



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

**Aemet**  
Agencia Estatal de Meteorología

# BASES FÍSICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

**Dr. Ángel J. Gómez Peláez**  
**Delegado Territorial de la AEMET en Asturias**

**Fecha: 10 de diciembre de 2019**  
**Lugar: Aula Magna del Edificio Histórico de la Universidad de Oviedo**



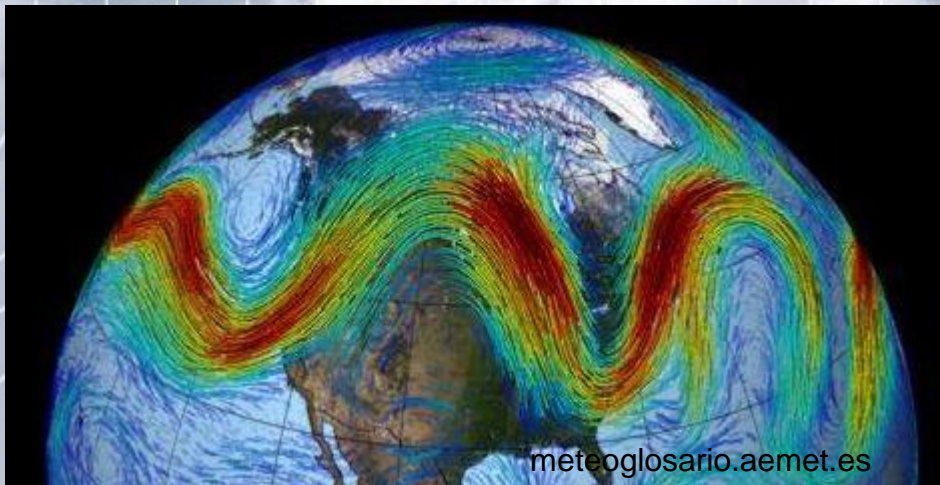
**COP25**  
**CHILE**  
**MADRID 2019**  
AN CLIMATE CHANGE CONFERENCE



Universidad de Oviedo  
*Universidá d'Oviéu*  
University of Oviedo

**PROGRAMA CAMPUS COP25**  
**EN LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

***Cumbre del clima. Tiempo de actuar.***



## El Sol:

### Caliente la Tierra

- Proporciona la energía para que las plantas hagan la **fotosíntesis** y creen materia vegetal. Los **combustibles fósiles** proceden de biomasa fosilizada a lo largo de millones de años, y por tanto en su origen estuvo la energía del Sol.
- La energía **eólica**, la energía **hidroeléctrica** y la de las **corrientes marinas** también proceden en última instancia del Sol.
- No** está relacionado con la energía **geotérmica**, la de las **mareas** (dominada por la Luna), ni la energía **nuclear** (aunque los átomos más pesados que el helio se formaron en el interior de las estrellas)

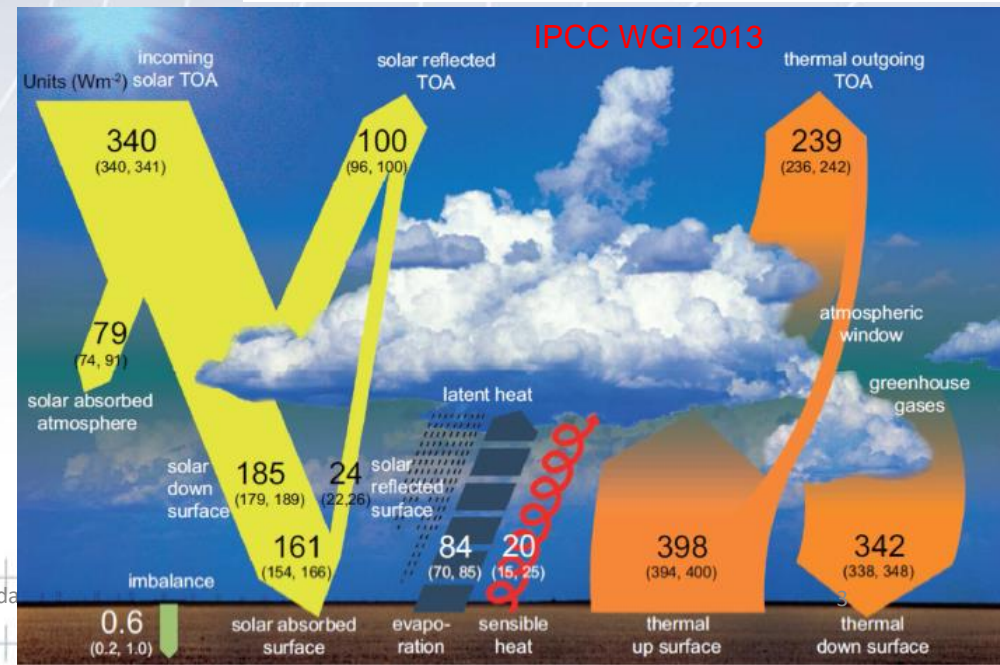
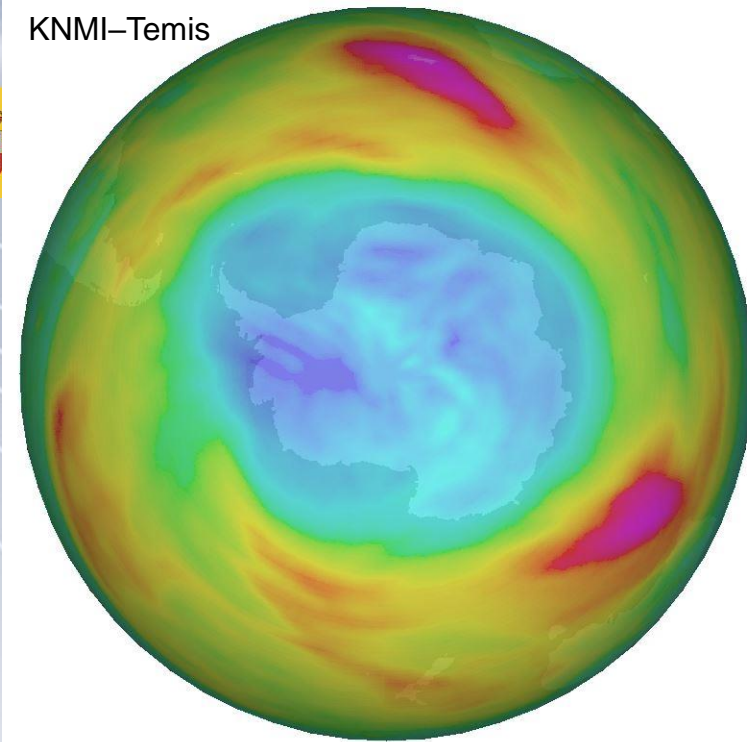
## Radiación solar e Infrarroja terrestre:

- ❑ La **radiación UV** procedente del Sol es absorbida en gran parte por la **capa de ozono** estratosférico.
- ❑ **Radiación solar**: 30% devuelta al espacio (**albedo**), resto **absorbida por atmósfera (23%) y superficie terrestre (47%)**.
- ❑ La Tierra emite **radiación infrarroja (RI)** hacia el espacio. La presencia de **gases de efecto invernadero (GEI)** en la atmósfera, que absorben RI, hace que la T en la superficie sea **33 °C** mayor de lo que sería en ausencia de GEI (15°C en lugar de -18°C, efecto invernadero).
- ❑ Las **emisiones antropogénicas de GEI** (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) están incrementando el Efecto Invernadero.



Agujero de la capa de ozono sobre la Antártida

KNMI-Temis



# Aumento de las concentraciones atmosféricas de los Gases de Efecto Invernadero

Las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero (GEI) **dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)** se han incrementado desde 1750 debido a las actividades humanas. En 2018 las concentraciones medias globales de estos gases eran 407.8 ppm, 1869 ppb y 331.1 ppb, y excedían el nivel preindustrial en un 47%, 159% y 23%, respectivamente (Boletín OMM GEI, 2019). Son los niveles más altos de GEI de los últimos 800.000 años (IPCC WGI 2013).



Foto:  
OMM

## Cambio Climático:

- ❑ La Tierra devolvía al espacio (emisión de RI) la misma cantidad de energía que absorbía del Sol (Temperatura estable).
- ❑ Las emisiones antropogénicas de GEI están aumentando la temperatura debido a que la Tierra devuelve al espacio un poco menos de energía de la que está absorbiendo del Sol (los GEI dificultan la salida de ésta hacia el espacio).
- ❑ Desde 1850 ya ha habido un incremento de 1 °C.
- ❑ Si la tendencia actual de crecimiento de las concentraciones de GEI continua, al final de siglo el incremento de T sería de 3-5°C
- ❑ COP21 Paris: objetivo limitar el incremento a 2°C, y si es posible a 1.5°C.
- ❑ Los 20 (4) años más calidos registrados han tenido lugar en los últimos 22 (4) años.
- ❑ Las olas de calor se están haciendo más frecuentes e intensas.
- ❑ Los modelos climáticos predicen lluvias torrenciales en algunas regiones, y aumento de sequías y deficit de precipitación en otras.



10/12/2019

Bases Físicas del Cambio Climático. Ángel J. Gómez. Jornada "Cumbre del Clima. Tiempo de Actuar" en UniOvi



5

## ¿Que es el IPCC?



[http://www.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_spanish.shtml](http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml)

**“El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es el principal órgano internacional encargado de evaluar el cambio climático.**

**Se creó en 1988** a iniciativa del **Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)** y la **Organización Meteorológica Mundial (OMM)**, para ofrecer al mundo una visión científica clara del estado actual de los conocimientos sobre el cambio climático y sus posibles repercusiones medioambientales y socioeconómicas.

En el mismo año, **la Asamblea General de las Naciones Unidas hizo suya la decisión de la OMM y del PNUMA de crear conjuntamente el IPCC.”**

El **IPCC** es

- **un órgano científico** (**Miles de científicos** de todo el mundo aportan contribuciones a la labor del IPCC, en calidad de autores, autores contribuyentes y revisores)
- **es un órgano intergubernamental** (195 países)

**En 2014, el IPCC finalizó el Quinto Informe de Evaluación, preparado por los tres Grupos de Trabajo. El Sexto Informe está previsto para 2022.**

# Estructura del IPCC:



OMM



UNEP

Sesión plenaria del IPCC

Secretaría del IPCC

Mesa del IPCC

Comité ejecutivo del IPCC

Grupo de trabajo I  
Bases físicas

Unidad de apoyo técnico

Grupo de trabajo II  
Impacto, adaptación y vulnerabilidad

Unidad de apoyo técnico

Grupo de trabajo III  
Mitigación del cambio climático

Unidad de apoyo técnico

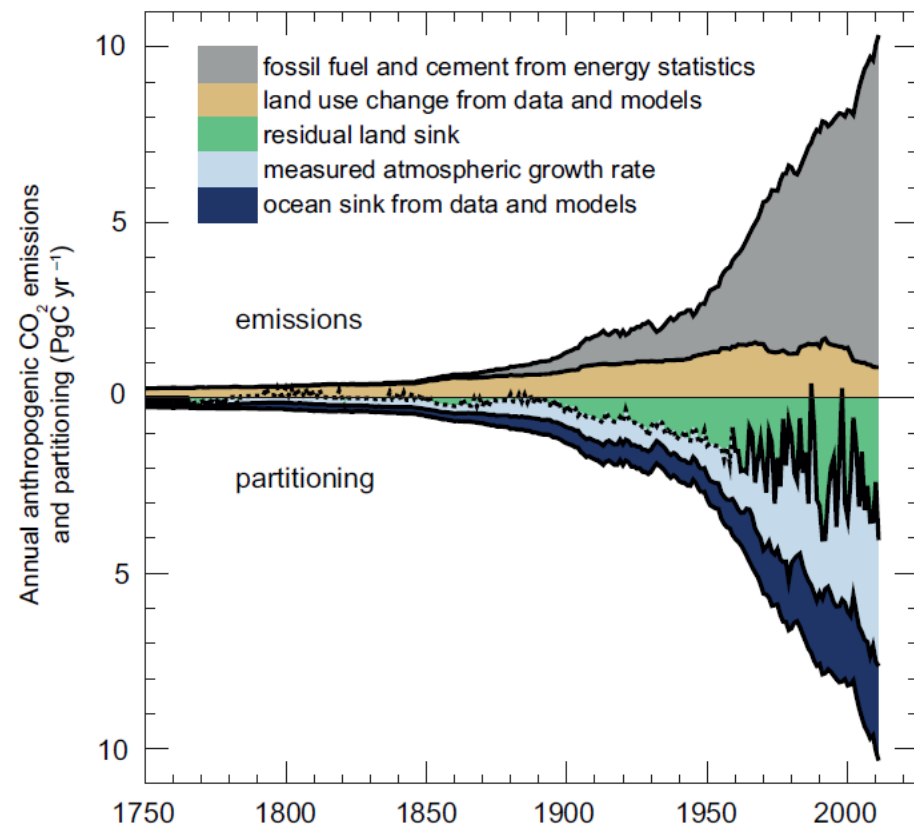
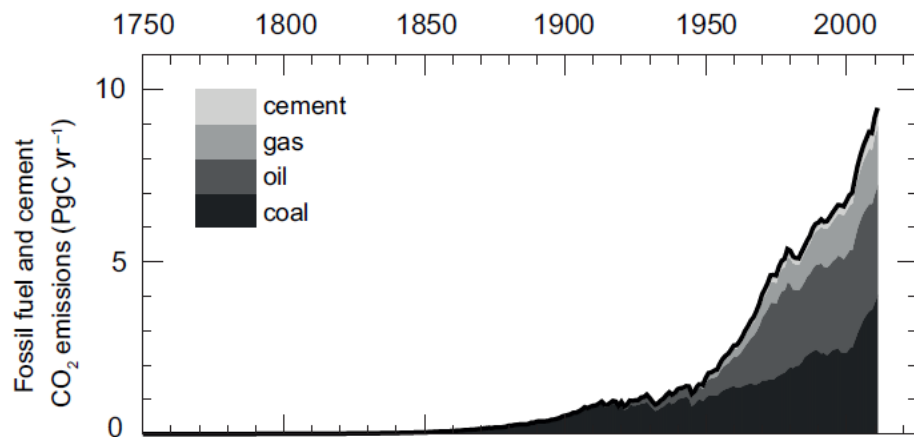
Grupo especial sobre los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero

Unidad de apoyo técnico

**Autores, autores contribuyentes y revisores**

**Contribución del Grupo de trabajo I (WGI) al Quinto Informe de Evaluación del IPCC: "CAMBIO CLIMÁTICO 2013. Bases físicas."**

**Este informe, es utilizado extensivamente en esta presentación, y es citado como IPCC WGI 2013.**

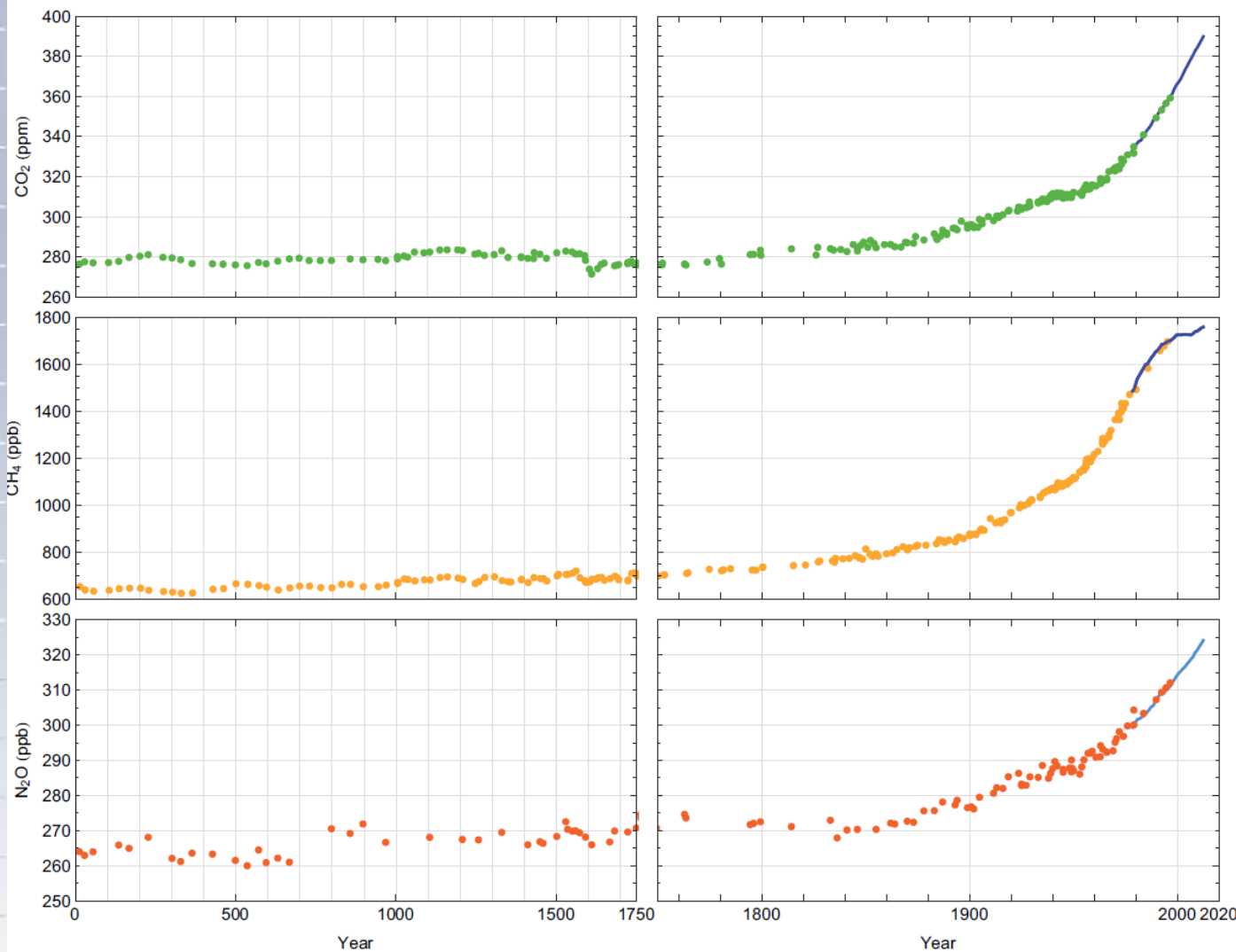


## Emisiones anuales antropogénicas de CO<sub>2</sub> desde la revolución industrial (figura del IPCC WGI 2013).

- Emisiones debidas a: **quema de combustibles fósiles**, **cambio en los usos del suelo (deforestación)** y producción de cemento.
- **Aproximadamente la mitad del CO<sub>2</sub> emitido permanece en la atmósfera a largo plazo (siglos)** y la otra mitad es absorbida por el océano y la biosfera; por lo que **mientras se siga emitiendo CO<sub>2</sub> seguirá aumentando la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico.**



# Evolución del CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O atmosférico



(Figura del IPCC  
WGI 2013)

**El CH<sub>4</sub> se destruye en la atmósfera (reacción con OH fundamentalmente). Su vida media es de unos 9 años.**

**Es suficiente con mantener constante (durante unos 10-20 años) la tasa anual de emisión de CH<sub>4</sub> a la atmósfera para que la concentración de CH<sub>4</sub> se mantenga constante.**

Figure 6.11 | Atmospheric CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O concentrations history over the industrial era (right) and from year 0 to the year 1750 (left), determined from air enclosed in ice cores and firn air (colour symbols) and from direct atmospheric measurements (blue lines, measurements from the Cape Grim observatory) (MacFarling-Meure et al., 2006).

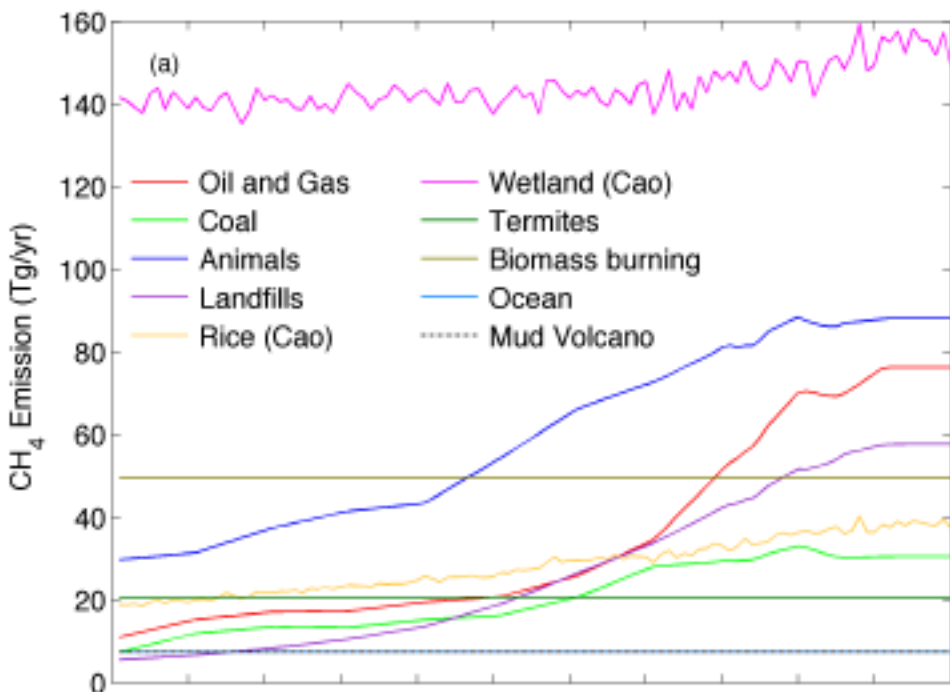


Figura de Ghosh et al. (2015) ACP



Evolución de las **emisiones de CH<sub>4</sub>** durante 1900-2010.

**40% Emisiones son naturales:** fundamentalmente de humedales y termitas.

**60% Emisiones son antropogénicas:** rumiantes, explotación de combustibles fósiles, vertederos, cultivo de arroz, y quema de biomasa.

## Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O):

- **Vida media en la atmósfera: 131 años. Se destruye en la estratosfera por fotólisis y por reacción química con O(1D).**
- **40% Emisiones son antropogénicas:** Agricultura (fertilizantes), combustión de combustibles fósiles y procesos industriales, quema de biomasa y biofuelles...
- **60% Emisiones son naturales:** suelos bajo vegetación natural y océanos.

## ¿De que depende el impacto de las emisiones instantáneas de un GEI en el incremento del efecto invernadero (calentamiento global)?

- **De la eficiencia radiativa de dicho gas (capacidad de absorber radiación infrarroja por molécula.** Ejemplo: el CH<sub>4</sub> es mucho más eficiente por molécula que el CO<sub>2</sub>).
- **De las emisiones de dicho gas a la atmósfera (cantidad de dicho gas emitido a la atmósfera cada año).**
- **Del tiempo de vida medio de dicho gas en la atmósfera (la vida media será menor cuanto más intensos sean los procesos que destruyen ó absorben dicho gas.** Ejemplo: la vida media del CH<sub>4</sub> es mucho menor que la del CO<sub>2</sub>).
- **Del tiempo de respuesta del sistema climático (tiempo de respuesta de la capa de mezcla del océano: 8.4 años; tiempo de respuesta del océano profundo: 409.5 años.** El tiempo de respuesta se refiere al tiempo que tarda en absorber el 63% de la energía que debe absorber).

De acuerdo a IPCC WGI 2013 (véase material suplementario avanzado al final de la presentación para más detalles).

**Nueva métrica de emisión introducida por el IPCC (WGI 2013) que tiene en cuenta lo expuesto en la anterior transparencia:**

**AGTP** (Absolute Global Temperature change Potential): **Potencial de cambio Absoluto de la Temperatura Global:** definido como el cambio en la temperatura media global junto a la superficie que tiene lugar en cierto instante del futuro en respuesta a un pulso de emisión en el presente.

**GTP** (Global Temperature change Potential): **Potencial de cambio de la Temperatura Global:** es el cociente entre el AGTP del gas considerado y el AGTP para CO<sub>2</sub>, emitiéndose en ambos casos la misma masa de gas.

Este concepto es más “visual” que el que se venía usando previamente: **GWT** (Global Warming Potential), **Potencial de Calentamiento Global.**

**GTP** tiene en cuenta el efecto instantáneo en la temperatura, mientras que **GWT** tiene en cuenta el efecto integrado del forzamiento radiativo.

# Gases de efecto invernadero bien mezclados más importantes y SF6 (IPCC WGI 2013)



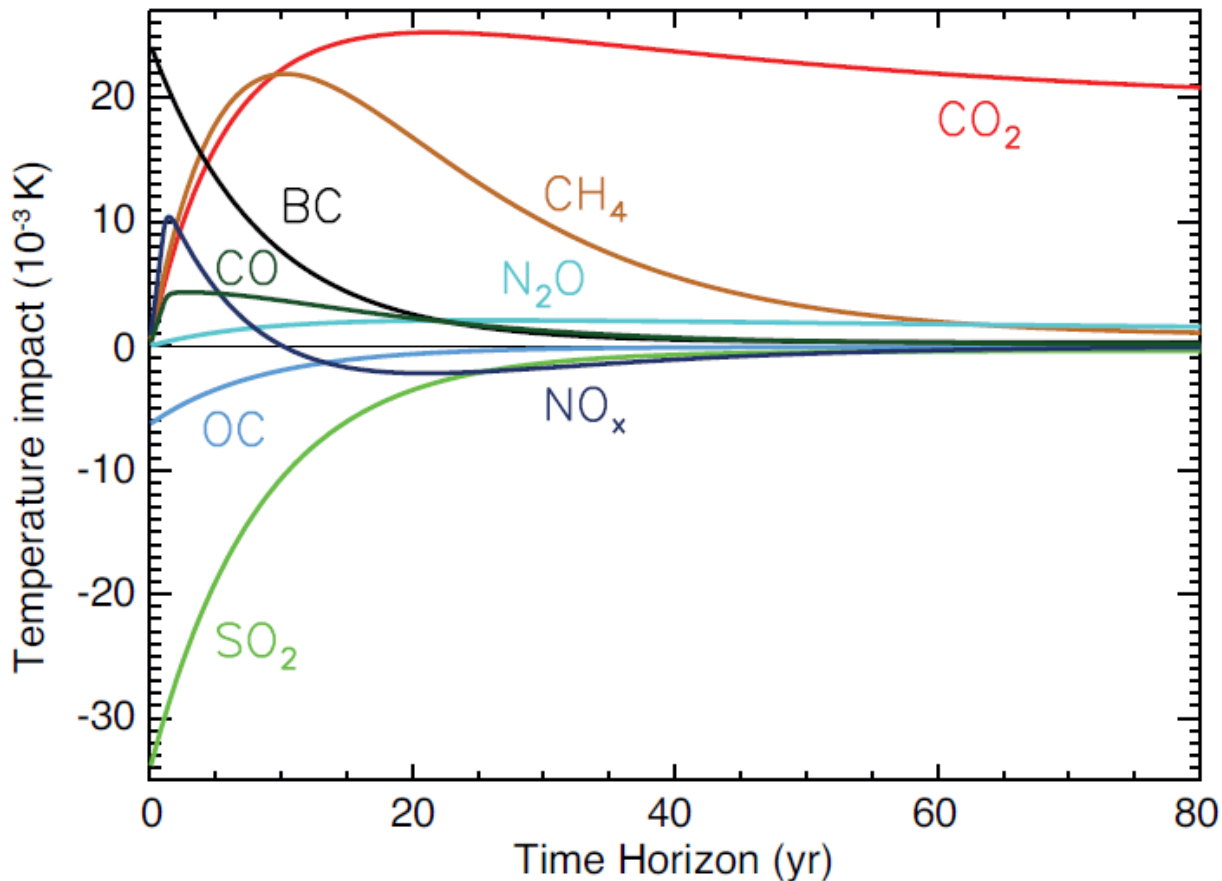
GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



Gas	Concentración media global (2018)	Eficiencia radiativa por molécula relativa a CO2	Vida media (años). Para CH4 y N2O se da la vida media de una perturbación (desigual de la del reservorio, por no linealidad)	GTP 20 años	GTP 50 años	GTP 100 años
CO <sub>2</sub>	407.8 ppm	1	4.3(28%); 36.5(28%); 394(22%); "infinito" (22%)	1	1	1
CH <sub>4</sub>	1869 ppb	26.5	12.4	67	14	4
N <sub>2</sub> O	331.1 ppb	219	121	277	282	234
CFC-12	505 ppt	23400	100	11300	11000	8450
SF <sub>6</sub>	10 ppt	41600	3200	18900	23800	28200

**Nota:** el GTP se calcula suponiendo la emisión de **una misma masa de gas**. Sin embargo, en la atmósfera: el CO2 es 218 veces más abundante que el CH4; 1,232 veces más que el N2O; 808,000 veces más que el CFC-12; 40,800,000 veces más que el SF6.



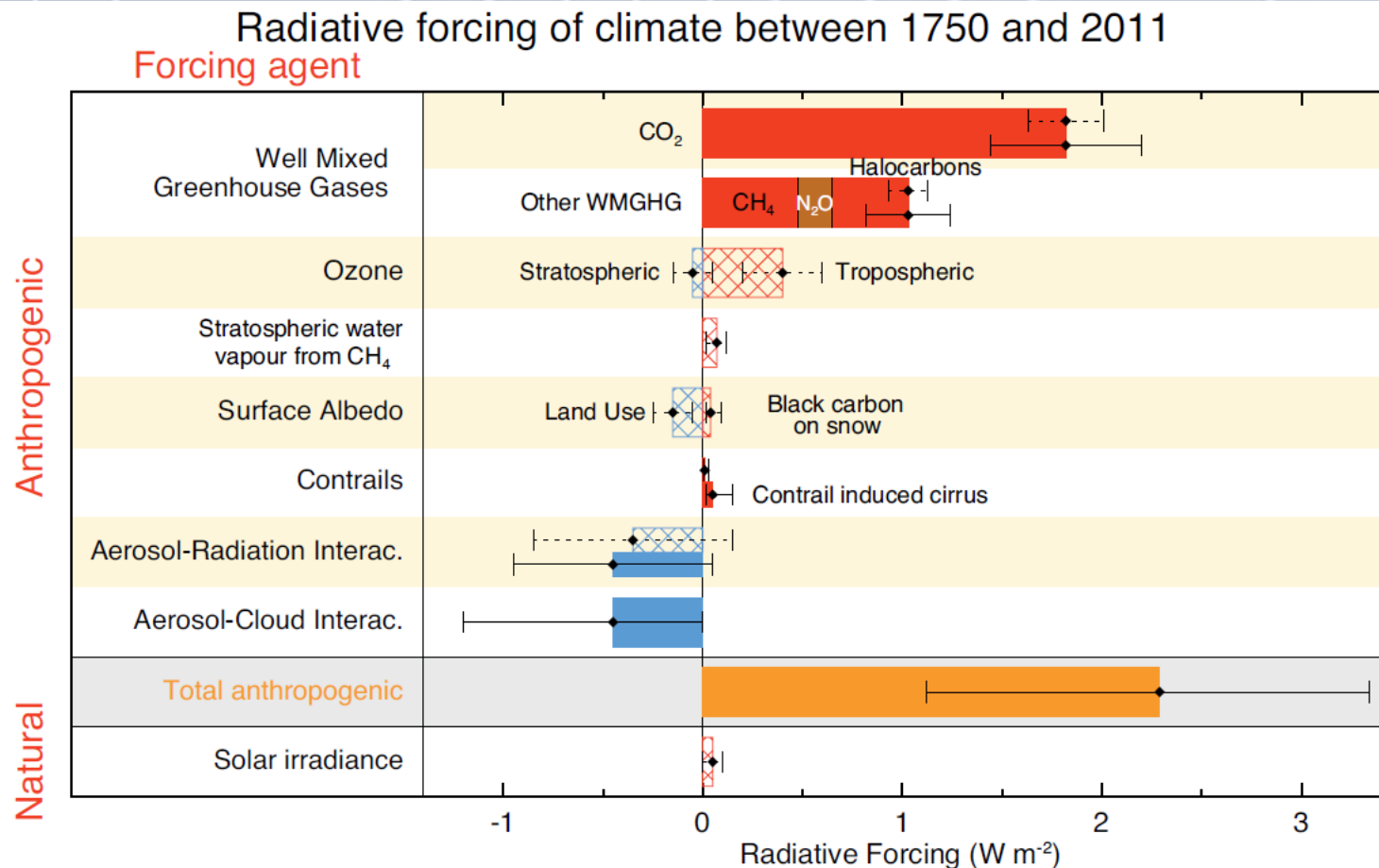
**Figure 8.33** | Temperature response by component for total anthropogenic emissions for a 1-year pulse. Emission data for 2008 are taken from the EDGAR database and for BC and OC for 2005 from Shindell et al. (2012a). There are large uncertainties related to the AGTP values and consequentially also to the calculated temperature responses (see text).

**AGPT pesado en las emisiones anuales actuales de cada gas** (gráfica del IPCC WGI 2013):

Las **emisiones anuales de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  actuales** tienen un **impacto semejante en la temperatura a un horizonte de 10 años**, pero **a partir de ahí va dominando cada vez con más rotundidad el  $\text{CO}_2$**  (ya que el  $\text{CH}_4$  se destruye).

**El forzamiento del sistema climático respecto al nivel preindustrial** debido al aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero y de otros componentes, **se mide en términos del Forzamiento Radiativo** (FR, flujo neto radiativo hacia abajo en la tropopausa si todo lo que hay bajo ella está en el estado preindustrial –incluido H<sub>2</sub>O- salvo las concentraciones de los forzadores).

Gráfica del IPCC WGI 2013



**Figure 8.15** | Bar chart for RF (hatched) and ERF (solid) for the period 1750–2011, where the total ERF is derived from Figure 8.16. Uncertainties (5 to 95% confidence range) are given for RF (dotted lines) and ERF (solid lines).

## Reetroalimentaciones climáticas fundamentales (I):

- **Vapor de agua (+).** El H<sub>2</sub>O es un gas de efecto invernadero, el que más contribuye al efecto invernadero.

Sin embargo, su presencia en la atmósfera no viene determinada por sus emisiones, si no por las condiciones meteorológicas, básicamente la temperatura (T). A mayor T, más H<sub>2</sub>O “cabe”.

Continuamente está entrando H<sub>2</sub>O en la atmósfera por evaporación y saliendo de ella por precipitación.

El incremento de temperatura provocado por el aumento de concentración de los gases de efecto invernadero de larga vida, hace que “quepa” más H<sub>2</sub>O en la atmósfera y por tanto se refuerce el incremento del efecto invernadero.

- **Hielo marino ártico/cobertura nivosa (+).** Si el aire está más caliente, se derrite más hielo/nieve, por lo que hay menor superficie con nieve/hielo, esto disminuye el albedo, por lo que se absorbe más radiación solar y por tanto aumenta más la temperatura.



## Reetroalimentaciones climáticas fundamentales (II):

- **Nubes (+)**. Al aumentar la temperatura, los cambios en las propiedades de las nubes refuerzan dicho aumento de temperatura.
- Al aumentar la temperatura, aumenta la **emisión de radiación infrarroja hacia el espacio (-)**, lo que tiende a limitar dicho aumento de temperatura.
- **Emisión de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> atrapado en el permafrost (+), al aumentar la temperatura de éste** (se estima que hay casi el doble de carbono en el permafrost que en la atmósfera).
- **Los hidratos de metano (+) presentes en el fondo marino a lo largo de los márgenes de los continentes** permanecen estables por la alta presión y bajas temperaturas. El calentamiento del océano puede causar la desestabilización del hidrato, y la emisión de CH<sub>4</sub> al agua, que en su mayor parte llegaría a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, debido a la oxidación del CH<sub>4</sub> en la columna de agua.
- **Sumidero de CO<sub>2</sub> (+)**. La fracción del CO<sub>2</sub> emitido antropogénicamente que es absorbido por el océano/biosfera disminuye al progresar el cambio climático.

# Evolución de la temperatura media global de la atmósfera junto a la superficie de la Tierra ( $T_S$ )



$$C \frac{d\Delta T_S}{dt} = FR + F(\Delta T_S)$$

**C**: capacidad calorífica (dominada por la capa bien mezclada de la superficie del océano; ya que 10 m espesor = peso atmósfera).  
**FR**: forzamiento radiativo. **F**: retroalimentación climática.

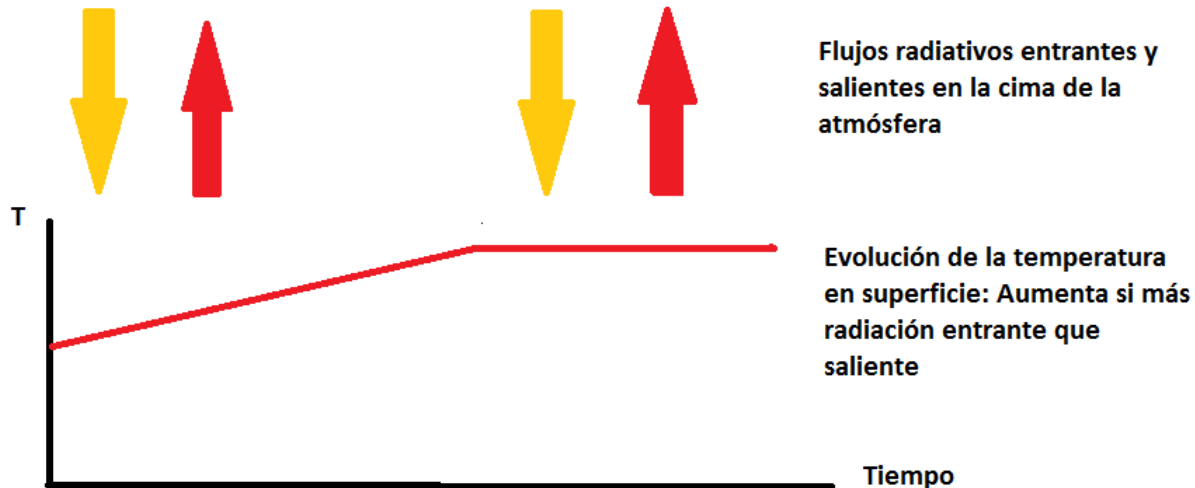
Lo expreso de otra forma con propósitos pedagógicos:

$$C \frac{dT_S}{dt} = R_S - E_{CA}(GEI, T_S)$$

**$R_S$** : radiación solar entrante en la Cima de la Atmósfera (CA).  **$E_{CA}$** : radiación saliente IR y solar en la CA.  
**GEI**: concentración de CO2 equivalente.

$$\frac{\partial E_{CA}}{\partial GEI} < 0; \frac{\partial E_{CA}}{\partial T_S} > 0$$

El aumento de GEI, hace que  $E_{CA}$  disminuya, y que por tanto  $T_S$  aumente, y esto hace aumentar  $E_{CA}$ , por lo que  $T_S$  tiende hacia un nuevo valor de equilibrio.



**ATENCIÓN A LA DERIVADA TEMPORAL:** La subida de  $T_s$  debida al FR **no** es instantánea, sino que se retrasa debido al tiempo que se tarda en calentar el océano (tiempos de respuesta: capa de mezcla del océano, 8.4 años; océano profundo, 409.5 años)

**Forzamiento Radiativo neto en 2011: 2.3 W/m<sup>2</sup>**

**Experimento imaginario:** a partir de 2011 se emite anualmente sólo la cantidad necesaria de cada GEI para mantener su concentración (y por tanto su FR) constante en la atmósfera.

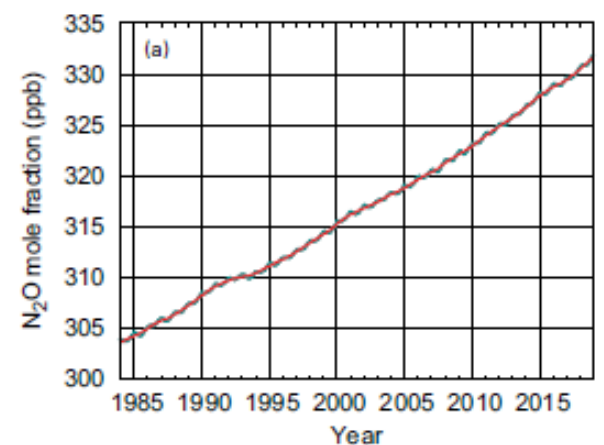
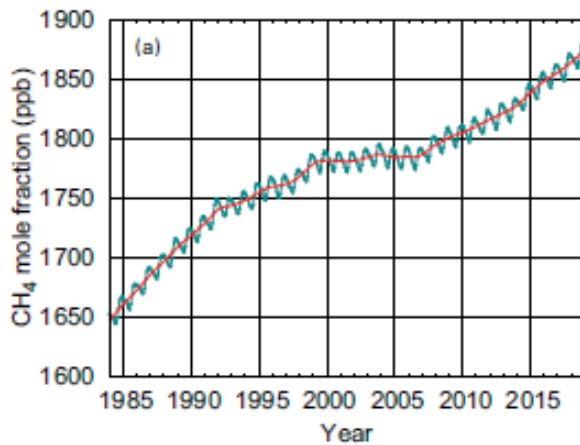
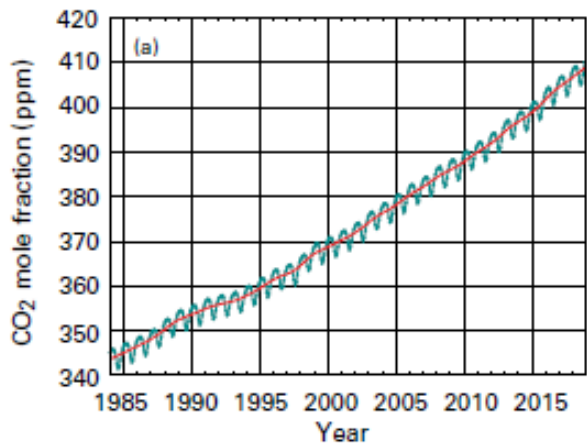
La  $T_s$  seguiría subiendo cada vez más lentamente hasta que tras 5-10 siglos se estabilizaría, al alcanzar la nueva  $T_s$  de equilibrio.

**¿Cual sería el incremento de  $T_s$  de equilibrio respecto al nivel preindustrial?**

**2.4 °C**, si se emplea para el cálculo la sensibilidad climática ( $\lambda$ ) utilizada por el IPCC WGI 2013 en el cálculo de los AGTPs: 1.06 K\*m<sup>2</sup>/W. **1.9 °C**, si se emplea la  $\lambda$  media del rango admitido por el IPCC WGI 2013: 0.81 [0,41 a 1,22] K\*m<sup>2</sup>/W.

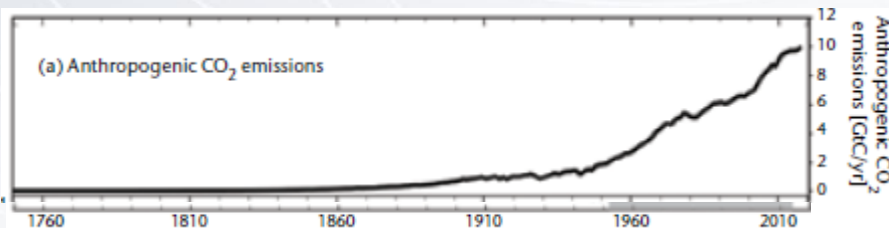
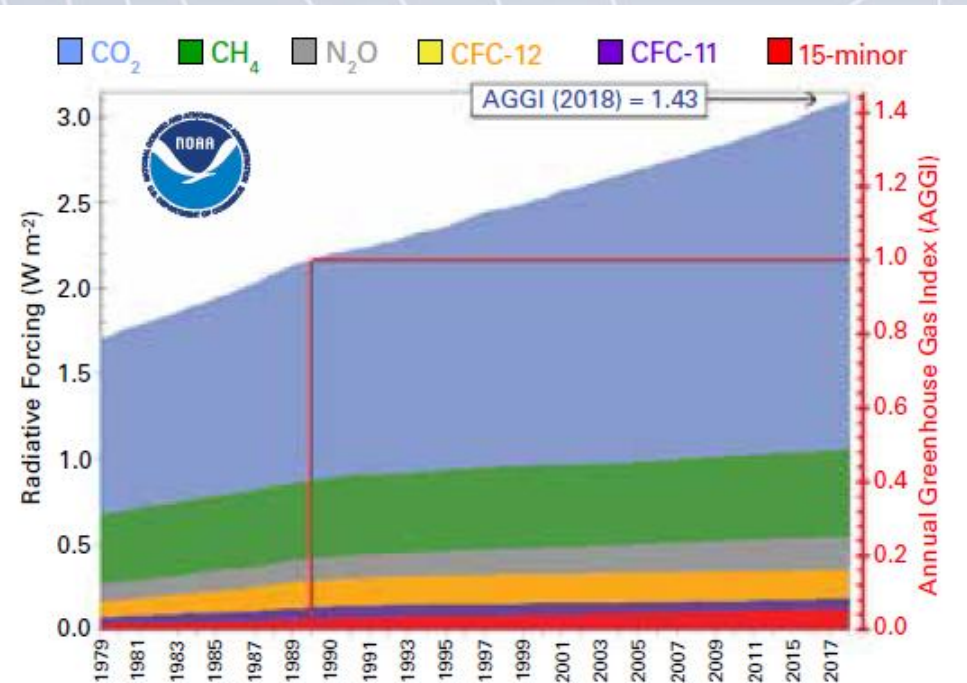
**Nótese que el aumento de  $T_s$  fue de: 0.85 [0.65 a 1.06]°C, entre 1880 y 2012** ( $T_s$  transitoria fuera del equilibrio).

**Es decir, gran parte del incremento de  $T_s$  asociado a las concentraciones actuales de GEI aún está por llegar.**



Las concentraciones de GEI han seguido aumentando desde 2011, y por tanto **el forzamiento radiativo asociado a ellos: es ahora un 43% mayor que en 1990**, año de referencia para el **Protocolo de Kyoto (1997)**. En el protocolo se acordó una reducción de al menos un 5 %, de las emisiones de GEI en 2008-2012 en comparación con las emisiones de 1990; pero **las emisiones siguen aumentando**.

Gráficas del Boletín OMM GEI, 2019.

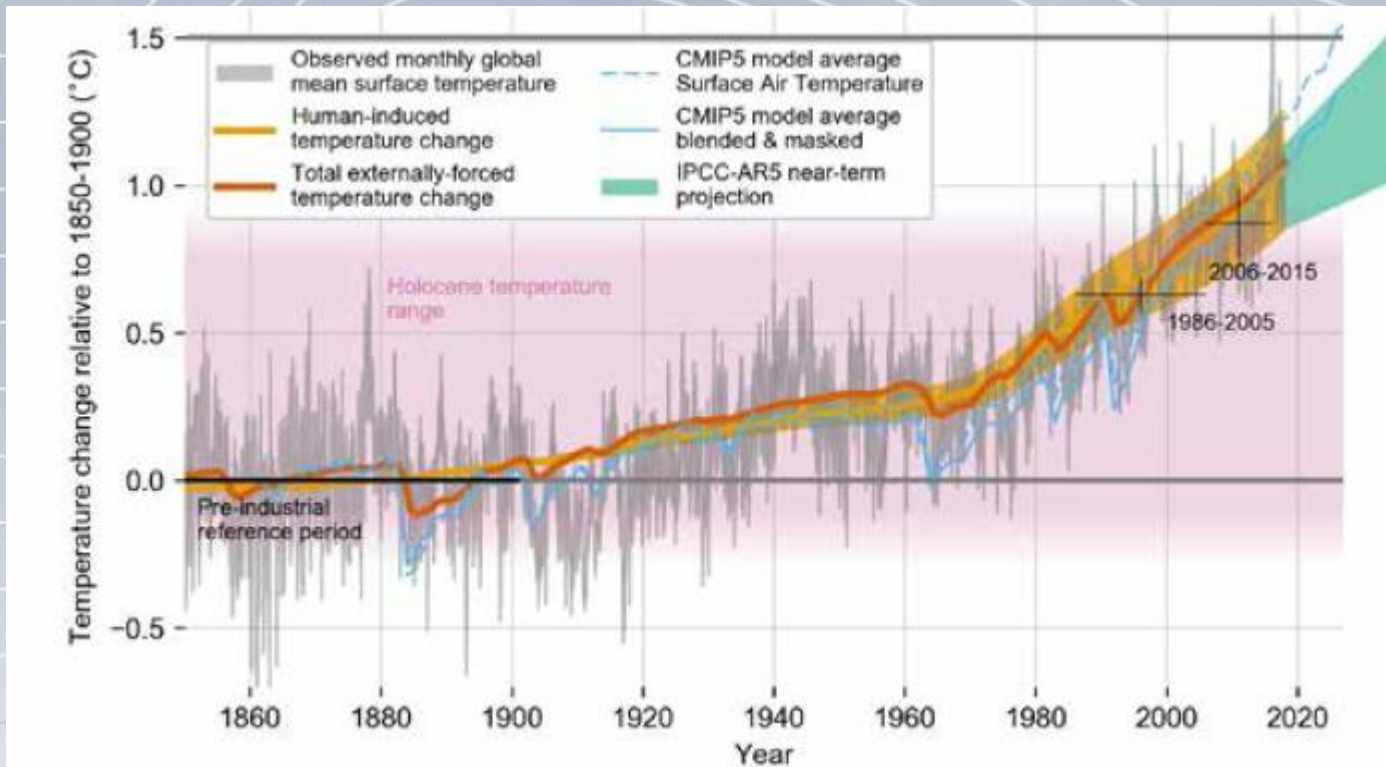


## Efectos fundamentales observados en el sistema climático (IPCC WGI 2013):

- **Aumento de temperatura global de la atmósfera junto a la superficie:** 0.85 [0.65 to 1.06] °C, entre 1880 y 2012.
- **Más del 90% de la energía debida al forzamiento radiativo ha sido empleada en calentar el océano** (durante el periodo 1971-2010)
- **Disminución de hielo en Groenlandia, Antártida y glaciares, y de la superficie con nieve y hielos marinos** (durante las dos últimas décadas)
- En el periodo de 1901 a 2010, **el nivel medio del mar ha subido** 0.19 [0.17 to 0.21] metros (debido a la expansión térmica del océano por el calentamiento y a la mayor cantidad de agua –procedente del hielo derretido-).



Fotos:  
OMM



Gráfica de Global Warming of 1.5°C, IPCC, 2018.

- Se estima que **las actividades humanas han causado aproximadamente un calentamiento global de 1.0°C** [0.8°C a 1.2°C] sobre el nivel pre-industrial. Es probable que el calentamiento global llegue a **1.5°C entre 2030 y 2052 si continua creciendo al ritmo actual** (Global Warming of 1.5°C, IPCC, 2018).

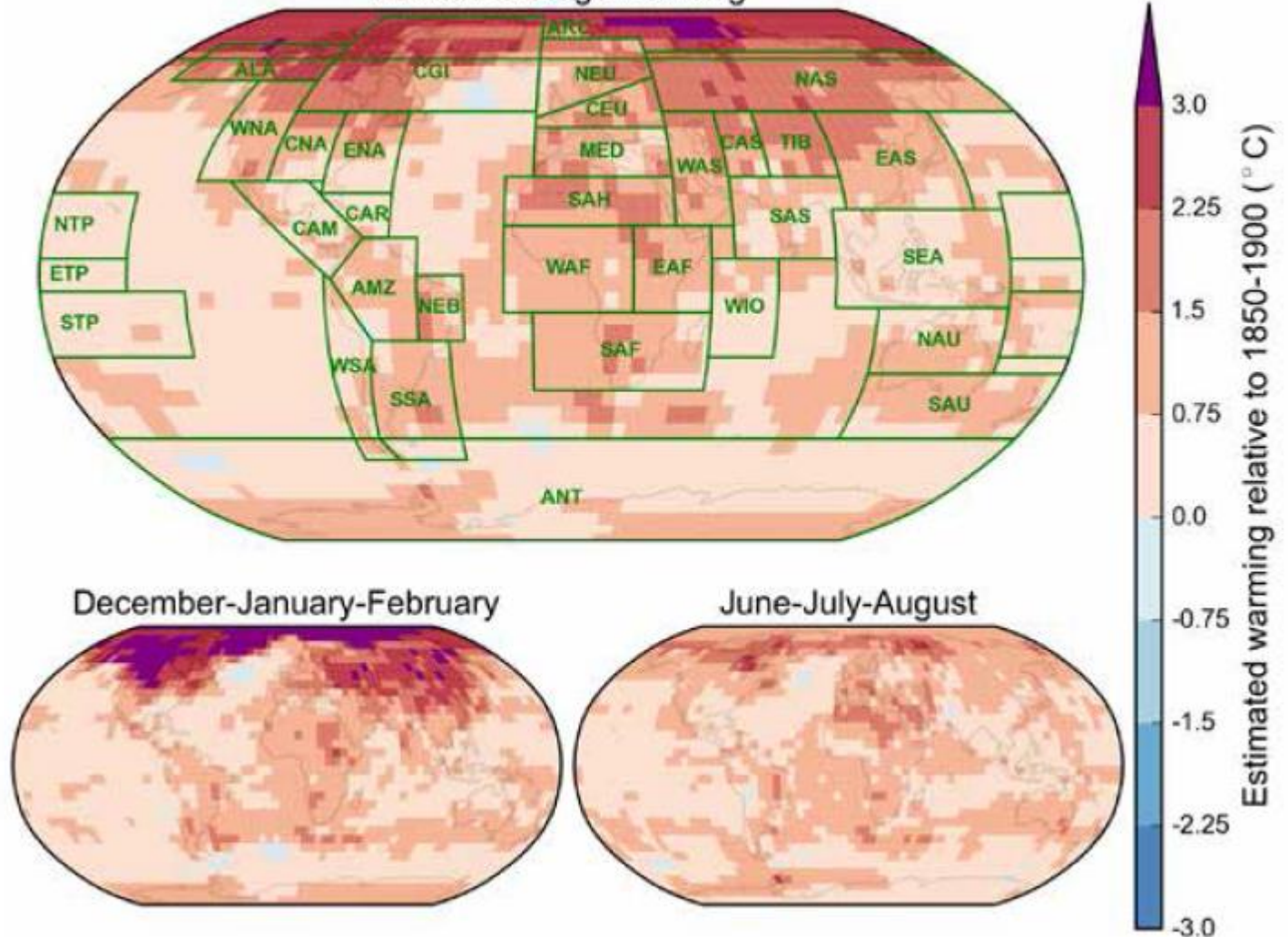
**Los continentes se están calentando más que los océanos.**

**El Ártico se está calentando más** debido a la retroalimentación climática hielo marino ártico/cobertura nivosa.

**La latitudes medias del hemisferio norte se están calentando más** debido a la mayor proporción de continentes respecto a océanos.

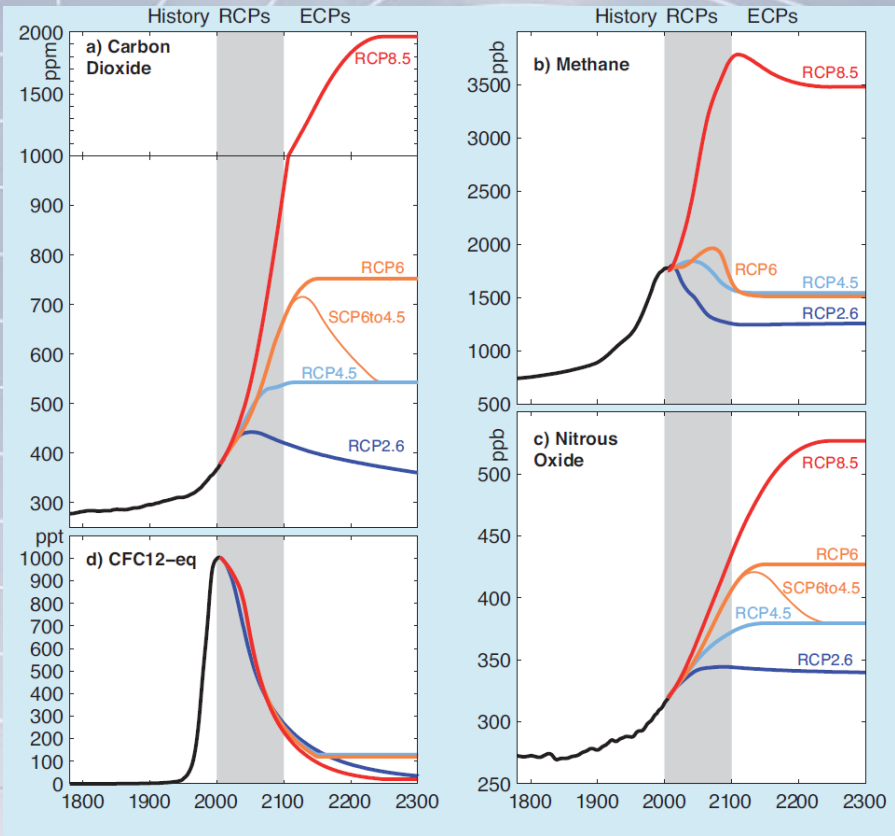
## Regional warming in the decade 2006-2015 relative to preindustrial

### Annual average warming

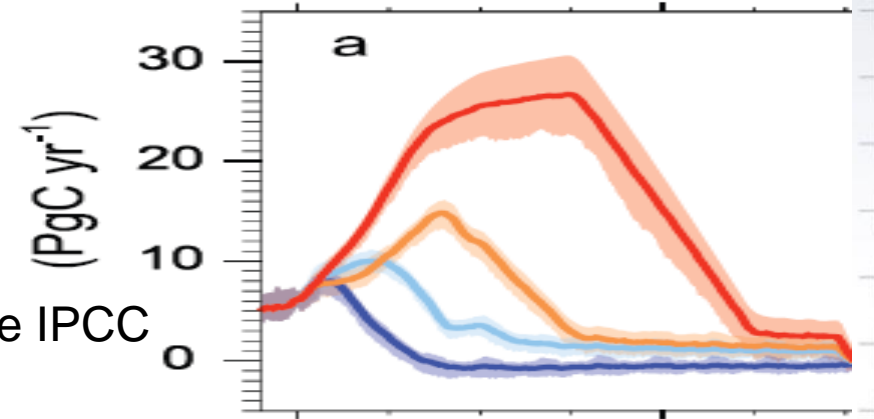
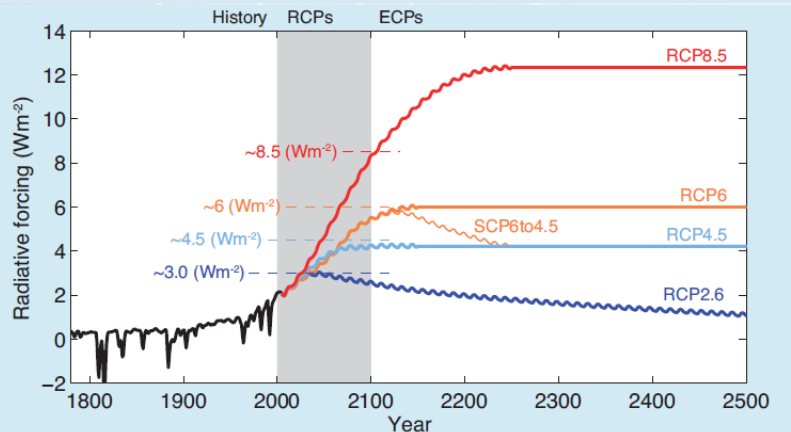
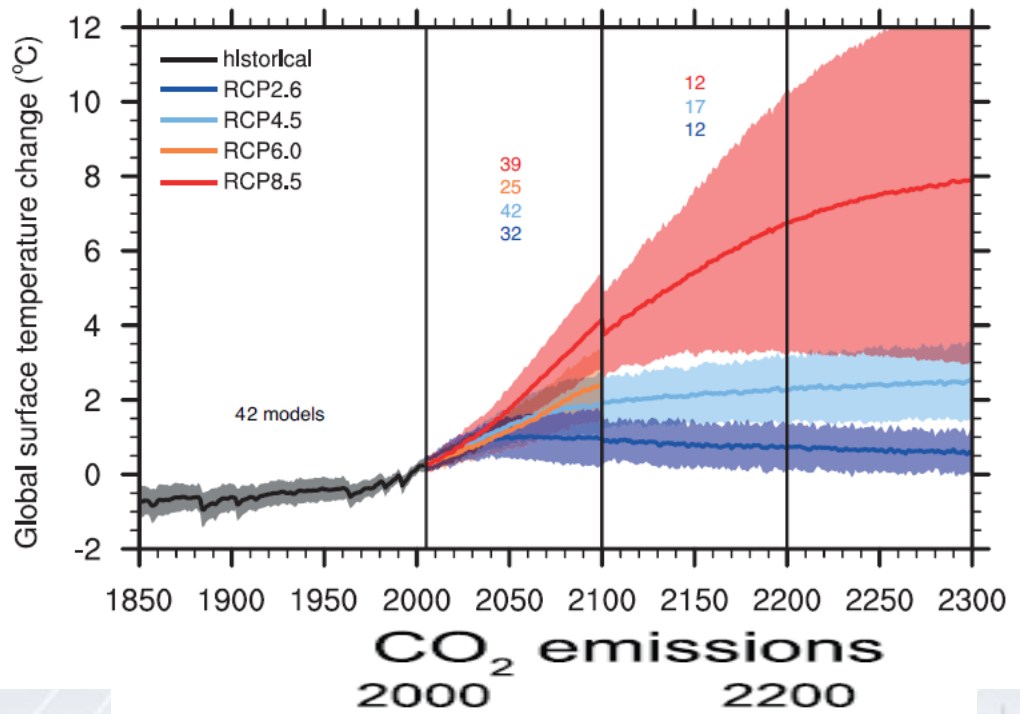


Gráfica de Global Warming of 1.5°C, IPCC, 2018.

# Representative Concentration Pathway Scenarios



# Proyecciones climáticas para los Escenarios



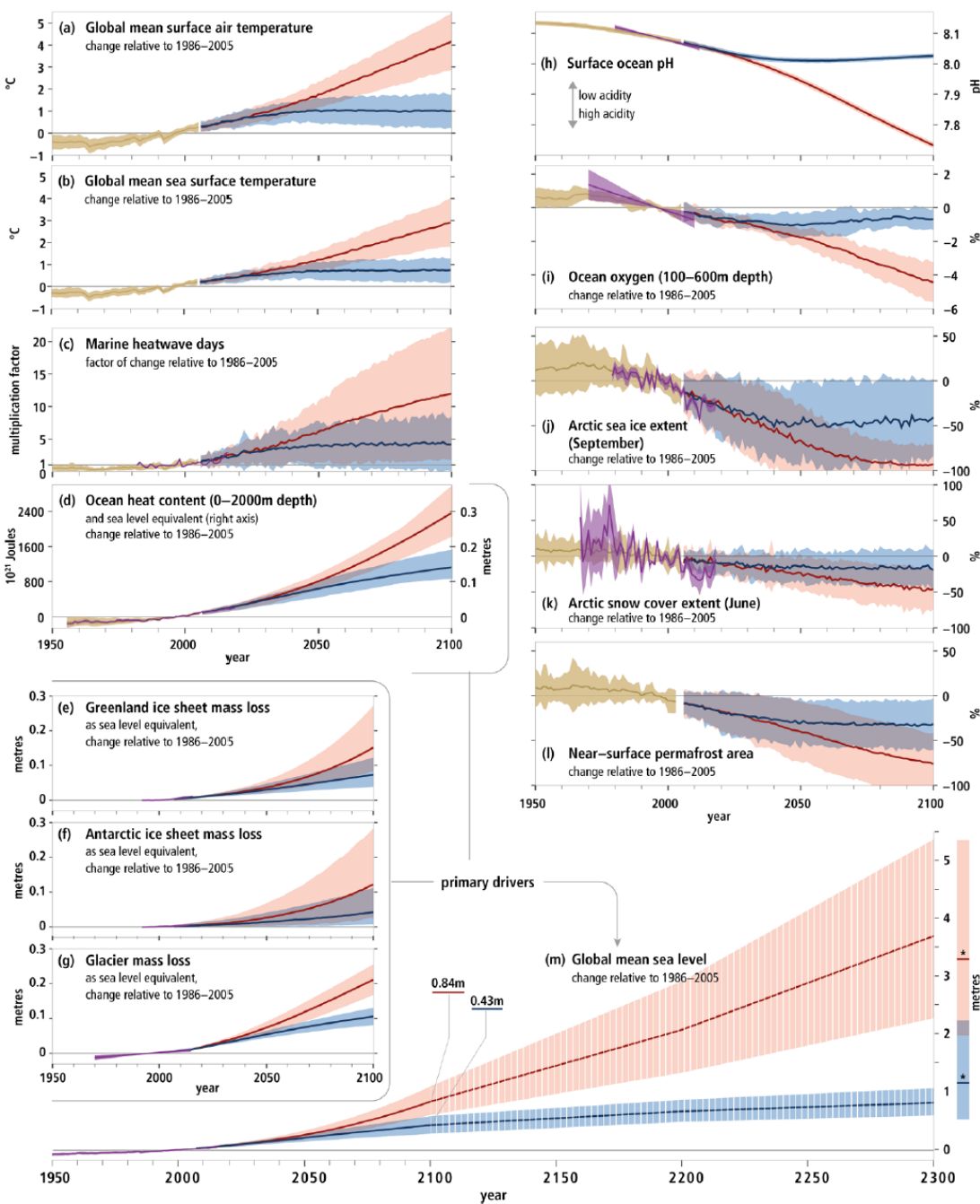
Gráficas de IPCC WGI 2013



# Past and future changes in the ocean and cryosphere

Historical changes (observed and modelled) and projections under RCP2.6 and RCP8.5 for key indicators

Historical (observed) Historical (modelled) Projected (RCP2.6) Projected (RCP8.5)

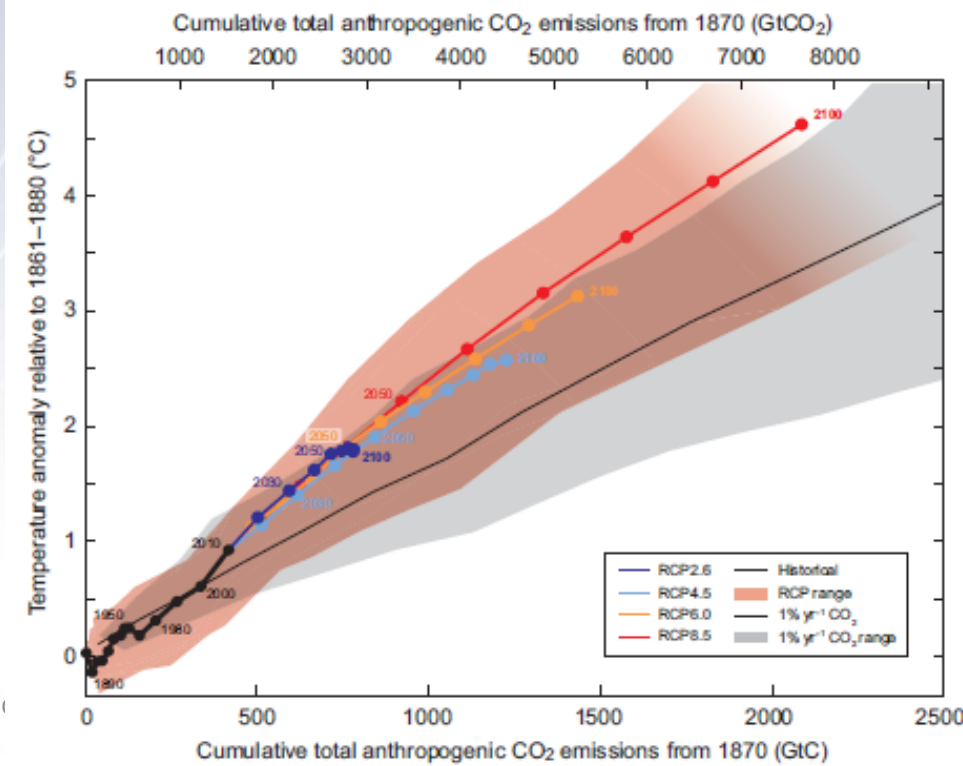


# Gráficas y tabla de The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, IPCC, 2019.

Table SPM.1: Projected global mean surface temperature change relative to 1850–1900 for two time periods under four RCPs<sup>16</sup>.

Scenario	Near-term: 2031–2050		End-of-century: 2081–2100	
	Mean (°C)	likely range (°C)	Mean (°C)	likely range (°C)
RCP2.6	1.6	1.1 to 2.0	1.6	0.9 to 2.4
RCP4.5	1.7	1.3 to 2.2	2.5	1.7 to 3.3
RCP6.0	1.6	1.2 to 2.0	2.9	2.0 to 3.8
RCP8.5	2.0	1.5 to 2.4	4.3	3.2 to 5.4

# Gráfica de IPCC WGI 2013

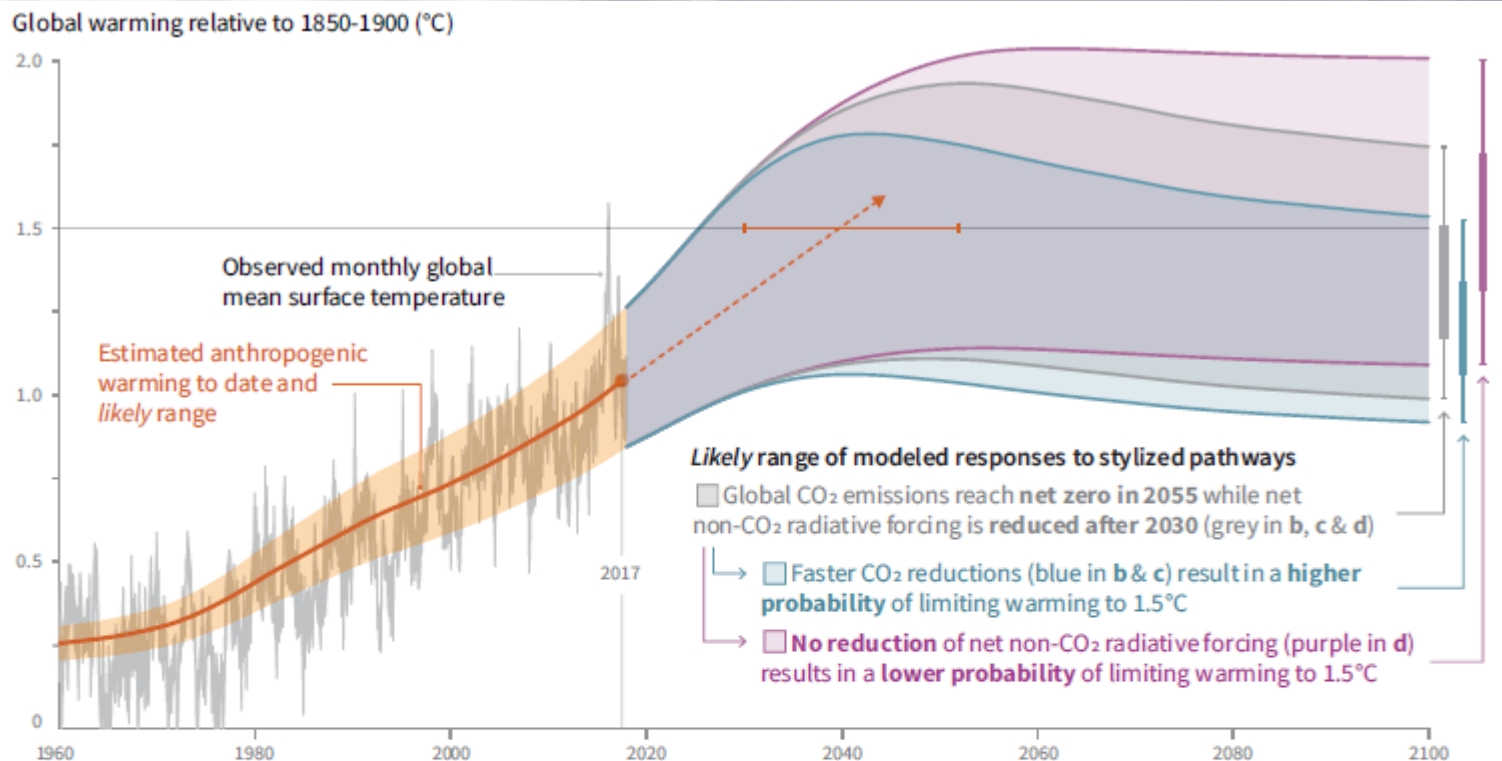


Gráfica de Global Warming of 1.5°C, IPCC, 2018.

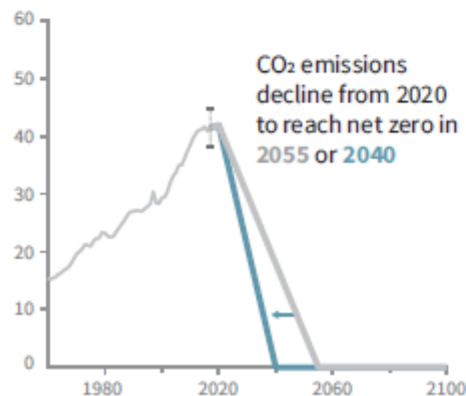
**Para que el escenario de 1.5 °C sea viable**, es necesario:

**1) Disminuir progresivamente a cero las emisiones anuales de CO2 hasta alcanzar cero entre 2040-2055** (aproximadamente la mitad del CO2 emitido permanece en la atmósfera durante muchos siglos),

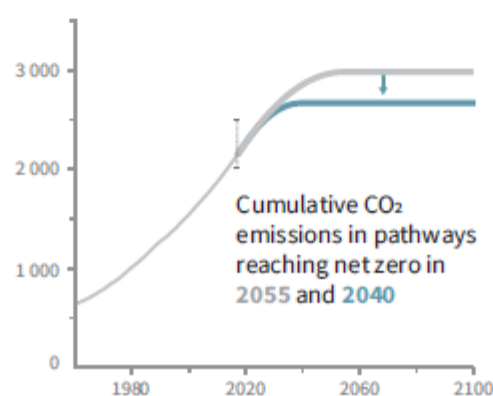
**Y**  
**2) Mantener constante o disminuir el forzamiento radiativo de los otros GEI** (como estos gases se destruyen en la atmósfera, se pueden seguir emitiendo de forma controlada).



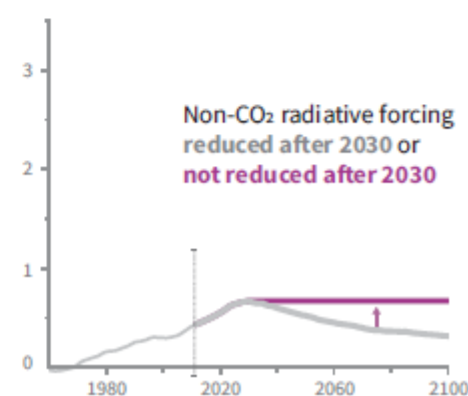
b) Stylized net global CO<sub>2</sub> emission pathways  
Billion tonnes CO<sub>2</sub> per year (GtCO<sub>2</sub>/yr)



c) Cumulative net CO<sub>2</sub> emissions  
Billion tonnes CO<sub>2</sub> (GtCO<sub>2</sub>)



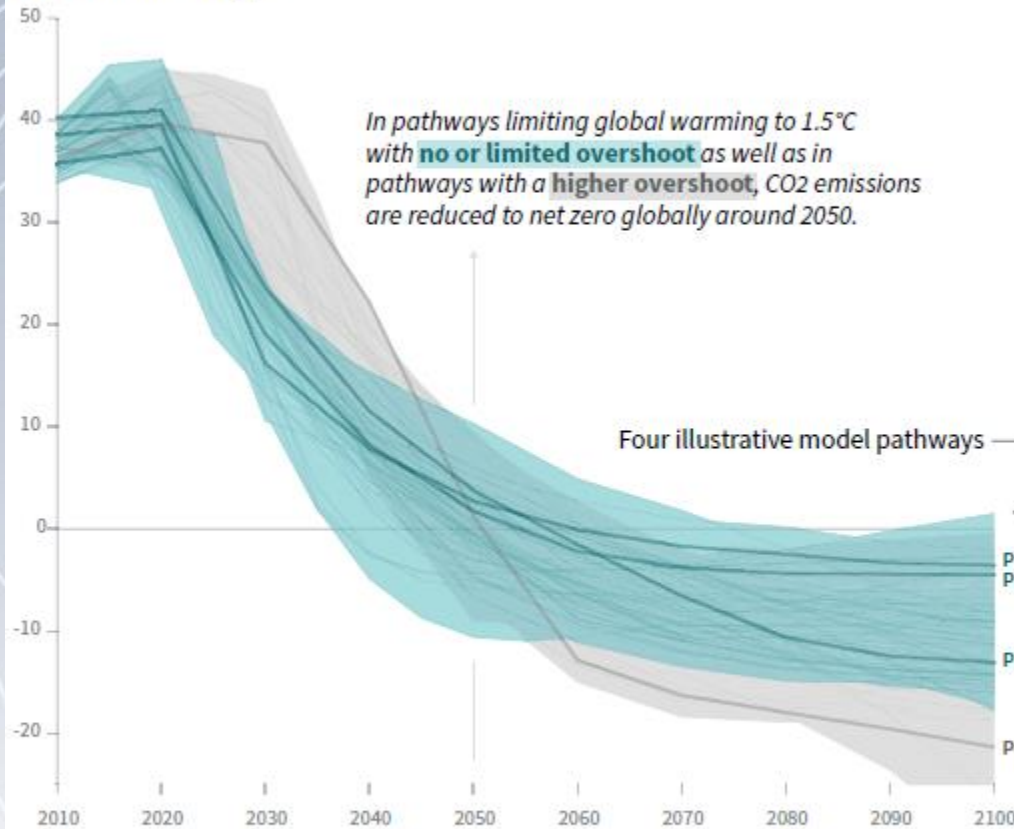
d) Non-CO<sub>2</sub> radiative forcing pathways  
Watts per square metre (W/m<sup>2</sup>)



Puede que incluso, para que el escenario de 1.5 °C sea viable, sea necesario absorber CO2 de la atmósfera (emisión negativa) a partir de 2050, con mayor intensidad cuanto más se tarde en llevar a cero las emisiones de CO2.

### Global total net CO<sub>2</sub> emissions

Billion tonnes of CO<sub>2</sub>/yr



Timing of net zero CO<sub>2</sub>  
Line widths depict the 5-95th percentile and the 25-75th percentile of scenarios

Pathways limiting global warming to 1.5°C with **no or limited overshoot**

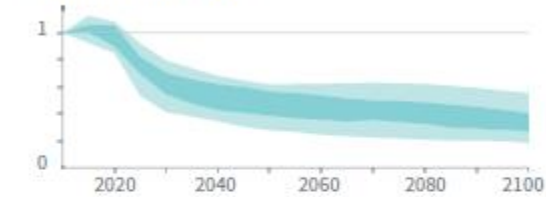
Pathways with **higher overshoot**

Pathways limiting global warming below 2°C  
(Not shown above)

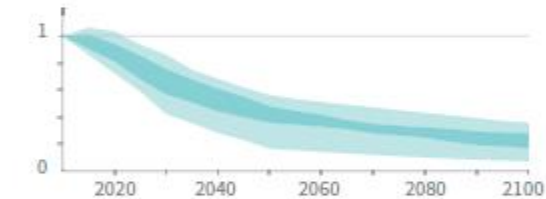
### Non-CO<sub>2</sub> emissions relative to 2010

Emissions of non-CO<sub>2</sub> forcers are also reduced or limited in pathways limiting global warming to 1.5°C with **no or limited overshoot**, but they do not reach zero globally.

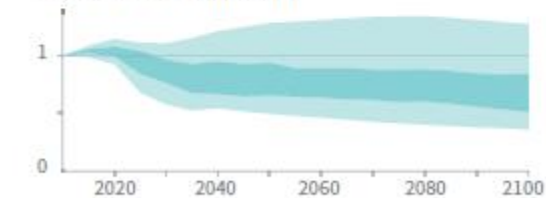
#### Methane emissions



#### Black carbon emissions



#### Nitrous oxide emissions



## **El calentamiento global es un problema de solución global:**

El aire de un hemisferio se mezcla en 1-2 meses, el aire de los dos hemisferios se mezcla entre sí en 1-2 años; por ello, **los GEI de larga vida están bien mezclados en la atmósfera** (el CH<sub>4</sub> es el que tiene la vida más corta y ésta es de 9 años).

**Esto implica que los recortes de emisiones que haga un país benefician a todos los países de mundo, mientras que los no recortes de emisiones de un país perjudican a todos los países.**

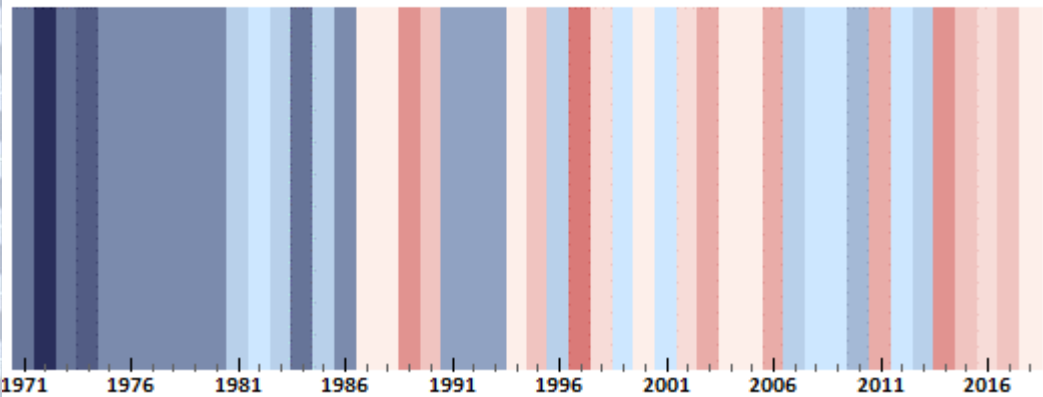
**En este aspecto el calentamiento global es esencialmente distinto al problema de la calidad del aire.**

La mala calidad del aire es producida por gases reactivos y partículas que tienen una vida corta en la atmósfera (días), por lo que fundamentalmente perjudican a la región que las emite.

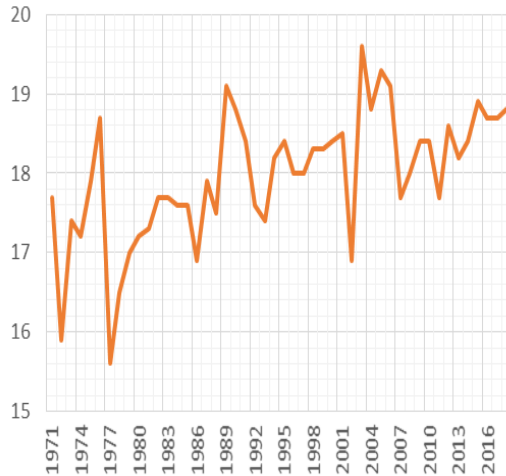
T.Media. OVIEDO  
Media 1981-2010: 13,3°C

Temperatura: 11,3 11,7 12,1 12,5 12,9 13,3 13,7 14,1 14,5 14,9 15,3

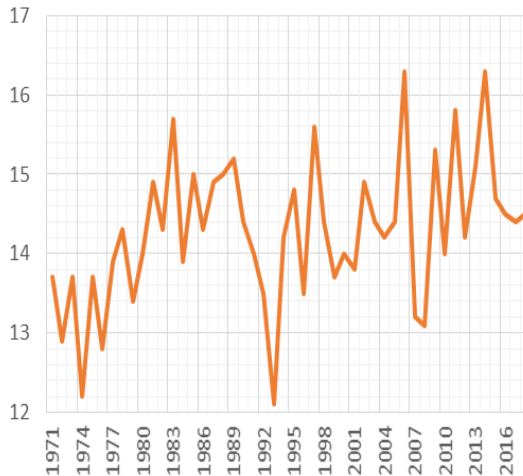
Anomalía: -2,0 -1,6 -1,2 -0,8 -0,4 0,0 0,4 0,8 1,2 1,6 2,0



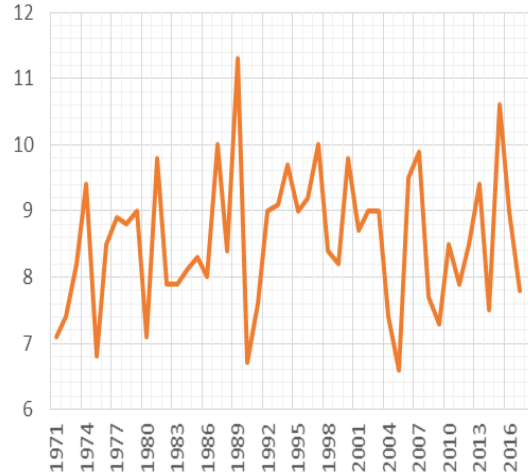
T(°C) Verano (Oviedo)



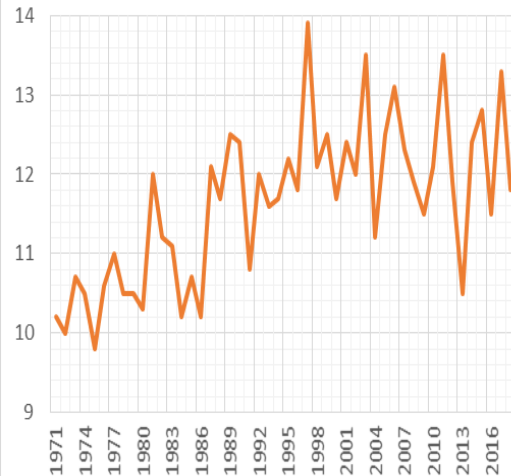
T(°C) Otoño (Oviedo)



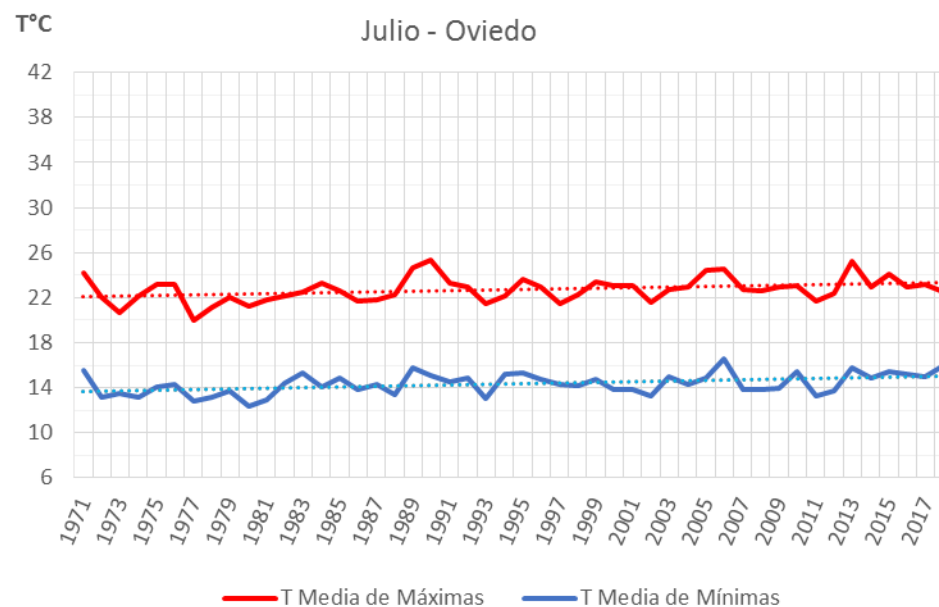
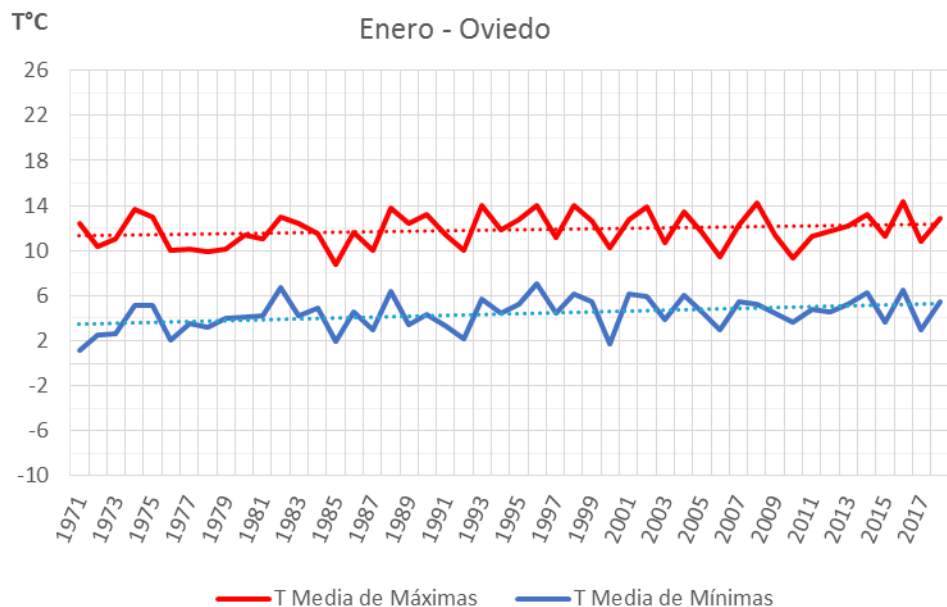
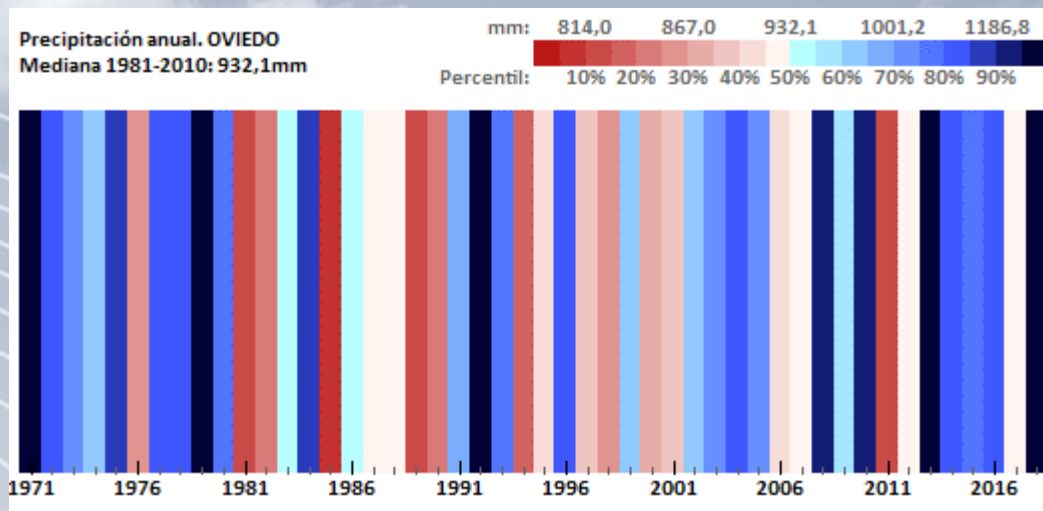
T(°C) Invierno (Oviedo)



T(°C) Primavera (Oviedo)



Información elaborada por AEMET para todas las capitales de provincia con motivo del Día Meteorológico Mundial 2019, como material interno suplementario asociado a un informe hecho público sobre el Cambio Climático en España en los últimos 40 años, como avance de los datos del Open Data Climático.



# Proyecciones climáticas regionalizadas para España y Asturias

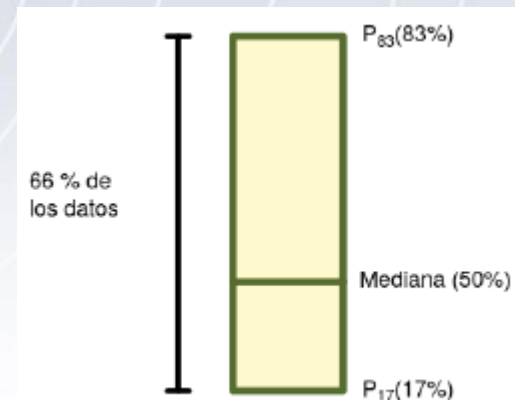


**Presento resultados de AEMET:** en [www.aemet.es](http://www.aemet.es) y “Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5”.

**La regionalización es estadística (análogos y regresión) y dinámica (modelo CORDEX).**

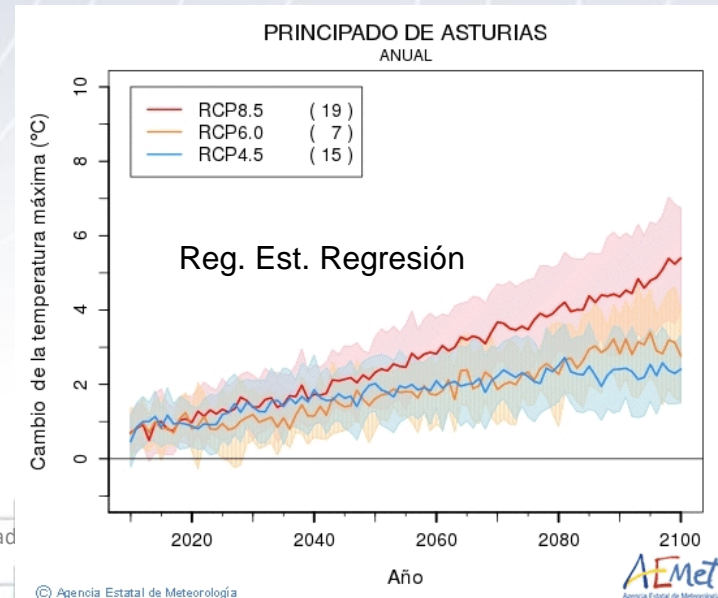
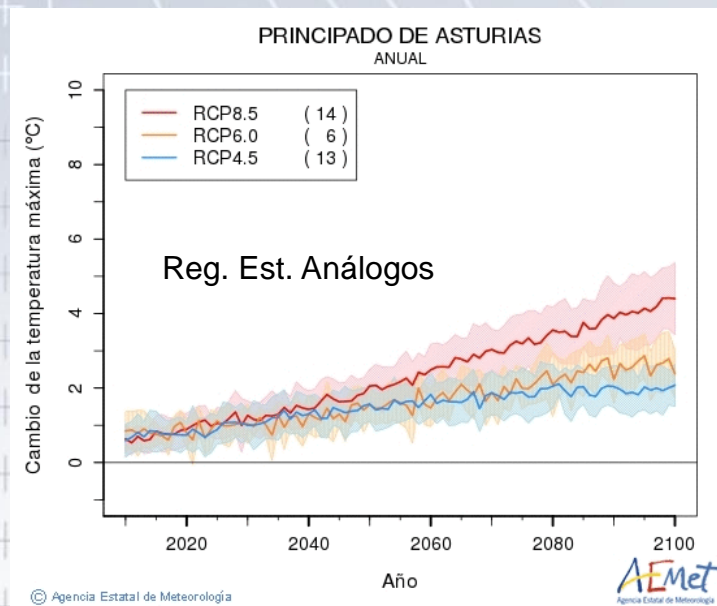
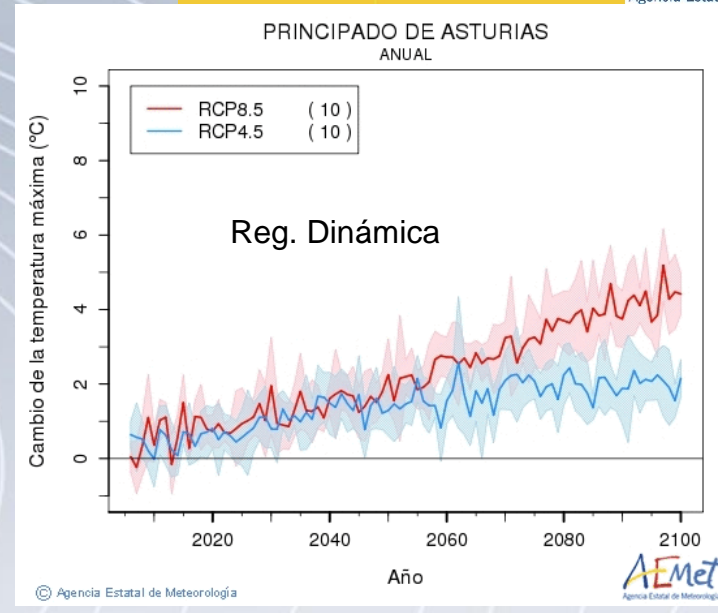
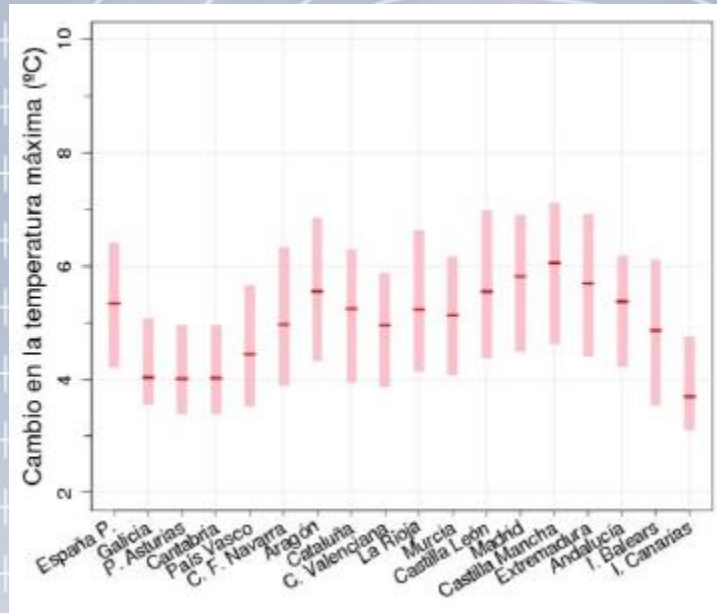
**Se toma como referencia (cero) el periodo de referencia 1961-1990.**

**En los diagramas de barras se representa:**



# Cambio medio de la temperatura máxima (°C) media anual

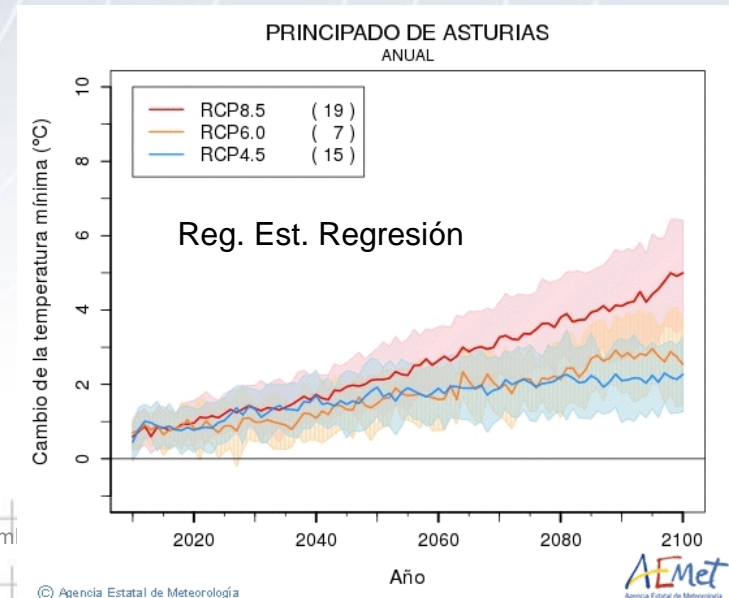
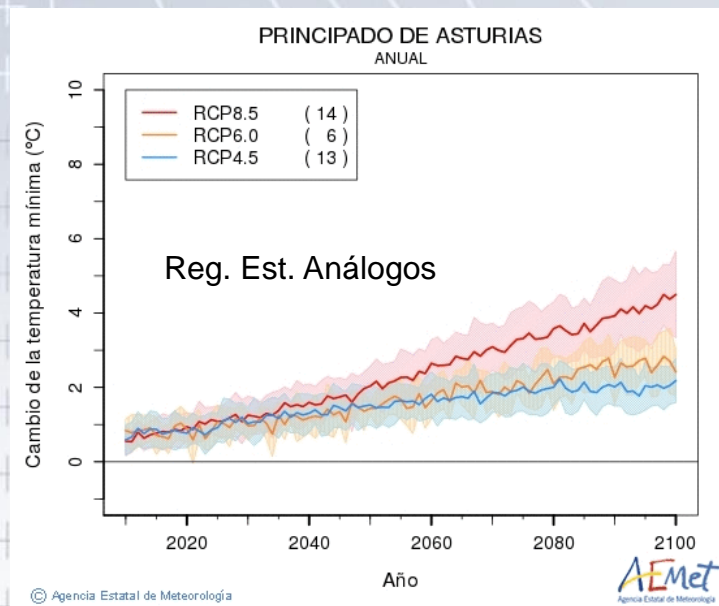
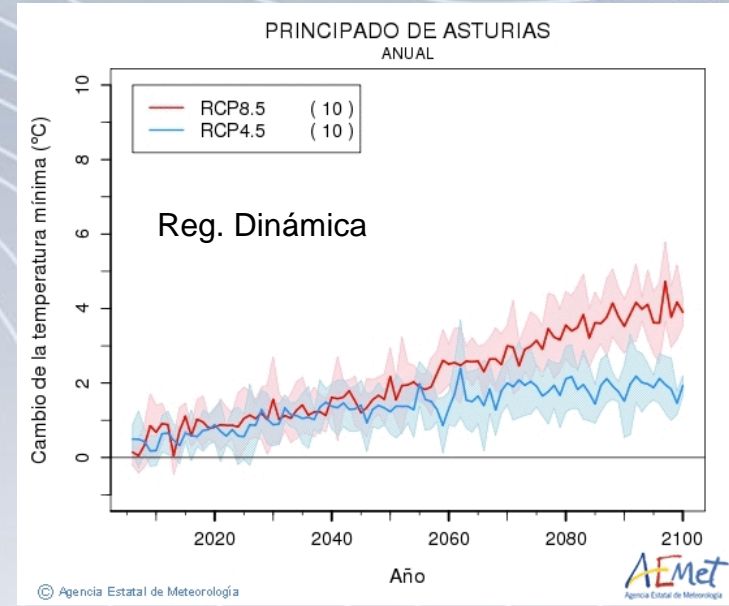
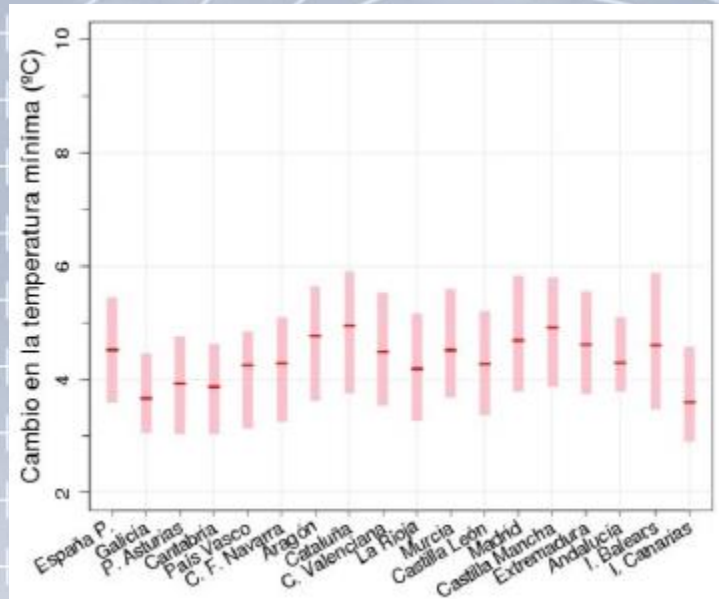
## Periodo 2081-2100 en RCP8.5





# Cambio medio de la temperatura mínima (°C) media anual

## Periodo 2081-2100 en RCP8.5



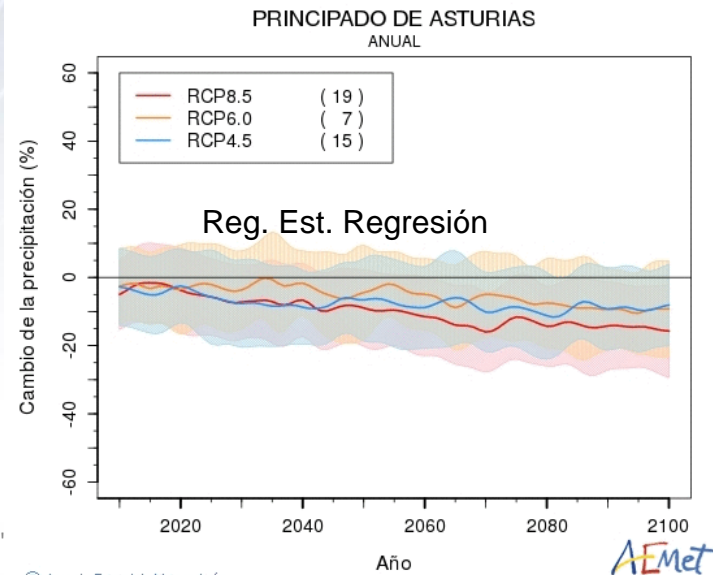
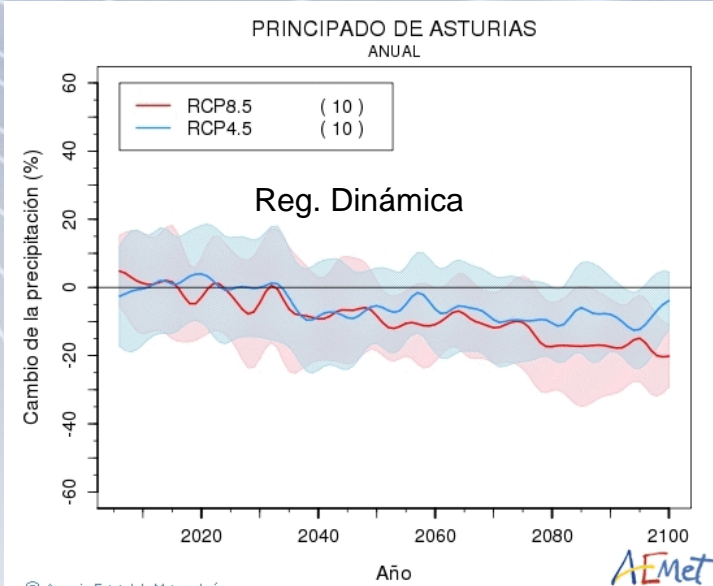
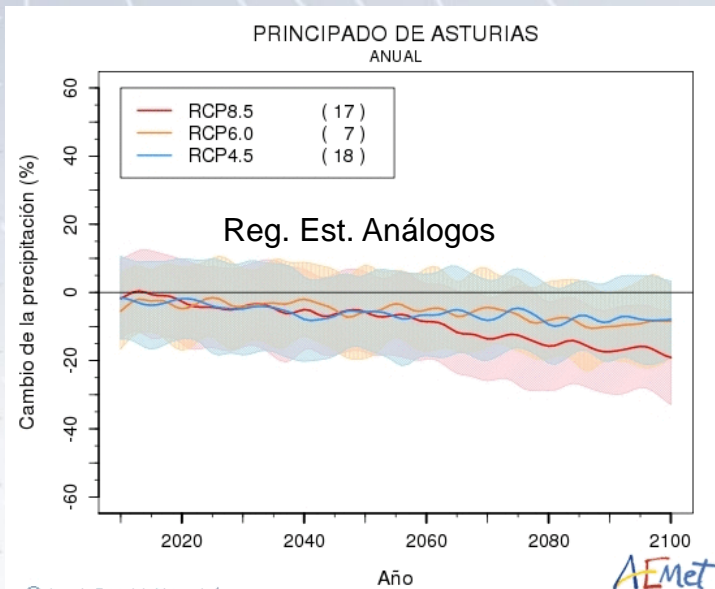
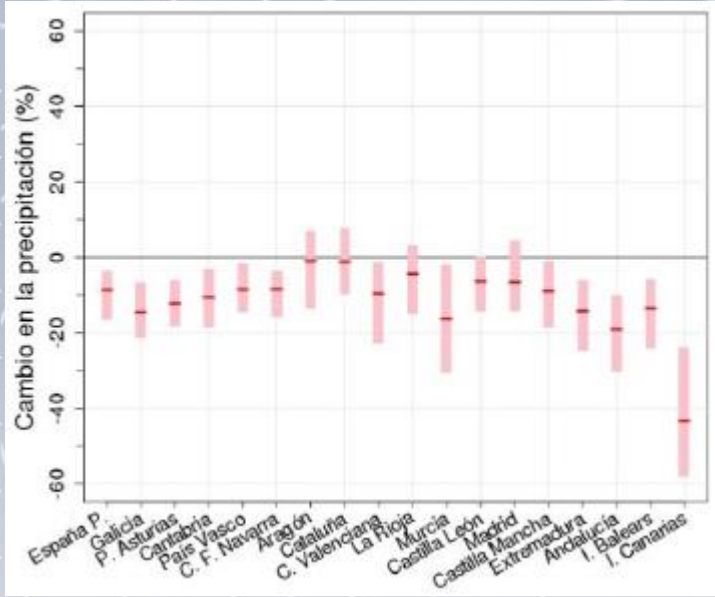
# Cambio medio de la precipitación anual

## Periodo 2081-2100 en RCP8.5



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



# Gracias por su atención

**Twitter de la Delegación Territorial de la AEMET  
en el Principado de Asturias: @AEMET\_Asturias**

# Material suplementario avanzado respecto a AGTP y el cálculo del incremento de temperatura a partir de él (IPCC WGI 2013)



where  $H$  is the time horizon;  $RF_i$  is the radiative forcing due to a pulse emission of a gas  $i$  given by

$$\Delta T(t) = \sum_i \int_0^t E_i(s) AGTP_i(t-s) ds \quad (8.1)$$

$$RF_i = A_i R_i \quad (8.SM.7)$$

$$AGTP_i(H) = \int_0^H RF_i(t) R_T(H-t) dt \quad (8.SM.12)$$

where  $A_i$  is the  $RF_i$  per unit mass increase in atmospheric abundance of species  $i$  (radiative efficiency (RE)), and  $R_i$  is the fraction of species  $i$  remaining in the atmosphere after the pulse emissions. The GWP are

$$R_{CO_2}(t) = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \quad (8.SM.10)$$

For most species,  $R_i$  is based on a simple exponential decay,

$$R_i(t) = \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \quad (8.SM.8)$$

	1st Term	2nd Term	3rd Term	4th Term
Coefficient (unitless)	0.2173	0.2240	0.2824	0.2763
Time Scale ( $\tau_i$ , years)	-	394.4	36.54	4.304

where  $\tau_i$  is the perturbation lifetime and thus, for these species,

where  $R_T$  is the climate response to a unit forcing and can be represented as a sum of exponentials,

$$R_T(t) = \sum_{j=1}^M \frac{c_j}{d_j} \exp\left(-\frac{t}{d_j}\right) \quad (8.SM.13)$$

	1st Term	2nd Term
$c_j$ ( $K(W\ m^{-2})^{-1}$ )	0.631	0.429
$d_j$ (years)	8.4	409.5

Utilizan para el cálculo sensibilidad climática ( $\lambda$ )  $1.06\ K^*m^2/W$

(obtenida por Boucher and Reddy [2008] analizando una simulación de 1000 años del modelo HadCM3)