

# Cambio climático & Modelos

Máster en CG

# ¿Se puede reproducir el clima? ¿cómo?

- **Modelos sencillos**

- **Balance de energía**

- **0D**

- **Balance de energía**

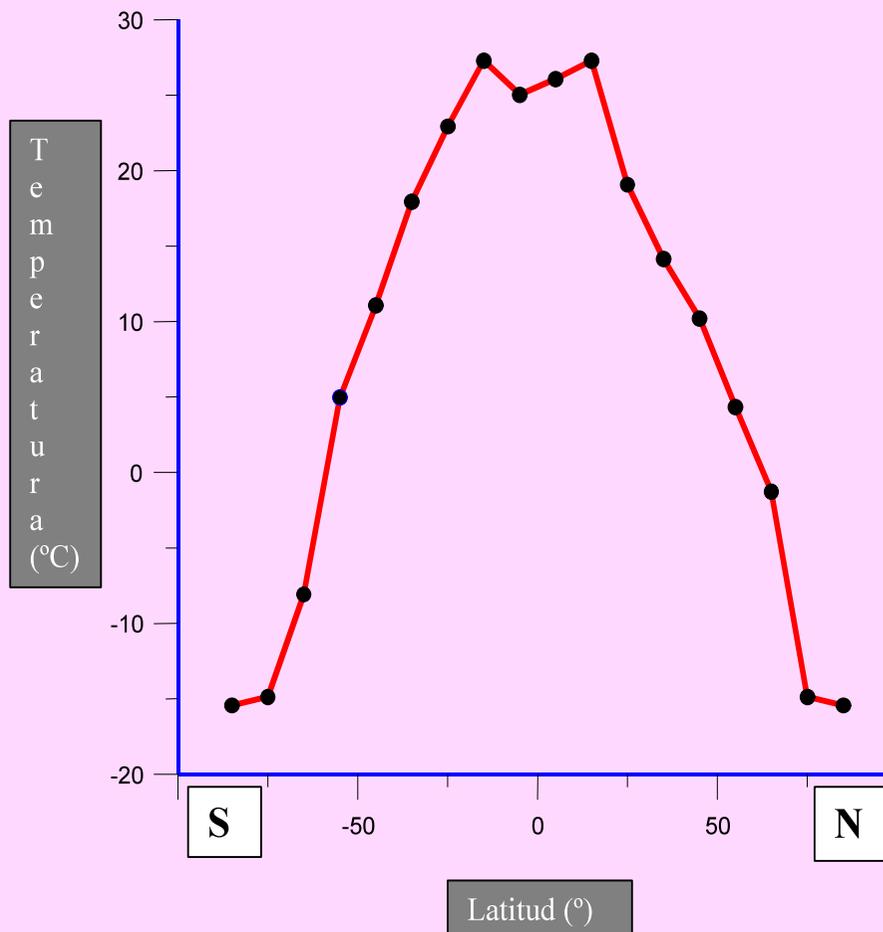
- **1D**

- **Modelos complejos**

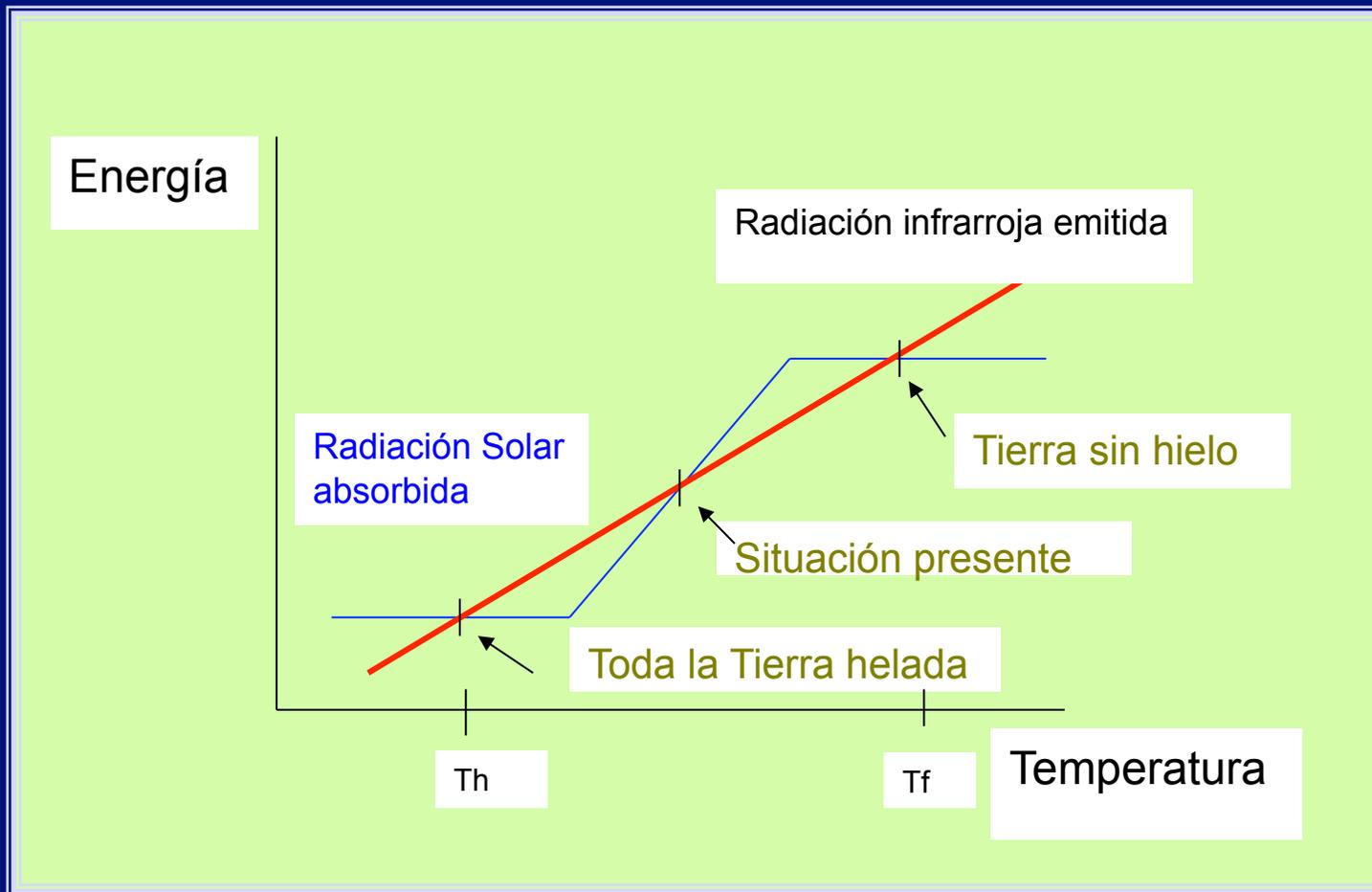
- **Circulación general**

- **Acoplados**

- **Resolución ecuaciones**



- A partir de un **modelo sencillo** es posible deducir la **distribución de la temperatura en función de la latitud**. Este perfil de temperaturas corresponde a un **clima actual**, con el máximo cerca del ecuador y el mínimo en los polos. Se puede observar la **asimetría entre hemisferios** norte y sur, debido al diferente valor del **albedo** en ambos hemisferios



Considerando un **albedo dependiente de la temperatura**, con una transición suave entre dos temperaturas  $T_h$  y  $T_f$ , puede haber **tres estados de equilibrio**. El intermedio podría corresponder en la Tierra a un **clima actual**, con parte de hielos permanentes y parte con agua fundida. Sin embargo habría **dos estados posibles más**: uno con todo el **planeta helado** y otro con todos los **hielos fundidos**

# ECUACIONES DEL MOVIMIENTO

$$\frac{Du}{Dt} + \frac{uw}{r} - \frac{uv}{r} \tan \varphi = -\frac{1}{\rho r \cos \varphi} \frac{\partial p}{\partial \lambda} + 2\Omega v \sin \varphi - 2\Omega w \cos \varphi$$

Zonal

$$\frac{Dv}{Dt} + \frac{vw}{r} + \frac{u^2}{r} \tan \varphi = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} - 2\Omega u \sin \varphi$$

Meridiano

$$\frac{Dw}{Dt} - \frac{u^2 + v^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} - g + 2\Omega u \cos \varphi$$

Vertical

# ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \left\{ \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{2w}{r} + \frac{1}{r \cos \varphi} \frac{\partial(v \cos \varphi)}{\partial \varphi} + \frac{1}{r \cos \varphi} \frac{\partial u}{\partial \lambda} \right\} = 0$$

# ECUACIÓN TERMODINÁMICA

$$\frac{D\theta}{Dt} = \frac{\theta}{c_p T} \left( \frac{k}{\rho} \nabla^2 T + Q \right)$$

$$\theta = T \left( \frac{p_{oo}}{p} \right)^{R/c_p}$$

$$p = \rho R T$$

$$\frac{D\rho}{Dt} = \kappa \nabla^2 \rho - \frac{\alpha \rho_o}{c_p} Q$$

# DERIVADA SUBSTANCIAL

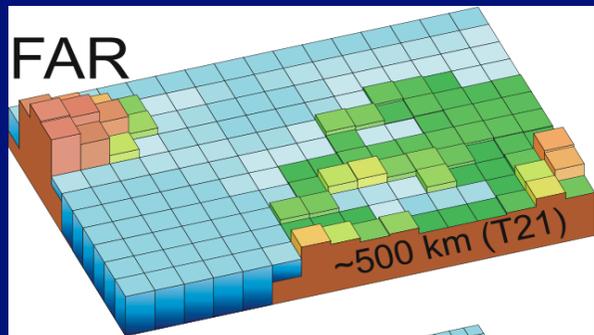
$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla$$

$$\mathbf{u} \equiv (u, v, w)$$

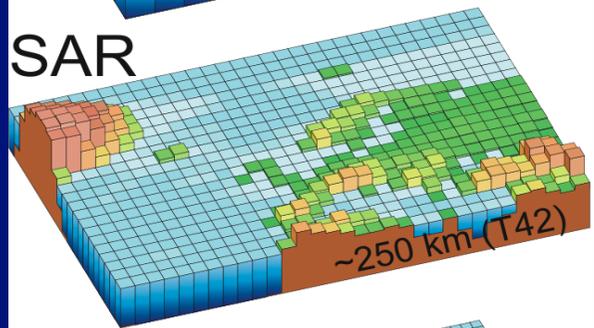
A  
t  
m  
ó  
s  
f  
e  
r  
a

O  
c  
é  
a  
n  
o

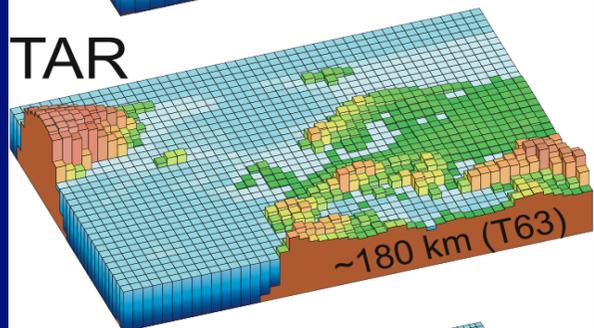
FAR



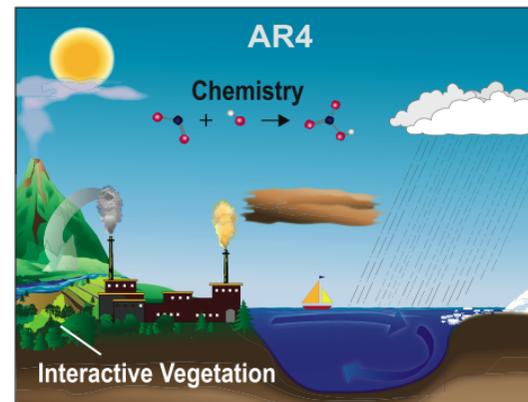
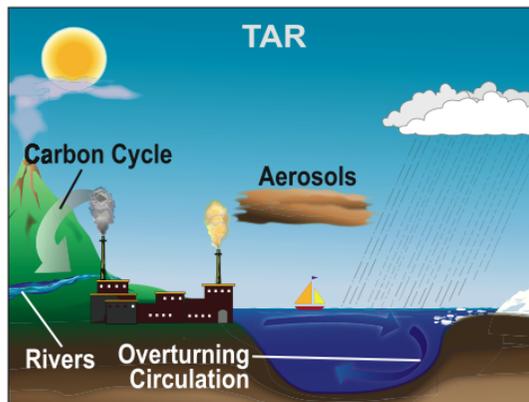
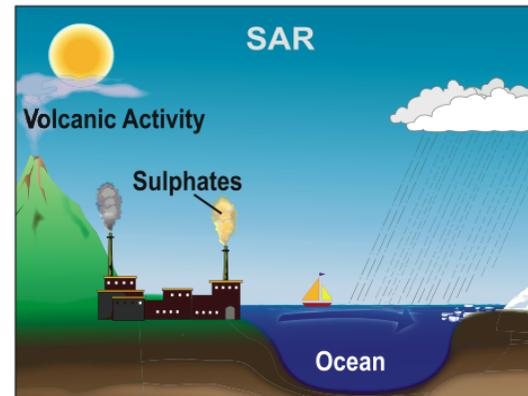
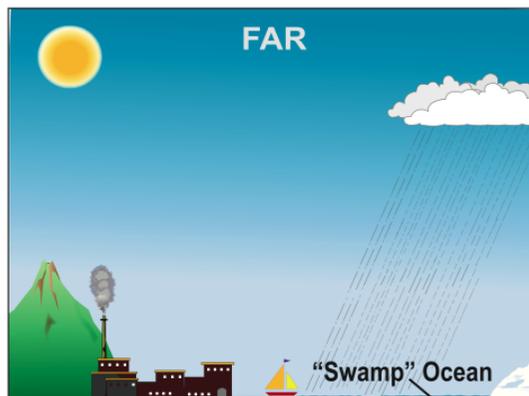
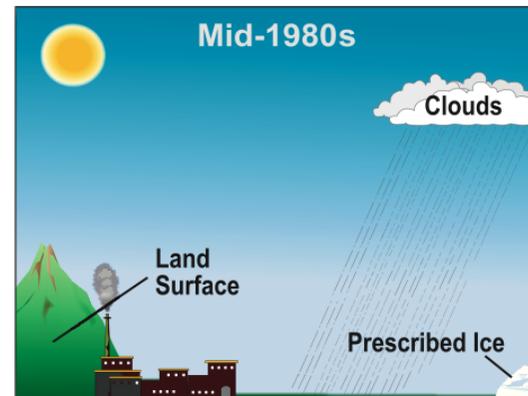
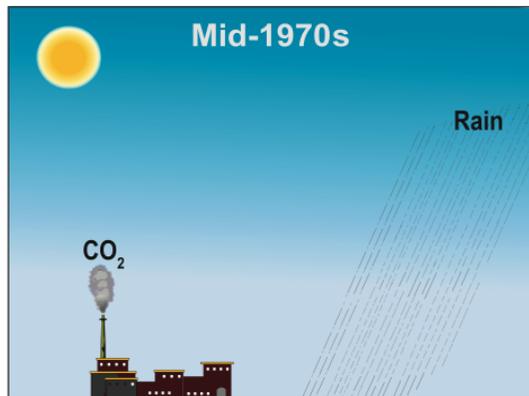
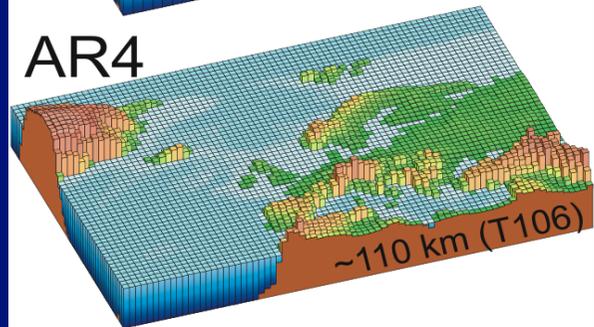
SAR



TAR

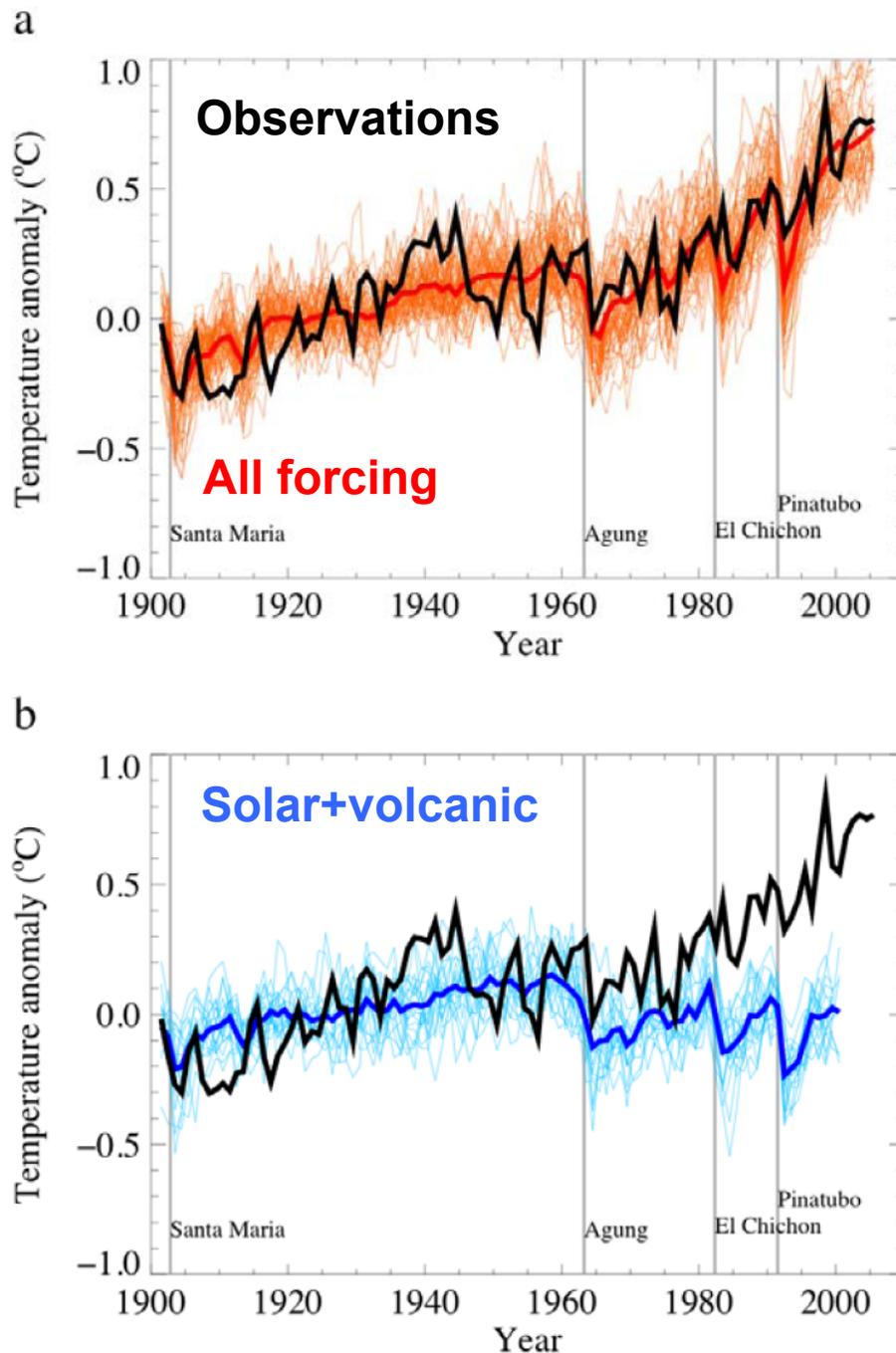


AR4



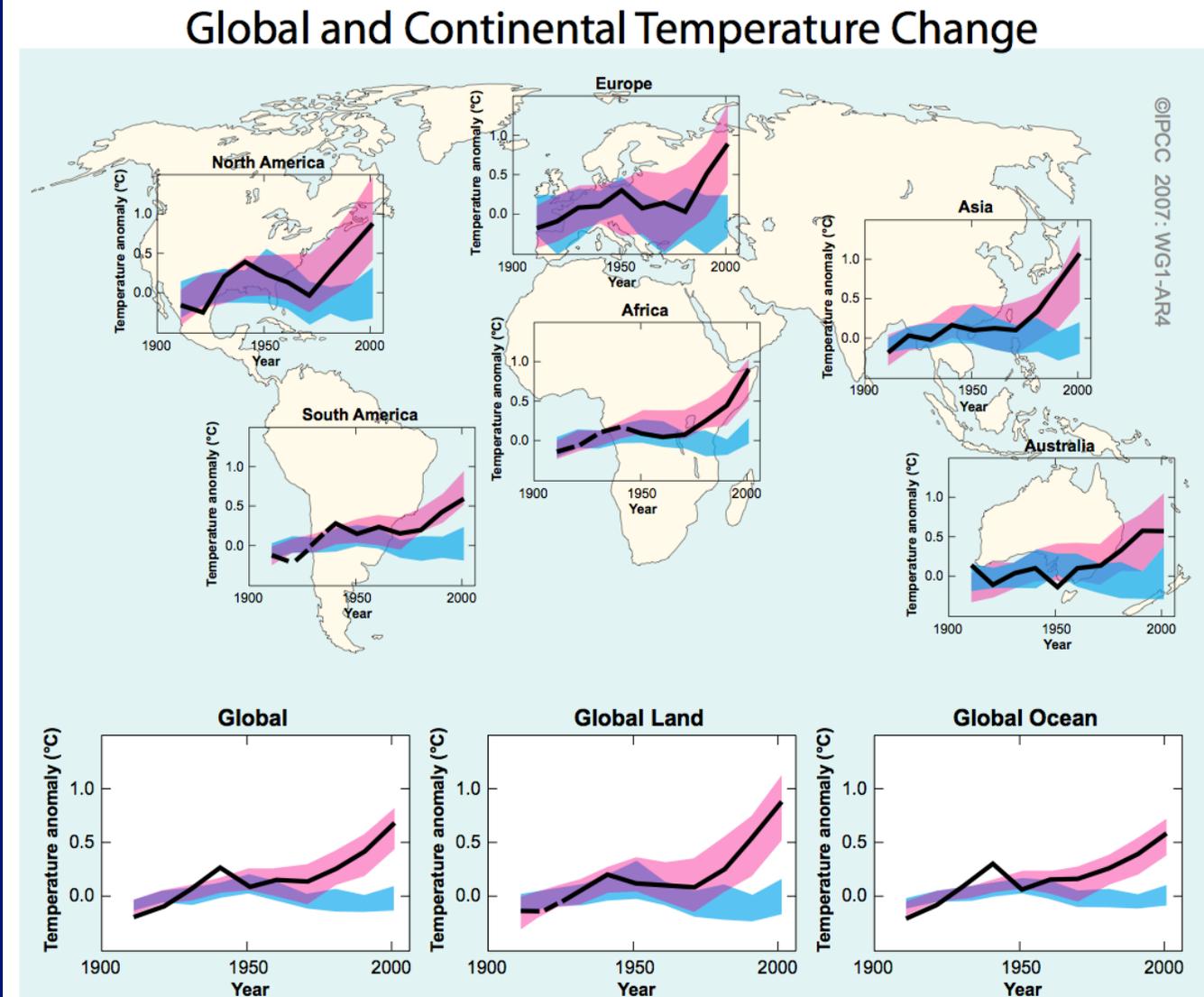
# Atribución

- Se observan cambios consistentes con
  - ☑ respuestas esperadas a forzamientos
  - ☒ inconsistentes con explicaciones alternativas



# Comprensión y atribución del Cambio Climático

El calentamiento en los continentes *probablemente* muestra una contribución antrópica significativa durante los últimos 50 años



Para simular el clima presente se utilizan las evoluciones reales de los GEI y aerosoles

Para simular el clima del futuro habría que conocer la evolución que van a experimentar GEI y aerosoles

- **Diferencia entre emisiones y sumideros**
- **Dependen de muchos factores**

# SRES Scenarios



	População	Economia	Ambiente	Equidade	Tecnologia	Globalização	Emissões
A1							
A2							
B1							
B2							



Economic emphasis

Global integration

**A1 storyline**

World: market-oriented  
Economy: fastest per capita growth  
Population: 2050 peak, then decline  
Governance: strong regional interactions; income convergence  
Technology: three scenario groups:

- **A1FI**: fossil intensive
- **A1T**: non-fossil energy sources
- **A1B**: balanced across all sources

**A2 storyline**

World: differentiated  
Economy: regionally oriented; lowest per capita growth  
Population: continuously increasing  
Governance: self-reliance with preservation of local identities  
Technology: slowest and most fragmented development

Regional emphasis

**B1 storyline**

World: convergent  
Economy: service and information based; lower growth than A1  
Population: same as A1  
Governance: global solutions to economic, social and environmental sustainability  
Technology: clean and resource-efficient

**B2 storyline**

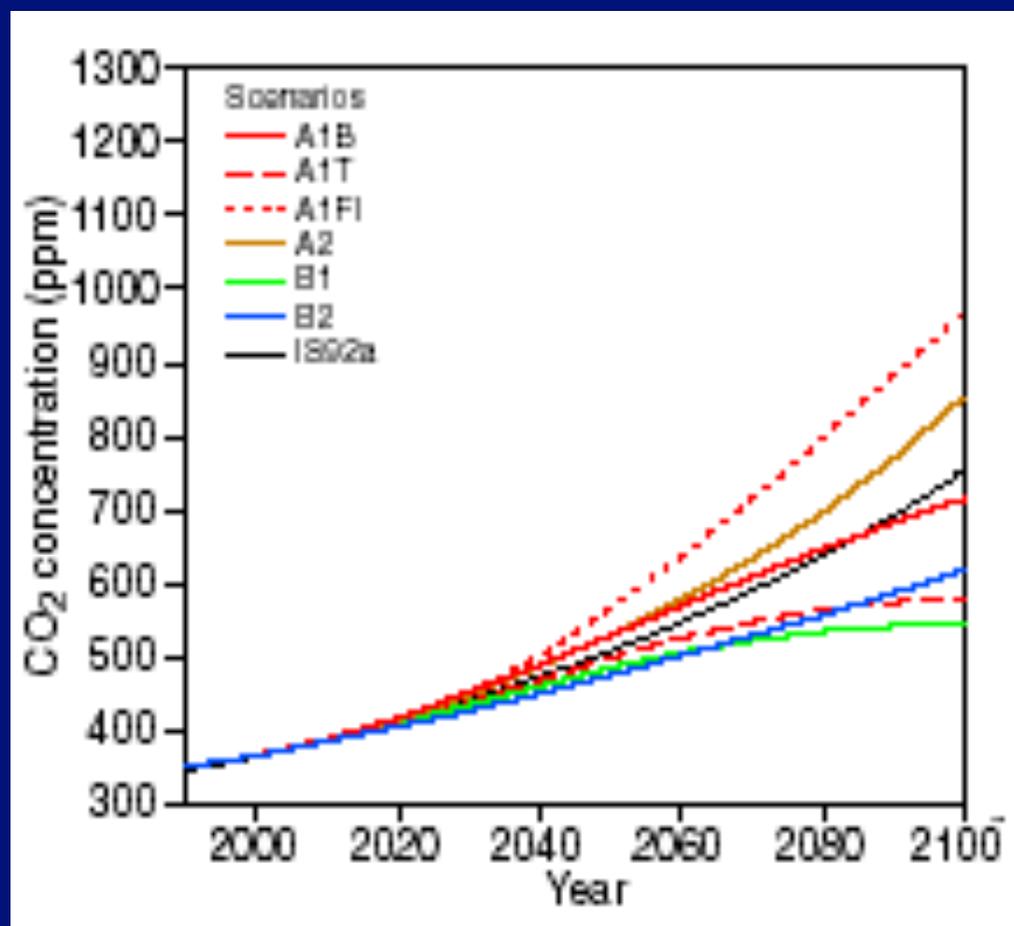
World: local solutions  
Economy: intermediate growth  
Population: continuously increasing at lower rate than A2  
Governance: local and regional solutions to environmental protection and social equity  
Technology: more rapid than A2; less rapid, more diverse than A1/B1

Environmental emphasis

# Escenarios de Emisiones (SRES, IPCC, 2000)

<u>Escenario</u>	<u>2020</u>	<u>2050</u>	<u>2080</u>
	<i>CO<sub>2</sub></i> <i>ppm</i>	<i>CO<sub>2</sub></i> <i>ppm</i>	<i>CO<sub>2</sub></i> <i>ppm</i>
	408	470	541
B1 (G, A)	413	484	563
B2 (R, A)	423	534	647
A1 (G, E)	418	530	691
A2 (R, E)			

# Evolución de la concentración de CO<sub>2</sub> para diferentes familias de escenarios (SRES y IS92a) a lo largo del siglo XXI



# Proyecciones de Cambios Futuros de Clima

Emisiones de GEI continuadas a ritmos como los actuales o superiores causarían un calentamiento adicional e inducirían muchos cambios en el sistema climático durante el siglo XXI que ***muy probablemente*** serían mayores que los observados durante el siglo XX.

- Mejor estima y proyecciones por primera vez del rango de probabilidad para temperaturas futuras
- Similar a TAR pero no comparable directamente

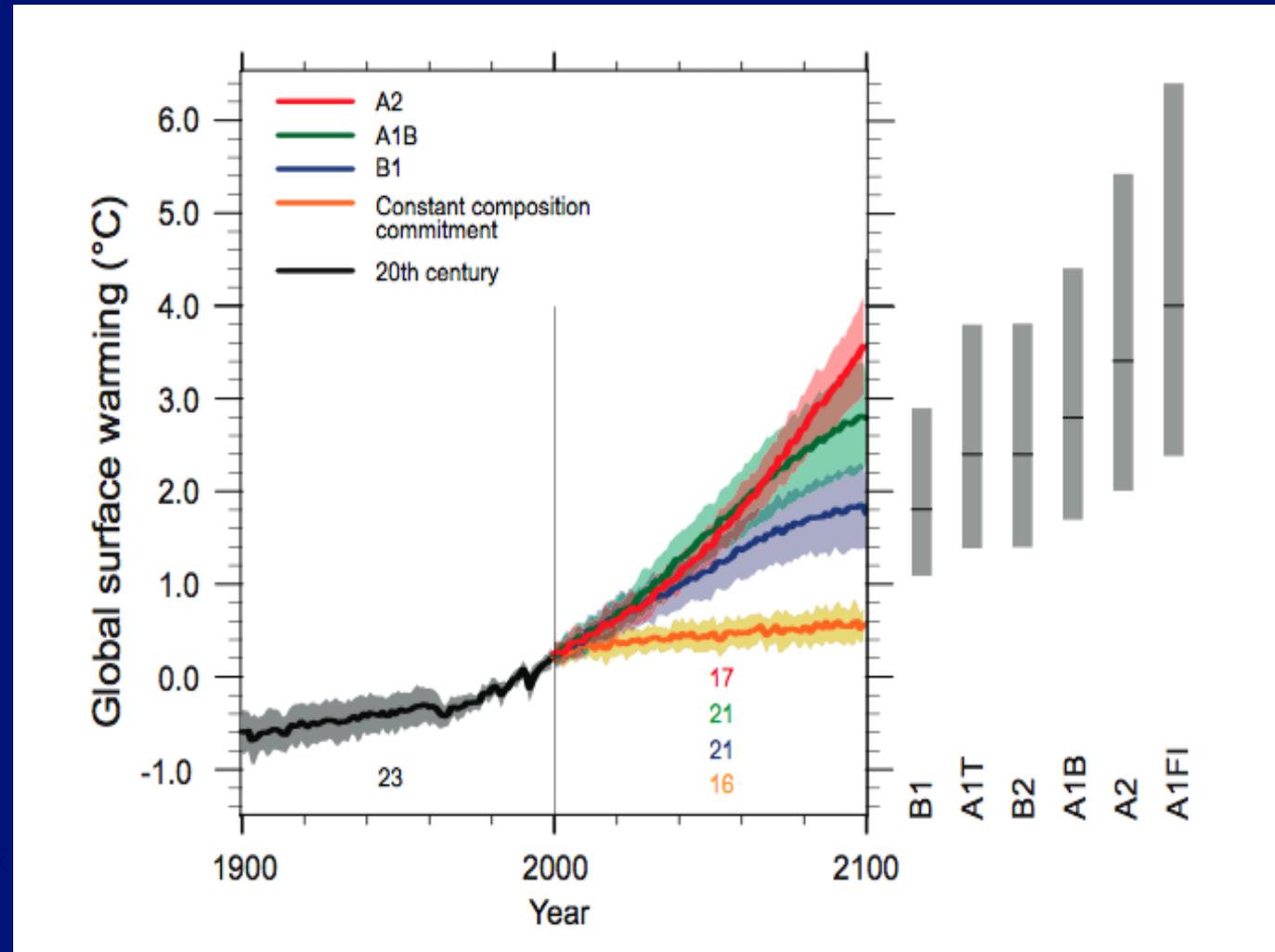
# Proyecciones de Cambios Futuros de Clima

- Para las **próximas dos décadas** se proyecta un calentamiento de unos **0.2°C por década** para un rango de escenarios de emisiones SRES.
- **Incluso si las concentraciones** de todos los GEI y aerosoles se hubieran **mantenido constantes** en los niveles del año 2000, sería esperable un calentamiento de unos **0.1°C por década**.
- Las proyecciones antiguas del IPCC de 0.15 to 0.3 °C por década se pueden ahora comparar con los **valores observados de 0.2 °C**.

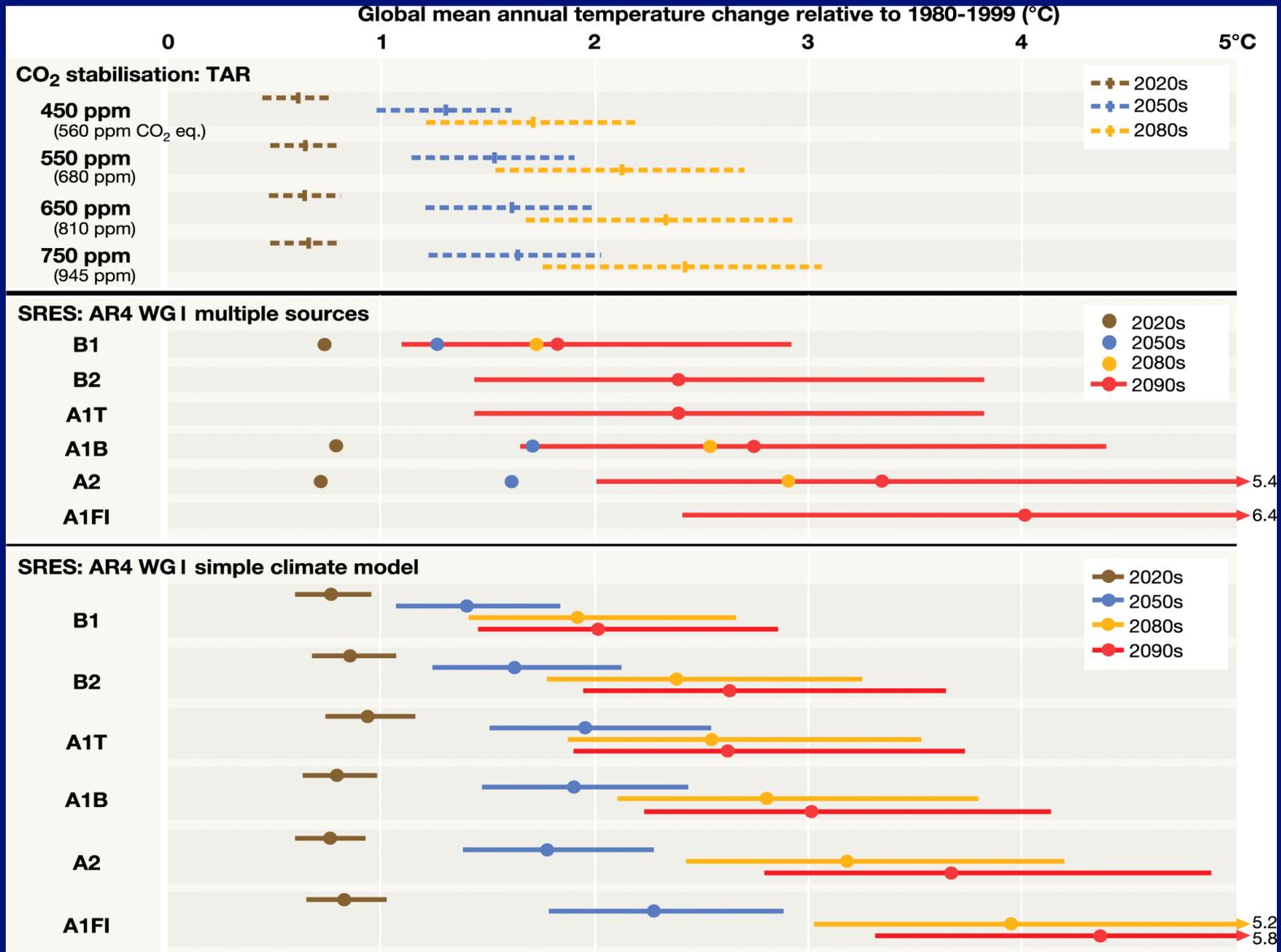
# Proyecciones de Cambios Futuros de Clima

La mejor estima para el escenario bajo (B1) es  $1.8^{\circ}\text{C}$  (probablemente rango de  $1.1^{\circ}\text{C}$  a  $2.9^{\circ}\text{C}$ ) y para el escenario alto (A1FI) es  $4.0^{\circ}\text{C}$  (probablemente rango de  $2.4^{\circ}\text{C}$  a  $6.4^{\circ}\text{C}$ ).

Esencialmente consistente con lo señalado para SRES en TAR, pero no comparable directamente



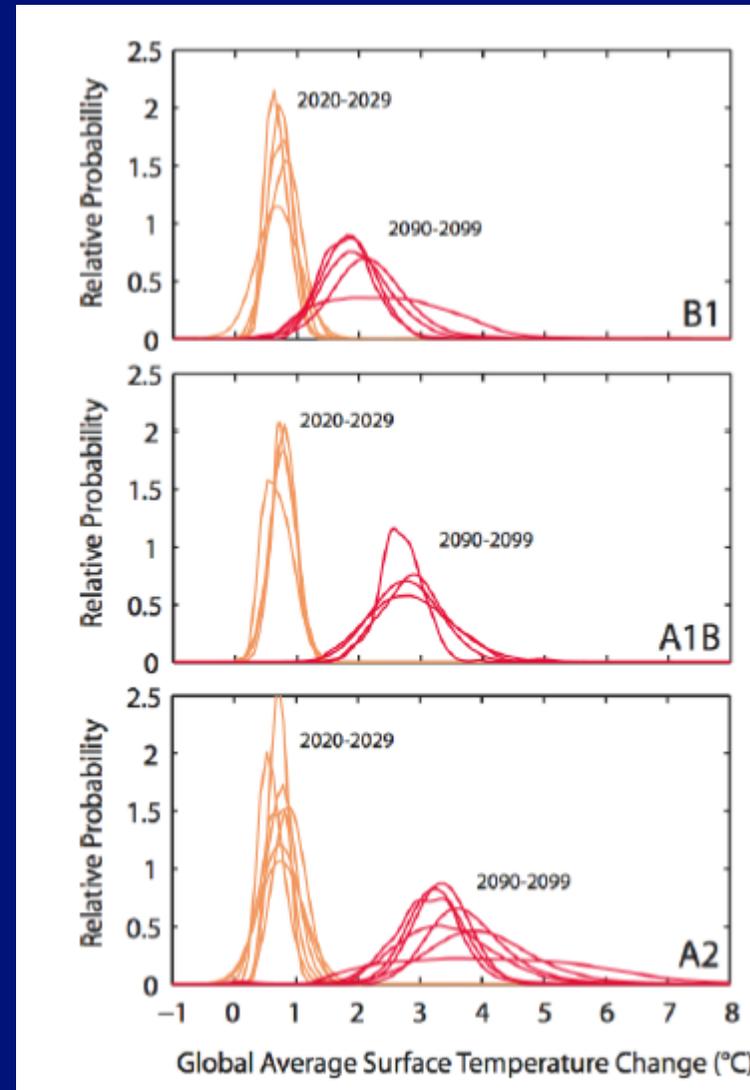
# Cambio de temperatura global para diferentes periodos, a partir de escenarios SRES y de estabilización



# Proyecciones de Cambios Futuros de Clima

Las proyecciones a corto plazo no dependen del escenario elegido

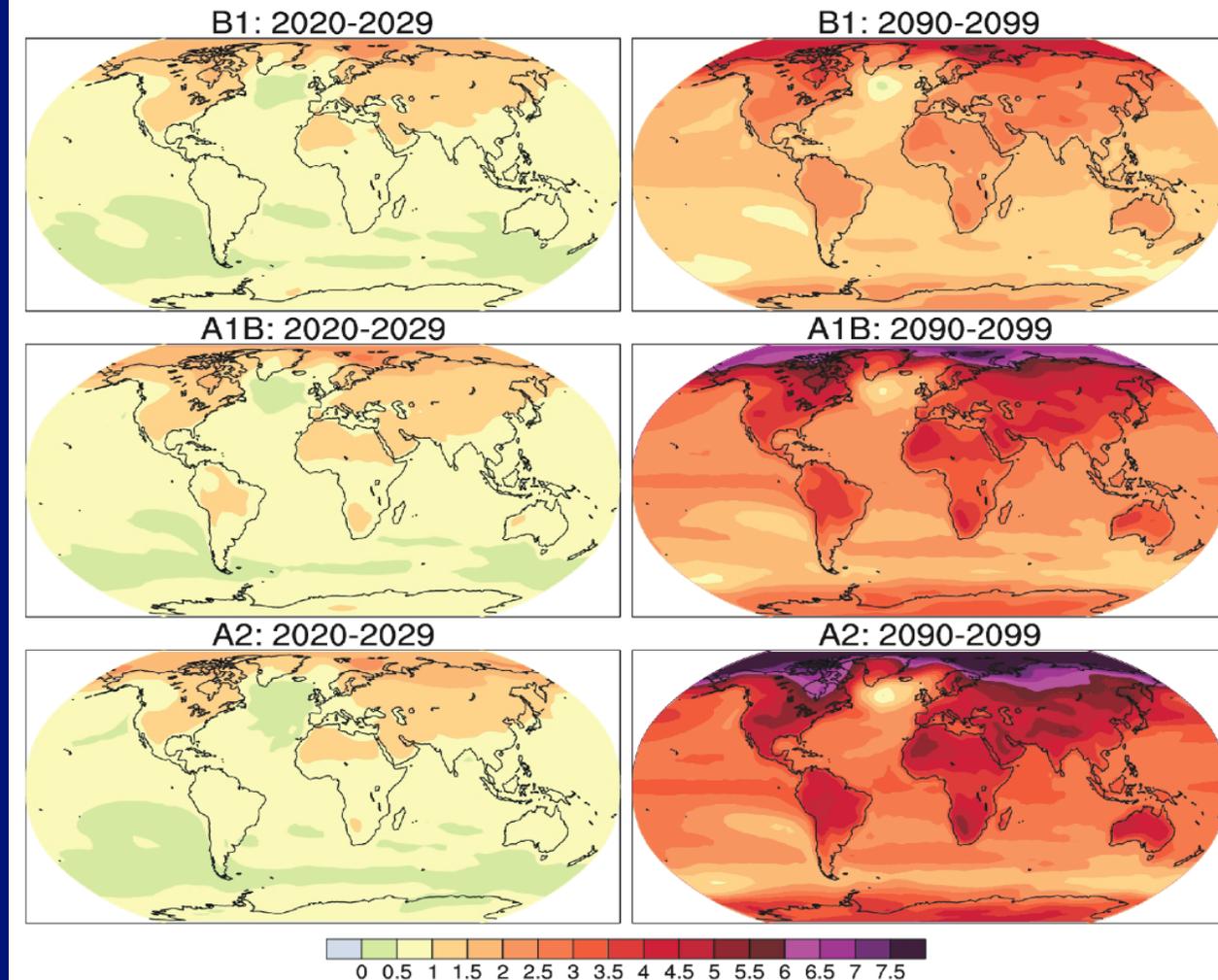
Las proyecciones de mayor alcance dependen del escenario y de las sensibilidades de los modelos climáticos



# Proyecciones de Cambios Futuros de Clima

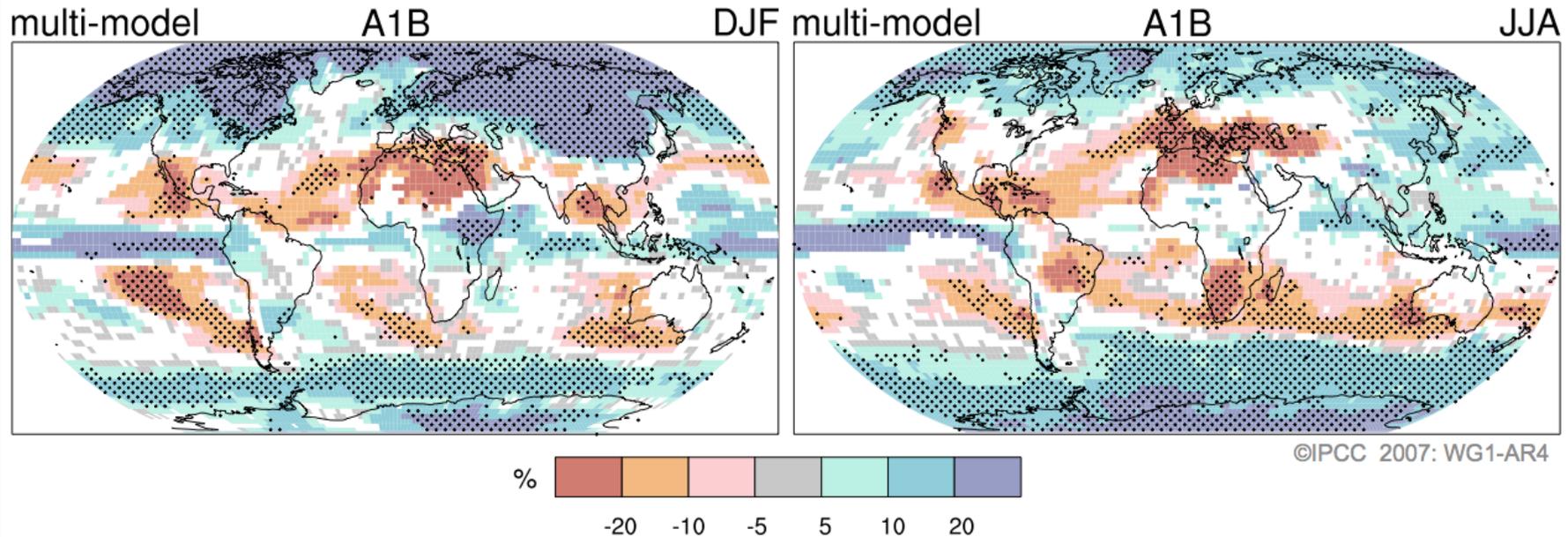
El calentamiento proyectado para el s XXI se espera que sea

**mayor** sobre tierra y a altas latitudes del HN y **menor** sobre el océano austral y parte del atlántico norte



# Proyecciones de Cambios Futuros de Clima

## Projected Patterns of Precipitation Changes



La precipitación **aumenta** *muy probablemente* en latitudes altas

**Decrece** *probablemente* en la mayor parte de las regiones subtropicales terrestres

# Proyecciones de Cambios Futuros de Clima

---

Ahora se tiene mayor confianza en las proyecciones de patrones de calentamiento y otros rasgos de escala regional, incluyendo cambios en los patrones de viento, precipitación y algunos aspectos relativos a fenómenos extremos y al hielo.

# PROYECCIONES DE CAMBIOS FUTUROS DE CLIMA

- La **cobertura nivosa** se contrae en las proyecciones
- Hay aumento generalizado de la profundidad del deshielo en la mayor parte de regiones de **permafrost**
- El **hielo marino** se reduce en las proyecciones tanto en el Ártico como en la zona Antártica
- En algunas proyecciones, el **hielo marino ártico al final del verano** desaparece casi por completo al final del s XXI

# PROYECCIONES DE CAMBIOS FUTUROS DE CLIMA

- *Muy probablemente* los episodios de máximas extremas, olas de calor y precipitaciones intensas continuarán siendo más frecuentes
- *Probablemente* en el futuro los ciclones tropicales serán más intensos con vientos máximos más fuertes y lluvias más intensas
  - existe menor confianza en el decrecimiento del número total
- Las trayectorias de las perturbaciones extratropicales se desplazan hacia los polos en las proyecciones dando como consecuencia cambios en los patrones de viento, precipitación y temperatura

# PROYECCIONES DE CAMBIOS FUTUROS DE CLIMA

- A partir de simulaciones recientes con modelos, es *muy probable* que la **corriente marina (meridional overturning circulation, MOC)** del océano atlántico se ralentice a lo largo del s XXI.
  - **no se tiene confianza en las evaluaciones de mayor alcance**
- Las proyecciones para **temperaturas en el atlántico** indican un **incremento** aunque el calentamiento asociado al incremento proyectado para la concentración de GEI es mucho mayor.

# PROYECCIONES DE CAMBIOS FUTUROS DE CLIMA

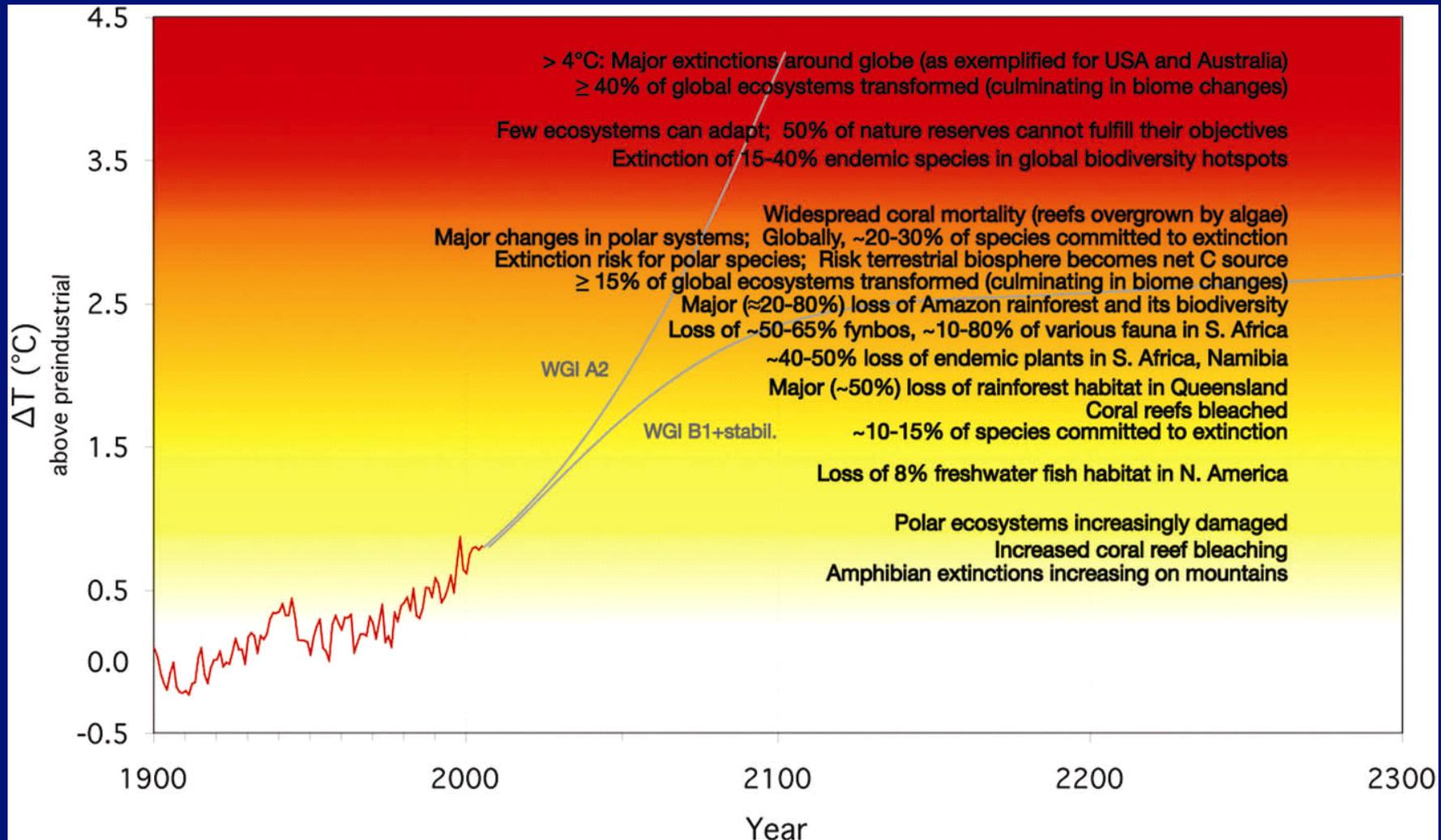
- El calentamiento antropogénico y la elevación del nivel del mar **continuarían durante siglos**, debido a las escalas temporales asociadas a los procesos climáticos y a las realimentaciones, incluso si la concentración de GEI se estabilizara.
- Temperaturas de más de 1.9 a 4.6°C por encima de las preindustriales sostenidas durante milenios... **eventual fusión de los hielos de Groenlandia.** Elevaría el nivel del mar unos 7 m. Comparable a lo acontecido hace 125 mil años.

# *Los impactos son locales*



Necesidad de “downscaling” (dinámico vs estadístico)

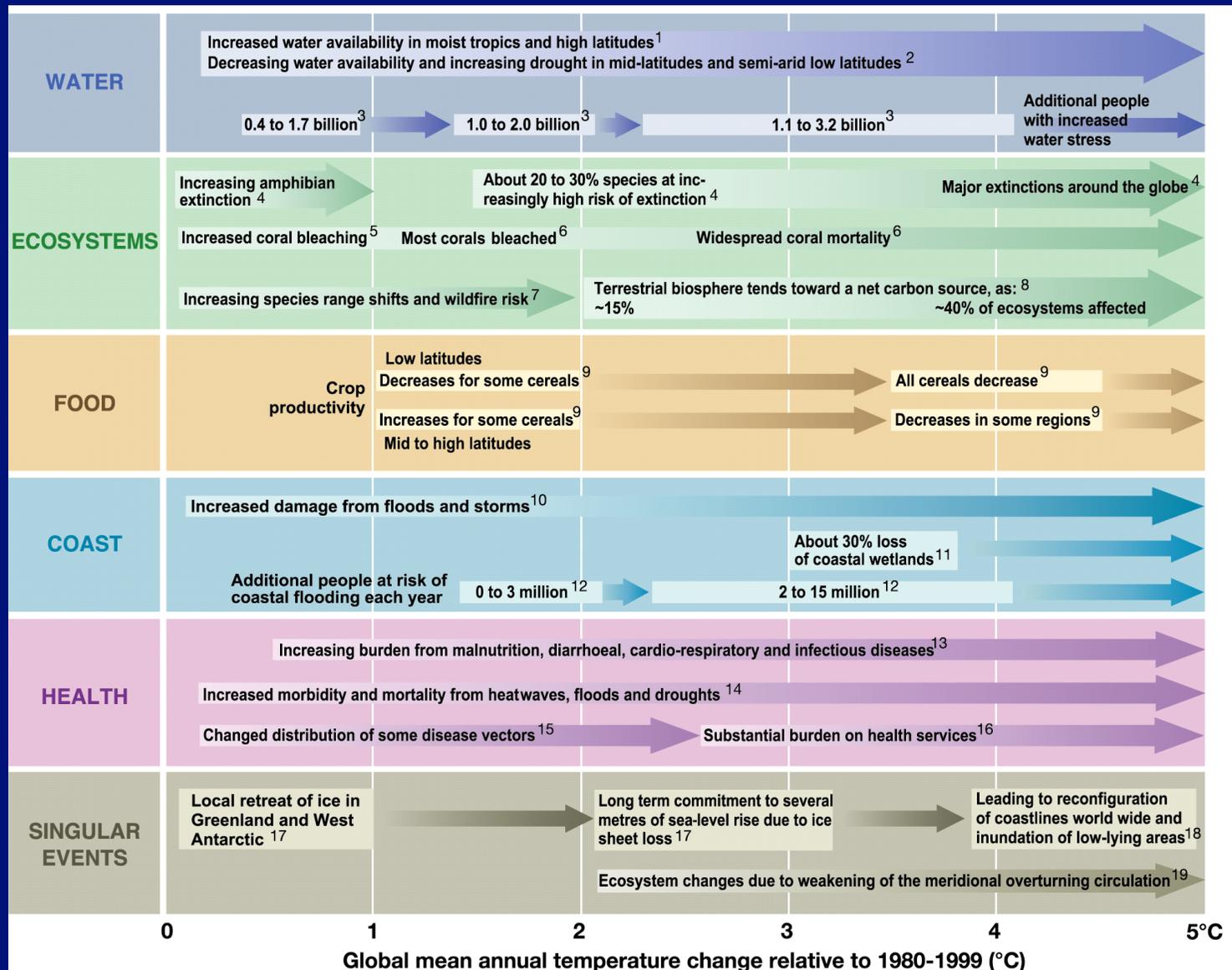
# Proyección de riesgos por efecto del CC sobre ecosistemas



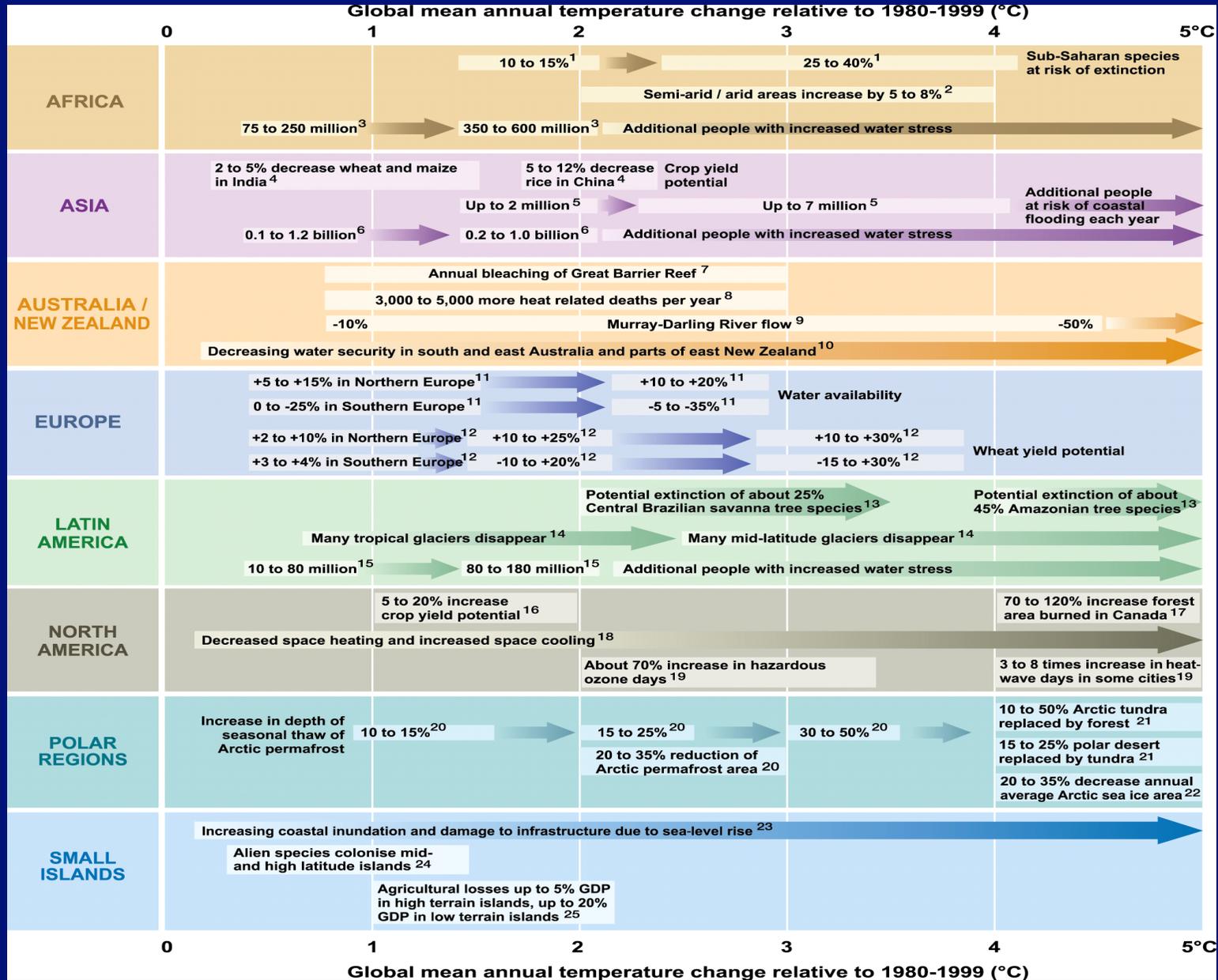
## Impactos del CC sobre la salud

	Negative impact	Positive impact
<p><b>Very high confidence</b> Malaria: contraction and expansion, changes in transmission season</p>	←	→
<p><b>High confidence</b> Increase in malnutrition</p>	←	
<p>Increase in the number of people suffering from deaths, disease and injuries from extreme weather events</p>	←	
<p>Increase in the frequency of cardio-respiratory diseases from changes in air quality</p>	←	
<p>Change in the range of infectious disease vectors</p>	←	→
<p>Reduction of cold-related deaths</p>		→
<p><b>Medium confidence</b> Increase in the burden of diarrhoeal diseases</p>	←	

# Ejemplos de impactos globales como consecuencia del CC



# Ejemplos de impactos regionales





Muchas gracias por la atención