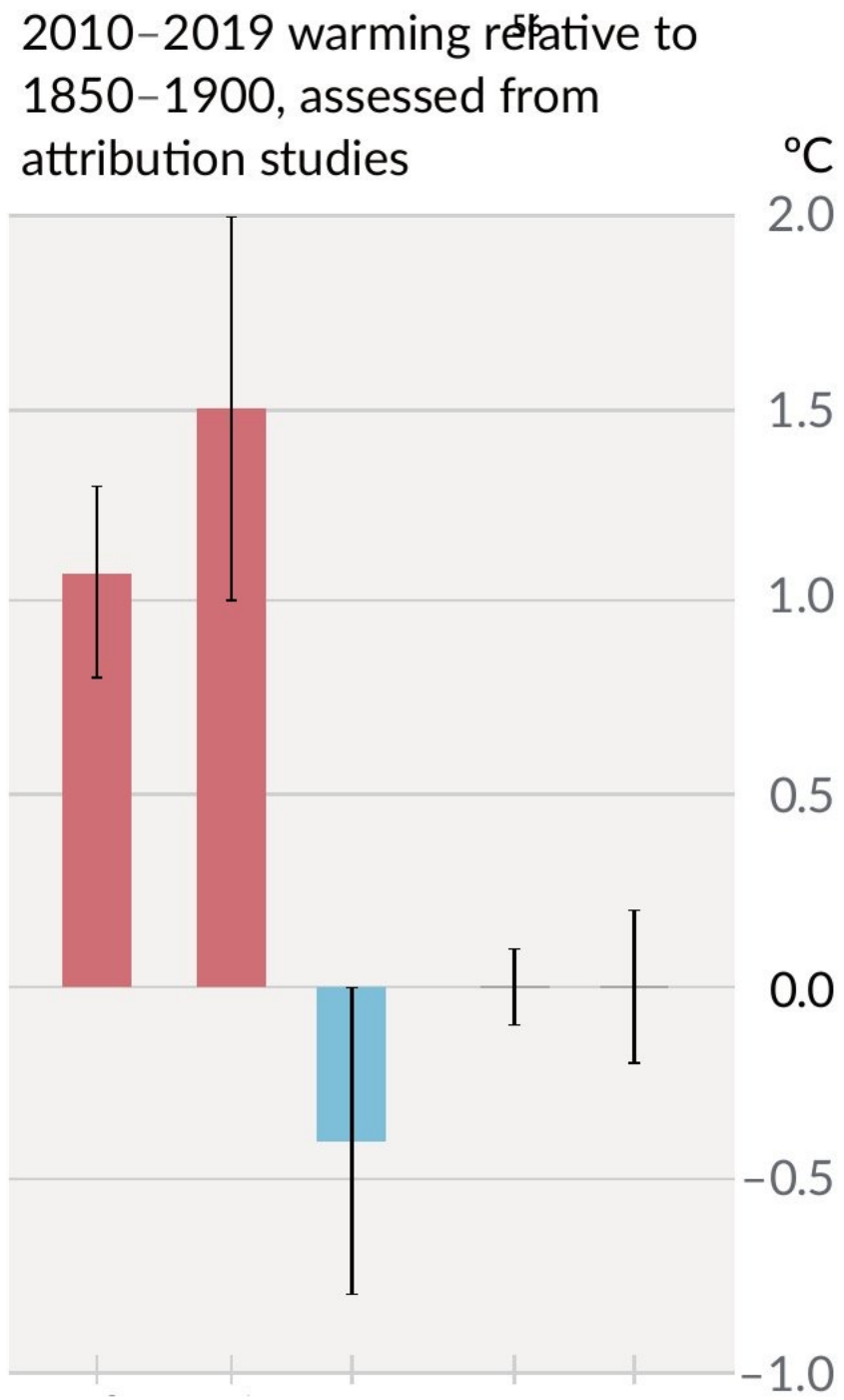


Colder

Based on an interactive by Bloomberg

En 2019, el mundo se había calentado ~1,1 °C desde 1850-1900

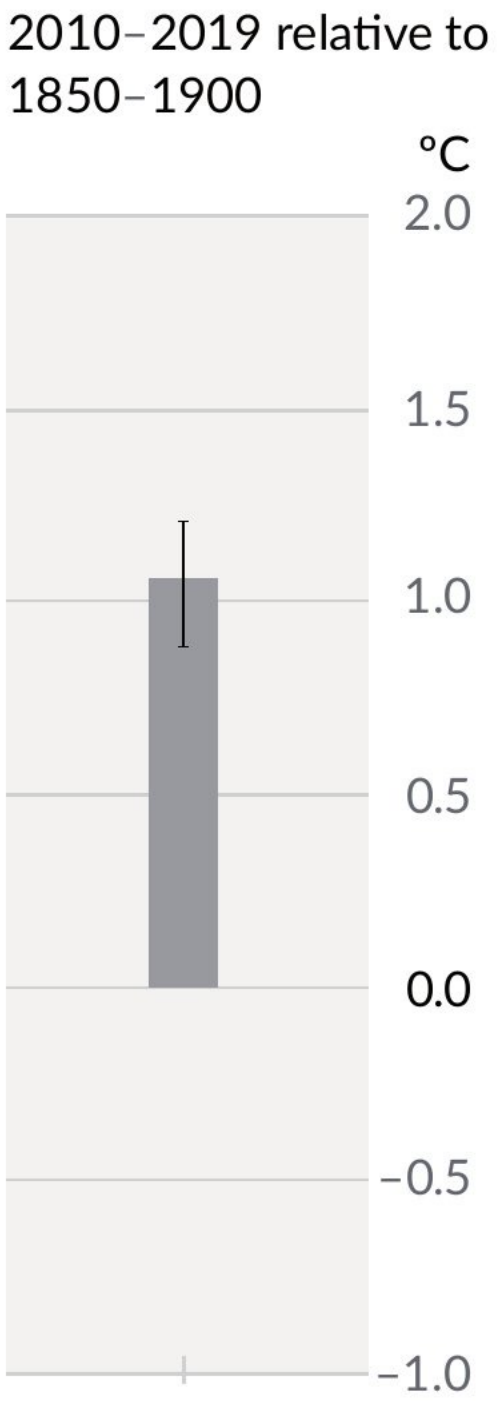


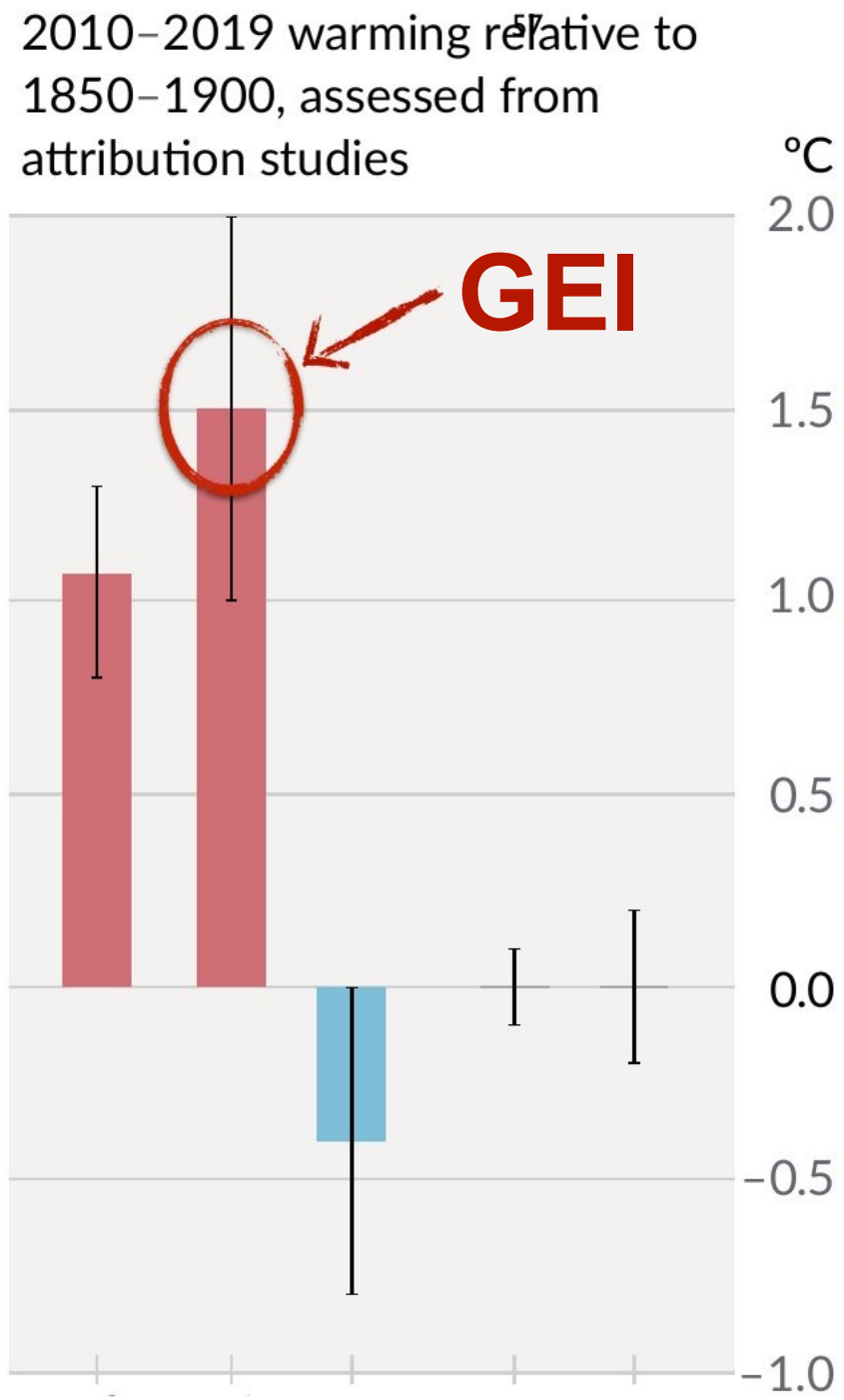


https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf

Los GEI humanos por sí solos habrían calentado el mundo

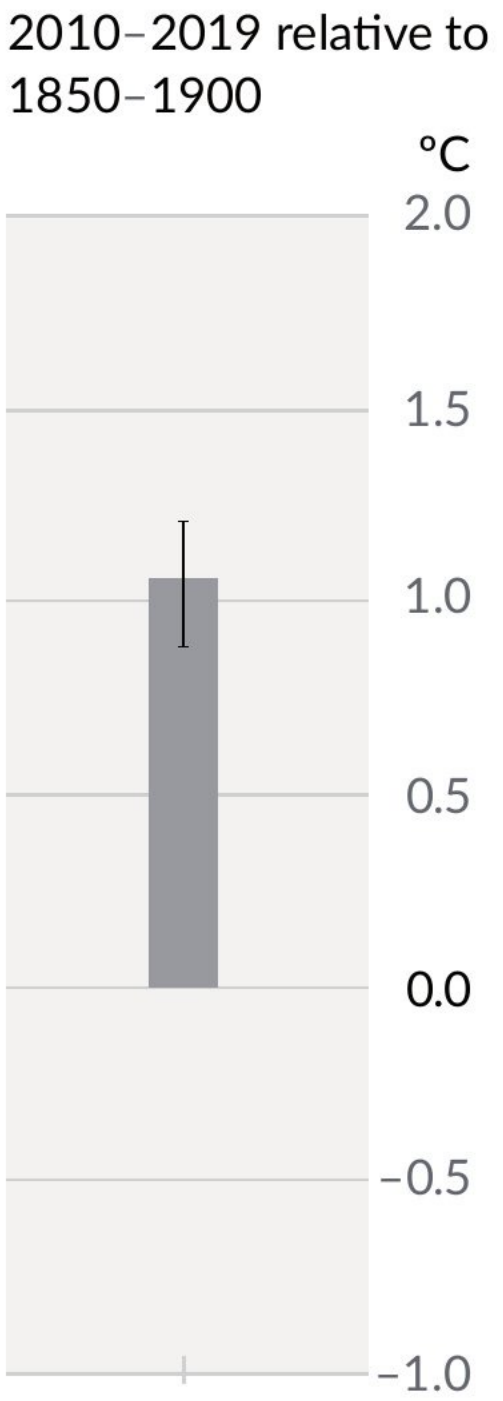
1.5º

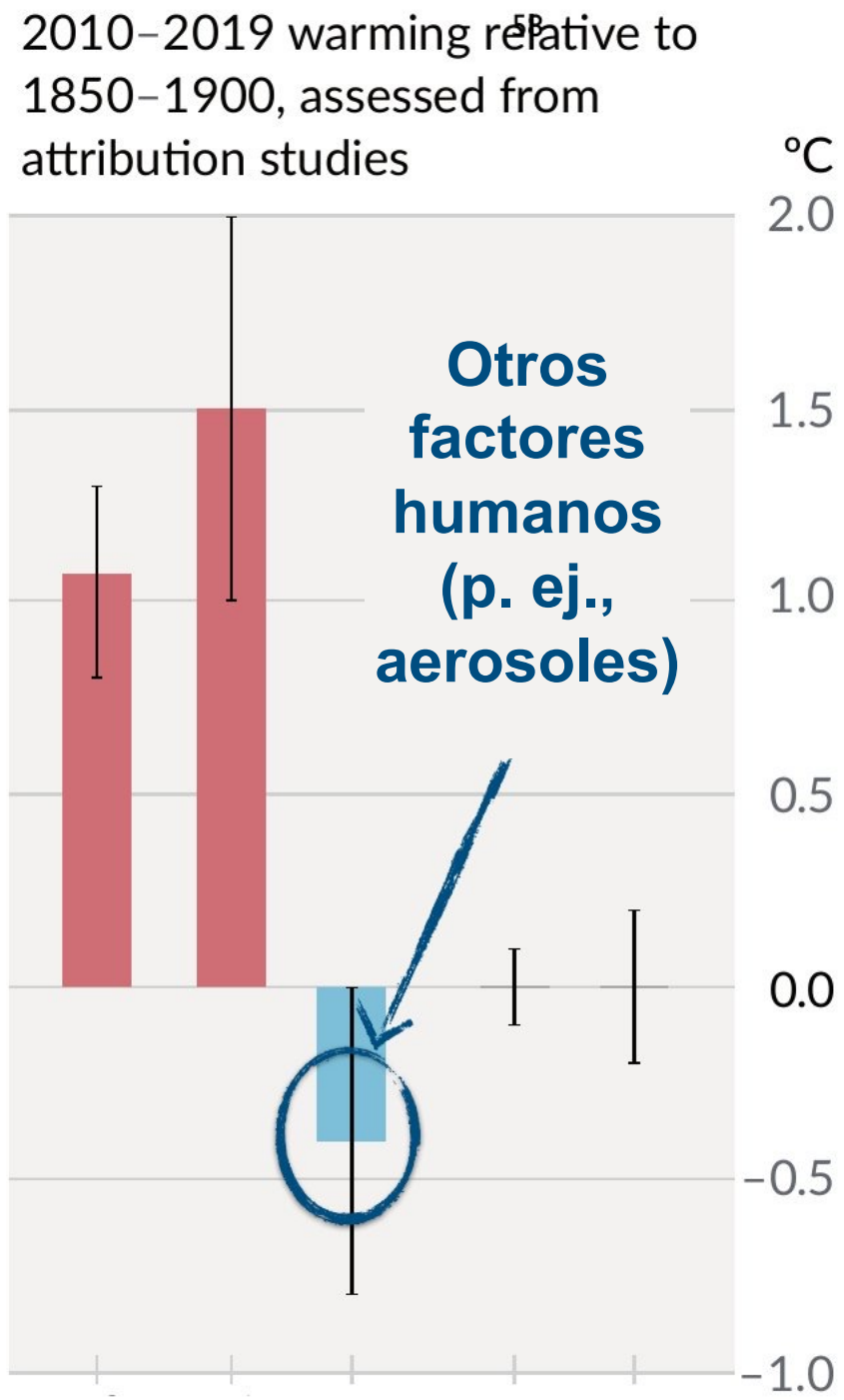




https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf

Pero otros factores humanos (aerosoles, cambio de uso del suelo) contrarrestaron parte de este calentamiento

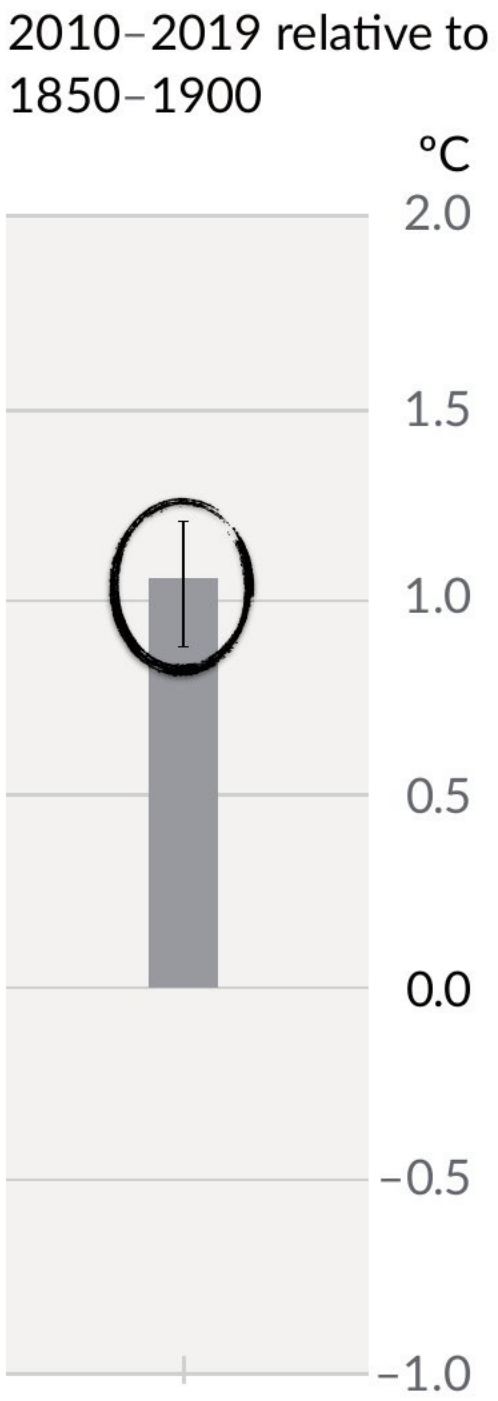


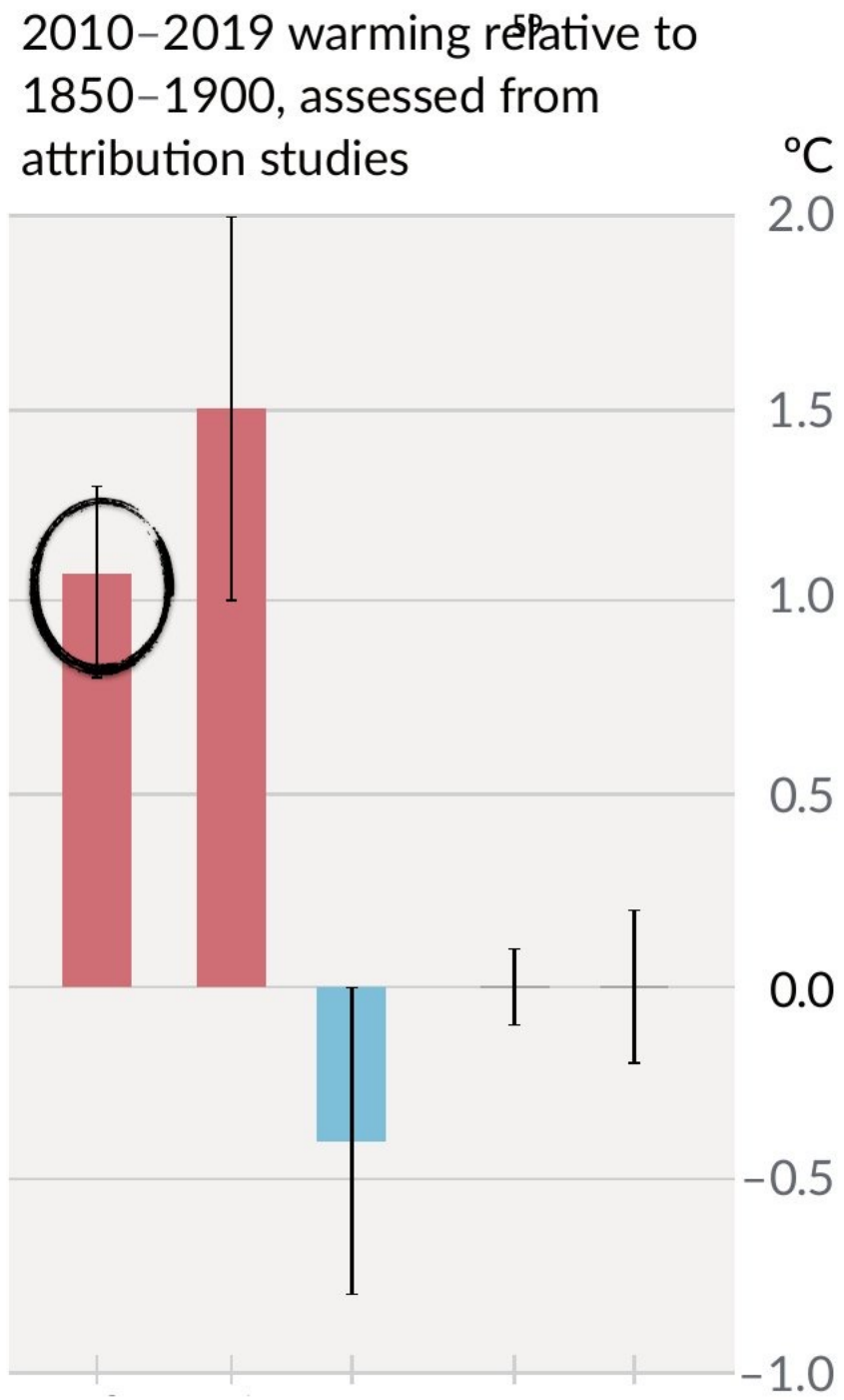


https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf

En conjunto,
todos los
forzamientos humanos
han calentado el

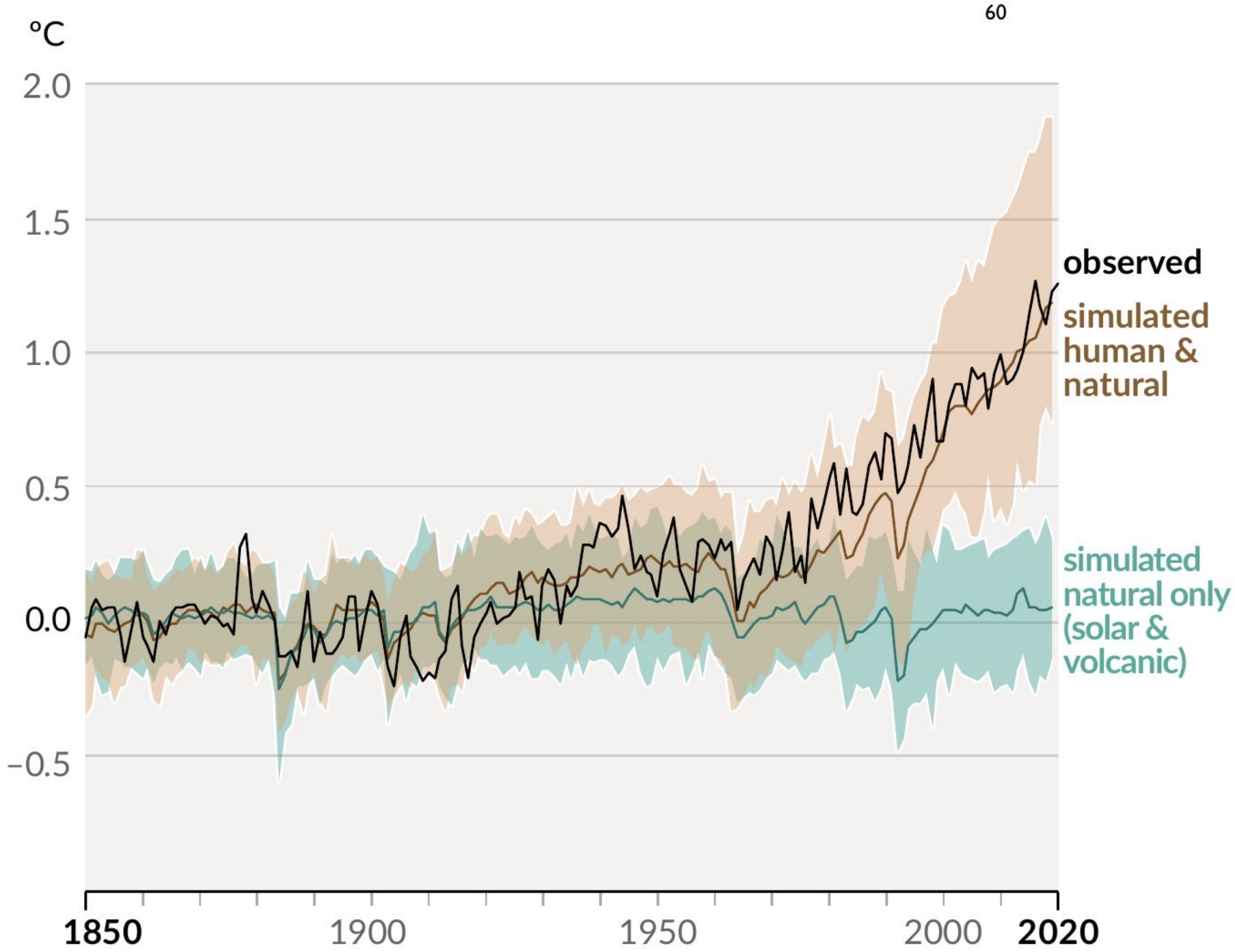
planeta 1,1 C





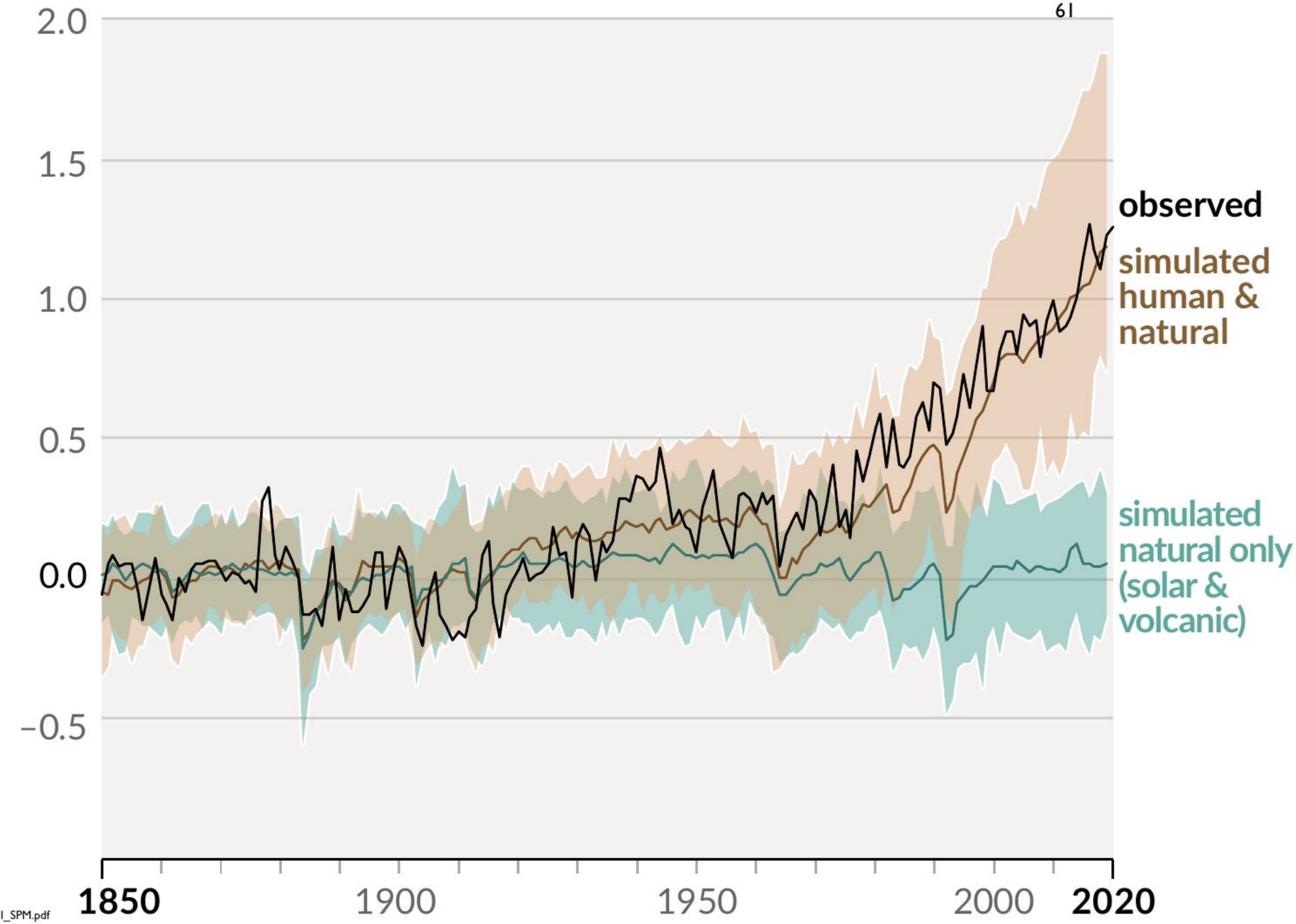
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf

SOLO los modelos que incluyen los factores humanos pueden reproducir aproximadamente el calentamiento observado



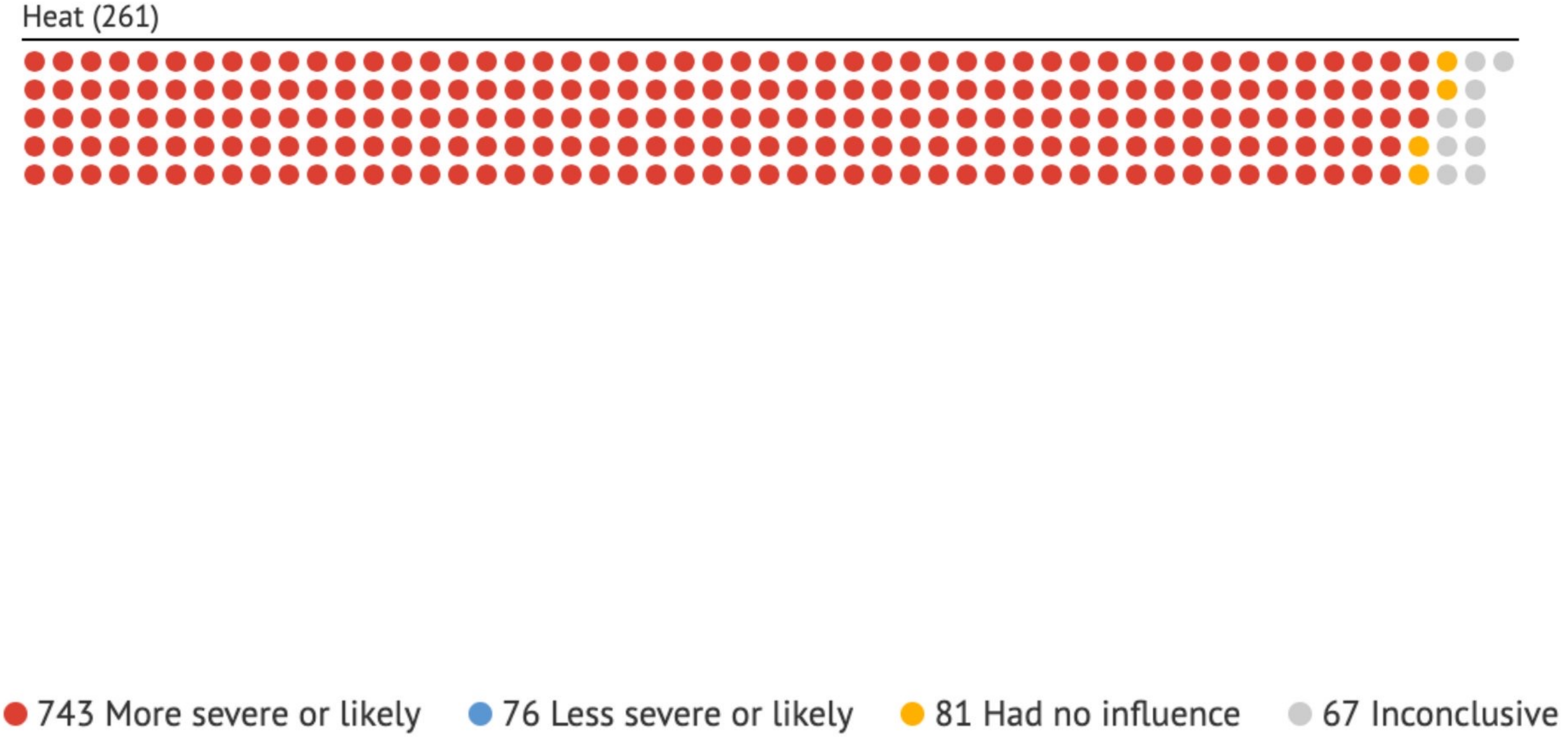
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf

SOLO los modelos que incluyen los factores humanos pueden reproducir aproximadamente el calentamiento observado



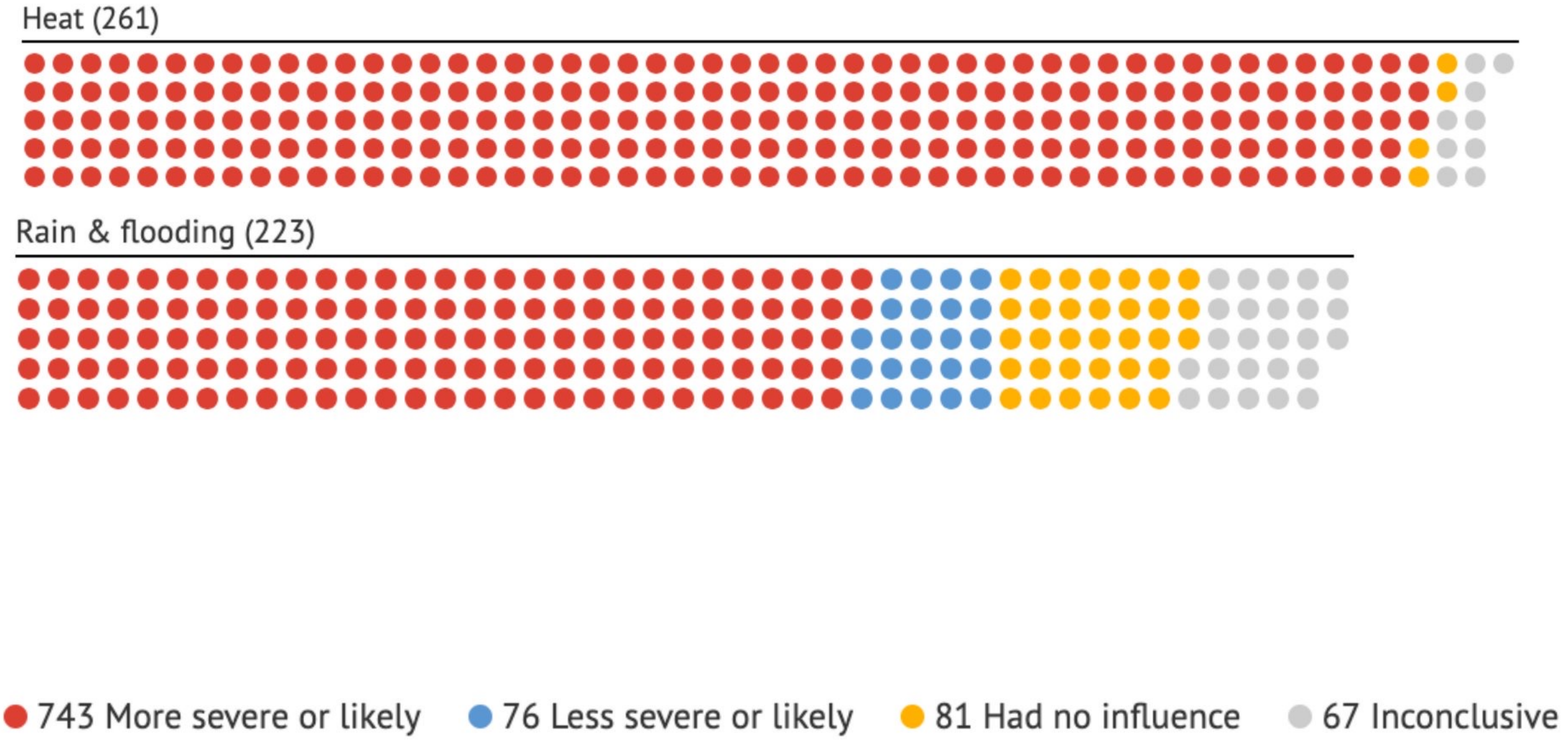
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf

El cambio climático ya está aumentando la gravedad y el riesgo de muchos fenómenos extremos



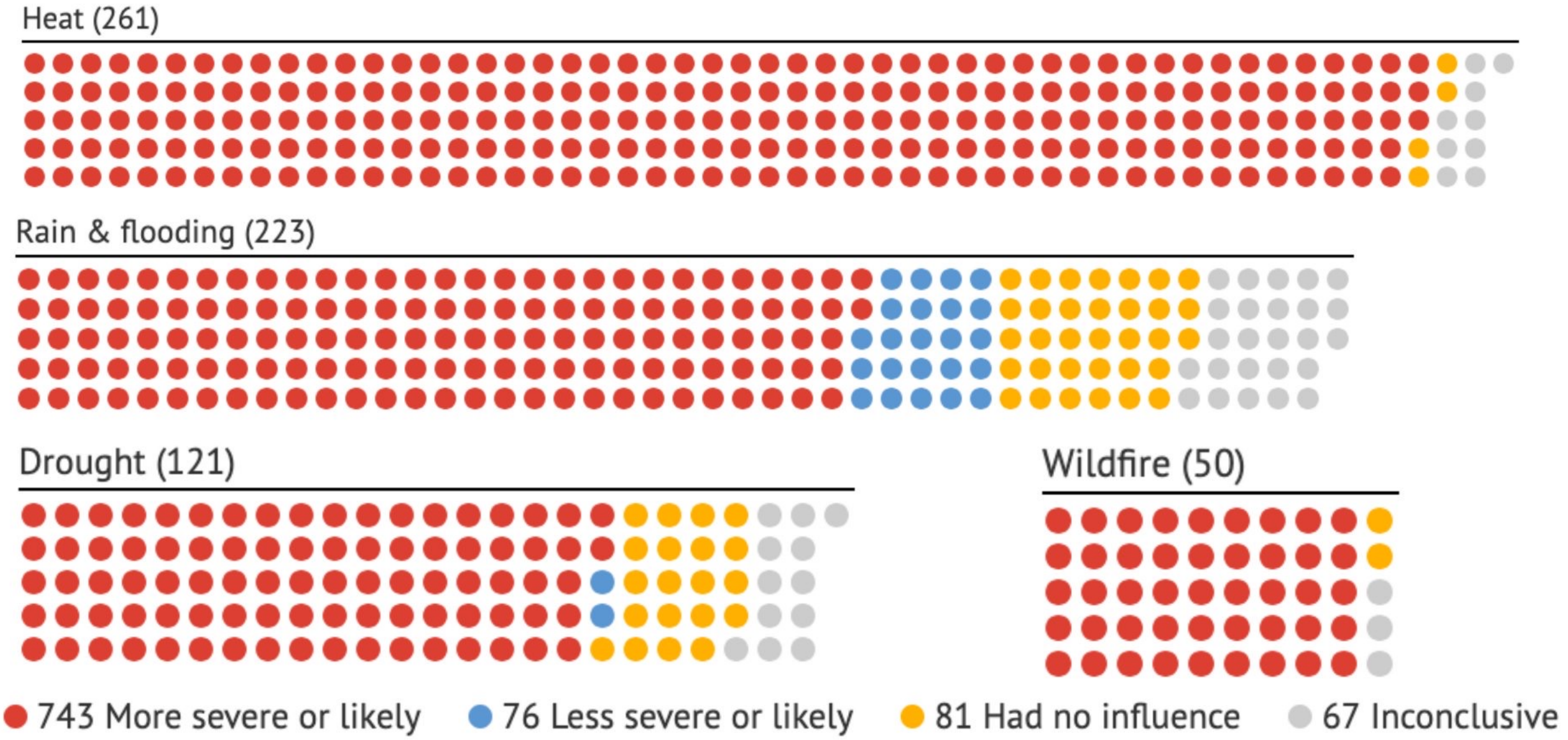
https://interactive.carbonbrief.org/attribution-studies/index.html

El cambio climático ya está aumentando la gravedad y el riesgo de muchos fenómenos extremos



https://interactive.carbonbrief.org/attribution-studies/index.html

El cambio climático ya está aumentando la gravedad y el riesgo de muchos fenómenos extremos



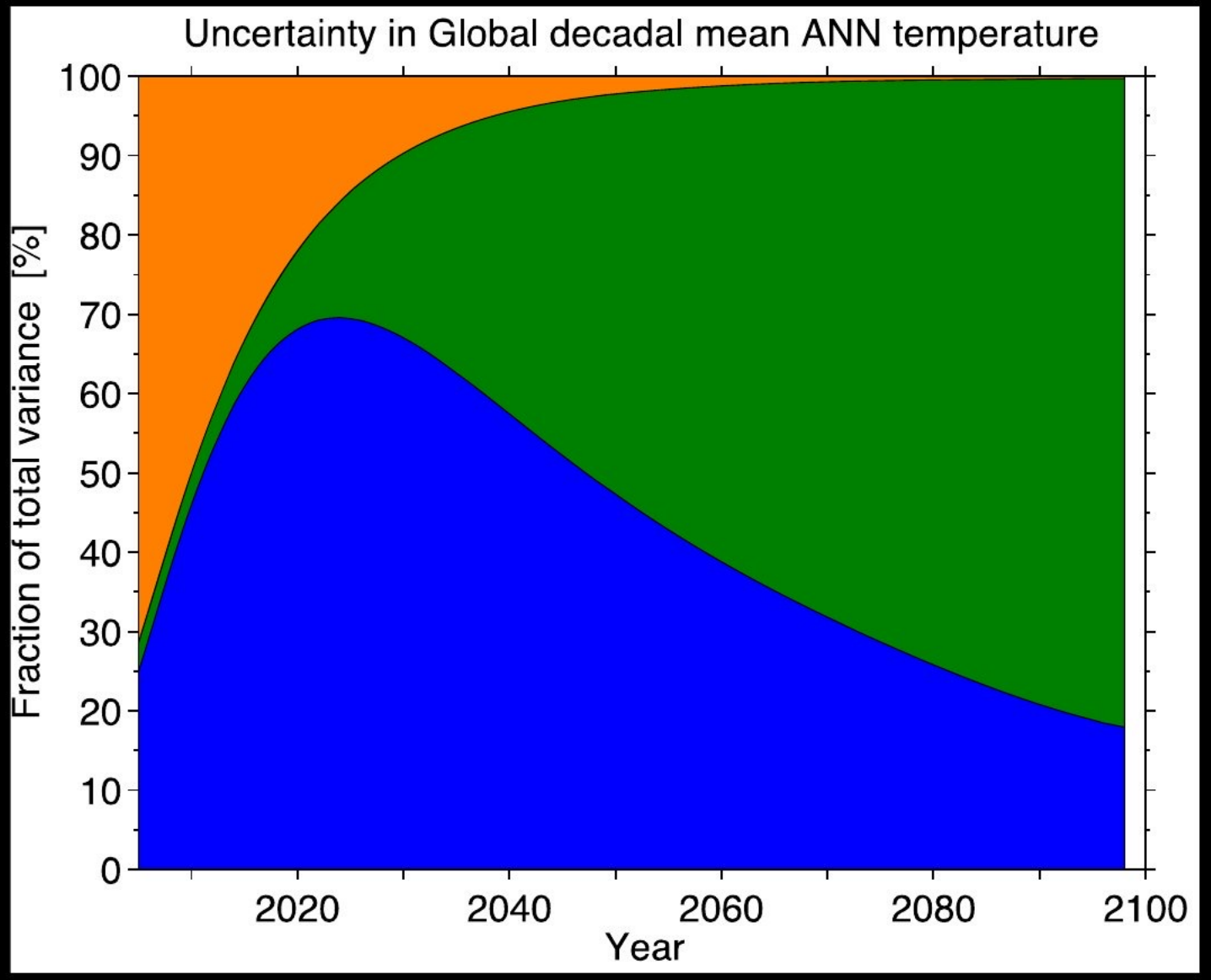
https://interactive.carbonbrief.org/attribution-studies/index.html

¿Cómo será el futuro?

Los modelos climáticos

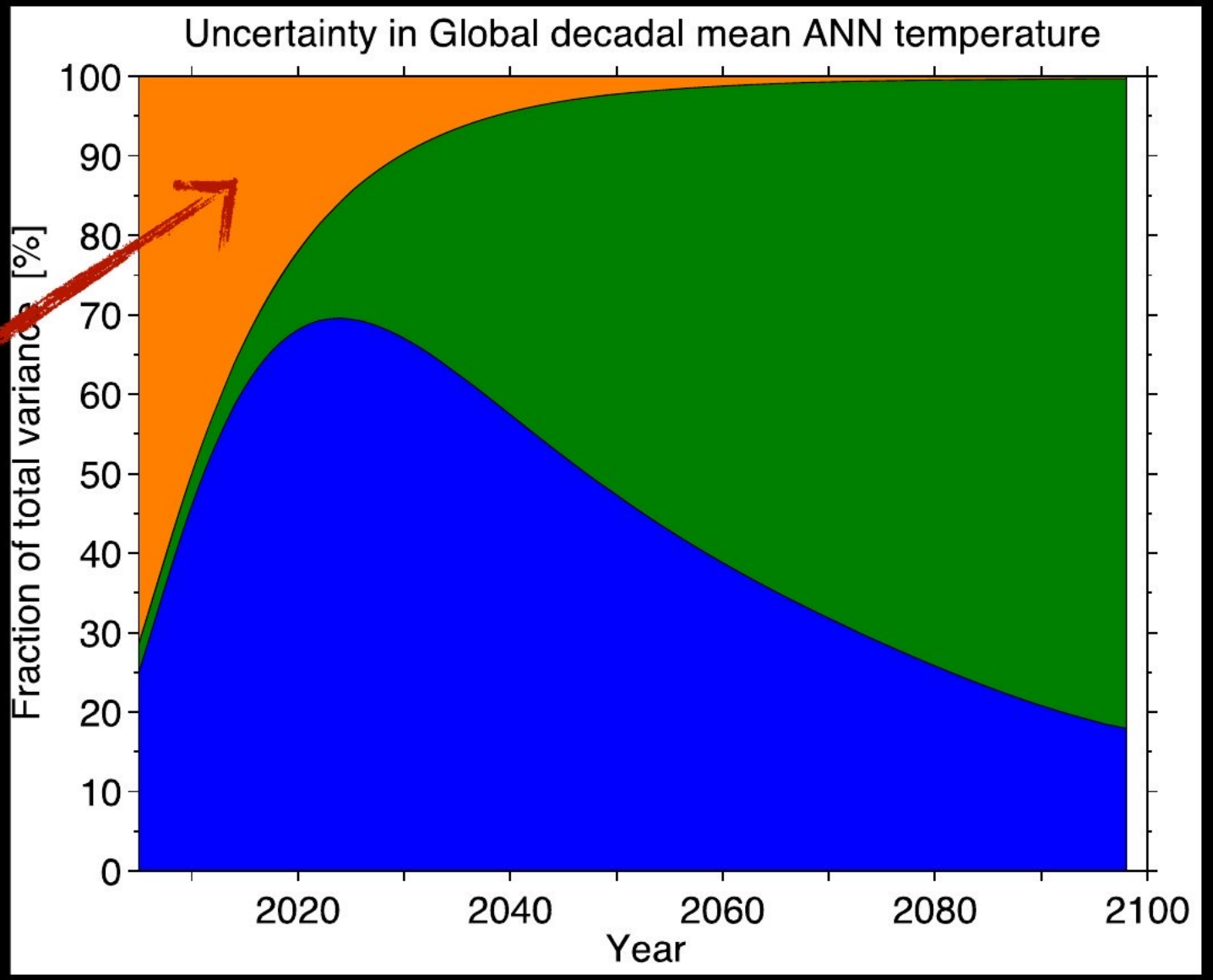
son nuestra herramienta principal
Muchas fuentes

de incertidumbre
La incertidumbre
NO significa que
no sepamos nada



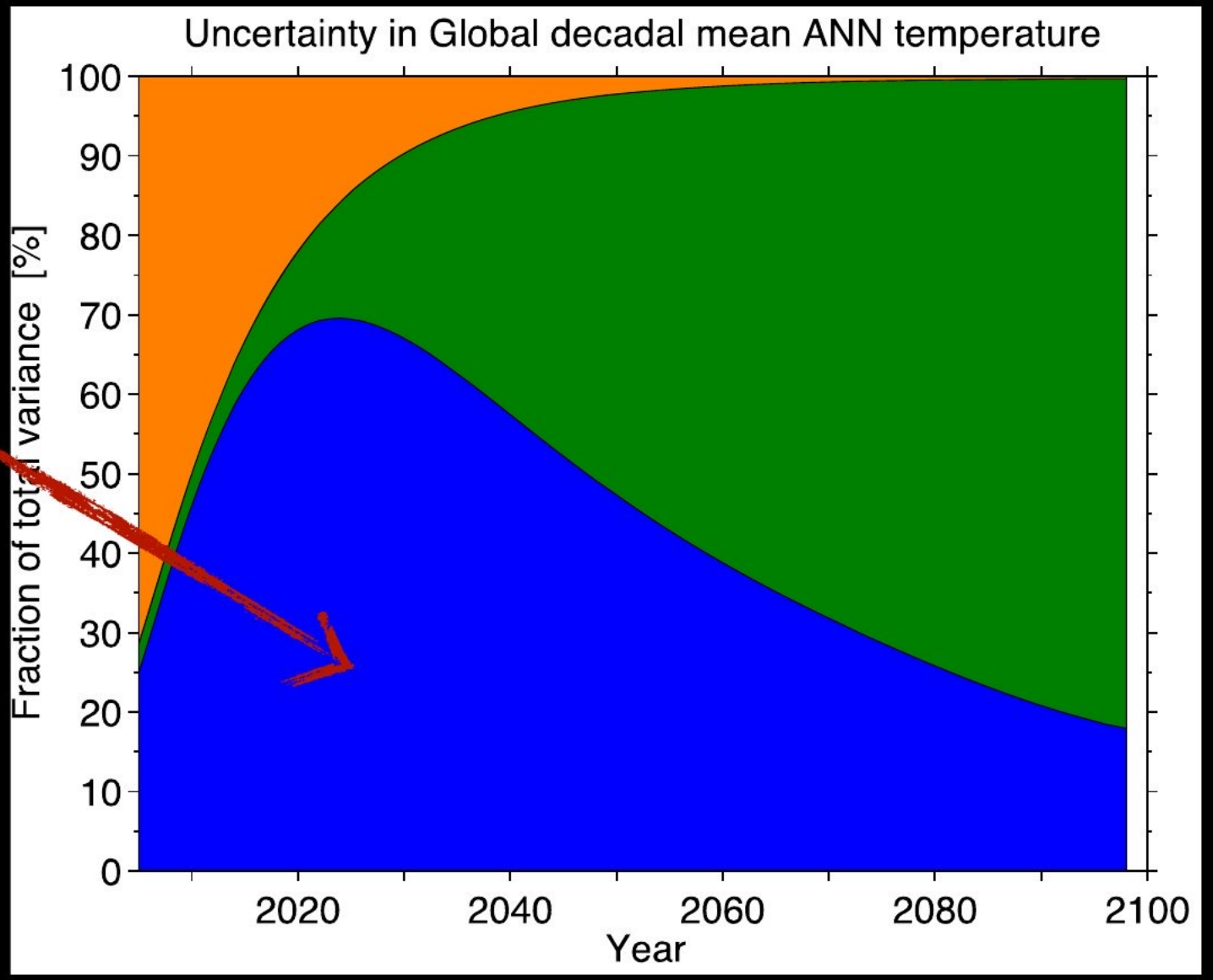
Las principales incertidumbres cambian con el tiempo

Variaciones naturales del tiempo y del clima (variabilidad interna)



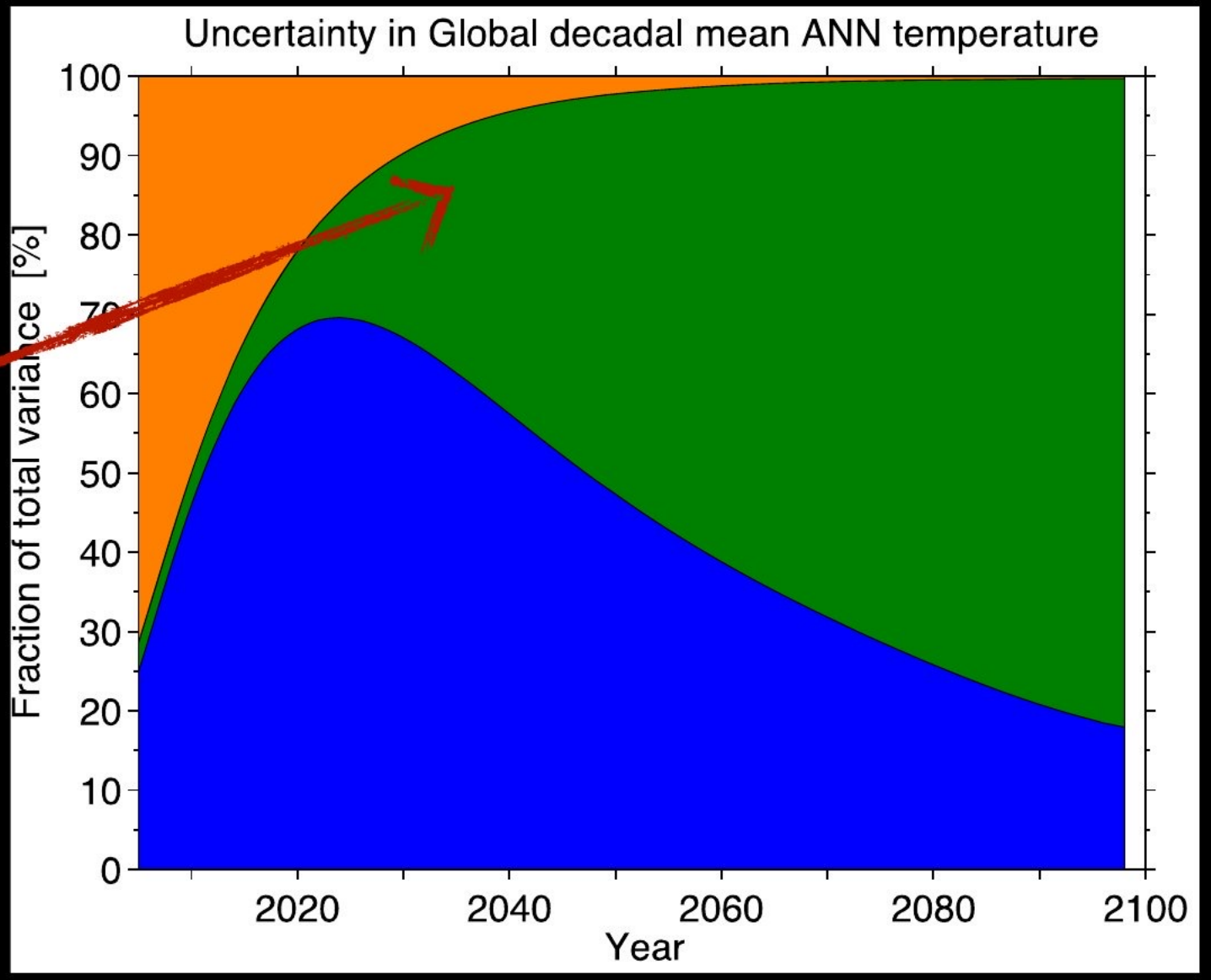
Las principales incertidumbres cambian con el tiempo

Cuánto coinciden nuestros modelos (incertidumbre estructural)



Las principales incertidumbres cambian con el tiempo

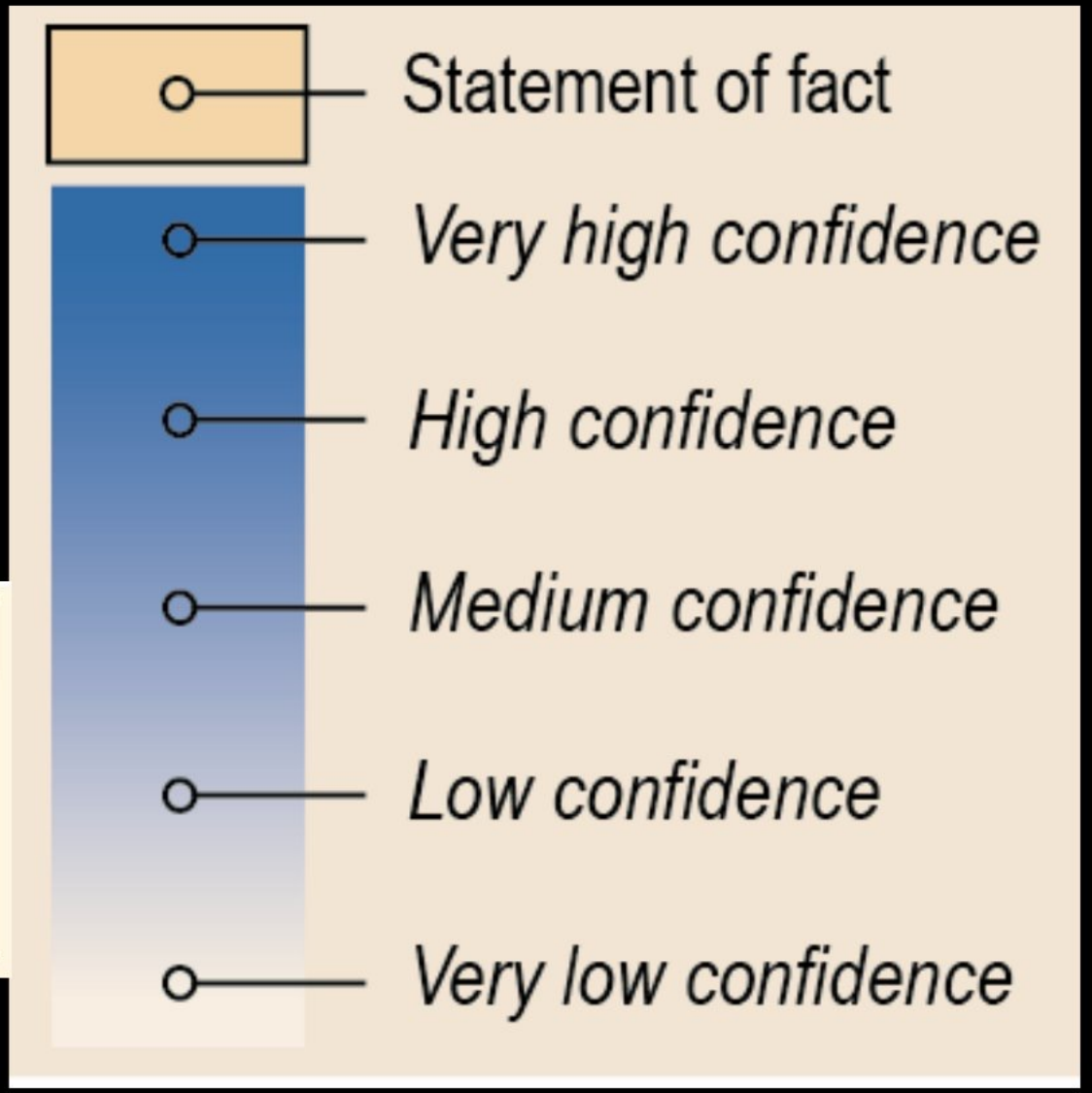
Qué trayectoria de emisiones de GEI sigamos (incertidumbre de escenario)



Confianza

«En los informes del IPCC, la confianza se expresa cualitativamente e indica nuestro grado de certeza sobre la validez de los resultados científicos. Depende del tipo, la cantidad, la calidad y la coherencia de la evidencia»

Confidence Terminology	Degree of confidence in being correct
Very high confidence	At least 9 out of 10 chance
High confidence	About 8 out of 10 chance
Medium confidence	About 5 out of 10 chance
Low confidence	About 2 out of 10 chance
Very low confidence	Less than 1 out of 10 chance



https://theconversation.com/lost-in-translation-confidence-and-certainty-in-climate-science-17181

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-1/

Probabilidad

«La certeza de los resultados científicos se describe luego mediante probabilidades. Los resultados se evalúan de forma probabilística a partir de observaciones, resultados de modelos o juicio experto.»

Allison Crimmins:

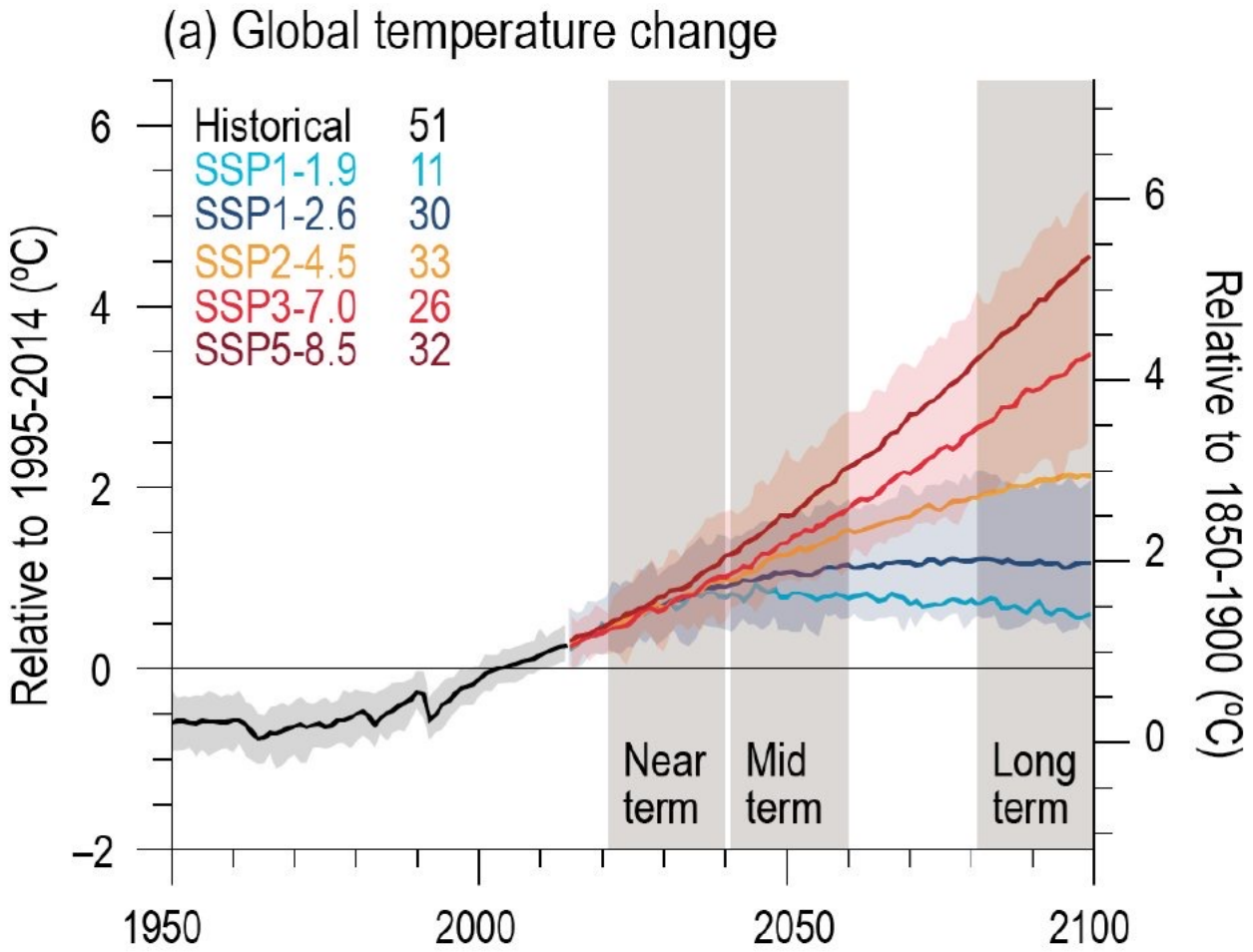
«Cuando mira un producto en Amazon, el número de estrellas es la probabilidad y el número de reseñas es la confianza.»

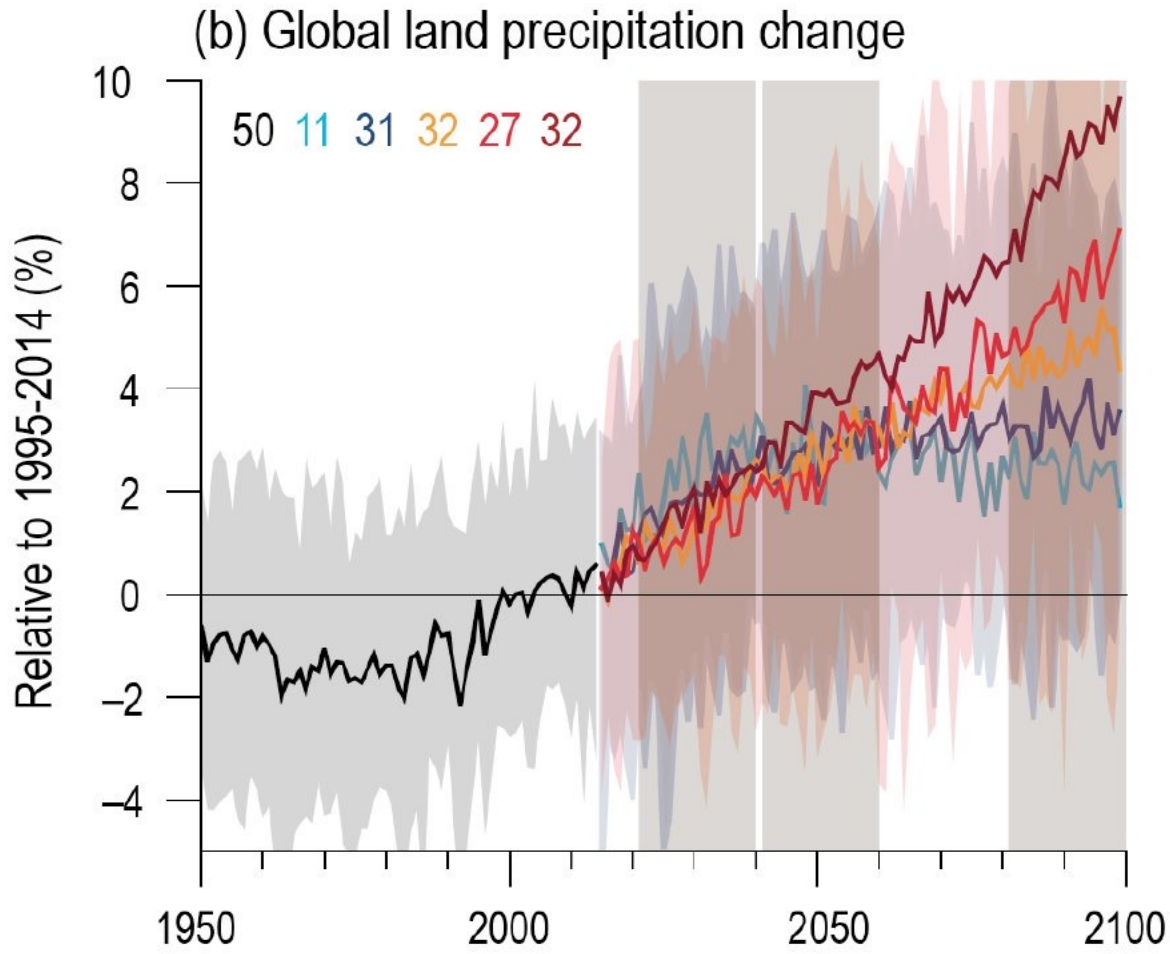
Likelihood	Outcome probability
Virtually certain	99-100%
Extremely likely	95-100%
Very likely	90-100%
Likely	66-100%
More likely than not	>50-100%
About as likely as not	33-66%
Unlikely	0-33%
Very unlikely	0-10%
Extremely unlikely	0-5%
Exceptionally unlikely	0-1%

https://theconversation.com/lost-in-translation-confidence-and-certainty-in-climate-science-17181

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-1/

Temperatura y precipitación (tierra)





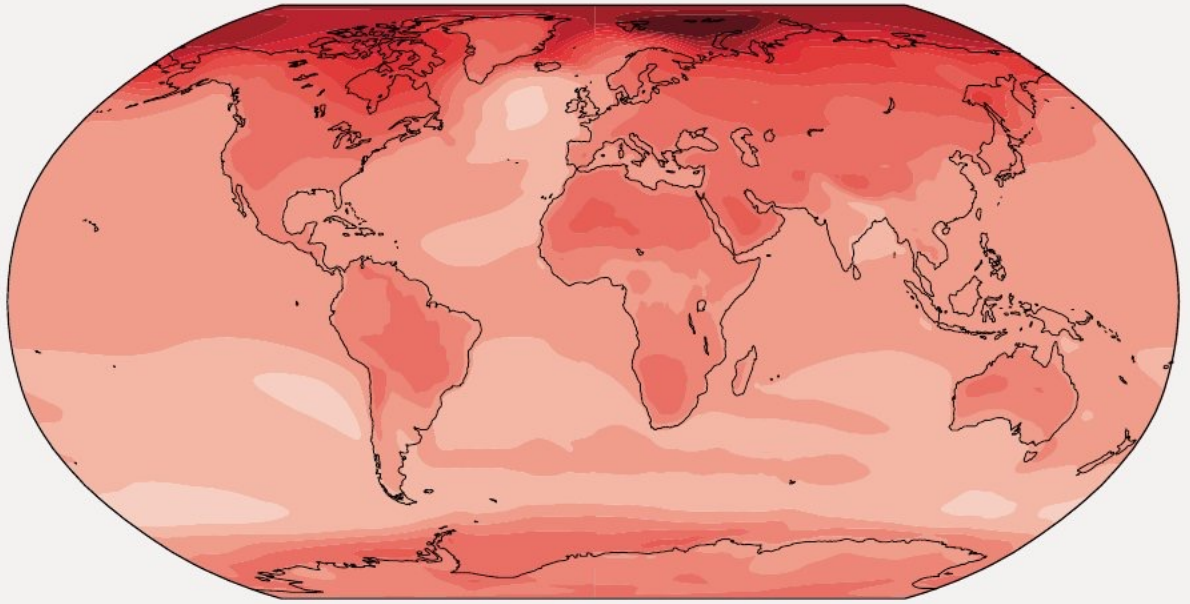
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/figures/chapter-4/figure-4-2

Temperatura

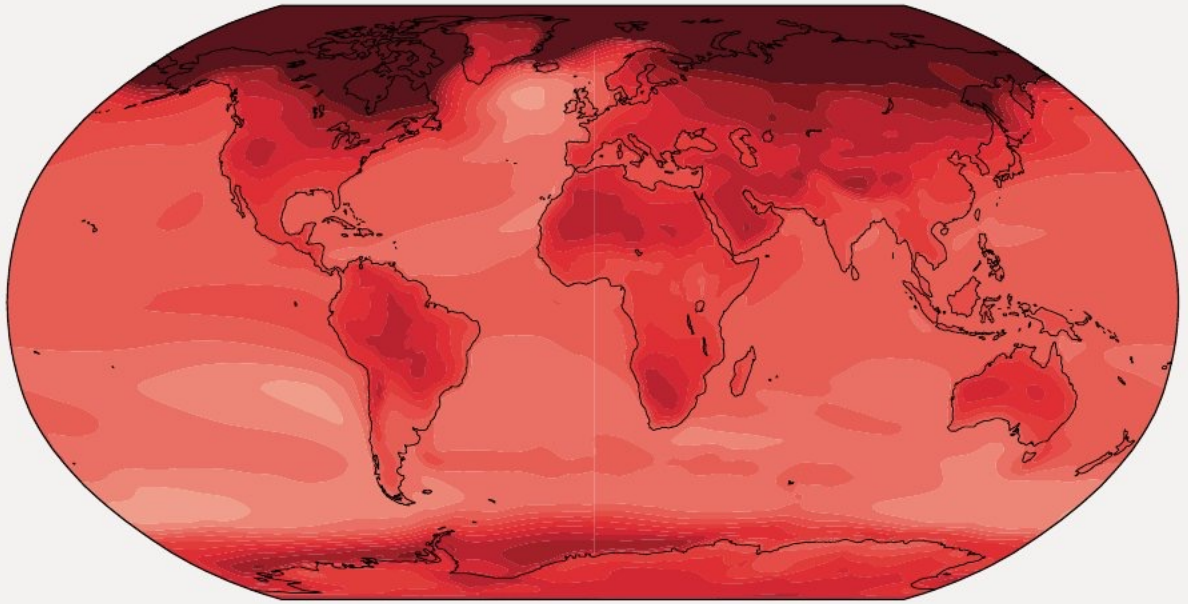
Generalizada, unidireccional;
respuesta robusta de los modelos;

Coherente con los patrones observados
(p. ej. mayor calentamiento sobre tierra,
amplificación polar)

Simulated change at **2°C** global warming



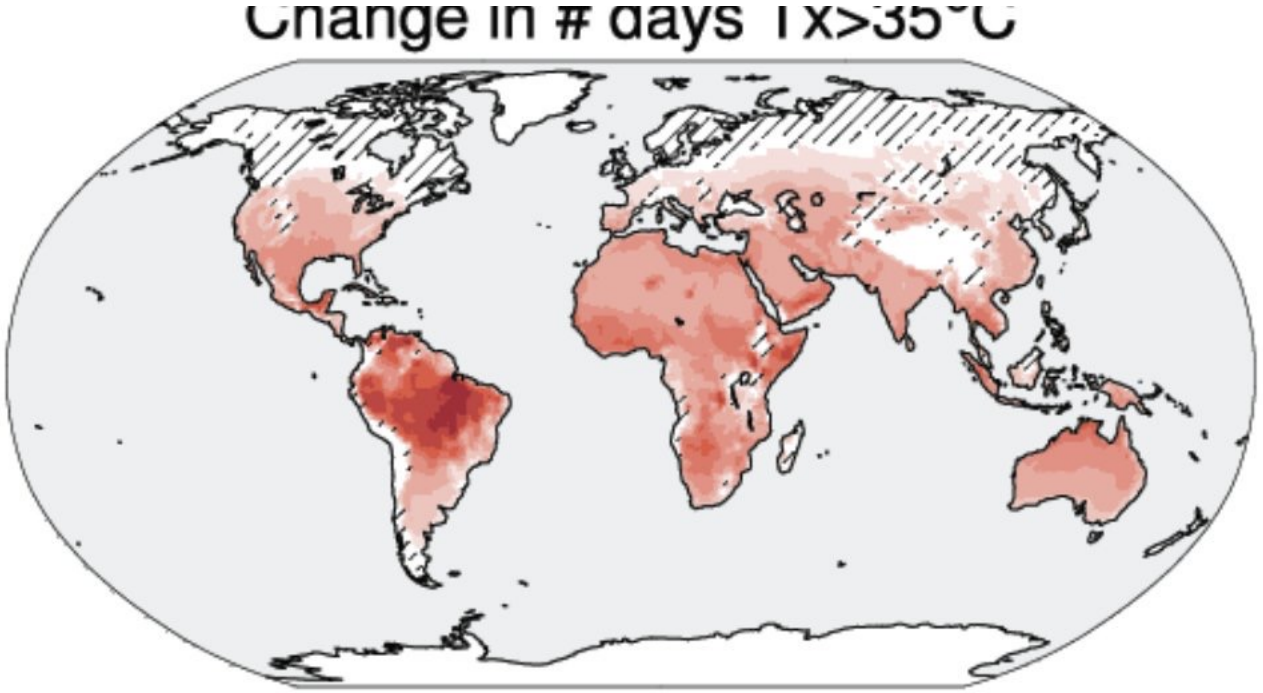
Simulated change at **4°C** global warming

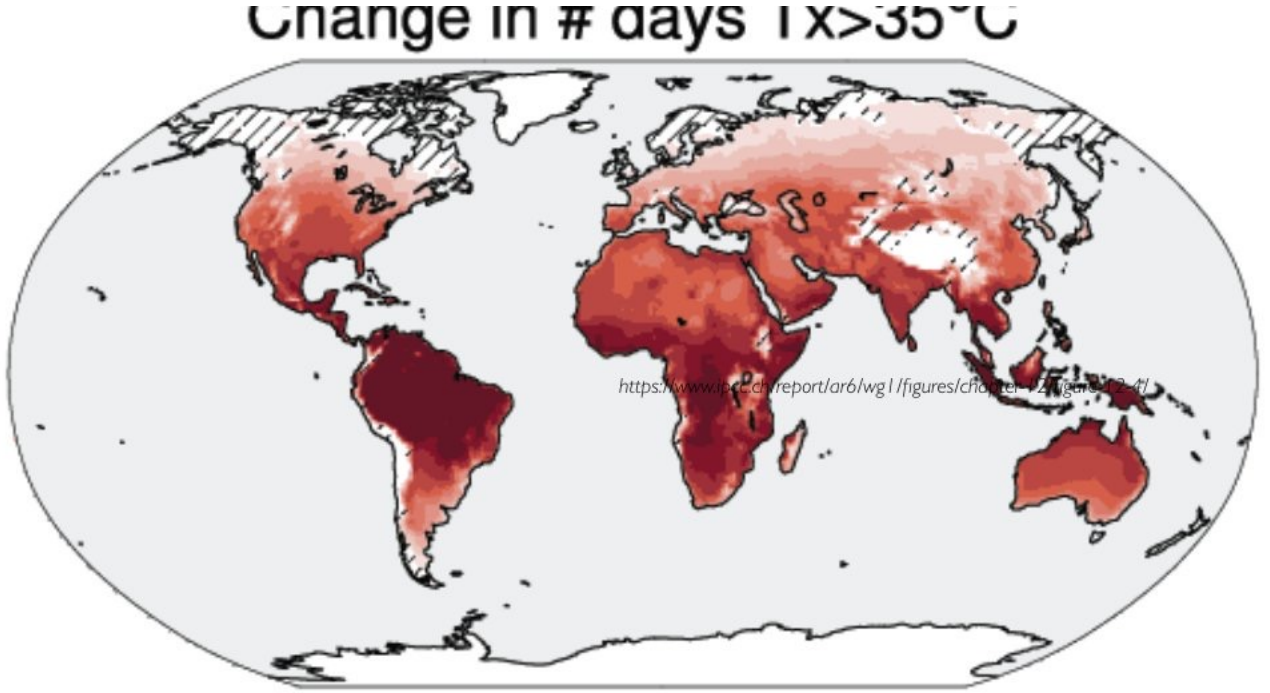


https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM



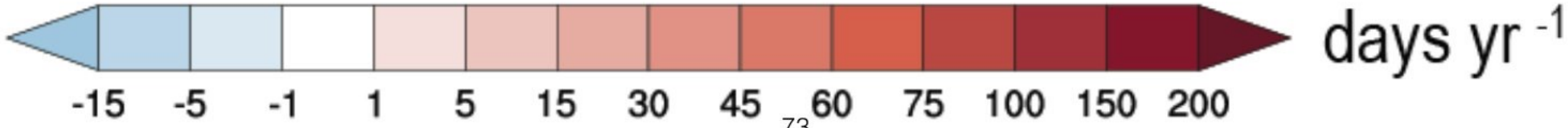
Temperaturas extremas





Escenario de bajo calentamiento
(2080-2100)

Escenario de alto calentamiento
(2080-2100)



Cambios en los extremos de calor de 10 años

Calor extremo: evento de 10 años | Evento de 10 años | Evento de 50 años

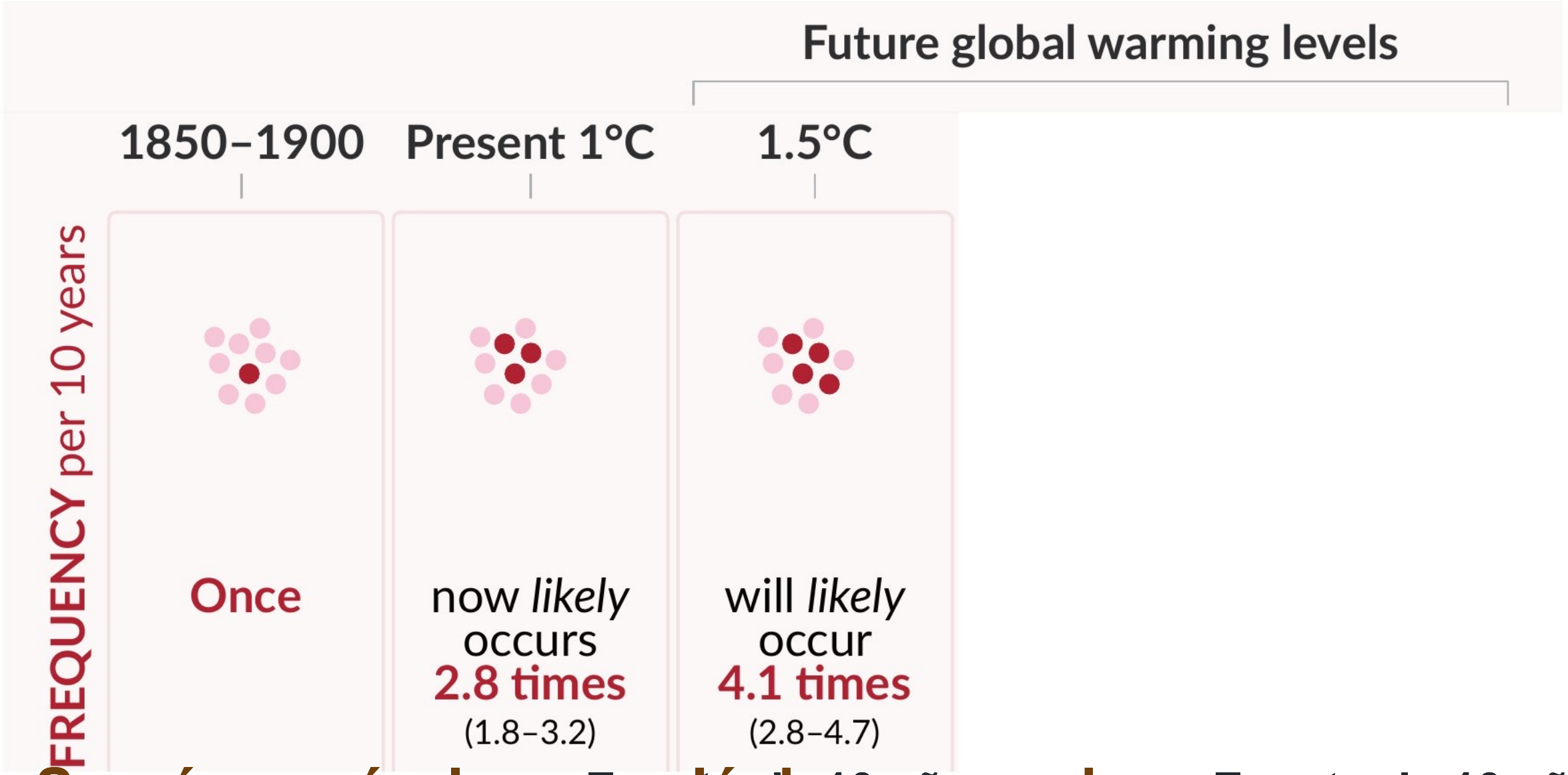


Sequías agrícolas y ecológicas en regiones que se secan

Evento de 10 años | Evento de 10 años

Cambios en los extremos de calor de 10 años

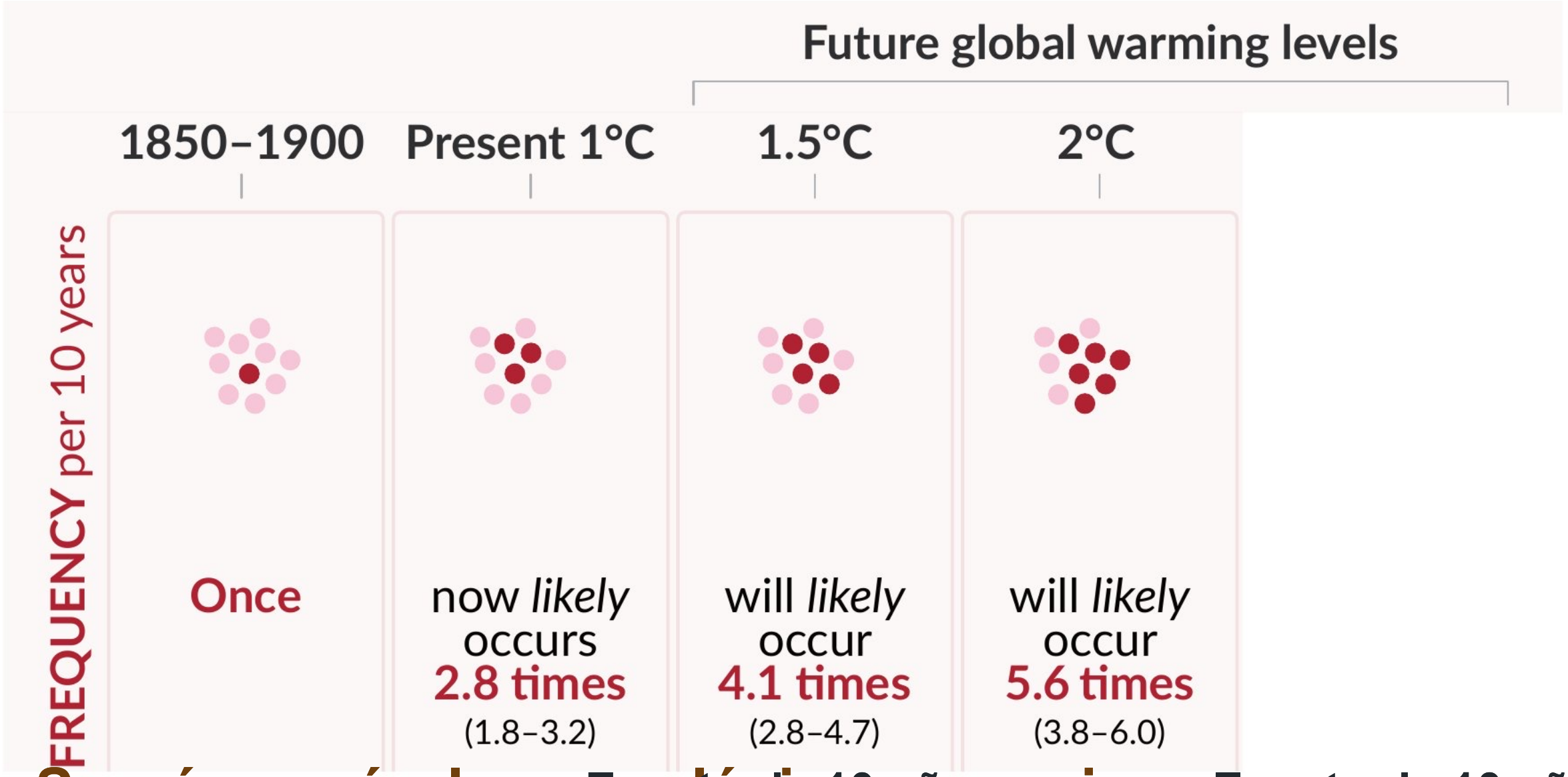
Calor extremo de 10 años | Evento de 10 años | Evento de 50 años



Sequías agrícolas y ecológicas en regiones que se secan

Cambios en los extremos de calor de 10 años

Calor extremo: evento de 10 años Evento de 10 años Evento de 50 años

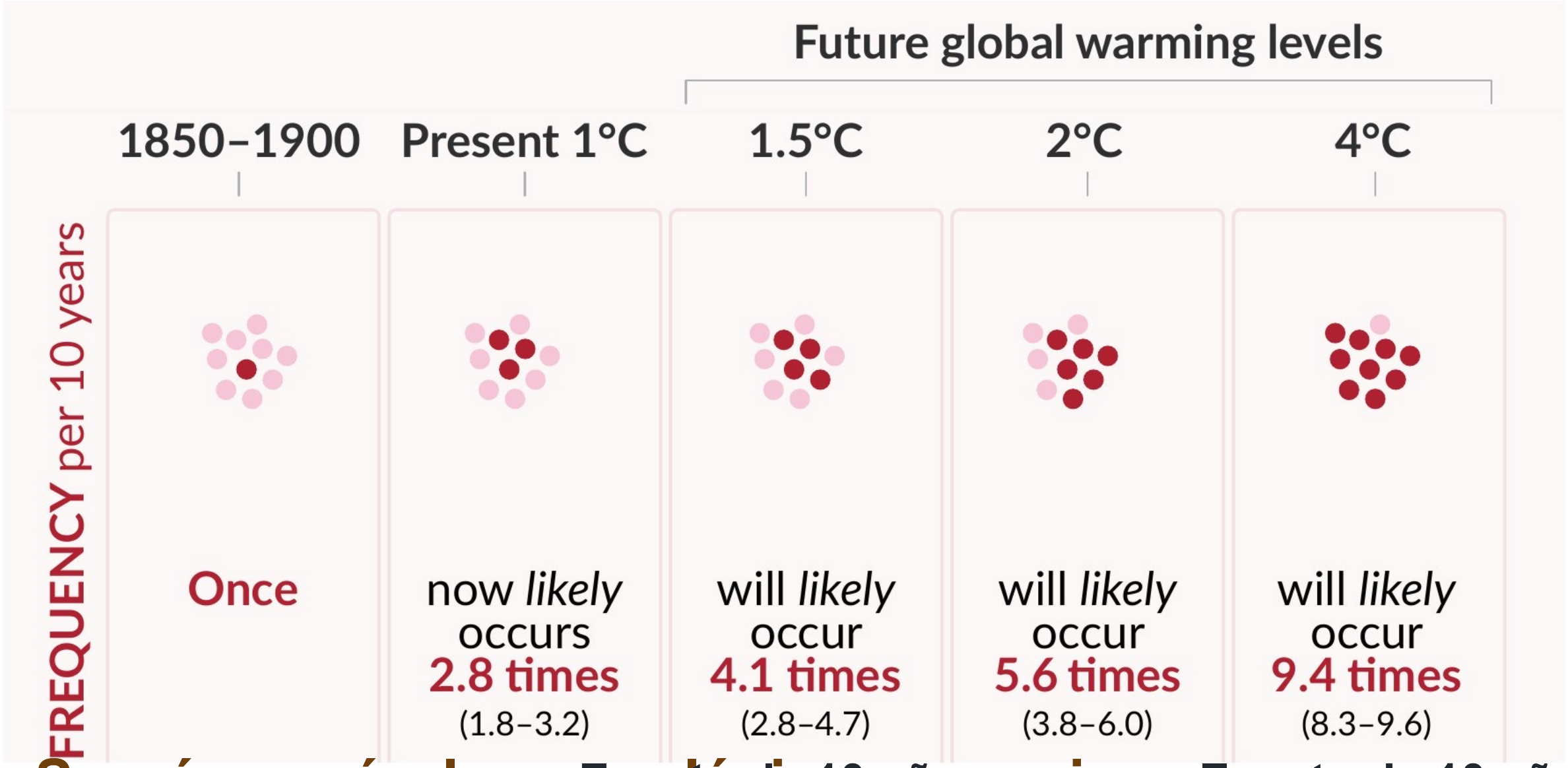


Sequías agrícolas y ecológicas en regiones que se secan

Evento de 10 años Evento de 10 años

Cambios en los extremos de calor de 10 años

Calor extremo: evento de 10 años Evento de 10 años Evento de 50 años



Sequías agrícolas y ecológicas en regiones que se secan Evento de 10 años Evento de 10 años

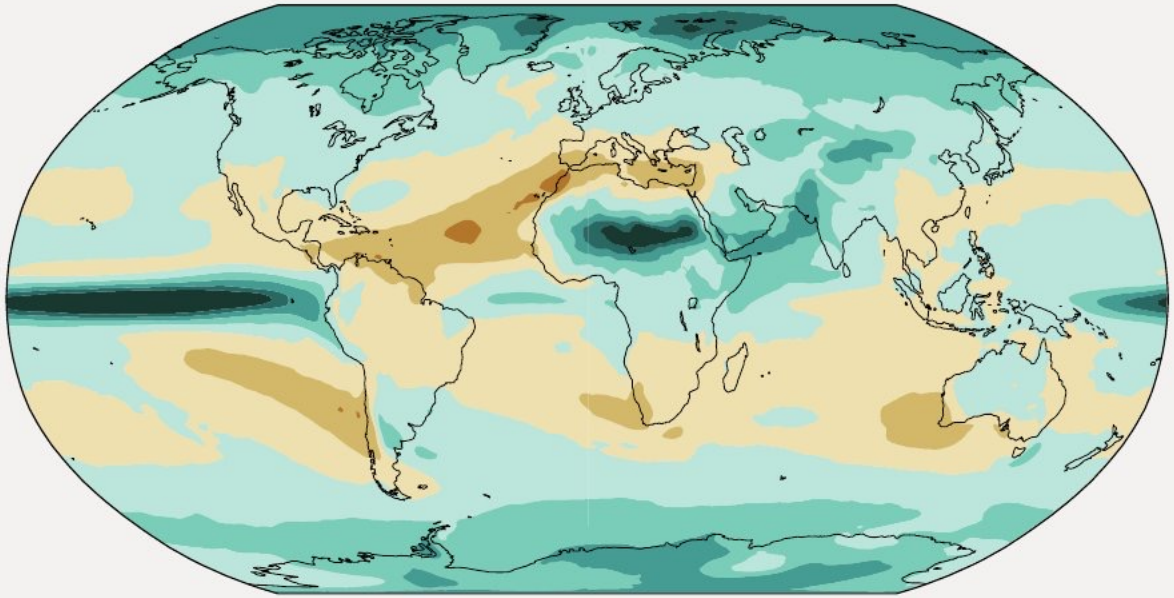
Precipitación (lluvia + nieve)

Resultados robustos en algunas zonas: latitudes altas más húmedas, subtrópicos más secos;

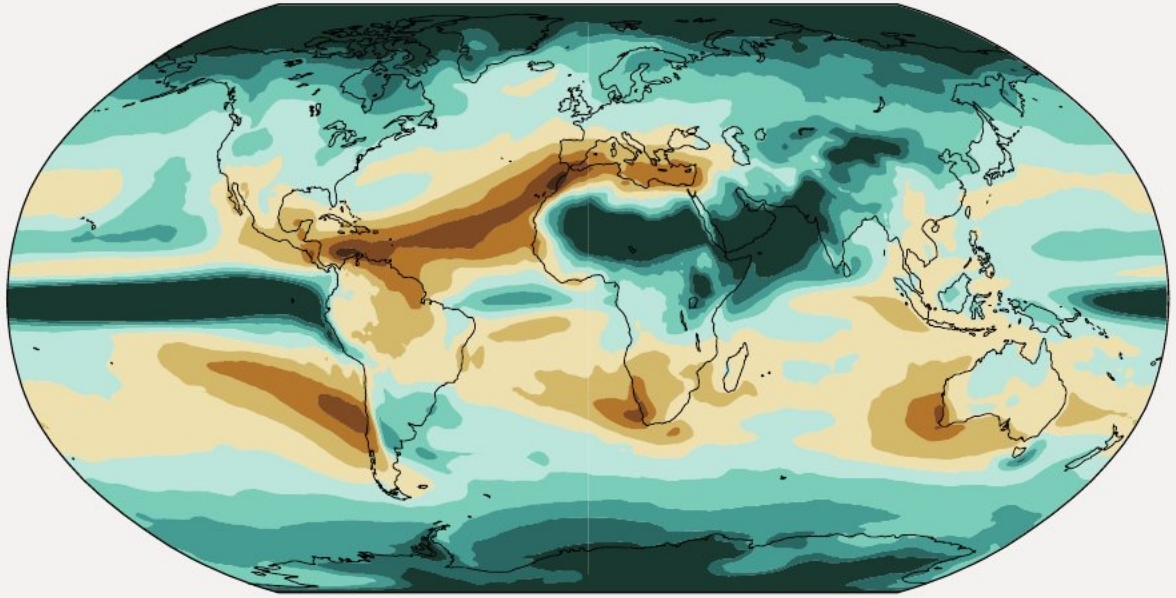
Más incertidumbre por haber más procesos (humedad, estabilidad, energía, etc.)

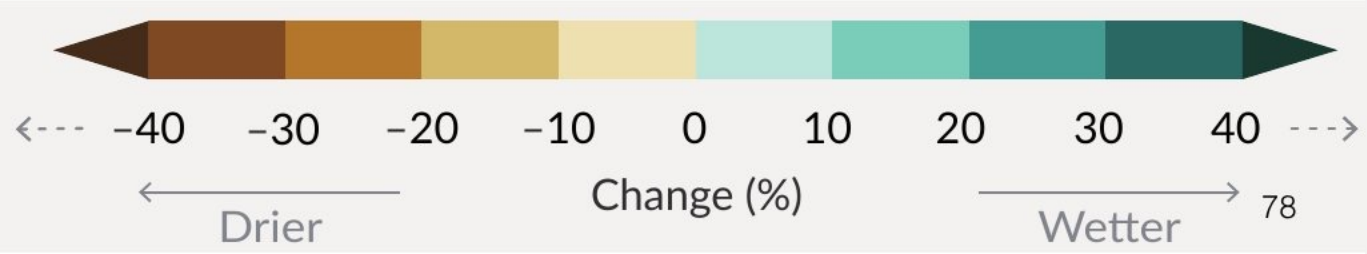
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM

Simulated change at **2°C** global warming

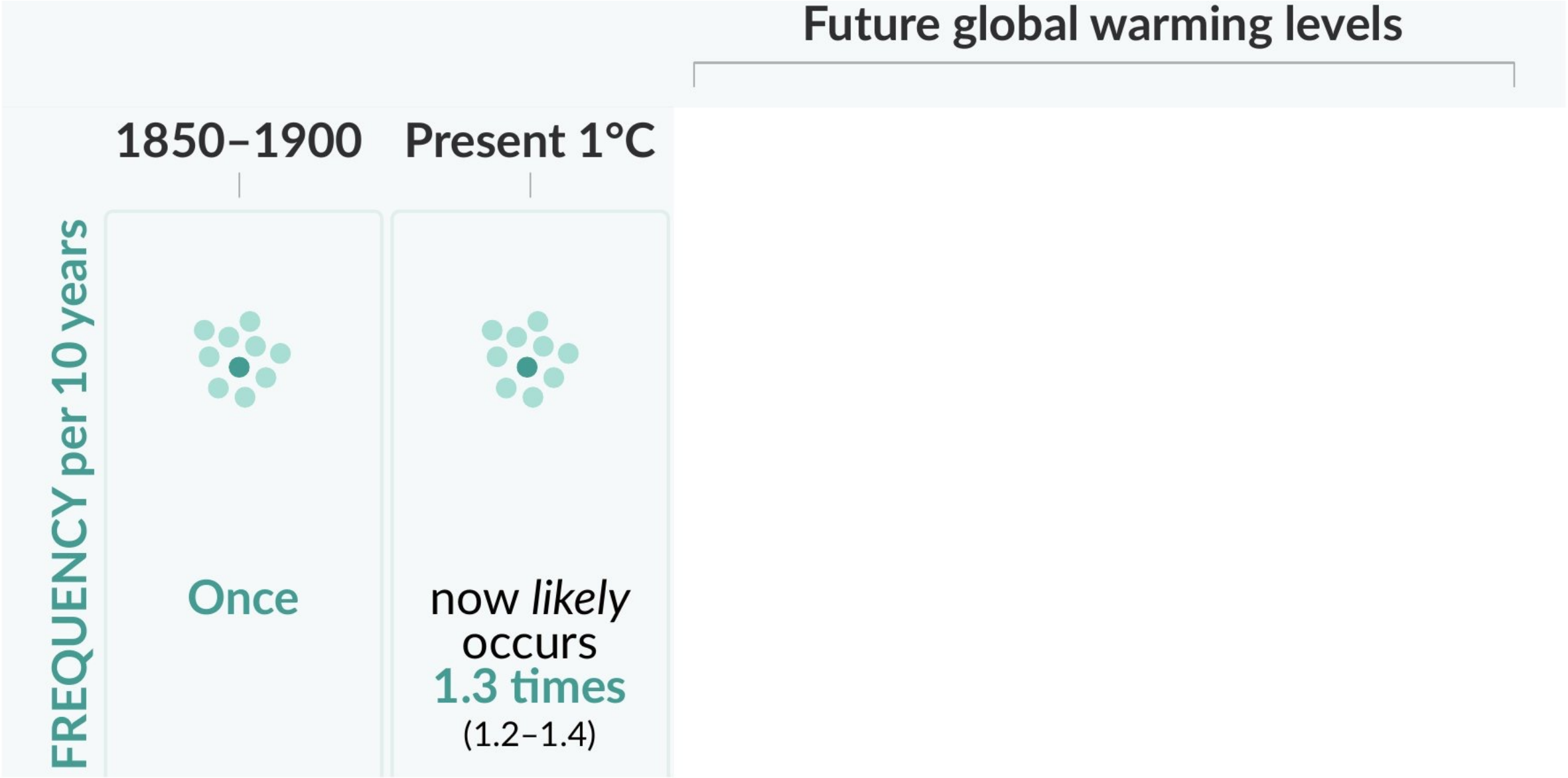


Simulated change at **4°C** global warming



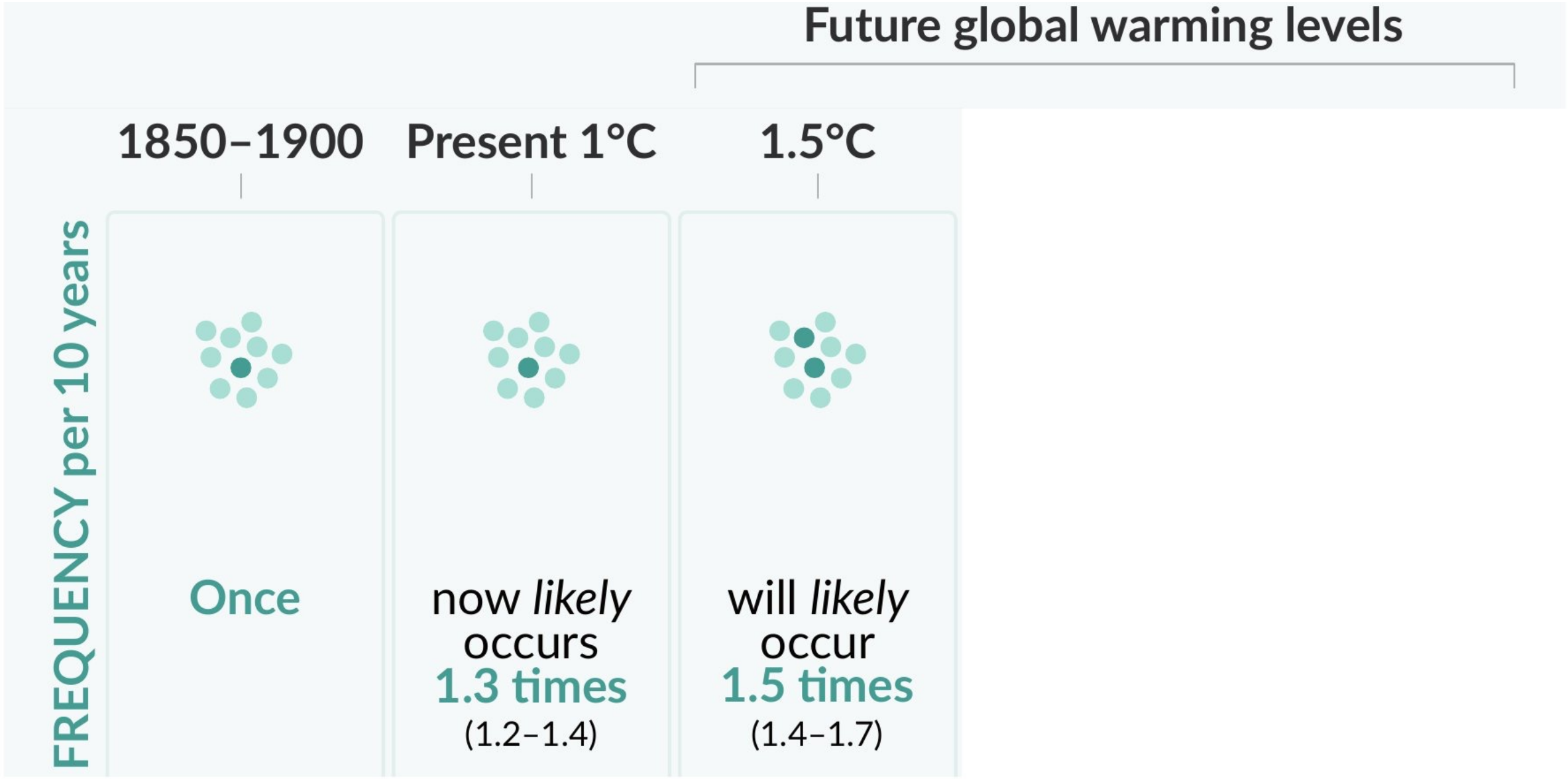


Cambios en las lluvias intensas de 10 años



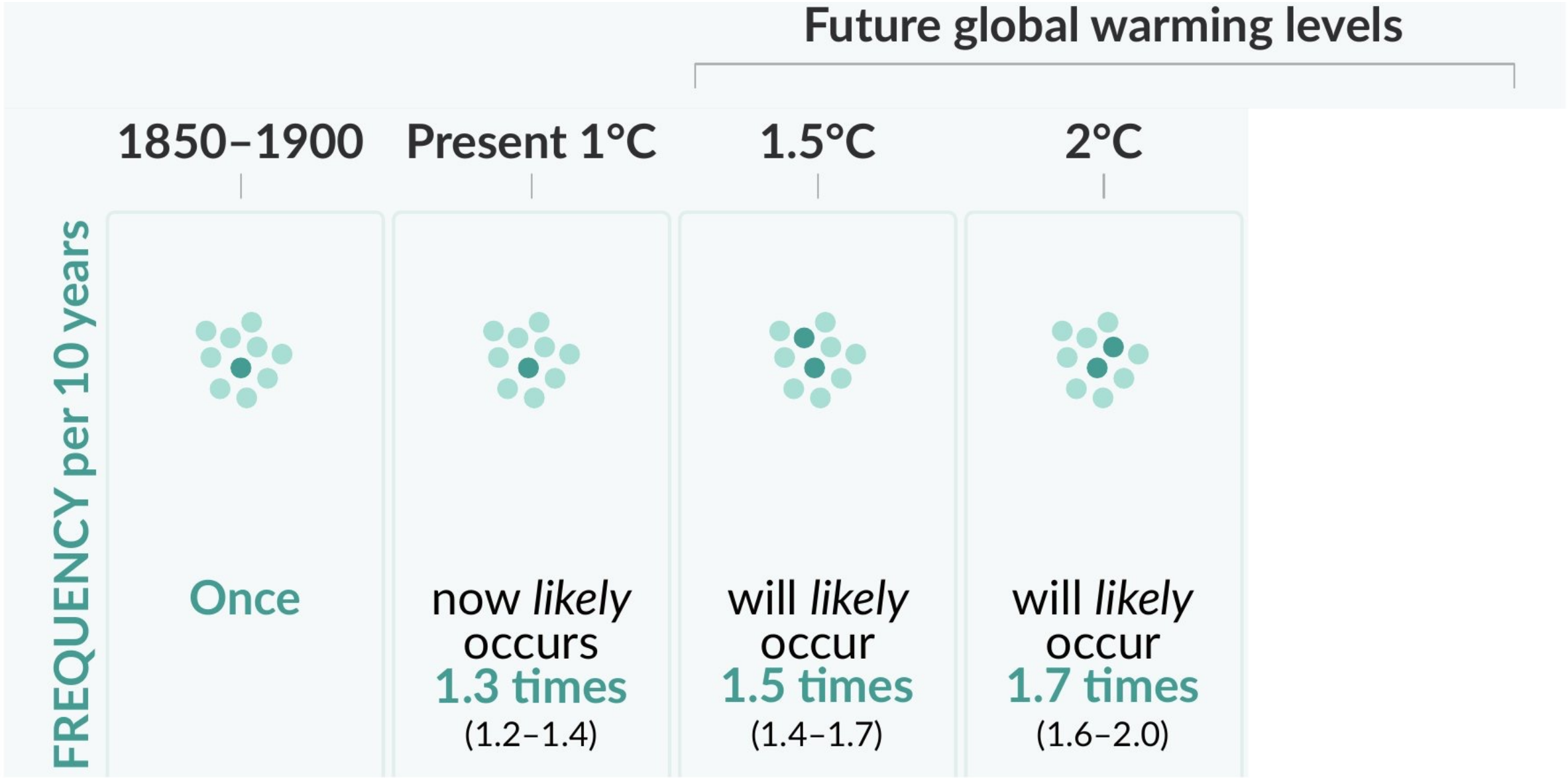
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM

Cambios en las lluvias intensas de 10 años



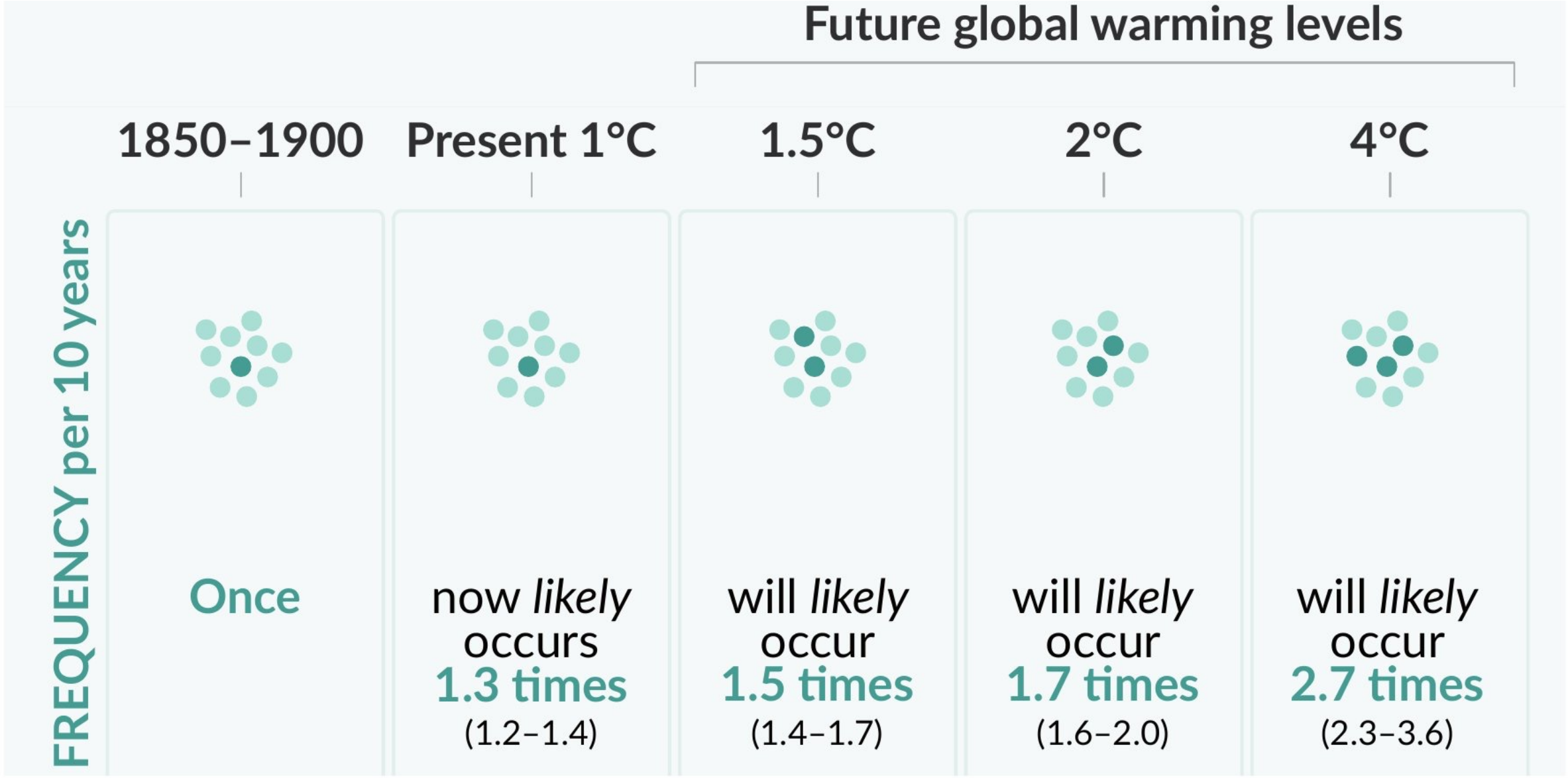
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM

Cambios en las lluvias intensas de 10 años



https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM

Cambios en las lluvias intensas de 10 años



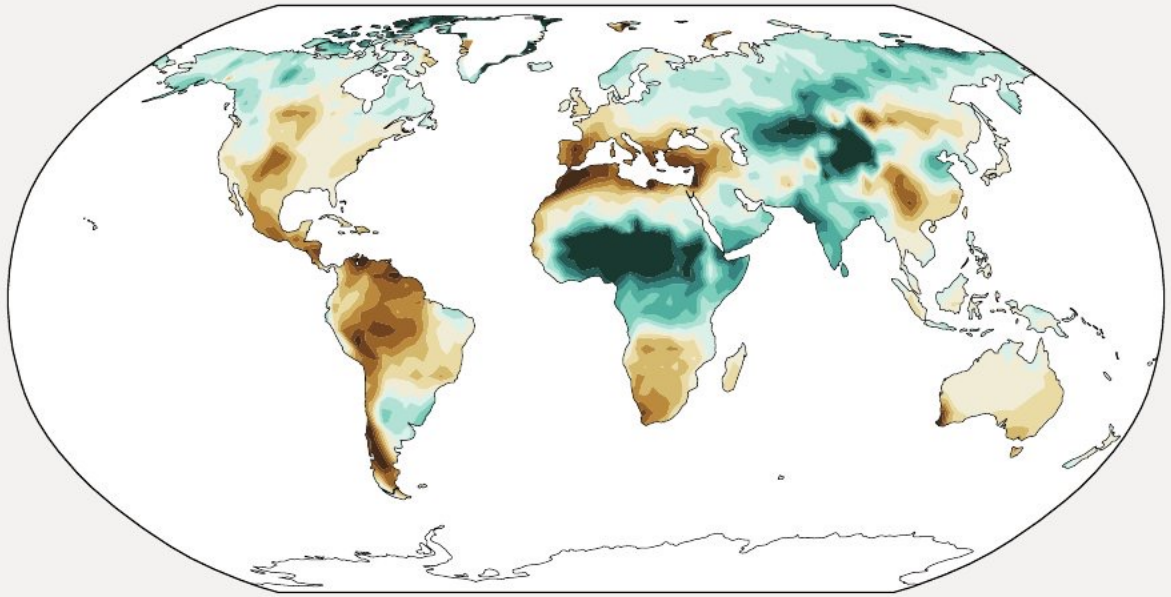
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM

Humedad del suelo y sequía

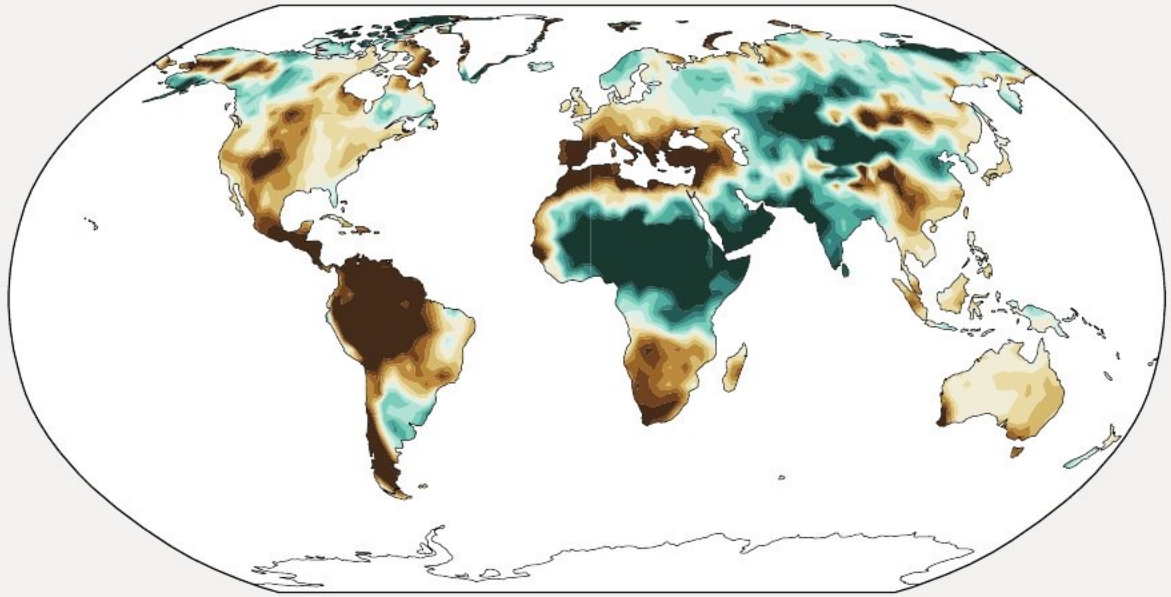
Resultados robustos en algunas zonas: latitudes altas más húmedas, subtrópicos más secos;

Más incertidumbre por haber más procesos (humedad, estabilidad, energía, etc.)

Simulated change at **2°C** global warming



Simulated change at **4°C** global warming



https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM



Evento de 10 años sobre tierra

Sequías agrícolas y ecológicas más comunes que se secan

Evento de 10 años desde 1950

Cambios en las sequías de humedad del suelo de 10 años



https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM

Evento de 10 años sobre tierra

Sequías agrícolas y ecológicas más comunes que se secan

Evento desde 1950 más

Cambios en las sequías de humedad del suelo de 10 años



https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM

Evento de 10 años sobre tierra

Sequías agrícolas y ecológicas más comunes que se secan

Evento de 10 años sobre regiones

Cambios en las sequías de humedad del suelo de 10 años



https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM

Evento de 10 años sobre tierra

Sequías agrícolas y ecológicas más comunes que se secan

Evento de 10 años

Cambios en las sequías de humedad del suelo de 10 años

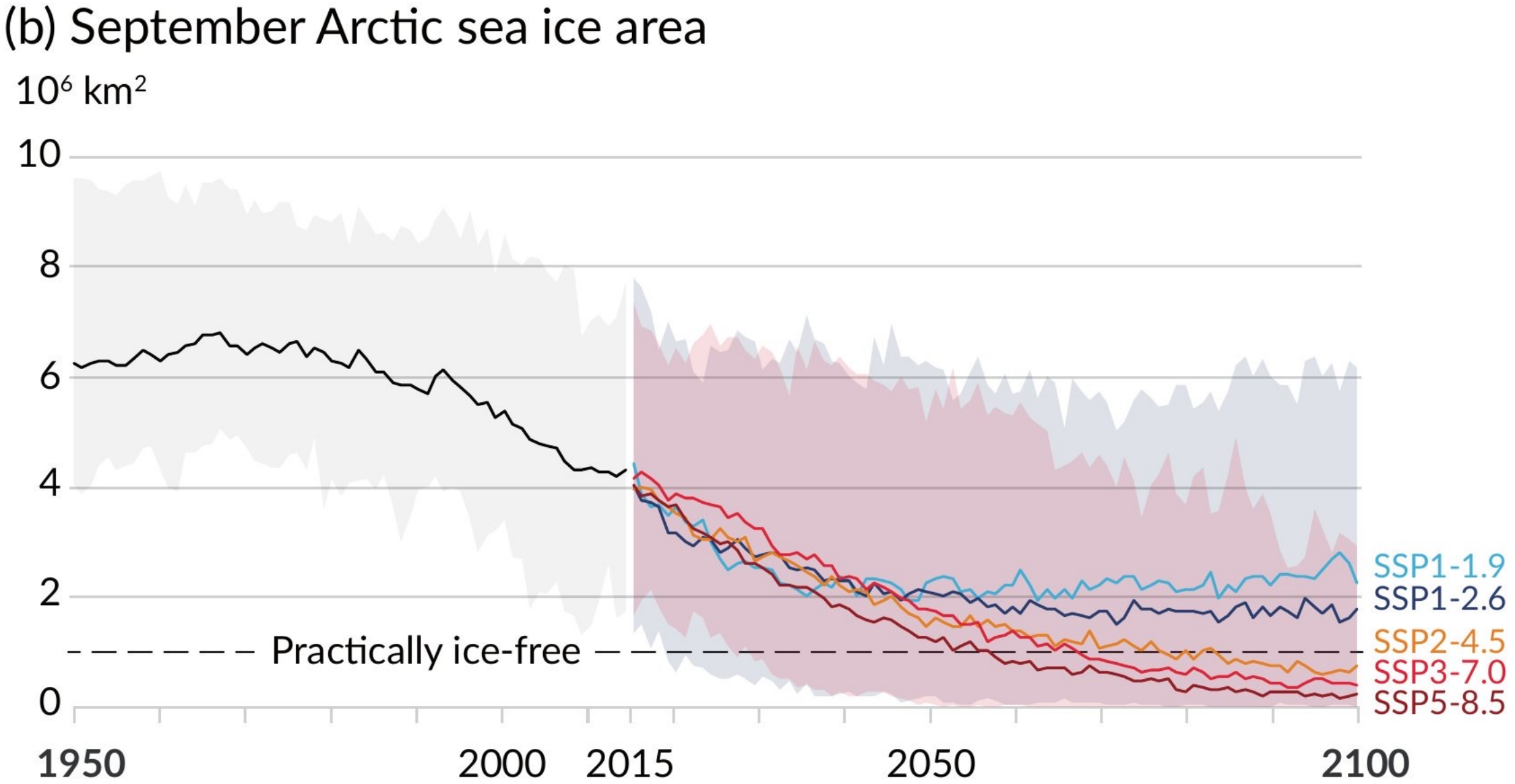


Future global warming levels

1850–1900	Present 1°C	1.5°C	2°C	4°C
FREQUENCY per 10 years				
Once	now *likely* occurs **1.7 times** (0.7–4.1)	will *likely* occur **2.0 times** (1.0–5.1)	will *likely* occur **2.4 times** (1.3–5.8)	will *likely* occur **4.1 times** (1.7–7.2)

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM

Hielo marino del Ártico



https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM

Subida del nivel del mar e inundaciones costeras

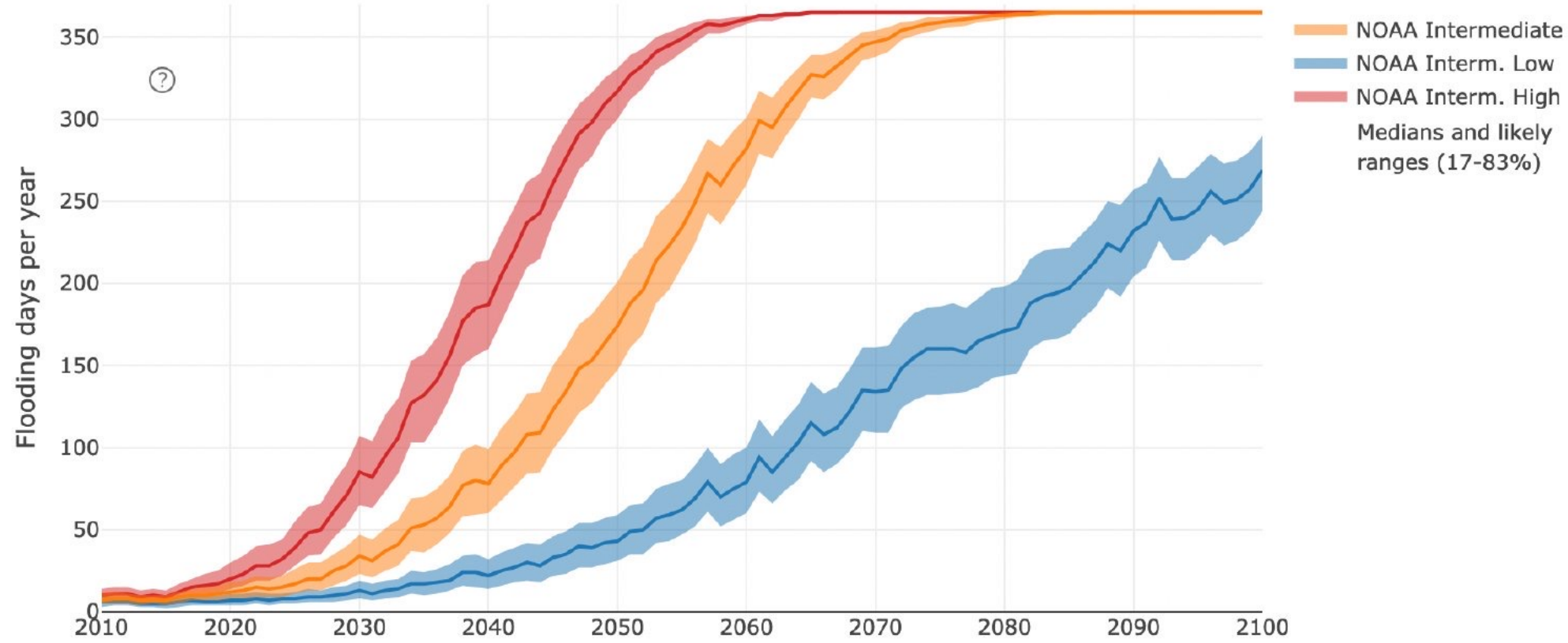
MHHW stands for *Mean Higher High Water*, which is defined as the average of the highest observed water level at the selected location on each tidal day during the period 1983-2001

Flooding days during the 21st century

The graph below shows the number of days per year that sea level in **Montauk, NY** is projected to exceed **53 cm** above MHHW.

▸ **Read more**

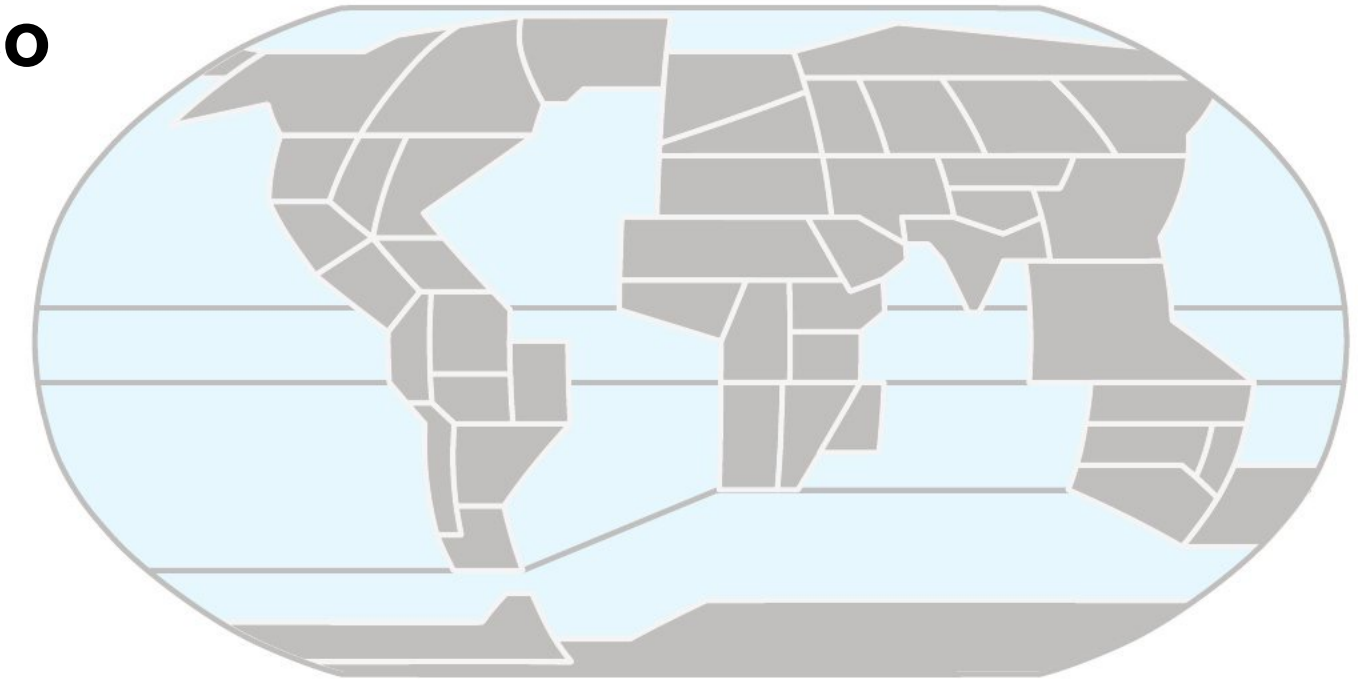
Choose the local mean sea level projection(s) to use: NOAA Sea Level Rise Scenarios

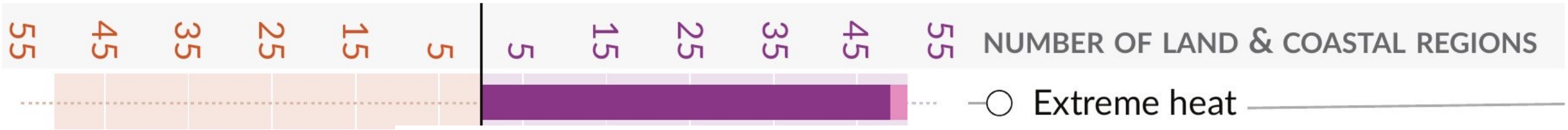


https://sealevel.nasa.gov/flooding-days-projection/

Factores de impacto climático







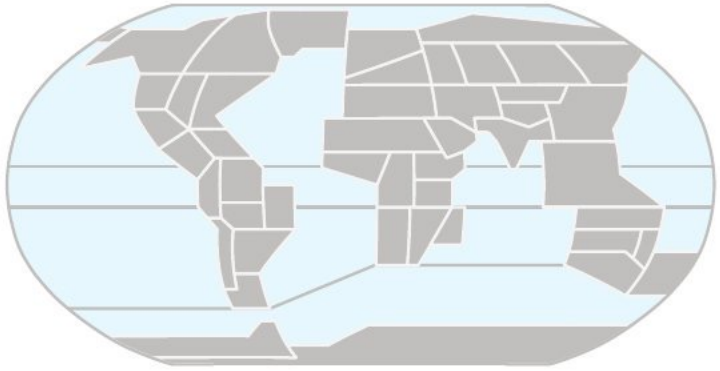
Ejemplo: calor extremo

- 50/55: regiones vulnerables
- 49/50: confianza alta en un aumento del riesgo
- 1/50: confianza media en un aumento del riesgo

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM

https://interactive-atlas.ipcc.ch/

Factores climático de impacto



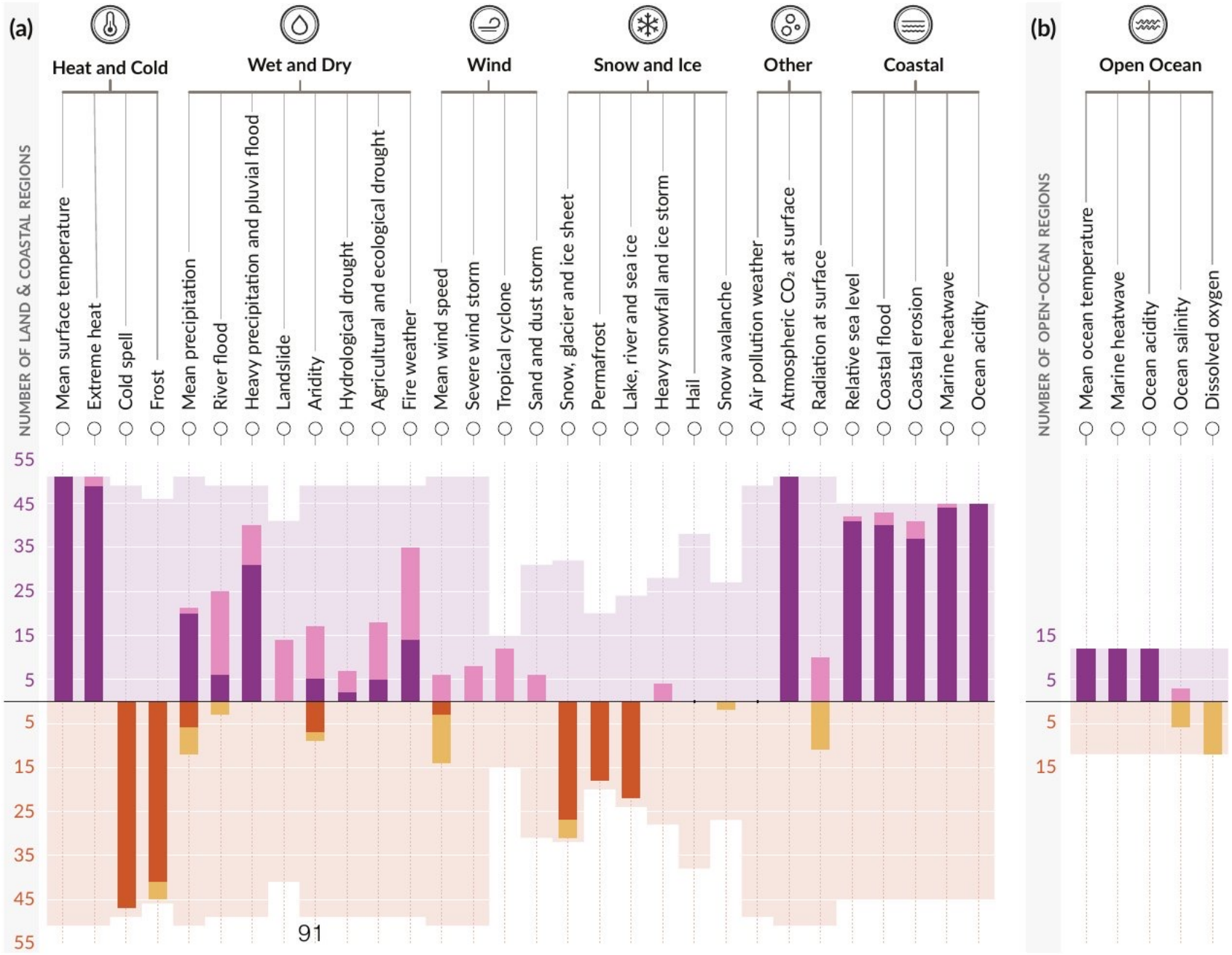
https://interactive-atlas.ipcc.ch/

BAR CHART LEGEND

- Regions with ***high*** *confidence* **increase**
- Regions with ***medium*** *confidence* **increase**
- Regions with ***high*** *confidence* **decrease**
- Regions with ***medium*** *confidence* **decrease**

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM

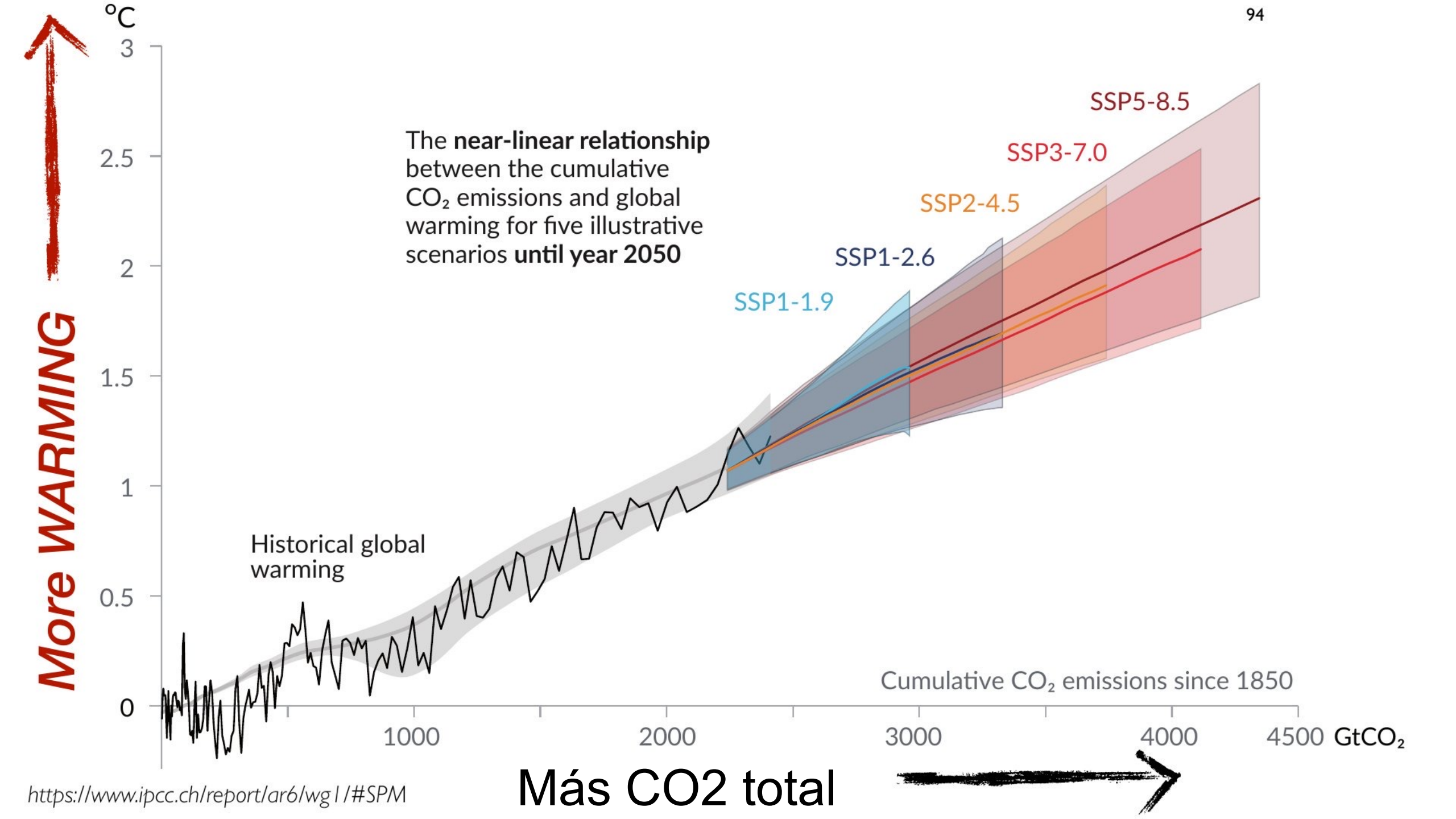
Number of land & coastal regions (a) and **open-ocean regions** (b) where each **climatic impact-driver** (CID) is projected to increase or decrease with ***high*** *confidence* (dark shade) or ***medium*** *confidence* (light shade)



REFLEXIÓN

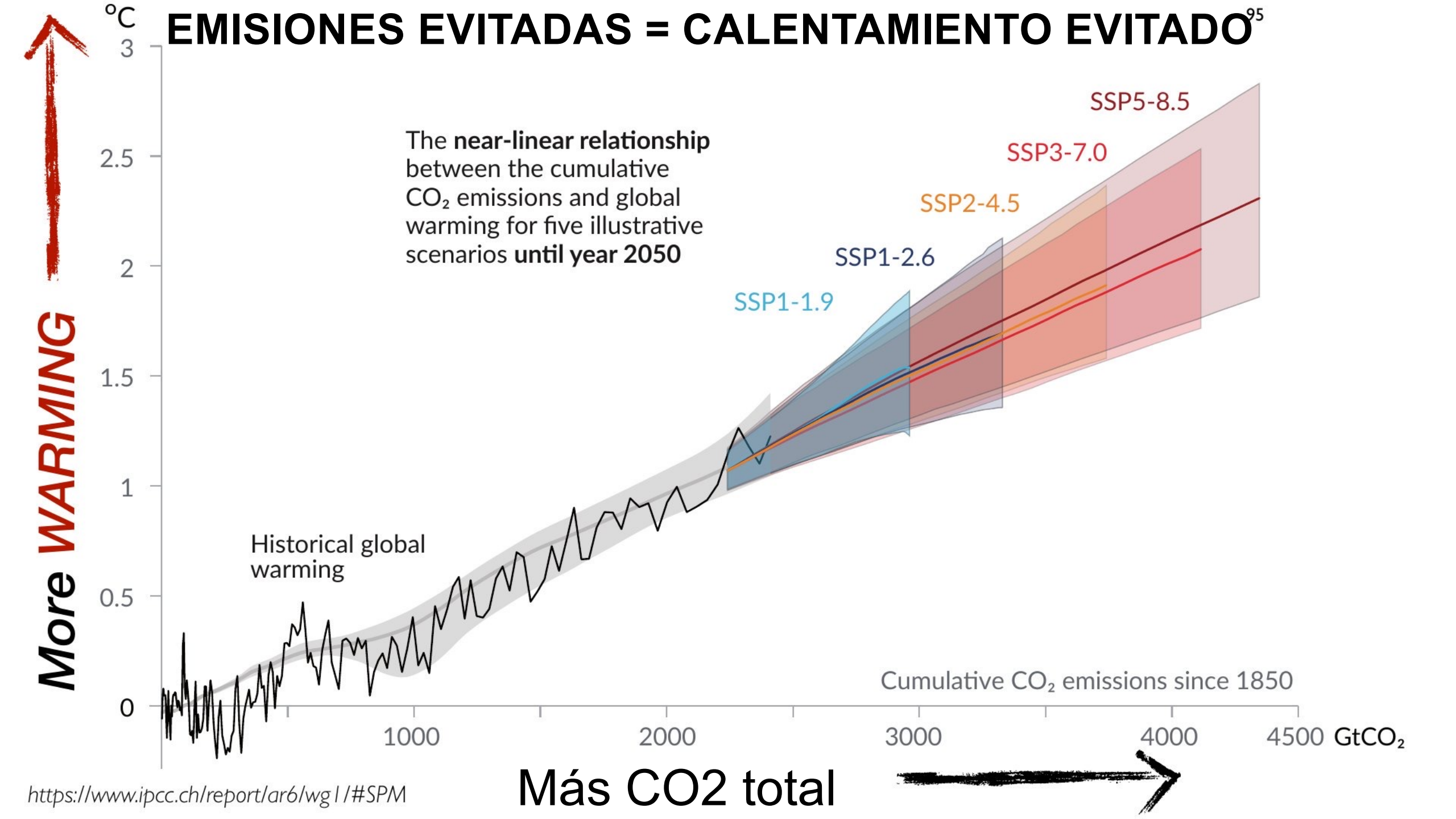
¿CUÁL ES EL PUNTO MÁS CONFUSO HASTA AHORA? ES DECIR, ¿LO QUE MENOS CLARO LE QUEDA?

MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

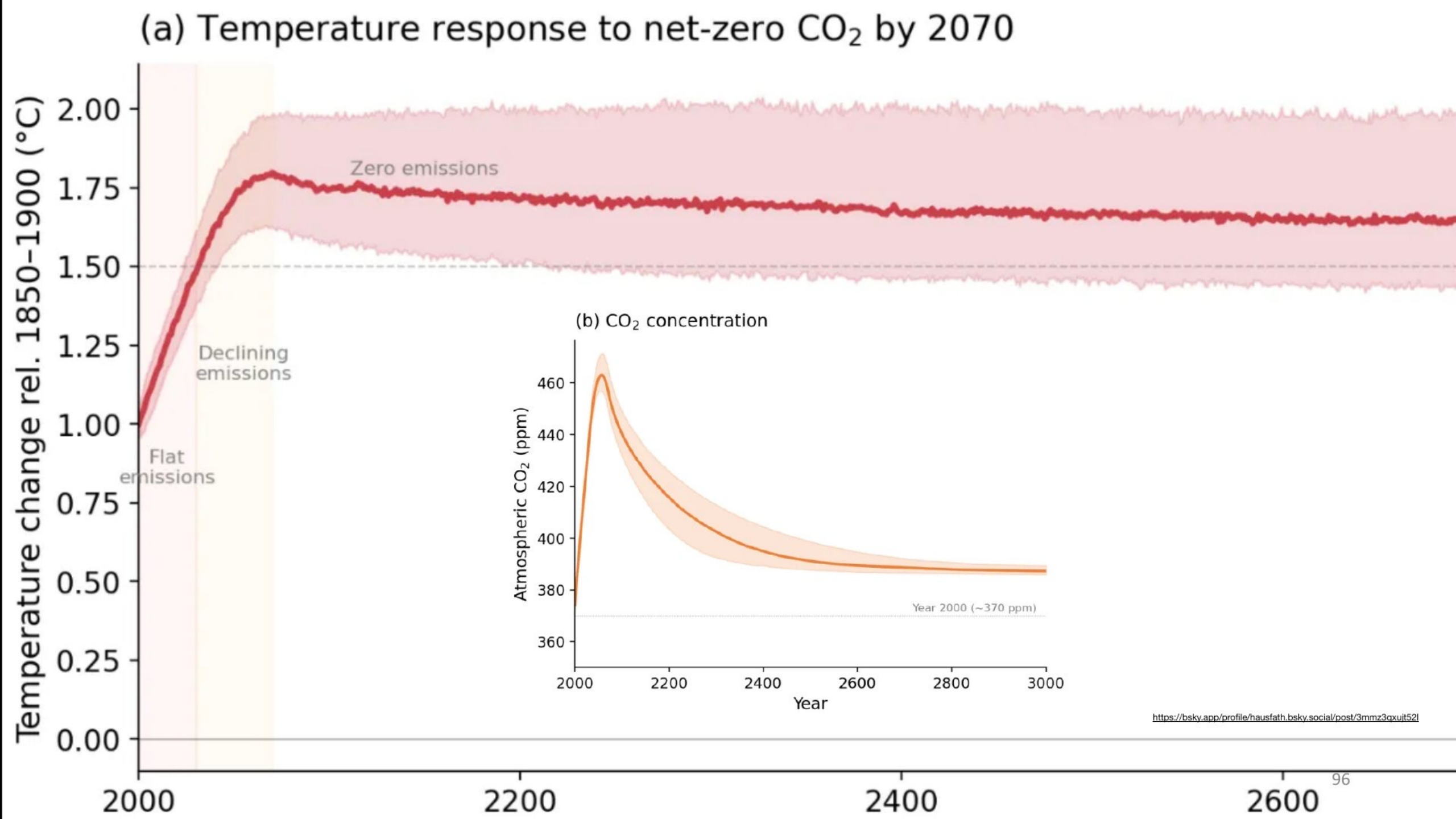


https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM

EMISIONES EVITADAS = CALENTAMIENTO EVITADO



https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#SPM



https://bsky.app/profile/hausfath.bsky.social/post/3mmz3qxujt52l

IDENTIDAD DE KAYA

$$GHG_{\text{emisiones}} = P * \frac{G}{P} * \frac{E}{G} * \frac{F}{E}$$

P = población mundial
G = PIB mundial
E = consumo mundial de energía
F = emisiones de GEI de origen humano (combustibles fósiles)

IDENTIDAD DE KAYA

$$GHG_{\text{emisiones}} = P * \frac{G}{P} * \frac{E}{G} * \frac{F}{E}$$

PIB per cápita
(consumo económico)

IDENTIDAD DE KAYA

$$GHG_{\text{emisiones}} = P * \frac{G}{P} * \boxed{\frac{E}{G}} * \frac{F}{E}$$

intensidad energética

(Cuánta energía por unidad de producción económica)

IDENTIDAD DE KAYA

$$GHG_{\text{emisiones}} = P * \frac{G}{P} * \frac{E}{G} * \boxed{\frac{F}{E}}$$

intensidad de emisiones de la energía

(uso de combustibles fósiles)

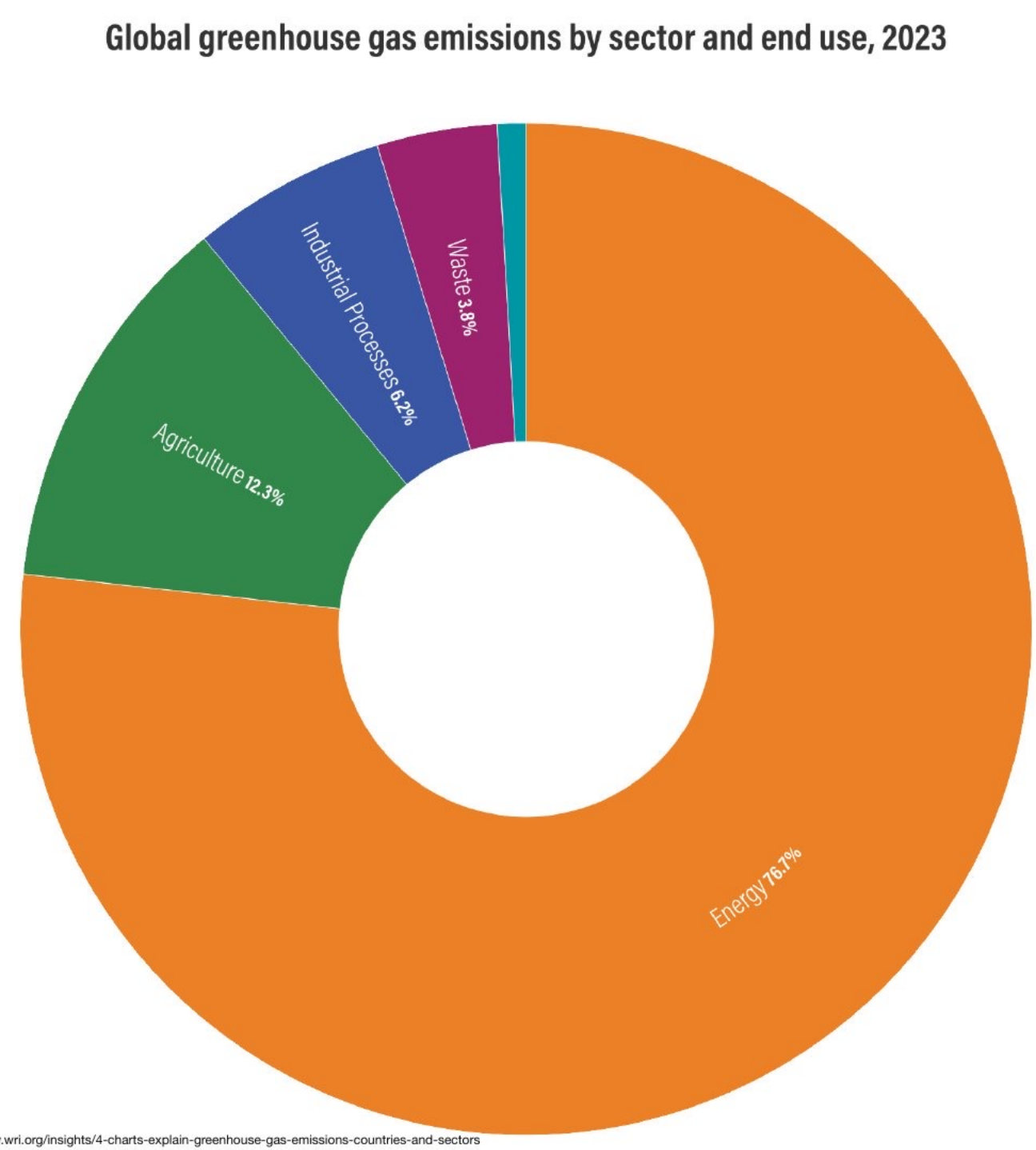
IDENTIDAD DE KAYA

$$GHG_{\text{emisiones}} = P * \frac{G}{P} * \frac{E}{G} * \frac{F}{E}$$

reducir el consumo

mejorar la eficiencia

pasar a renovables

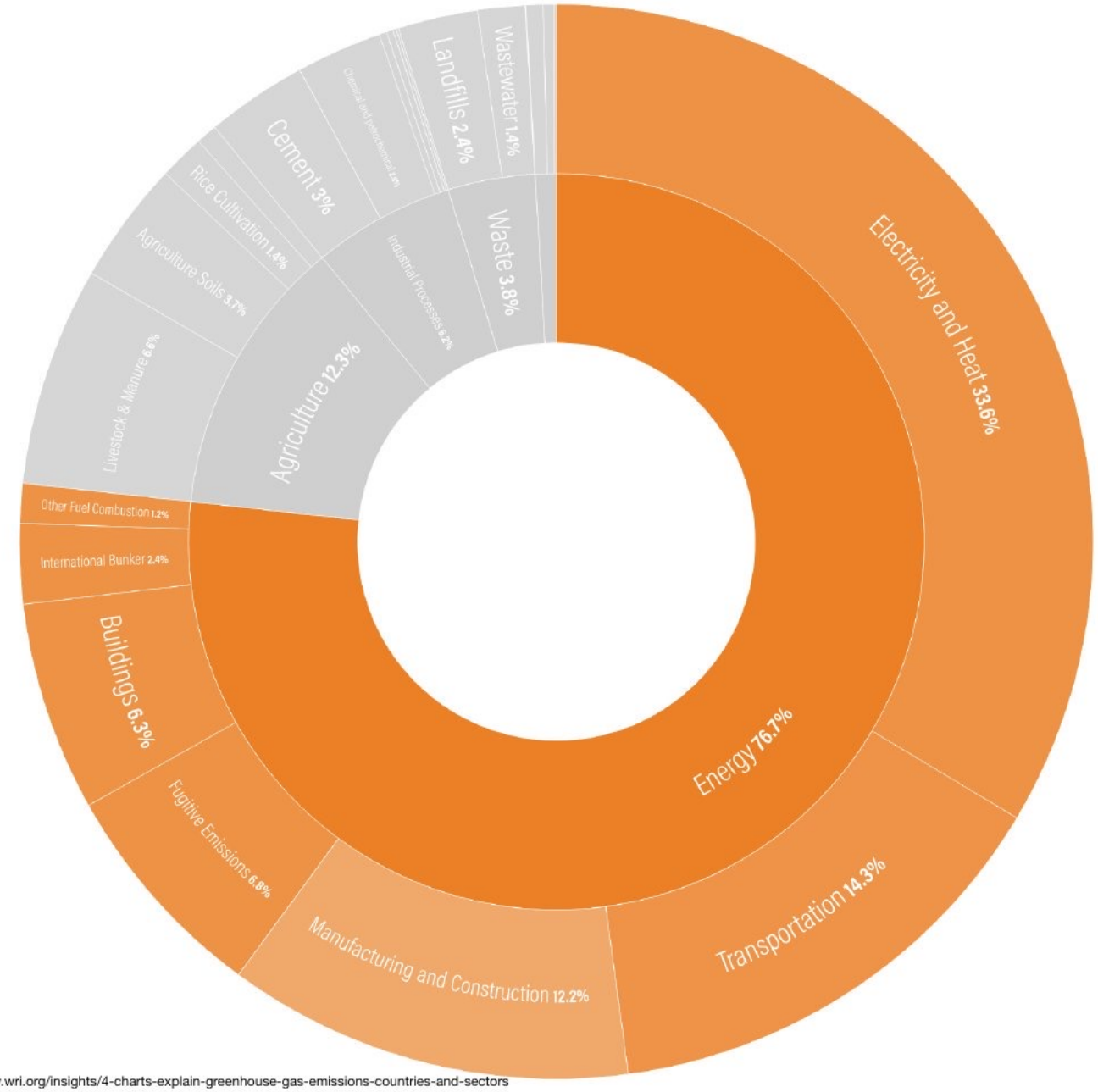


https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors

>76 % de las emisiones de GEI proceden del uso final de la energía

WORLD RESOURCES INSTITUTE

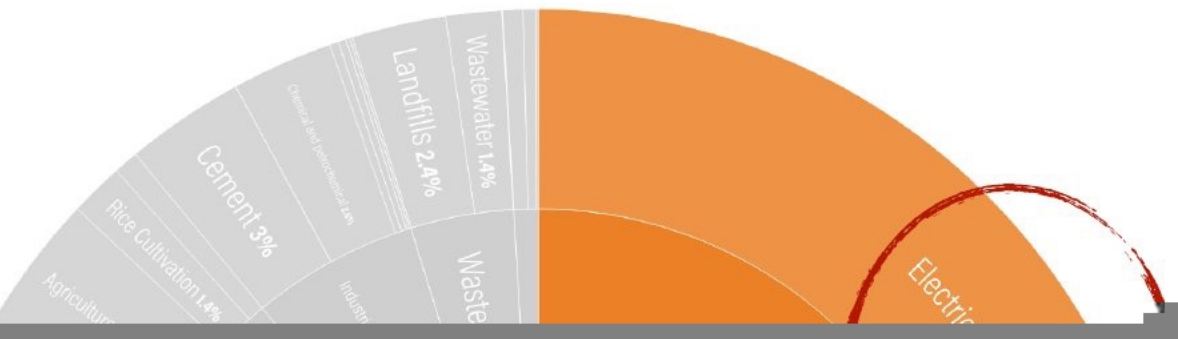
Global greenhouse gas emissions by sector and end use, 2023



https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors

>76 % de las emisiones de GEI proceden de la energía

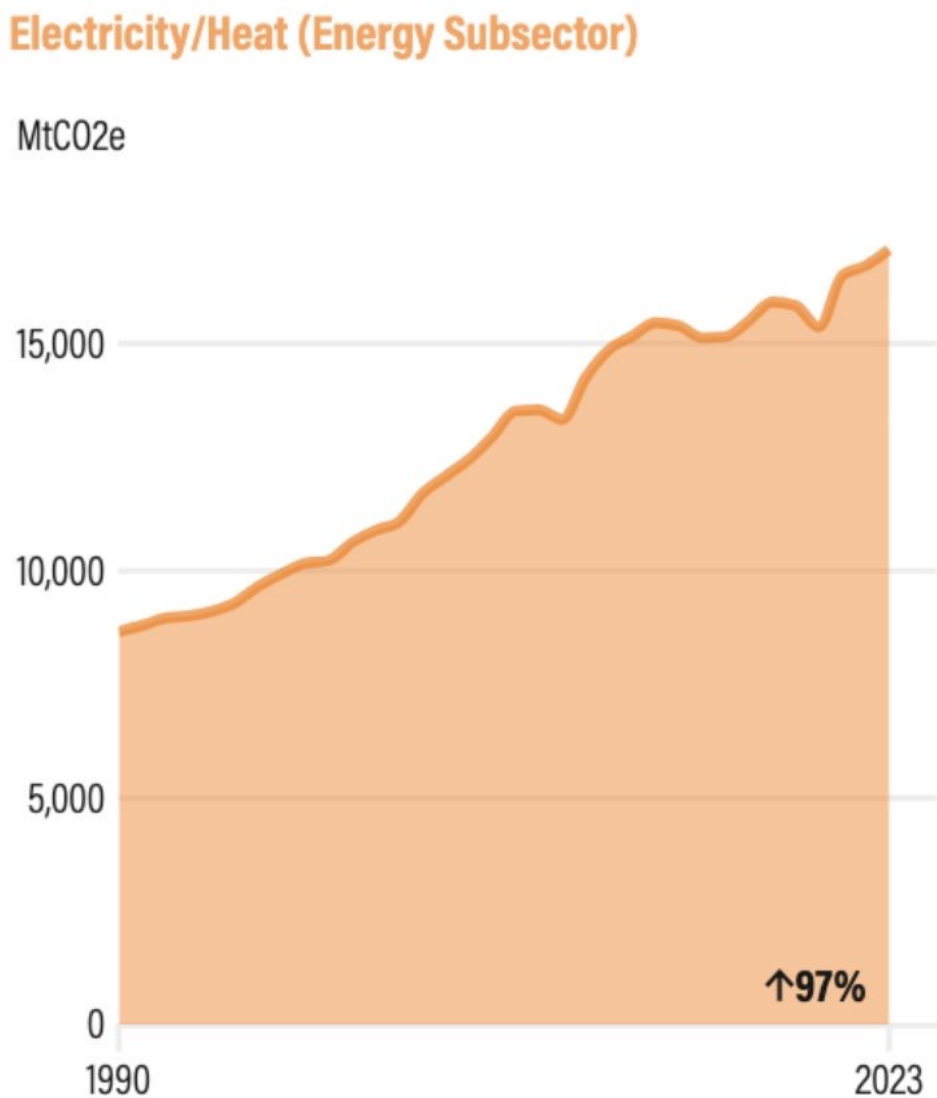
WORLD RESOURCES INSTITUTE

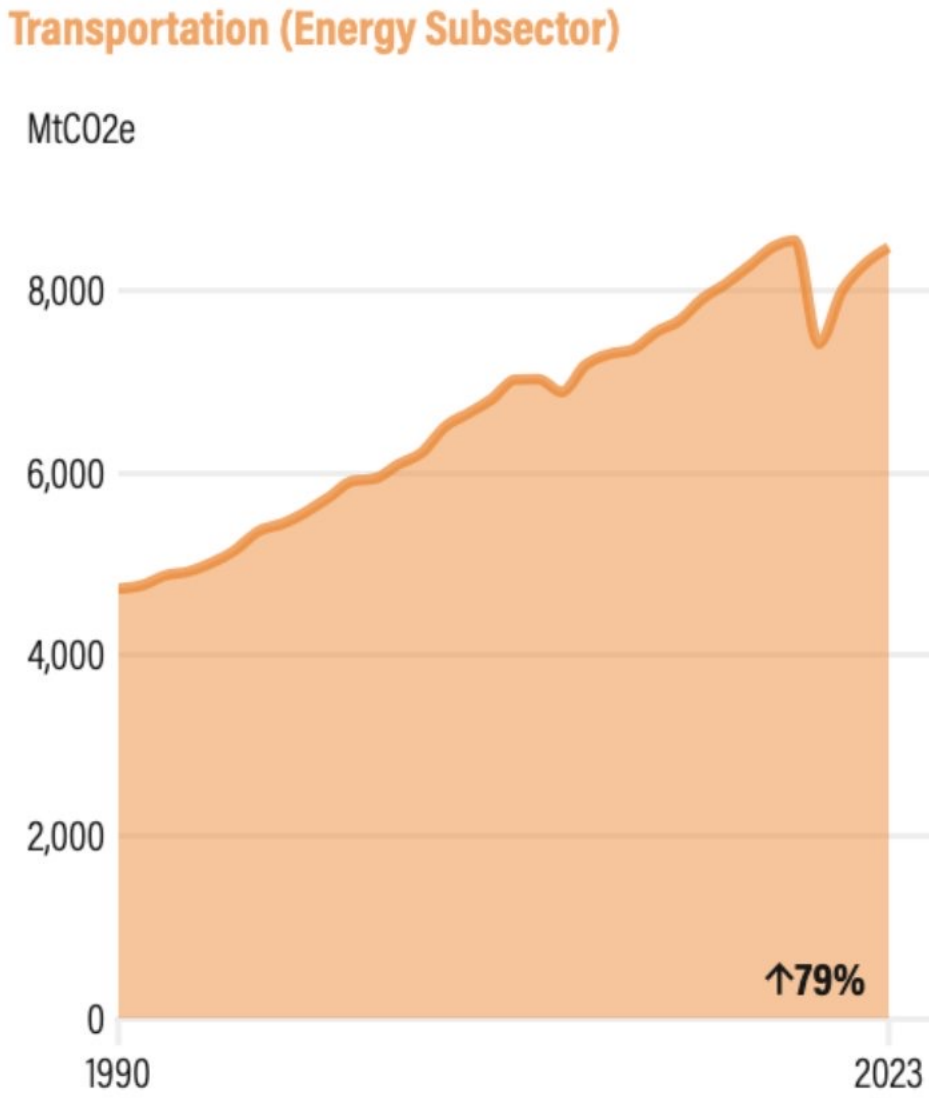


Electricidad + calor y transporte: principal componente de las emisiones energéticas

Trends in sectoral emissions, 1990-2023

Emissions for industrial processes, electricity/heat and transportation sectors are growing fastest



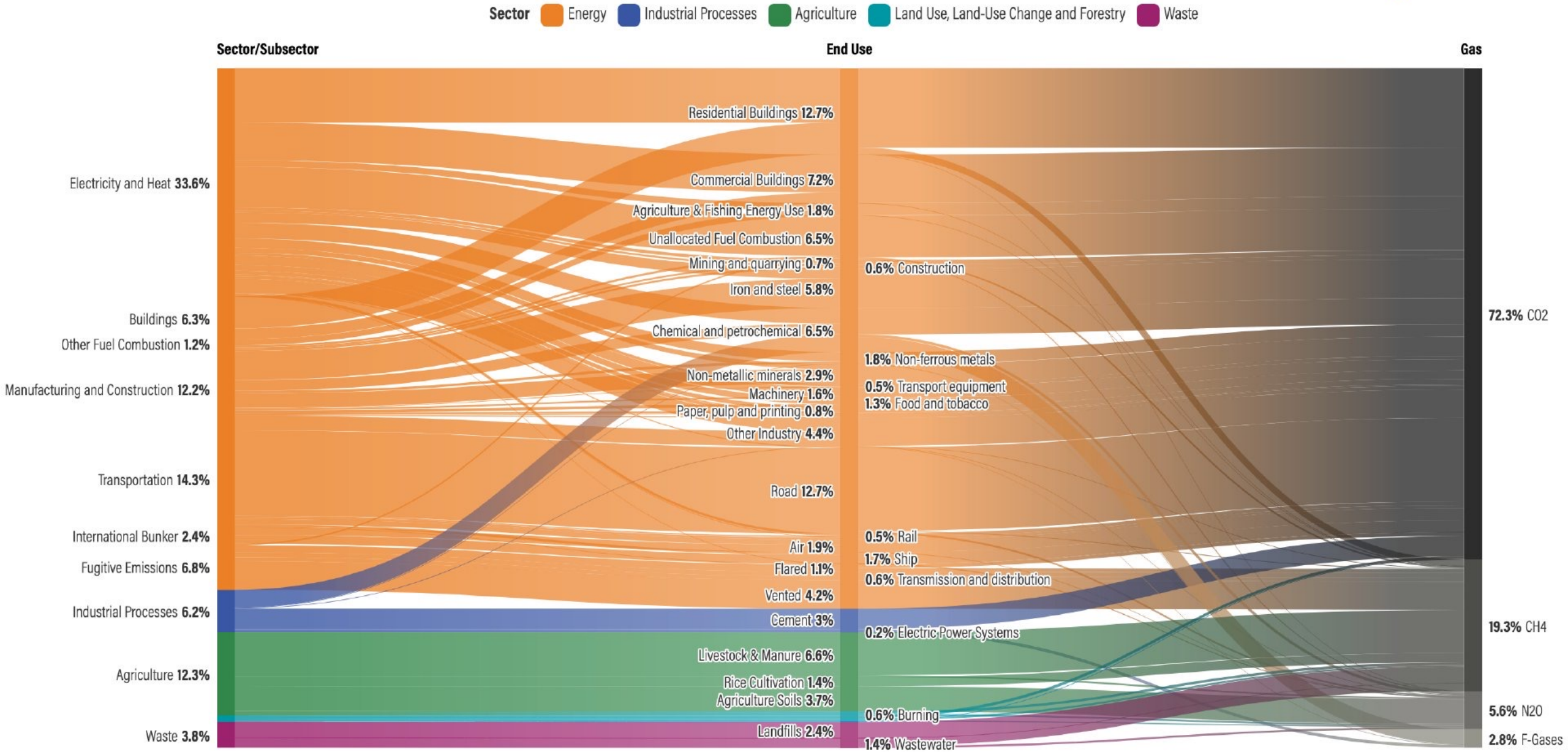


WORLD RESOURCES INSTITUTE

https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors

WORLD RESOURCES INSTITUTE

Flow of global greenhouse gas emissions in 2023



https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors

Agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (AFOLU)

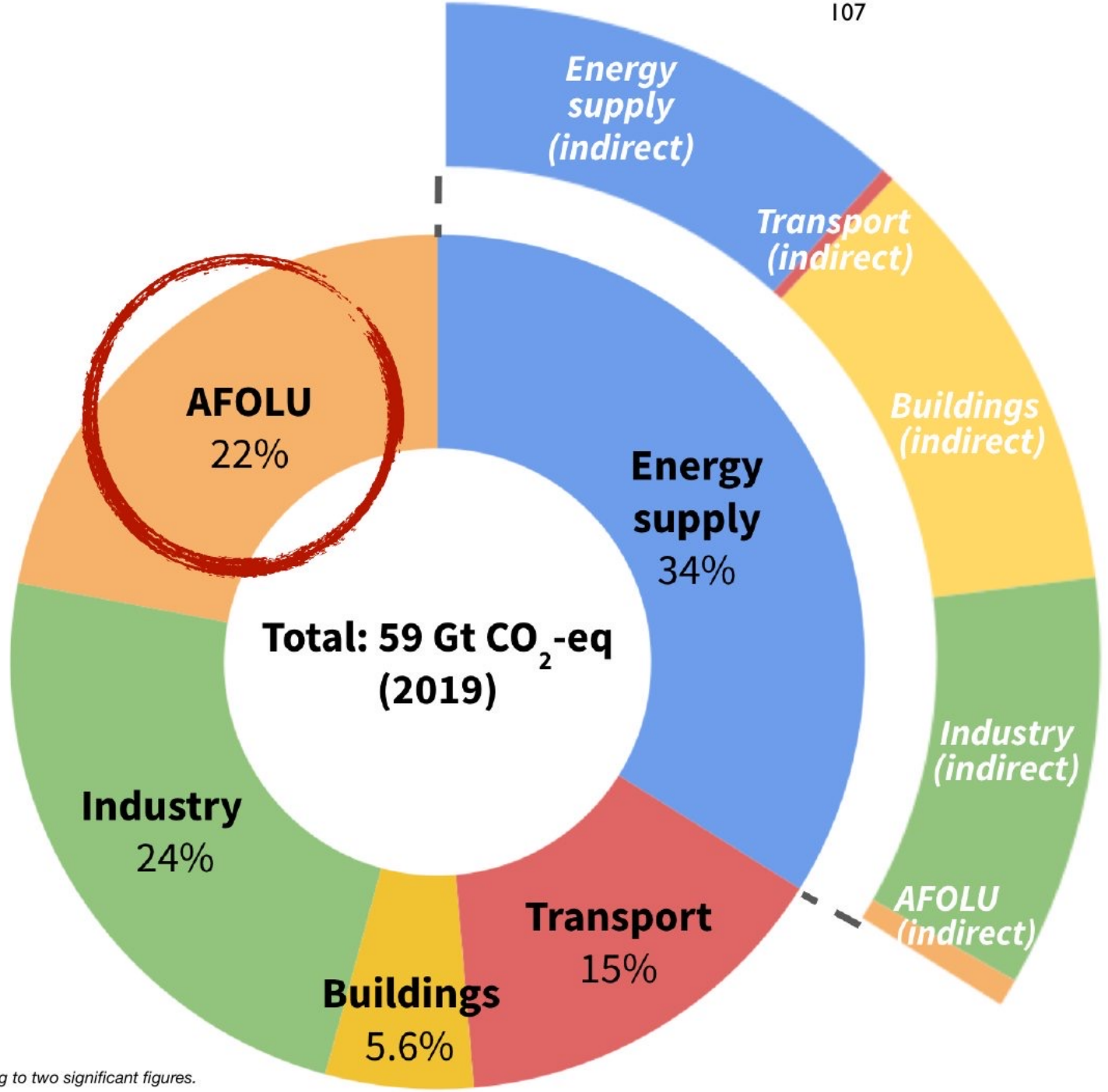
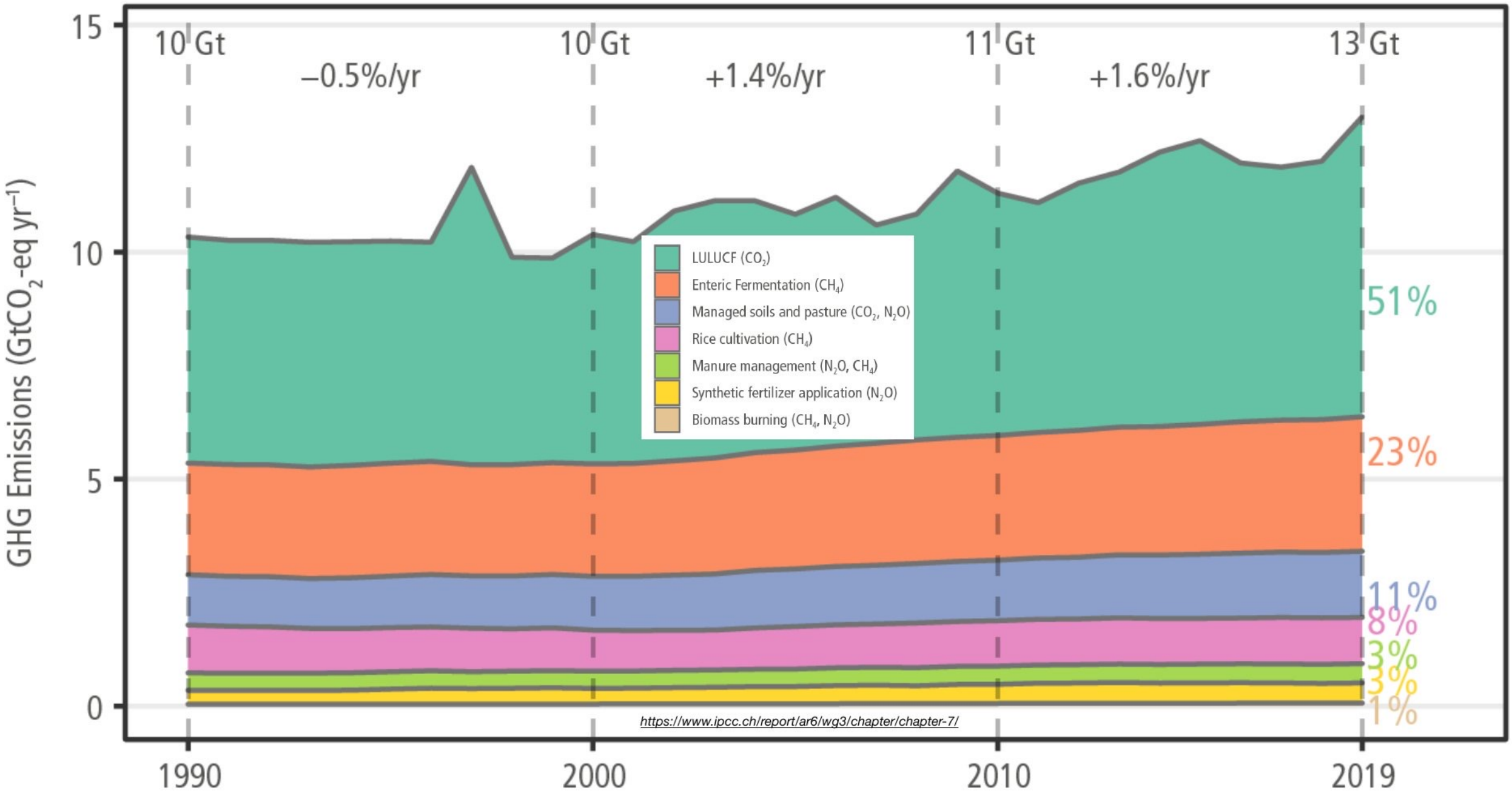


Figure data based on IPCC AR6 WG3 Report (2022). Percentages shown do not add to exactly 100% due to rounding to two significant figures.
Credit: Dr. Priya Donti

a. AFOLU global trends in GHG emissions and removals

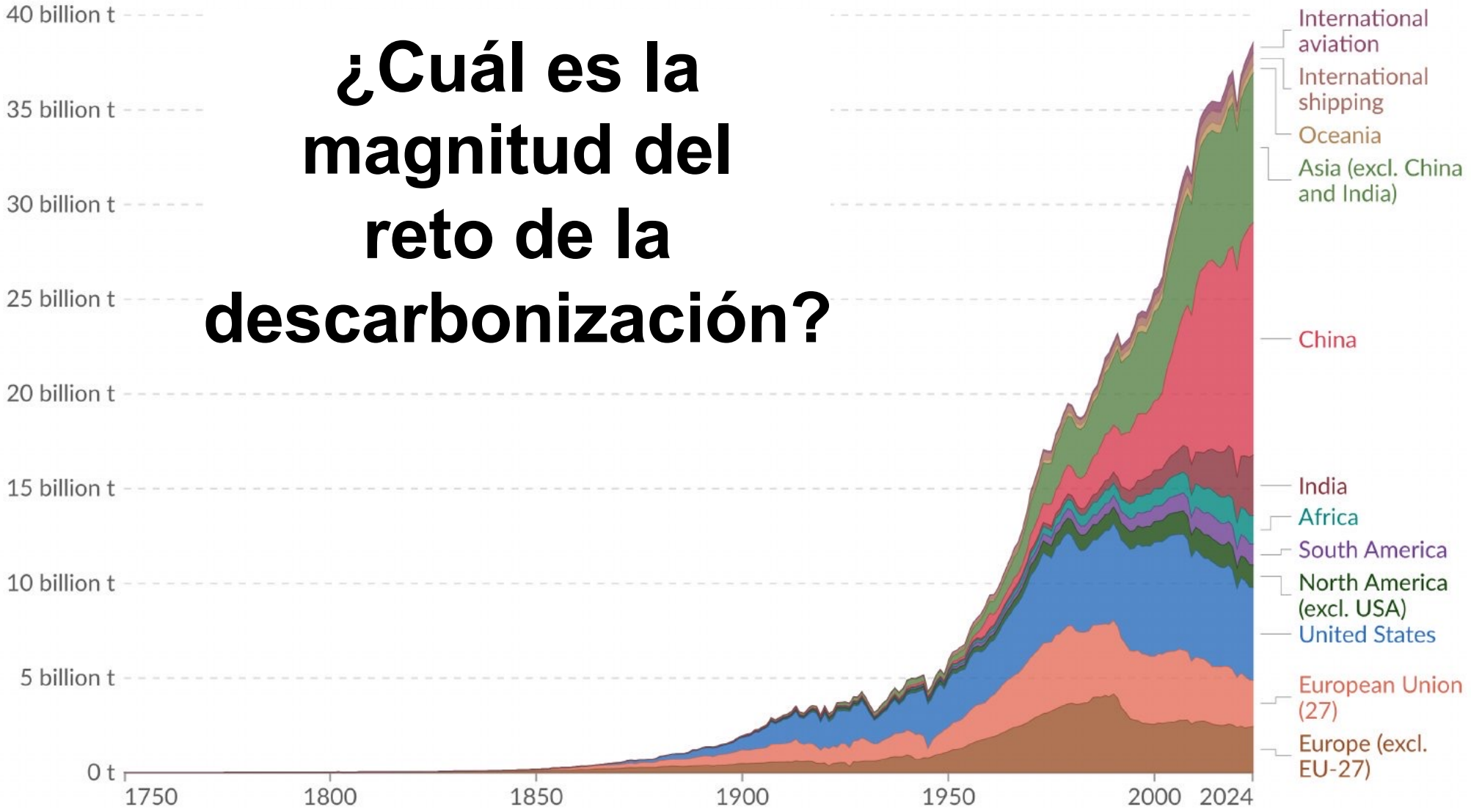


Annual CO_2 emissions by world region

Our World in Data

Emissions from fossil fuels and industry[1] are included, but not land-use change emissions[2]. International aviation and shipping are included as separate entities, as they are not included in any country's emissions.

¿Cuál es la magnitud del reto de la descarbonización?

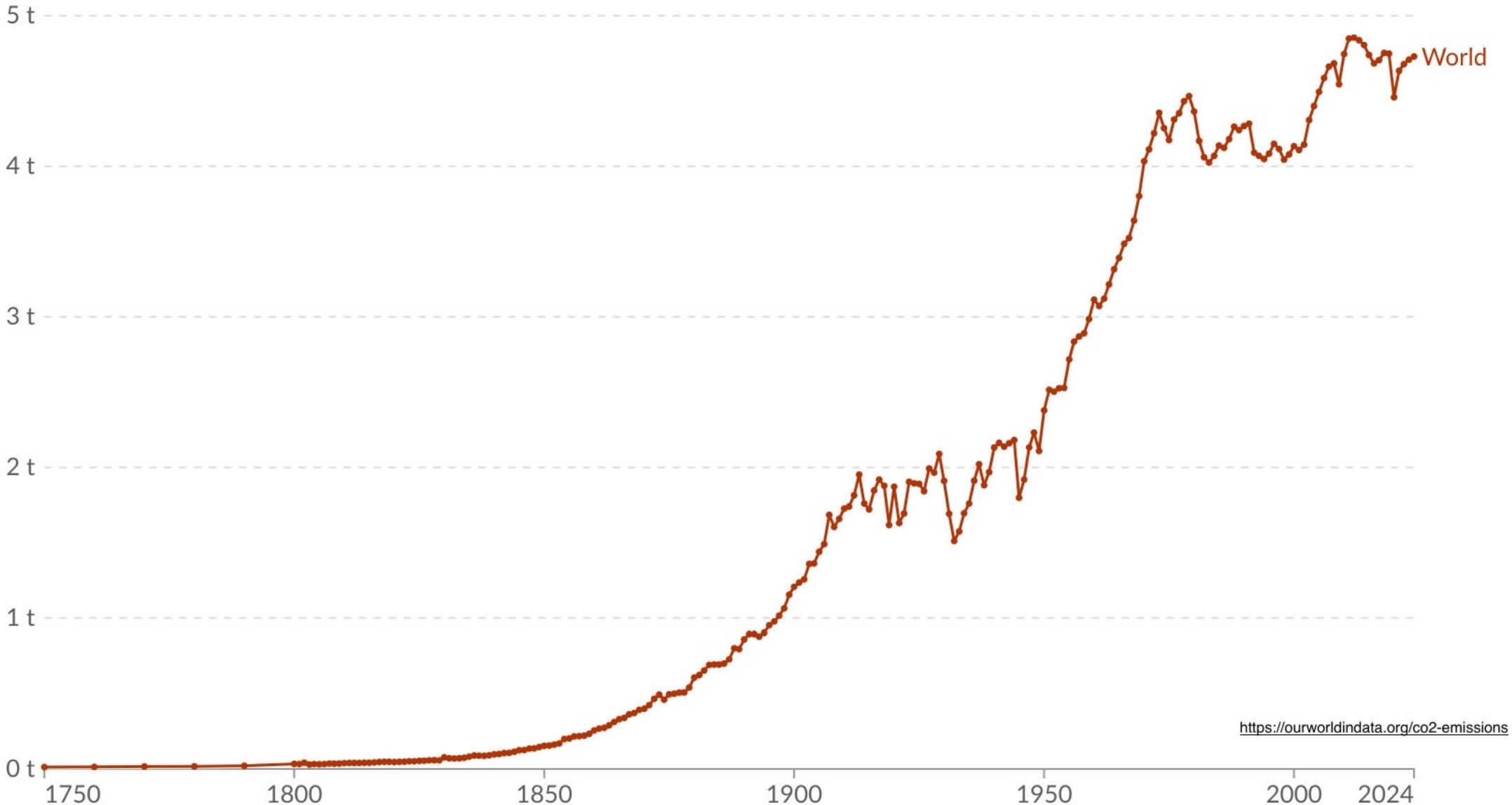


Data source: Global Carbon Budget (2025) https://ourworldindata.org/co2-emissions OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

Our World in Data

CO_2 emissions per capita

Carbon dioxide (CO_2) emissions from burning fossil fuels and industrial processes[1]. This includes emissions from transport, electricity generation, and heating, but not land-use change[2].

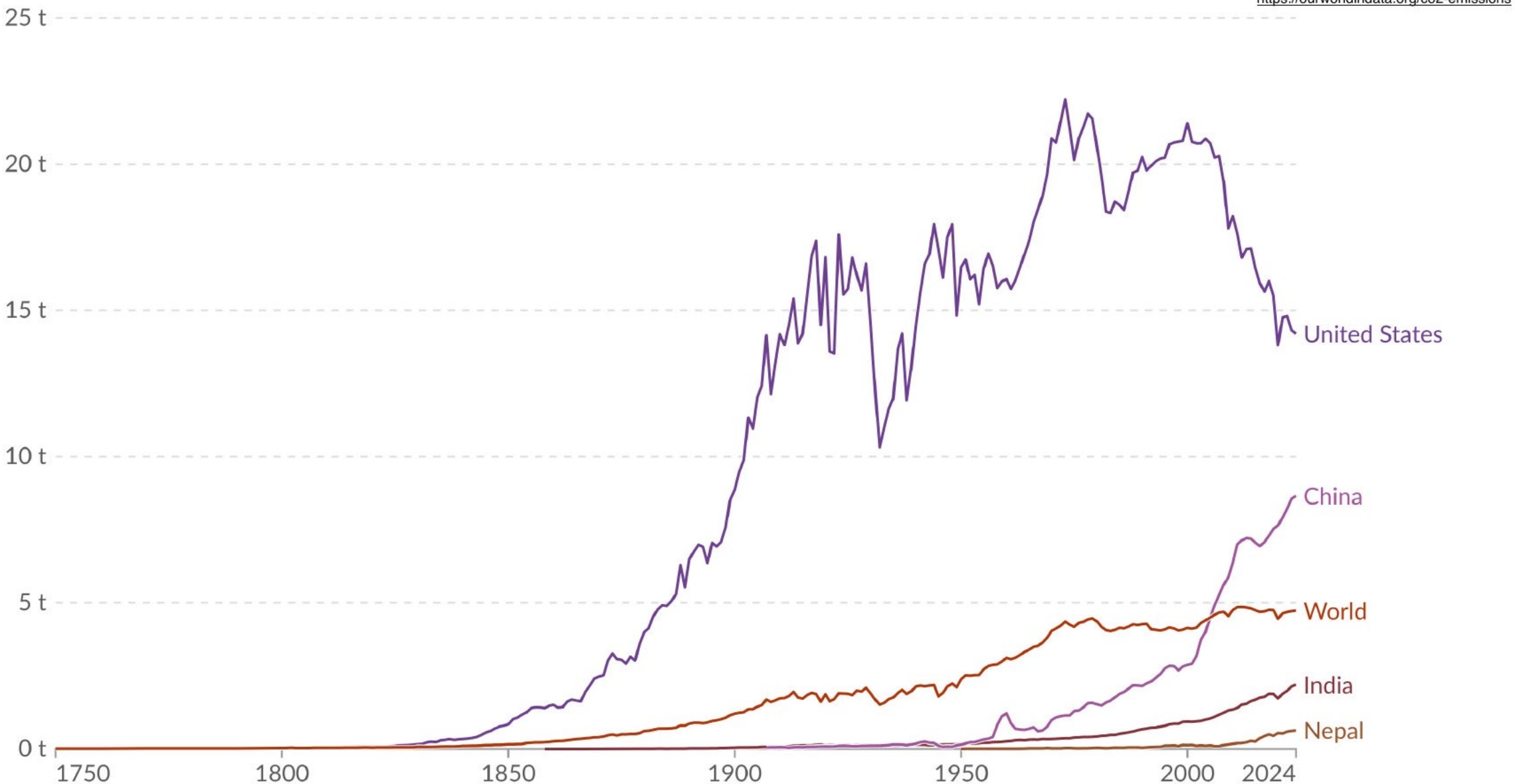


CO_2 emissions per capita

Carbon dioxide (CO_2) emissions from burning fossil fuels and industrial processes[1]. This includes emissions from transport, electricity generation, and heating, but not land-use change[2].

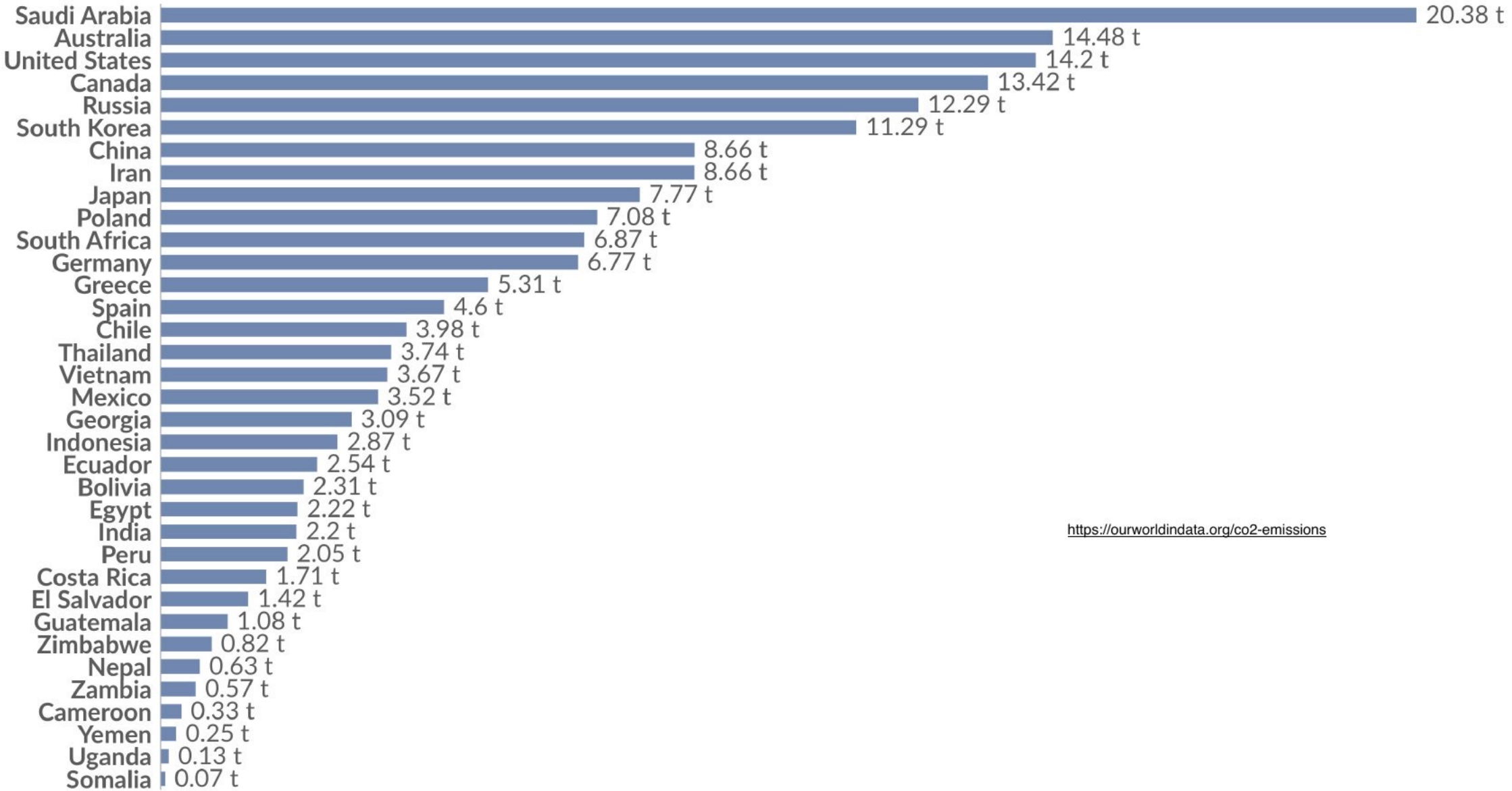
Our World in Data

https://ourworldindata.org/co2-emissions



CO_2 emissions per capita, 2024

Carbon dioxide (CO_2) emissions from burning fossil fuels and industrial processes[1]. This includes emissions from transport, electricity generation, and heating, but not land-use change[2].



https://ourworldindata.org/co2-emissions

CO_2 emissions per capita, 2024

Carbon dioxide (CO_2) emissions from burning fossil fuels and industrial processes[1]. This includes emissions from transport, electricity generation, and heating, but not land-use change[2].



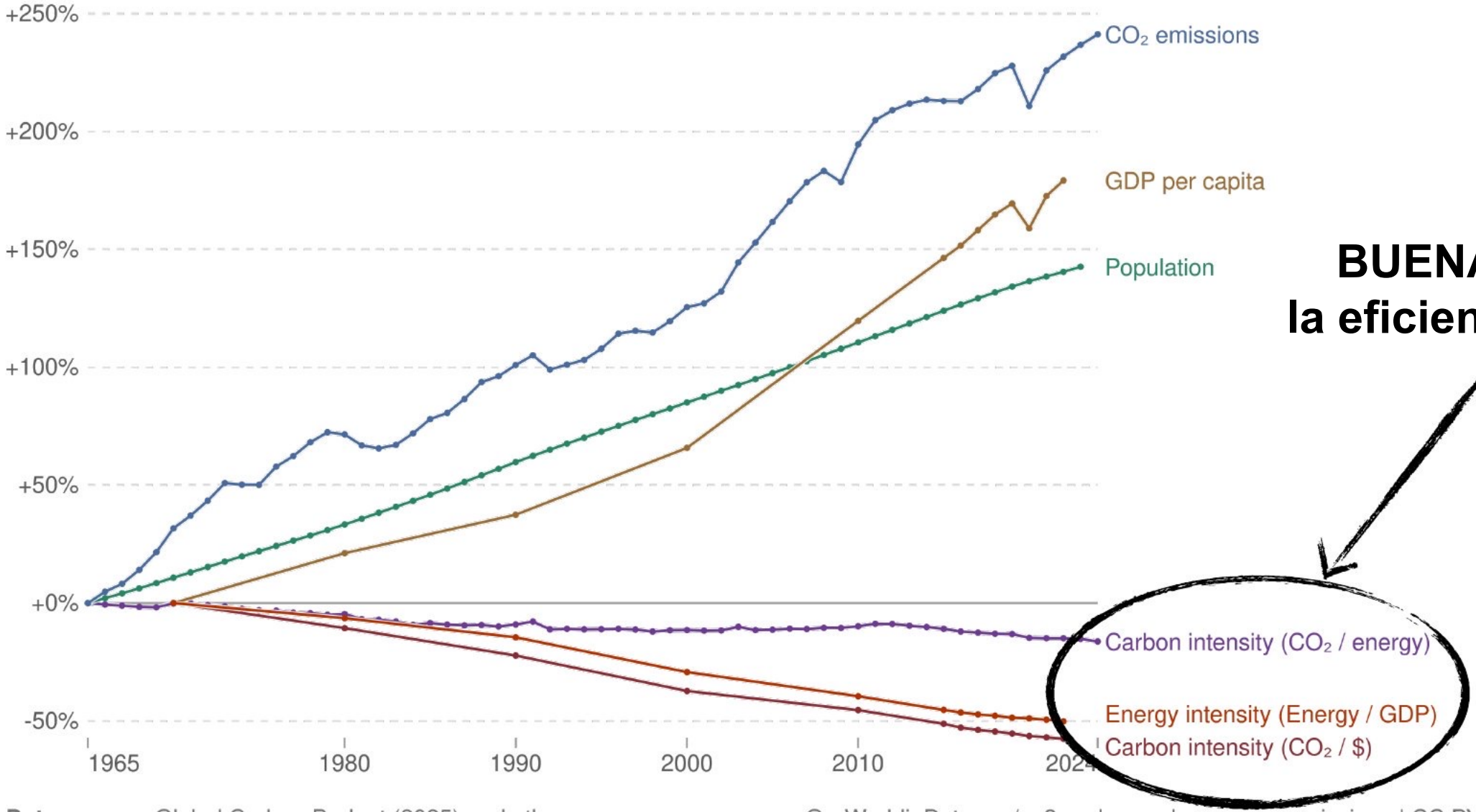
https://ourworldindata.org/co2-emissions

Equidad/justicia climática: reconocer que el cambio climático es una cuestión social, ética y política, y que abordar su raíz exige afrontar la responsabilidad histórica, los legados coloniales y las injusticias sistémicas.

Kaya identity: drivers of CO_2 emissions, World

Our World in Data

Percentage change in the four parameters of the Kaya Identity, which determine total CO_2 emissions. Emissions from fossil fuels and industry are included. Land-use change emissions are not included.



BUENA NOTICIA
la eficiencia aumenta

Data source: Global Carbon Budget (2025) and other sources

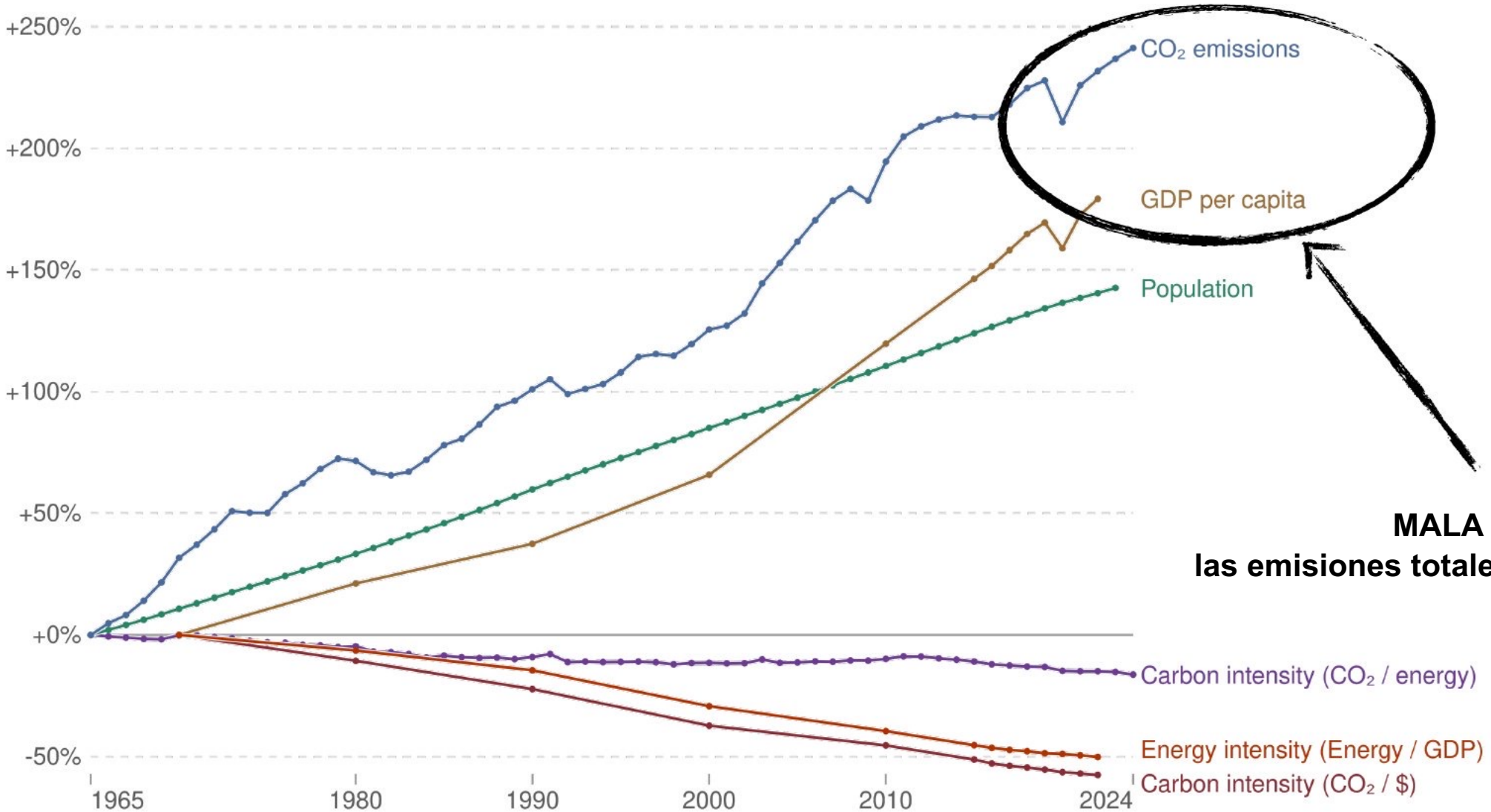
OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

Note: GDP per capita is measured in 2011 international-$ (PPP). This adjusts for inflation and cross-country price differences.

Kaya identity: drivers of CO_2 emissions, World

Our World in Data

Percentage change in the four parameters of the Kaya Identity, which determine total CO_2 emissions. Emissions from fossil fuels and industry are included. Land-use change emissions are not included.



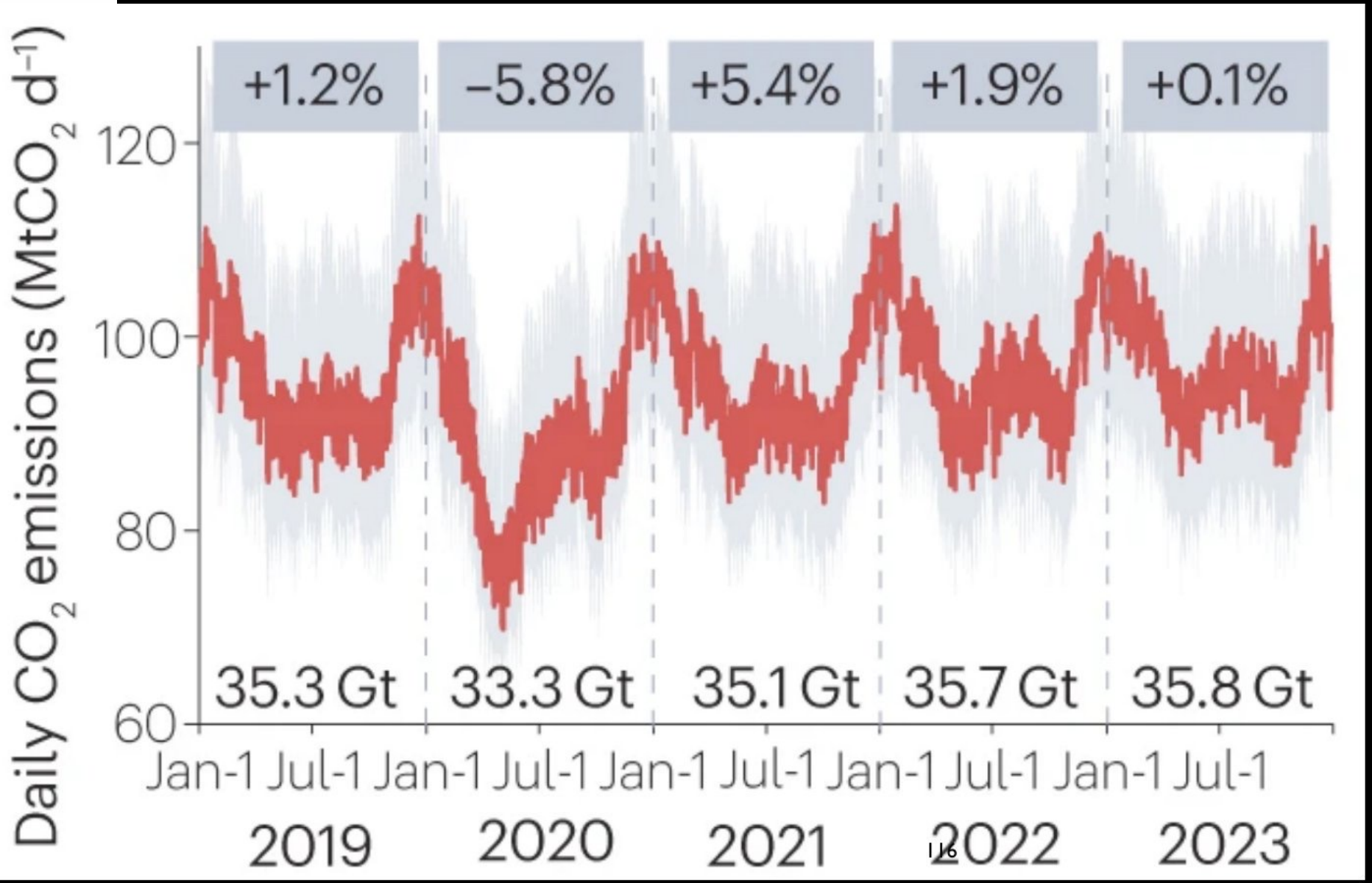
MALA NOTICIA
las emisiones totales siguen aumentando

Data source: Global Carbon Budget (2025) and other sources

OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

Note: GDP per capita is measured in 2011 international-$ (PPP). This adjusts for inflation and cross-country price differences.

La magnitud del reto



COVID

Solo un 5,8 % de descenso interanual de las emisiones

https://www.nature.com/articles/s43017-024-00532-2#Sec3

El Acuerdo de París (COP 21, dic. 2015)

«El objetivo central del Acuerdo de París es reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático manteniendo el aumento de la temperatura mundial en este siglo muy por debajo de 2 grados Celsius sobre los niveles preindustriales y proseguir los esfuerzos para limitarlo aún más, a 1,5 grados Celsius.»

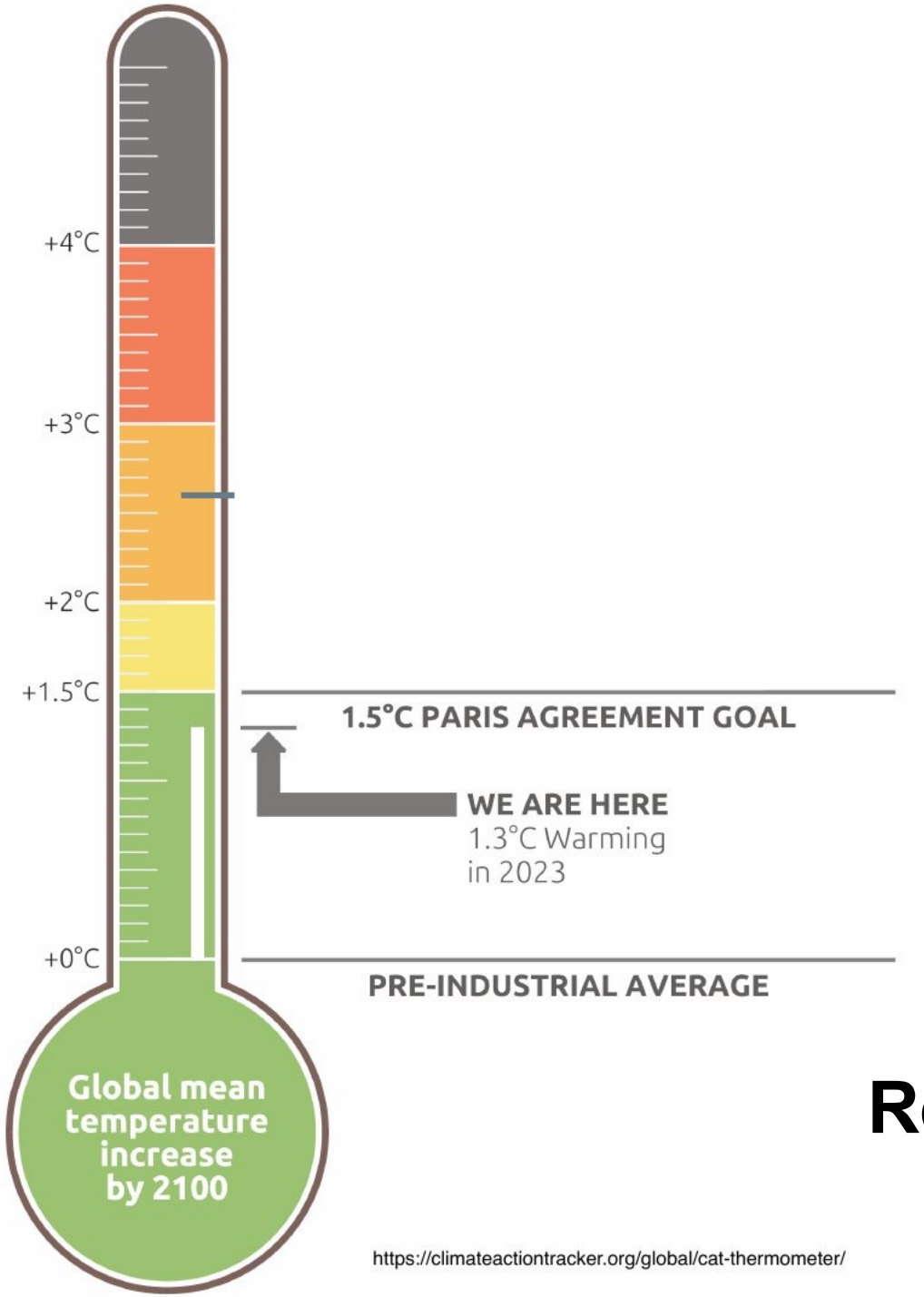
El límite de 2° procede del economista de Yale William Nordhaus en su artículo de 1975: «Can We Control Carbon Dioxide?»

Basado en la idea de que sería razonable intentar mantener el cambio climático dentro de los límites de la «variación normal»

Nordhaus subrayó que su razonamiento era «profundamente insatisfactorio»

http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php

http://theconversation.com/why-is-climate-changes-2-degrees-celsius-of-warming-limit-so-important-82058



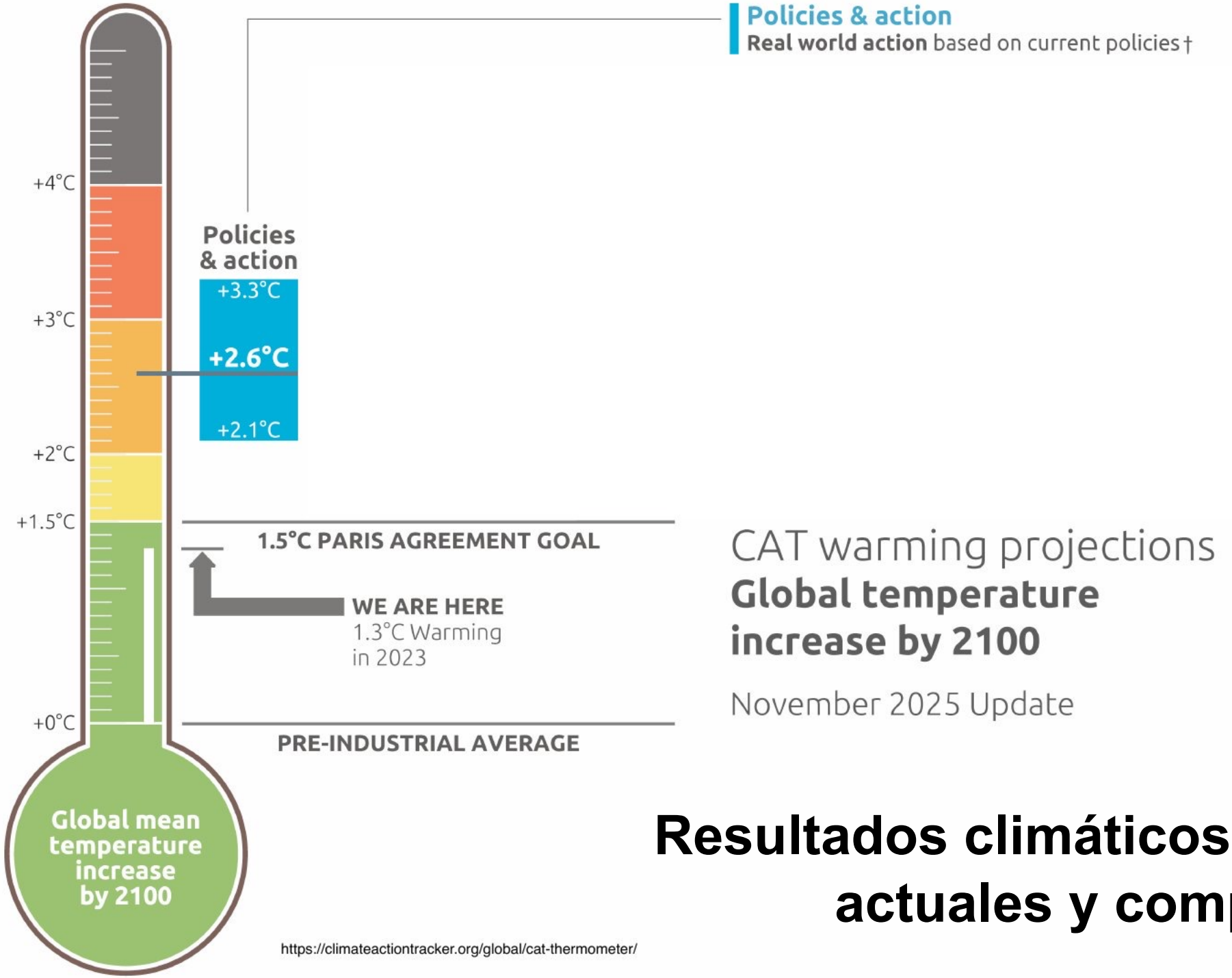
CAT warming projections
Global temperature increase by 2100

November 2025 Update

https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/

Resultados climáticos de los escenarios actuales y comprometidos

Policies & action
Real world action based on current policies†

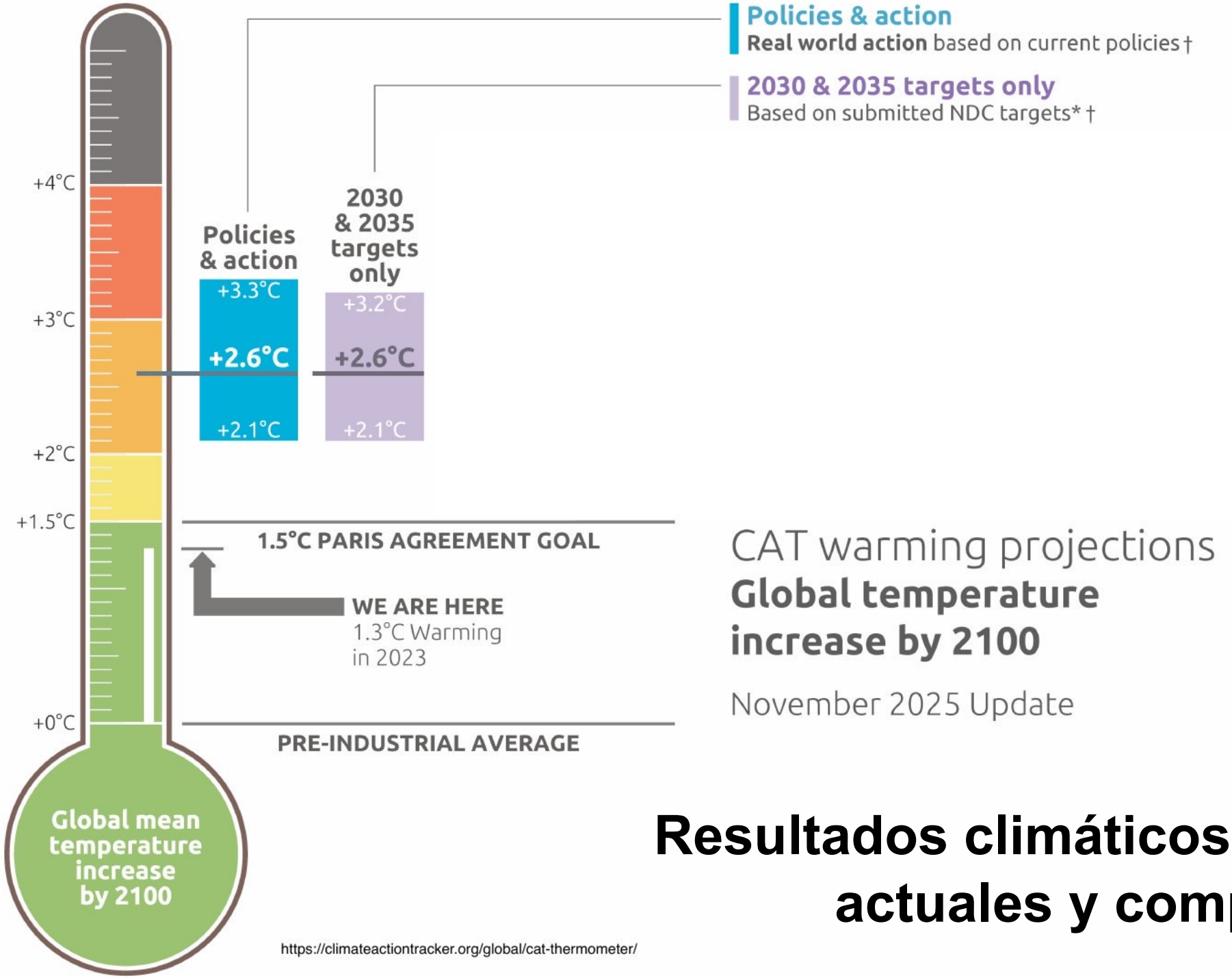


CAT warming projections
Global temperature increase by 2100

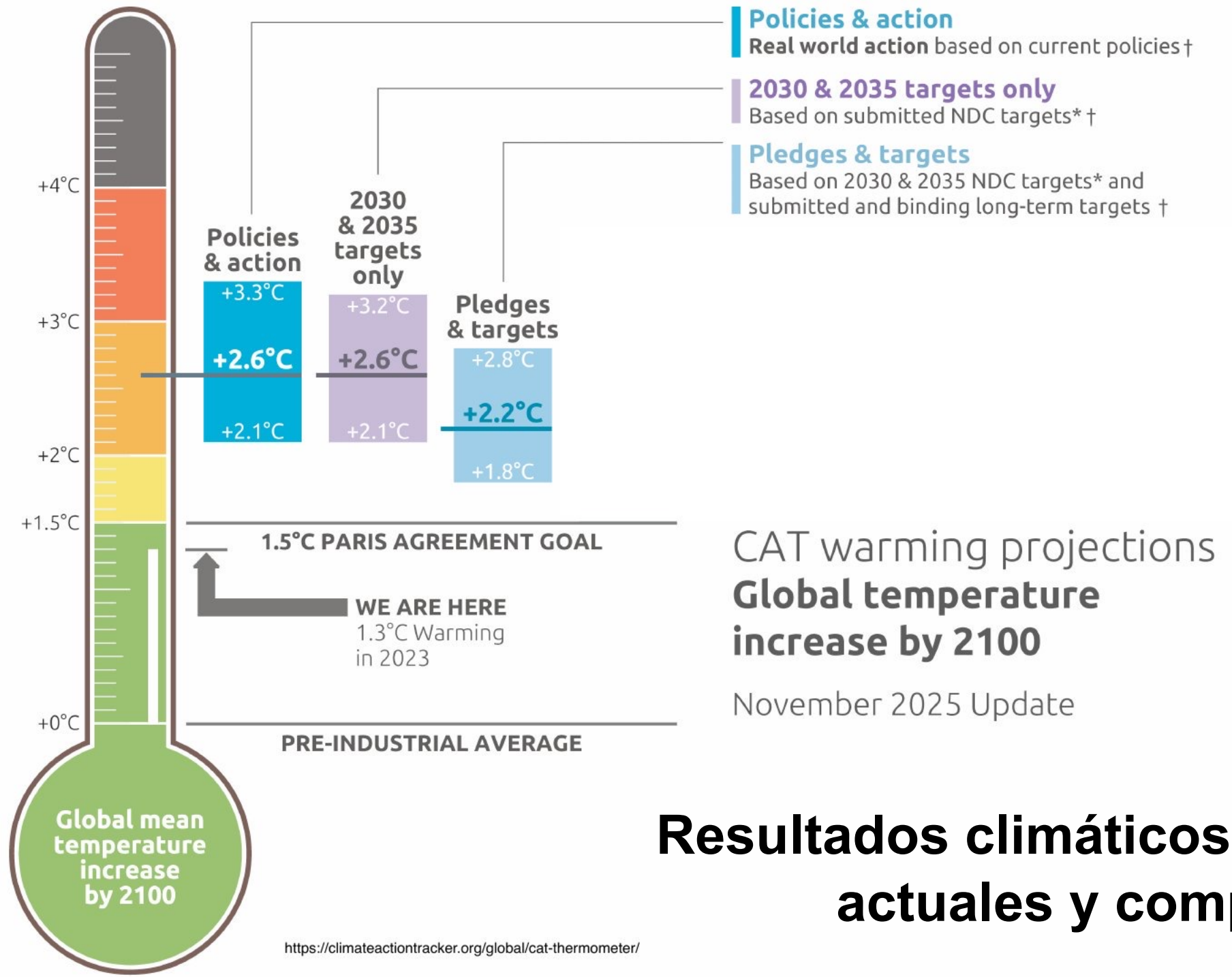
November 2025 Update

https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/

Resultados climáticos de los escenarios actuales y comprometidos

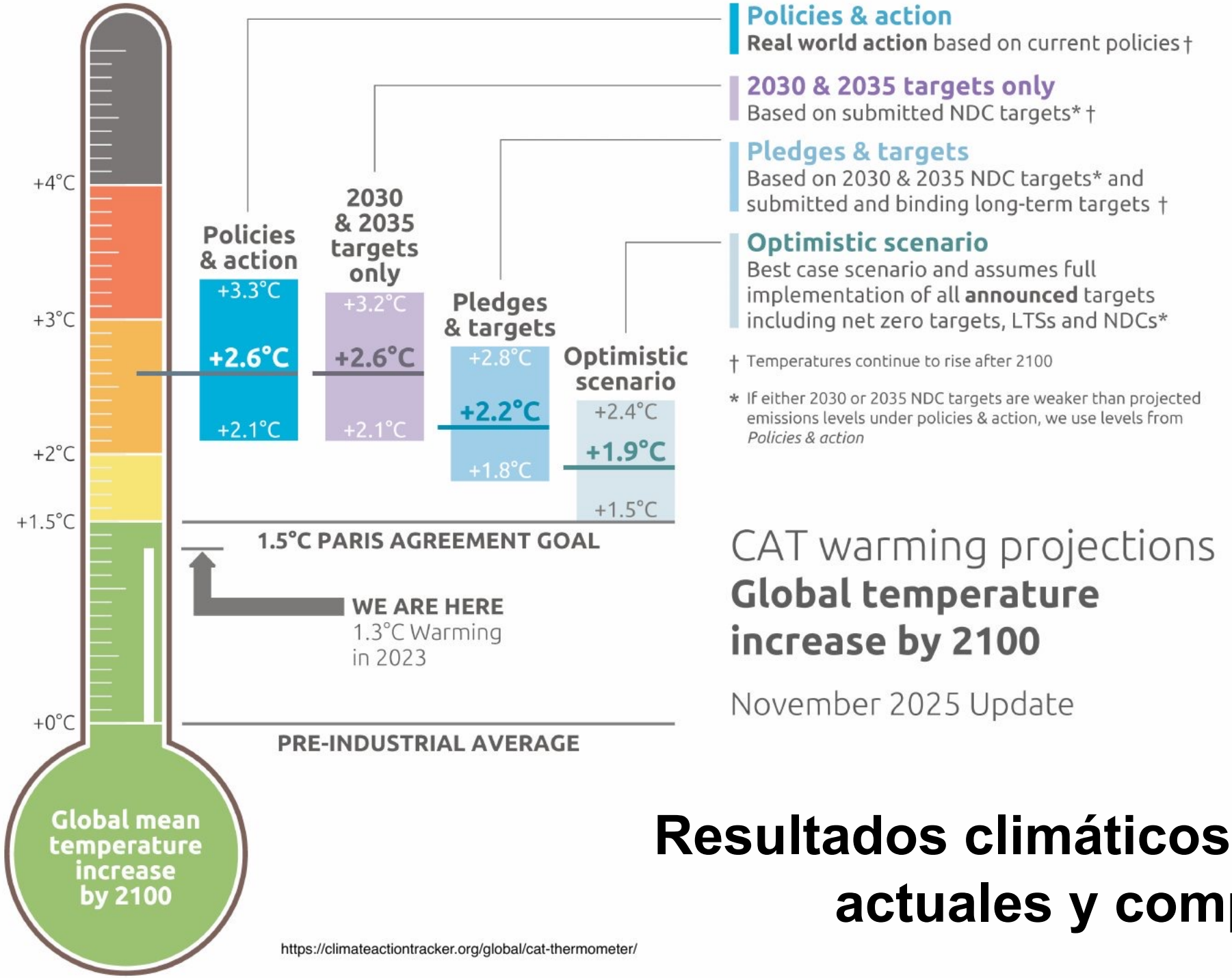


Resultados climáticos de los escenarios actuales y comprometidos



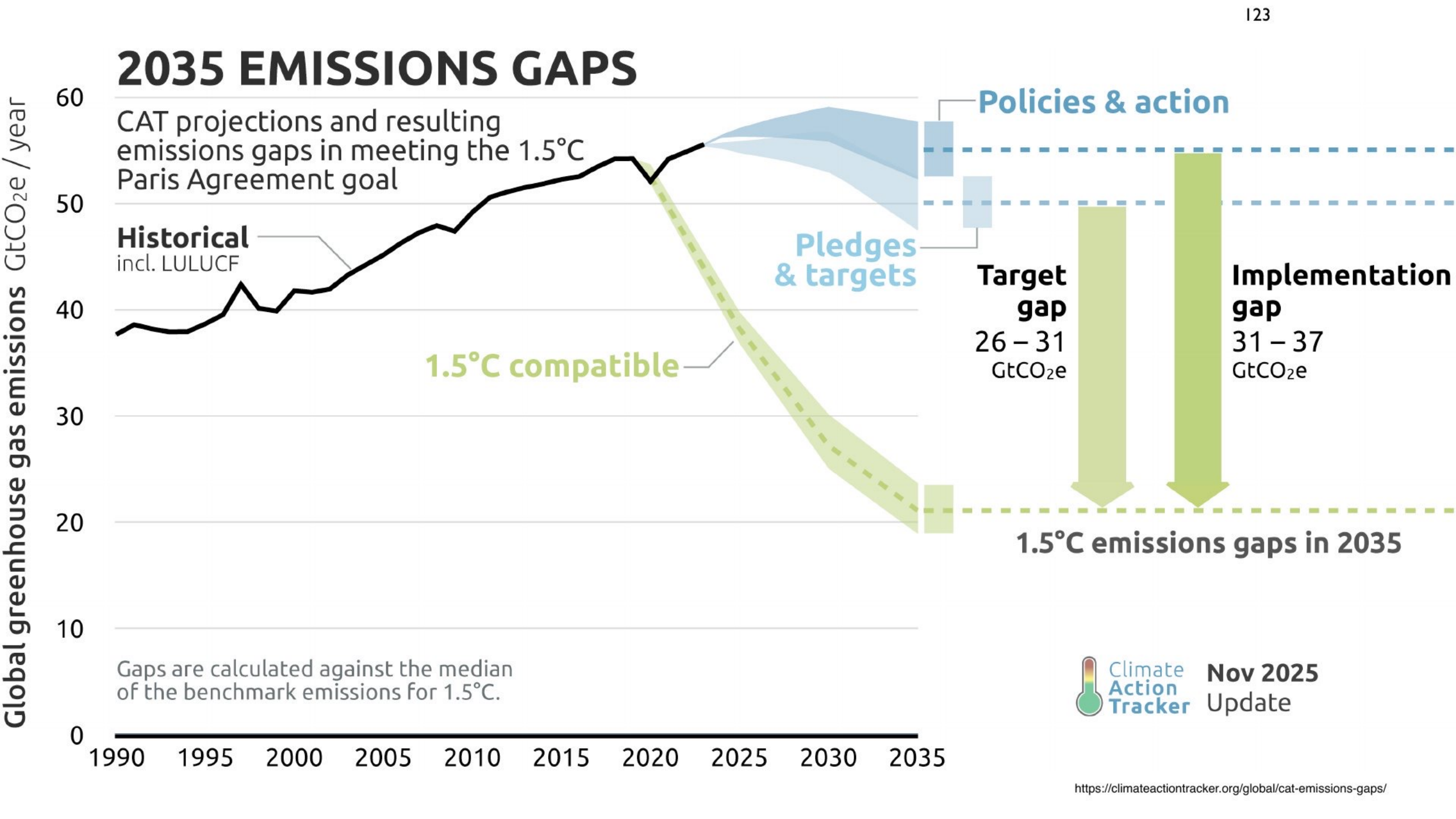
https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/

Resultados climáticos de los escenarios actuales y comprometidos



https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/

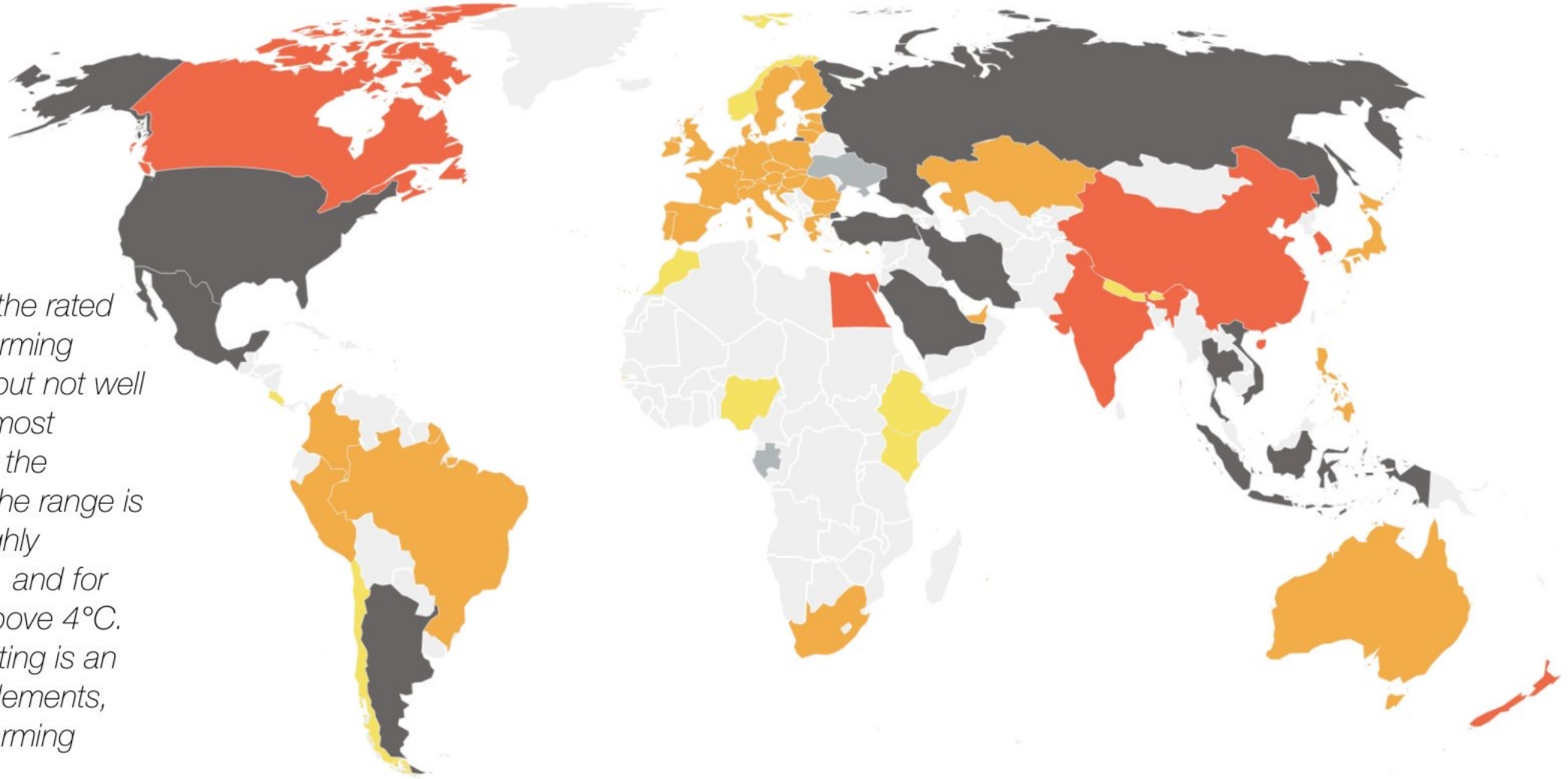
Resultados climáticos de los escenarios actuales y comprometidos



https://climateactiontracker.org/global/cat-emissions-gaps/

Países: contribuciones propuestas

If all countries followed the rated country's approach, warming could be held below—but not well below—2°C for the "Almost sufficient" category. For the "Insufficient" category, the range is 2°C to 3°C, for the "Highly Insufficient" 3°C to 4°C, and for "Critically insufficient" above 4°C. Given that the overall rating is an aggregate of different elements, we do not provide a warming range for it.



CRITICALLY INSUFFICIENT | HIGHLY INSUFFICIENT | INSUFFICIENT | ALMOST SUFFICIENT | 1.5°C PARIS AGREEMENT COMPATIBLE

http://climateactiontracker.org/countries.html

ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

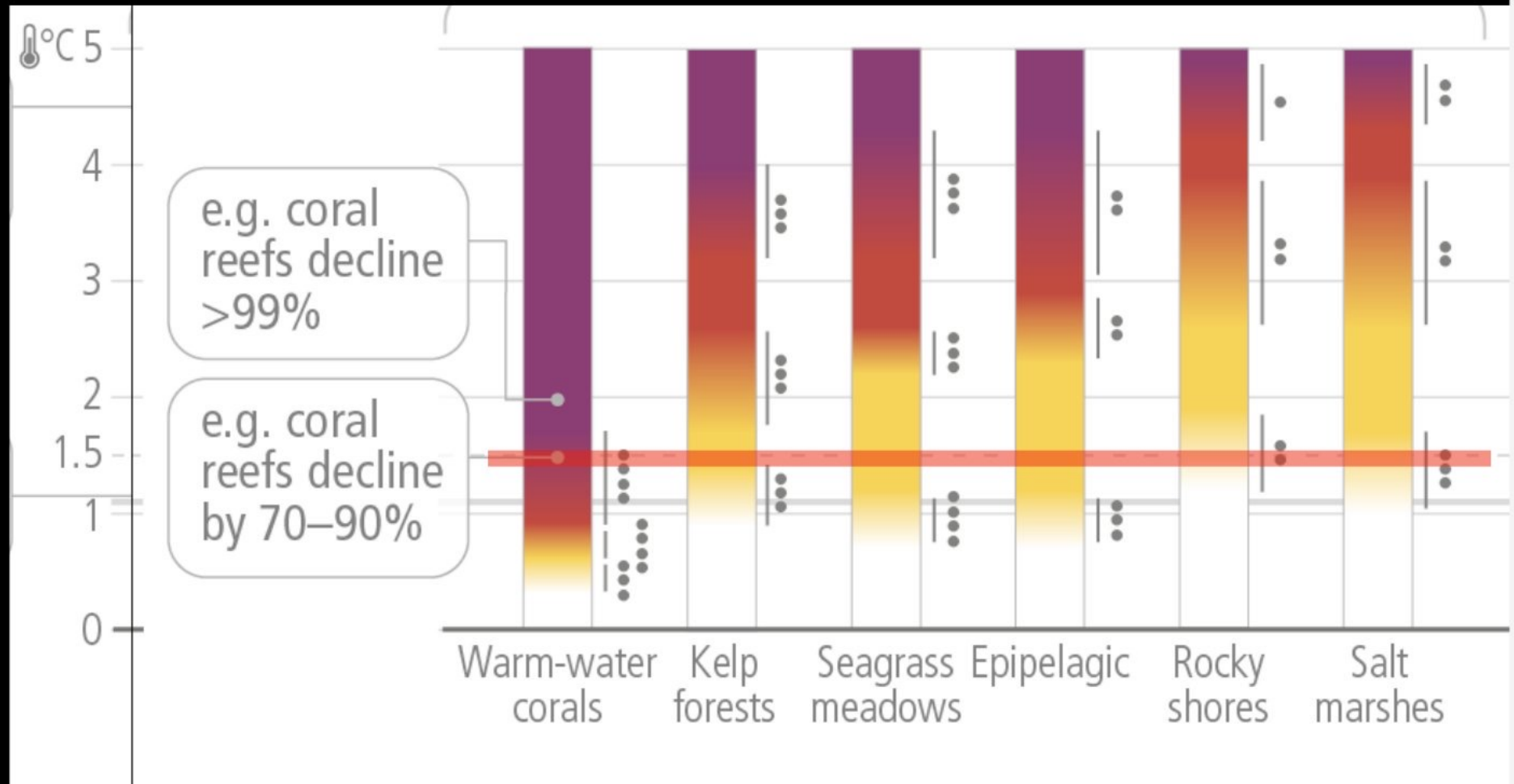
ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

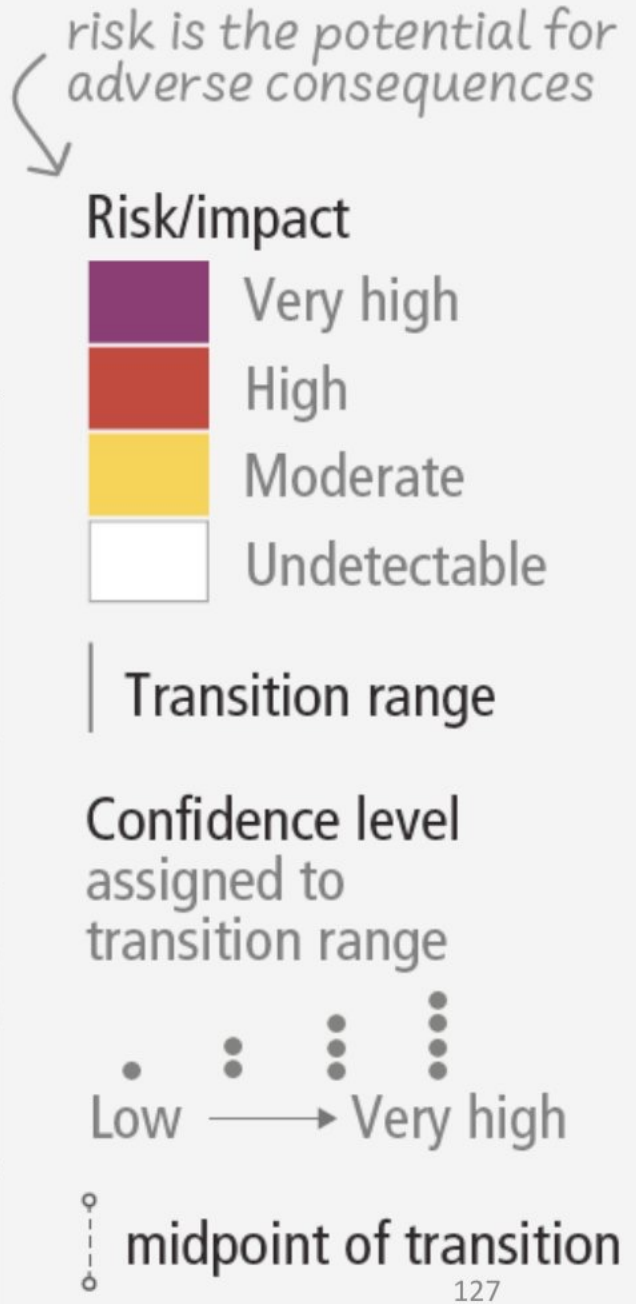
Robustez: resistir una serie de escenarios sin impacto o con impacto mínimo

Resiliencia: recuperarse rápido tras un impacto

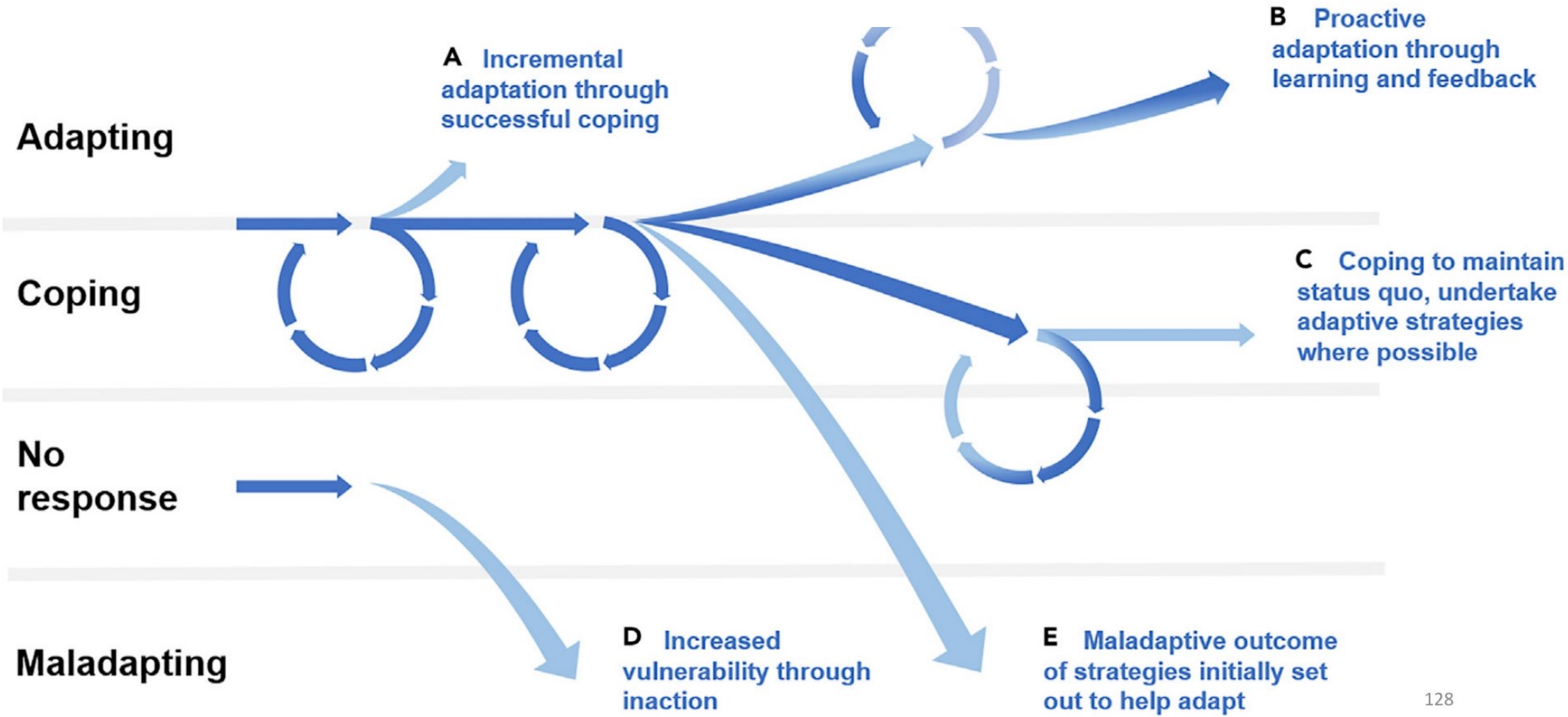
CUALQUIER calentamiento evitado es calentamiento

al que no tendremos que adaptarnos (aunque no cumplamos los objetivos de París)

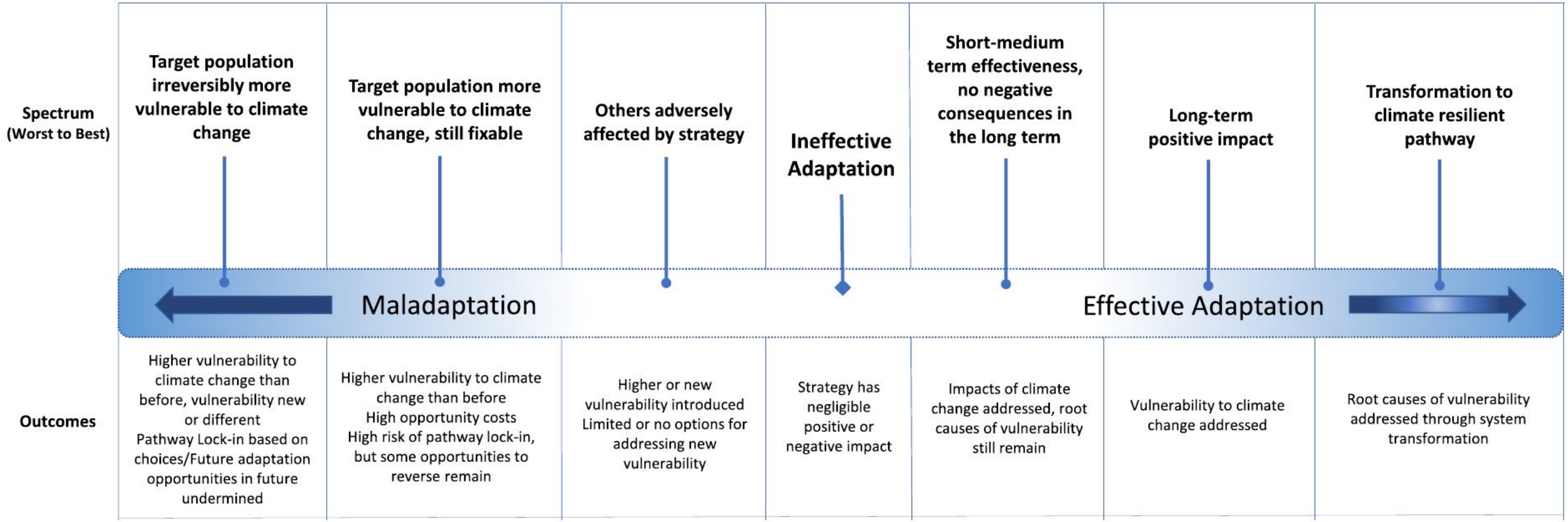




ADAPTACIÓN

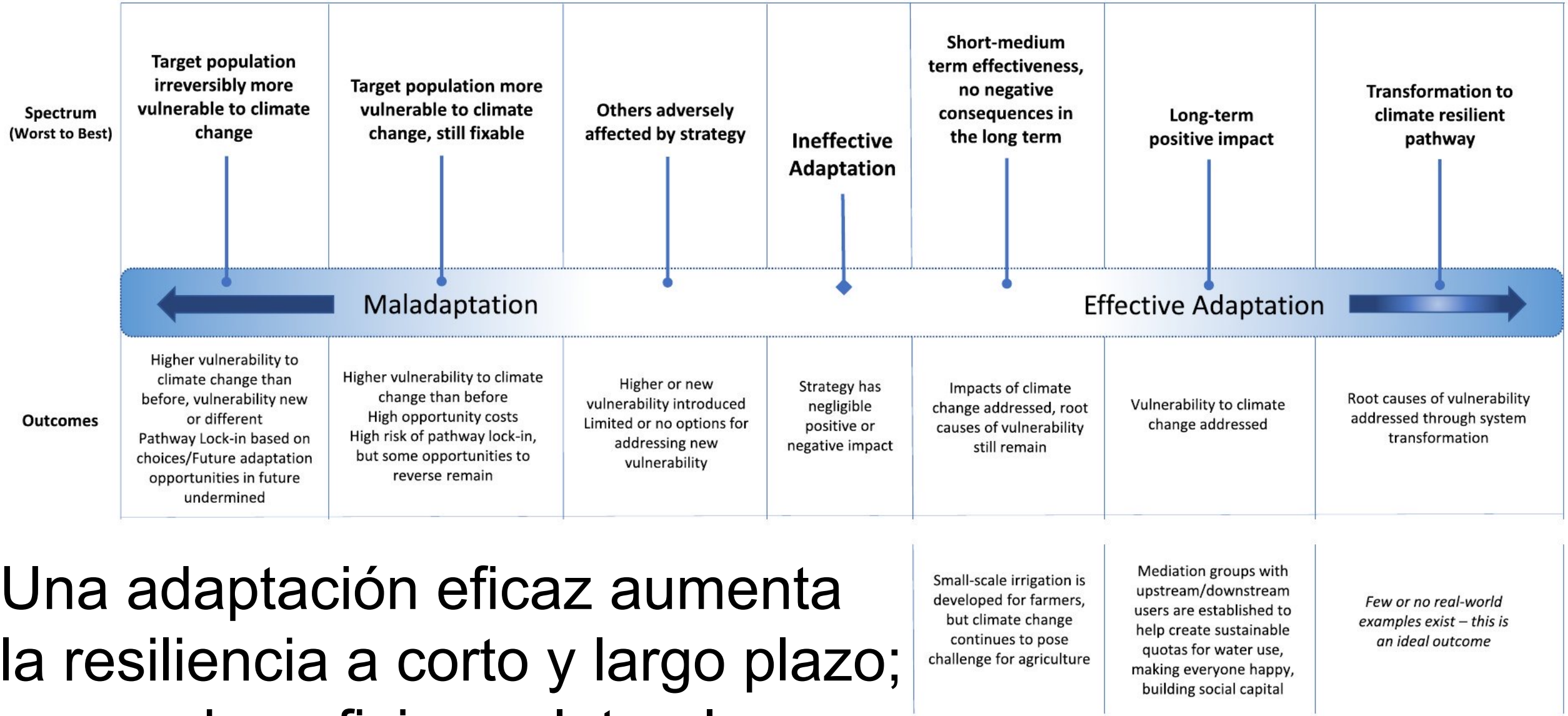


https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332220304838#fig2



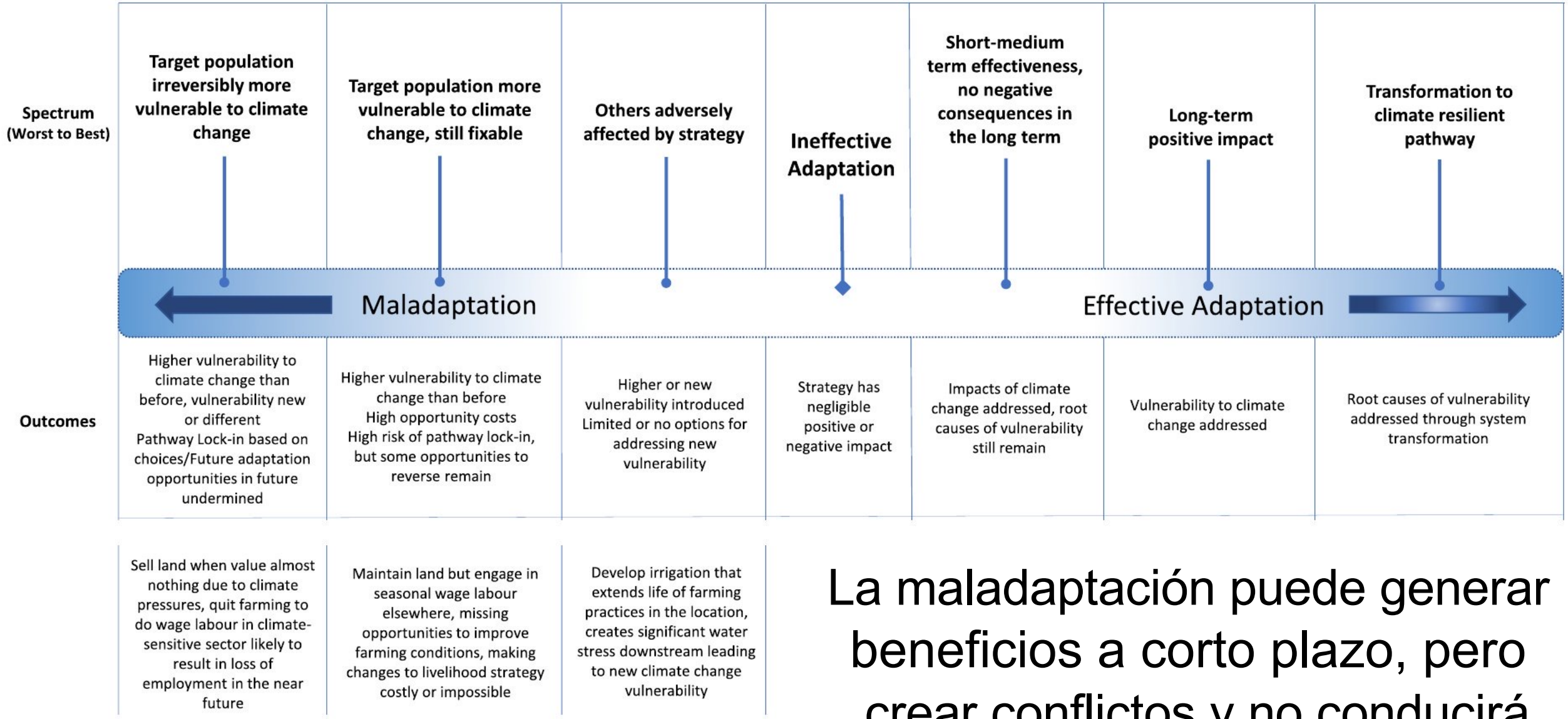
Abanico de posibles resultados de las estrategias de (mal)adaptación

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332220304838#fig2



Una adaptación eficaz aumenta la resiliencia a corto y largo plazo; genera beneficios colaterales y requiere cooperación

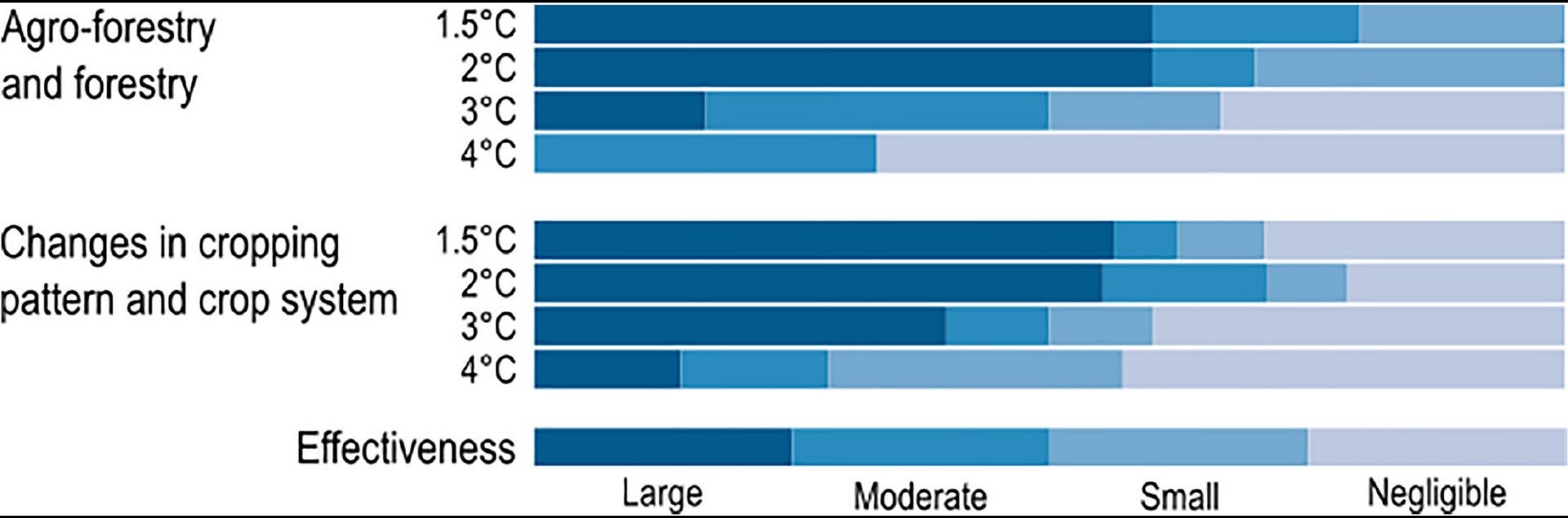
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332220304838#fig2



La maladaptación puede generar beneficios a corto plazo, pero crear conflictos y no conducirá a la sostenibilidad a largo plazo

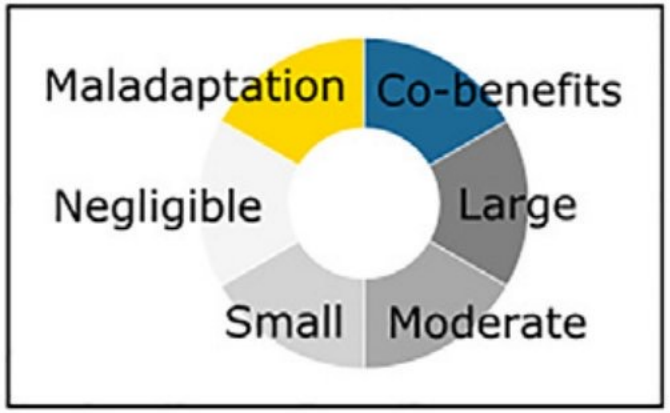
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332220304838#fig2

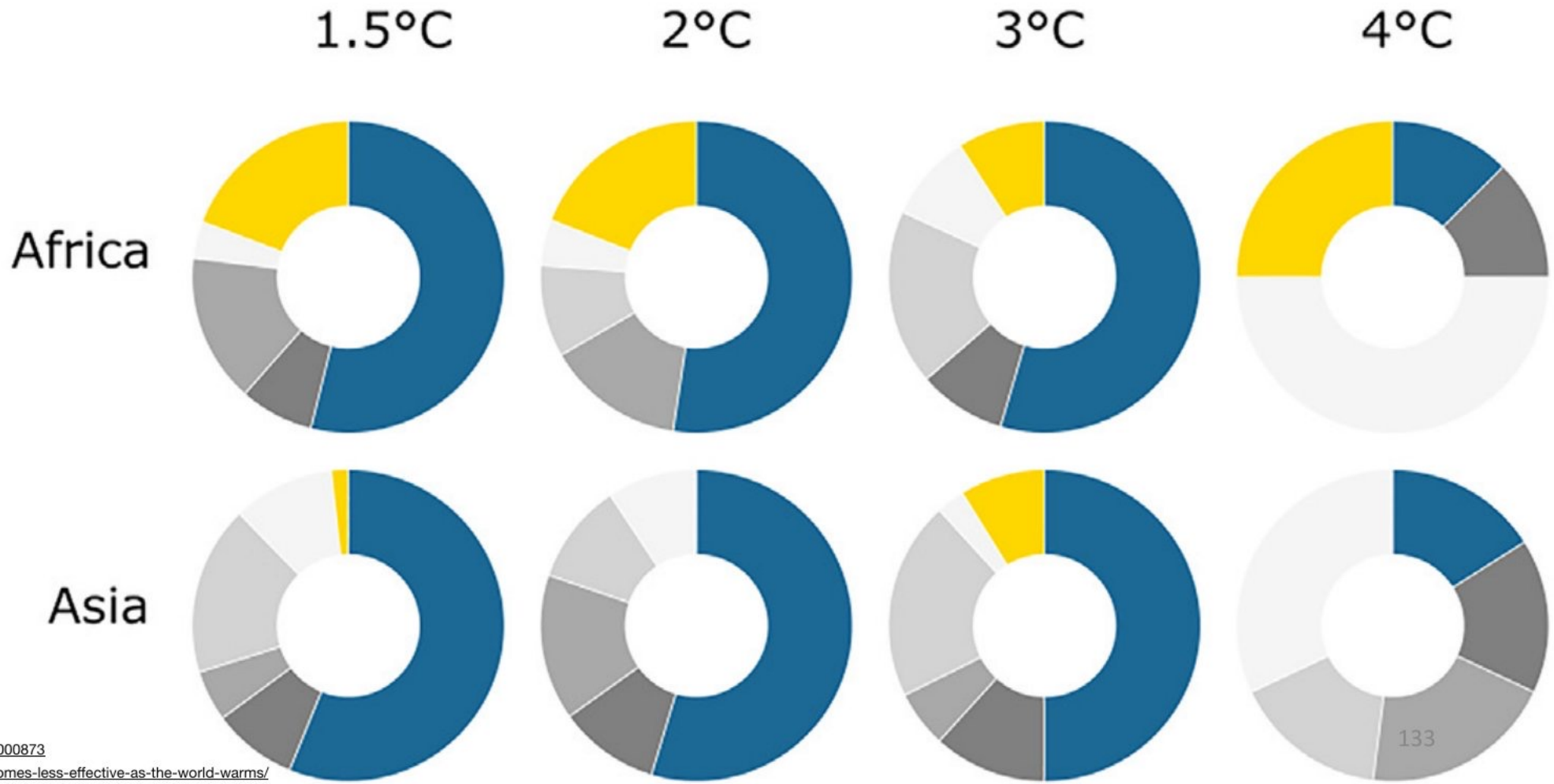
ADEMÁS, la adaptación es más fácil y eficaz con menores niveles de calentamiento



https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332224000873
https://www.carbonbrief.org/guest-post-climate-adaptation-becomes-less-effective-as-the-world-warms/

Beneficios colaterales, maladaptación y eficacia





https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332224000873
https://www.carbonbrief.org/guest-post-climate-adaptation-becomes-less-effective-as-the-world-warms/

Beneficios colaterales y contrapartidas de la acción climática

Biodiversity measures (& corresponding sections in the main text)	Climate change mitigation
Avoiding deforestation (2.1)	+
Avoiding degradation of permafrost areas (2.1)	+
Reforestation, avoiding forests degradation (2.1)	+
Coastal restoration (2.1)	+
Restoring degraded semi-arid ecosystems (2.1)	?
Restoring inland wetlands (2.1)	?

Contribution to climate change mitigation

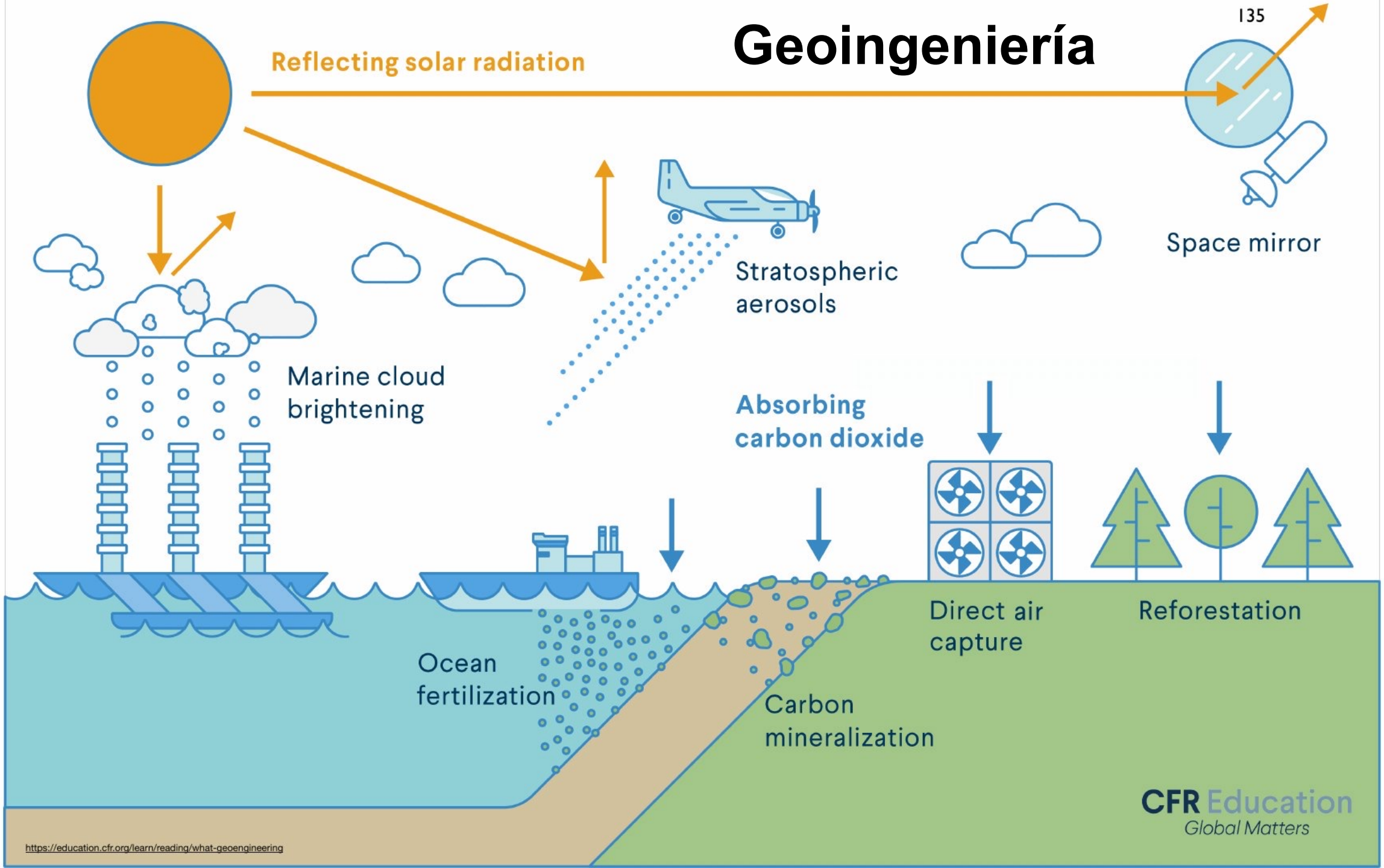
- Significantly positive, strong scientific evidence
- Potentially positive, incomplete evidence & quantification
- Unresolved, lack of evidence, system-dependent, tradeoffs
- Indirect positive
- Loose or non-existent link
- Negative, strong scientific evidence

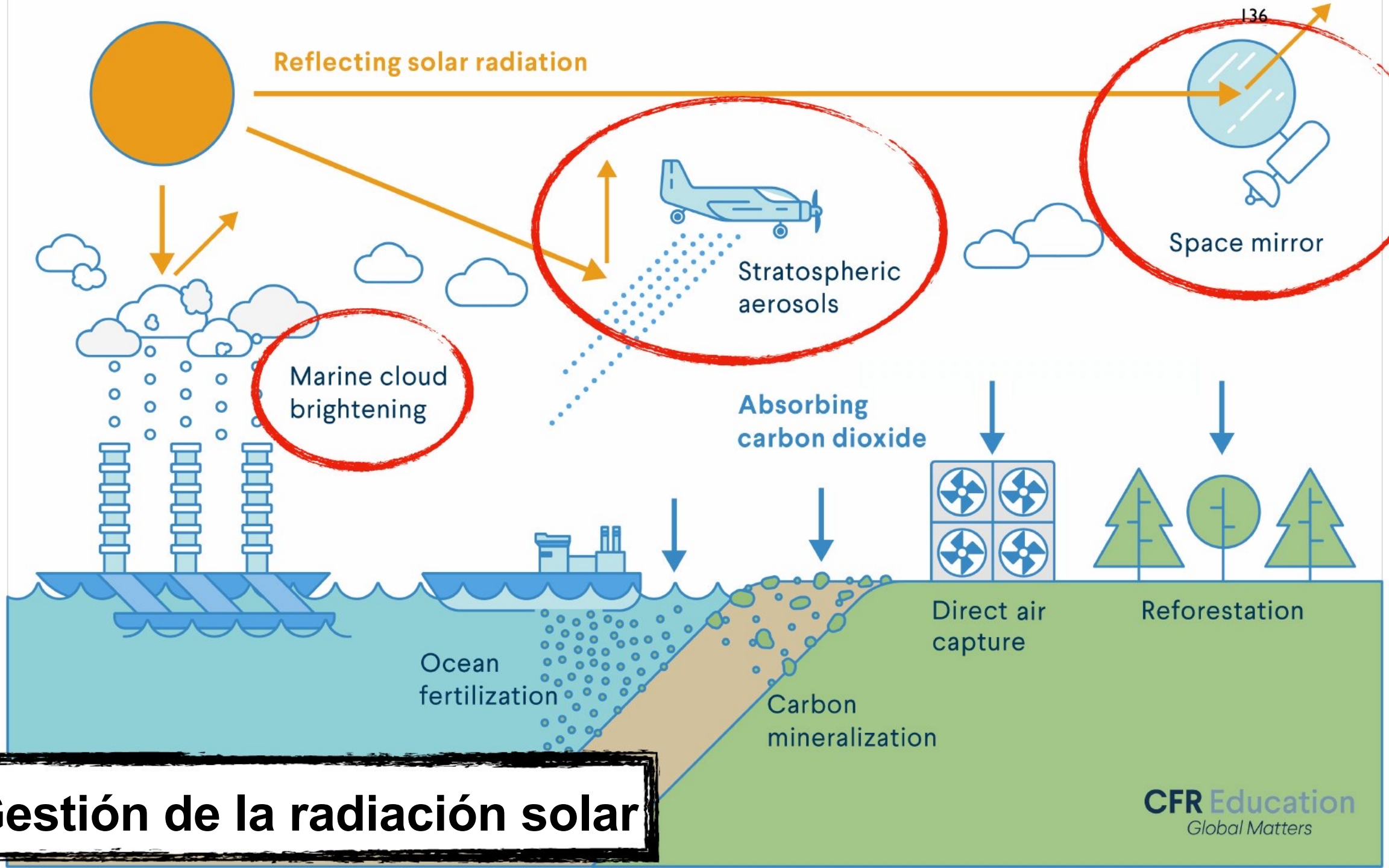
Reliability of the mitigation outcome

- ++ High
- + Medium
- ? Unresolved, lack of evidence

https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1111/gcb.16109

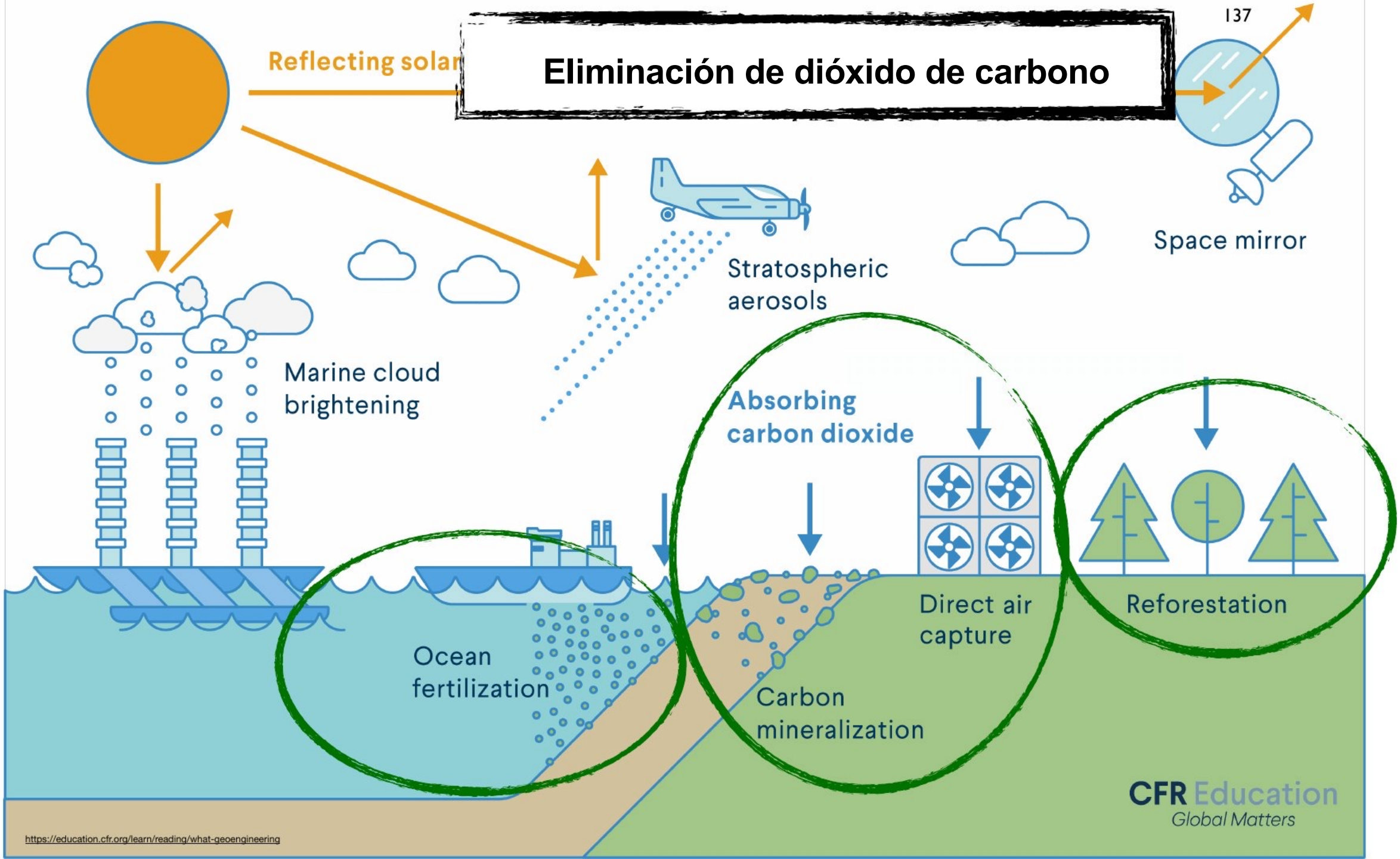
Geoingeniería





Gestión de la radiación solar

Eliminación de dióxido de carbono



No es teórico…

Inside Climate News

Pulitzer Prize-winning, nonpartisan r
biggest crisis facing our planet.

Justice & Health

An Indigenous Group's Objection to Geoengineering Spurs a Debate About Social Justice in Climate Science

The Sámi people of Northern Sweden say blocking out the sun with reflective particles to cool the earth is the kind of thinking that produced the climate crisis in the first place.



By Haley Dunleavy
July 7, 2021

PLANET

A Private Company Wants to Block the Sun, Responsibly

Stardust sold geoengineering to investors. Now it needs to sell it to the public.

By Alexander C. Kaufman

Insight: How two weather balloons led Mexico to ban solar geoengineering

By **Cassandra Garrison**

March 27, 2023 4:02 PM EDT · Updated March 27, 2023



Climeworks signs first AI carbon removal deal



By **Molly Burgess**
8 hours ago · 2 min read

Bookmark

ClimeWorks (planta Mammoth)

Located in Iceland, Mammoth is about ten times bigger than its predecessor plant, Orca.

- Empresa: ClimeWorks, ubicación: Islandia
- Alimentada al 100 % con energía renovable (geotérmica); capacidad máxima prevista de 36 000 t de CO_2 al año (en la práctica, algo menor)
- Emisiones humanas mundiales anuales de CO_2: ~38,6 MIL MILLONES de toneladas (2024)
- Para compensar estas emisiones de CO_2 harían falta ~1 072 222 plantas como esta con capacidad equivalente (p. ej. alimentadas totalmente con renovables).



https://climeworks.com/news/the-carbon-removal-production-waterfall

Desventajas de la EDC

Puede ser costosa de aplicar a gran escala

Los beneficios climáticos pueden tardar mucho en llegar

Puede tener otras consecuencias imprevistas en los ecosistemas (p. ej., fertilización oceánica)

Desventajas de la GRS

Requiere mantenimiento continuo, lo que puede ser caro

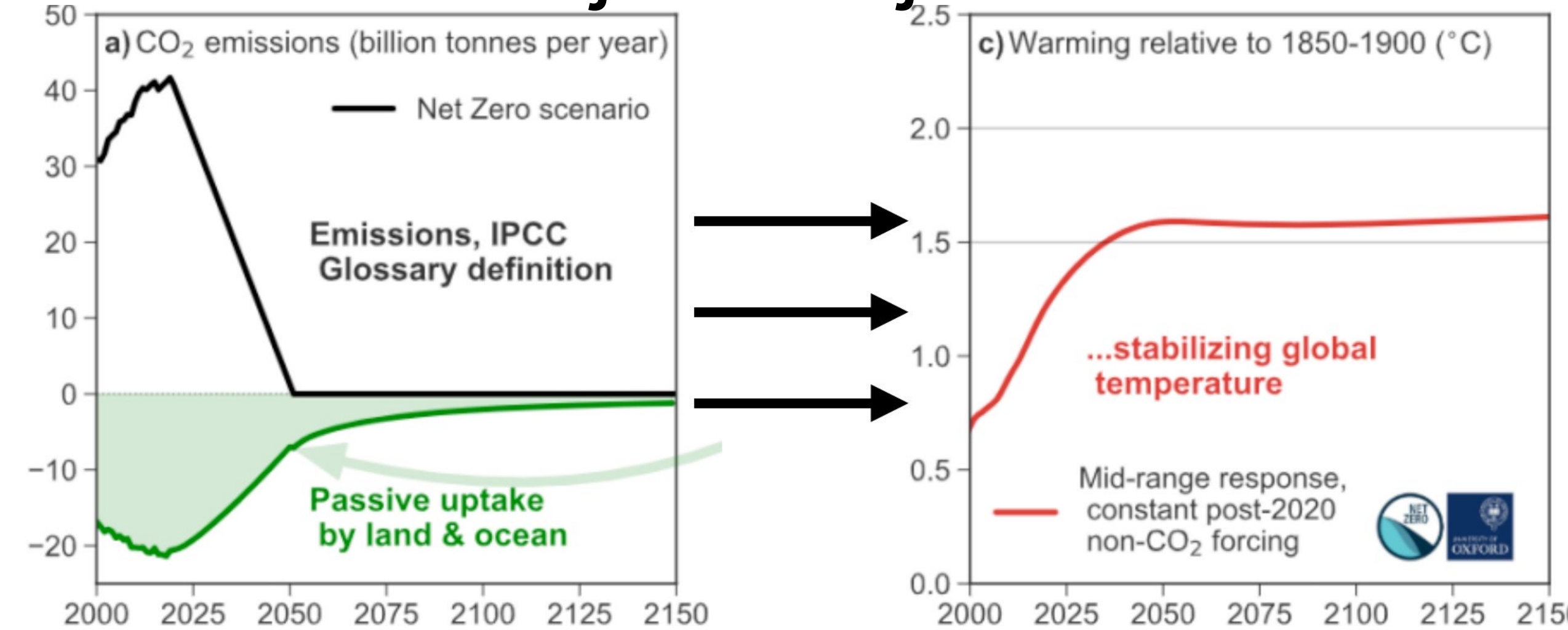
No aborda en absoluto el problema de la acidificación oceánica

Pesadilla de gobernanza mundial

Puede tener otras consecuencias climáticas imprevistas (p. ej. precipitaciones)

NINGUNA HA DEMOSTRADO FUNCIONAR A LA ESCALA NECESARIA PARA HACER FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO (AÚN).

Lo único que sabemos que funciona es dejarlo bajo tierra



https://www.nature.com/articles/s41586-024-08326-8

Repase la sesión. ¿Cuáles son las tres cosas que más quiere recordar? Tómese 60 segundos

MÁS EMISIONES = MÁS CALENTAMIENTO

solo se detiene cuando se detienen las emisiones

Evitar lo peor exigirá TANTO
adaptación como mitigación

Toda decisión política tendrá que considerar muchas incertidumbres sobre la respuesta del sistema climático, los beneficios colaterales y las contrapartidas

Las propuestas de geoingeniería son, como mucho, parches y nunca se ha demostrado que funcionen a gran escala

GRACIAS