GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
AEMet
Agencia Estatal de Meteorología

XVIII CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE TELEDETECCIÓN
*Hacia una visión global del cambio climático*
Valladolid, 25-27 de septiembre 2019

# Cambio climático:
## papel de superficie terrestre, océanos y criosfera

E. Rodríguez Camino, AEMET
erodriguezc@aemet.es

- The history of the atmosphere, and of the annual variations of its temperature, extends already sufficiently far back to show the recurrence of slight disturbances in the mean temperature of any given place, and thus affords sufficient guarantee against the exaggerated apprehension of a **general and progressive deterioration of the climates of Europe.**

Alexander von Humboldt (1769, 1859)

# Esta isla desaparecerá en los próximos siglos!!

# Índice

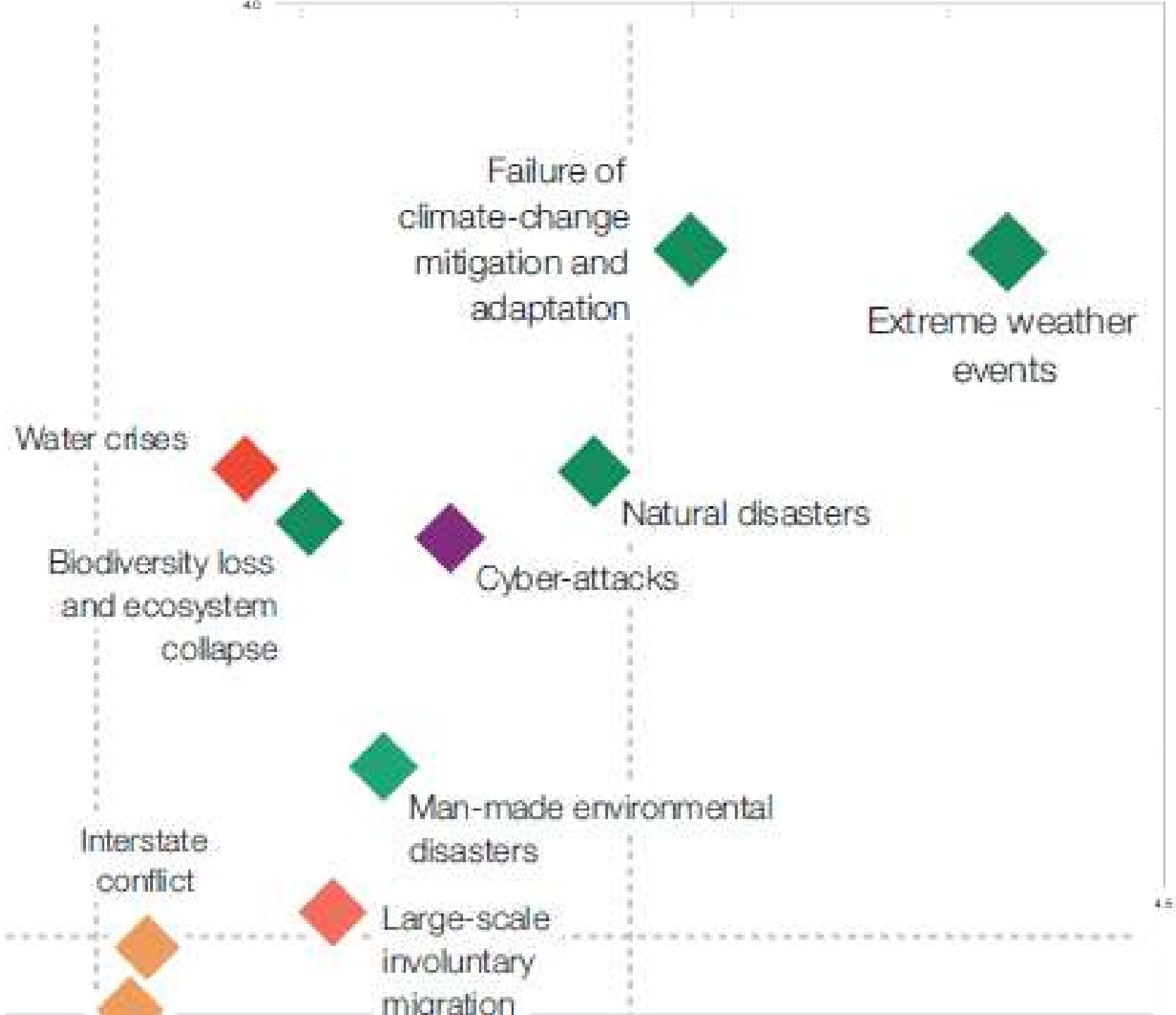
- Introducción
- Características del sistema climático: observaciones y proyecciones
- Modelos. Incertidumbres. Atribución
- Papel de la superficie terrestre
- Océanos y hielo
- Sendas de reducción de emisiones para no sobrepasar 1.5 $^{o}$C y 2 $^{o}$C
- Cambio climático y los ODS
- Conclusiones

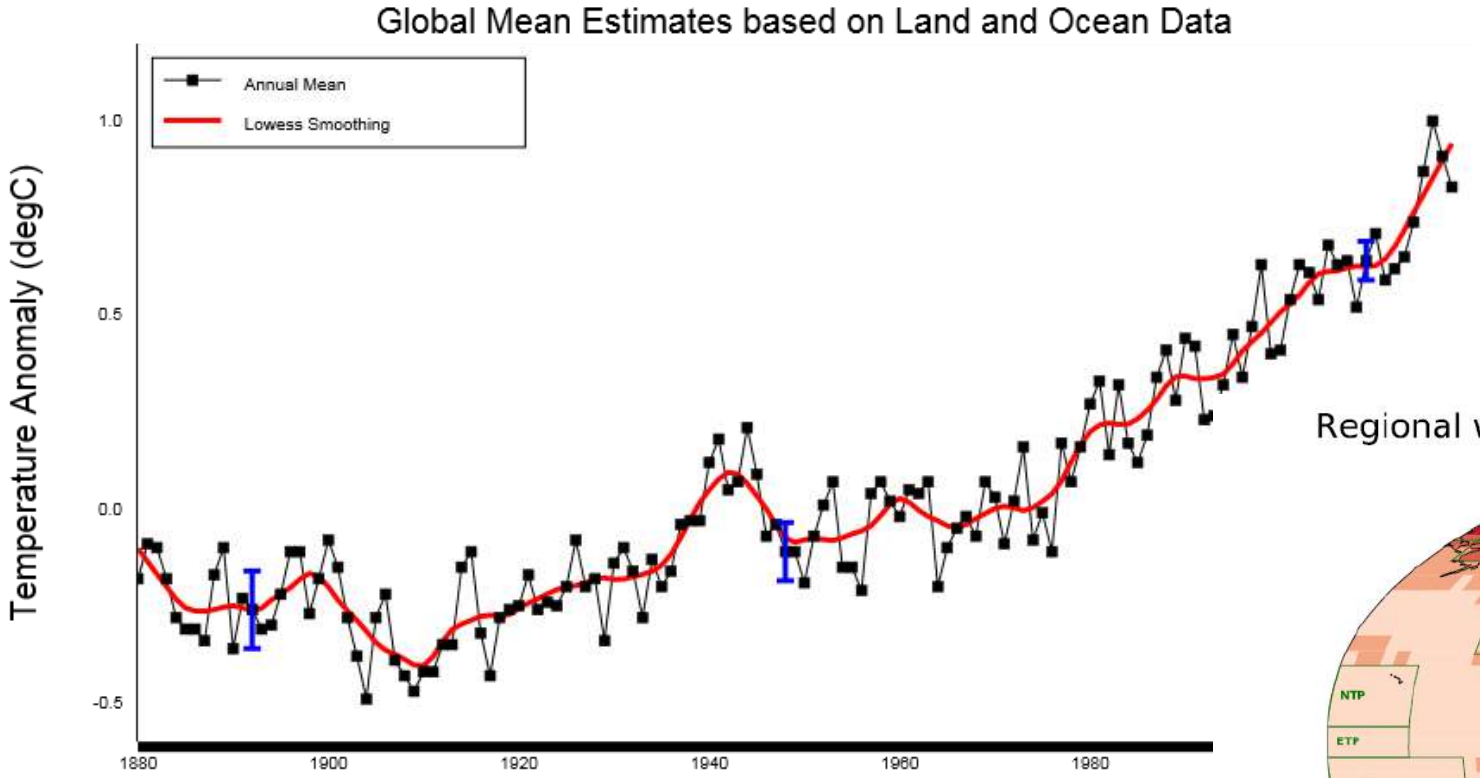
Categories

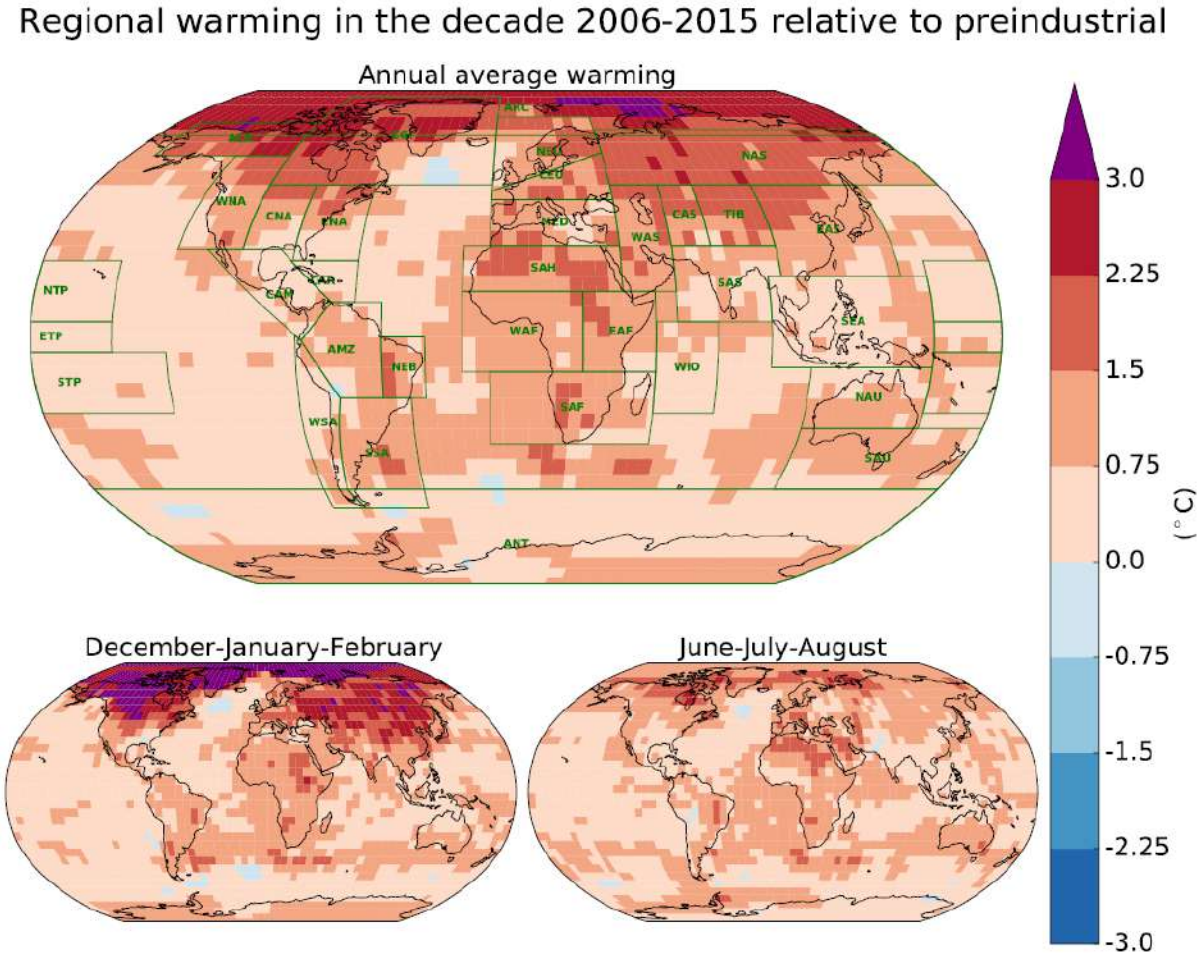
- Economic
- Environmental
- Geopolitical
- Societal
- Technological

# The Global Risks Report 2019

WORLD ECONOMIC FORUM





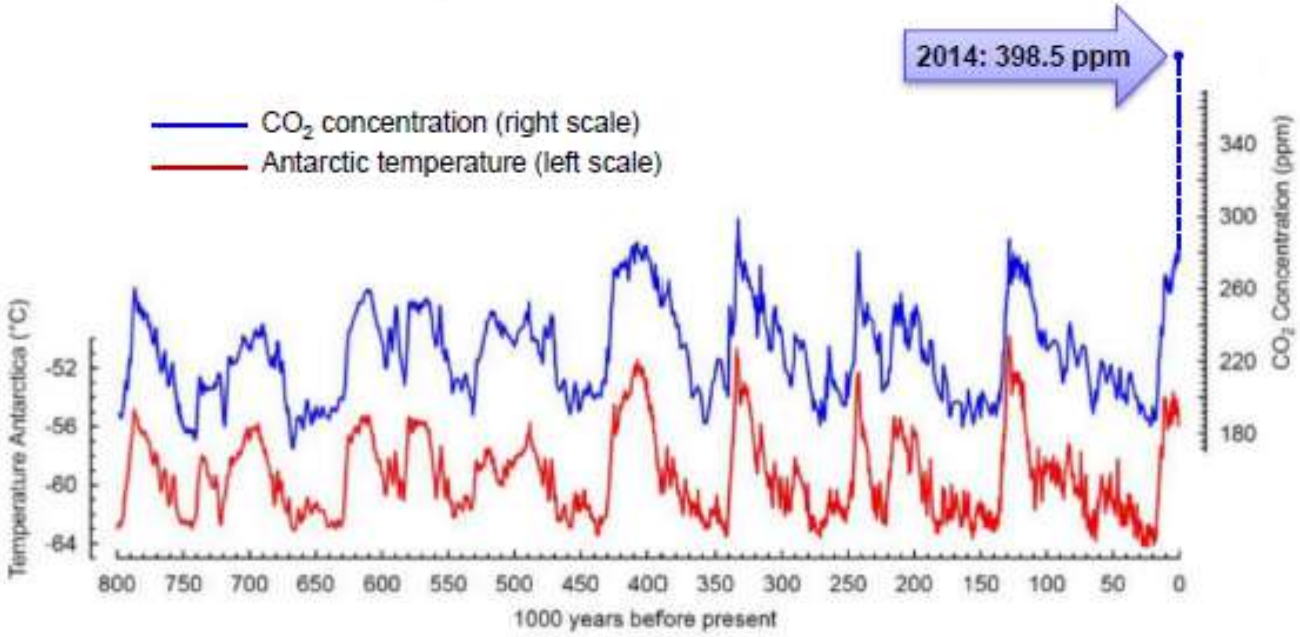




El calentamiento no es uniforme ni espacial ni estacionalmente.

(SR1.5 IPCC, 2018)

# We entered an interglacial warm period 8,000 years ago, a naturally cyclical event that seems to have had correlated impacts on temperature and $CO_2$ concentrations over the past million years

## RECONSTRUCTION OF ATMOSPHERIC $CO_2$ CONCENTRATIONS AND ANTARCTIC TEMPERATURES OVER THE LAST 800,000 YEARS[1]

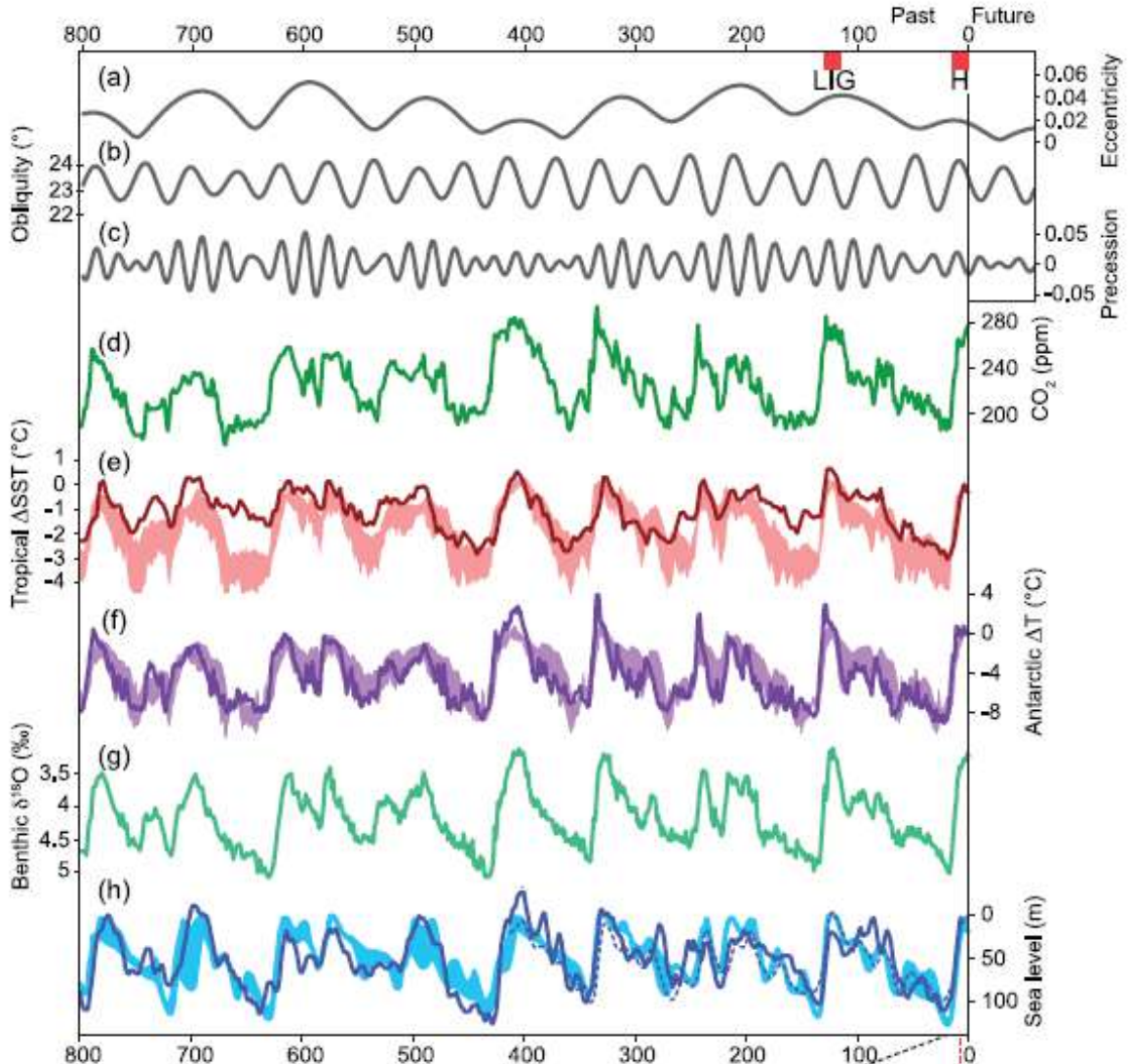



- Within the current major glaciation period, the past million years saw regular interglacial warm periods, initiated by natural variations in the Earth's orbit around the Sun (~100,000 year Milankovitch cycles[2]).
- During these cycles, Antarctic temperatures and variations in global $CO_2$ concentrations appear closely correlated.
- $CO_2$-concentration rises do *not* precede temperature rises:
  - Temperature rises are *initiated* by Milankovitch cycles.
  - Warmed oceans naturally release more dissolved $CO_2$ into the atmosphere, causing $CO_2$ concentrations to increase.
  - Induced greenhouse effect amplifies the initial warming as part of a positive feedback loop.
  - Overall, about 90% of the temperature rise is estimated to occur *after* the $CO_2$ increase[3].
- We are currently in an interglacial warm period that started ~8,000 years ago.
- $CO_2$ concentrations have increased rapidly since the Industrial Revolution and are now higher than at any time over the past million years.

Note: [1] The solid lines are reconstructions based on data from air bubbles contained in the Vostok ice cores – the oldest direct reconstruction of the Earth's climate. The dashed blue line indicates recent atmospheric measurements. [2] The Milankovitch theory describes the collective effects on the Earth's climate of cyclical changes in Earth's orbit around the Sun. For each cycle, it took an average 5,000 years for temperatures to rise by 4-7°C and for the global average $CO_2$ concentrations to rise by ~80 ppm.

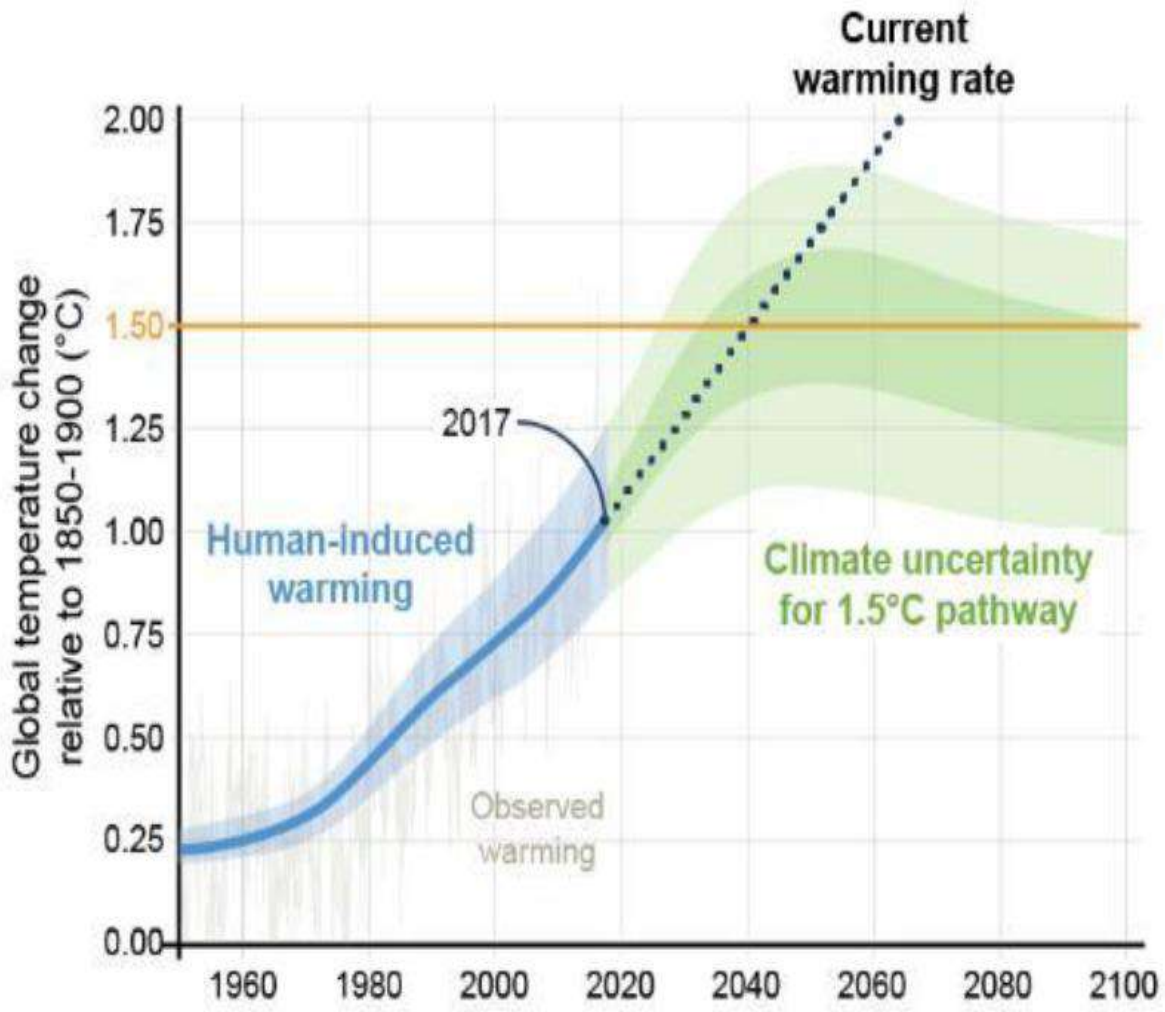
Source: Graph: adapted from IPCC (2007), "AR4-WGI"; [3] Shakun et al. (2012), "Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation"

# Evolución de la concentración de CO2, temperatura media y el nivel del mar durante los últimos 800 000 años




Variaciones de las concentraciones de CO2 (testigos de hielo Antártico), temperatura tropical (sedimentos marinos), antártica (testigos de hielo) y variaciones en la fracción isotópica $\delta_{18}O$ en los últimos 800 ka (foraminifera bentónicos) y reconstrucciones del nivel del mar

(Masson-Delmotte et al. 2013)

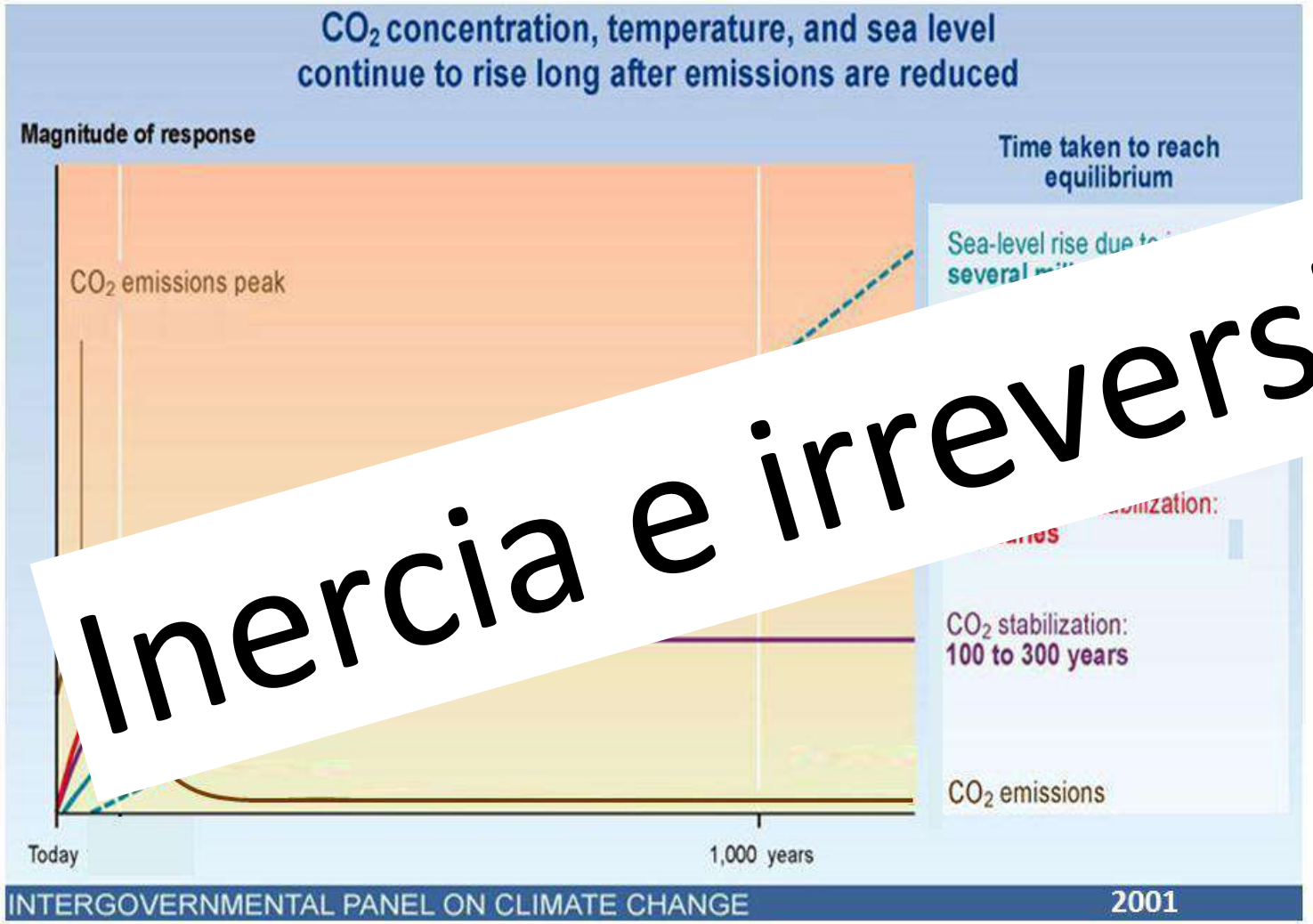



- El calentamiento global inducido por el hombre ha alcanzado en 2017 aproximadamente 1°C sobre el nivel preindustrial
- Si las emisiones continuasen al ritmo actual se alcanzará un calentamiento de 1.5°C alrededor de 2040

(SR1.5 IPCC, 2018)

# El cambio climático está comprometido:

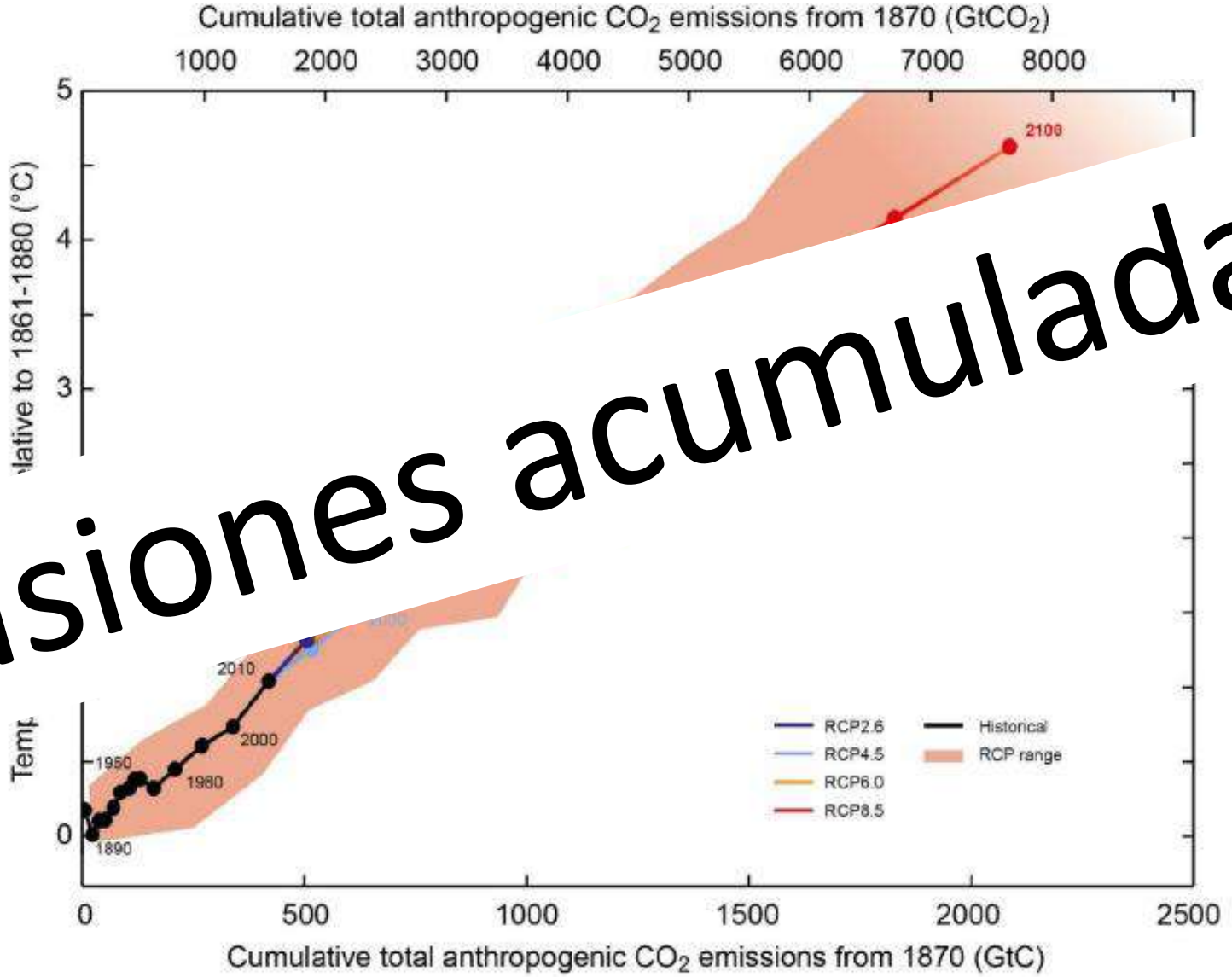
## El incremento del nivel del mar continuará durante muchos siglos




Inercia e irreversibilidad!!!

- El incremento del nivel [illegible] r por expansión térmi[illegible] durante m[illegible]
- [illegible]s de [illegible]os tiene un [illegible]e, contribuirá [illegible]se ascenso.
- Un calentamiento prolongado por encima de un cierto umbral podría desencadenar la fusión, casi completa, del manto de hielo de Groenlandia. Esa fusión, que se produciría en un periodo superior a un milenio, conllevaría un aumento del nivel del mar de hasta 7 metros.

# El incremento de temperatura y emisiones acumuladas de CO2 están aproximadamente relacionadas de forma lineal

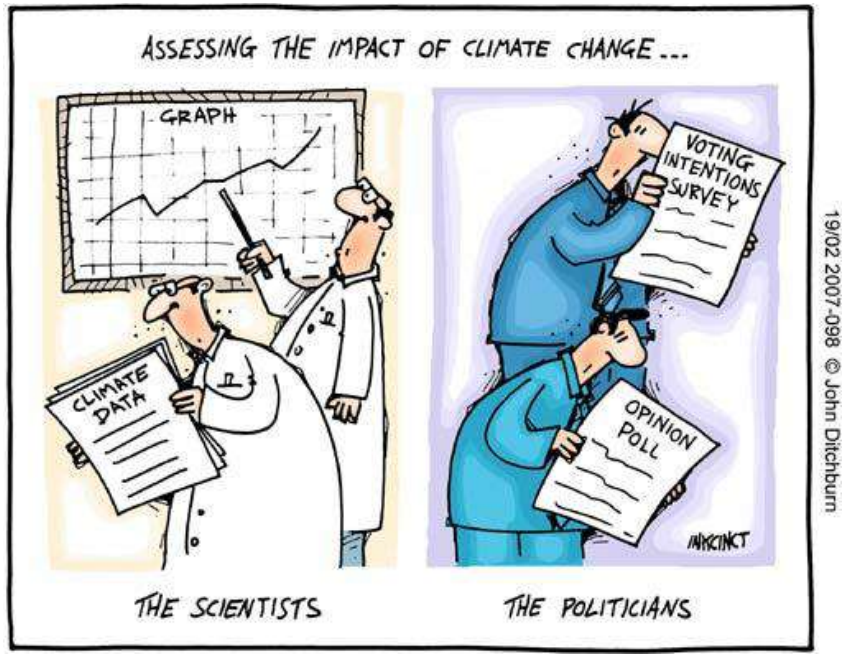


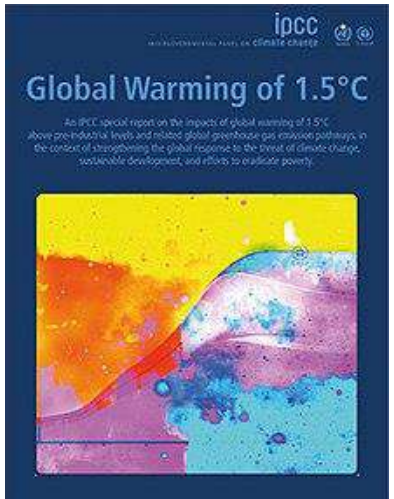

Emisiones acumuladas!!!

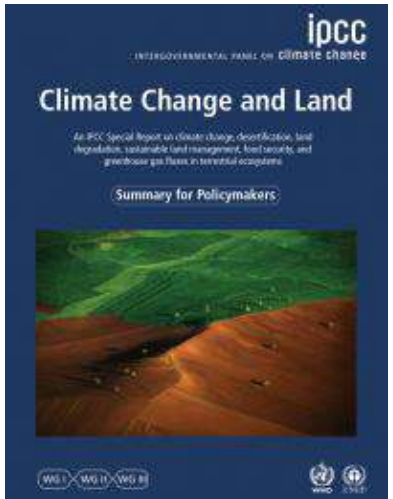
(IPCC, 2013)

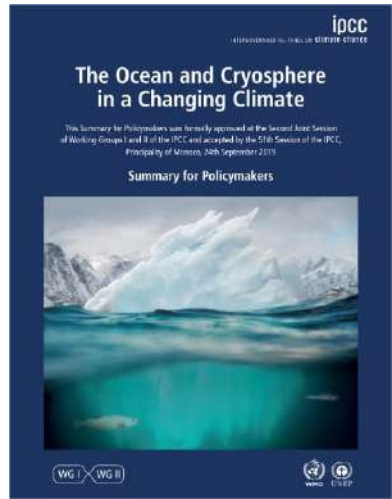
# ¿Por qué son importantes el IPCC y sus informes?

- The IPCC was established in 1988 under the auspices of the UNEP and the WMO for the purpose of **assessing "the scientific, technical and socioeconomic information relevant for the understanding of the risk of human-induced climate change**. It does not carry out new research nor does it monitor climate-related data. It bases its assessment mainly on published and peer reviewed scientific technical literature." The **goal of these assessments is to inform international policy and negotiations** on climate-related issues.



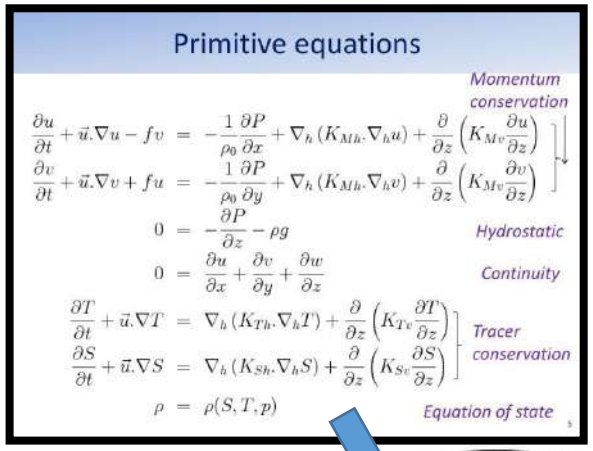
# CONCLUSIONES WGI AR5-IPCC (2013)

Limiting climate change will require substantial and sustained reductions of greenhouse gas emissions

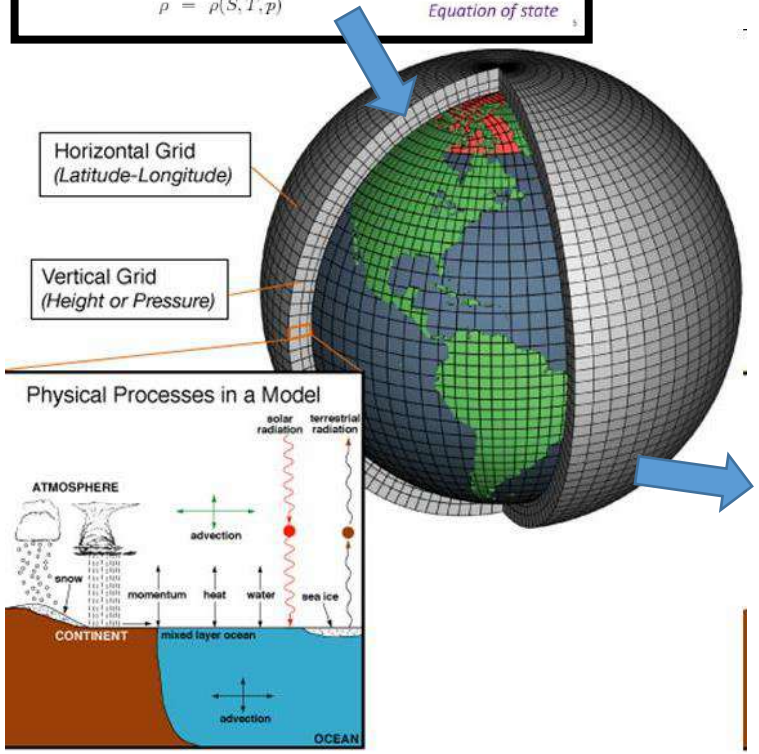
Human influence on the climate system is clear

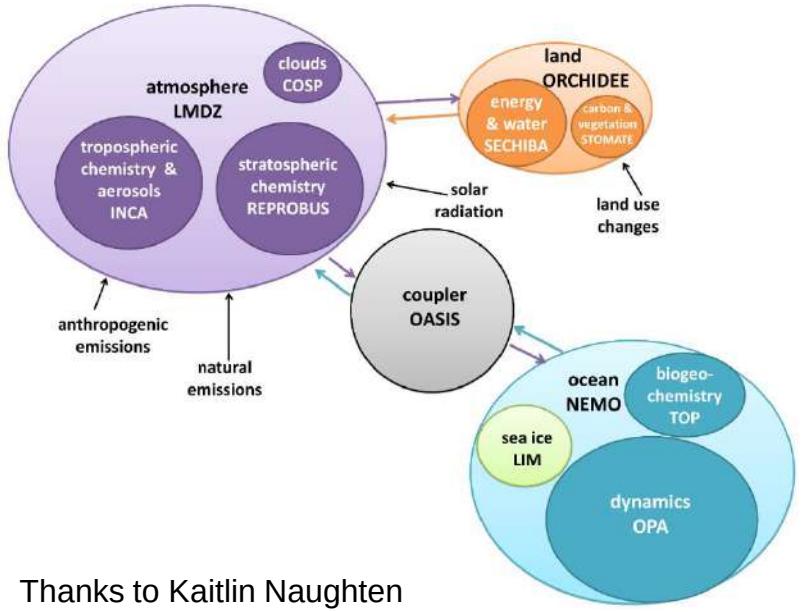
Warming in the climate system is unequivocal

# Modelos climáticos: herramientas para estudiar el clima




- Los modelos climáticos son **programas informáticos basados en las ecuaciones** que describen la evolución de los distintos componentes del sistema climático (atmósfera, océano, hielos, biosfera, …), sus **interacciones y sus procesos de retroalimentación**.
- Los modelos climáticos poseen una **complejidad variable**. Para cualquiera de los componentes del modelo climático existe una jerarquía de modelos que difieren en el número de dimensiones espaciales, resolución, procesos físicos, químicos o biológicos explícitamente representados o el diferente nivel de las parametrizaciones empíricas para los procesos no explícitamente resueltos.






Thanks to Kaitlin Naughten
https://climatesight.org/

# Características de los modelos climáticos

- Basados en leyes físicas

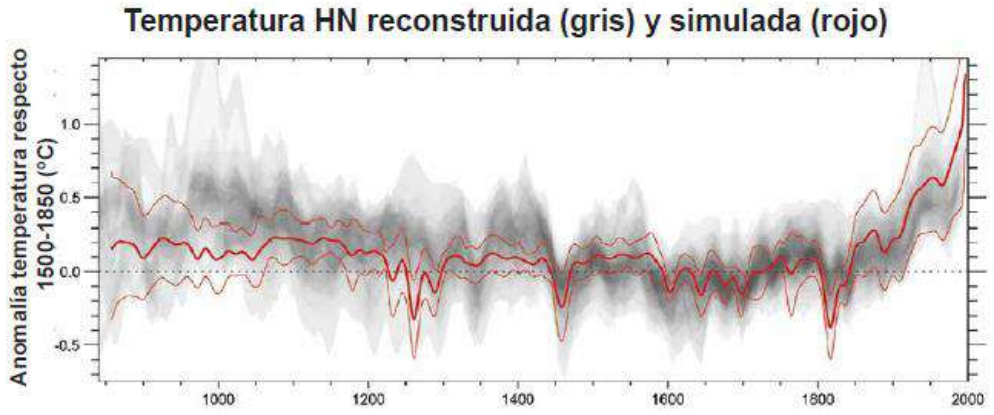
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -(\nabla \cdot \rho V) = -\left[\frac{\partial}{\partial x}\rho u + \frac{\partial}{\partial y}\rho v + \frac{\partial}{\partial z}\rho w\right]$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -V \cdot \nabla V - \frac{1}{\rho}\nabla p - gk - 2\Omega \times V$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -V \cdot \nabla \theta + S_\theta = -u\frac{\partial \theta}{\partial x} - v\frac{\partial \theta}{\partial y} - w\frac{\partial \theta}{\partial z} + S_\theta$$

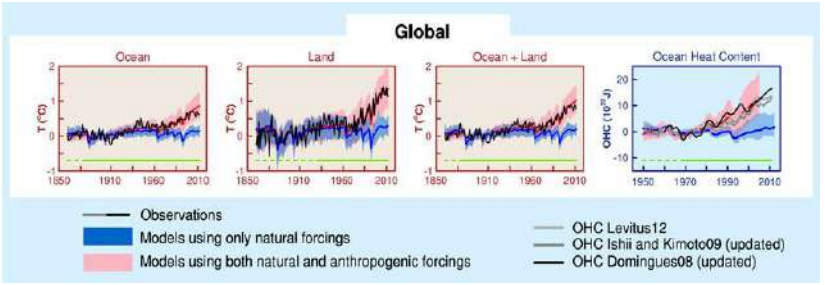
$$\frac{\partial q_n}{\partial t} = -V \cdot \nabla q_n + S_{q_n} = -u\frac{\partial q_n}{\partial x} - v\frac{\partial q_n}{\partial y} - w\frac{\partial q_n}{\partial z} + S_{q_n}$$

- Son capaces de representar (simular) los climas pasados y presente



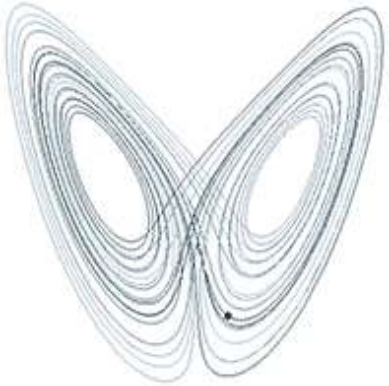

- Cuando se restringen al componente atmosférico son la base de la predicción meteorológica operativa

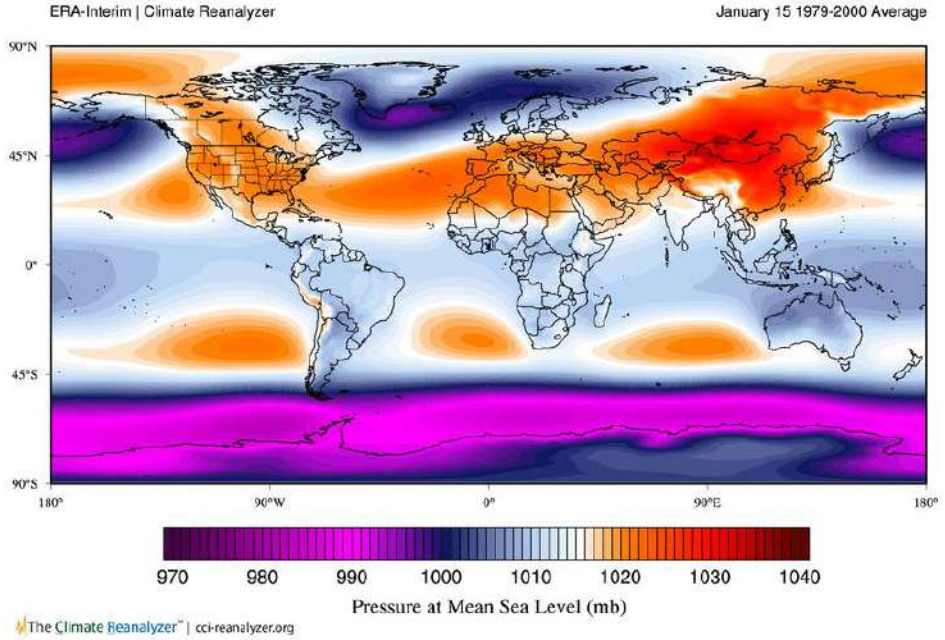
- Permiten investigar los procesos y mecanismos que gobiernan el sistema climático



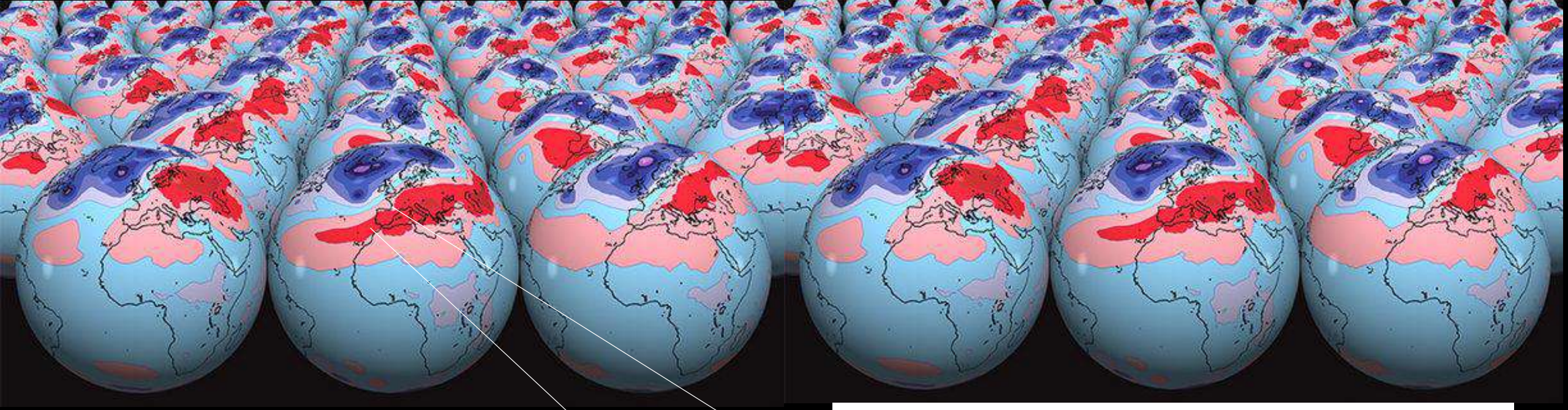
# Naturaleza caótica del sistema climático:

## evolución fuertemente dependiente de las CIs → predicciones basadas en múltiples realizaciones

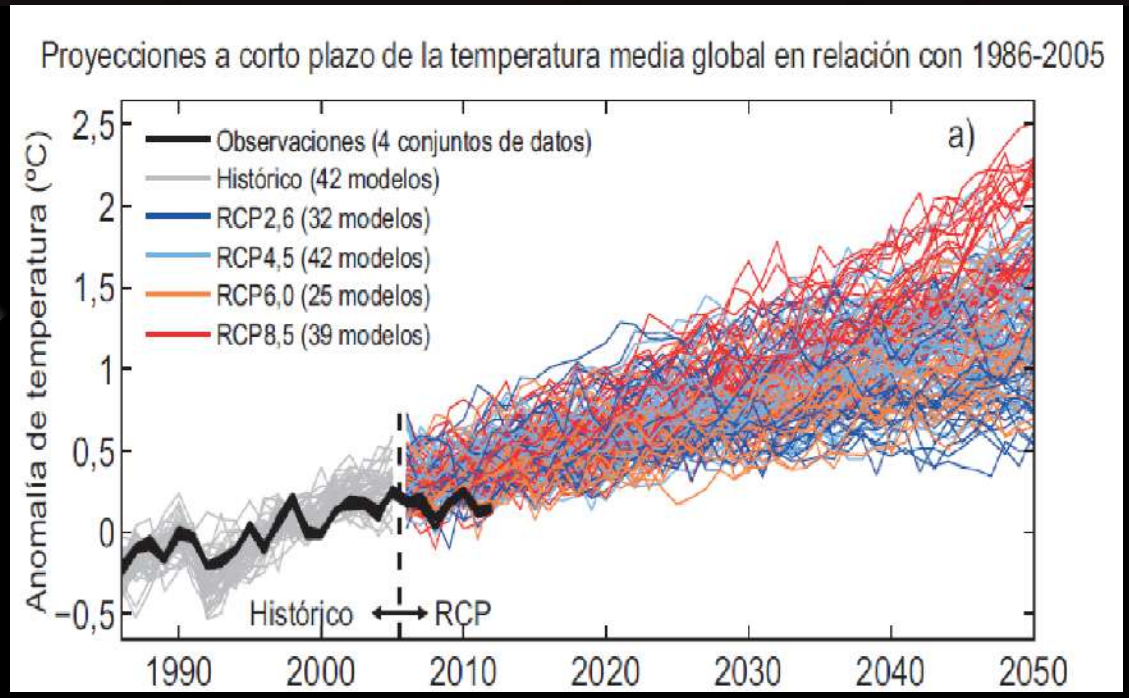




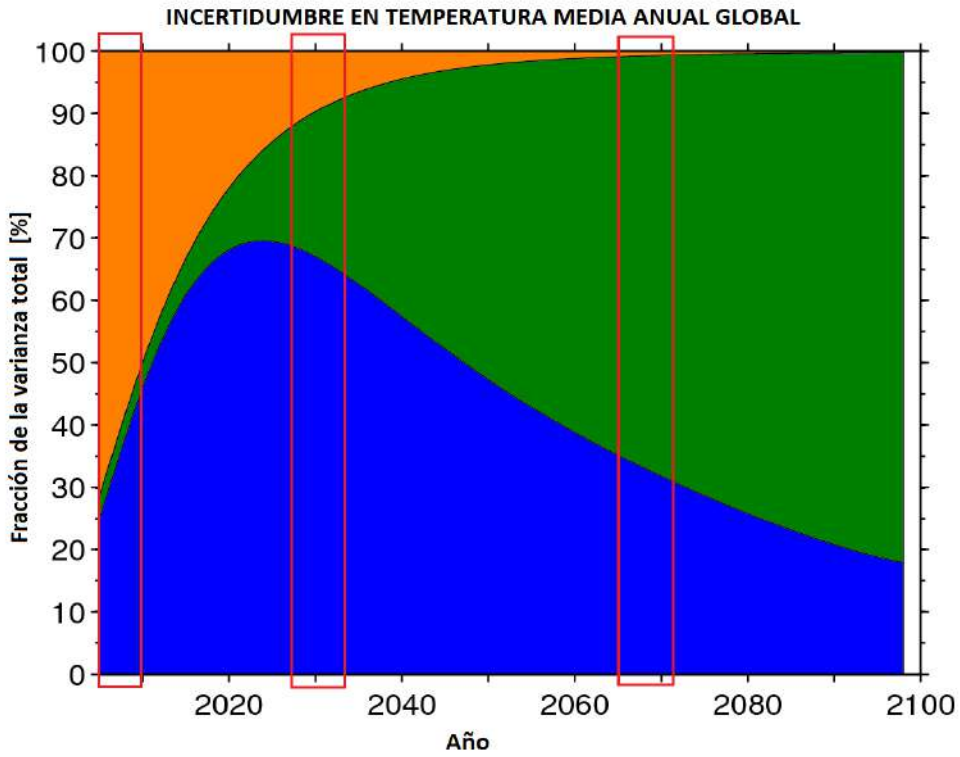
Edward Norton Lorenz (1963)

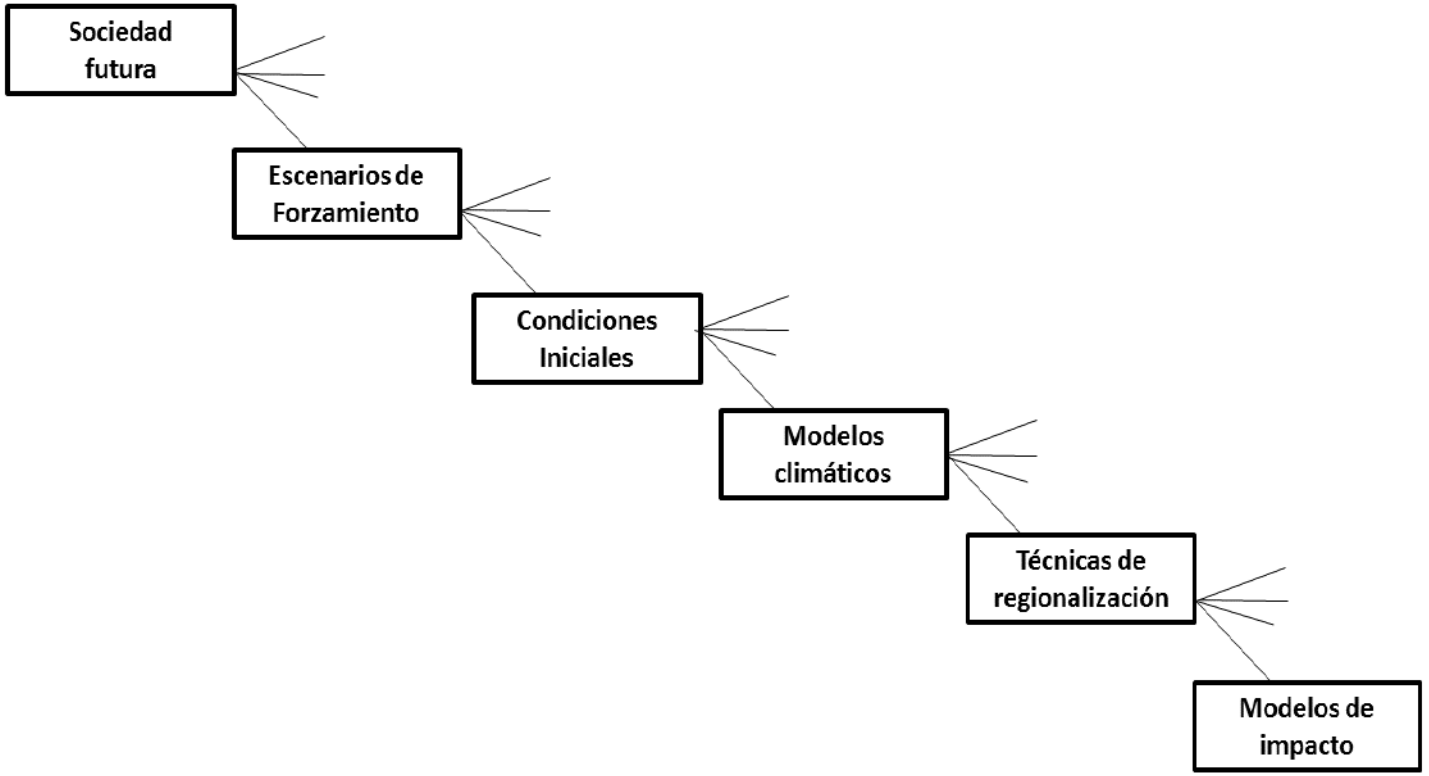


**Regionalización de muchos modelos globales con diferentes técnicas (dinámicas y estadísticas) para estimar las incertidumbres asociadas**



# Incertidumbres que afectan a las proyecciones de cambio climático en forma jerárquica

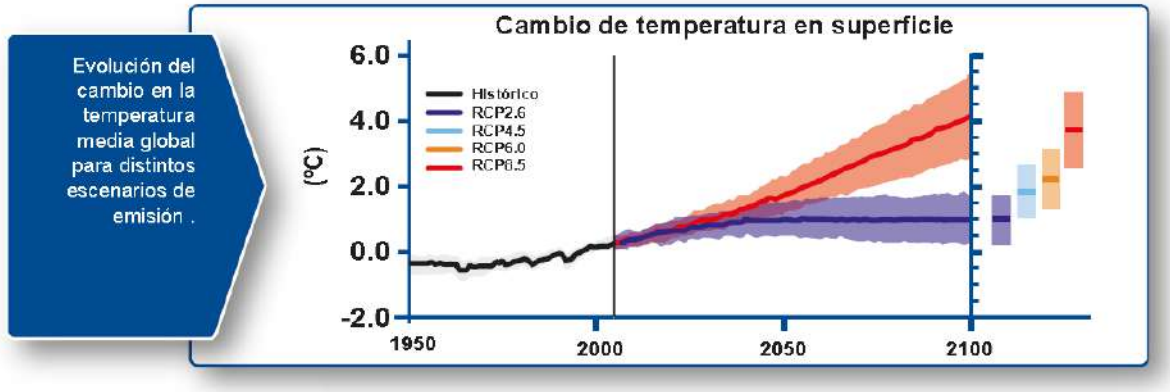


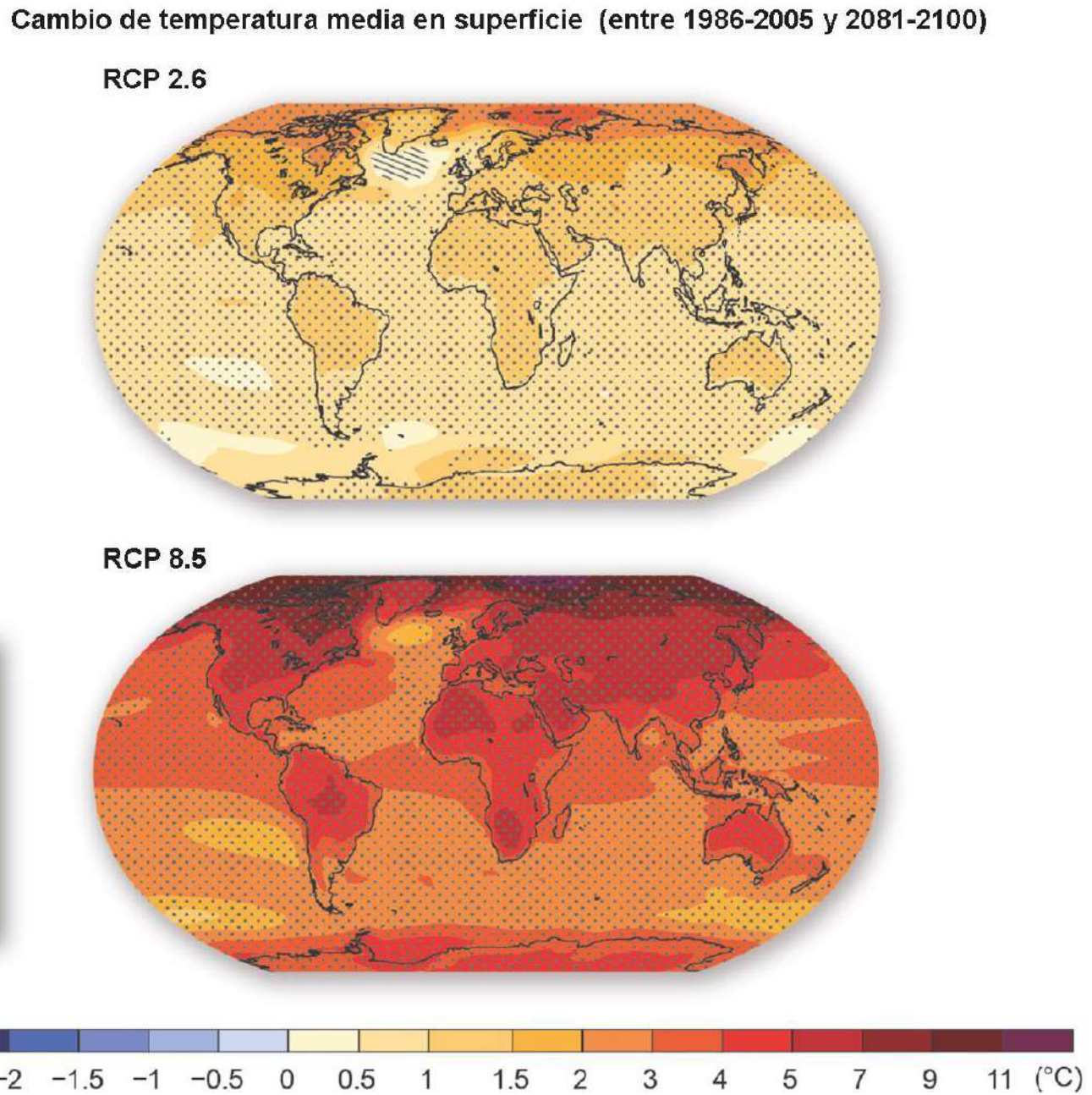

Contribuciones relativas de tres fuentes de incertidumbre: condiciones iniciales (naranja), modelos climáticos (azul), escenarios de emisión (verde). (Fuente: Kirtman et al. 2013, modificado).

# Atmósfera

- El cambio de la temperatura superficial no será regionalmente uniforme.  El calentamiento será mayor sobre tierra que sobre los océanos. La región Ártica se calentará más rápidamente.
- En un clima más cálido, el contraste en la precipitación estacional media entre las regiones secas y húmedas aumentará en la mayor parte del globo. Las regiones situadas en latitudes altas y en el océano Pacífico ecuatorial verán incrementarse sus precipitaciones.

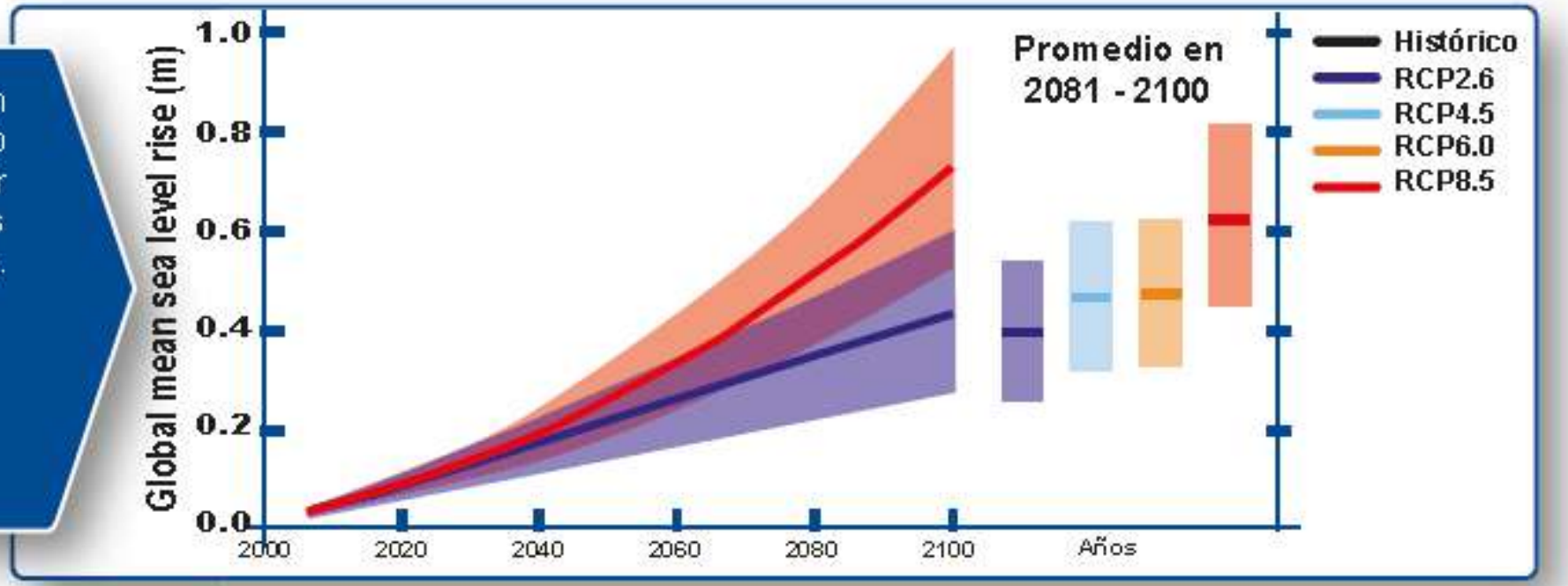



(IPCC-AR5)



# Nivel del mar

Cambios en el nivel medio global del mar para distintos escenarios.

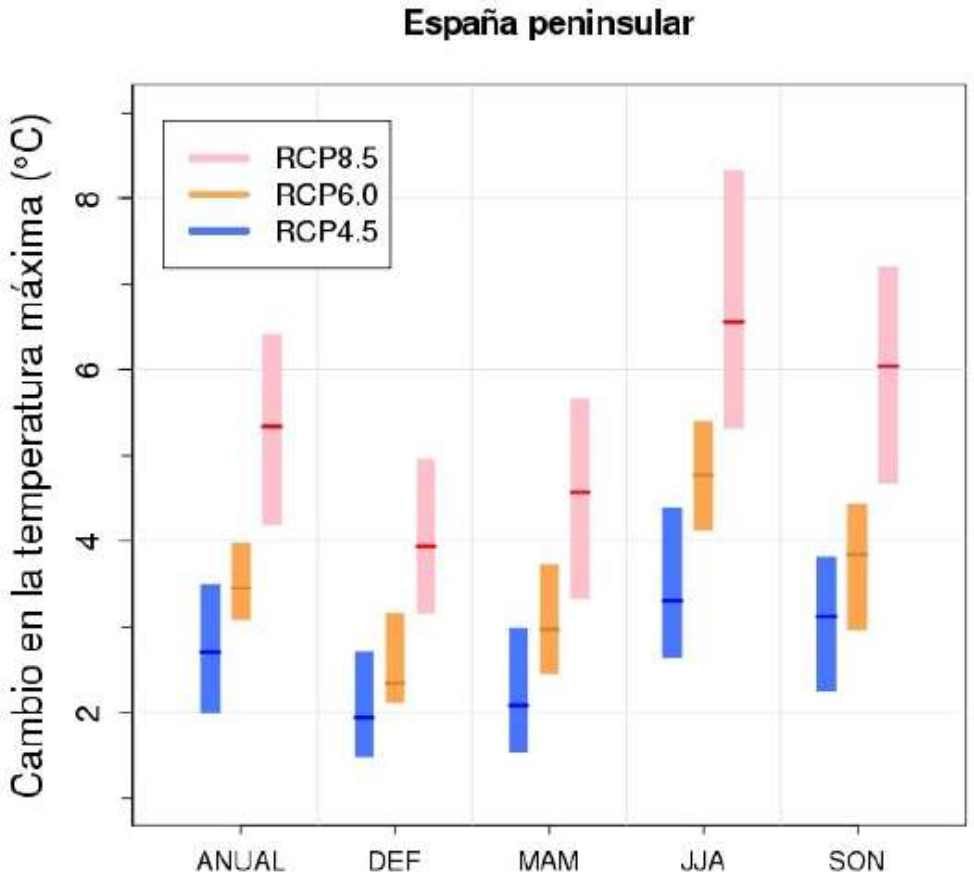



(IPCC-AR5)

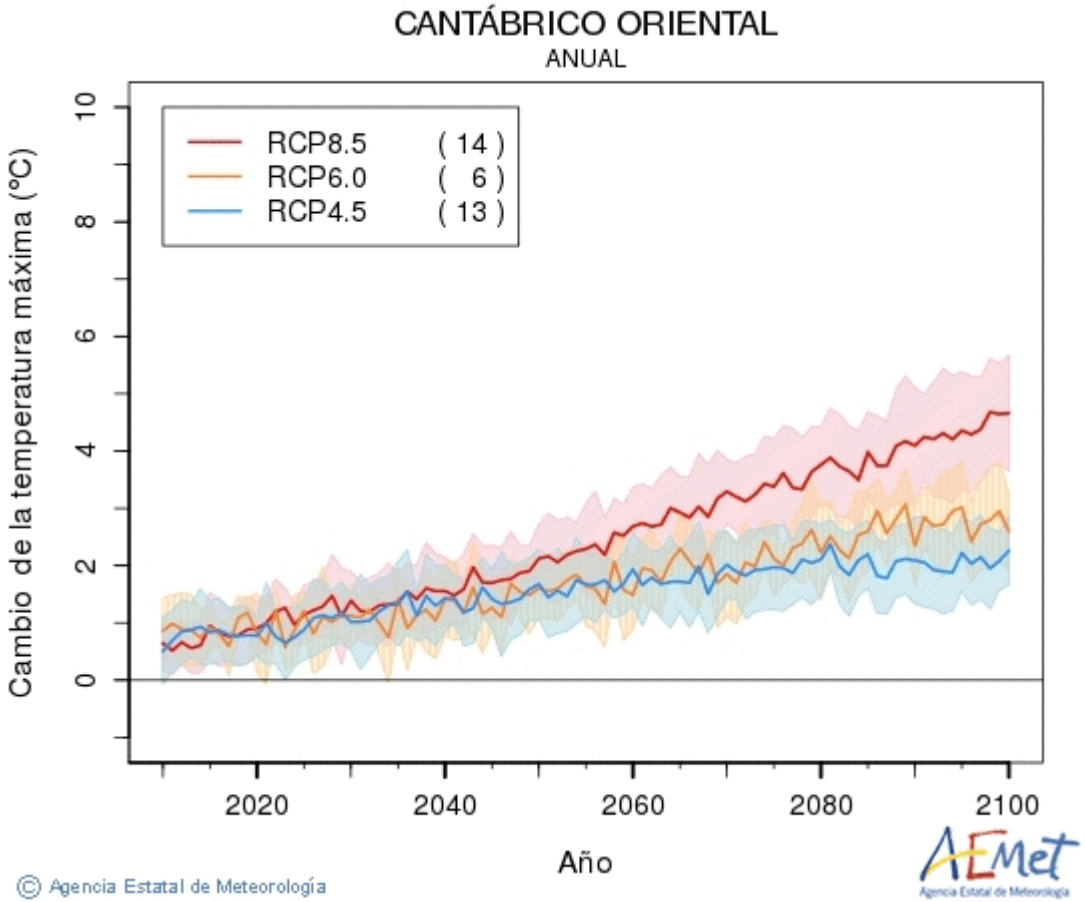
| | | 2046-2065 | | 2081-2100 | |
|---|---|---|---|---|---|
| Variable | Escenario | Media | Rango Probable | Media | Rango Probable |
| Cambios en el nivel medio global del mar (m) | RCP2.6 | 0,24 | 0,17– 0,31 | 0,40 | 0,26-0,54 |
| | RCP4.5 | 0,26 | 0,19-0,33 | 0,47 | 0,32-0,62 |
| | RCP6.0 | 0,25 | 0,18-0,32 | 0,47 | 0,33-0,62 |
| | RCP8.5 | 0,29 | 0,22-0,37 | 0,62 | 0,45-0,81 |

- El nivel medio global del mar se incrementará durante el siglo XXI por el calentamiento de los océanos y las pérdidas de masa de glaciares y mantos de hielo con un aumento en la confianza de las proyecciones respecto al AR4.

# Cambio en la temperatura máxima

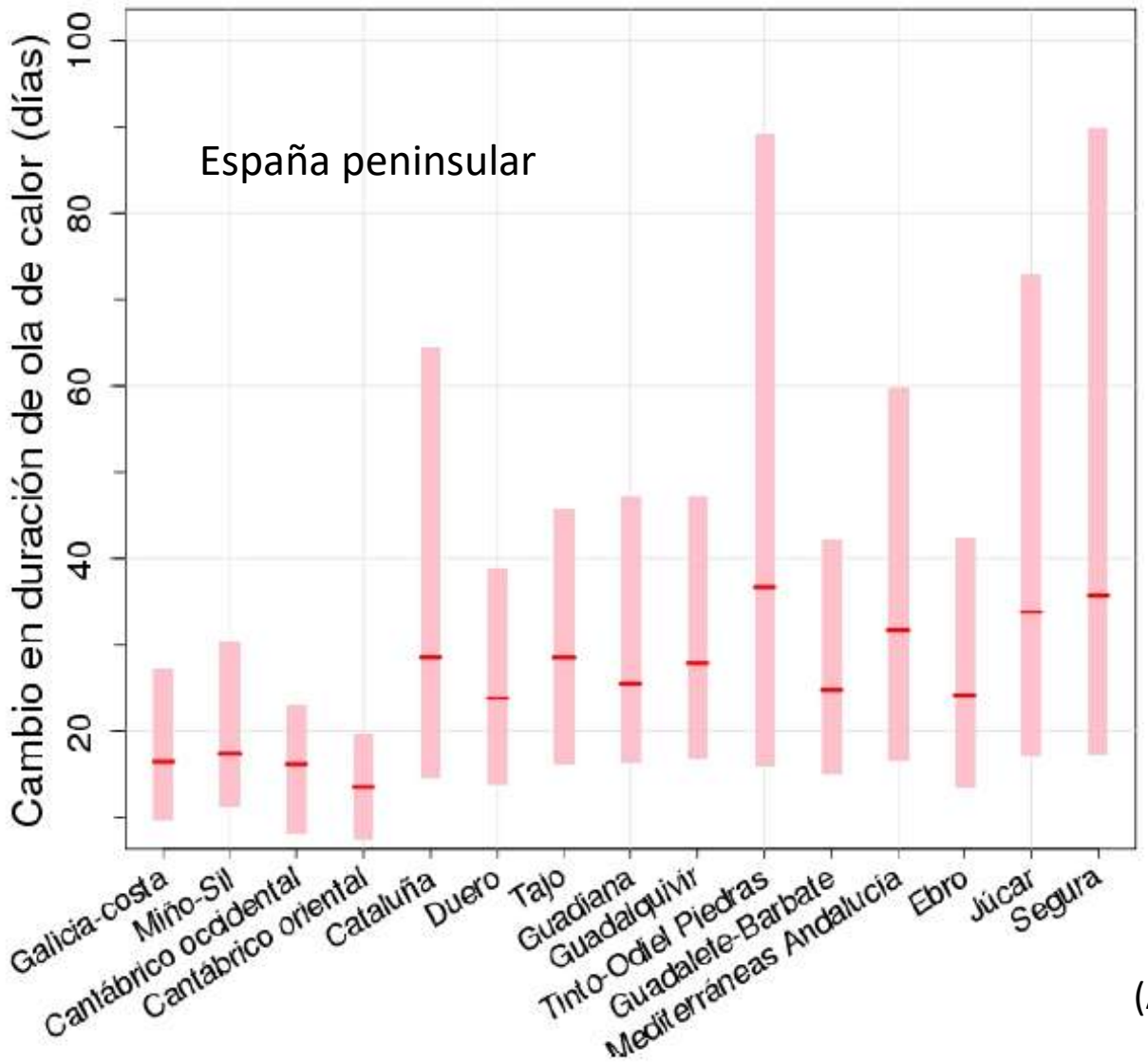



(Agregación de todas las regionalizaciones estadísticas y dinámicas)




(Regionalización estadística basada en análogos)

# Cambio en la duración de olas de calor




- La duración máxima de las olas de calor va **aumentando a lo largo del siglo XXI**, existiendo una concordancia entre todas las proyecciones generadas en que las olas de calor serán más largas, siendo este **incremento más acusado en el escenario más emisivo (RCP8.5)** y a finales del siglo XXI, pero con algunas **diferencias en la magnitud del mismo de unos modelos a otros y de una técnica de regionalización a otra**.

(Agregación de todas las regionalizaciones estadísticas y dinámicas)

# AEMET tiene el mandato por parte del PNACC de generar y coordinar el esfuerzo en la producción de escenarios regionalizados de cambio climático

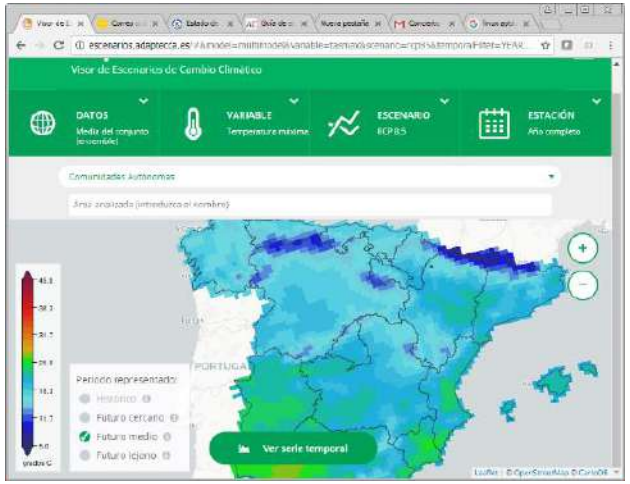
PNACC
Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático

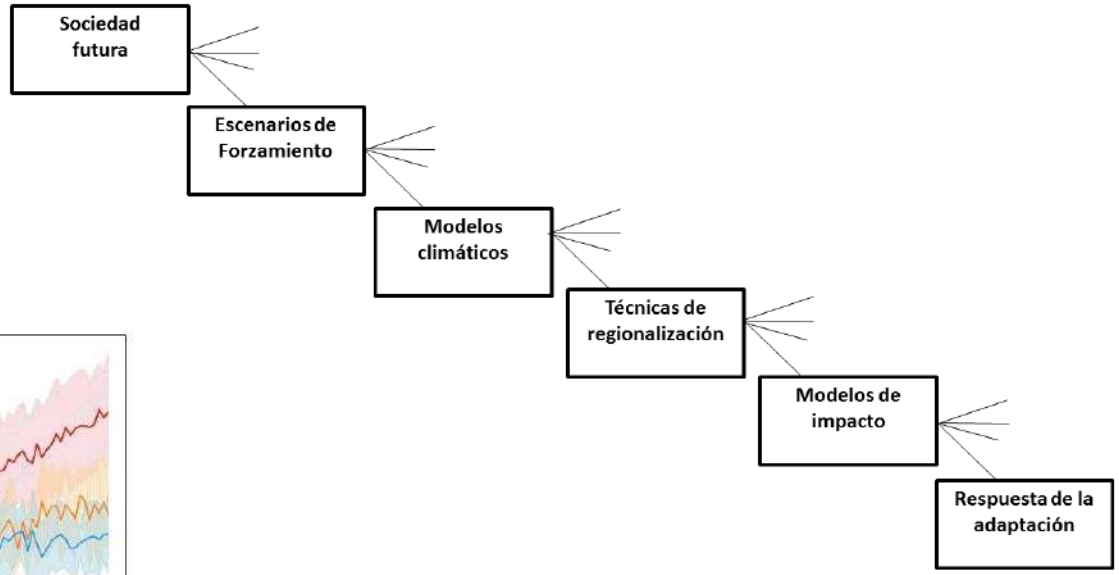
**Portal de datos**

http://www.aemet.es

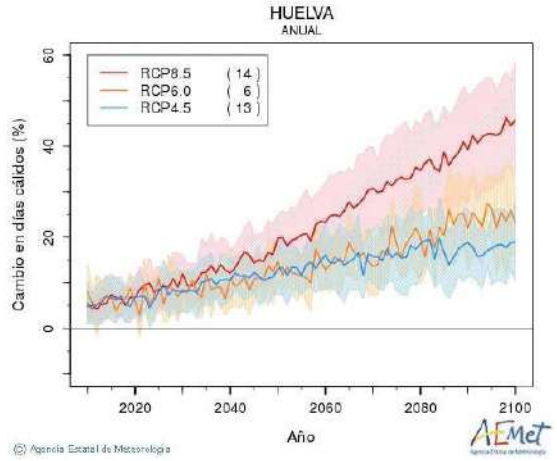
**Visor**

http://escenarios.adaptecca.es



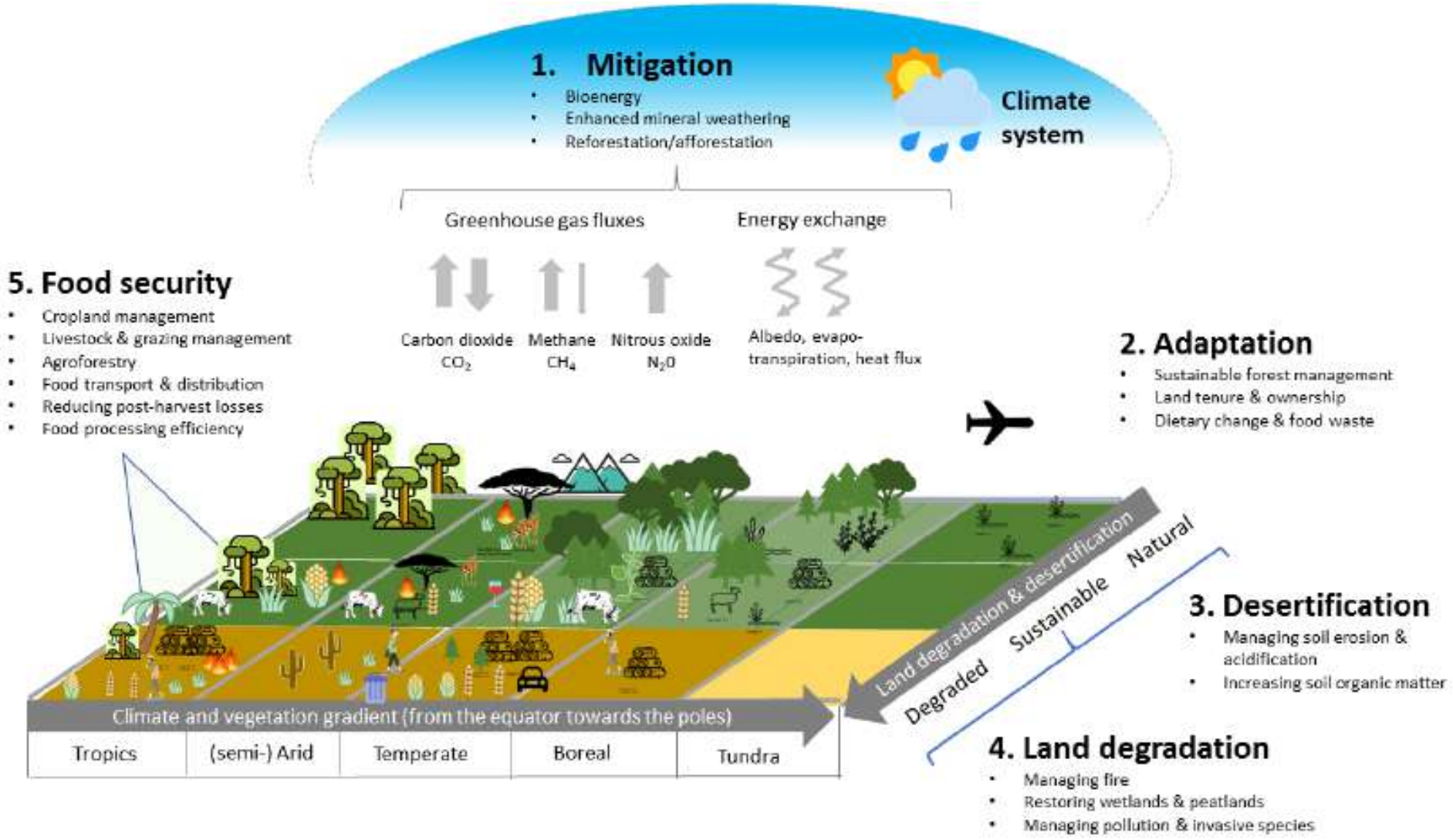

**Especial énfasis en la cuantificación de las incertidumbres asociadas a las diferentes fuentes: escenarios de emisión, modelos globales, técnicas de regionalización, etc.**



# Climate Change and Land

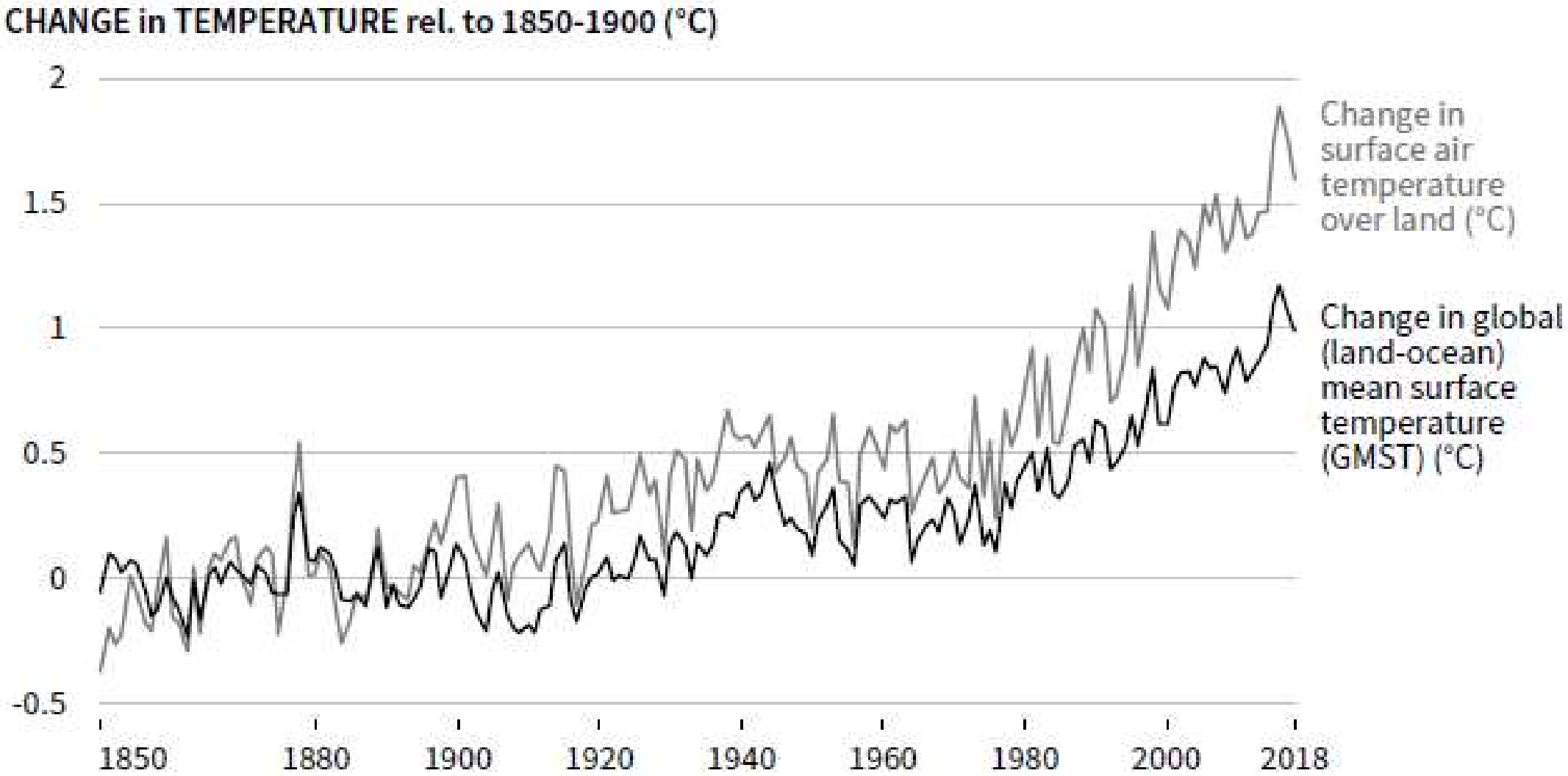
An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems

# La superficie terrestre es un recurso crítico –dependemos de ella para la producción de alimentos, provision de agua, salud y bienestar– que se encuentra bajo una presión por la actividad humana. El cambio climático se suma a las presiones existentes

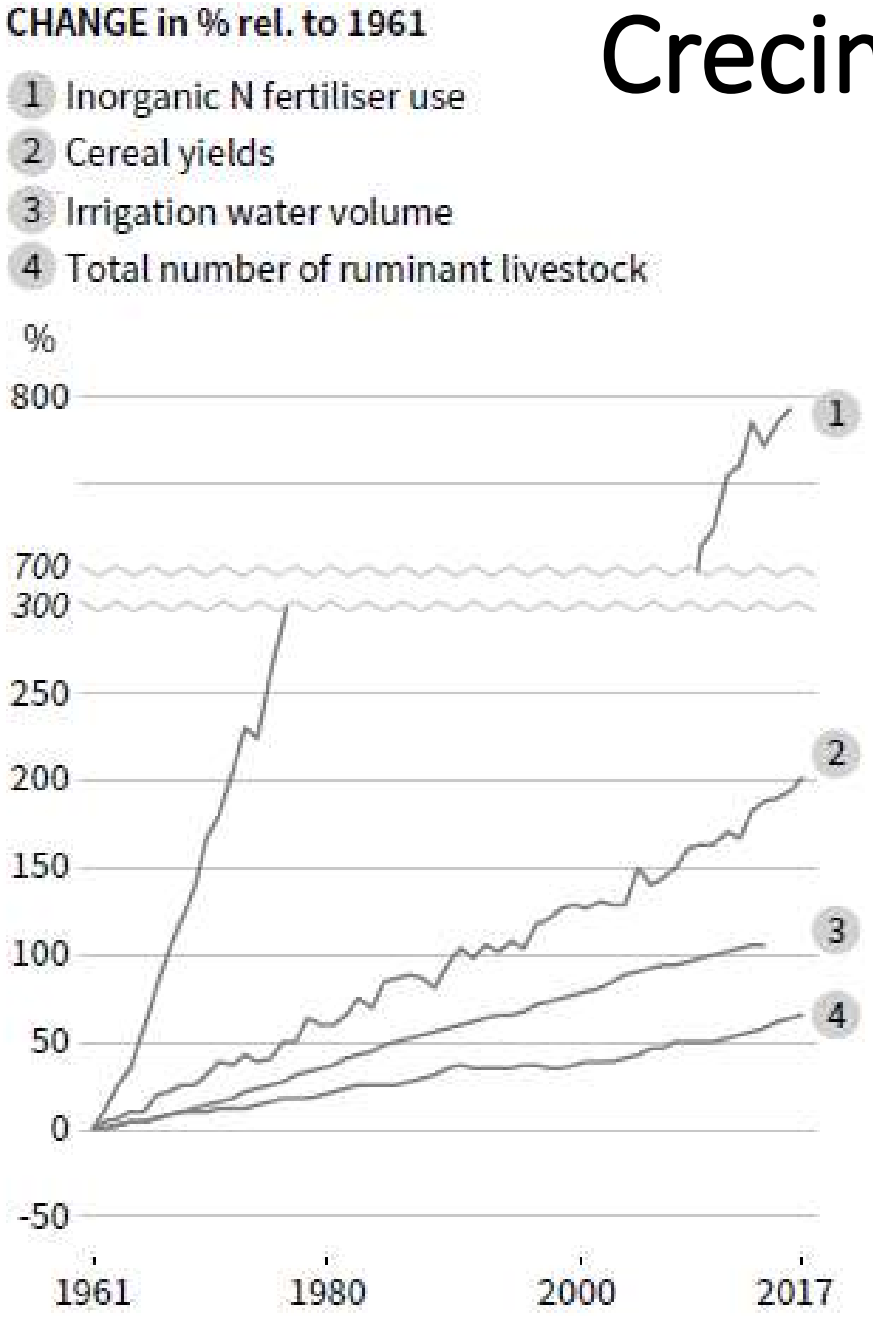



Impacts of climate change on **natural terrestrial ecosystems, permafrost degradation, desertification, land degradation and food security** have already been observed.

# La temperatura media sobre tierra crece más deprisa que la media global



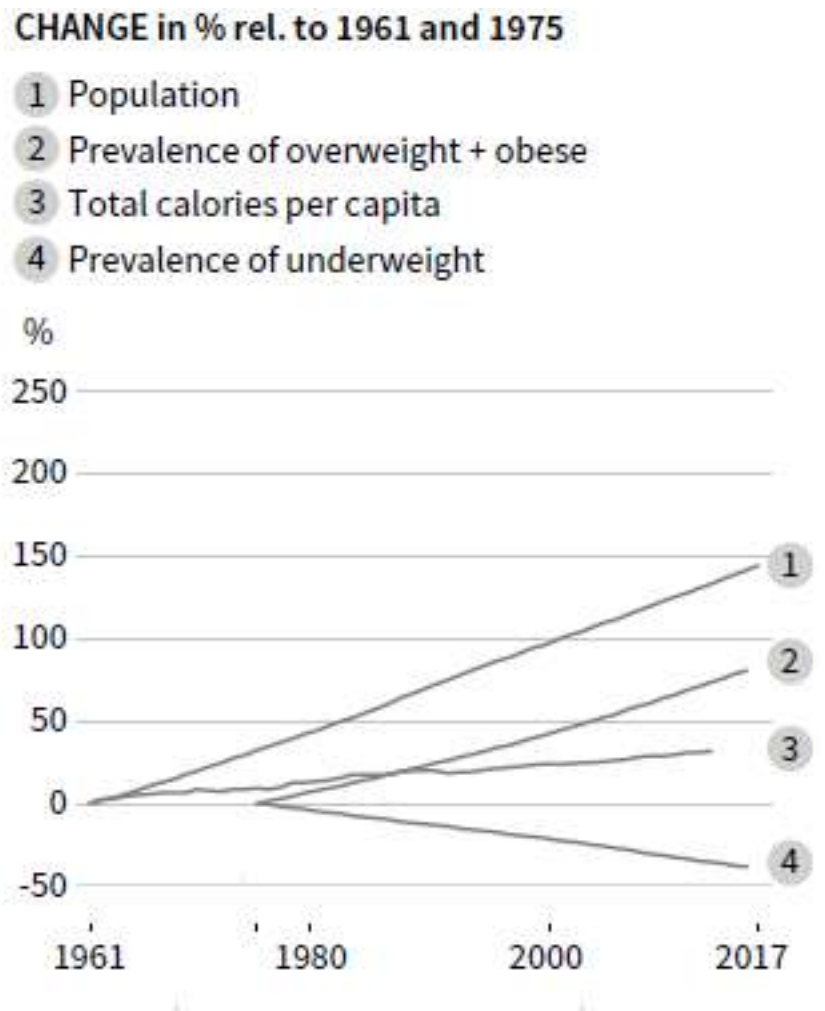
# Crecimiento de la producción agrícola




- Land use change and rapid land use intensification have supported the **increasing production of food, feed and fibre**.
- Since 1961, the total production of **food (cereal crops) has increased by 240%** (until 2017) because of land area expansion and increasing yields.
- **Fibre production (cotton) increased by 162%** (until 2013).

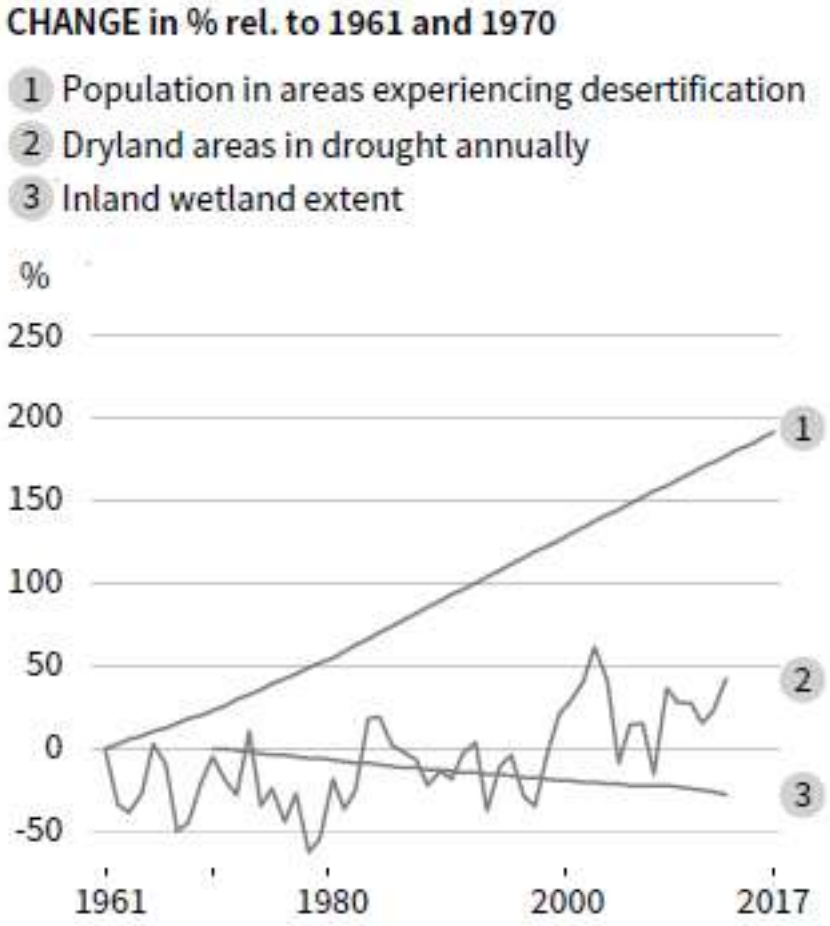
# Food demand

Increases in production are linked to consumption changes.




# Desertification/land degrad.

Land-use change, land-use intensification and climate change have contributed to desertification and land degradation.



# Emisiones de GEI y uso de la tierra

- **23% de las emisiones netas de GEI proceden de AFOLU.**
  - **Deforestación y degradación de turberas contribuyen con alrededor de 10-15%** al total de emisiones antropogénicas de CO2.
  - La agricultura es responsible de casi la **mitad de las emisiones antropogénicas de metano**, así con de las **tres cuartas de las emisiones de óxido nitroso**.
- **21-37%** es la contribución aprox. emisiones antropogénicas de GEI por parte del **sistema alimentario** global (emisiones desde la producción hasta el consumo, en parte solapadas con AFOLU)
- **30% de las emisiones antropogénicas de CO2** son actualmente absorbidas por vegetación y suelos →la **biosfera terrestre actua como un sumidero neto de CO2**. Sin embargo, este sumidero terrestre es vulnerable a los impactos del cambio climático así como a otras presiones humanas y medioambientales.

# Se pueden aplicar estrategias de respuesta si competir por la tierra

- Prácticas de **intensificación agrícola sostenible y sistemas agroforestales**

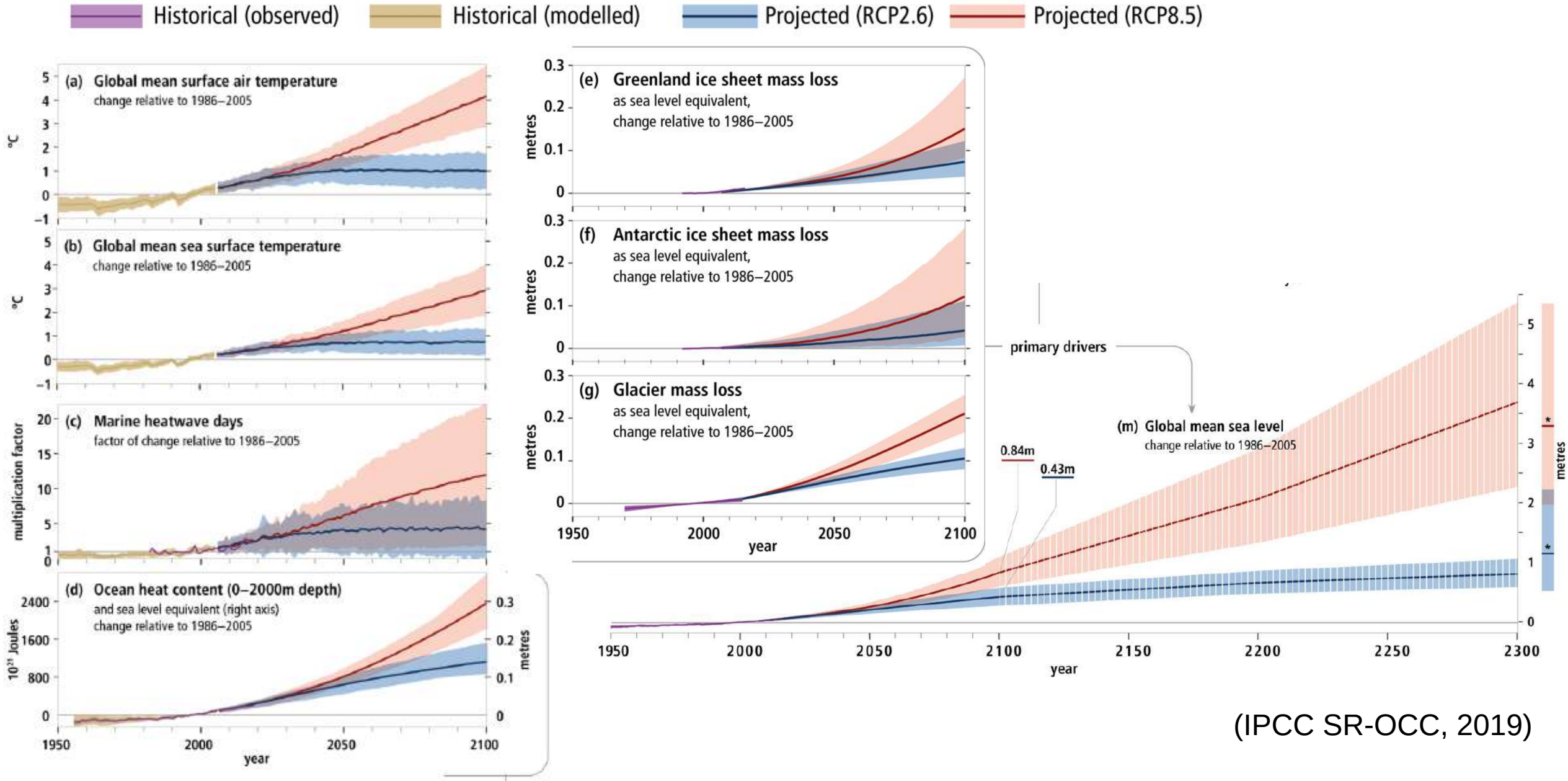
- **Cambio en la dieta, reducción de desperdicios y pérdidas de alimentos** puede reducer la presión sobre la tierra a la vez que contribuye a la erradicación de la pobreza y mejora de la salud.

# Impactos y riesgos del cc sobre superficie terrestre

- CC **exacerba la presiones existentes sobre los recursos terrestres**, servicios ecosistemicos y biodiversidad por la explotación de los recursos terrestre y de agua dulce sin precedente en los decenios recientes..
- **El CC amplificará las presiones existentes** relacionadas con degradación de la tierra, pérdida de servicios ecosistémicos y seguridad alimenticia
- **Vegetación y pérdida de biodiversidad, incendios, degradación del permafrost y costera, erosion del suelo y escasez de agua serán más severas**, especialmente en las regiones secas..
- Incluso aunque los crecientes niveles de CO2 (fertilización) pueden tener un impacto positivo en ciertos cultivos, **el riesgo de impactos adversos en la producción agrícola, calidad y suministro de los alimentos, así como su precio** aumentarán con un mayor CC.

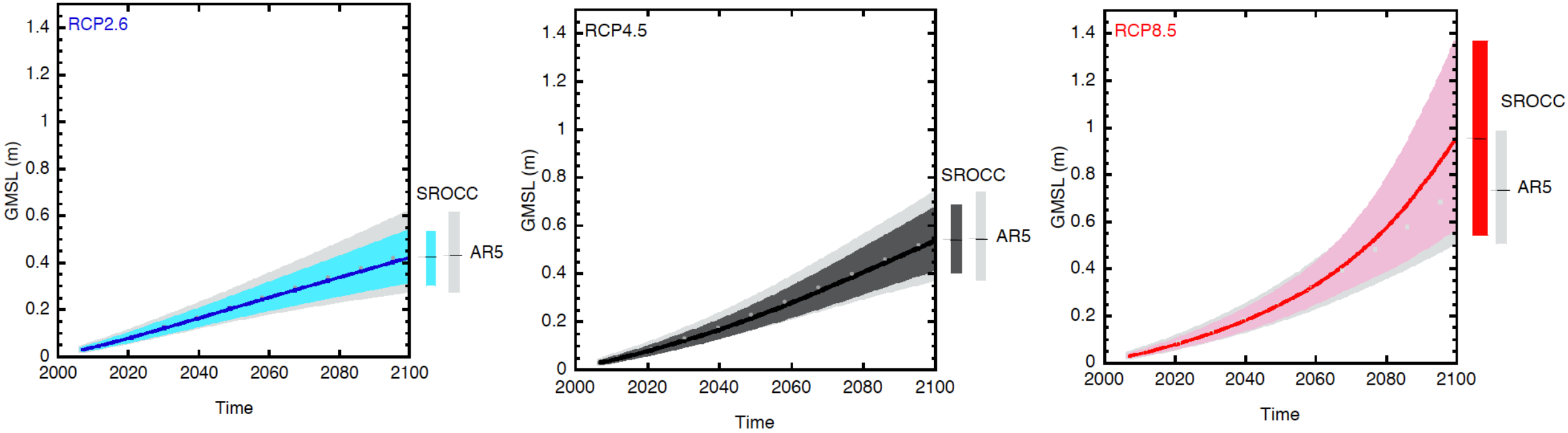
# IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC)

# Observed and modelled changes in ocean & cryosphere (I)




(IPCC SR-OCC, 2019)

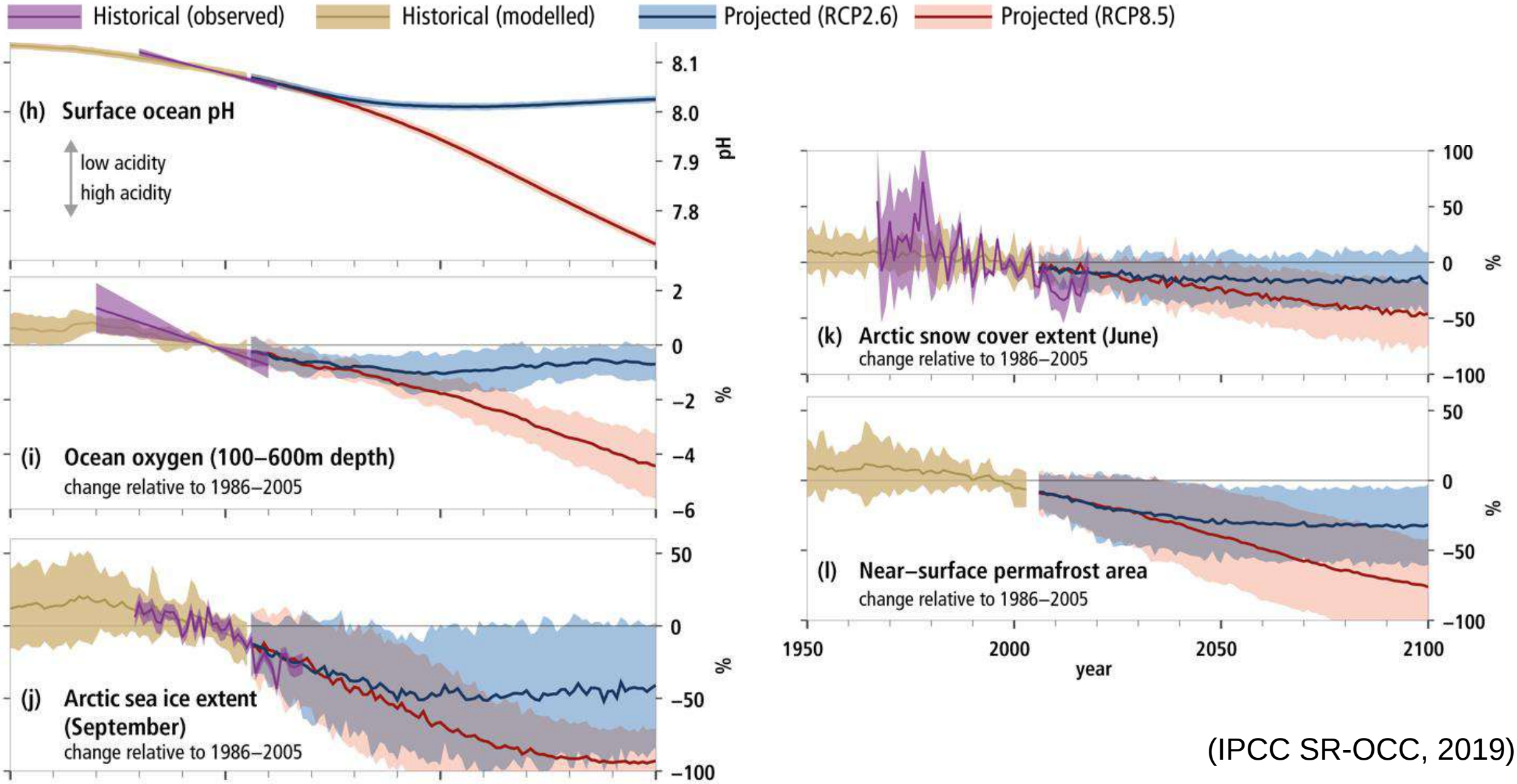
# Aumento contínuo del nivel medio del mar durante siglos a milenios en todos los escenarios de emisión




- Results are based on AR5 results for all components **except the Antarctic contribution**.
- These changes are projected to result in disruptive direct and indirect impacts on coastal ecosystems, and associated livelihoods and infrastructure (e.g., in towns and cities) that tens of millions of people in the low elevation coastal zone (elevation <10 m) depend upon, with consequences for all humankind, e.g., through displacement.

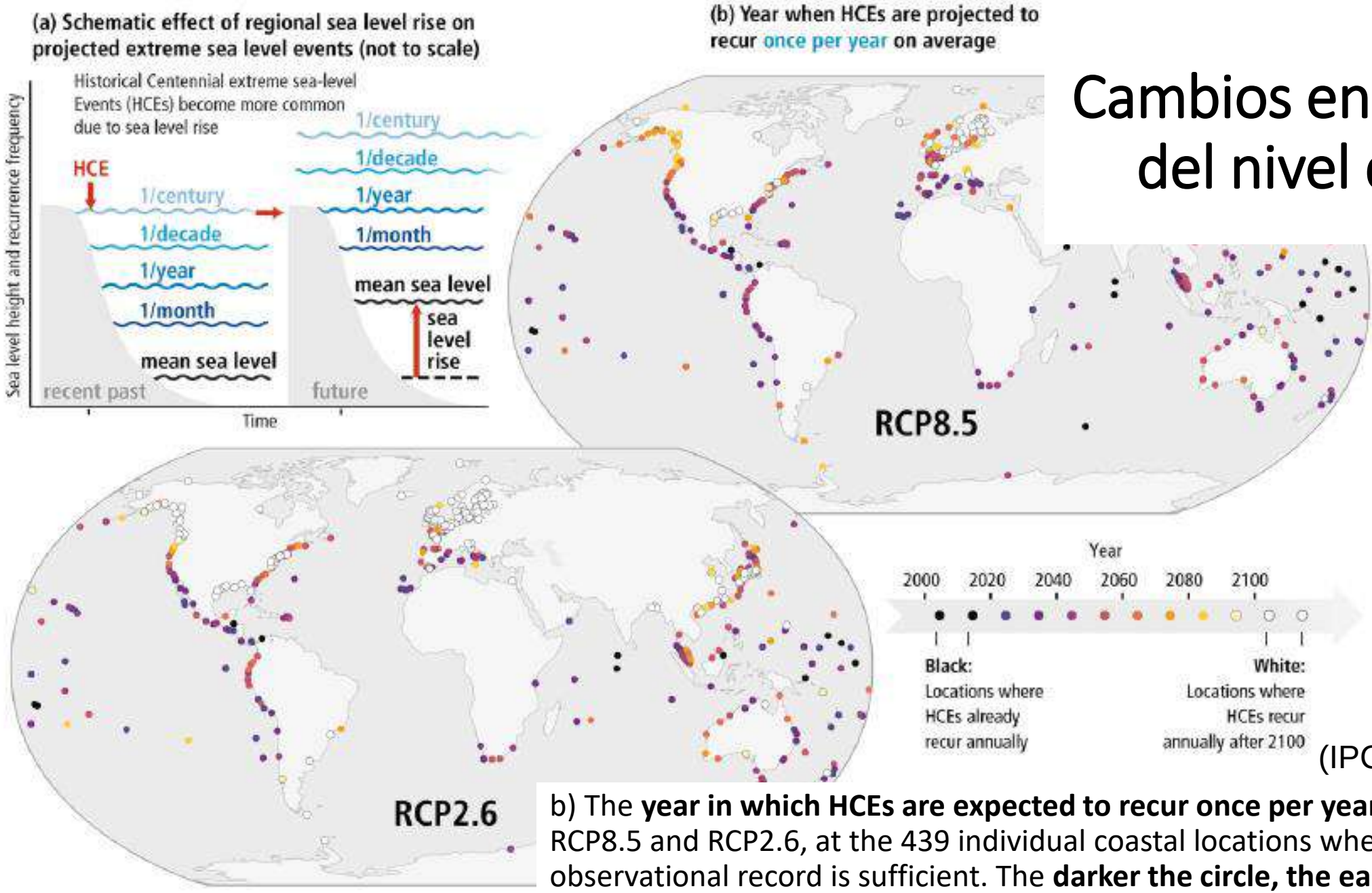
(IPCC SR-OCC, 2019)

# Observed and modelled changes in ocean & cryosphere (II)




(IPCC SR-OCC, 2019)

# Cambios en extremos del nivel del mar




(IPCC SR-OCC, 2019)

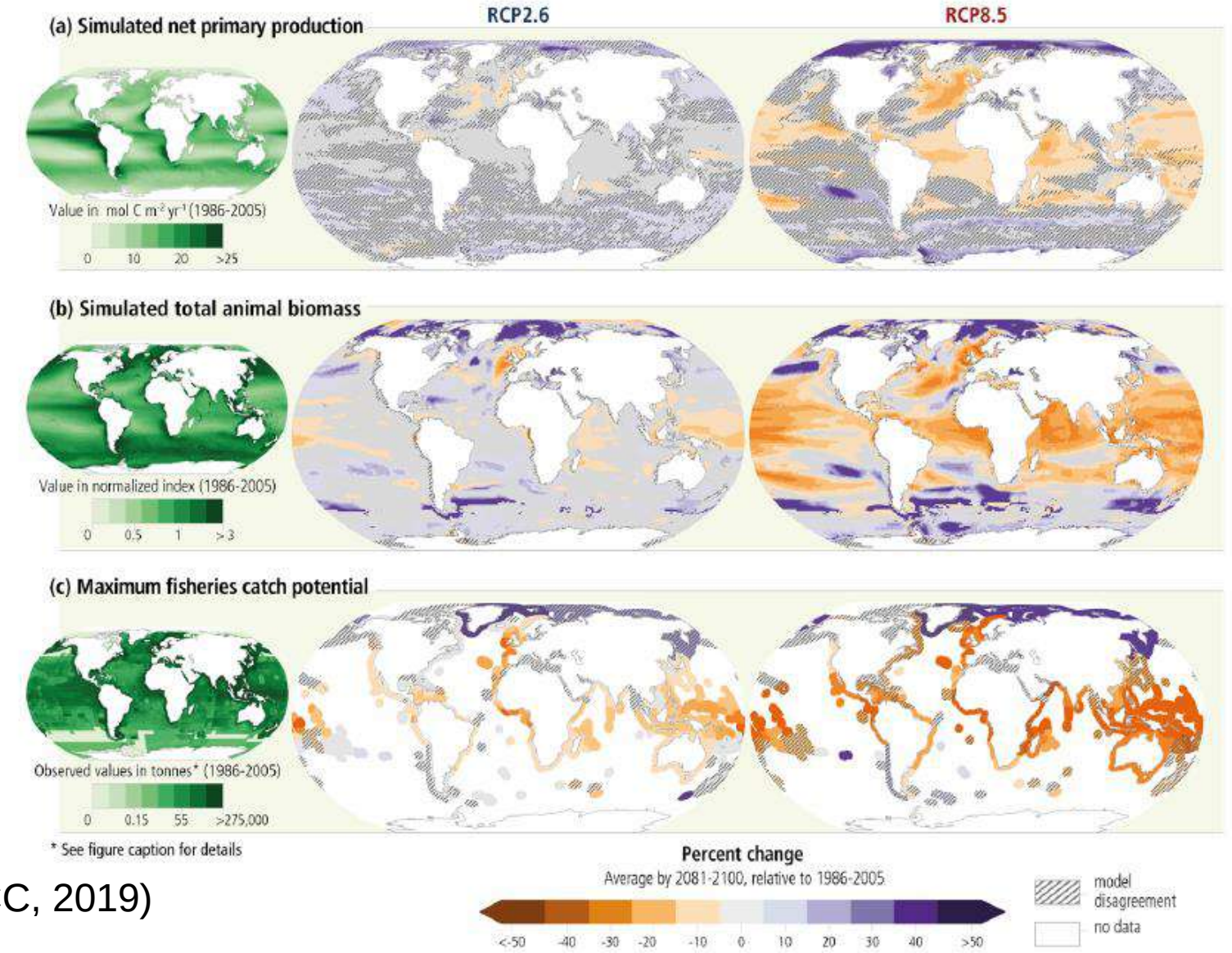
b) The **year in which HCEs are expected to recur once per year** on average under RCP8.5 and RCP2.6, at the 439 individual coastal locations where the observational record is sufficient. The **darker the circle, the earlier this transition** is expected. White circles (33% of locations under RCP2.6 and 10% under RCP8.5) indicate that HCEs are not expected to recur once per year before 2100.

# Projected changes, impacts and risks for ocean regions and ecosystems

a) depth integrated net primary production,

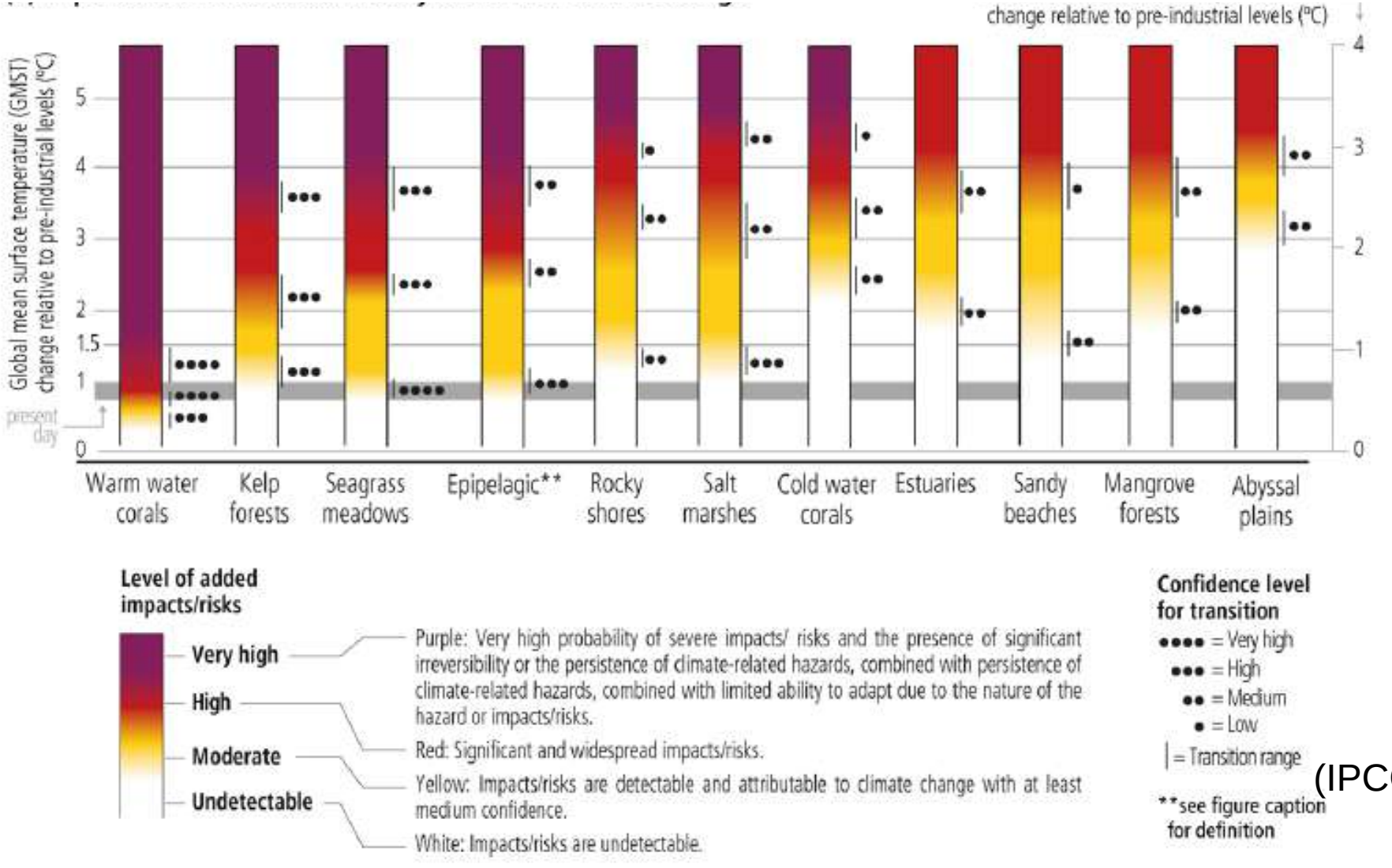
b) total animal biomass,

c) maximum fisheries catch potential



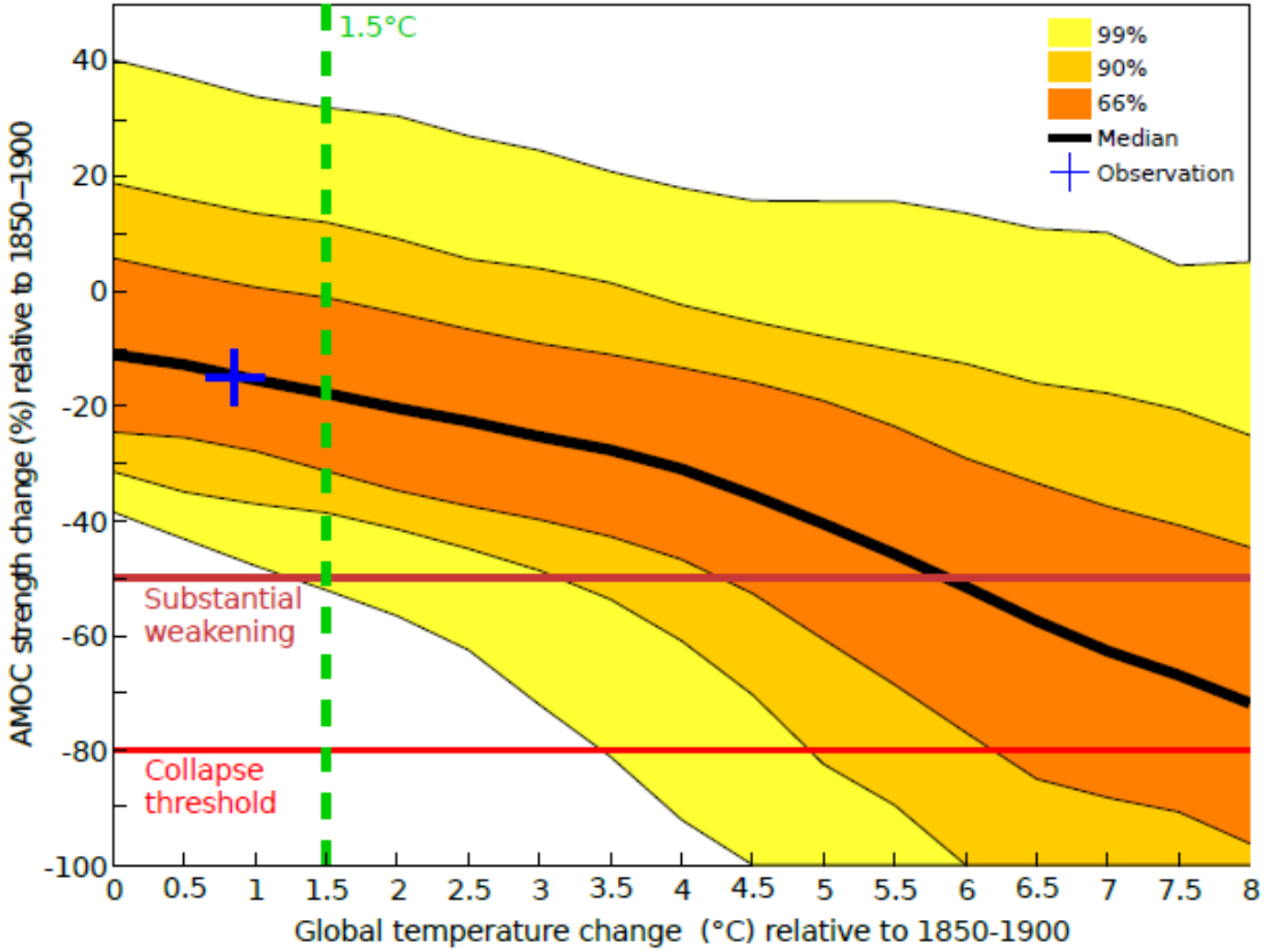

(IPCC SR-OCC, 2019)

# Impactos y riesgos en ecosistemas oceánicos por cambio climático




(IPCC SR-OCC, 2019)

# Cambios en intensidad de AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation) en función del cambio en la temperatura global




- La AMOC se debilitará muy probablemente en el siglo XXI en todos los RCPs.
- Una **transición abrupta de AMOC durante el siglo XXI es muy improbable** si bien es un escenario plausible de alto impacto.

(IPCC SR-OCC, 2019)

# Principales conclusiones referentes a las bases físicas del SR-OCC

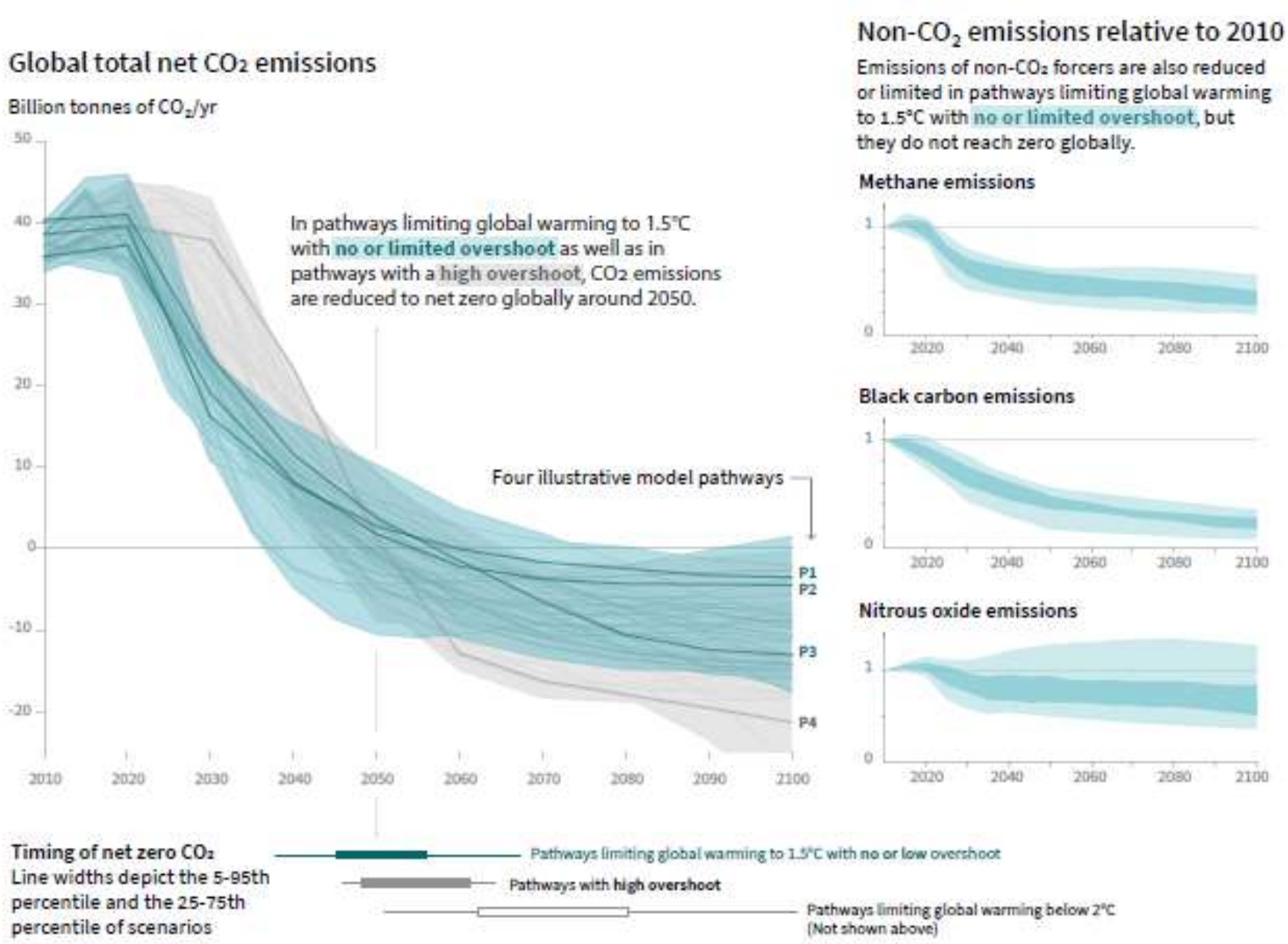
- Los impactos **claramente detectables y crecientes** siendo particularmente afectados el **Ártico, los arrecifes de coral, las costas bajas y las islas, los ecosistemas de montaña, el permafrost**, **los glaciares y las capas de hielo polar**.
- N**ivel global del mar** aumentando a una velocidad acelerada y creciente absorción de CO2 en el océano que ha llevado a una **acidificación progresiva**.
- Deterioro de las **pesquerías y daños en infraestructuras**.
- Consecuencias a largo plazo más allá de 2100 debido a la **inercia del sistema**
- Riesgo de alcanzar ***tipping points*** con consecuencias catastróficas en el océano y la criosfera aumenta con el aumento del calentamiento, en algunos casos incluso a temperaturas inferiores a 2 ° C.

# ¿Qué podemos hacer? (I)

- Calentamiento por GEI → **actuación sobre las causas → MITIGACION**
  cambio modelo energético, usos de suelo (deforestación), demografía, desarrollo sostenible, …)

"Well below 2°C"
2.0°
COP
21
195
Countries
PARIS CLIMATE
Conference

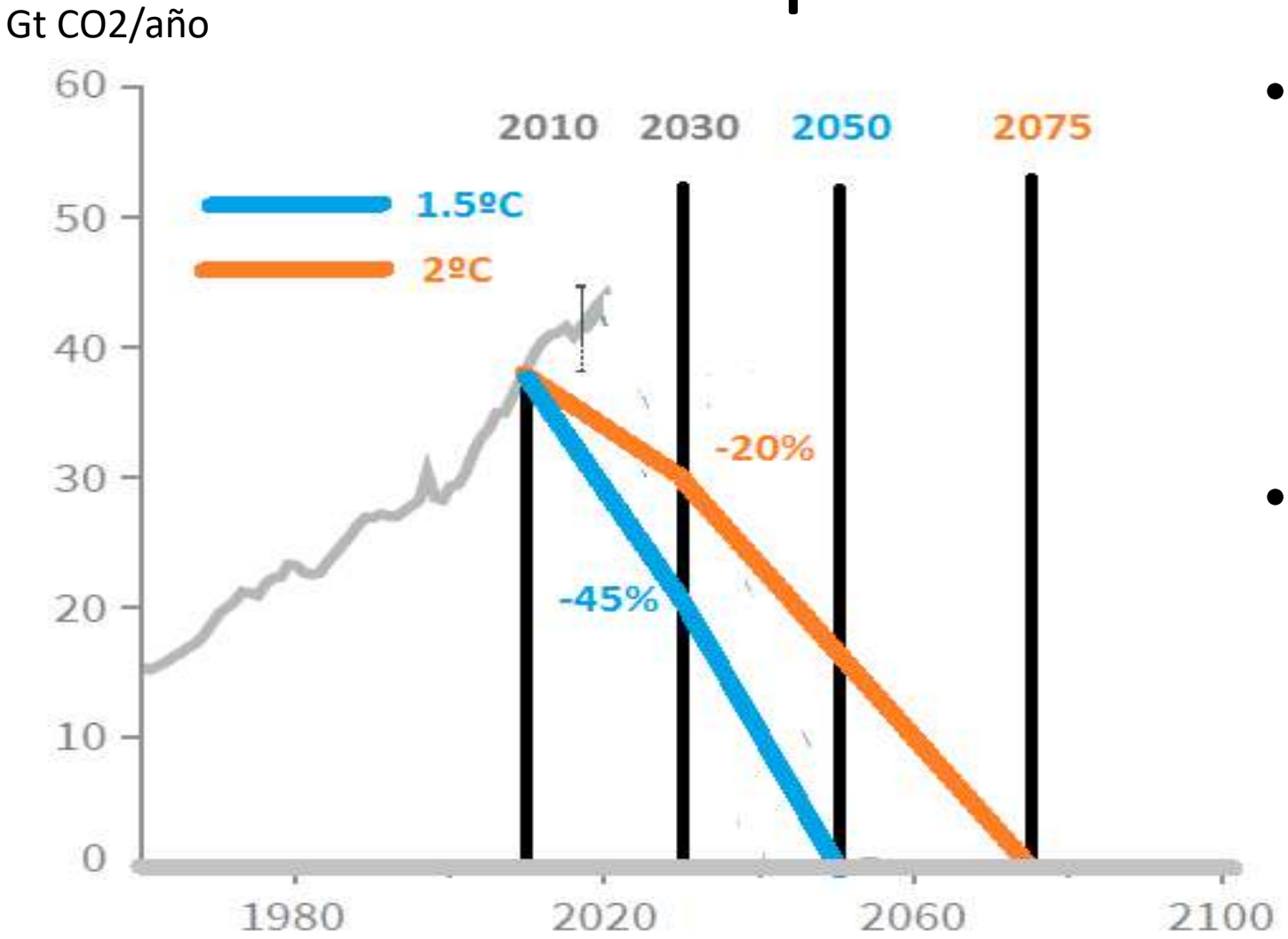
# Sendas de emisión consistentes con un calentamiento 1.5ºC




Evolución de las emisiones netas de CO2, metano, hollín y óxido de nitrógeno, en simulaciones con modelos para limitar el calentamiento a 1.5°C

(SR1.5 IPCC, 2018)

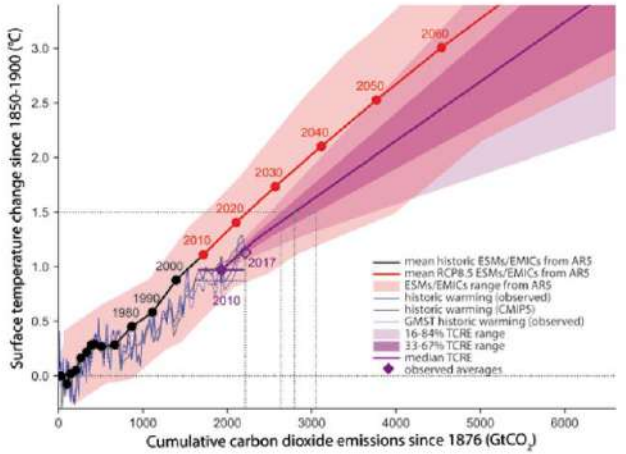
# Sendas de reducción de emisiones para no sobrepasar 1.5 ºC y 2 ºC




- Reducción de las emisiones de CO2 desde 2010 hasta que se alcanzan cero emisiones netas en sendas simuladas que limitan el calentamiento a 1.5 ºC y 2 ºC
- La cantidad de carbono remanente compatible con un calentamiento 1.5 ºC es de 770 (570) Gt CO2 con probabilidad 50% (66%).

(SR1.5 IPCC, 2018)

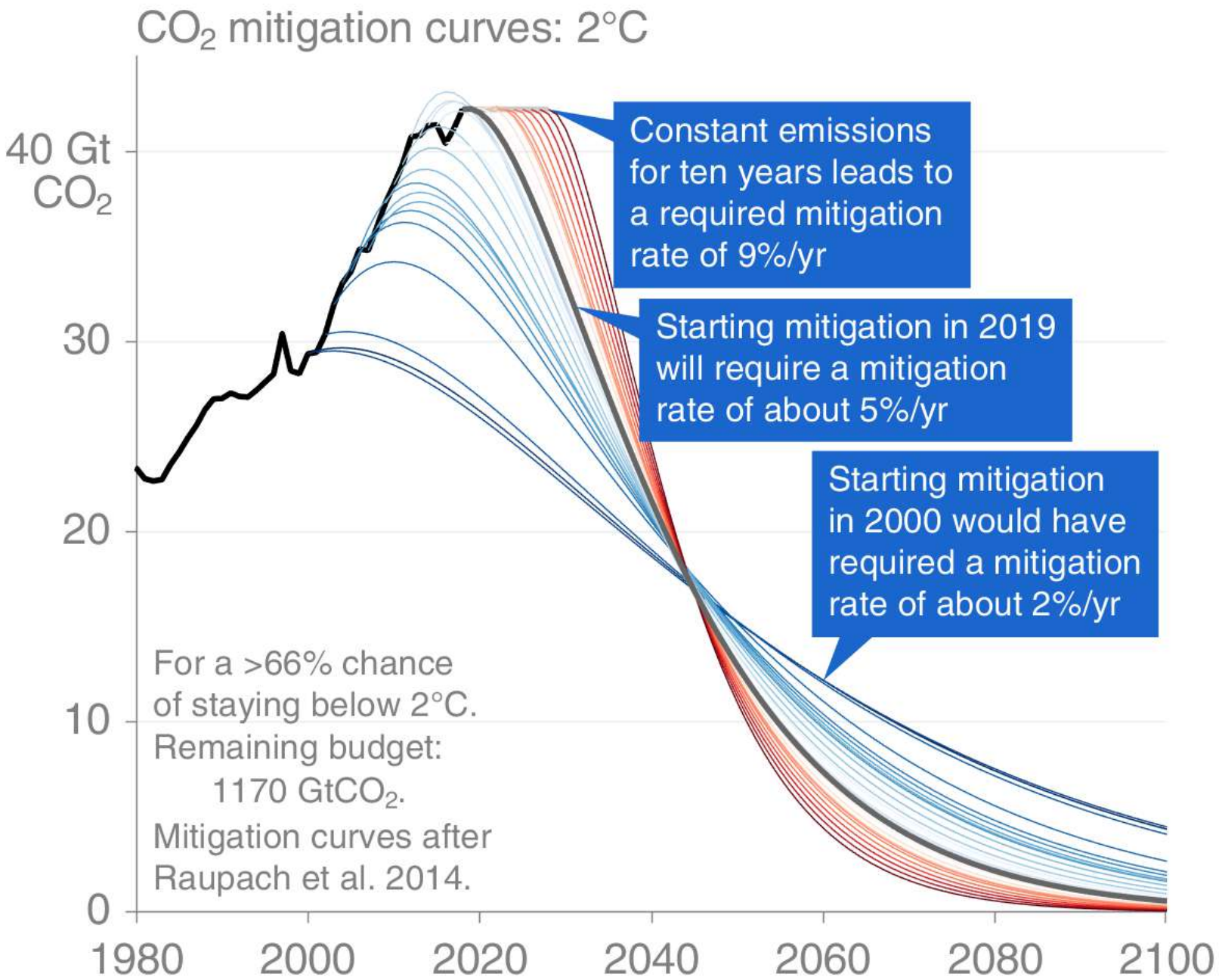
# Cuánto carbono adicional es compatible con un calentamiento 1.5 ºC?



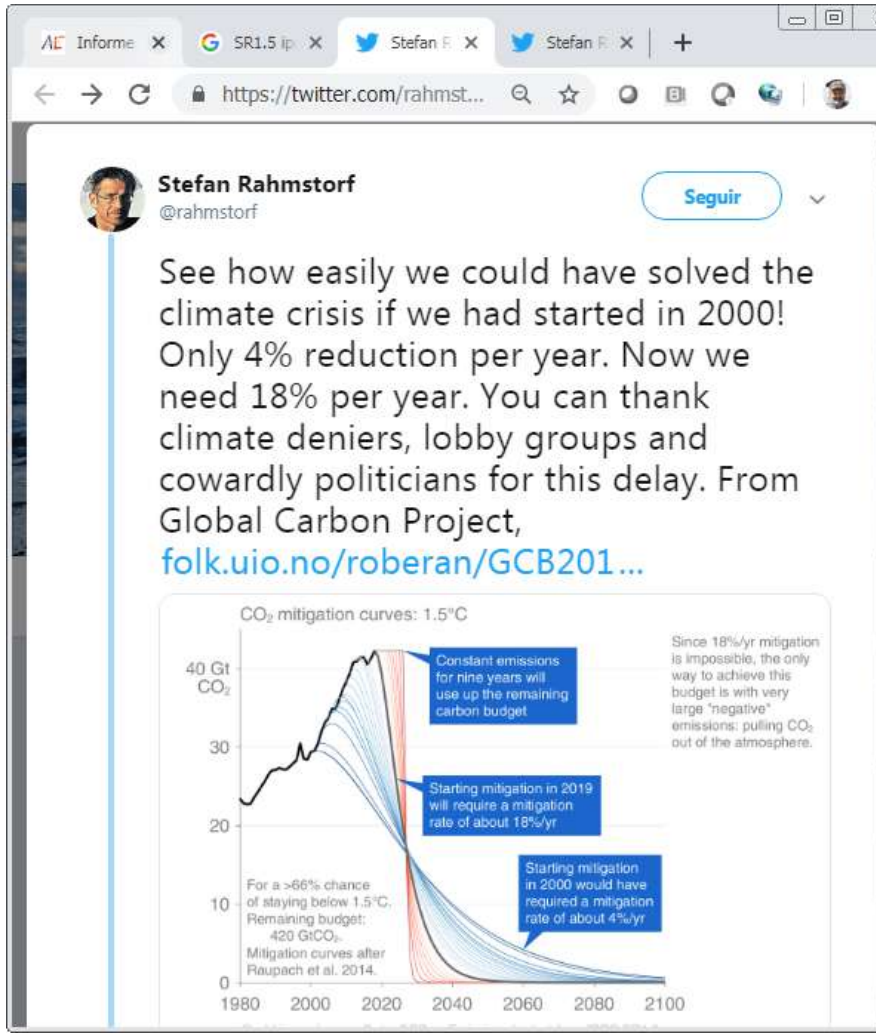

- Hasta finales de 2017, las emisiones antropogénicas de $CO_2$ desde el periodo preindustrial han sido 2200 ± 320 $GtCO_2$
- Emitimos aproximadamente 42±3 $GtCO_2$ por año
- Quedan 580 $GtCO_2$ para limitar el calentamiento a 1.5 ºC con probabilidad de 50% (420 $GtCO_2$ con probabilidad de 66%)[utilizando la temperatura global media del aire en superficie como métrica (como en AR5) ]
- Quedan 770 $GtCO_2$ para limitar el calentamiento a 1.5 ºC con probabilidad de 50% (570 $GtCO_2$ con probabilidad de 66%)[utilizando GMST(*) como métrica (como en AR5) ]

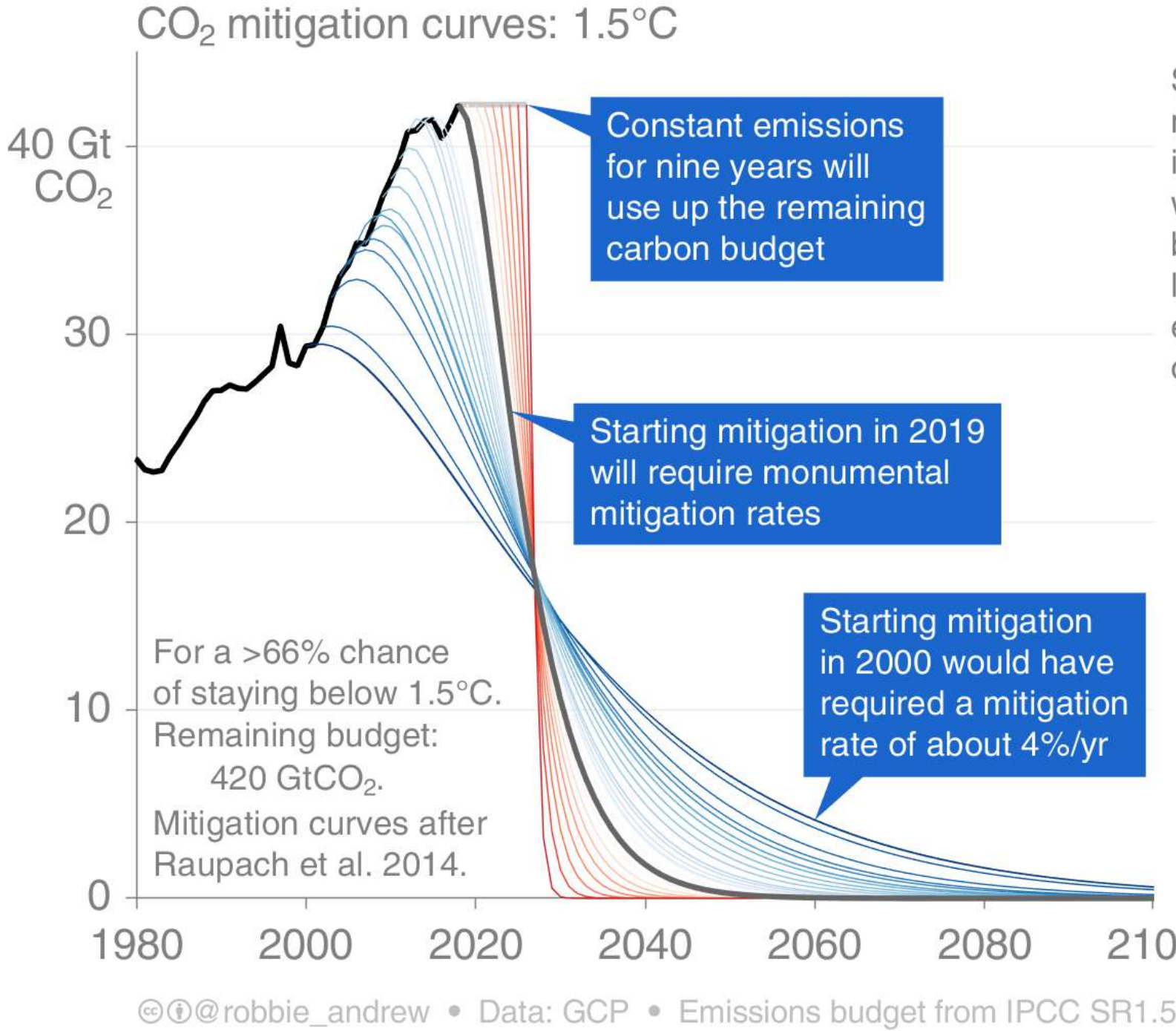
(*) Global mean surface temperature (GMST): Estimated global average of near-surface air temperatures over land and sea-ice, and sea surface temperatures over ice-free ocean regions, with changes normally expressed as departures from a value over a specified reference period.

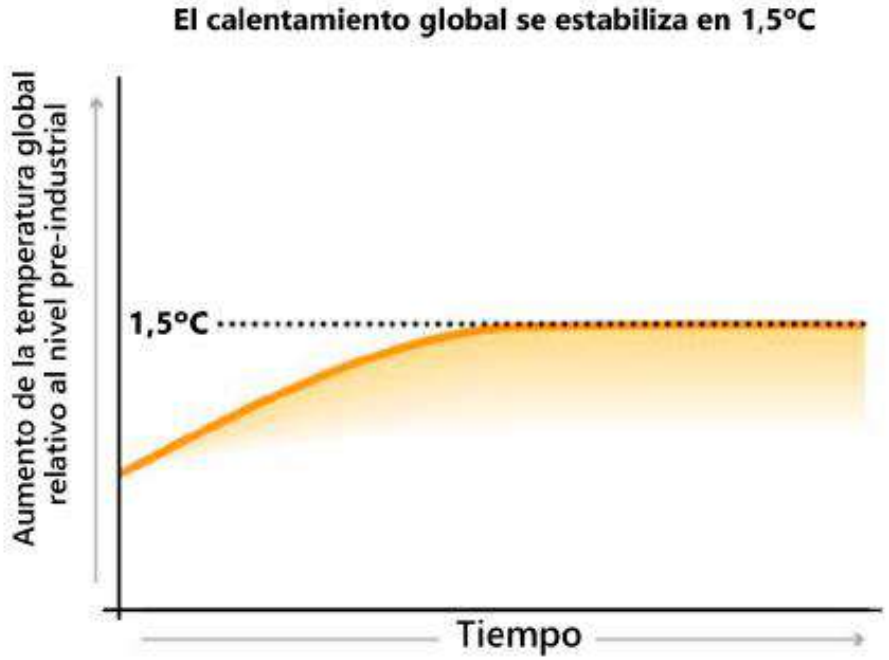
(SR1.5 IPCC, 2018)

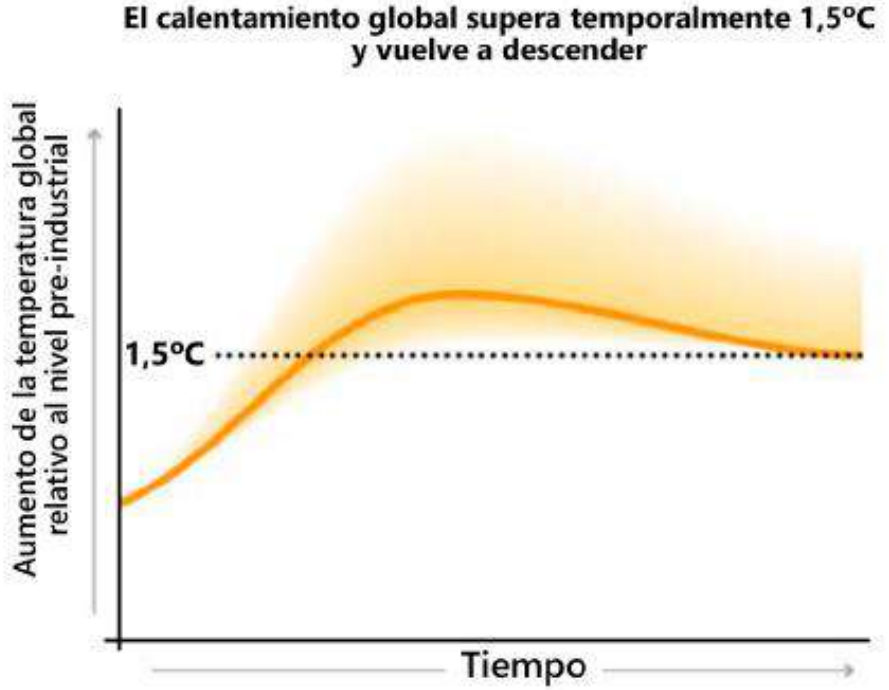



CC BY @robbie_andrew • Data: GCP • Emissions budget from IPCC SR1.5


Informe
SR1.5 ip
Stefan R
Stefan R
https://twitter.com/rahmst...
Stefan Rahmstorf
@rahmstorf
Seguir
See how easily we could have solved the climate crisis if we had started in 2000! Only 4% reduction per year. Now we need 18% per year. You can thank climate deniers, lobby groups and cowardly politicians for this delay. From Global Carbon Project, folk.uio.no/roberan/GCB201...
CO2 mitigation curves: 1.5°C
40 Gt CO2
30
20
10
0
1980
2000
2020
2040
2060
2080
2100
Constant emissions for nine years will use up the remaining carbon budget
Starting mitigation in 2019 will require a mitigation rate of about 18%/yr
Starting mitigation in 2000 would have required a mitigation rate of about 4%/yr
For a >66% chance of staying below 1.5°C. Remaining budget: 420 GtCO2. Mitigation curves after Raupach et al. 2014.
Since 18%/yr mitigation is impossible, the only way to achieve this budget is with very large "negative" emissions: pulling CO2 out of the atmosphere.


CO2 mitigation curves: 1.5°C
40 Gt CO2
30
20
10
0
1980
2000
2020
2040
2060
2080
210
Constant emissions for nine years will use up the remaining carbon budget
Starting mitigation in 2019 will require monumental mitigation rates
Starting mitigation in 2000 would have required a mitigation rate of about 4%/yr
For a >66% chance of staying below 1.5°C. Remaining budget: 420 GtCO2. Mitigation curves after Raupach et al. 2014.
@robbie_andrew • Data: GCP • Emissions budget from IPCC SR1.5



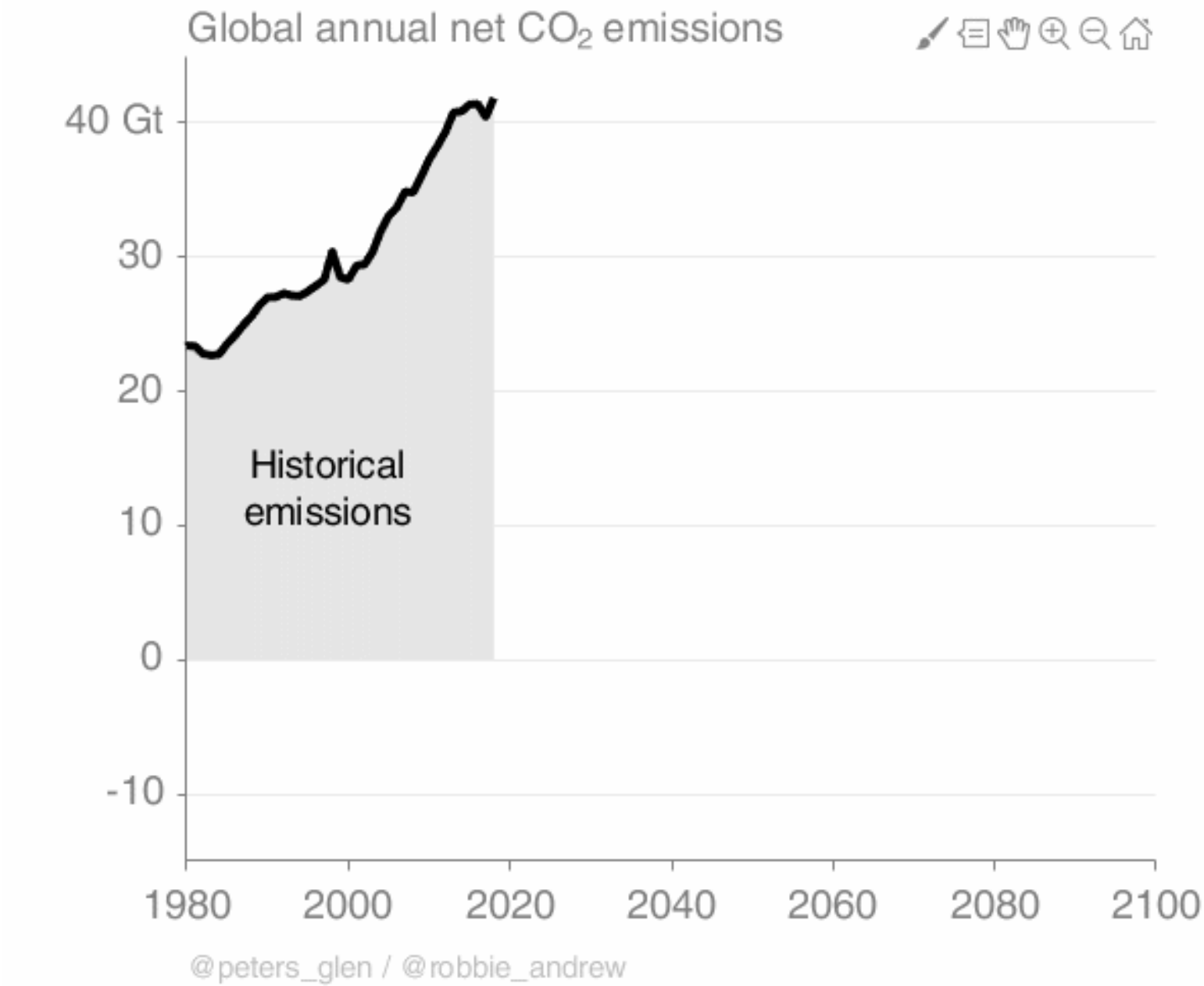




# Calentamiento global con y sin overshooting

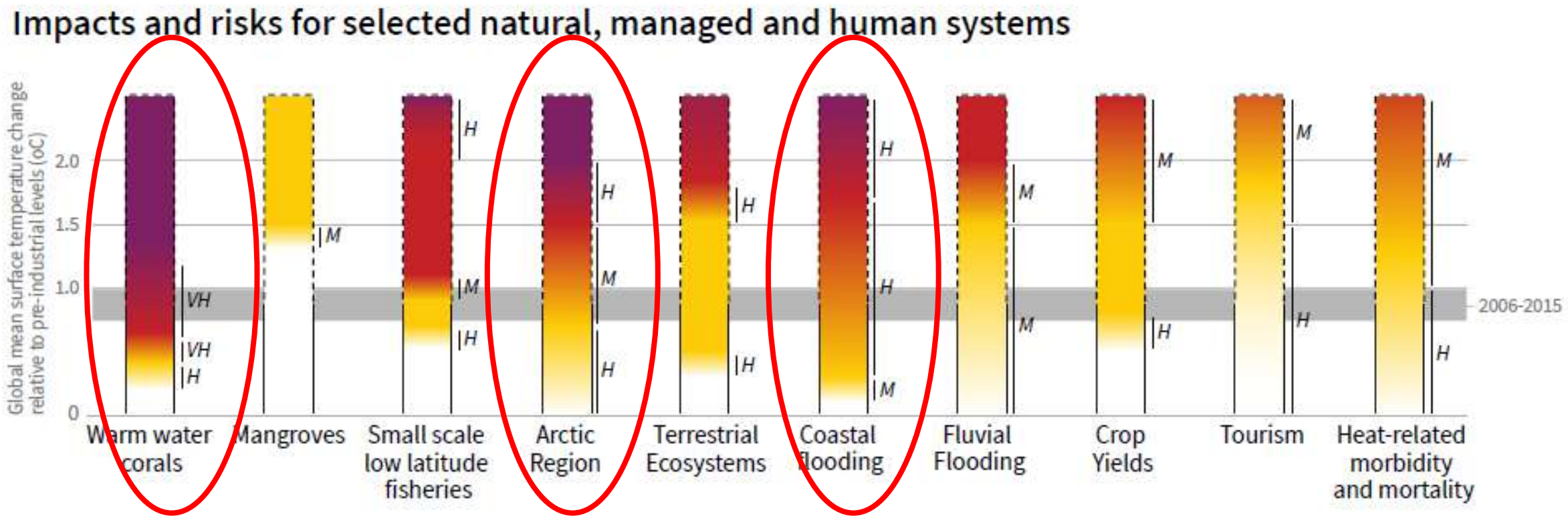
Existen dos tipos de sendas para limitar la subida de temperatura global a 1,5 ºC respecto al nivel pre-industrial:

- las que estabilizan la temperatura a 1,5 ºC
- las que sobrepasan temporalmente (overshooting) el límite de 1,5 ºC para alcanzar esta temperatura a final de siglo.

°CICERO
Center for International Climate Research



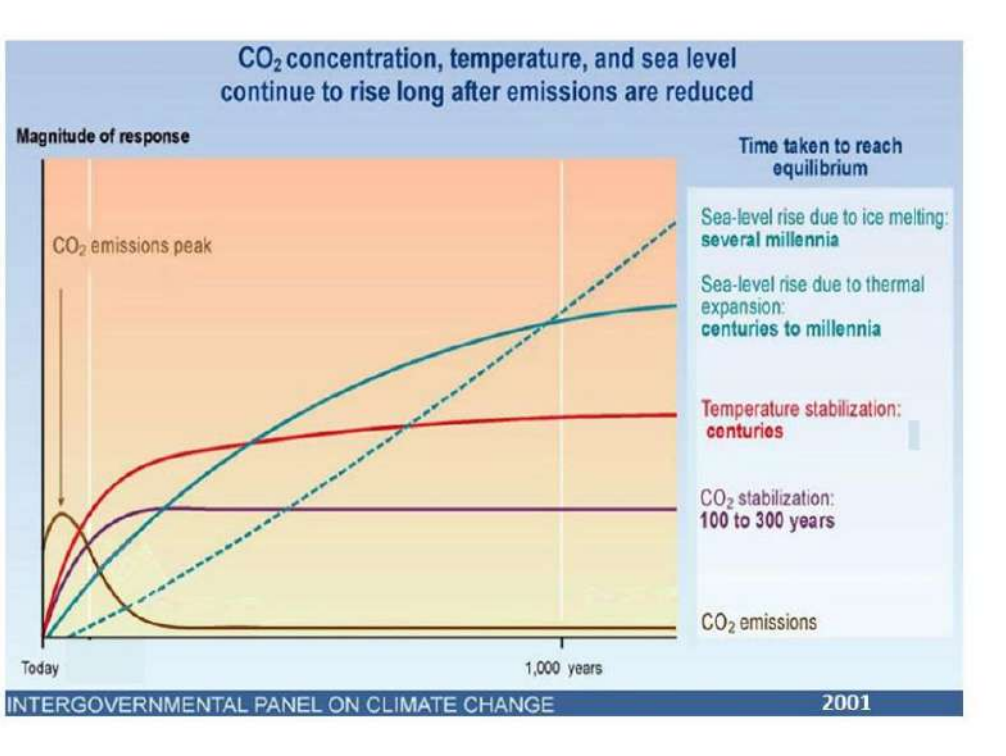
# Cambio climático proyectado, impactos potenciales y riesgos asociados con un calentamiento de 1.5°C




(SR1.5 IPCC, 2018)

# ¿Qué podemos hacer? (II)

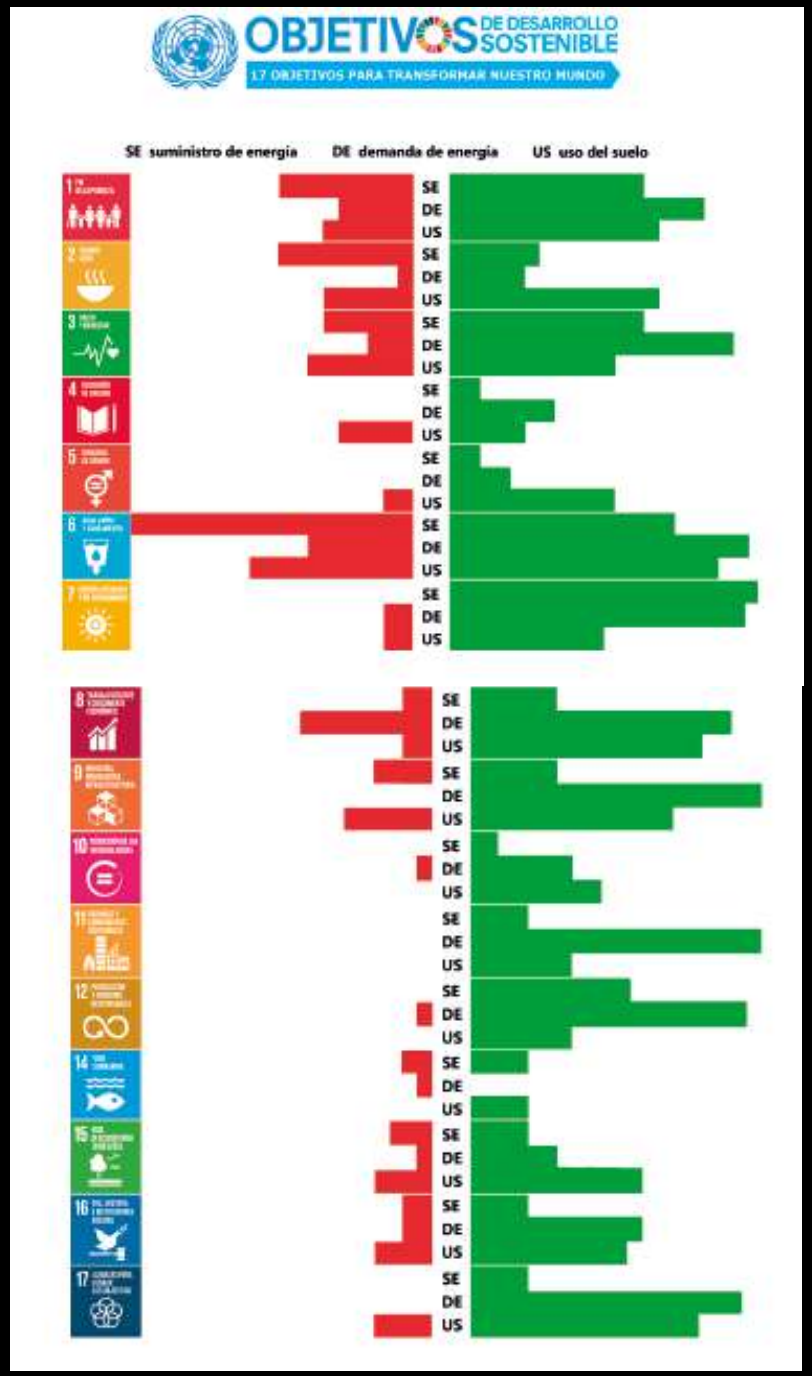
- Calentamiento por GEI → **actuación sobre las causas → MITIGACION**
  (cambio modelo energético, usos de suelo (deforestación), demografía, desarrollo sostenible, …)
- Inercia del sistema climático → **actuación sobre efectos → ADAPTACION**



# Adaptation is already taking place

# ¿Qué podemos hacer? (II)

- Calentamiento por GEI → **actuación sobre las causas → MITIGACION**
  (cambio modelo energético, usos de suelo (deforestación), demografía, desarrollo sostenible, …)
- Inercia del sistema climático → **actuación sobre efectos → ADAPTACION**
- Mejorar el conocimiento del sistema climático → **INVESTIGACION**
- **Actuación a diferentes niveles** gobiernos, ciudades, individuos, etc.
- Aumentar el nivel de **concienciación del problema**
  (Influencia en la acción de individuos, ciudades, gobiernos, etc)
- El problema del cambio climático está íntimamente **ligado a otros problemas** de la humanidad en su conjunto (ODS):
  - pobreza (demografía),
  - desarrollo sostenible,
  - modelo energético,
  - patrones de producción y consumo,
  - comercio
  - etc




# Efectos potencialmente positivos y negativos de las medidas de mitigación del cambio climático sobre los ODS

- Las sendas compatibles con 1.5°C muestran **sinergias** particularmente robustas con los ODS relativos a la **salud (3), energía limpia (7), ciudades y comunidades (11), producción y consumo responsables (12) y océanos (14).**

- También muestran algunos efectos negativos, sobre todo para los ODS relativos a la **pobreza (1), hambre (2), agua (6), energía (7).**

(SR1.5 IPCC, 2018)

# Conclusiones (I)

Además de las principales conclusiones del AR5 (cambio climático inequívoco de origen principalmente antropogénico, necesidad de reducción de emisiones de GEI sustanciales y sostenidas), los recientes informes destacan:

- Limitar el calentamiento a 1.5 °C (y a 2 °C ) requerirá durante las próximas dos décadas una **transición rápida y de largo alcance en los sistemas de energía, uso de la tierra, urbano e industrial**.
- Las sendas que sobrepasan temporalmente (*overshooting*) el límite de 1.5 °C (y 2 °C ) para alcanzar esta temperatura a final de siglo implican una **gran contribución de emisiones negativas traspasadas a las siguiente(s) generación(es)**.
- Las opciones de mitigación consistentes con sendas compatibles con 1.5°C presentan múltiples **sinergias con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).**

# Conclusiones (II)

- **Vegetación y pérdida de biodiversidad, incendios, degradación del permafrost y costera, erosion del suelo y escasez de agua serán más severas**, especialmente en las regiones secas..
- Incluso aunque los crecientes niveles de CO2 (fertilización) pueden tener un impacto positivo en ciertos cultivos, **el riesgo de impactos adversos en la producción agrícola, calidad y suministro de los alimentos, así como su precio** aumentarán con un mayor CC.
- N**ivel global del mar** aumentando a una velocidad acelerada y creciente absorción de CO2 en el océano que ha llevado a una **acidificación progresiva**.
- Deterioro de las **pesquerías y daños a infraestructuras**.
- Consecuencias a largo plazo más allá de 2100 debido a la **inercia del sistema**

The urgency of the situation crystallized only in the past few years. We now have clear evidence of the crisis, provided by increasingly detailed information about how Earth responded to perturbing forces during its history and by observations of changes that are beginning to occur around the globe in response to ongoing climate change.

James Hansen (2010)

# Muchas gracias por su atención!