#### Energía y Medio Ambiente Global

# Cambio Climático: observación y proyecciones

e.rodriguez@inm.es





- Introducción
- Evidencias observacionales. Impactos observados en diferentes sistemas.
- Causas del cambio climático.
- Incertidumbres
- Proyecciones globales y regionales
- Conclusiones

# OBSERVACION DIRECTA DEL CAMBIO CLIMATICO RECIENTE

El calentamiento del sistema climático es

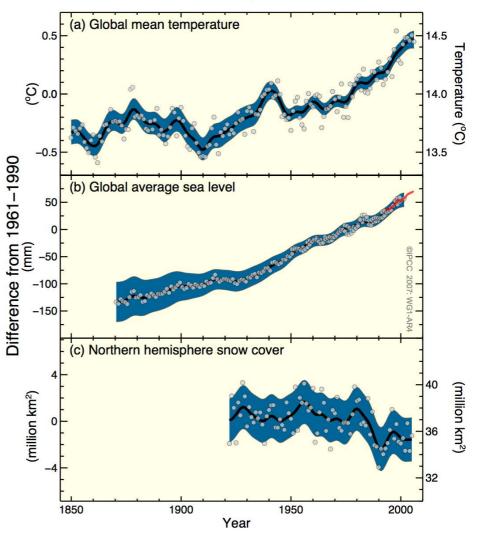
## inequívoco,

tal y como se evidencia de las observaciones del incremento de las temperaturas globales medias del aire y del océano, de la fusión de las nieves y hielos y de la elevación global del nivel medio del mar

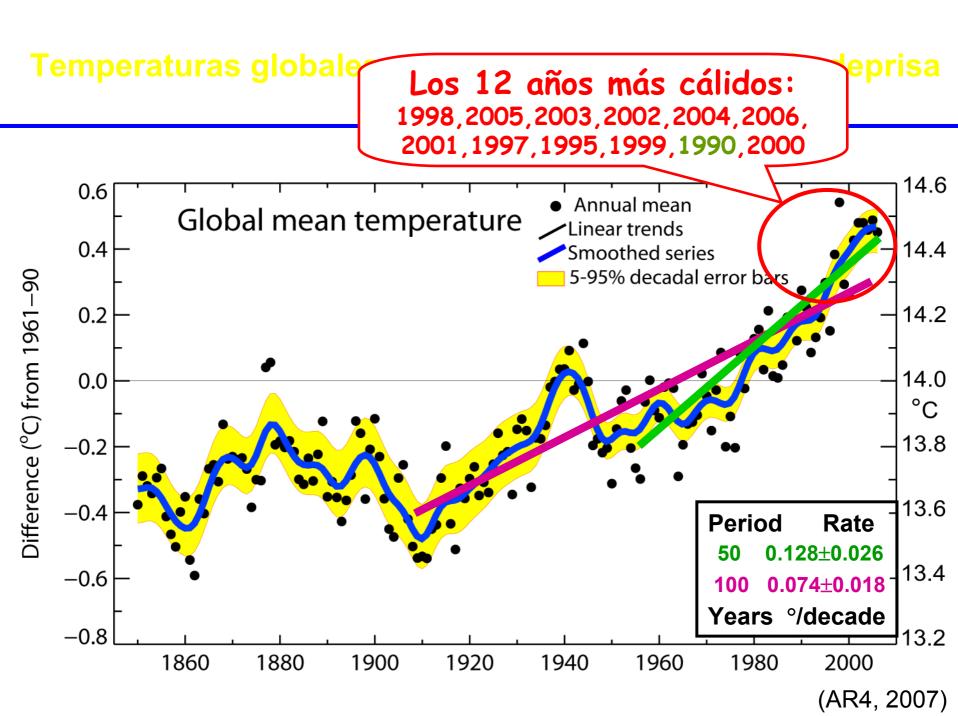
(IPCC-AR4 dixit).

## Observación directa del cambio climático reciente

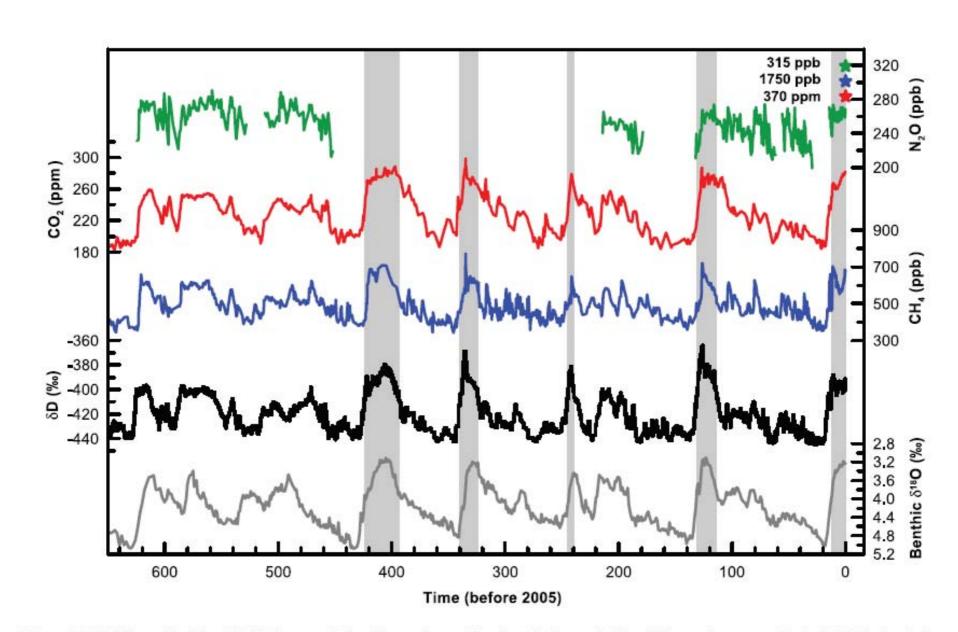
Changes in Temperature, Sea Level and Northern Hemisphere Snow Cover



(AR4, 2007)



## Los últimos 600 000 años (IPCC-AR4, 2007)



### Cambio de temperaturas en España (I)

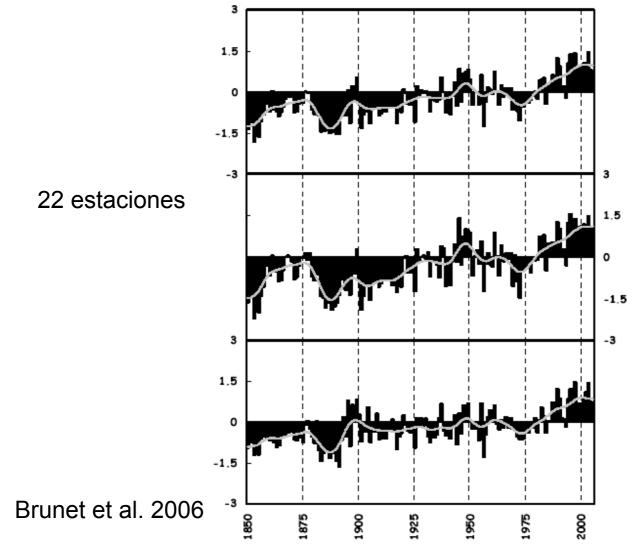


Figura 2.1.- Variaciones interanuales (1850-2005) de las anomalías promedio anual de las temperaturas medias (panel superior), máximas (panel intermedio) y mínimas (panel inferior) diarias (columnas en negro), suavizadas por un filtro Gausiano de 13-términos (línea gris)

## Cambio de temperaturas en España (II)

Tabla 2.1.- Tendencias anuales y estacionales de las temperaturas diarias (en °C/década) junto a sus intervalos de confianza al 95% calculadas para diversos periodos. En negrita (italica) coeficientes significativos al 1% (5%).

Periodos	1850-2005	1901-2005	1901-1949	1950-1972	1973-2005
Periodos   1850-2005   1901-2005   1901-1949   1950-1972   1973-2005   Temperaturas medias diarias					
0.10 0.13 0.22 0.10 0.48					
Anual	(0.08/0.12)	(0.10/0.16)	(0.11/0.31)	(-0.53/0.12)	(0.36/0.66)
Invierno	0.10	0.14	0.10	0.11	0.27
	(0.07/0.14)	(0.08/0.20)	(-0.08/0.32)	(-0.58/0.68)	(-0.09/0.56)
Primavera	0.08	0.12	0.25	-0.52	0.77
	(0.05/0.12)	(0.06/0.17)	(0.06/0.43)	(-1.03/0.05)	(0.54/0.97)
Verano	0.09	0.13	0.23	-0.29	0.67
	(0.06/0.11)	(0.08/0.18)	(0.07/0.38)	(-0.71/0.13)	(0.41/0.92)
Otoño	0.10	0.12	0.26	-0.08	0.29
	(0.07/0.13)	(0.08/0.17)	(0.09/0.42)	(-0.57/0.53)	(0.02/0.58)
Temperaturas máximas diarias					
Anual	0.11	0.17	0.37	-0.28	0.51
	(0.09/0.14)	(0.13/0.21)	(0.25/0.46)	(-0.74/0.16)	(0.34/0.66)
Invierno	0.12	0.16	0.18	-0.04	0.35
	(0.09/0.15)	(0.10/0.21)	(-0.02/0.36)	(-0.61/0.62)	(0.06/0.60)
Primavera	0.11	0.17	0.37	-0.62	0.82
	(0.06/0.15)	(0.11/0.23)	(0.16/0.60)	(-1.38/0.09)	(0.53/1.15)
Verano	0.10	0.18	0.44	-0.30	0.73
	(0.06/0.13)	(0.12/0.24)	(0.27/0.64)	(-0.88/0.17)	(0.43/1.04)
Otoño	0.12	0.17	0.44	-0.12	0.13
	(0.09/0.15)	(0.10/0.22)	(0.26/0.64)	(-0.84/0.70)	(-0.17/0.47)
Temperaturas mínimas diarias					
Anual	0.08	0.09	0.08	-0.13	0.47
	(0.06/0.10)	(0.06/0.12)	(-0.02/0.18)	(-0.51/0.14)	(0.31/0.65)
Invierno	0.09	0.12	0.06	0.15	0.06
	(0.06/0.13)	(0.05/0.19)	(-0.15/0.24)	(-0.56/0.78)	(-0.28/0.62)
Primavera	0.07	0.08	0.15	-0.19	0.66
	(0.04/0.09)	(0.03/0.13)	(0.01/0.31)	(-0.72/0.29	(0.46/0.84)
Verano	0.08	0.09	0.00	-0.26	0.62
	(0.05/0.10)	(0.04/0.13)	(-0.13/0.14)	(-0.60/0.08)	(0.38/0.93)
Otoño	0.08	0.08	0.09	-0.13	0.43
	(0.05/0.11)	(0.04/0.13)	(-0.06/0.25)	(-0.41/0.33)	(0.18/0.77)

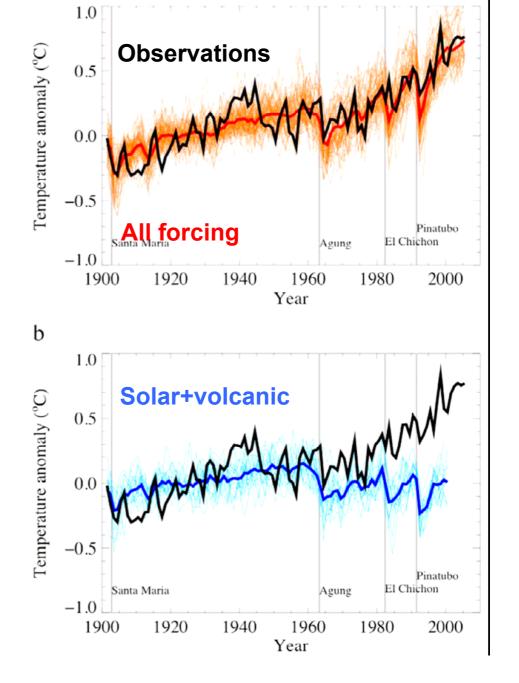
Brunet et al. 2006

## Y el futuro, ¿qué?

- Hasta ahora se han presentado hechos: observaciones.
- La única duda que cabría es la de la causa del calentamiento global -> estudios de atribución
- ¿Cómo podemos estimar la evolución futura del sistema climatico?
  - → Proyecciones climáticas con AOGCMs

### **Atribucion**

- Son los cambios observados consistentes con
- ☑ Respuestas esperadas a forzamientos
- Inconsistentes con las explicaciones alternativas



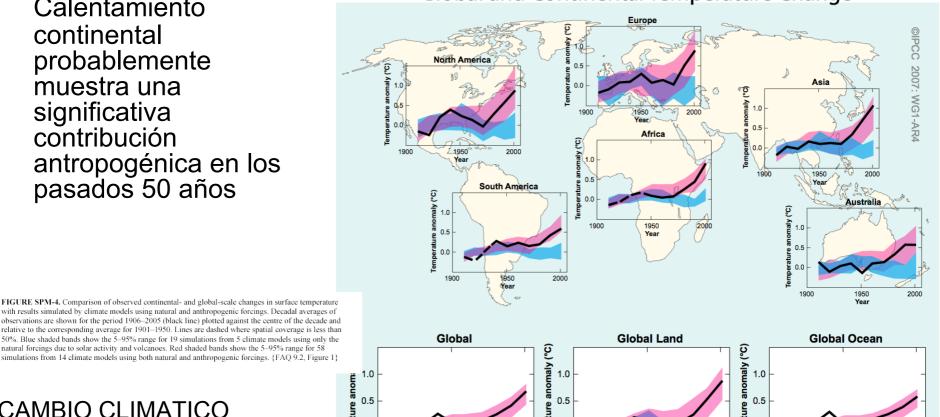
#### Comprensión y atribución del cambio climático

Calentamiento continental probablemente muestra una significativa contribución antropogénica en los pasados 50 años

FIGURE SPM-4. Comparison of observed continental- and global-scale changes in surface temperature with results simulated by climate models using natural and anthropogenic forcings. Decadal averages of observations are shown for the period 1906-2005 (black line) plotted against the centre of the decade and relative to the corresponding average for 1901-1950. Lines are dashed where spatial coverage is less than 50%. Blue shaded bands show the 5-95% range for 19 simulations from 5 climate models using only the natural forcings due to solar activity and volcanoes. Red shaded bands show the 5-95% range for 58

#### **CAMBIO CLIMATICO** MUY PROBABLEMENTE (90%) DE ORIGEN **ANTROPOGENICO (AR4)**

Global and Continental Temperature Change



Most of the observed increase in globally averaged temperatures since the mid-20th century is very likely due to the observed increase in anthropogenic greenhouse gas concentrations<sup>12</sup>. This is an advance since the TAR's conclusion that "most of the observed warming over the last 50 years is likely to have been due to the increase in greenhouse gas concentrations". Discernible human influences now extend to other aspects of climate, including ocean warming, continental-average temperatures, temperature extremes and wind patterns (see Figure SPM-4 and Table SPM-1). {9.4, 9.5}

1950

2000

1900

1950

2000

0.0

1900

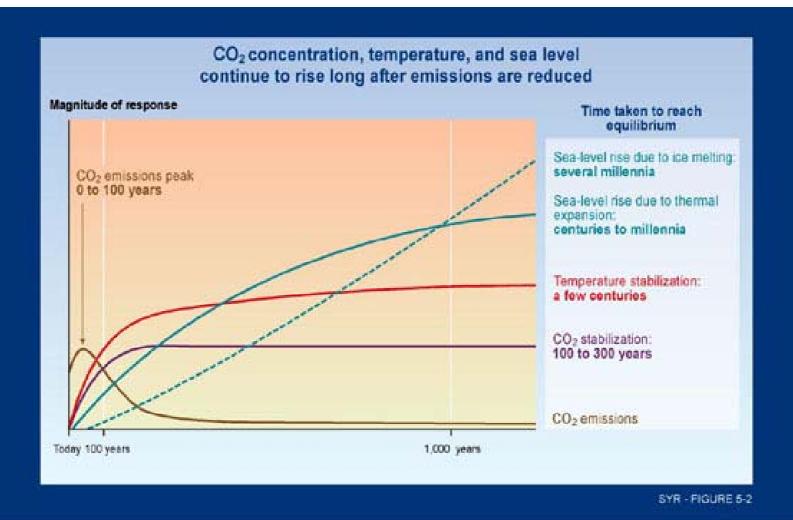
2000

1950

1900

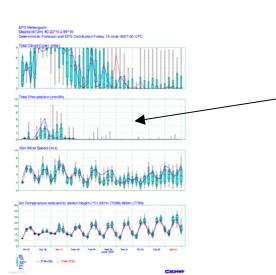
(AR4-IPCC, 2007)

### Inercia del sistema climático



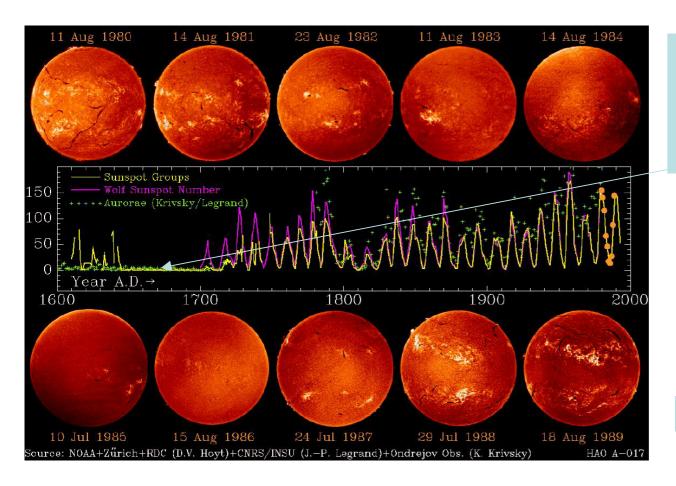
# Uncertainties in climate change projections

- Natural forcing (sun, volcanoes)
- GHG emissions
- GHG concentrations
- AOGCM differences
- Internal variability (IC dependency)
- New processes
- Downscaling techniques



- The uncertainty studies are something relatively new in atmospheric sciences. Only recently uncertainty (probabilistic approach) was introduced in our forecasts/projections
- Dealing with lack of knowledge and uncertainties → a task for risk management

## FORZAMIENTO NATURAL EXTERNO DEL SISTEMA CLIMATICO: CICLOS SOLARES

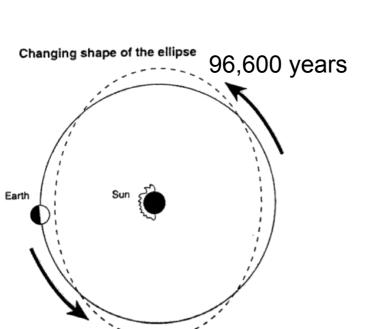


Mínimo de Maunder:

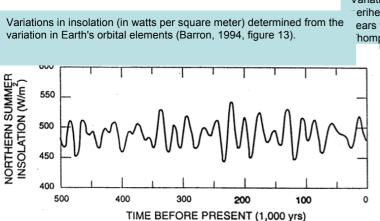
0.5% diferencia respecto a finales s.XX

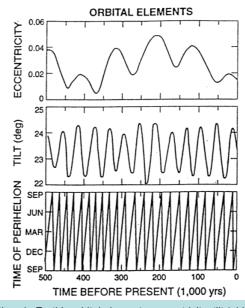
11-year Sunspot Cycle and observational record back to AD 1610 (Source: NCAR-HAO)

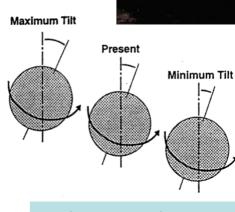
#### FORZAMIENTO NATURAL DEL SISTEMA CLIMATICO: ciclos de Milankovitch



Variations in insolation (in watts per square meter) determined from the variation in Earth's orbital elements (Barron, 1994, figure 13).

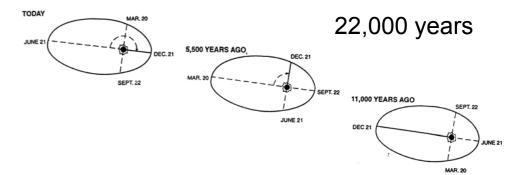






22° to 24.5°, over 41,000 years

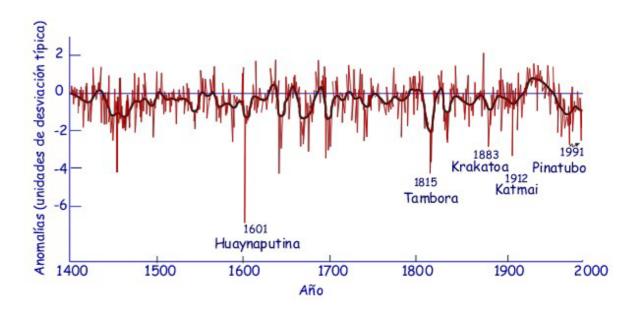
Variations in Earth's orbital elements, eccentricity, tilt (obliquity), and time of erihelion (precession of the equinoxes) computed for the last 500,000 ears with a computer program written by Tamara Ledley and Starley hompson (Barron, 1994, figure 12).



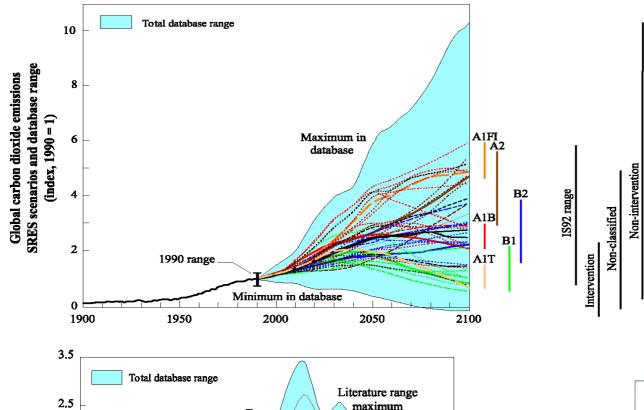
## FORZAMIENTO NATURAL INTERNO DEL SISTEMA CLIMATICO: ACTIVIDAD VOLCANICA



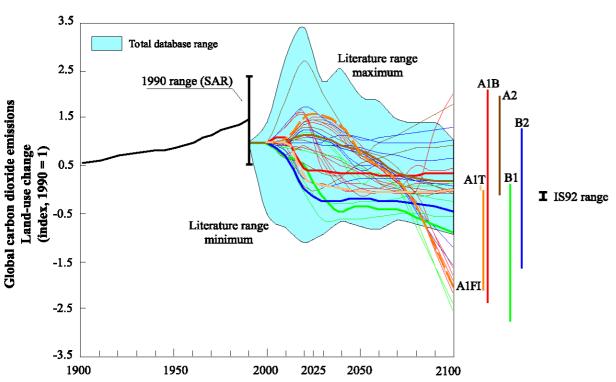


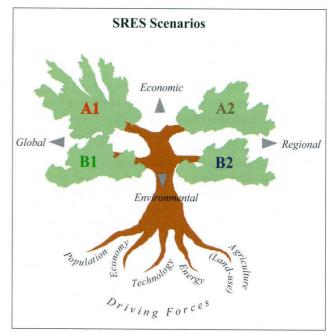


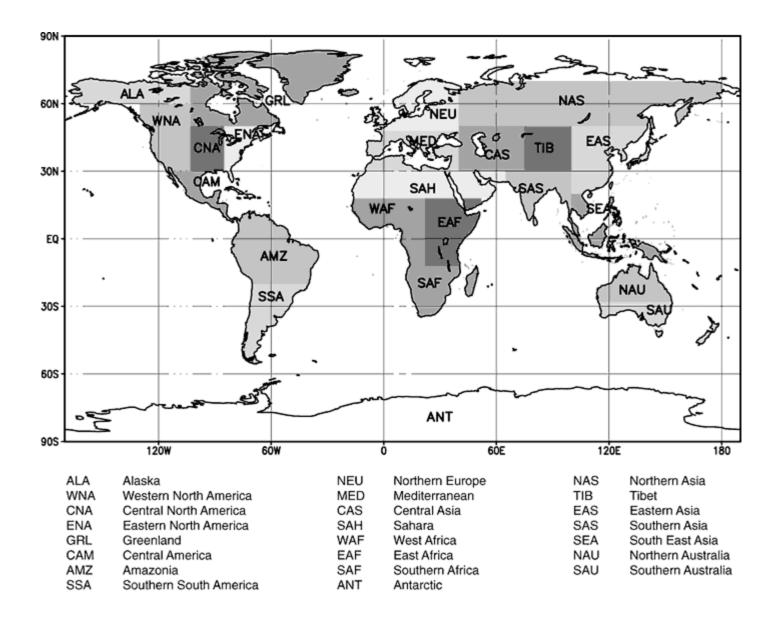
Fuente: Briffa K. et al., 1998, Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years, Nature, 393, 450-456

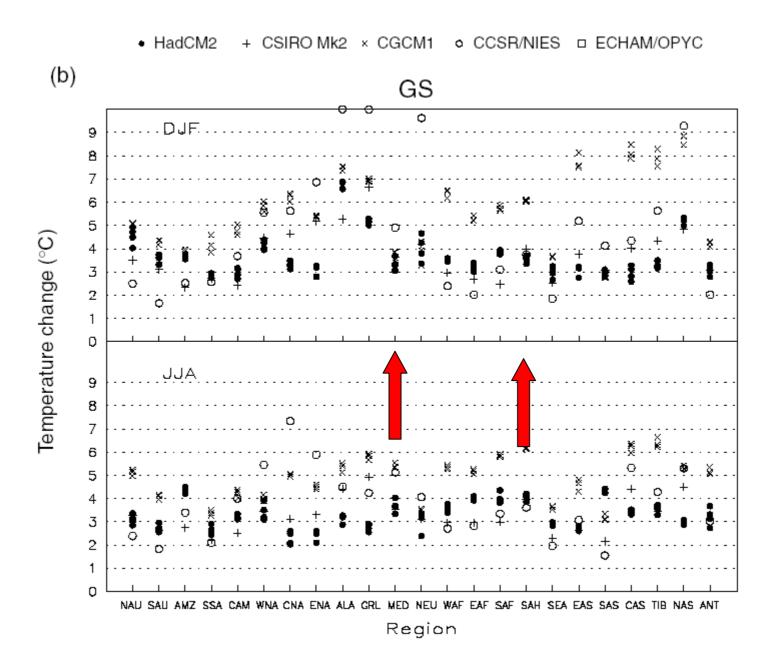


Incertidumbres en las proyecciones climáticas (I): emisiones de GEI y aerosoles



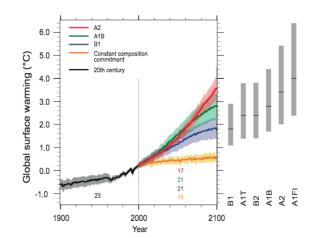






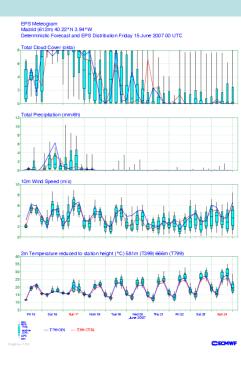
## ¿Qué hacer para tratar las incertidumbres?

- Predicción por conjuntos (ensembles)
- En lugar de una única predicción determinista: muchas predicciones y predicción media y predicción probabilística
- Técnica utilizada en todas las escalas de la predicción: corto plazo (INM), medio plazo y estacional (ECMWF), decadal y secular (IPCC)
- ¿Cómo se generan los diferentes miembros de un ensemble?
  - Multimodelo
  - Diferentes condiciones iniciales
  - Física estocástica
  - etc







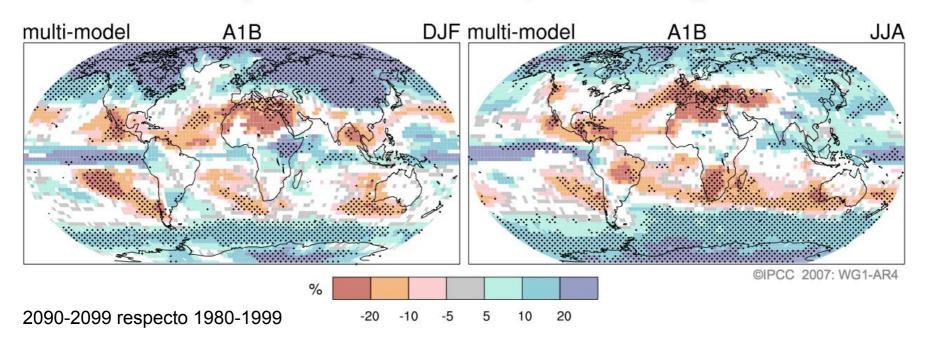






#### Projecciones de cambios futuros en el clima

#### **Projected Patterns of Precipitation Changes**



(AR4, 2007)

aumenta

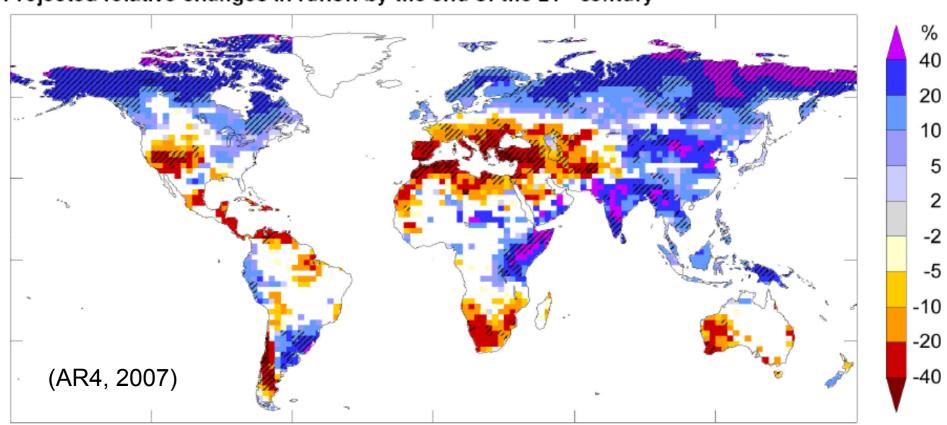
Decrece

#### Cambio (%) en escorrentía

[2090-2099 respecto a 1980-1999]

#### Ensemble basado en escenario SRES A1B

Projected relative changes in runoff by the end of the 21<sup>st</sup> century



#### T max. anual (°C) (2071-2100) SRES A2

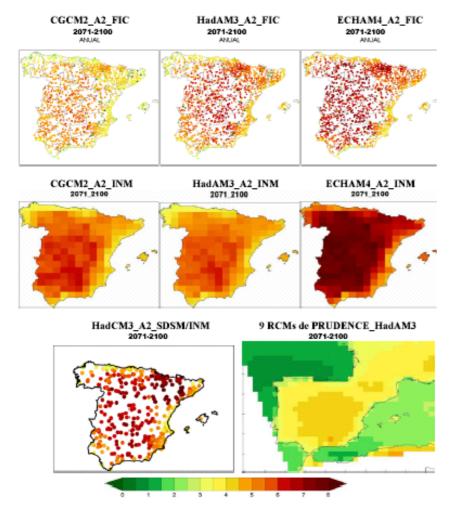


Figura 7.3.- Comparación del cambio de temperatura máxima media anual para el período (2071-2100) respecto al período de control (1961-90) proporcionado por las proyecciones regionalizadas utilizando diferentes modelos globales (CGCM2 (izda), ECHAM4-OPYC (der.), HadAM3 (centro), HadCM3 (abajo izda.)) y diferentes técnicas de regionalización estadisticas (Anal\_FIC(arriba), Anal\_INM (centro), SDSM (abajo izda.)) y dinámicas (promedio de los 9 RCMs de PRUDENCE (abajo der.)). El escenario de emisión SRES común a todos los modelos es el A2.

#### T max. (°C) (2071-2100) SRES A2, HadAM3, INM

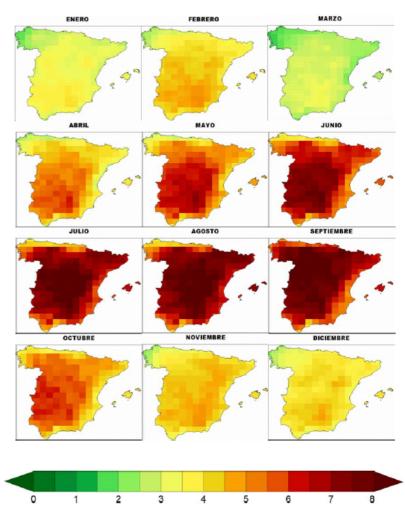
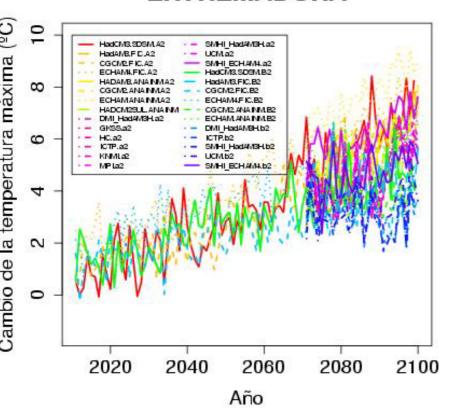
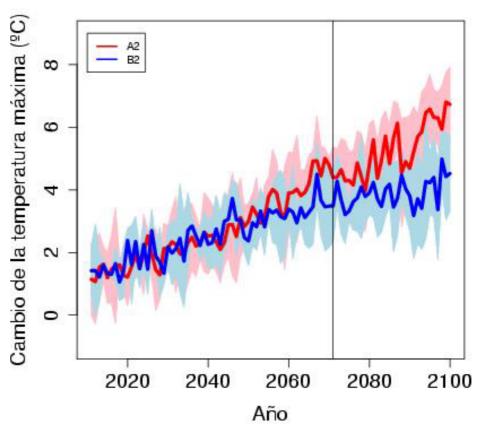


Figura 7.6.- Cambio medio mensual de temperatura máxima proyectado para el periodo (2071-2100) respecto al clima actual (1961-1990) por el modelo global HadAM3H y regionalizado con el método de análogos (INM) para el escenario de emisión A2.

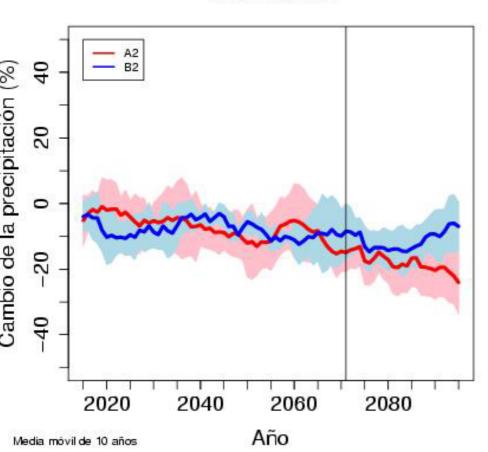
#### **EXTREMADURA**

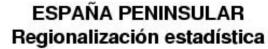


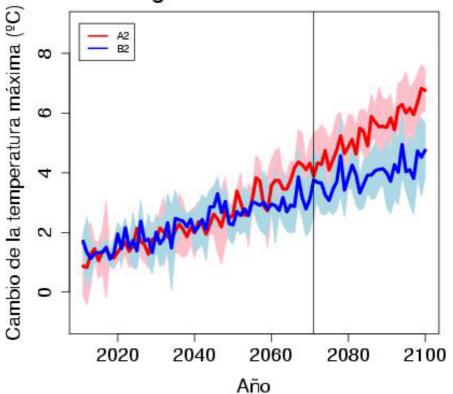
#### **EXTREMADURA**



#### **PENINSULA**







### Conclusiones

- Calentamiento del sistema climático en INEQUIVOCO
- Cambios observados en sistemas físicos y biológicos consistentes con calentamiento
- Muy probable (sup 90%) origen antropogénico del calentamiento
- Mayores calentamientos sobre tierra y en altas latitudes
- Calentamiento y aumento del nivel del mar permanecerá por siglos (inercia del sistema)
- Incertidumbres indefectiblemente contaminan las proyecciones climáticas. Marco conceptual probabilístico (ensembles)
- Calentamiento de 0.2°C/decada en las dos proximas décadas
- Mejor estimación para escenario bajo (B1) es 1.8°C (rango probable 1.1-2.9°C), y para escenario alto (A1FI) es 4.0°C (rango probable 2.4-6.4°C).
- Diferente vulnerabilidad de sistemas, sectores y regiones (países en desarrollo, Mediterráneo!!)
- Los niveles de estabilización más bajos (445-490 ppm, 2-2.4°C sobre preindustrial) pueden reducir sensiblemente los impactos en los sistemas más vulnerables. Las emisiones globales deberán empezar a reducirse en la próxima década (50% aprox. en 2050)

#### Vision of UN Secretary-General on Climate Change

- "Climate change is a serious threat to development everywhere"
- "Today, the time for doubt has passed. The IPCC has unequivocally affirmed the warming of our climate system, and linked it directly to human activity"
- "Slowing or even reversing the existing trends of global warming is the defining challenge of our ages"
- "Galvanising international action on global warming as one of main priorities as Secretary General"





INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC)