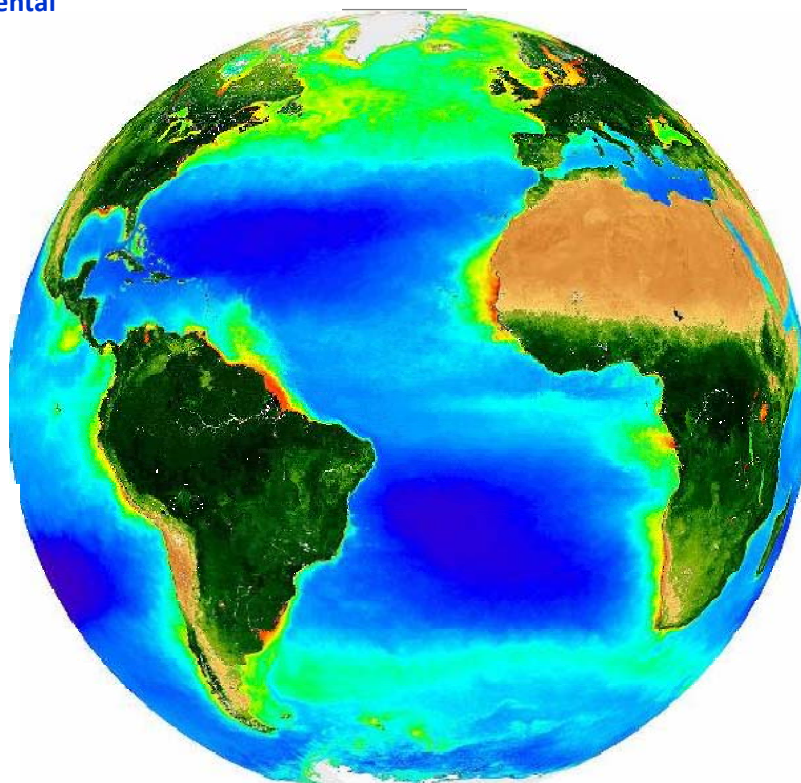


El Cambio Climático: Causas, evidencias y predicciones

Ricardo Anadón
Catedrático de ECOLOGÍA



Universidad
de Oviedo

Organización de la Charla

- ✓ Cambio Global (ya comentado) y Cambio Climático
- ✓ Cambio Climático actual
- ✓ Causas del Cambio Climático
- ✓ Predicción del Cambio Climático futuro
- ✓ ¿Se acierta con las predicciones?
- ✓ Algunos Impactos del Cambio Climático
- ✓ ¿Cómo actuar? Mitigar y Adaptarse

Un clima depende en gran medida de la temperatura y la pluviosidad, pero también de otras variables: viento, estacionalidad de ocurrencia, heladas, etc.

Se expresa como la media de al menos 10 años

¿Qu
afirmc

cuando
el clima ?

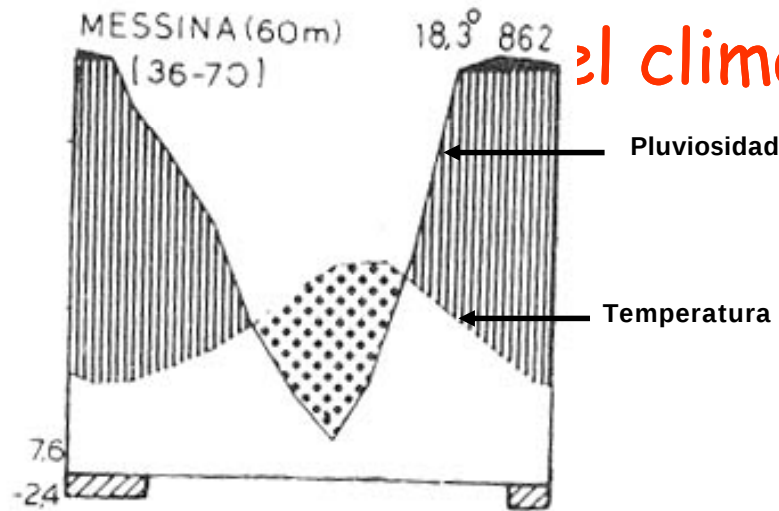
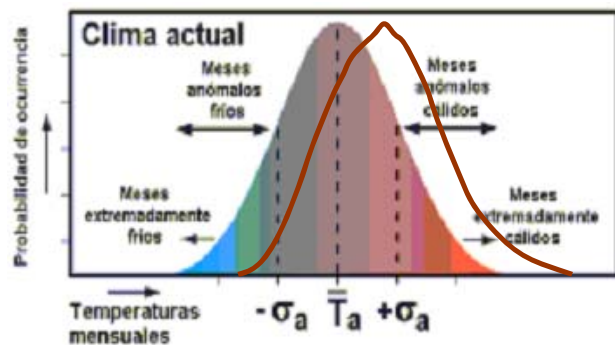


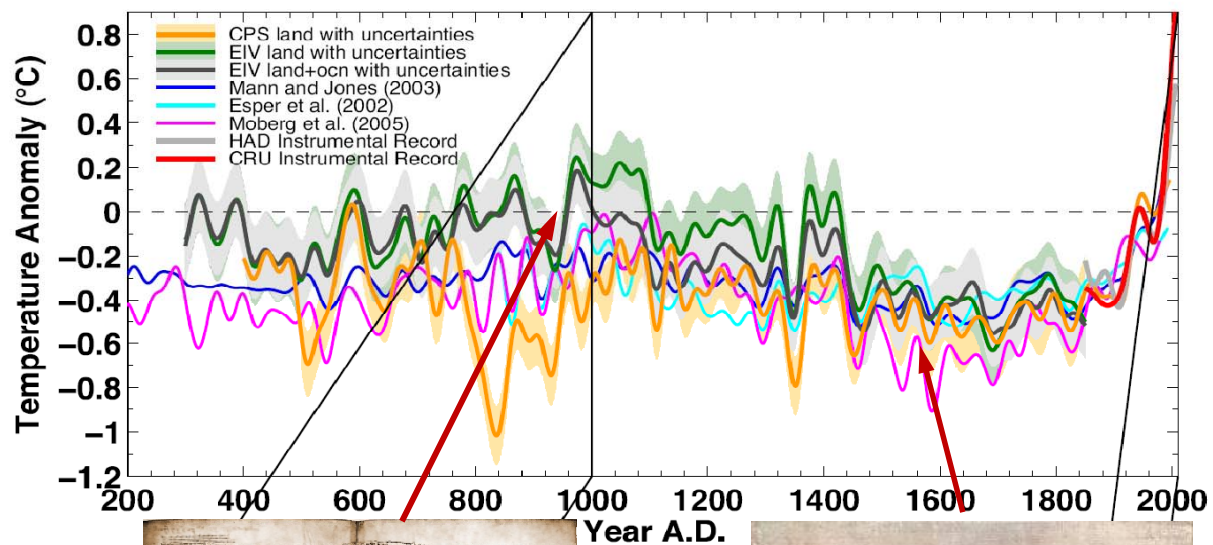
Diagrama Ombrotérmico

El número de años con una temperatura es su frecuencia



Cuando
necesitamos
varios años es por
que la
temperatura y la
pluviosidad
cambian cada año

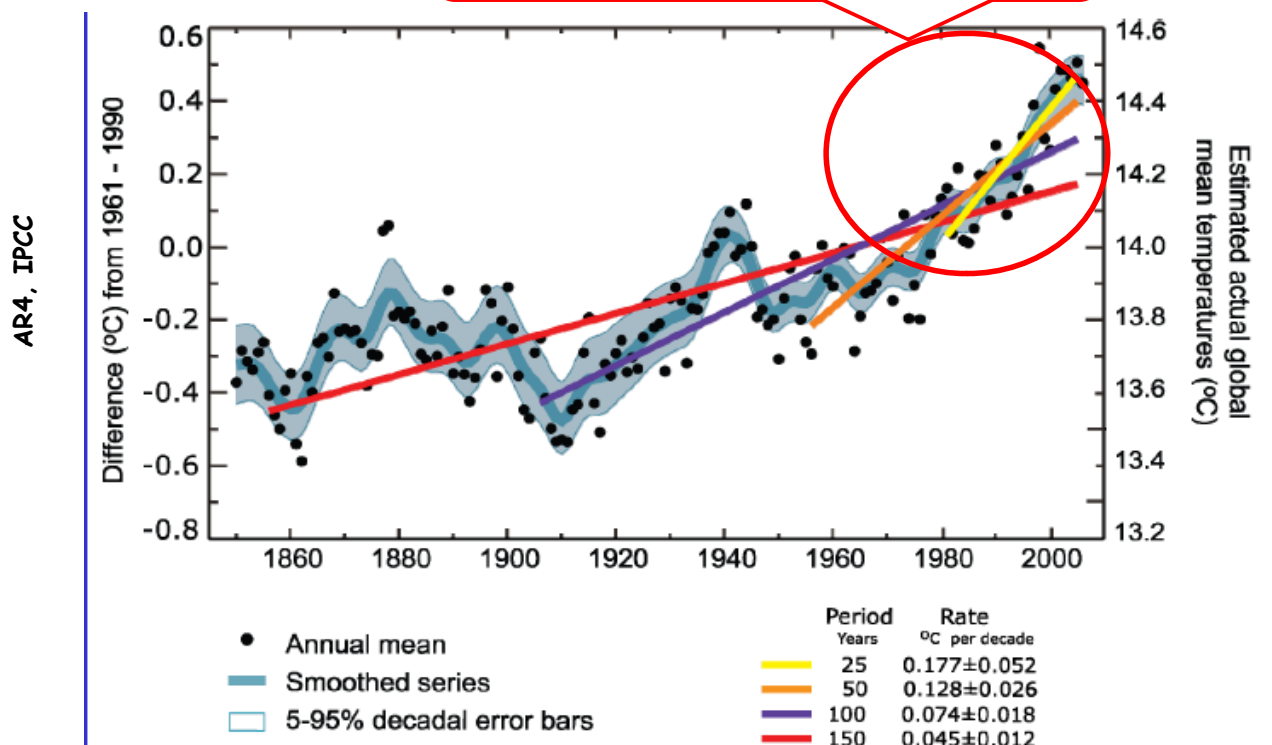
La más moderna reconstrucción de la temperatura en el Hemisferio Norte



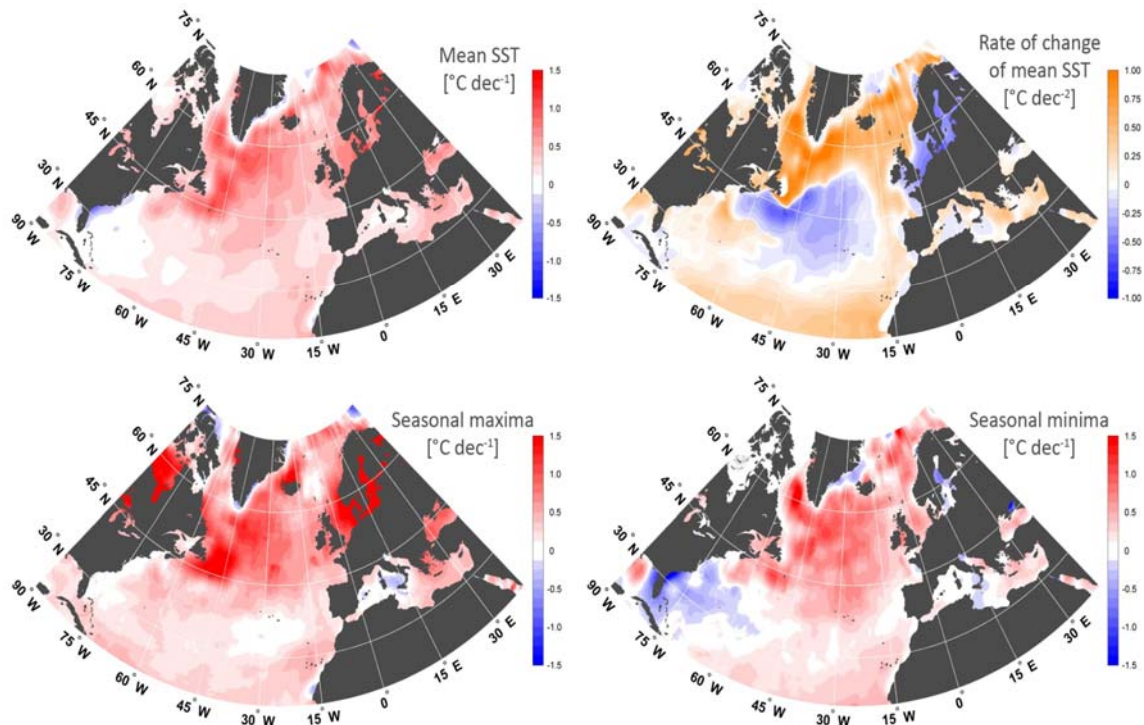
Mann et al., 2008

**La Temperatura media
Global aumenta más
rápido con el tiempo**

12 años más cálidos:
1998, 2005, 2003, 2002, 2004, 2006,
2001, 1997, 1995, 1999, 1990, 2000



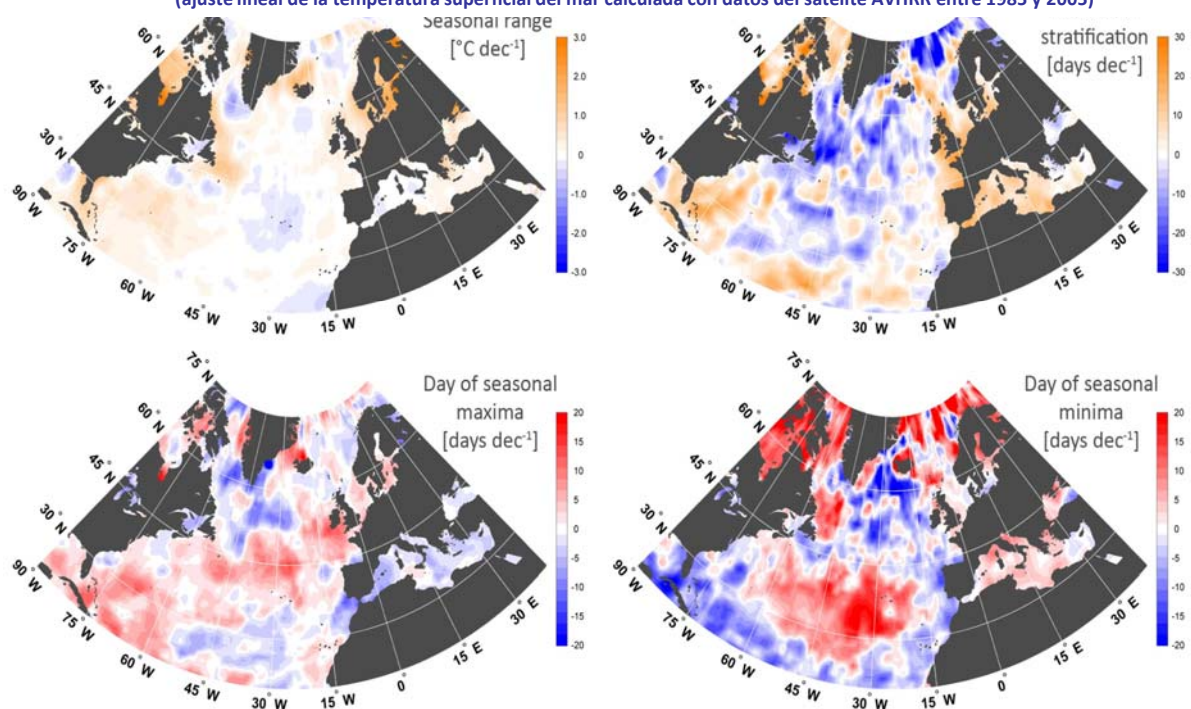
El calentamiento superficial en los últimos 20 años ha sido muy elevado, pero ocurre de manera diferencial en partes del océano, Incremento anual
(ajuste lineal de la temperatura superficial del mar calculada con datos del satélite AVHRR entre 1985 y 2005)



González Taboada y Anadón, 2007

El calentamiento supone cambios en el rango de temperaturas en cada localidad o del periodo de estratificación. También cambian los días en los que se encuentran el máximo o el mínimo anual

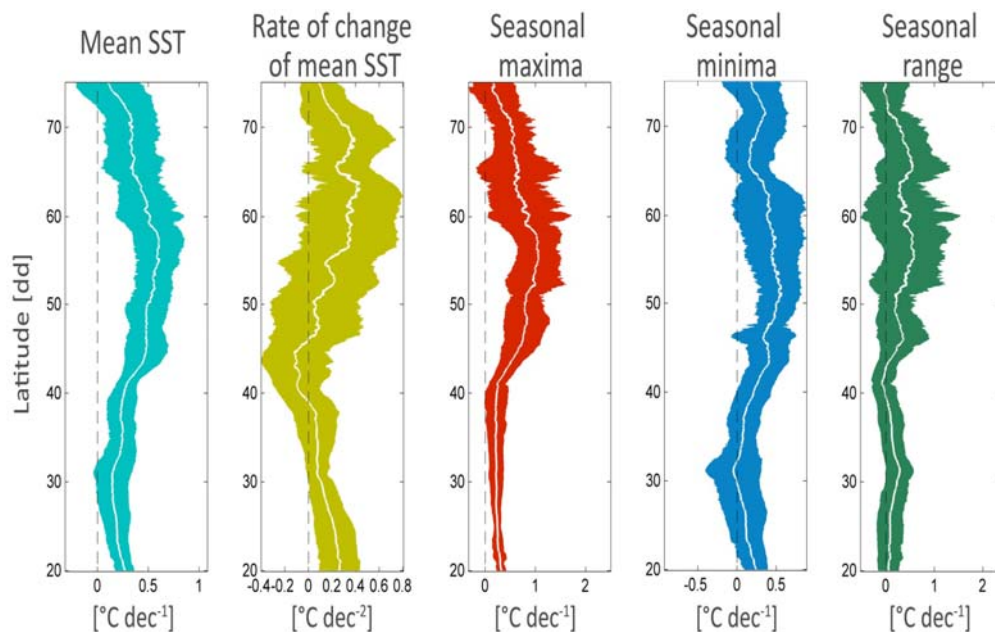
(ajuste lineal de la temperatura superficial del mar calculada con datos del satélite AVHRR entre 1985 y 2005)



González Taboada y Anadón, 2007

El calentamiento mayor se produce en latitudes medias y altas

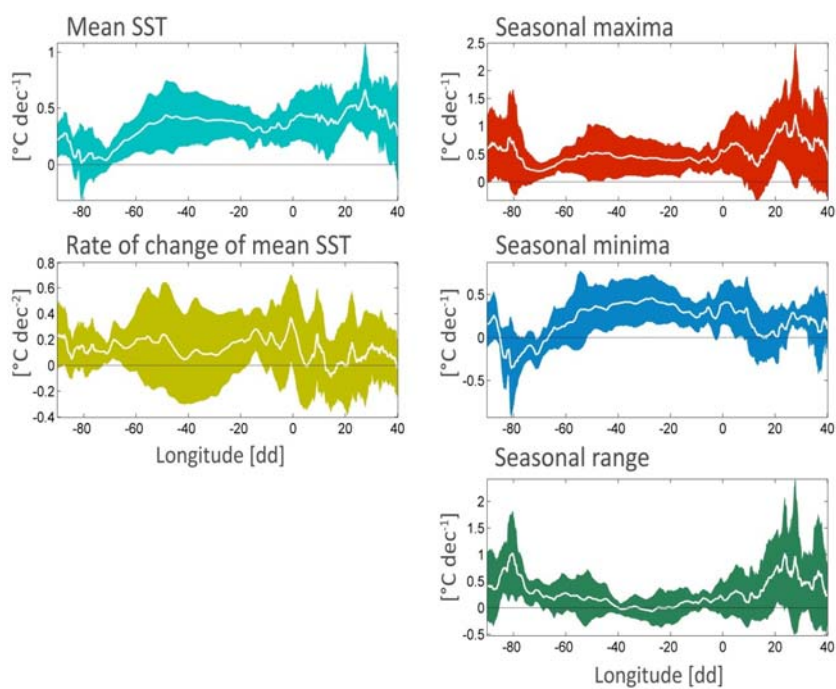
(ajuste lineal de la temperatura superficial del mar calculada con datos del satélite AVHRR entre 1985 y 2005)



González Taboada y Anadón, 2007

El calentamiento mayor se produce en el oeste del Atlántico y en el Mediterráneo y el Báltico

(ajuste lineal de la temperatura superficial del mar calculada con datos del satélite AVHRR entre 1985 y 2005)

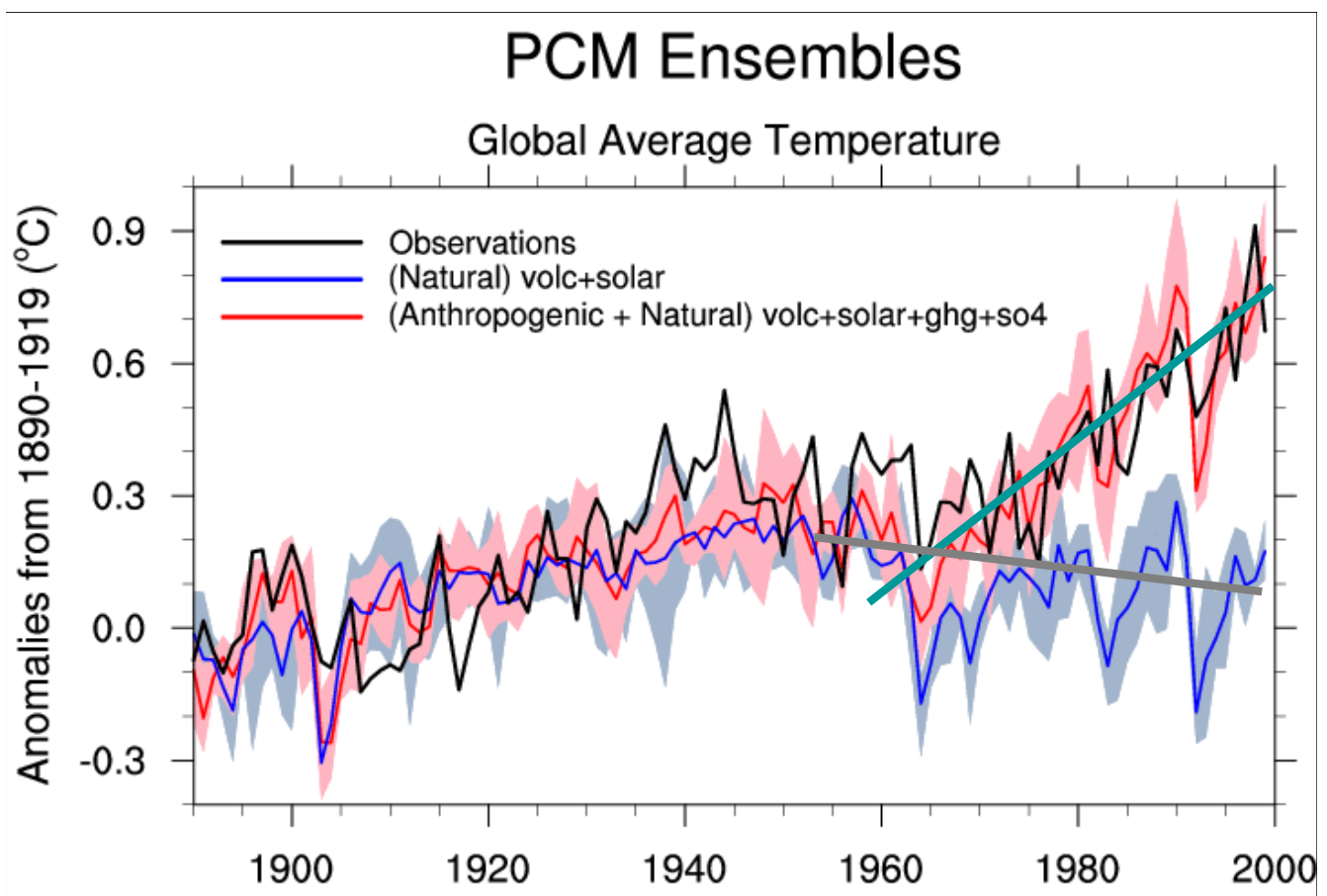


González Taboada y Anadón, 2007

El Cambio de Clima es una evidencia científica no discutida, aunque nos queden por resolver incertidumbres de cómo se regula

pero

¿Somos los humanos responsables?



Source: Jerry Meehl, National Center for Atmospheric Research

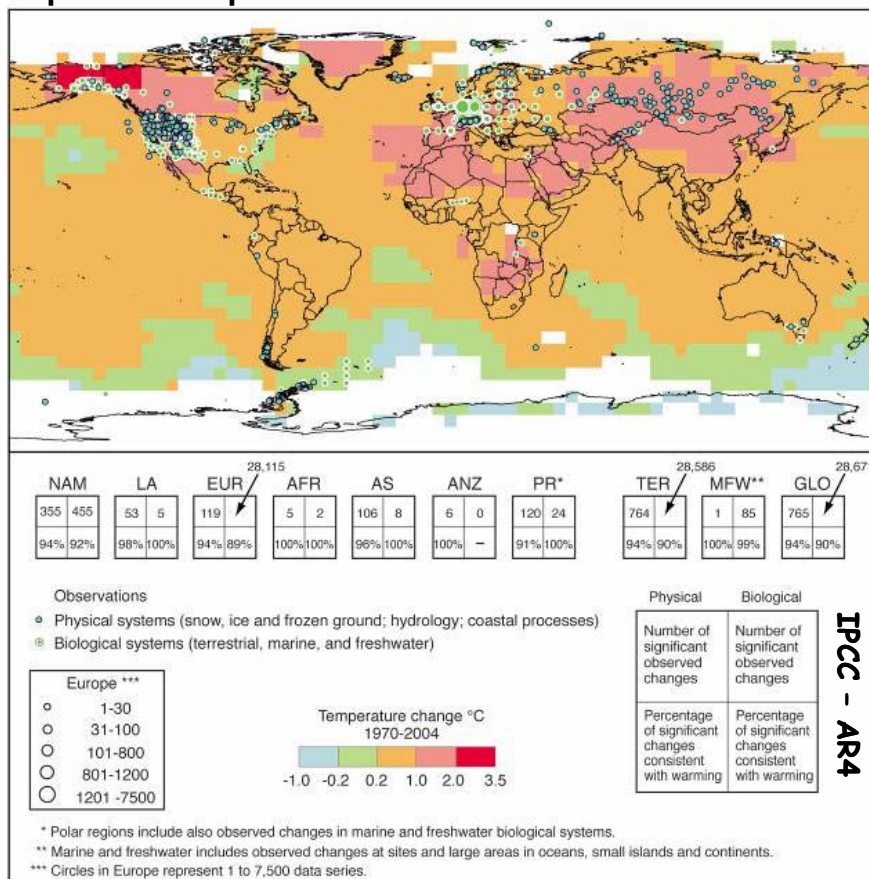
Cambios en los sistemas físicos y biológicos y de la temperatura superficial 1970-2004

El análisis de 765 series de datos físicos y 28671 de datos biológicos con más de 20 años de duración recolectados en todo el mundo indican que:

✓ el 94 % de los datos físicos

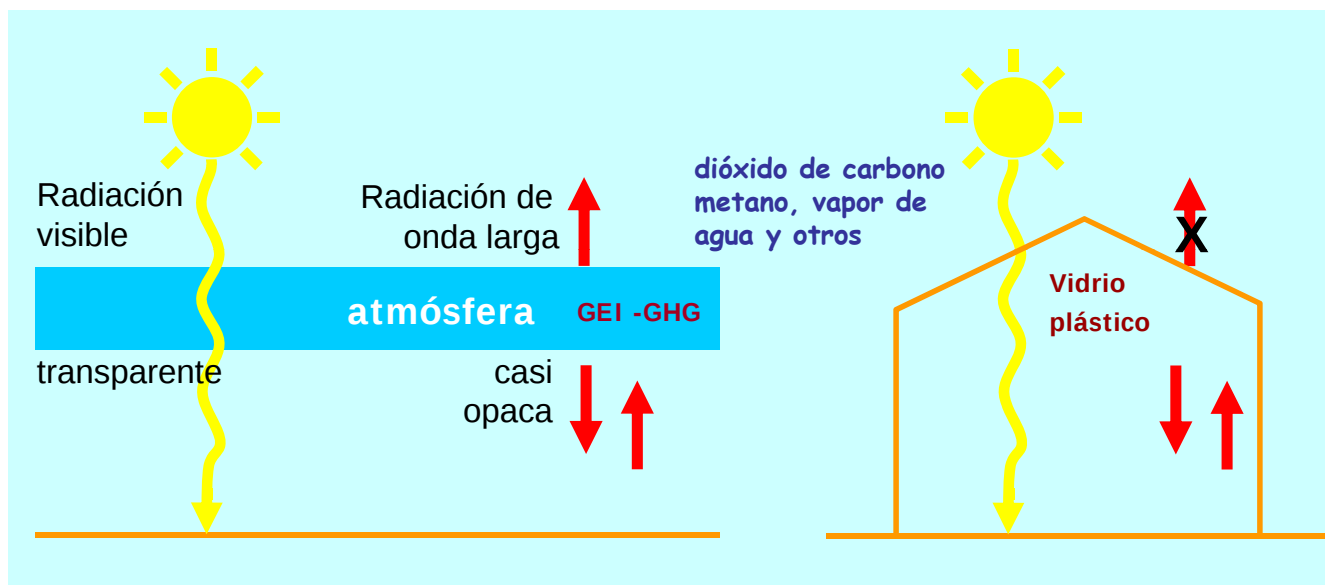
✓ el 90 % de los datos biológicos

Se ajustan a las predicciones basadas en Cambio Climático



Efecto Invernadero

Radiación solar



¿Es siempre desfavorable el efecto invernadero?

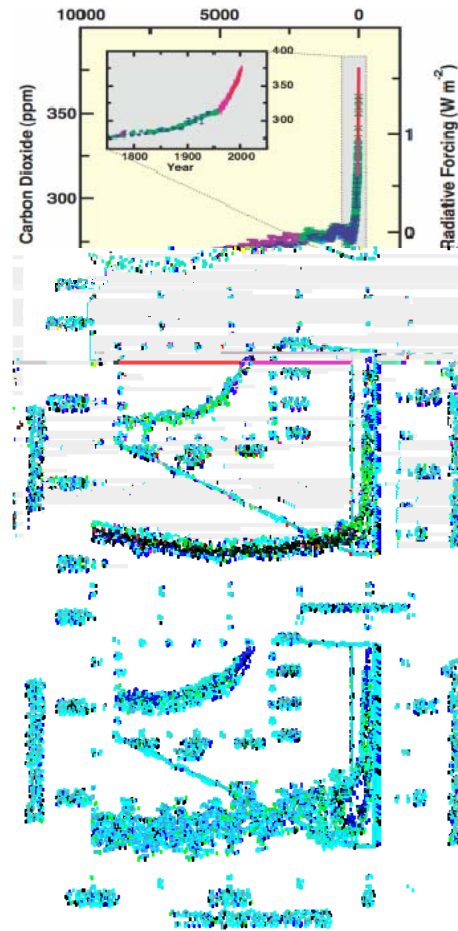
Cambios en Gases de Efecto Invernadero de testigos de hielo y datos modernos

Concentración atmosférica de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico en los últimos 10,000 años (paneles grandes) y desde 1750 (paneles interiores). Las medidas provienen de testigos de hielo (símbolos con colores diferentes de estudios distintos) y muestras atmosféricas (líneas rojas). Los correspondientes forzamientos radiativos se muestran en el eje derecho de los paneles.

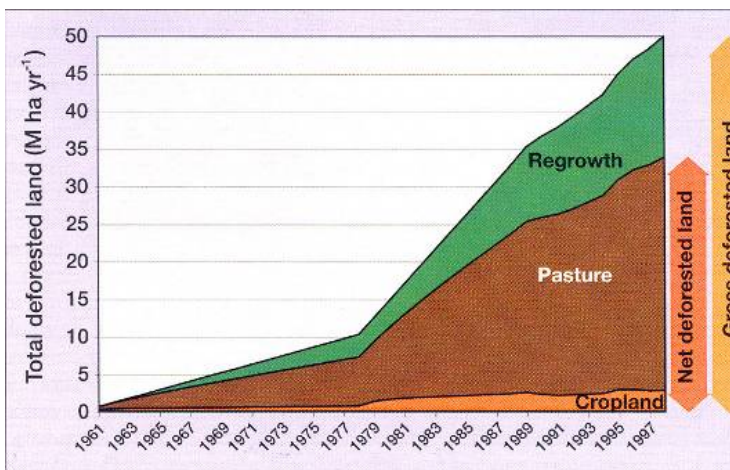
Las concentraciones de CO_2 , CH_4 y N_2O

- Exceden mucho el valor pre-industrial
- Se incrementan de forma marcada desde 1850 debido a actividades humanas

Variación relativamente pequeña antes de la era industrial

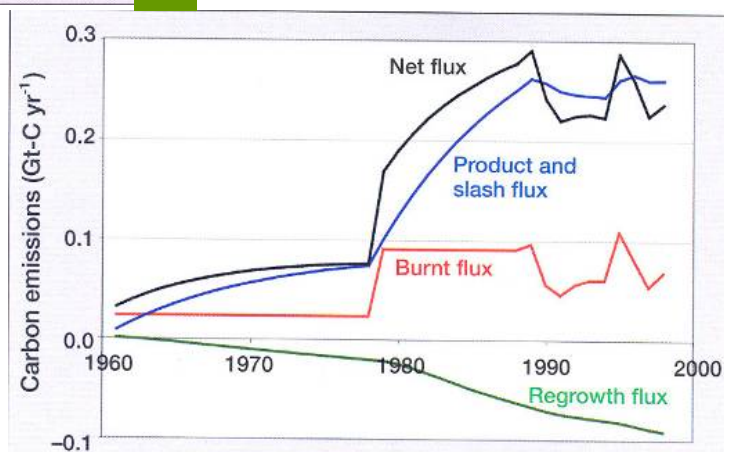


IPCC- WG1, AR4 - 2007

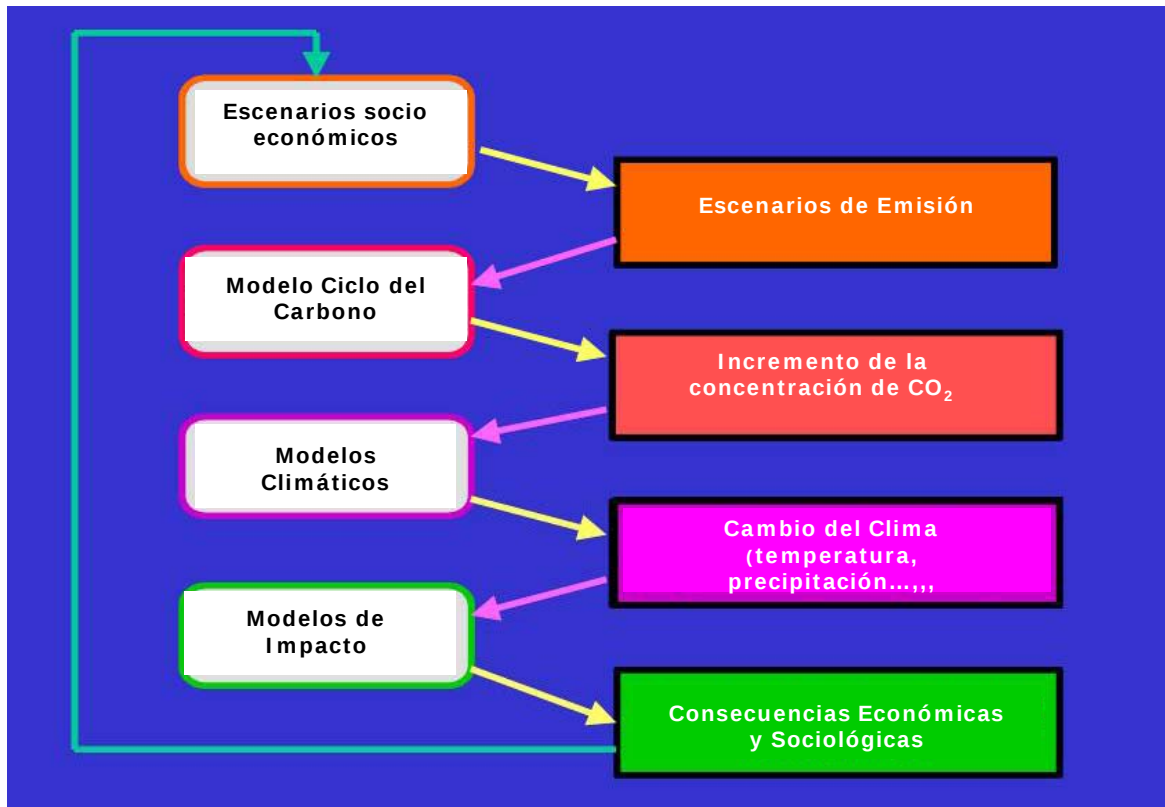


La deforestación en áreas tropicales, en este caso la Amazonía, genera aportes de GEI a la atmósfera

Algunas acciones emprendidas por los humanos, provocan externalidades con efectos indeseables

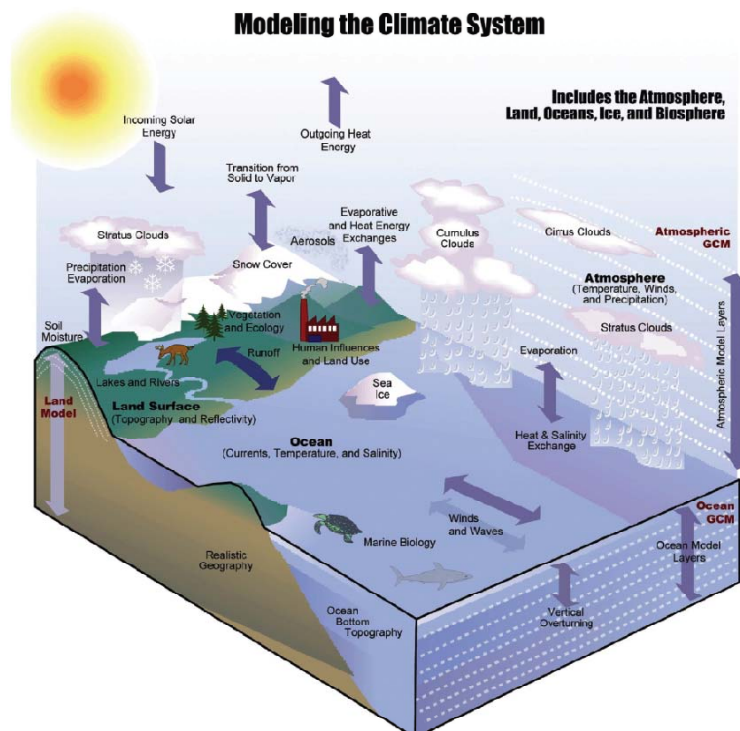


MODELOS PREDICTIVOS



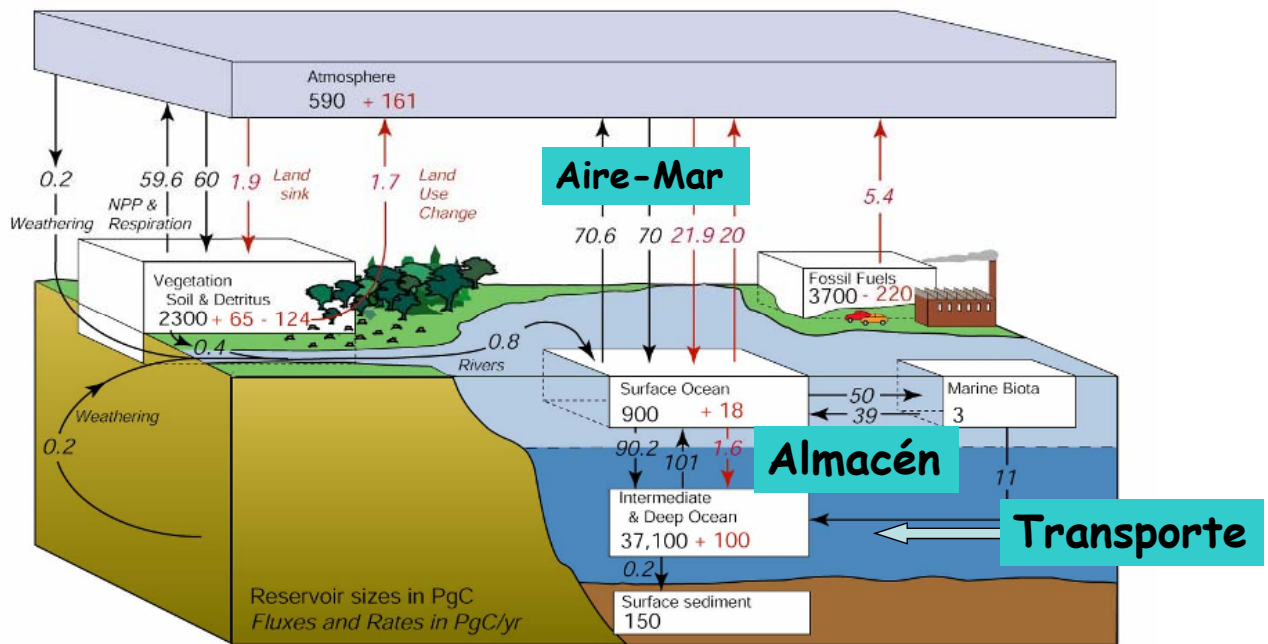
Componentes del sistema climático y las interacciones entre ellos, incluyendo el componente humano, Todos estos componentes tiene que modelarse como un sistema acoplado que incluye a los océanos, atmósfera, tierra, superficie terrestre, criosfera y biosfera

AOGCM, Modelos de Circulación General Integrados Atmósfera y Océano



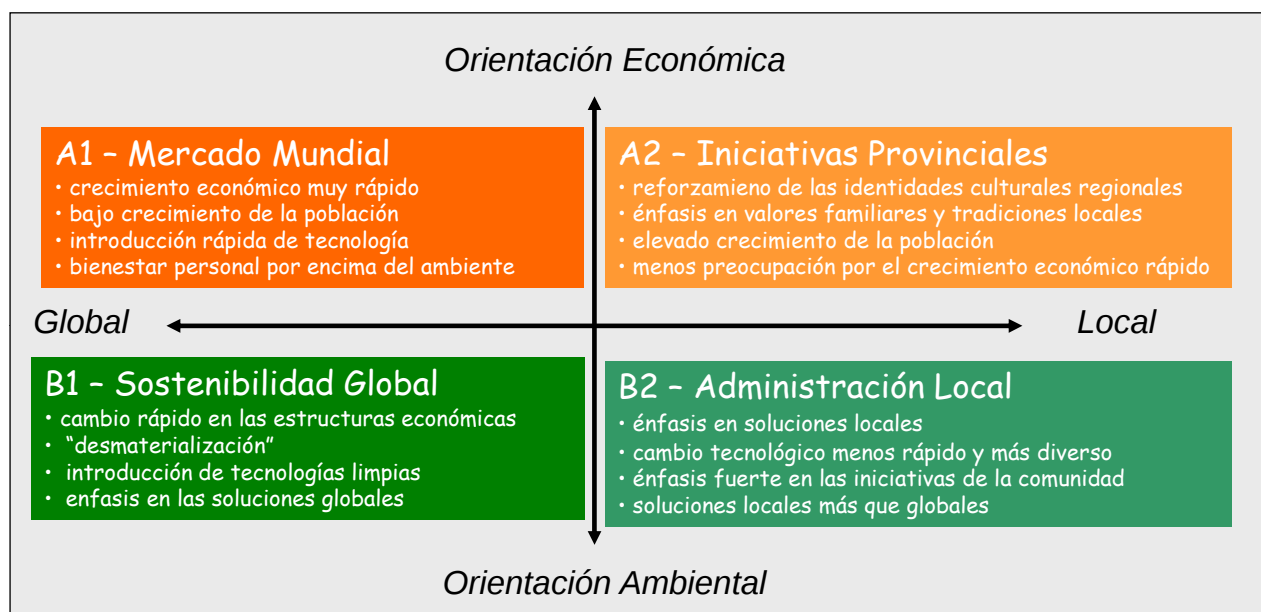
Karl y Trenberth, Science 2003

THE GLOBAL CARBON CYCLE AND ITS ANTHROPOGENIC PERTURBATION



Sarmiento & Gruber (2002)

Características de las familias de Escenarios Socio Económicos **SRES** generados por el IPCC



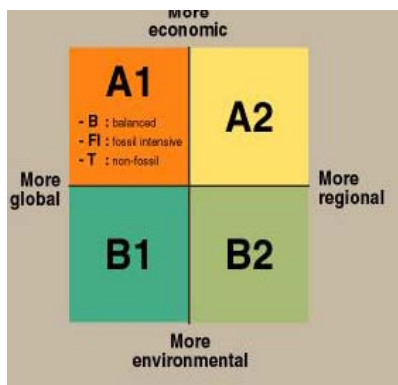
A1: Un mundo en crecimiento económico rápido y con introducción rápida de tecnologías nuevas y más eficientes

A2: Un mundo muy heterogéneo con énfasis en los valores familiares y las tradiciones locales

B1: Un mundo de "desmaterialización" e introducción de tecnologías limpias

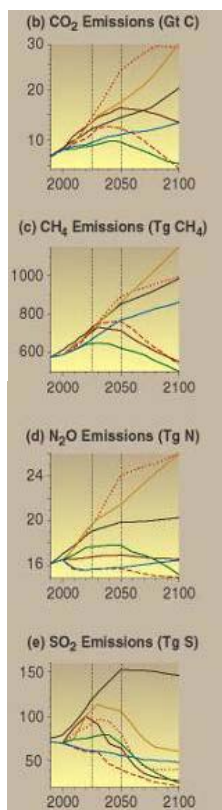
B2: Un mundo con énfasis en las soluciones locales para la sostenibilidad económica y ambiental

IS92a escenario "economía actual" (1992)

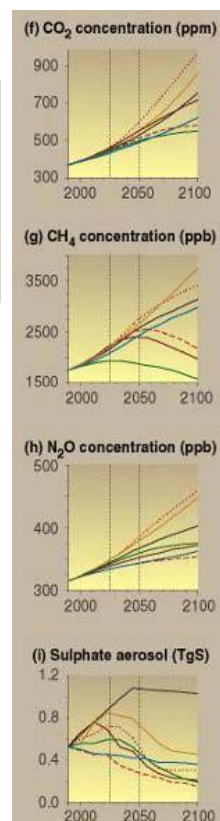


Los escenarios SRES de emisión y el cambio resultante en concentración

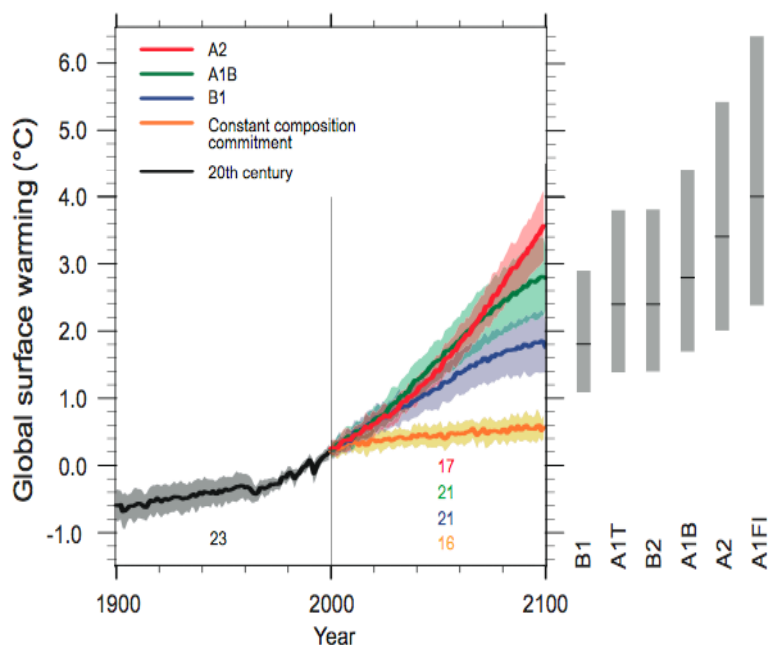
emisiones



concentraciones

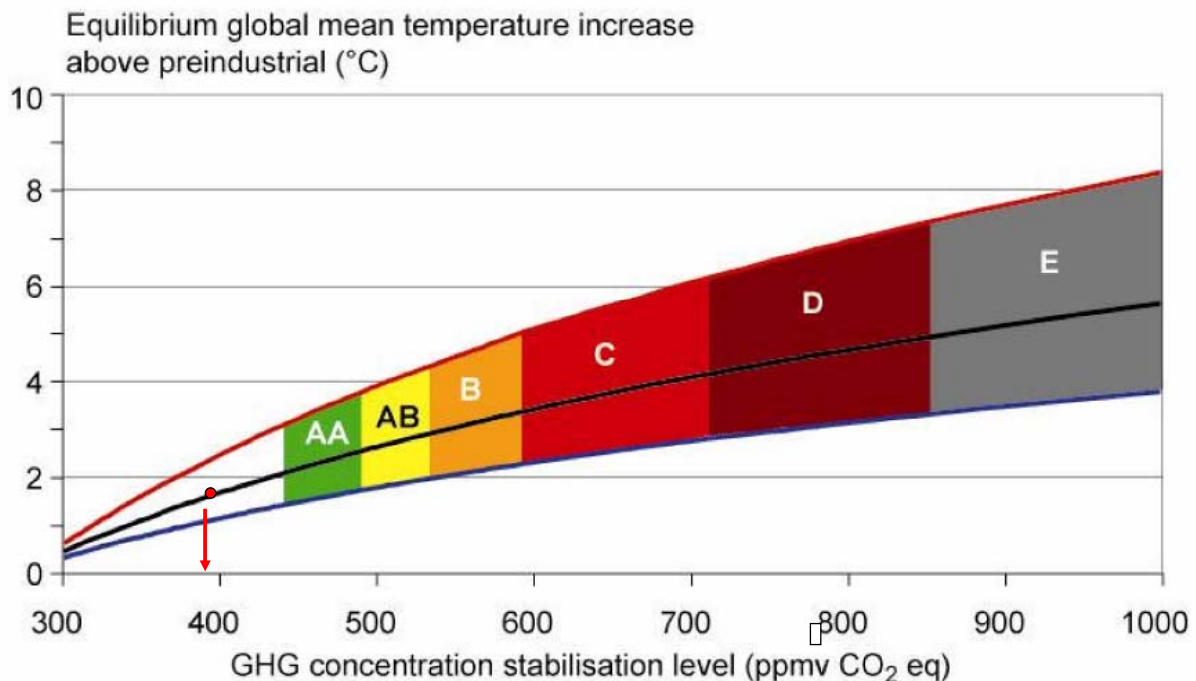


Las líneas continuas representan las medias globales de multi-modelos del calentamiento superficial (relativo a 1980-99) para los escenarios A2, A1B y B1, mostrados como continuación de las simulaciones para el siglo 20. El sombreado denota el rango de mas/menos una desviación estándar de medias anuales obtenidas con modelos individuales. El número de pruebas de AOGCMs para un determinado de tiempo y escenario se indica por los números coloreados en la parte inferior de la figura. La línea naranja indica el experimento en el que la concentración de GEI permanecieron constantes en el valor de 2000. Las barras grises a la derecha indican la mejor estima (línea continua en cada barra) y el rango posible evaluado para los 6 escenarios SRE. La evaluación de la mejor estima y rangos posibles de las barras grises incluye los AOGCMs en la parte izquierda de la figura, así como los resultados así como de un conjunto de modelos independientes y restricciones derivadas de observaciones,



IPCC- WGI, AR4 - 2007

Escenarios de emisión de gases de efecto invernadero y estabilización



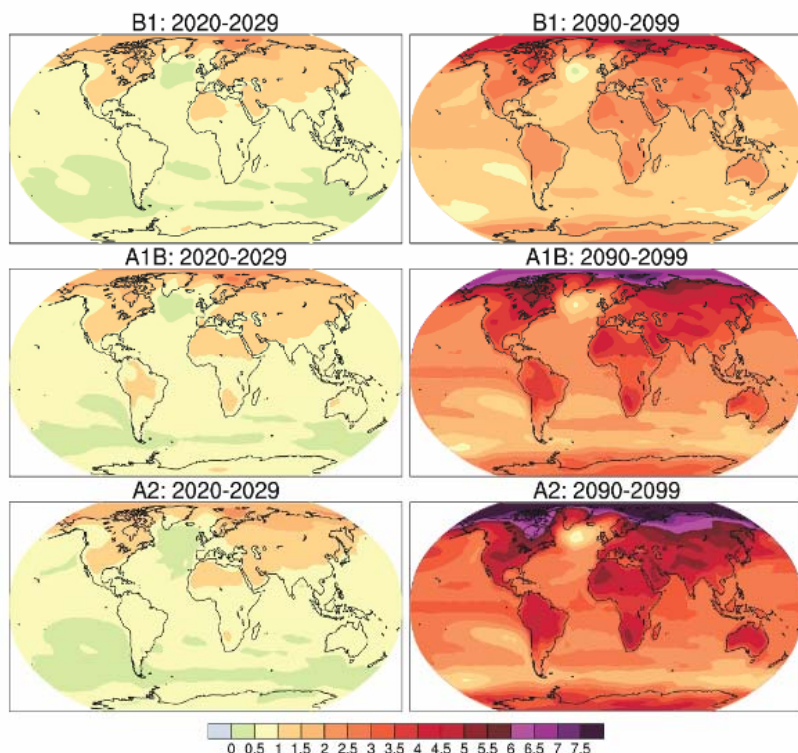
Letras mayúsculas deben ser cambiadas de AA, AB etc en I hasta VI; ppmv (eje x) debe ser cambiado a ppm; stabilisation en stabilization]

IPCC - AR4

Cambios proyectados de la temperatura superficial para el comienzo y el fin del siglo 21 relativos al periodo 1980-1999.

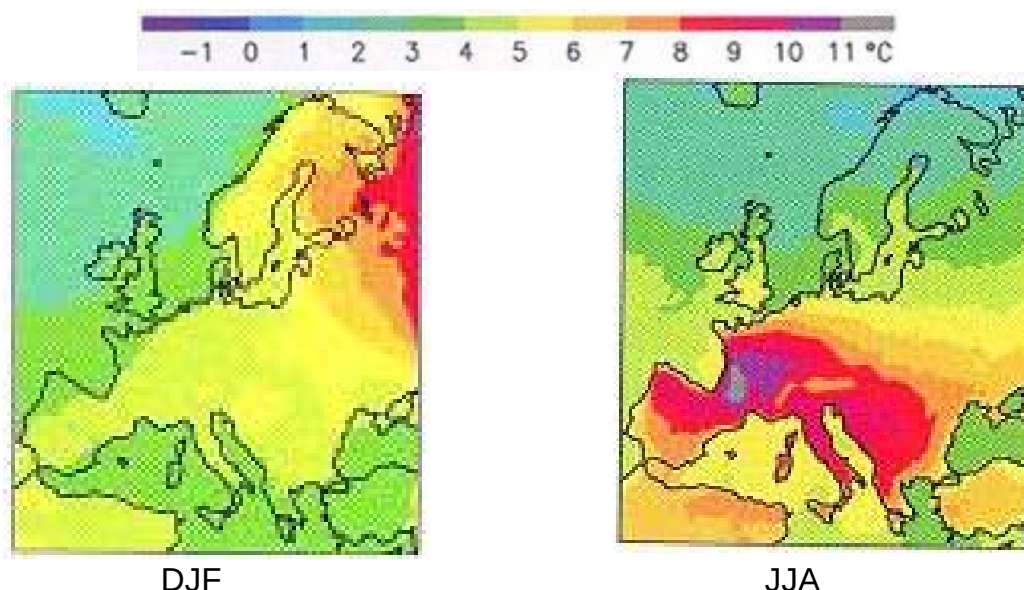
Las figuras del centro y la derecha muestran las proyecciones medias de los Atmosphere-Ocean General Circulation multi-Model average projections para los escenarios SRES B1 (arriba), A1B (en medio) and A2 (abajo) promediados las décadas 2020-2029 (centro) y 2090-2099 (derecha). El panel izquierdo muestra las incertidumbres correspondientes como probabilidad relativa del calentamiento global estimado por los diferentes estudios AOGCM y EMICs en los mismos periodos.

Algunos estudios presentan resultados sólo para un conjunto de los escenarios SRES, o para varias versiones de un modelo. Por tanto, la diferencia en el número de curvas, mostradas en la figura de la izquierda, se debe sólo a diferencias en la disponibilidad de resultados.



Proyecciones de AOGCM de la Temperatura superficial
IPCC- WGI, AR4 - 2007
IPCC 2007: WGI-AR4

Los modelos regionales Europeos que existen presentan resultados semejantes

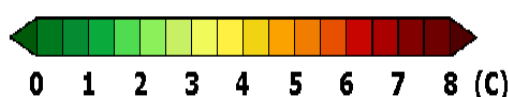
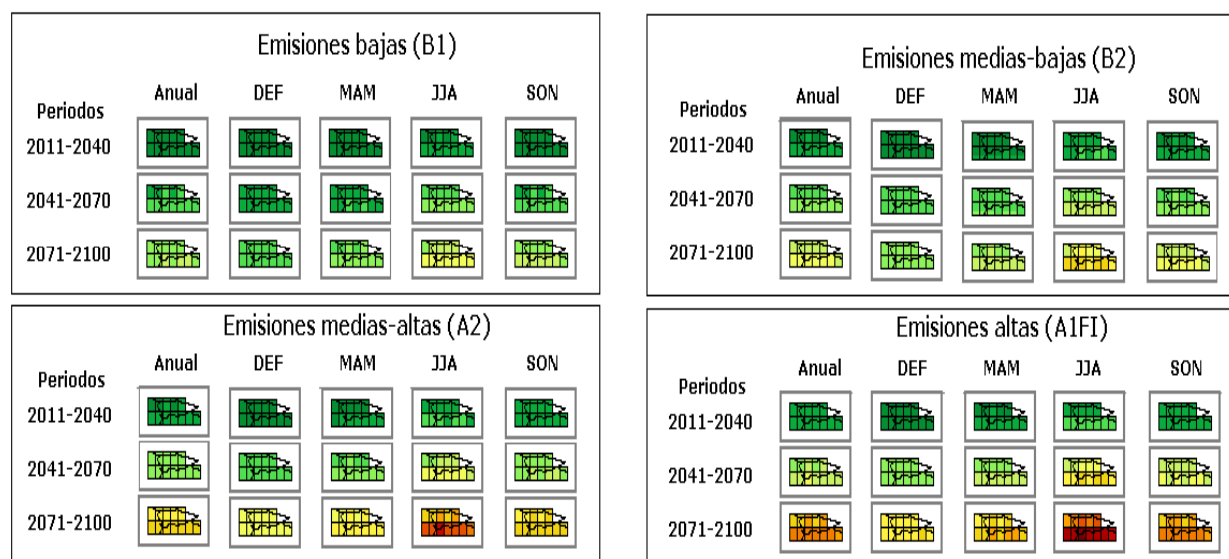


Rummukaia et al, 2004

Calculado para el RCO-E2 escenario menos el control (1960-1990) RCM SweClim

¿Qué ha pasado en Asturias? ¿Qué se predice?

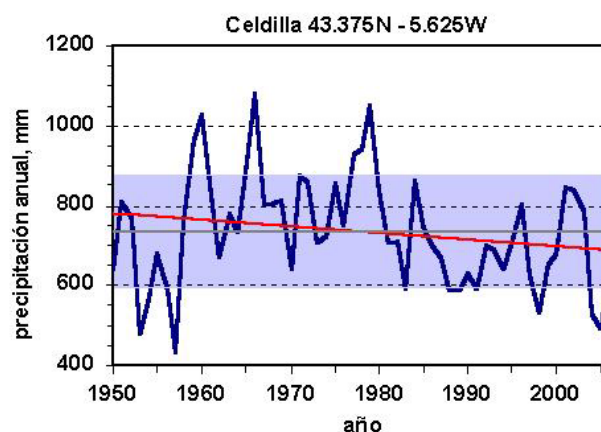
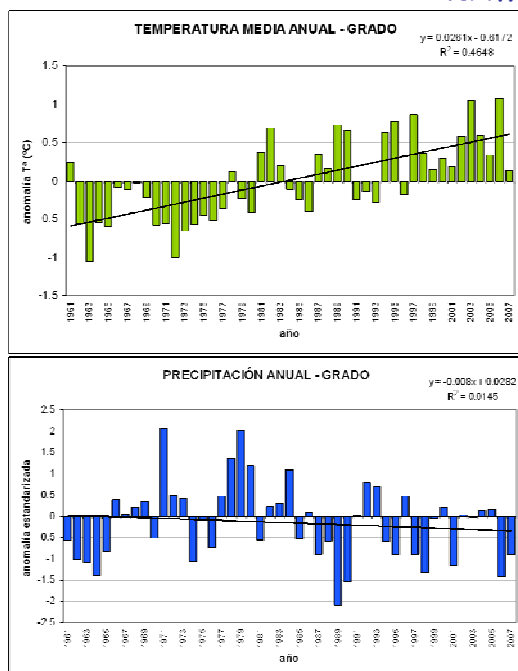
Proyecciones de los cambios del promedio anual y estacional de la temperatura superficial en cada periodo tridecenal del presente siglo con respecto al "clima actual" (1961-1990),



Castro, borrador 2008

¿Qué ha pasado en Asturias? ¿Qué se predice?

Evolución de las precipitaciones medias anuales (mm) en una determinada celdilla de Asturias. La línea roja indica la pendiente (18 mm/década) y el sombreado la desviación estándar alrededor de la media (735 ± 141 mm).

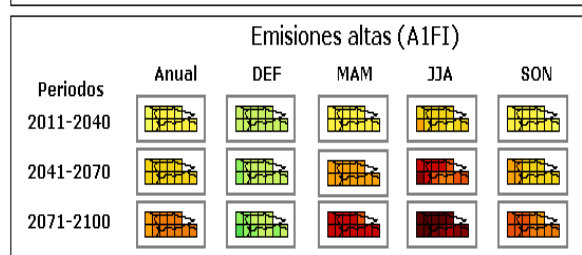
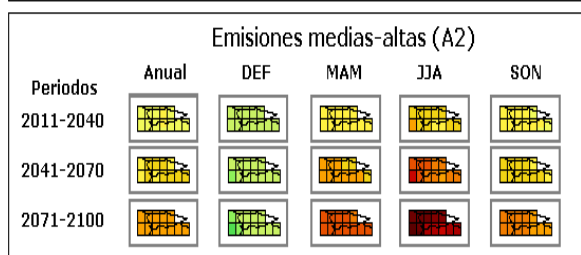
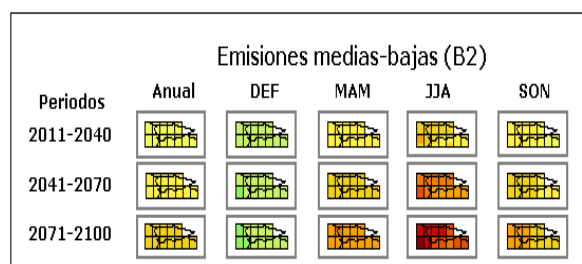
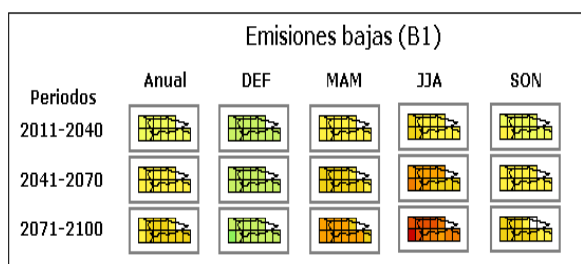


Castro, borrador 2008

Castro, borrador 2008

¿Qué ha pasado en Asturias? ¿Qué se predice?

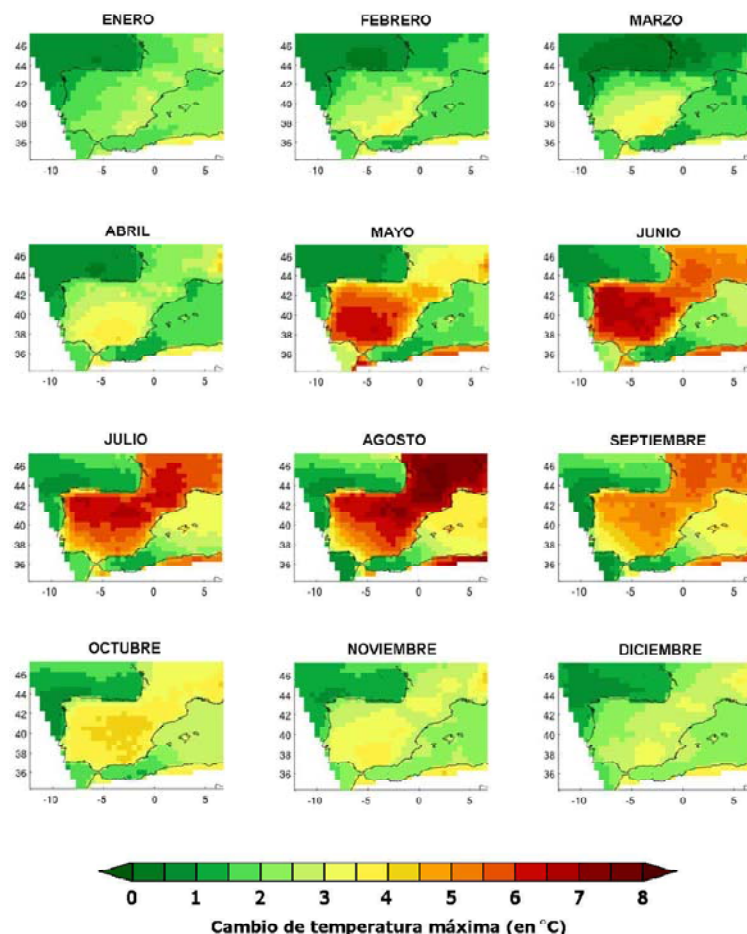
Proyecciones de los cambios relativos (en %) del promedio anual y estacional de la precipitación en cada periodo tridecenal del presente siglo con respecto al "clima actual" (1961-1990), para cuatro posibles escenarios de emisiones (B1, B2, A2, A1)



-50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 (%)

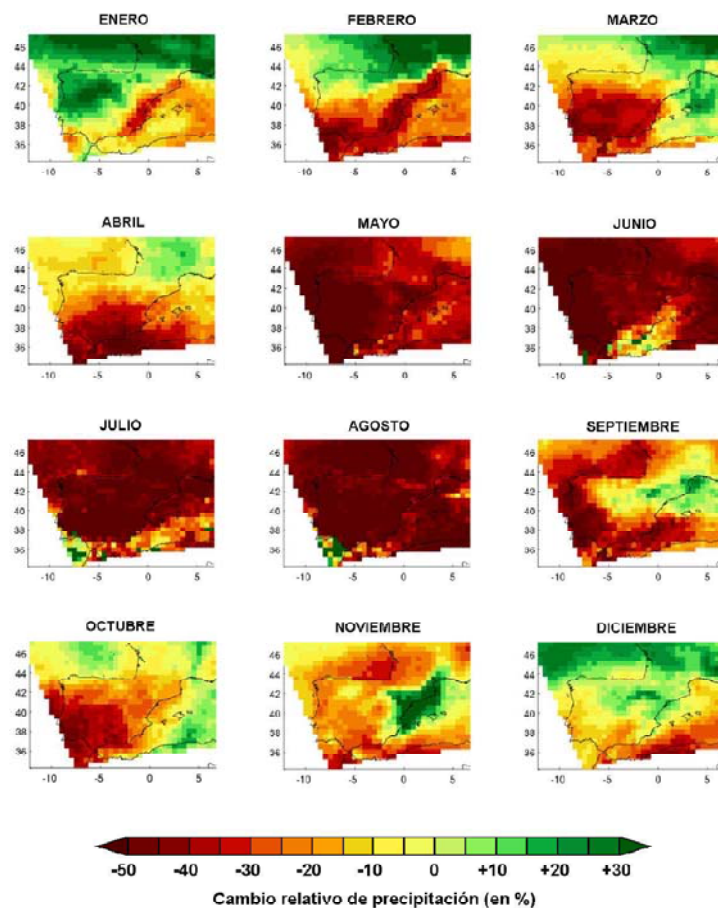
Castro, borrador 2008

Cambio medio mensual de temperatura máxima proyectado para el periodo (2071-2100) respecto al clima actual (1961-1990) por el modelo global HadAM3H y regionalizado con el promedio de los RCMs de PRUDENCE para el escenario de emisión A2.



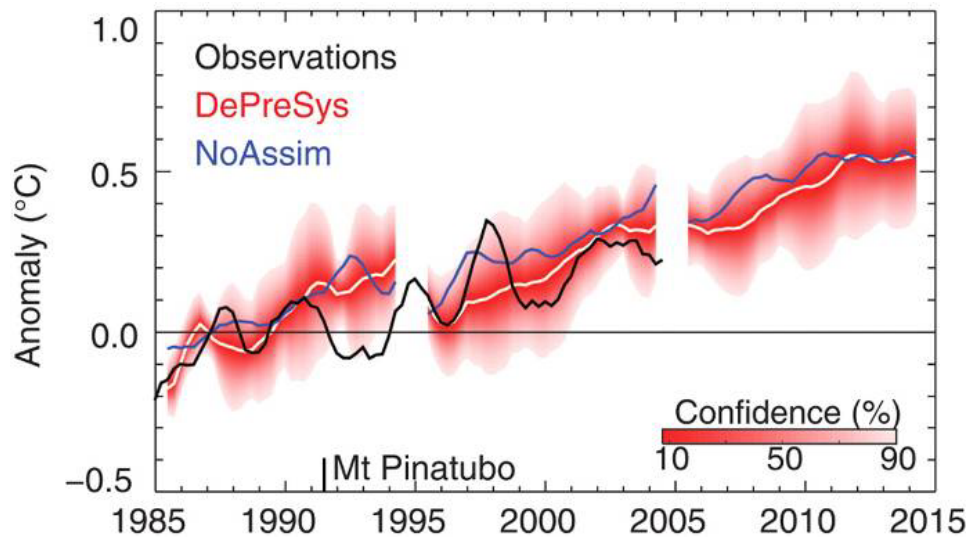
Brunet et al, 2007. MMA
GENERACION DE ESCENARIOS
REGIONALIZADOS DE CAMBIO
CLIMATICO PARA ESPAÑA

Cambio medio mensual de precipitación (%) proyectado para el periodo (2071-2100) respecto al clima actual (1961-1990) por el modelo global HadAM3H y regionalizado con el promedio de los RCMs de PRUDENCE para el escenario de emisión



Brunet et al, 2007. MMA
GENERACION DE ESCENARIOS
REGIONALIZADOS DE CAMBIO
CLIMATICO PARA ESPAÑA

Fig. 4. Globally averaged annual mean surface temperature anomaly (relative to 1979–2001) forecast by DePreSys starting from June 2005



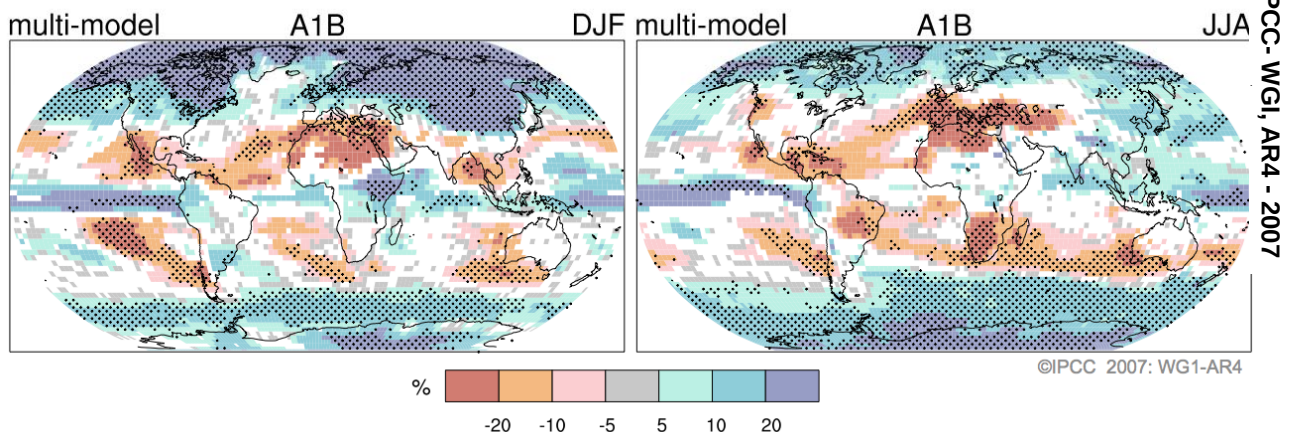
Globally averaged annual mean surface temperature anomaly (relative to 1979–2001) forecast by DePreSys starting from June 2005. The CI (red shading) is diagnosed from the standard deviation of the DePreSys ensemble, assuming a t distribution centered on the ensemble mean (white curve). Also shown are DePreSys and ensemble mean NoAssim (blue curves) hindcasts starting from June 1985 and June 1995, together with observations from HadCRUT2vOA (black curve). Rolling annual mean values are plotted seasonally from March, June, September, and December. The mean bias as a function of lead time was computed from those DePreSys hindcasts that were unaffected by Mount Pinatubo (SOM text) and removed from the DePreSys forecast (but not the hindcasts).

Published by  

Smith et al., *Science* 317, 796–799 (2007)

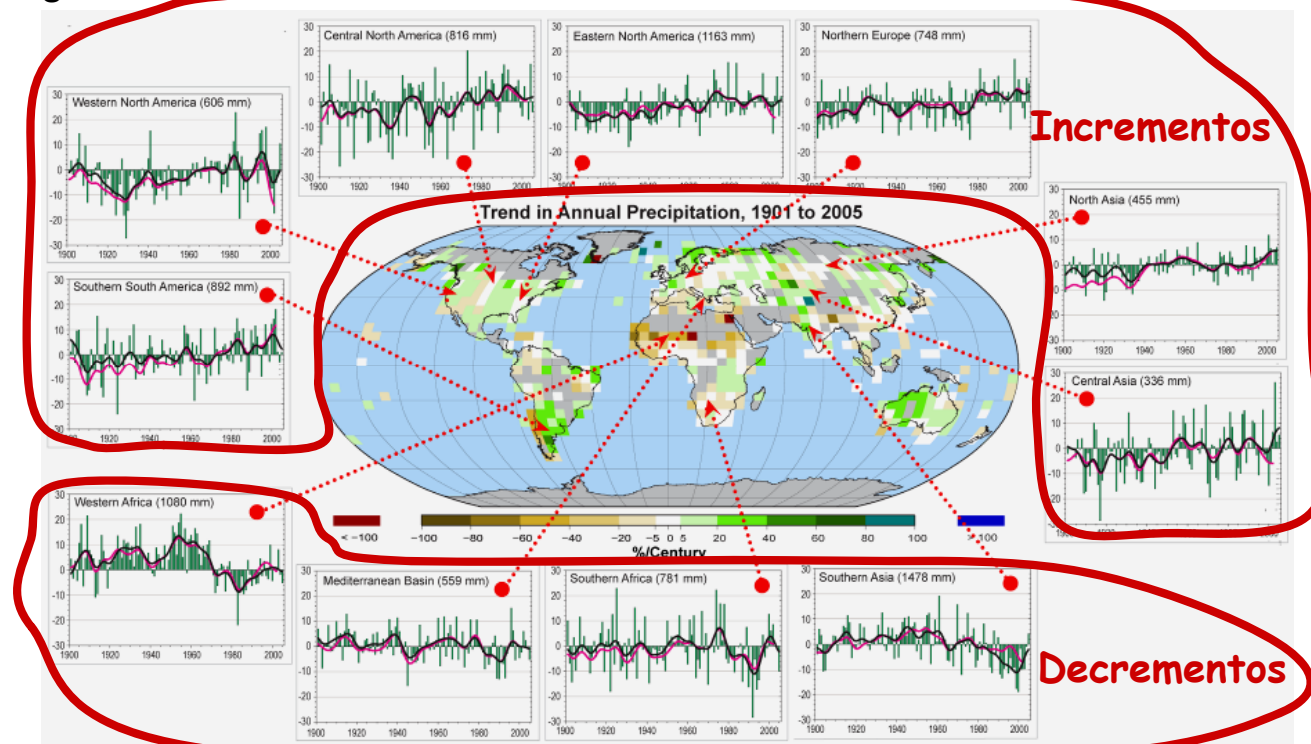
Cambios relativos en la precipitación (en porcentaje) para el periodo 2090–2099, relativo a 1980–1999, Los valores son medias multi-modelo basados en el escenario SRES A1B para Diciembre a Febrero (izquierda) y Junio a Agosto (derecha), Áreas blancas cuando menos del 66% de los modelos concuerdan en el signo de cambio y áreas punteadas cuando más del 90% de los modelos concuerdan en el signo del cambio

Patrones de cambio proyectados para la Precipitación



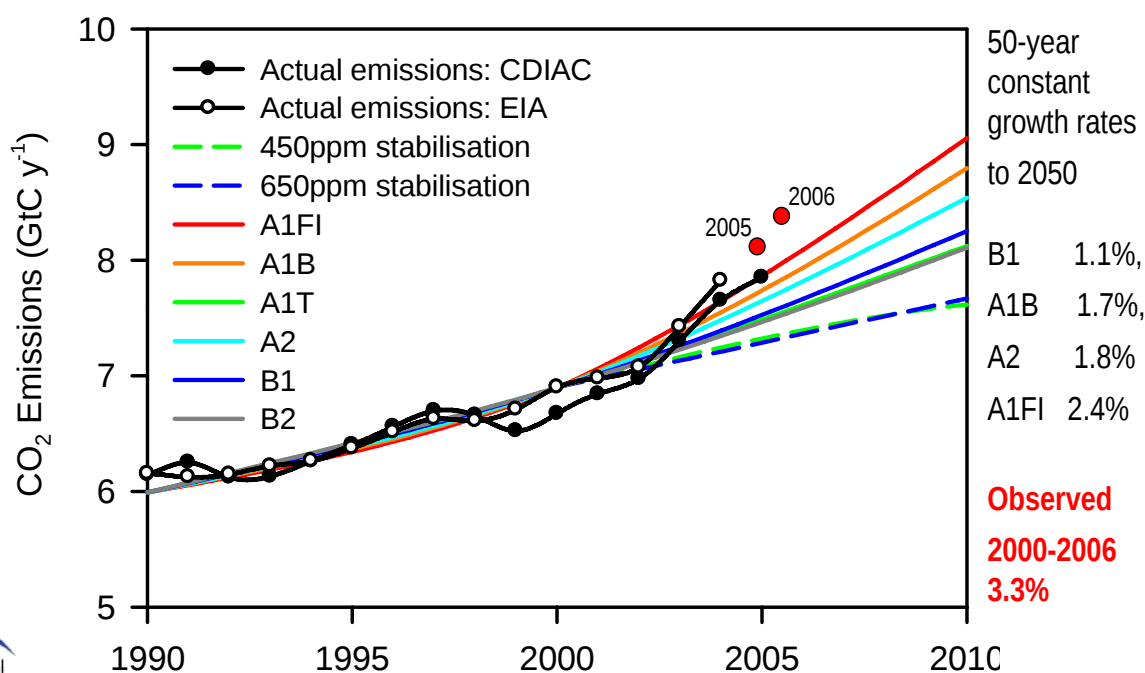
La precipitación sobre la tierra ha cambiado significativamente sobre extensas áreas

IPCC- WGI, AR4 - 2007



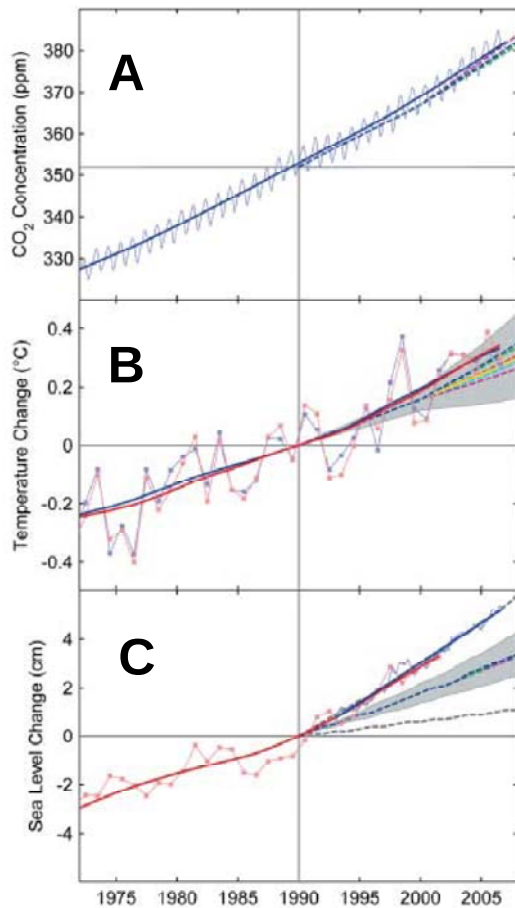
Anomalías anuales suavizadas para precipitación (%) sobre tierra desde 1900 to 2005; en otras regiones domina la variabilidad,

Trajectory of Global Fossil Fuel Emissions



Last update: 23 October 2007

Raupach et al. 2007, PNAS

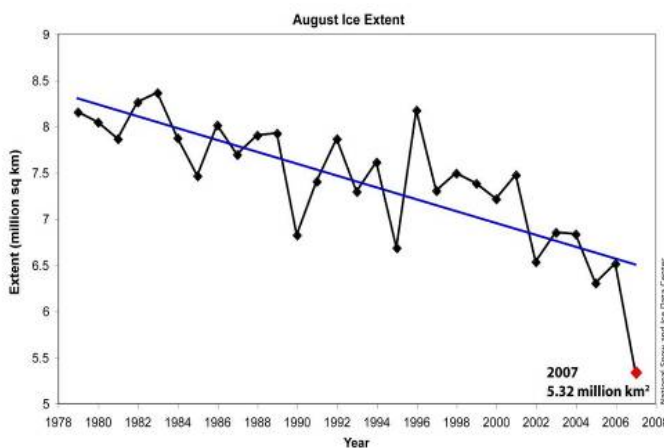


Cambios en variables climáticas clave desde 1973, comparados con los escenarios del IPCC (líneas a trazos y rangos en gris), (A) Concentración de dióxido de carbono mensual y su línea de tendencia en Mauna Loa (Hawái, azul), hasta enero 2007,, (B) Media anual global de la Temperatura combinada de Tierra y Océano del GISS (rojo) y el Hadley Centre/Climatic Research Unit (azul) hasta 2006, con sus tendencias, (C) Datos de nivel del mar, primero a partir de mareógrafos (anuales en rojo) y desde satélite altimétricos (datos trimestrales, azul, hasta mitad de 2006) y sus tendencias, Todas las tendencias son no lineares, Para la temperatura y el nivel del mar, los datos se presentan como desviaciones de la línea de tendencia de 1990, el año base de los escenarios IPCC,

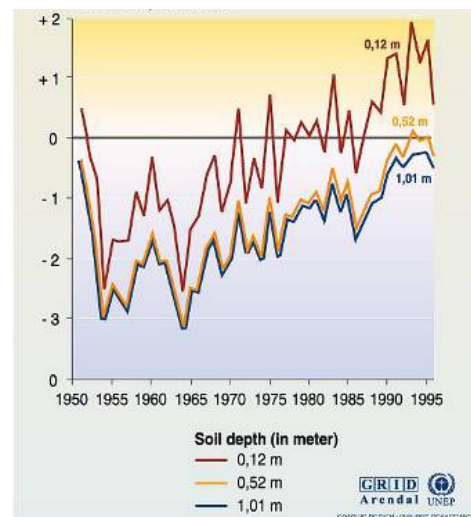
No se debe olvidar la existencia de otros riesgos: Deshielo más rápido de lo modelado; aportaciones masivas de GEI a la atmósfera provenientes de suelos ahora helados (suelos yedoma de Siberia); acidificación del mar que limitará la captación por el océano del CO₂ y dificultará la calcificación de organismos marinos; incremento del nivel del mar hasta 3 o 4 en este siglo

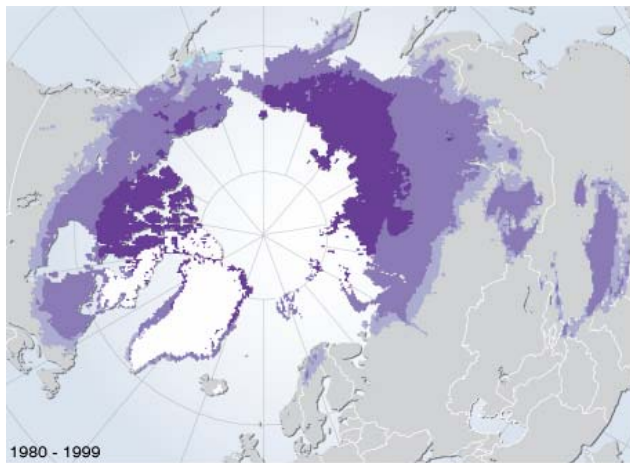
No se pueden descartar disrupciones climáticas bruscas

Extensión del hielo Marino Ártico en Septiembre
Observaciones y predicciones con modelos



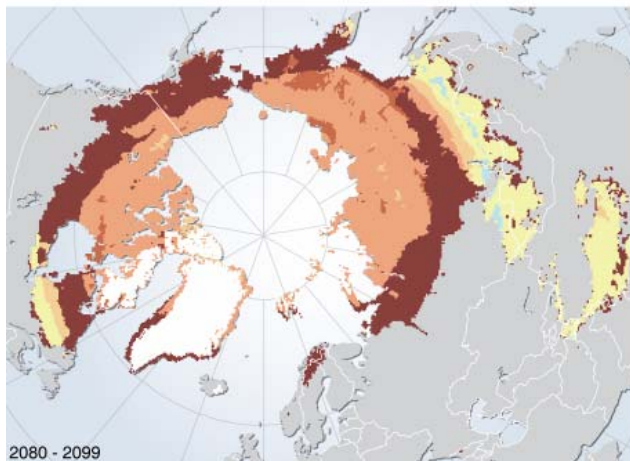
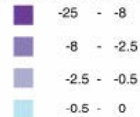
Cambio en la temperatura de la
permafrost a varias profundidades en
Fairbanks (Alaska)



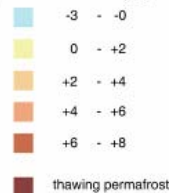


Deshielo de la permafrost del norte de Asia, y liberación del carbono orgánico retenido en los suelos yedoma

Mean annual temperature at the permafrost surface (°C)

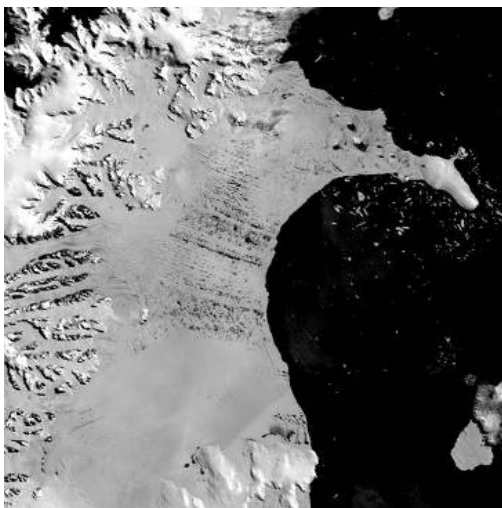
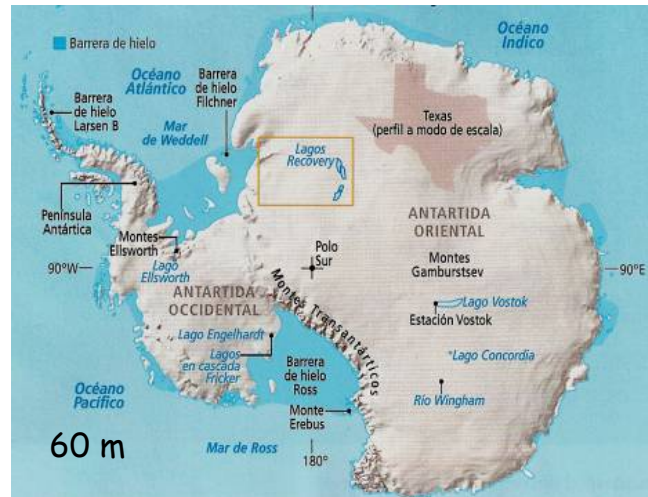


Projected change in mean annual temperature at the permafrost surface (°C)



La descomposición de los materiales orgánicos acumulados en los suelos yedoma de Eurasia podrían liberar centenares de Gt de CO₂

El deshielo del océano no eleva el nivel del mar, pero si lo provoca el deshielo de glaciares

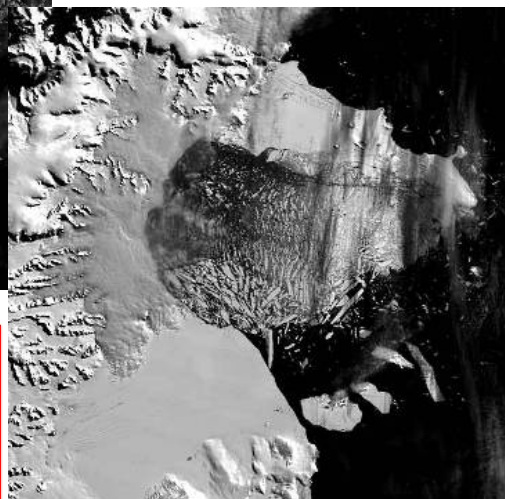
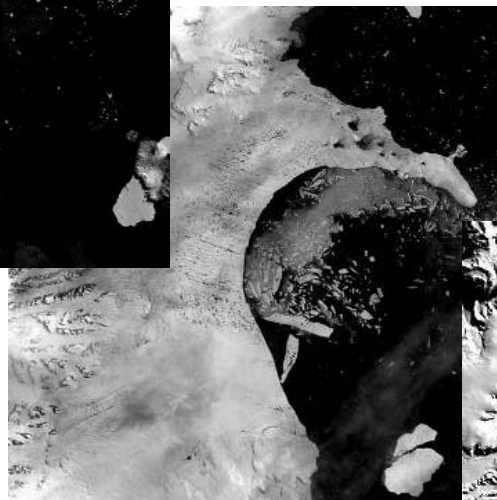


Desintegración de la plataforma de hielo Larsen B - 2002

Ene 30

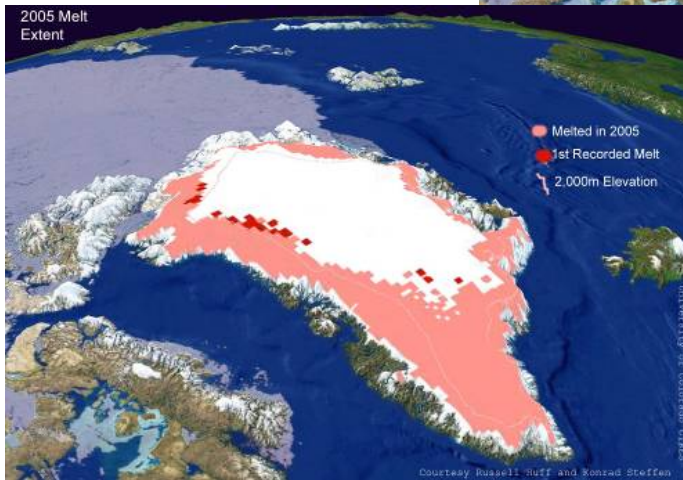
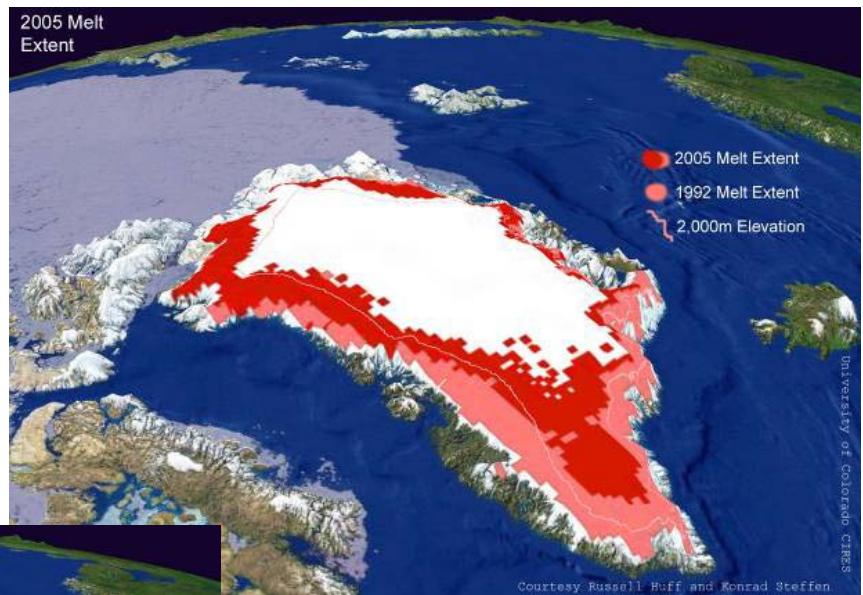
Feb 17

Mar 04



La formación de molinos, la acumulación en lagunas superficiales y el aumento de temperatura generan estos fenómenos espectaculares

El deshielo de Groenlandia se incrementó en extensión e intensidad en el 2005



También se detectaron por primera vez algunas zonas con principio de deshielo en este año

Steffen y Huff, Univ. Colorado en Boulder

Cambios en la Pérdida de masa del casquete polar de Groenlandia 10 años

Masa Glaciar	Área de drenage km ²	Balance Masas km ³ /año		
		1996	2000	2005
Oeste	521350	-21,7	-40,6	-47,0
Total	1209280	-56 ± 30	-92 ± 30	-167 ± 40
Total + BMS		-91 ± 31	-138 ± 31	-224 ± 41

Rignot et al, 2006, Science

BMS Balance Masas por Superficie

Los datos con métodos diferentes resultan coherentes

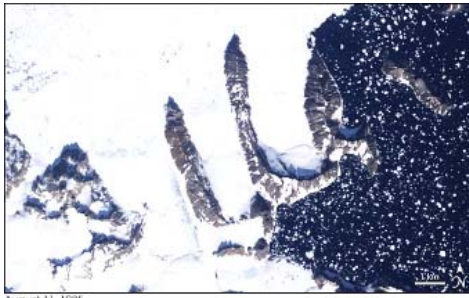
231 ± por métodos gravimétricos

Aspecto de campos de hielo en Groenlandia con deshielo muy activo



Un caso muy bien documentado





August 11, 1985



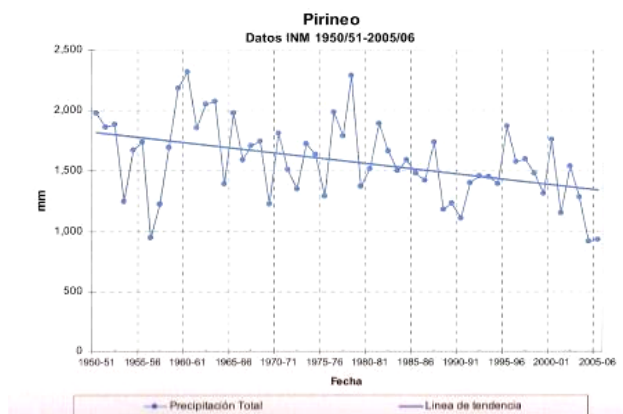
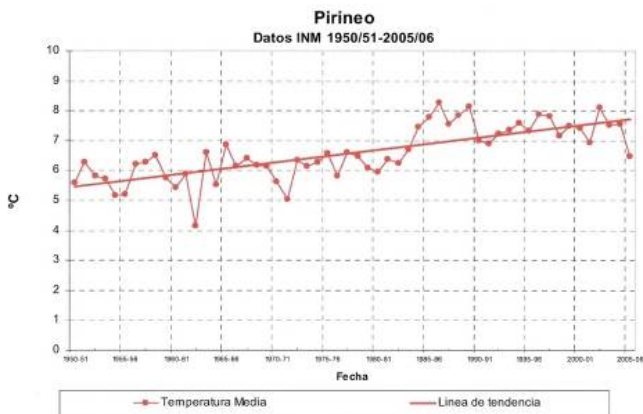
September 5, 2002



September 4, 2005

La desaparición de la cubierta de hielo en el Ártico está dejando al descubierto nuevos rasgos geográficos, como las islas de la foto

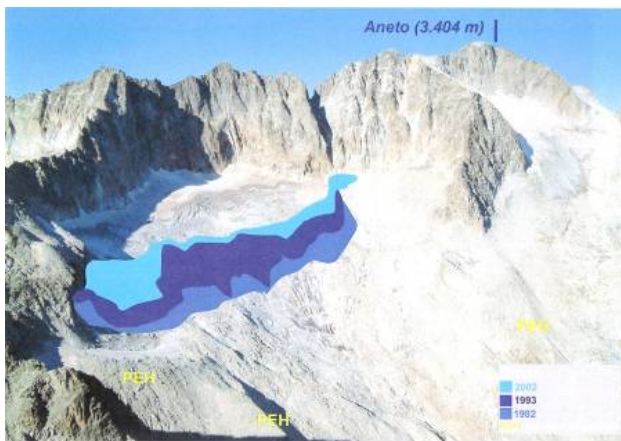
http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img_id=17664



La evolución reciente de temperatura y pluviosidad concuerdan con las proyecciones derivadas de los modelos de Cambio Climático

El resultado: cada vez habrá menos nieve, durante menos tiempo y a mayor altitud. Pero no dejarán de existir las fluctuaciones anuales

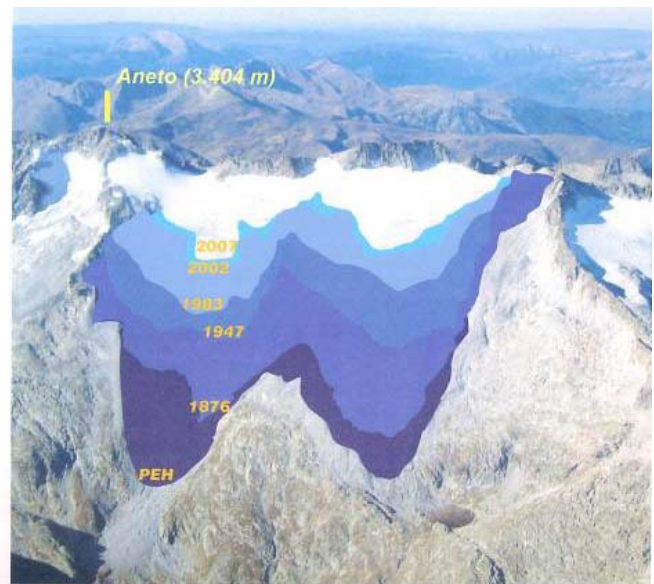
Arenillas et al (MMAMRYM), 2008



Evolución del glaciar de Tempestades 1982 - 2007. Fotografía septiembre de 2002



Evolución del glaciar de Coronas 1982 - 2007. Fotografía septiembre de 2002

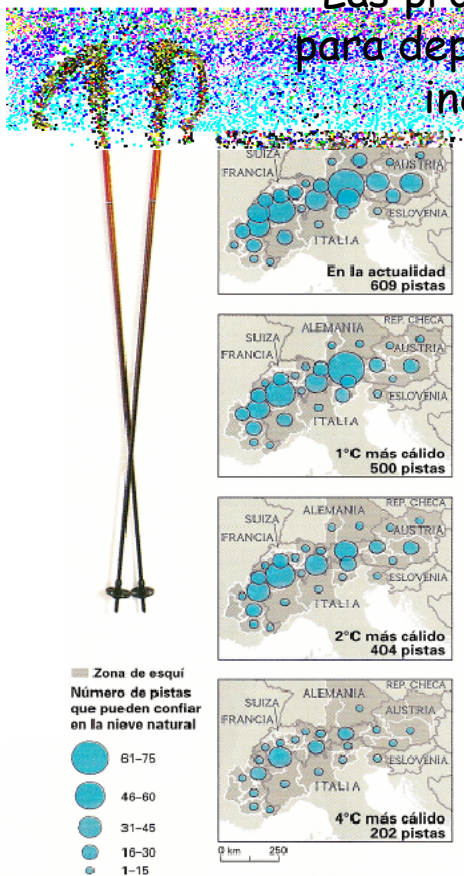


Evolución del glaciar del Aneto entre la Pequeña edad del Hielo (PEH) y la actualidad.

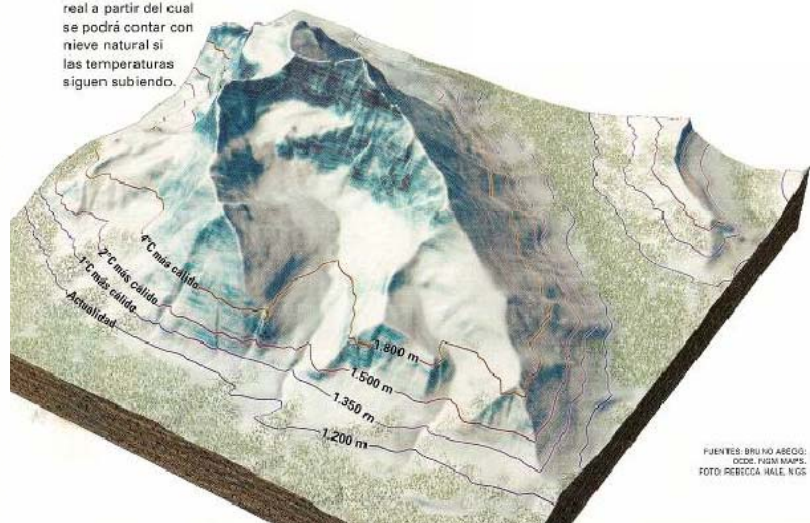
La pérdida de superficie se está controlando en Pirineos. En pocas décadas habrán desaparecido los últimos vestigios de la época fría

Arenillas et al (MMAMRYM), 2008

Las probabilidades de disponer de nieve para deportes de invierno se reduce con el incremento de la temperatura



En este imaginario pico alpino, las líneas muestran el límite real a partir del cual se podrá contar con nieve natural si las temperaturas siguen subiendo.



FUENTES: BRUNO ABEIG;
OCDE, PNM MAPS;
FOTO: PIRELLA GÖTTSCHE LOWE

Probabilidad de disponer de nieve natural y elevación de la cota de nieve en relación a la temperatura en Europa

National Geographic, Enero 2008

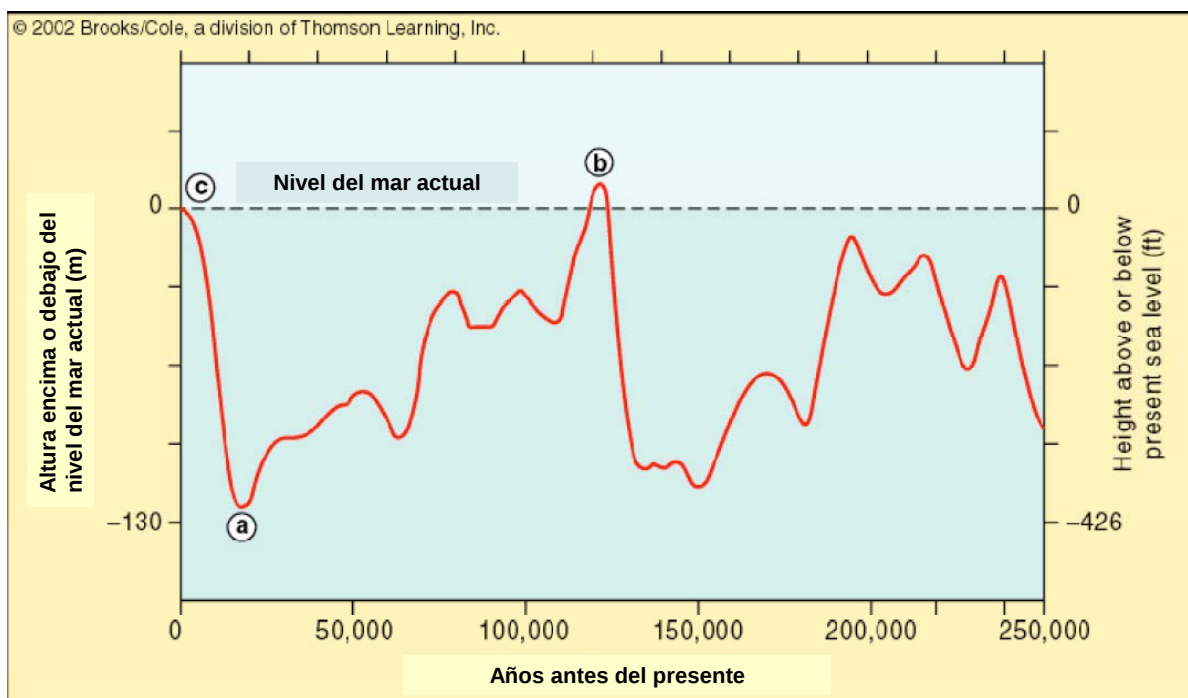
Algunos sucesos que eran relativamente frecuentes no se observan en la actualidad



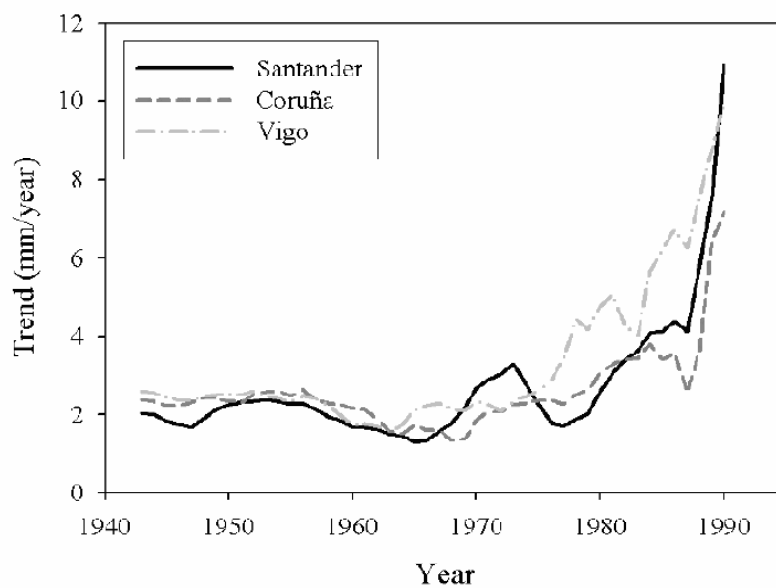
El antiguo refugio de Vega Redonda en 1978, con más de 4 m, de nieve acumulada,
Foto: Juan José Iglesias Arrieta

Nos queda un motivo de preocupación severa

**El nivel del mar era entre 4 y 6 metros superior al actual
hace 120000 años, durante un periodo en el que la
concentración de CO₂ era inferior al actual**



Consistencia de las series de nivel del mar en la costa Norte de España

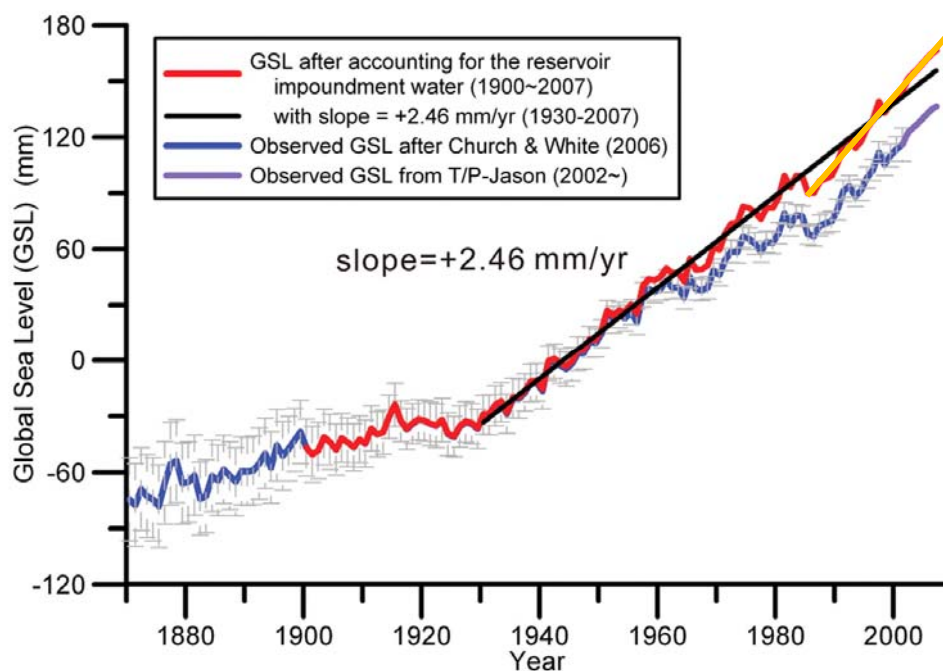


Marcos et al 2005 (a partir de mareógrafos del IEO)

Las zonas bajas , sobre todo Megadeltas pueden verse seriamente afectadas

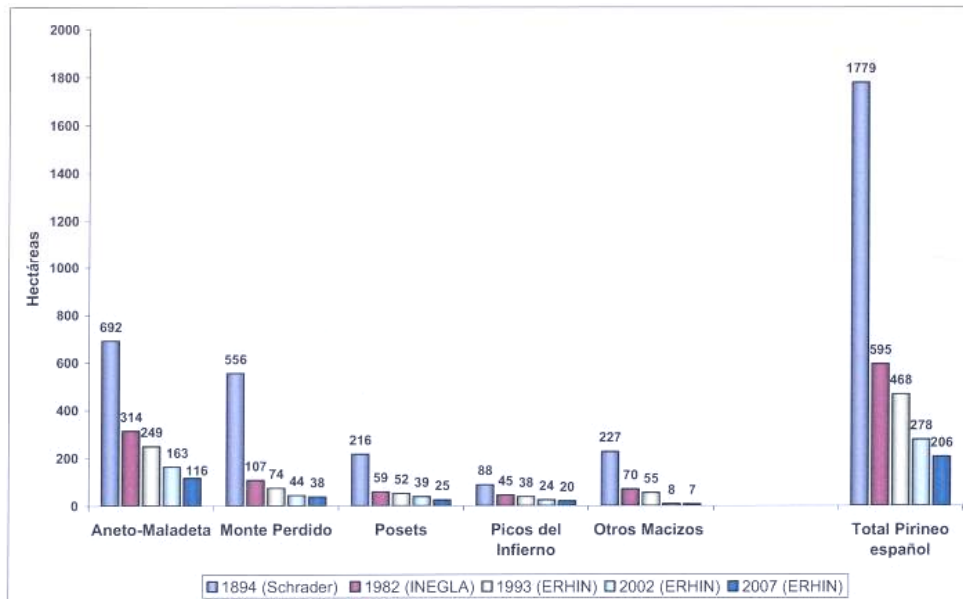
2

Fig. 4. The blue curve with error bar is the observed GSL history [(1, 25); zero level is arbitrary], with a purple segment from altimetry data (23) spliced on for the past few years after adjusting a vertical offset



B. F. Chao et al., Science 320, 212 -214 (2008)

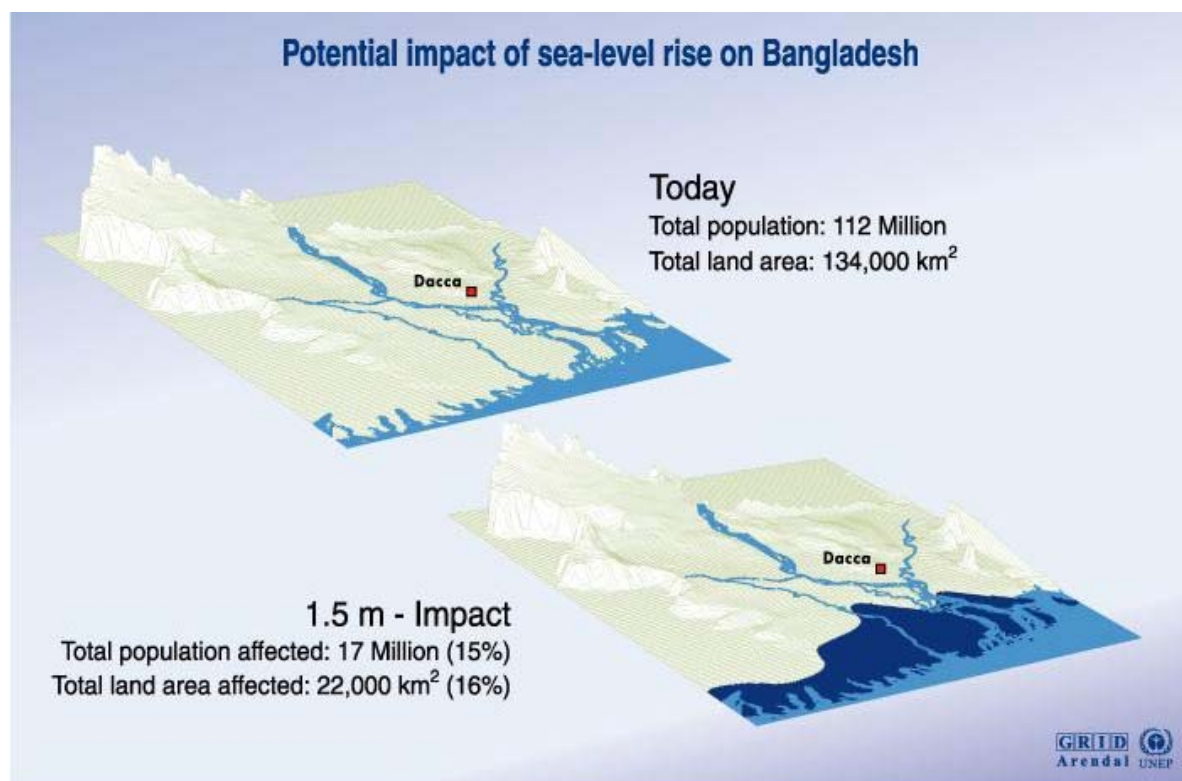
El balance en los glaciares de menor innivación y mayor temperatura es su reducción, muy acelerada en los glaciares de la Península, y en general de todo el mundo menos parte de la Antártida



Evolución de las superficies glaciares del Pirineo Español por macizos.

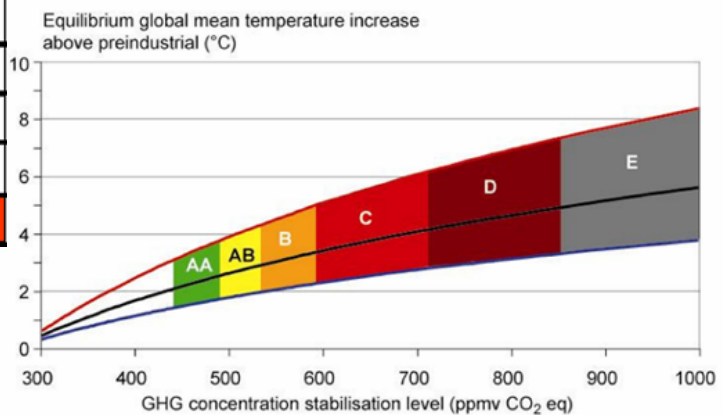
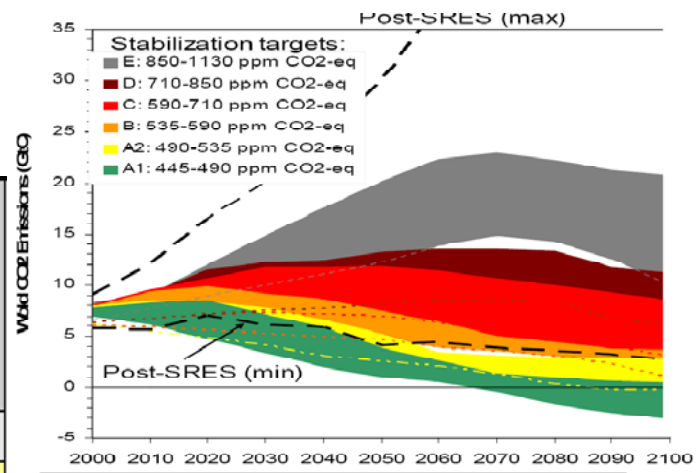
Arenillas et al (MMAMRYM), 2008

Escenarios de transgresión del nivel del mar para Bangladesh



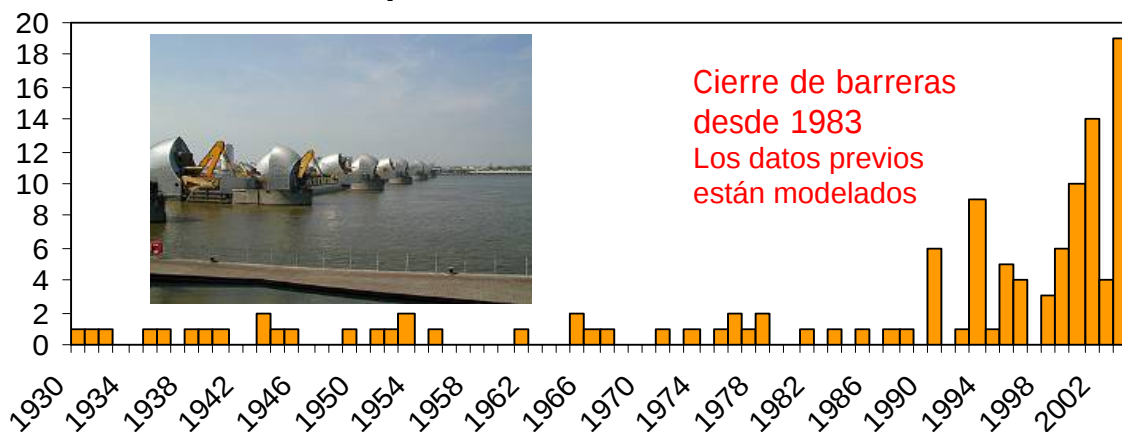
Source : UNEP/GRID Geneva; University of Dacca; JRO Munich; The World Bank; World Resources Institute, Washington D.C.

CO ₂ concentration at stabilization (2005 = 379 ppm) ^(b)	CO ₂ -equivalent Concentration at stabilization including GHGs and aerosols (2005 = 375 ppm) ^(b)	Global average sea level rise above pre-industrial at equilibrium from thermal expansion only ^(f)	Number of assessed scenarios
ppm	ppm	metres	
350 – 400	445 – 490	0.4 – 1.4	6
400 – 440	490 – 535	0.5 – 1.7	18
440 – 485	535 – 590	0.6 – 1.9	21
485 – 570	590 – 710	0.6 – 2.4	118
570 – 660	710 – 855	0.8 – 2.9	9
660 – 790	855 – 1130	1.0 – 3.7	5



AR4, IPCC 2007

Las actividades de protección se incrementan anualmente
Ejemplo: EL número de veces que se cierran las barreras de protección del Támesis



UK Environment Agency http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/103601/i2_flood_c4_dt.xls

Barreras de Rotterdam

También tenemos que tomar decisiones que supongan una adaptación a nuevos escenarios. Un ejemplo de decisión ¿Incrementar los diques? ¿No construir en zonas anegables? ¿Dejar que parte del territorio se pueda inundar y construir nuevas ciudades y huertos flotantes?

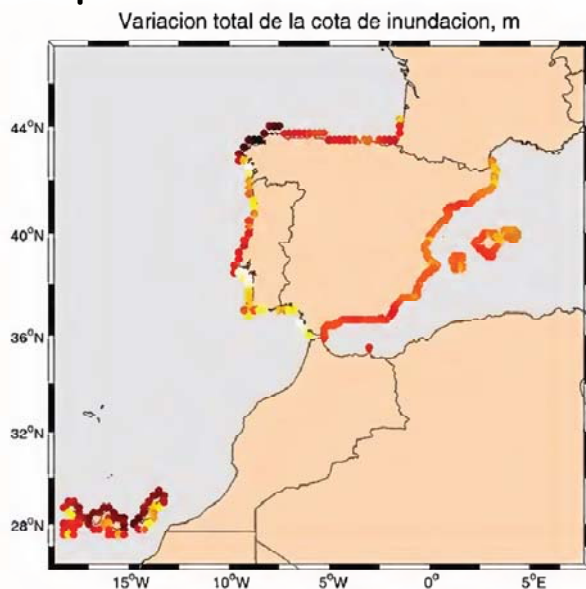


Zonas anegadas de Holanda en las graves inundaciones de 1953

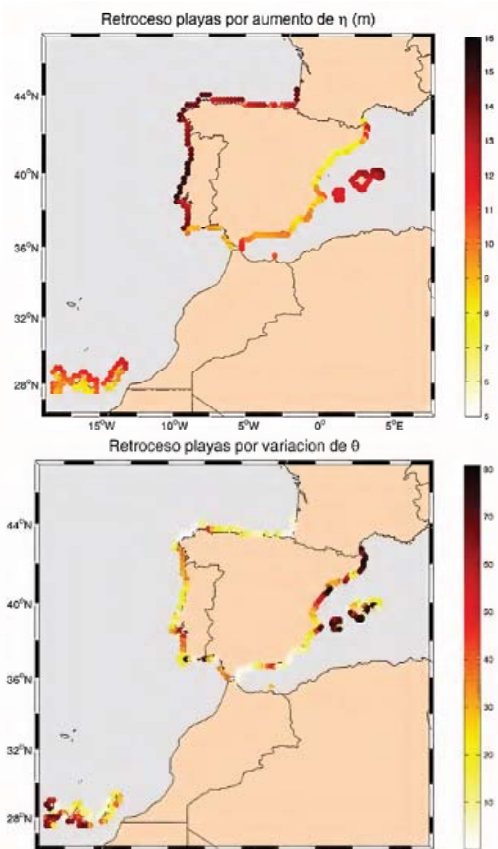


Solución tomada ante este hecho, construir diques para evitar las inundaciones. En 2002 estuvieron a 40 cm de ser rebasadas

Sea level rise could affect to many low areas with soft substrate. Many areas of the Iberian Peninsula could be damaged in the future. Adaptive actions must be activated



2.5 Variación neta de la cota de inundación a lo largo del litoral español.



2.7 Retroceso de las playas por variación de la dirección del flujo medio de energía.

EFFECTOS APRECIABLES EN ALGUNAS COSTAS

Lamentablemente, creo que mi alarmismo esta justificado, si tenemos en cuenta que conocemos esto desde hace 14 años y cuando estuvimos aquí, un año después de Mich, vimos hasta donde había llegado el mar y los destrozos producidos, pero había vuelto "a su sitio" y tormentas siempre las hubo y causaban daños, pero no había este avance tan rápido que ahora hay.

Juan José Iglesias, Enero de 2008
Cahuita (Costa Rica)



También en las costas
tropicales, como en la costa
del Caribe de Costa Rica



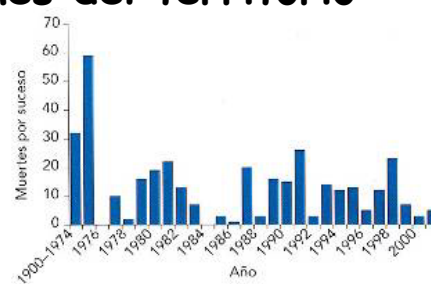
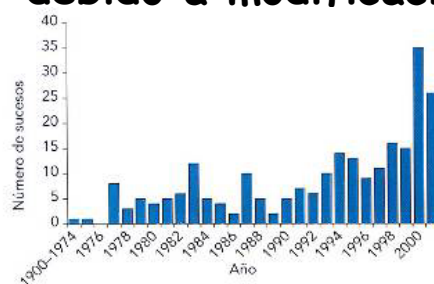
Foto: Juan José Iglesias Arrieta

Cambio en el número y porcentaje de huracanes y tifones de categorías 4 y 5 entre dos periodos de 15 años 1975-1989 y 1990-2004 para diferentes cuencas oceánicas

	Periodo			
	1975-1989		1990-2004	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
Océano Pacífico Este	36	25	49	35
Océano Pacífico Oeste	85	25	116	41
Atlántico Norte	16	20	25	25
Pacífico Sudoeste	10	12	22	28
Indico Norte	1	8	7	25
Indico Sur	23	18	50	34

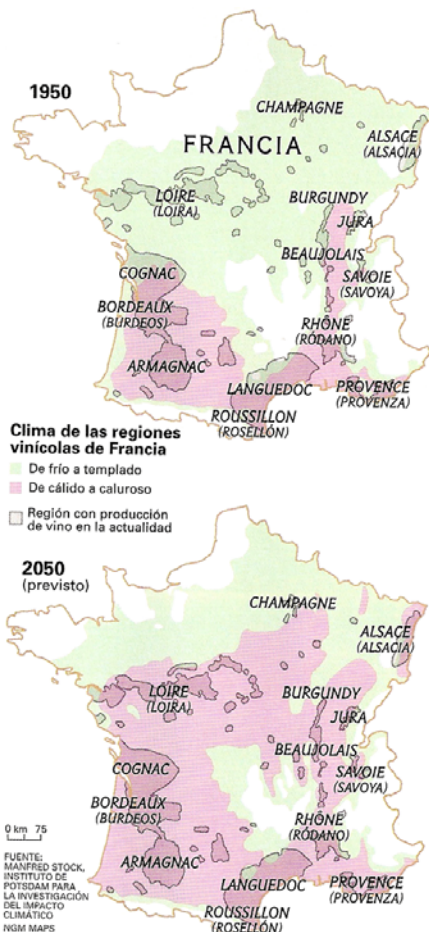
Webster et al, 2005 Science

Las inundaciones se han incrementado en Europa, en parte por cambios en la pluviosidad, y en parte debido a modificaciones del territorio



Nota: Por inundaciones se entienden riadas, desbordamientos de ríos y mareas tormentosas en Europa (1976-2001).
Fuente: OMS, 2003a.





CAMBIO CLIMÁTICO Y VITICULTURA, 1950-2099



Los cambios climáticos afectarán a la distribución de cultivos y de variedades de muchas especies cultivadas, como el cultivo de la vid

National Geographic, 2007

son previsibles cambios en la distribución de especies y ecosistemas



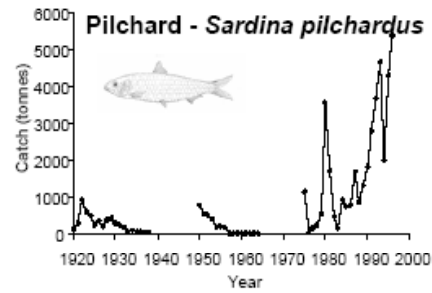
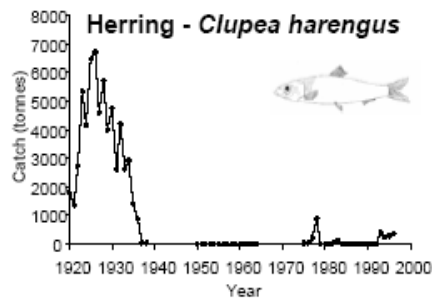
Forest composition current and projected ranges of beech trees in North America



Distribución actual y proyectada de las hayas de Norte América, según las previsiones de dos modelos climáticos

Otro ejemplo, distribución general dos especies explotadas de peces pelágicos

Cambios en los desembarcos en el puerto de Plymouth, reflejo de los cambios de distribución de las especies



Hawkins, 2005

Arenque



Sardina



EN RESUMEN, LOS PROBLEMAS SE INCREMENTARÁN CON EL AUMENTO DE LA TEMPERATURA DE LA TIERRA Y LOS OCÉANOS

PRINCIPALES EFECTOS DEL AUMENTO DE LA TEMPERATURA				
Incremento de la Temp.	La alimentación	El agua	Ecosistemas	Impactos abruptos
+ 1°C	Reducción de cosechas, principalmente en los países en desarrollo	Deshielo de glaciares, problemas de abastecimiento de agua en algunas regiones	Daños en el 80% del arrecife de coral	La circulación atlántica termohalina comienza a debilitarse
+ 2°C	Reducción de cosechas, en latitudes nortías	Reducción del agua disponible en un 20-30%	Muchas especies en peligro de extinción	Comienzan a derretirse los hielos perpetuos de Groenlandia
+ 3°C	La producción se reduce en África y Australia entre el 35 y el 50%	Entre 1.000 y 4.000 millones de personas sufren desabastecimiento	Grave deforestación de la Amazonia	Cambios en la circulación atmosférica, como p.ej. los monzones
+ 4°C	Aumenta la acidez en los océanos y se reduce la pesca	El aumento del nivel del mar amenaza las poblaciones costeras	Pérdida de la mitad de la tundra Ártica	Riesgo de colapso de la circulación termohalina (Corriente del Golfo)
+ 5°C	Superior a 5°C	Un aumento de esta magnitud tendría impactos catastróficos. Desde que los hombres pueblan la Tierra, nunca se han alcanzado estas temperaturas		

Los daños económicos relacionados con el clima se han incrementado

