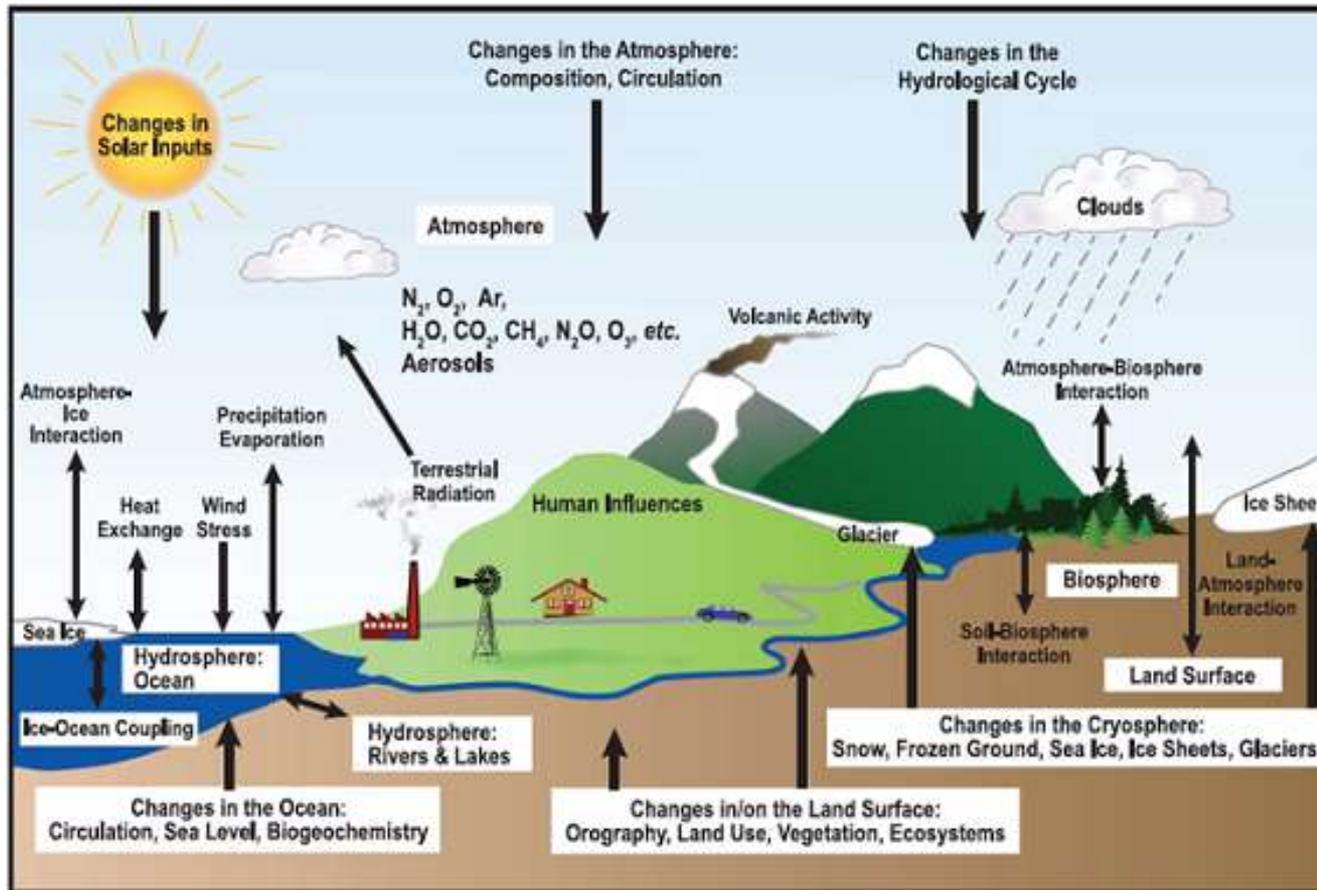


Evidencias científicas del Cambio del Cambio Climático

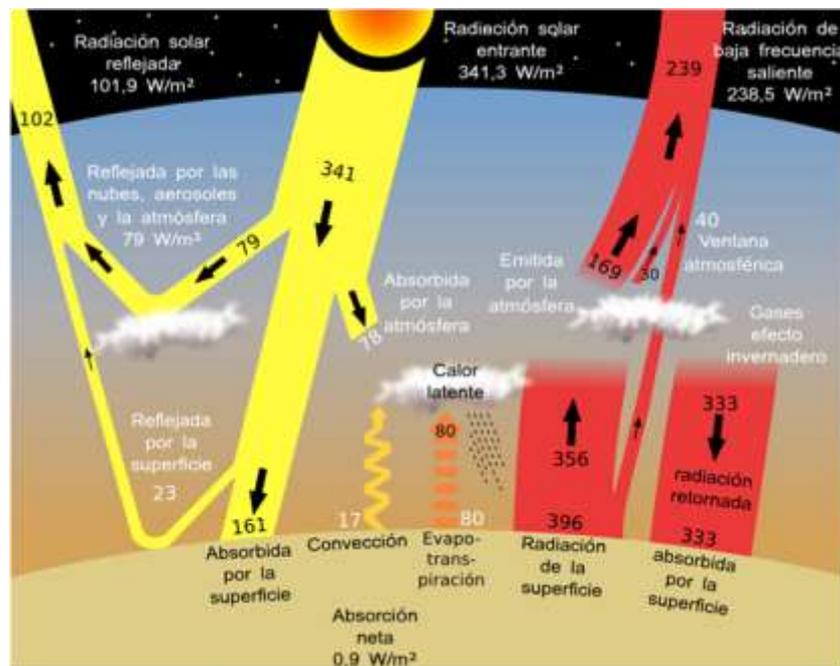
Ricardo García Herrera

Universidad Complutense de Madrid e
Instituto de Geociencias (IGEO, CSIC-UCM), Madrid, Spain

El sistema climático

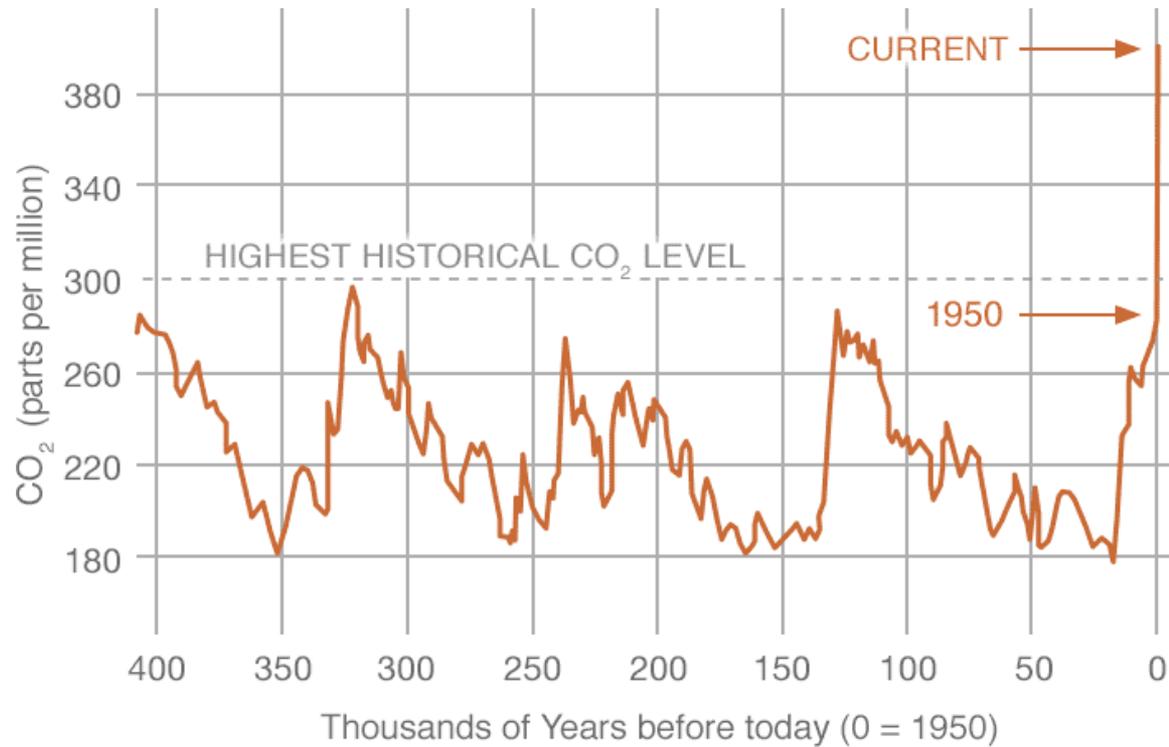


El balance radiativo

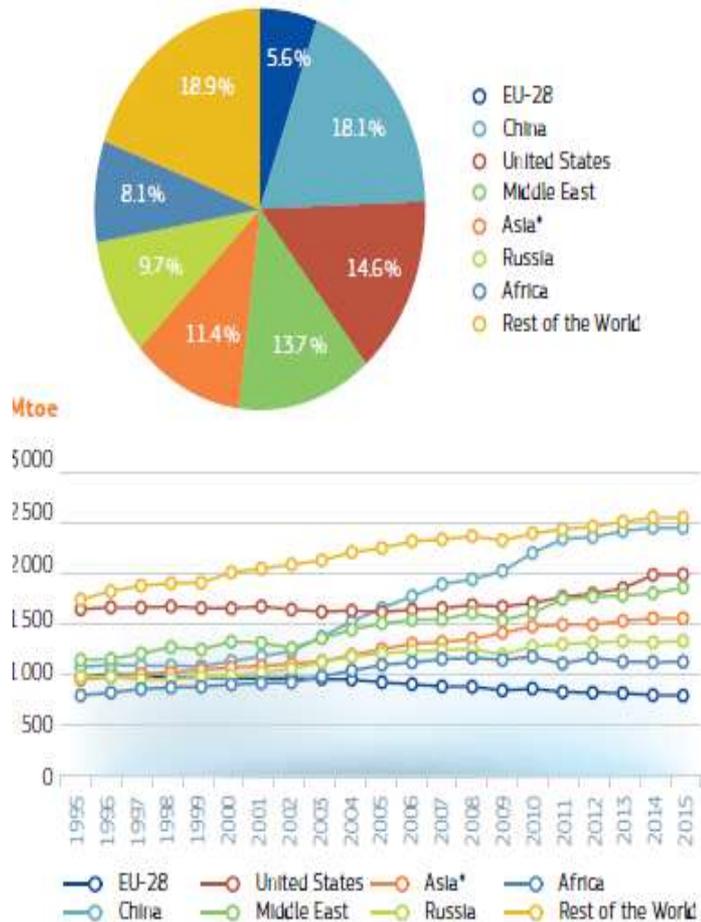


La evolución del CO₂

hasta los 406,94ppm en Sept 2017



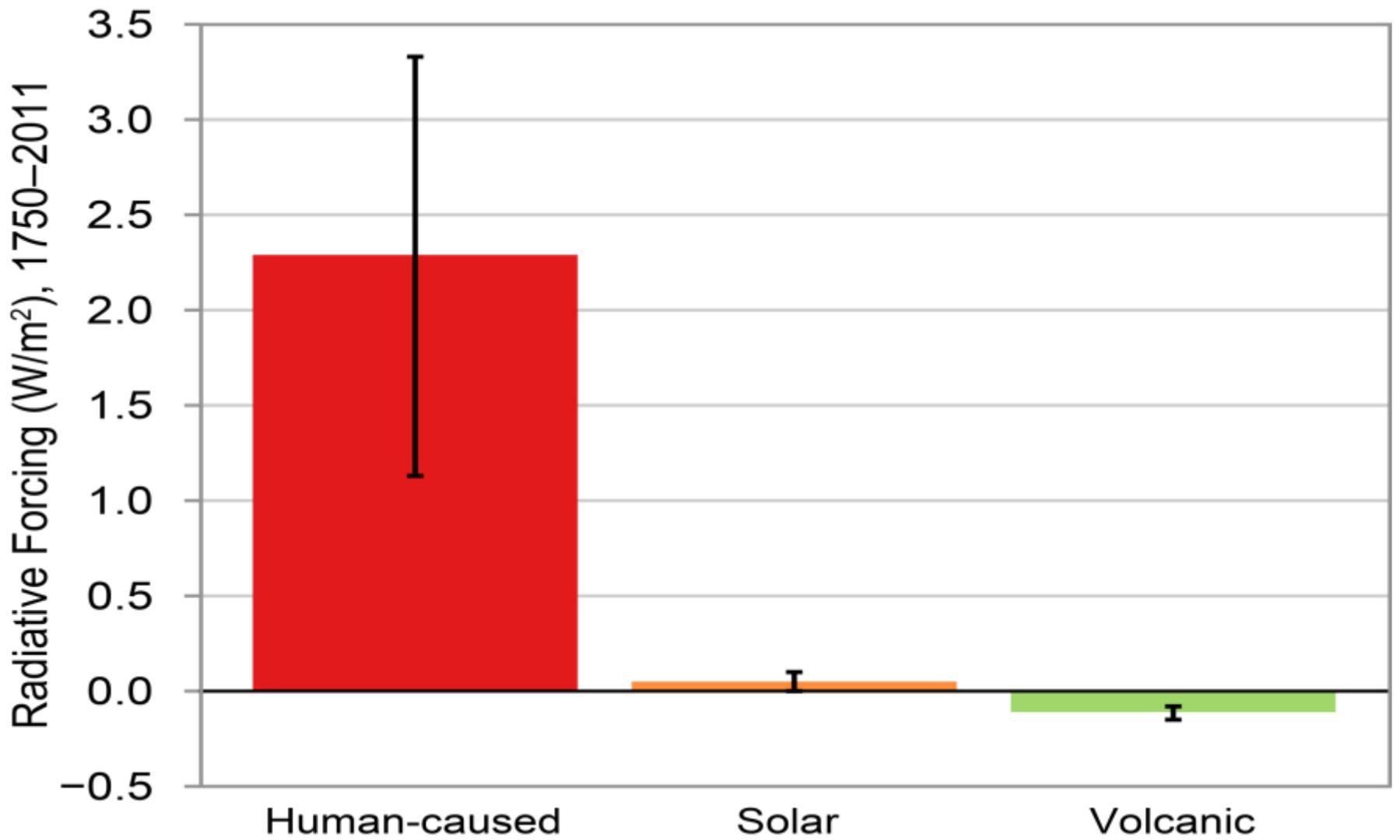
Las Emisiones de gases



1.3.3 GHG Emissions Targets*

EMISSIONS COMPARED TO 1990

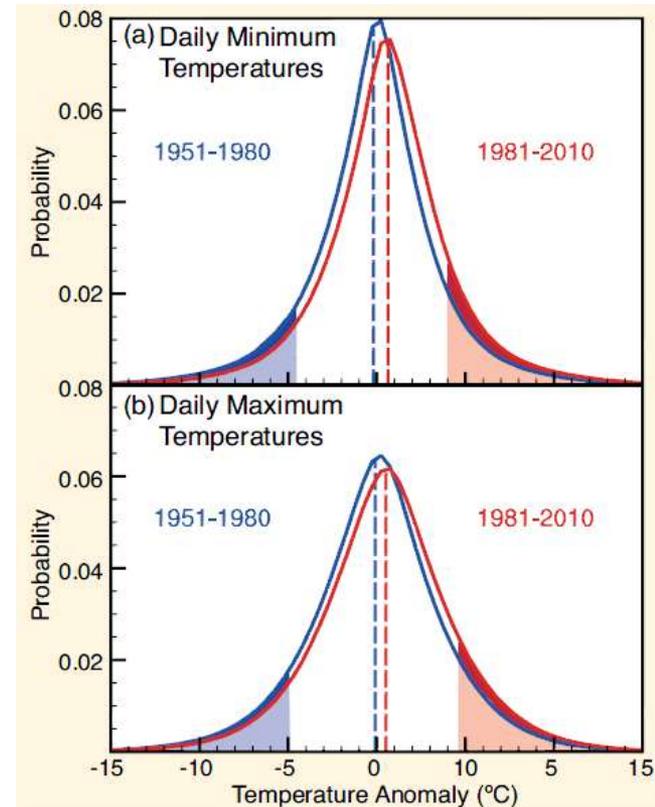
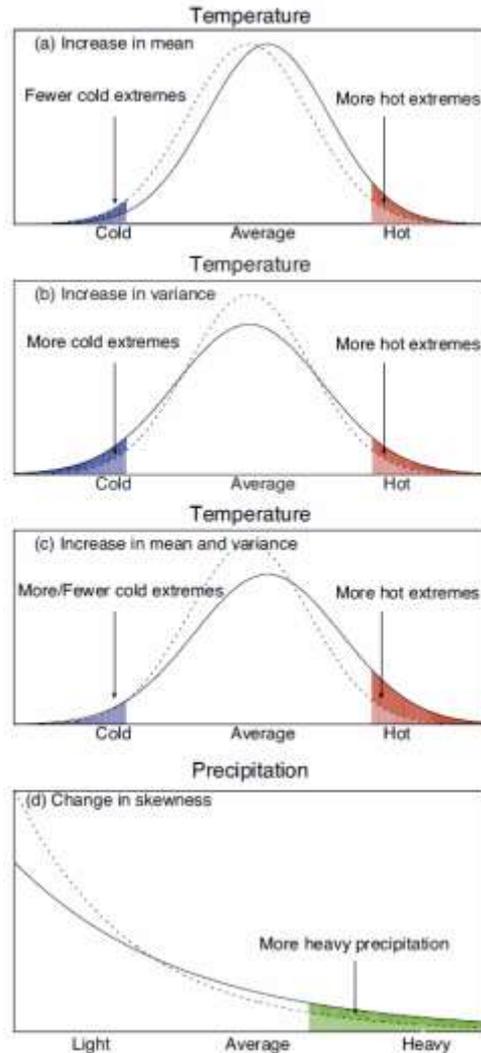
Index 100=1990	1990	1995	2000	2005	2010	2014	2015
EU-28	100.0	94.1	92.2	93.5	85.9	77.4	77.9
BE	100.0	105.7	103.6	99.9	91.8	79.4	81.8
BG	100.0	72.2	57.1	61.6	58.3	55.6	59.4
CZ	100.0	79.4	75.6	74.9	70.8	64.2	64.9
DK	100.0	111.1	101.4	95.6	91.0	74.2	70.7
DE	100.0	89.9	84.1	80.4	76.5	73.5	73.4
EE	100.0	50.0	42.9	47.7	52.5	52.3	44.7
IE	100.0	106.6	124.0	126.8	112.0	104.9	109.2
EL	100.0	105.9	122.1	131.6	114.5	96.8	93.4
ES	100.0	114.2	134.9	153.9	125.9	115.3	119.4
FR	100.0	99.8	101.9	102.4	95.0	84.6	85.4
HR	100.0	71.3	80.4	93.4	87.3	74.0	75.4
IT	100.0	102.4	107.0	112.3	98.1	82.5	84.5
CY	100.0	123.5	144.1	159.7	163.8	144.7	144.5
LV	100.0	48.5	39.6	43.5	47.6	43.7	44.1
LT	100.0	46.3	40.6	47.9	43.2	41.5	42.0
LU	100.0	81.0	80.8	108.8	102.6	91.4	88.9
HU	100.0	80.5	78.6	81.1	70.1	61.9	65.3
MT	100.0	111.5	116.6	126.5	128.0	125.7	99.2
NL	100.0	105.8	101.6	99.7	99.3	87.8	91.4
AT	100.0	101.8	103.2	118.7	109.3	98.3	101.6
PL	100.0	93.9	83.5	85.3	87.2	82.1	82.8
PT	100.0	117.3	138.3	144.9	118.0	110.2	117.9
RO	100.0	73.6	56.9	59.4	49.1	47.0	47.7
SI	100.0	100.7	102.8	110.3	105.5	89.5	90.7
SK	100.0	73.1	67.0	69.2	62.7	54.7	55.6
FI	100.0	100.6	98.3	98.0	106.9	84.5	79.6
SE	100.0	103.1	96.8	94.3	91.4	76.9	76.6
UK	100.0	94.7	91.4	89.6	79.6	68.7	66.4



Fourth National Climate Assessment. US Global Change Research Program. Nov 2017

Extremos climáticos en un clima cambiante

- El cambio climático implica cambios en la distribución de variables (media, varianza, simetría) que afectan a la ocurrencia de extremos.
- Incluso un pequeño cambio en la media puede causar un gran cambio en la ocurrencia de extremos. Los cambios en varianza pueden ser tan o más importantes que en la media.



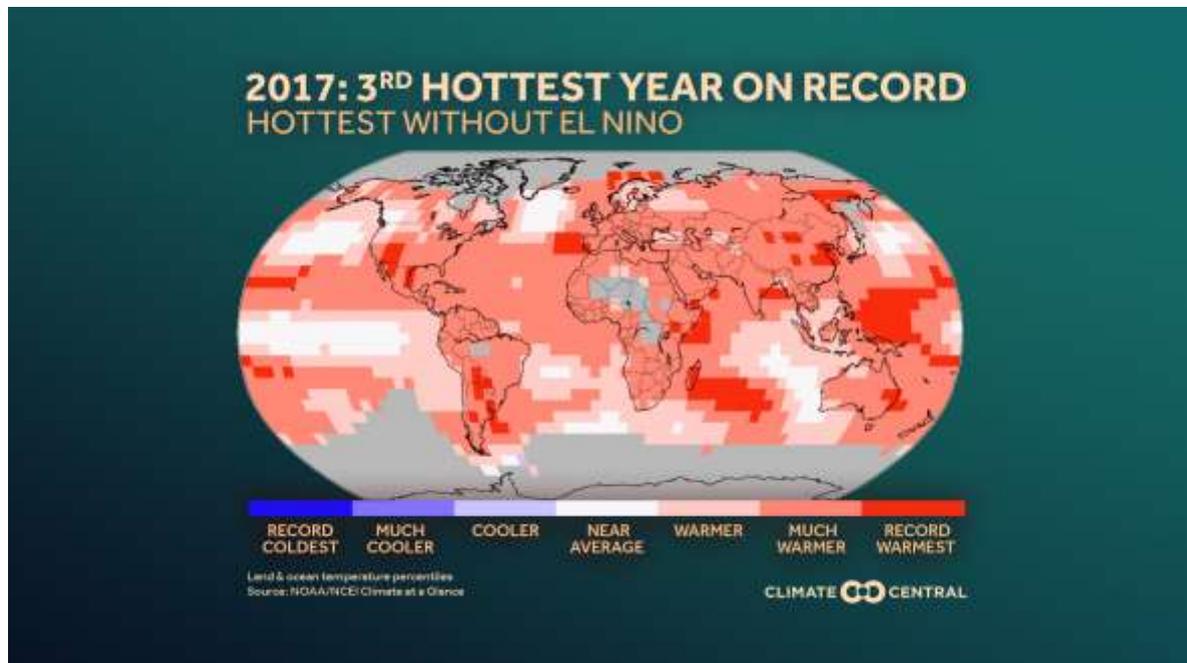
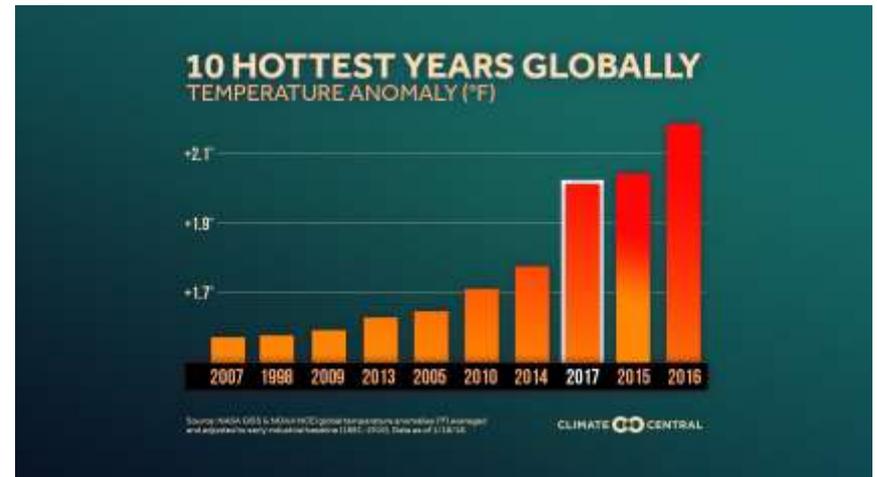
Distribución de anomalías de temperatura nocturna y diurna. El sombreado identifica el 10% de los días más fríos y cálidos

Sin cambio climático seguirían ocurriendo extremos, pero éste puede afectar su ocurrencia

Disminución del hielo Ártico



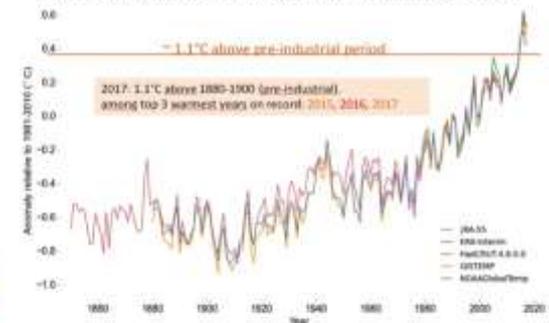
2017 EL AÑO MAS CÁLIDO SIN EL NIÑO



WMO Estado del clima 2017

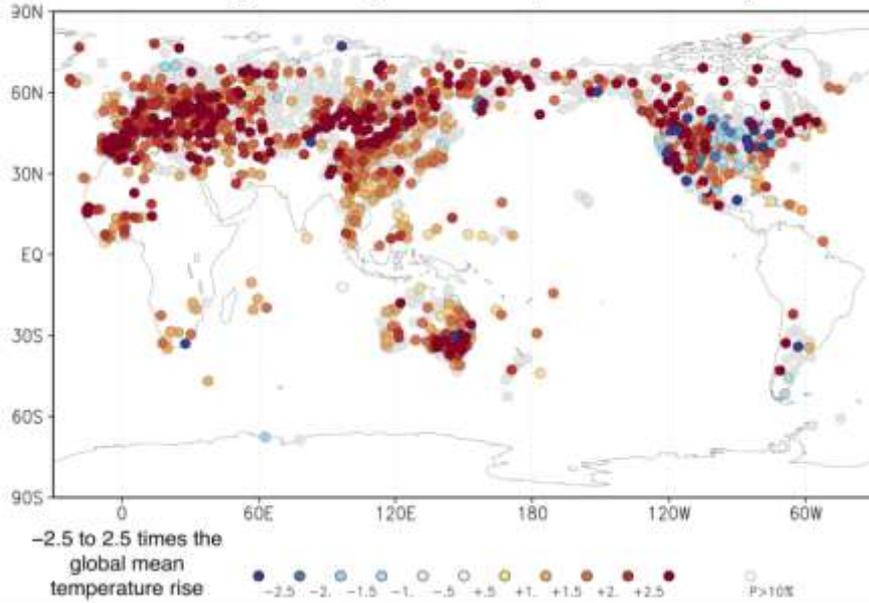


Global Temperature : January-Septembre 2017

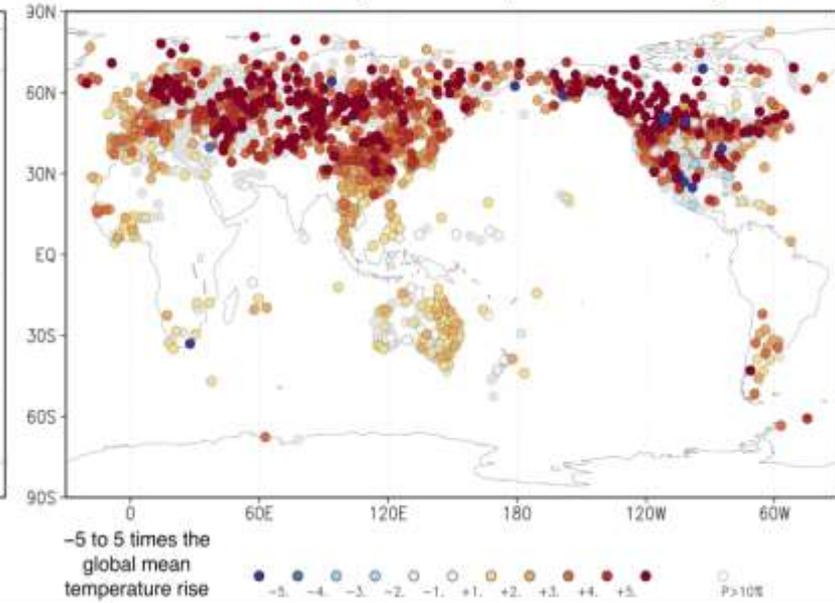


Tendencias de extremos <https://www.climatecentral.org/analyses/trends-in-weather-extremes-2018/>

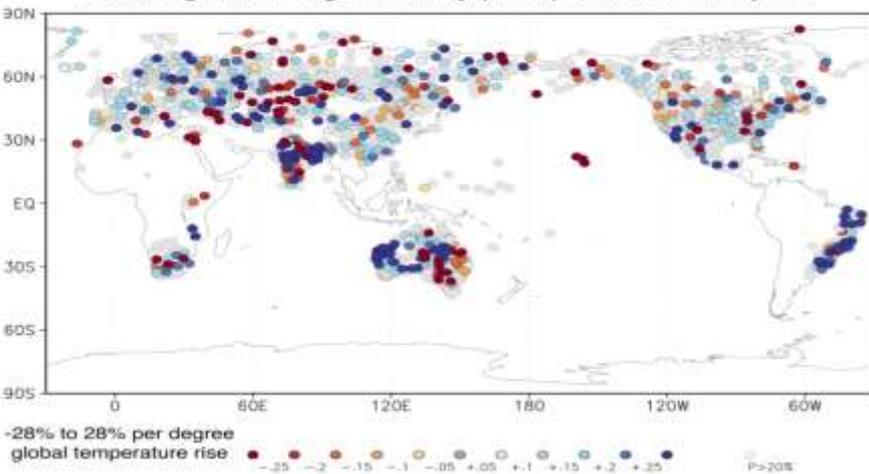
Trend highest daily mean temperature of the year



Trend lowest daily mean temperature of the year



Trend logarithm highest daily precipitation of the year

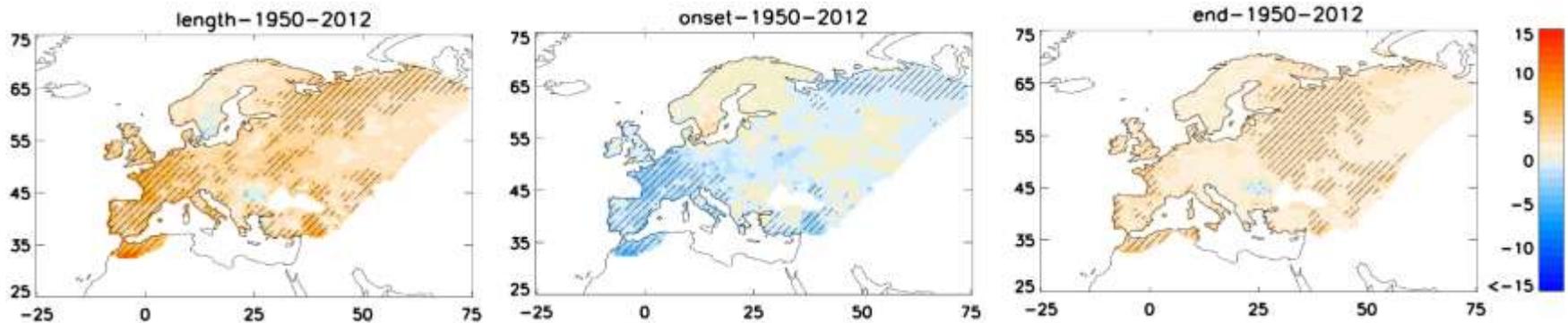


En resumen

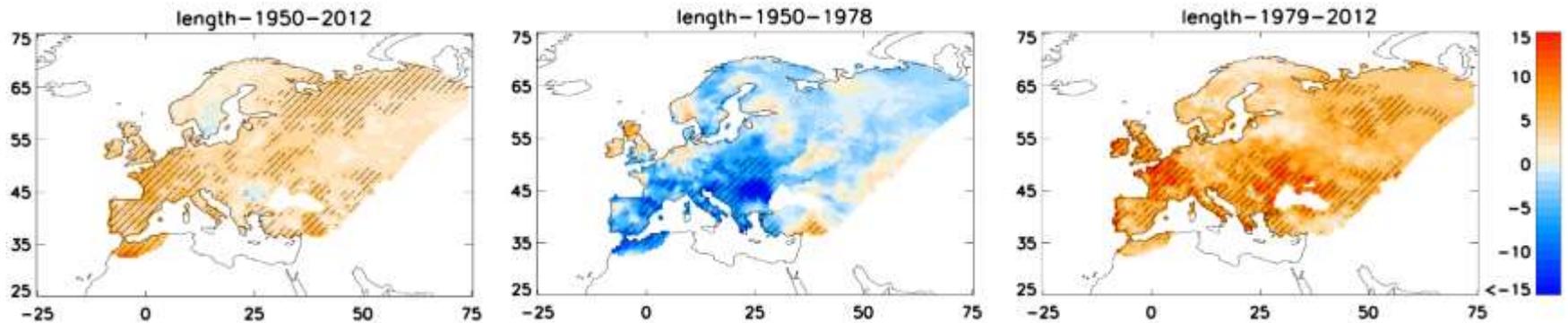
- El CO2 aumenta de manera constante. 406,94 ppm en Sept 2017
- Temperatura en aumento (1,1º desde finales del S XIX). 16 de los 17 años más cálidos han ocurrido desde 2001
- El hielo ártico está disminuyendo (13,2% por década en septiembre)
- Groenlandia y la Antártida pierden hielo desde 2002
- El nivel del mar está aumentando a una tasa de 3,4 mm/año

El verano se alarga en Europa

- European mean **summer lengthening** of **2.4 days decade⁻¹** for 1950-2012, but with substantial **multidecadal variability**
- Trends are mainly related to an **advance of the summer onset** and, to a lesser extent, to the delay of the summer end.

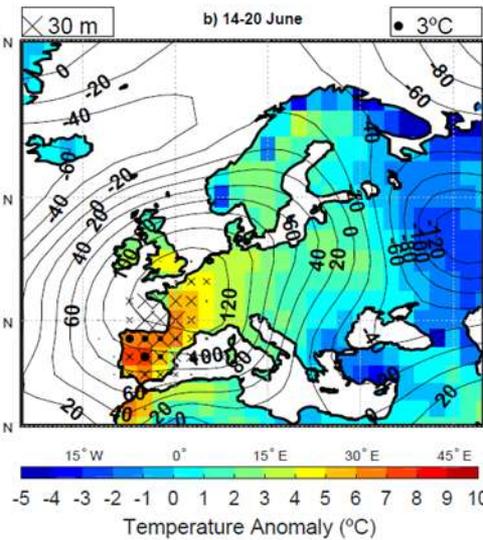
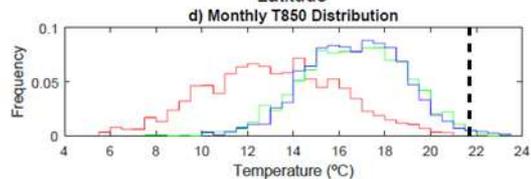
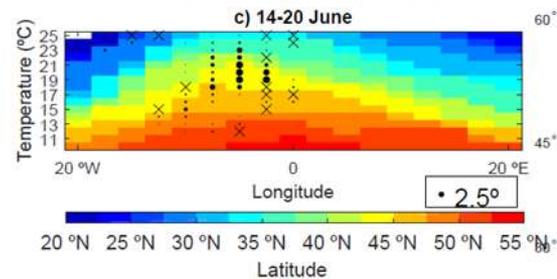
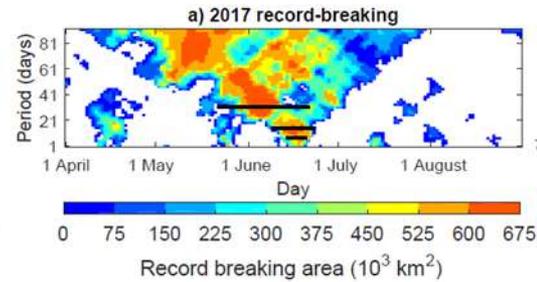
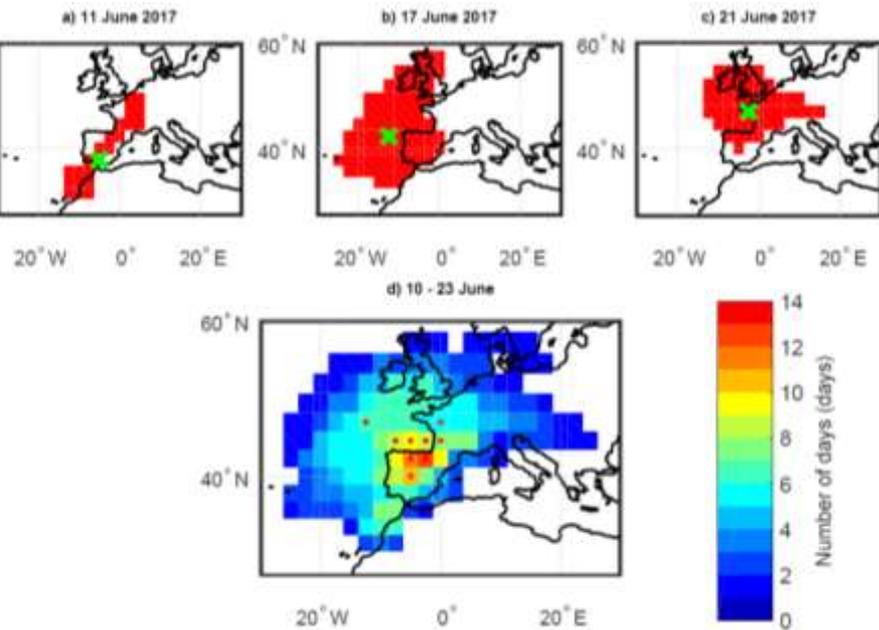


Trends of summer length, onset and end (days decade⁻¹) for 1950-2012

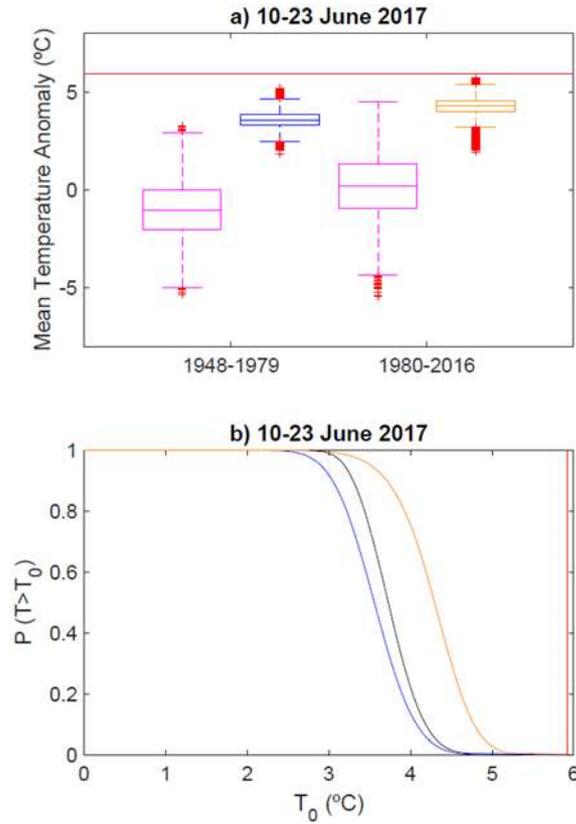


Trends of summer length (days decade⁻¹) for 1950-2012, pre-1979 and post-1979

Ola de calor de 2017



Ola de calor de 2017



Modelos climáticos

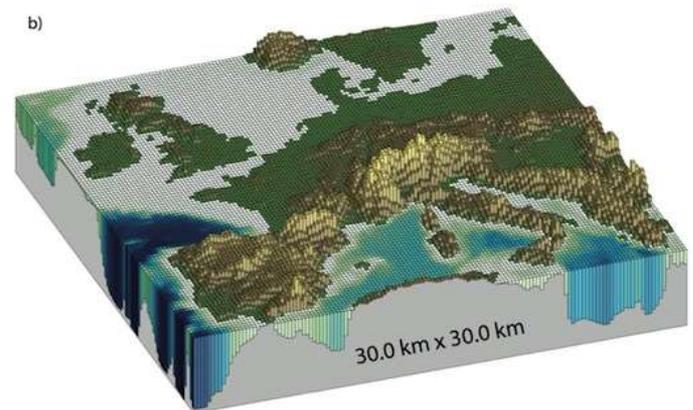
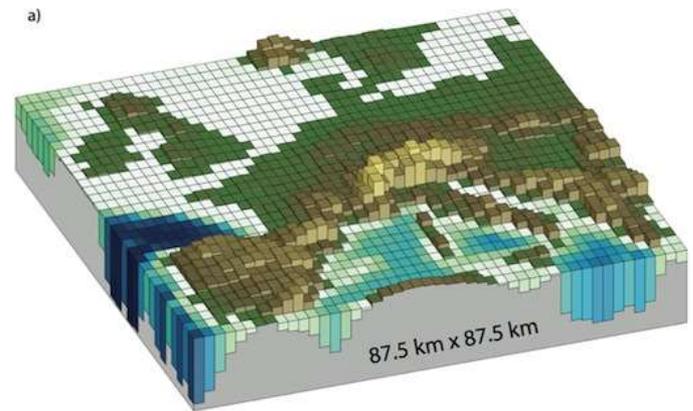
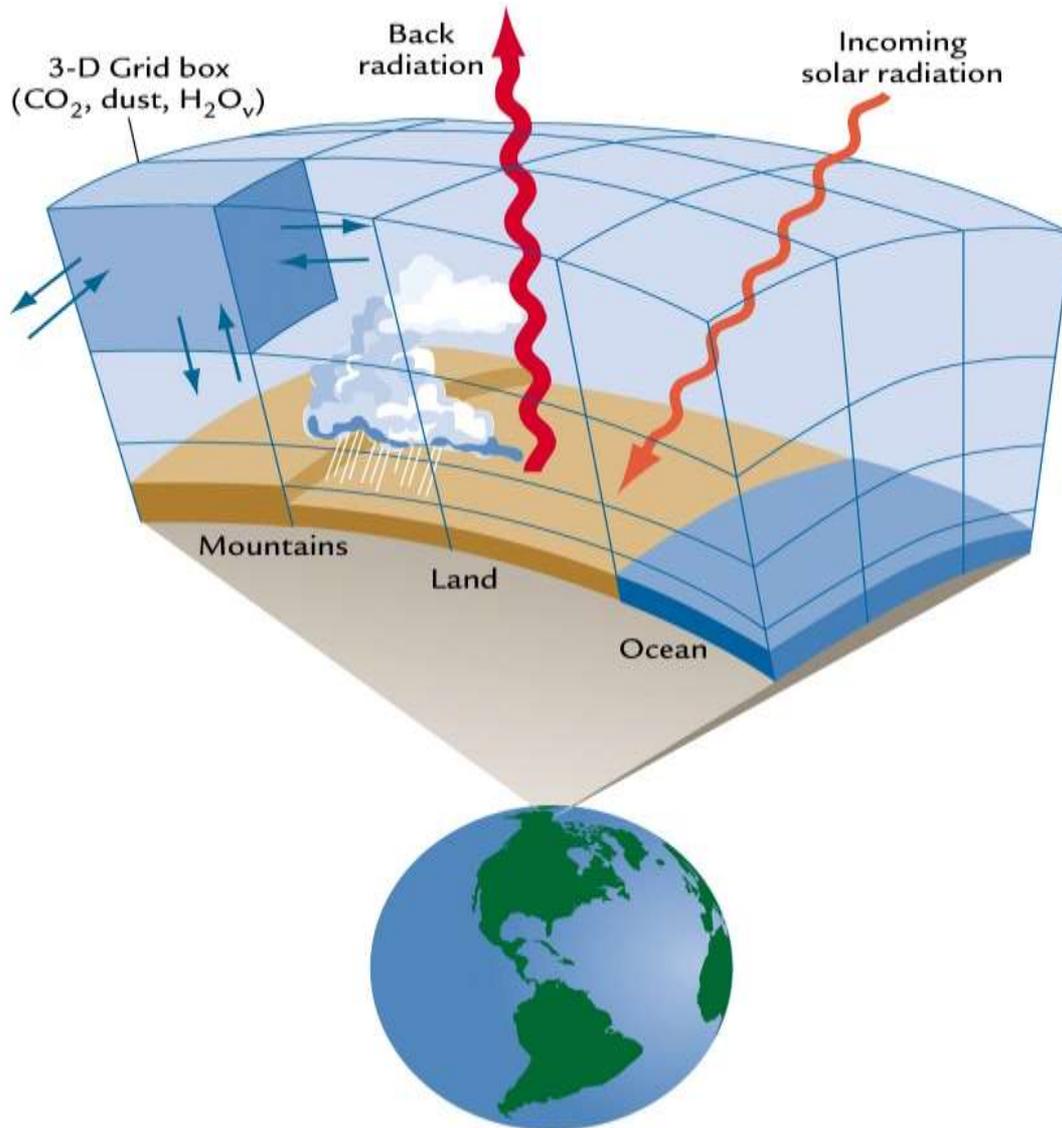


Image Source:
IPCC Fifth Assessment Report, Jan 2014. Working Group 1, Fig 1.14

Y en cada cubito...



$$\frac{\partial p'}{\partial t} - \rho_0 g w + \gamma p \nabla \cdot \mathbf{v} = -\mathbf{v} \cdot \nabla p' + \frac{\gamma p}{T} \left(\frac{\dot{Q}}{c_p} + \frac{T_0}{\theta_0} D_\theta \right)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{m}{\rho} \left(\frac{\partial p'}{\partial x} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) = -\mathbf{v} \cdot \nabla u + v \left(f + u \frac{\partial m}{\partial y} - v \frac{\partial m}{\partial x} \right) - e w \cos \alpha - \frac{u w}{r_{earth}} + D_u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{m}{\rho} \left(\frac{\partial p'}{\partial y} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) = -\mathbf{v} \cdot \nabla v - u \left(f + u \frac{\partial m}{\partial y} - v \frac{\partial m}{\partial x} \right) + e w \sin \alpha - \frac{v w}{r_{earth}} + D_v$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} - \frac{\rho_0 g}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} + \frac{g p'}{\gamma p} = -\mathbf{v} \cdot \nabla w + g \frac{p_0 T'}{p T_0} - \frac{g R_d p'}{c_p p} + e(u \cos \alpha - v \sin \alpha) + \frac{u^2 + v^2}{r_{earth}} + D_w$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\mathbf{v} \cdot \nabla T + \frac{1}{\rho c_p} \left(\frac{\partial p'}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla p' - \rho_0 g w \right) + \frac{\dot{Q}}{c_p} + \frac{T_0}{\theta_0} D_\theta$$

$$\mathbf{v} \cdot \nabla A \equiv m u \frac{\partial A}{\partial x} + m v \frac{\partial A}{\partial y} + \dot{\sigma} \frac{\partial A}{\partial \sigma}$$

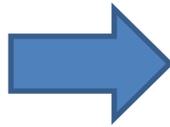
$$\dot{\sigma} = -\frac{\rho_0 g}{p^*} w - \frac{m \sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} u - \frac{m \sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} v$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = m^2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u}{m} \right) - \frac{m \sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial \sigma} + m^2 \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v}{m} \right) - \frac{m \sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial \sigma} - \frac{\rho_0 g}{p^*} \frac{\partial w}{\partial \sigma}$$

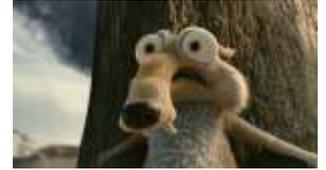
Expansión de algunas expresiones

Incertidumbre...

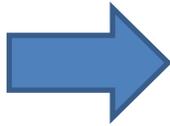
Leyes físicas descritas por ecuaciones “no lineales”



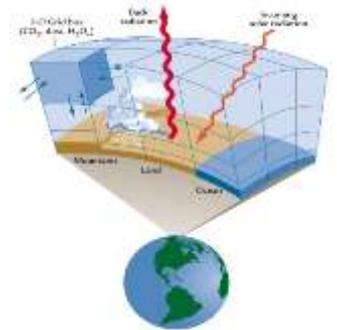
Toda ecuación que no sea del tipo $y = A \cdot x + B$



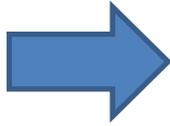
Dificultad en la representación de algunos procesos.



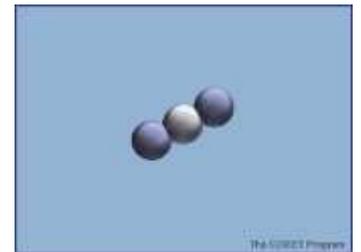
Por ejemplo, los de dimensión menor que los “cubos” del modelo



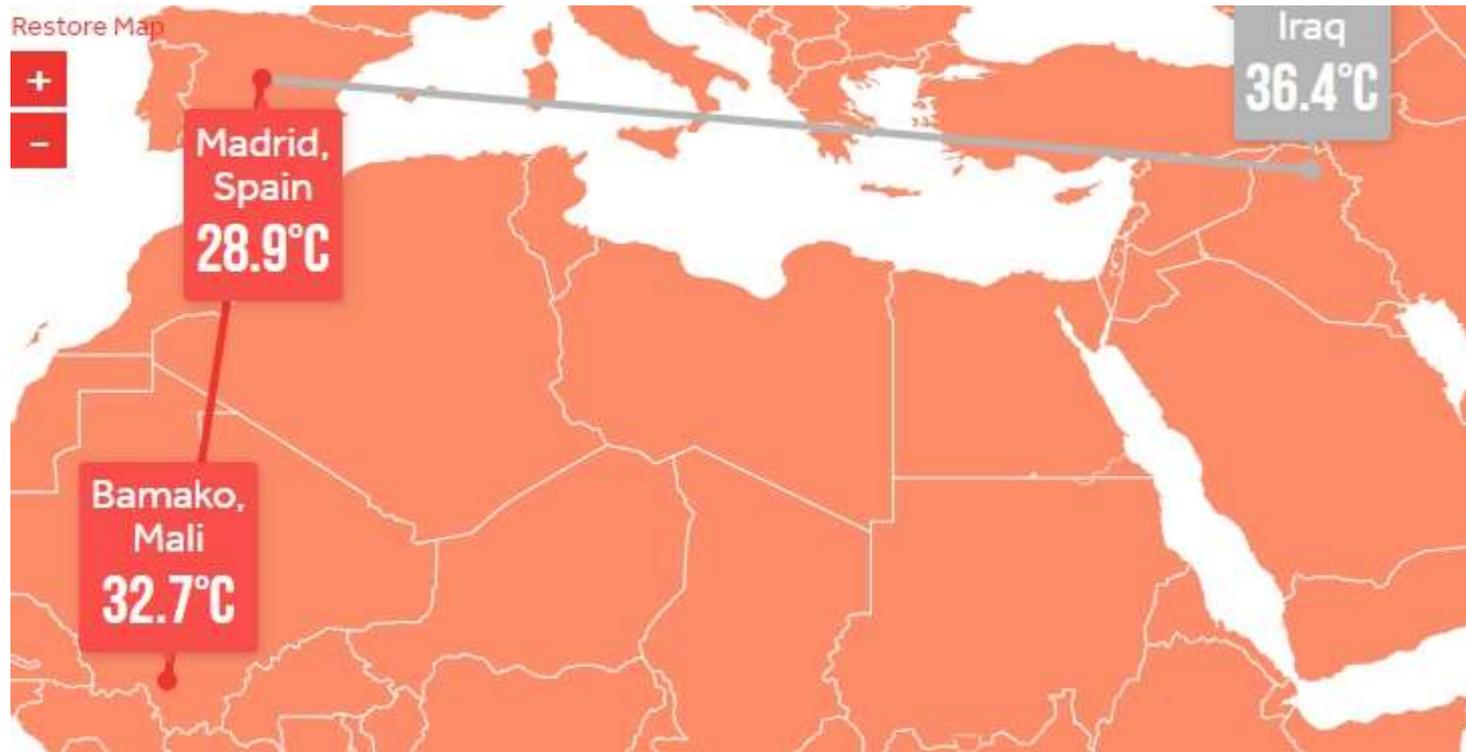
Desconocimiento de la evolución futura del desarrollo humano.



¿Cuántos G.E.I.s emitiremos en el 2080? (por ejemplo)

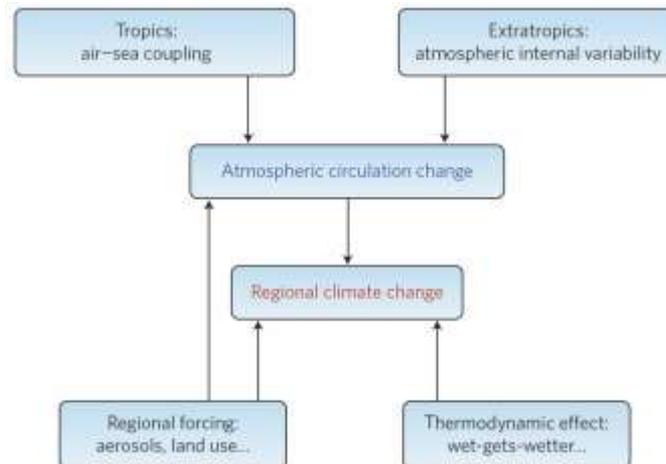
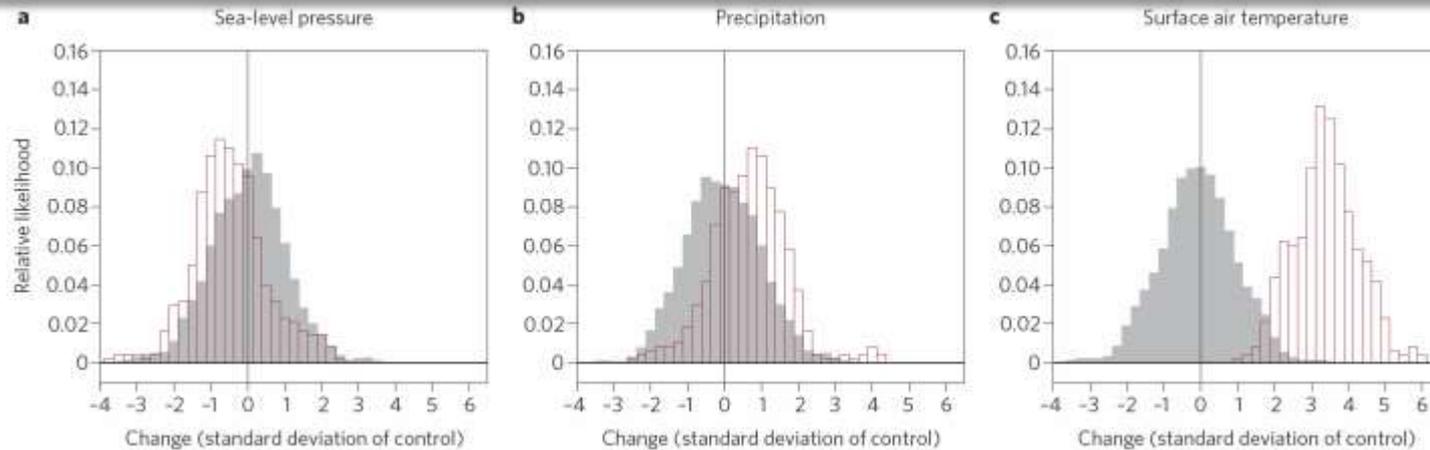






Proyecciones futuras: herramientas

- Alta confianza en proyecciones de variables relacionadas con la temperatura (cambios termodinámicos) como humedad, nivel del mar, hielo ártico, glaciares, cubierta de nieve, etc.
- Baja confianza en las proyecciones de variables que dependen de la circulación atmosférica (cambios dinámicos), como la precipitación → influencia en proyecciones regionales.
- En trópicos, las incertidumbres se relacionan con procesos de interacción atmósfera-oceano (parametrizaciones). En extratropicos se requieren ensembles y proyecciones probabilísticas.



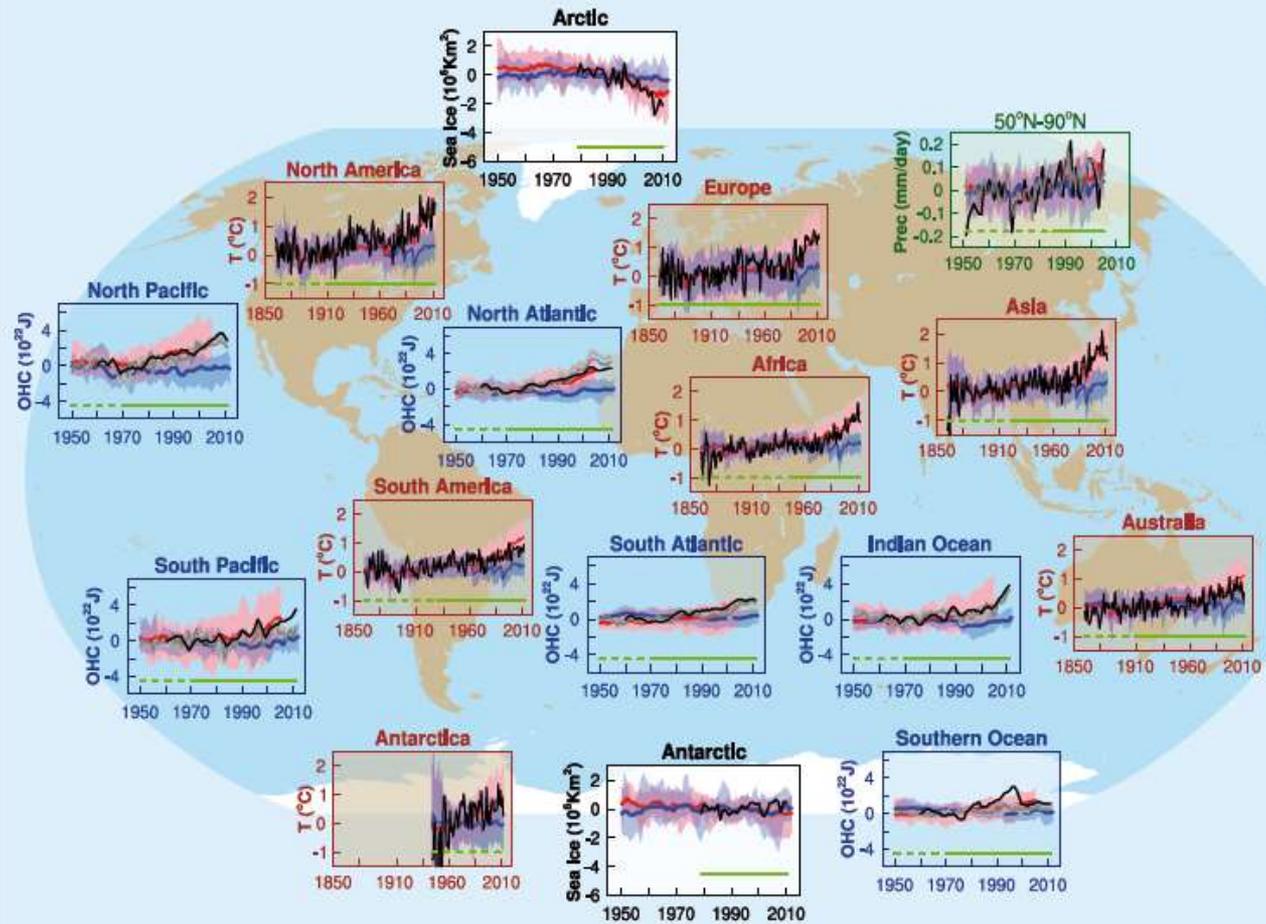
MUCHAS GRACIAS!



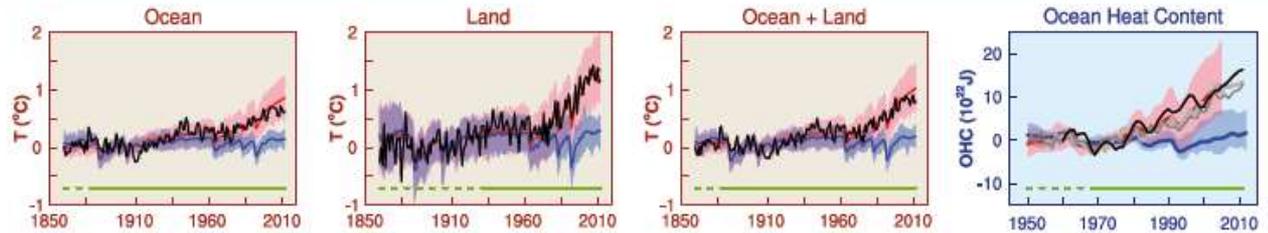
Atribución del Cambio Climático

¿Son los modelos capaces de reproducir la historia pasada?

Simulaciones del pasado CON y SIN forzamientos radiativos de origen antropogénico. Fuente (AR5, 2013)



Global



- Observations
- Models using only natural forcings
- Models using both natural and anthropogenic forcings
- OHC Levitus12
- OHC Ishii and Kimoto09 (updated)
- OHC Domingues08 (updated)