

El clima del futur: La modelització com a eina de projecció.

Josep Calbó i Angrill
Departament de Física i Institut de Medi Ambient
Universitat de Girona

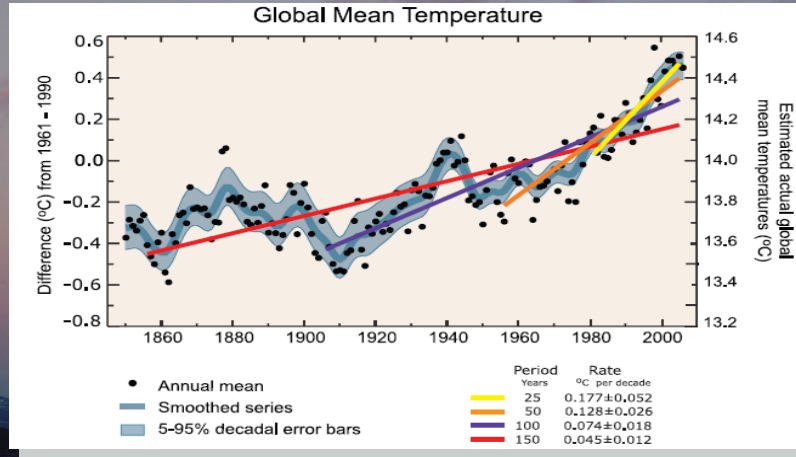
Canvi climàtic: què és? Què ens espera?

Girona, abril de 2008

Projeccions sobre el clima futur

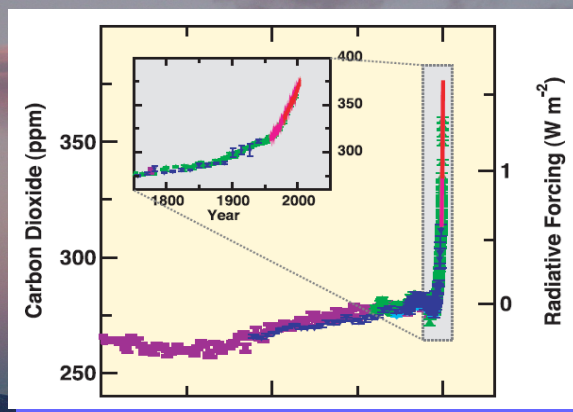
- Cal prendre decisions en l'àmbit nacional i internacional, per a fer front als problemes que es poden derivar d'un clima ràpidament canviat.
- Cal millorar i reduir la incertesa de les previsions que es fan del clima del futur
 - L'absència de prediccions fiables pot endarrerir les accions d'adaptació i/o mitigació.
- Com es poden fer:
 - extrapolació tendències
 - modelització numèrica

L'augment de la temperatura



[IPCC 4AR, 2007]

L'augment del CO₂



[IPCC 4AR, 2007]

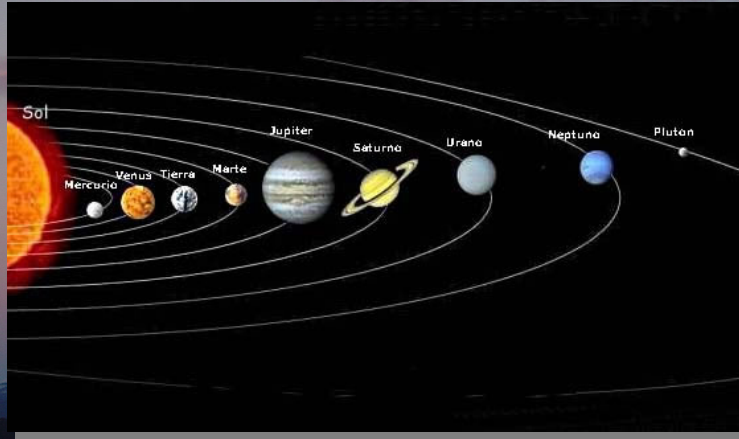
Contingut

- Per què tenim el clima que tenim?
- Un model senzill: el balanç d'energia.
- Projeccions sobre el clima futur
 - Models i escenaris d'emissions
 - Projeccions globals (per a la Terra)
 - Projeccions regionals

Per què tenim el clima que tenim?

- La Terra rep energia del Sol
- L'atmosfera terrestre
- La Terra és esfèrica i gira
- La Terra no és homogènia (continents, oceans, relleu)
- El sistema climàtic i les seves interaccions (oceans, atmosfera, criosfera, litosfera, biosfera)

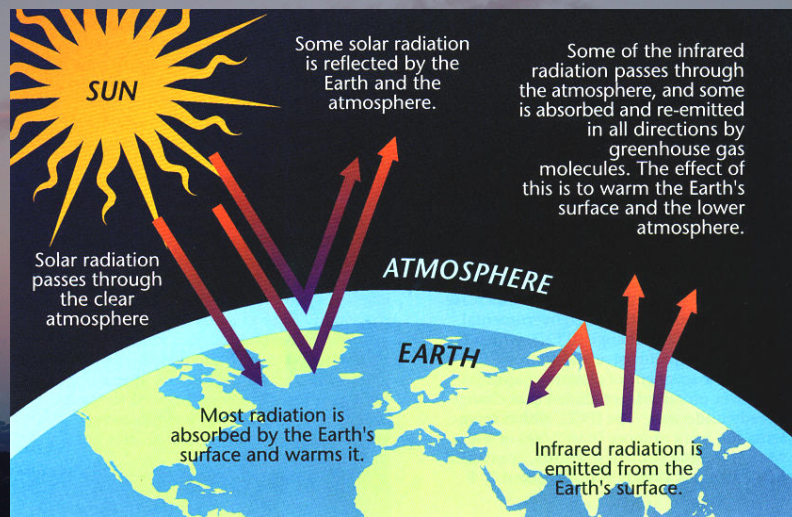
L'energia que rebem del Sol



Josep Calbó i Angrill



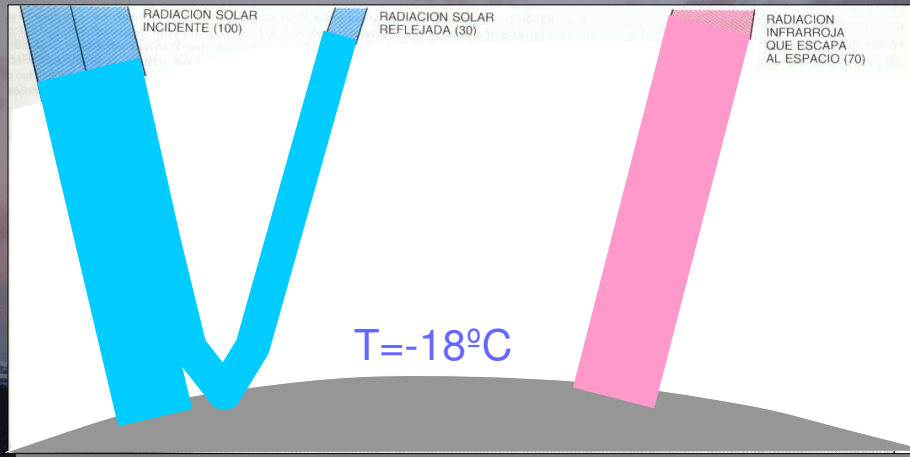
L'atmosfera i l'efecte d'hivernacle



Josep Calbó i Angrill



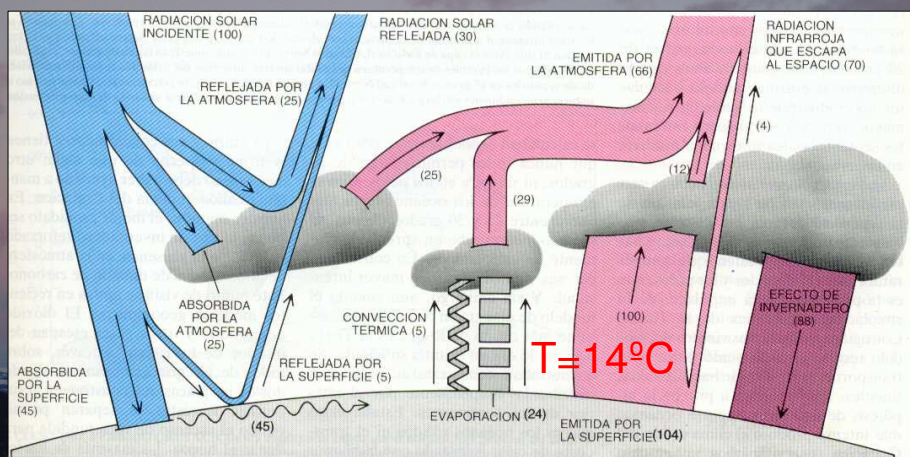
Balanç radiatiu, sense atmosfera



Josep Calbó i Angrill



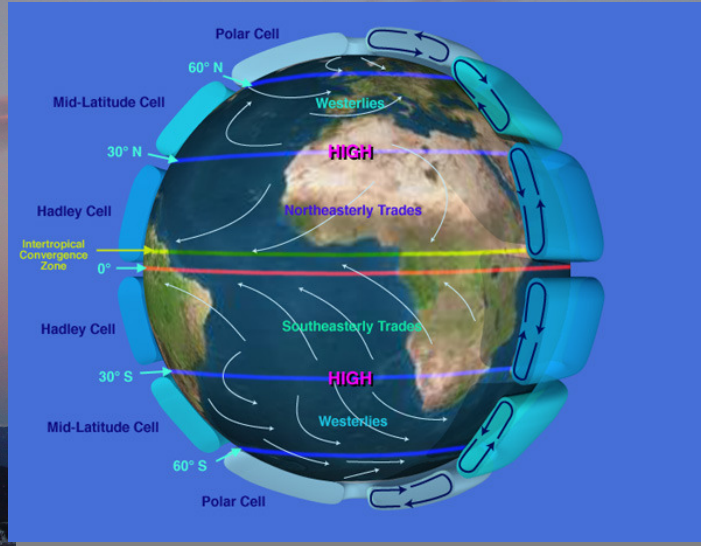
Balanç radiatiu, amb atmosfera



Josep Calbó i Angrill



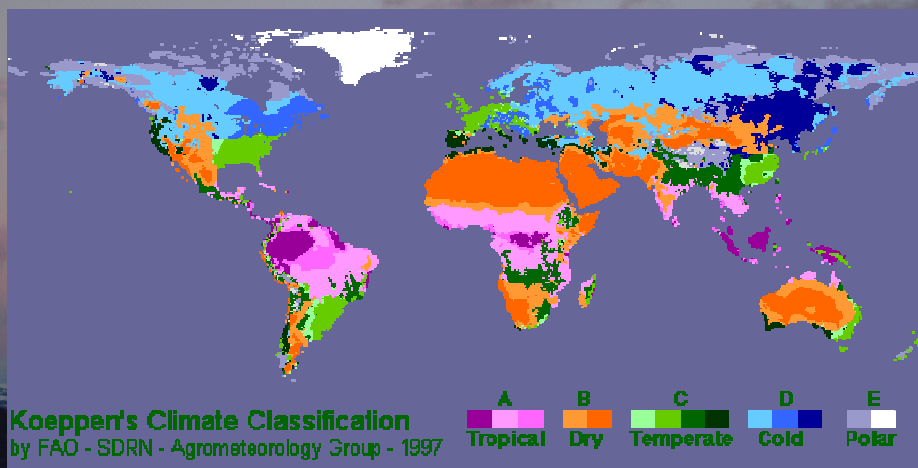
La circulació atmosfèrica



Josep Calbó i Angrill



Els climes a la Terra



Koepper's Climate Classification
by FAO - SDRN - Agrometeorology Group - 1997

Josep Calbó i Angrill



Contingut

- Per què tenim el clima que tenim?
- Un model senzill: el balanç d'energia.
- Projeccions sobre el clima futur
 - Models i escenaris d'emissions
 - Projeccions globals (per a la Terra)
 - Projeccions regionals

Model de balanç d'energia

- Sense atmosfera ($S_0=340 \text{ Wm}^{-2}$, $\alpha=0.3$)

$$S_0 = \sigma T^4 + \alpha S_0 \Rightarrow T = -18^\circ\text{C}$$

- Efecte hivernacle ($S_0=340 \text{ Wm}^{-2}$, $\alpha=0.3$, $\varepsilon=0.62$)

$$S_0 = \varepsilon \sigma T^4 + \alpha S_0 \Rightarrow T = 14^\circ\text{C}$$

- Efecte hivernacle augmentat ($S_0=340 \text{ Wm}^{-2}$, $\alpha=0.3$, $\varepsilon^*=0.59$)

$$S_0 = \varepsilon^* \sigma T^4 + \alpha S_0 \Rightarrow T = 18^\circ\text{C}$$

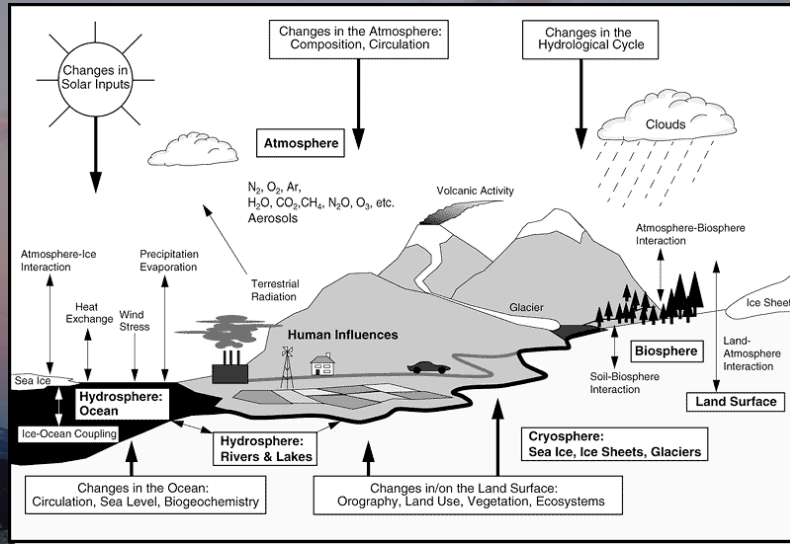
Contingut

- ❑ Per què tenim el clima que tenim?
- ❑ Un model senzill: el balanç d'energia.
- ❑ Projeccions sobre el clima futur
 - ❑ **Models i escenaris d'emissions**
 - ❑ Projeccions globals (per a la Terra)
 - ❑ Projeccions regionals

Els models de simulació del clima

- ❑ Són programes informàtics que representen els fenòmens físics, químics, biològics,... del sistema climàtic.
- ❑ A partir dels canvis del principal factor (gasos amb efecte d'hivernacle) avaluen el clima futur.
- ❑ Les millors prediccions pel clima s'obtenen de l'aplicació de models numèrics de simulació del clima del tipus AOGCM (segons IPCC)
- ❑ Aquests models reproduïxen bé el clima present i els canvis passats
- ❑ El clima és més previsible que el temps (en quant el que volem predir és un comportament estadístic)
- ❑ Limitacions: processos poc coneguts, baixa resolució

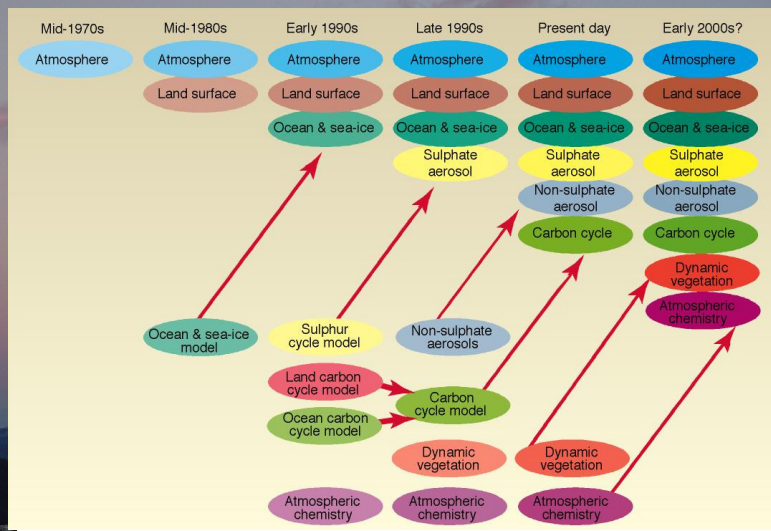
El sistema climàtic



Josep Calbó i Angrill



Evolució dels models climàtics



[IPCC TAR, 2001]

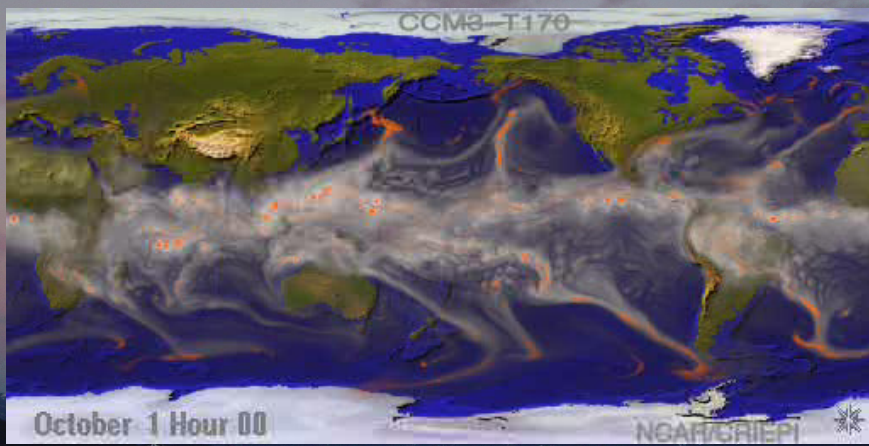
Josep Calbó i Angrill



Models AOGCM en el AR4

N	Nom del model	País	Resolució a l'atmosfera	Resolució als oceans
1	BCC-CM1	Xina	1.9°×1.9°, L16	1.9°×1.9°, L30
2	BCCR-BCM2.0	Noruega	1.9°×1.9°, L31	0.5°-1.5°×1.5°, L35
3	CCSM3	Estats Units d'Amèrica	1.4°×1.4°, L26	0.3°-1.0°×1.0°, L40
4	CGCM3.1(T47)	Canadà	2.8°×2.8°, L31	1.9°×1.9°, L29
5	CGCM3.1(T63)		1.9°×1.9°, L31	0.9°×1.4°, L29
6	CNRM-CM3	França	1.9°×1.9°, L45	0.5°-2.0°×2.0°, L31
7	CSIRO-MK3.0	Austràlia	1.9°×1.9°, L18	0.8°×1.9°, L31
8	ECHAM5/MPI-OM	Alemanya	1.9°×1.9°, L31	1.5°×1.5°, L40
9	ECHO-G	Alemanya / Corea	3.9°×3.9°, L19	0.5°-2.8°×2.8°, L20
10	FGOALS-g1.0	Xina	2.8°×2.8°, L26	1.0°×1.0°, L16
11	GFDL-CM2.0	Estats Units d'Amèrica	2.0°×2.5°, L24	0.3°-1.0°×1.0°
12	GFDL-CM2.12.1		2.0°×2.5°, L24	0.3°-1.0°×1.0°
13	GISS-AOM	Estats Units d'Amèrica	3°×4°, L12	3°×4°, L16
14	GISS-EH		4°×5°, L20	2°×2°, L16
15	GISS-ER		4°×5°, L20	4°×5°, L13
16	INM-CM3.0	Rússia	4°×5°, L21	2°×2.5°, L33
17	IPSL-CM4	França	2.5°×3.75°, L19	2°×2°, L31
18	MIROC3.2(hires)	Japó	1.1°×1.1°, L56	0.2°×0.3°, L47
19	MIROC3.2(medreshires)		2.8°×2.8°, L20	0.5°-1.4°×1.4°, L43
20	MRI-CGCM2.3.2	Japó	2.8°×2.8°, L30	0.5°-2.0°×2.5°, L23
21	PCM	Estats Units d'Amèrica	2.8°×2.8°, L26	0.5°-0.7°×1.1°, L40
22	UKM0-HadCM3	Regne Unit	2.5°×3.75°, L19	1.25°×1.25°, L20
23	UKM0-HadGEM1		1.3°×1.9°, L38	0.3°-1.0°×1.0°, L40

Simulació del món real

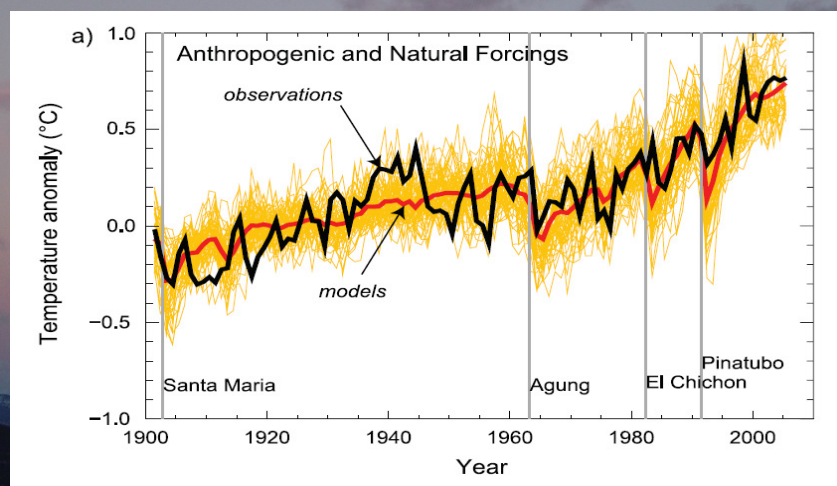


Núvols en blanc, precipitació en taronja

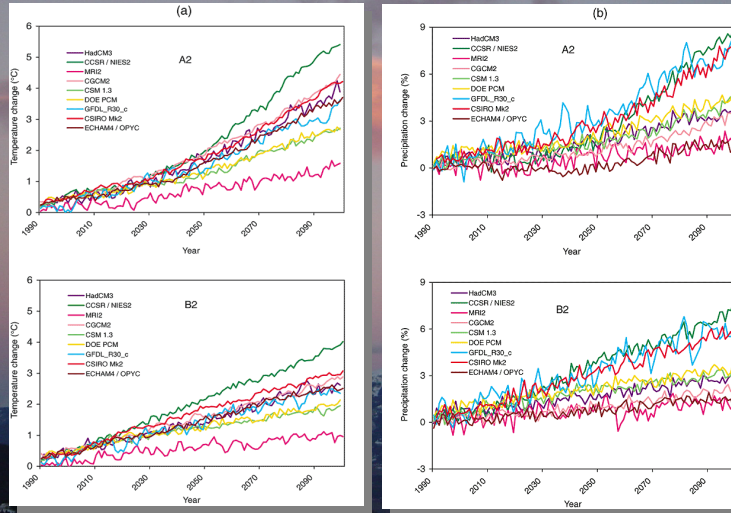
Estratègies de les simulacions

- ❑ Simulacions d'intercomparació (1% augment CO_2 per any, fins $2 \times \text{CO}_2$)
- ❑ Diferència entre simulacions amb forçament i simulacions control.
- ❑ Simulacions per conjunts (*ensembles* i *multi-model ensembles*) → el rang de valors obtinguts pels diversos models és una mesura de la incertesa.
- ❑ Models de complexitat mitjana (EMIC)

Simulació per conjunts de models



Simulacions per conjunts



[IPCC TAR, 2001]

Josep Calbó i Angrill

Universitat de Girona

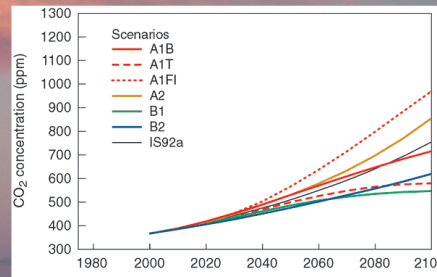
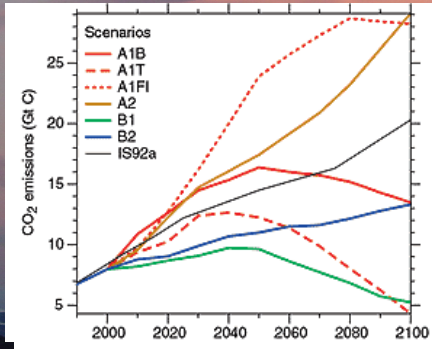
Escenaris d'emissions

- Escenari: predicció pel que fa al creixement demogràfic, econòmic i a diversos aspectes d'aquest creixement, requerida per a la projecció del clima futur.
- Informe SRES: diversos escenaris, que es corresponen a escenaris d'emissions de gasos i aerosols.
- De menors a majors emissions acumulades de CO₂ (l'any 2100): B1, B2, A1 i A2.

Josep Calbó i Angrill

Universitat de Girona

Escenaris emissions (SRES)

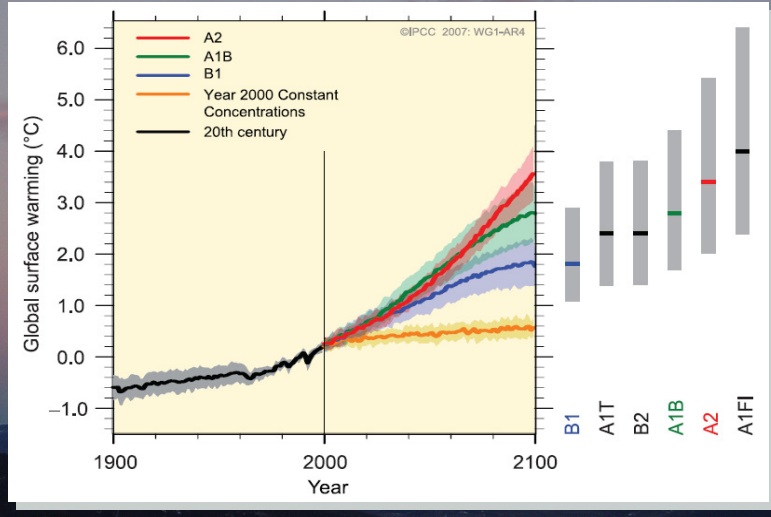


[IPCC TAR, 2001]

Contingut

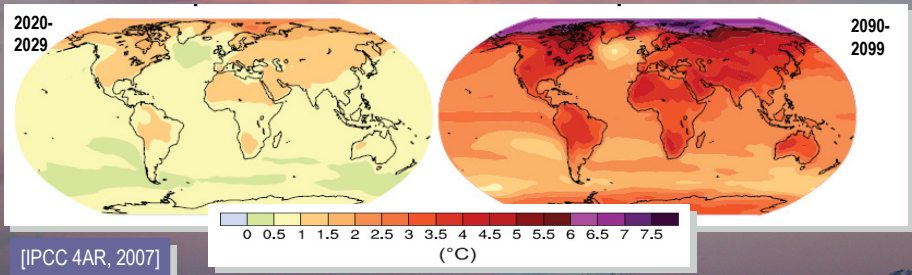
- ❑ Per què tenim el clima que tenim?
- ❑ Un model senzill: el balanç d'energia.
- ❑ Projeccions sobre el clima futur
 - ❑ Models i escenaris d'emissions
 - ❑ Projeccions globals (per a la Terra)
 - ❑ Projeccions regionals

El futur: temperatura



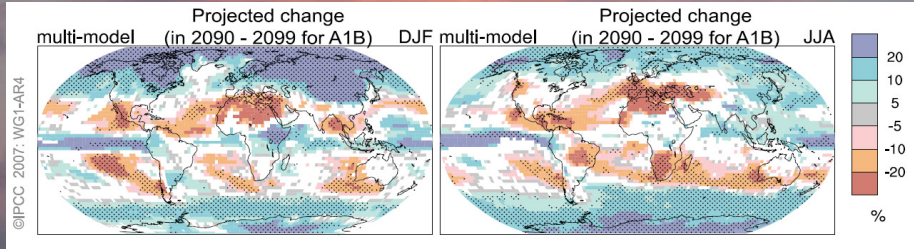
[IPCC 4AR, 2007]

Augments de temperatura (A1B)



[IPCC 4AR, 2007]

Canvis en la precipitació (A1B)

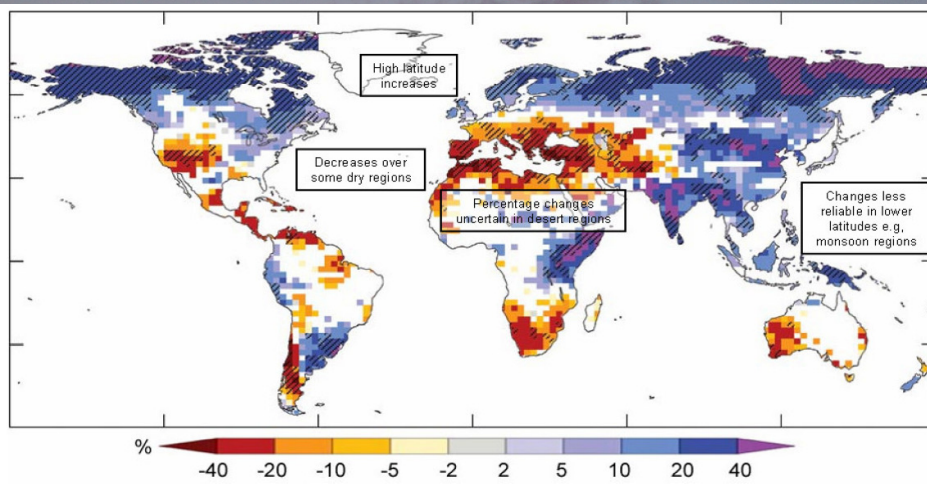


[IPCC 4AR, 2007]

Josep Calbó i Angrill

Universitat de Girona

Canvis en l'escorrentia

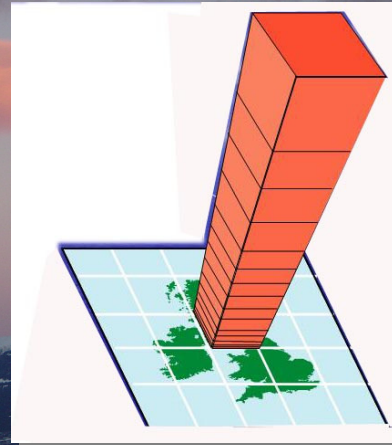
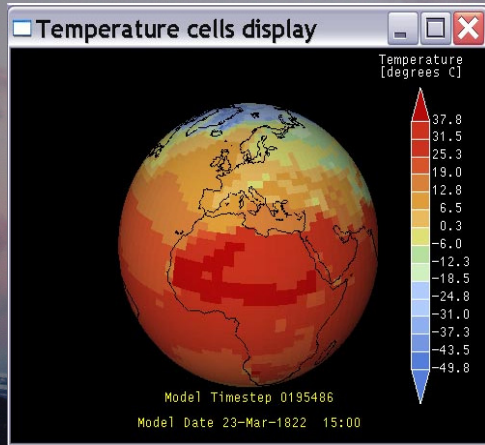


[IPCC 4AR, 2007]

Josep Calbó i Angrill

Universitat de Girona

Les malles de càlcul



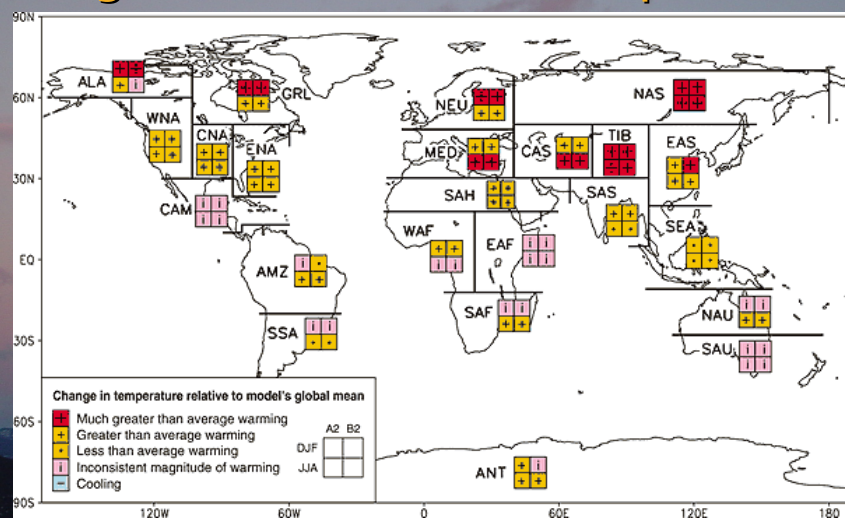
Contingut

- ❑ Per què tenim el clima que tenim?
- ❑ Un model senzill: el balanç d'energia.
- ❑ Projeccions sobre el clima futur
 - ❑ Models i escenaris d'emissions
 - ❑ Projeccions globals (per a la Terra)
 - ❑ **Projeccions regionals**

Regionalització de prediccions

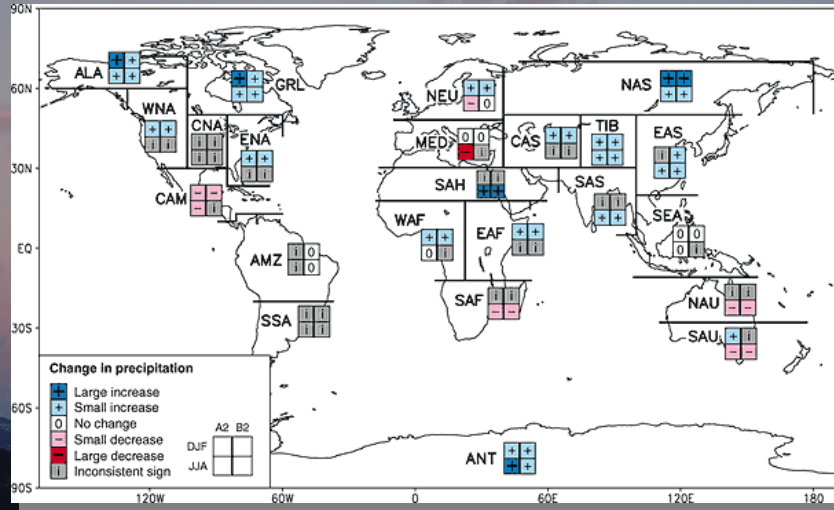
- Metodologies (totes depenen de models globals):
 - Anàlisi acurada dels resultats dels models globals
 - Models globals d'alta resolució o tècniques d'aniuament (*nesting*) de models regionals (RCM)
 - Tècniques estadístiques per obtenir resultats d'escala menor (*downscaling* estadístic).
- Gran actualitat, molta investigació
- Menor fiabilitat que les projeccions globals.

Regionalització IPCC: temperatura



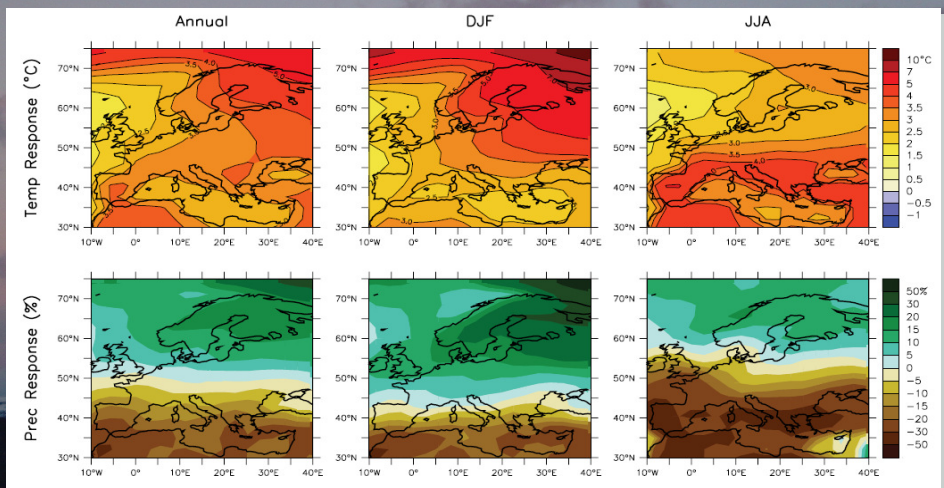
Finals segle XXI [IPCC TAR, 2007]

Regionalització IPCC: precipitació



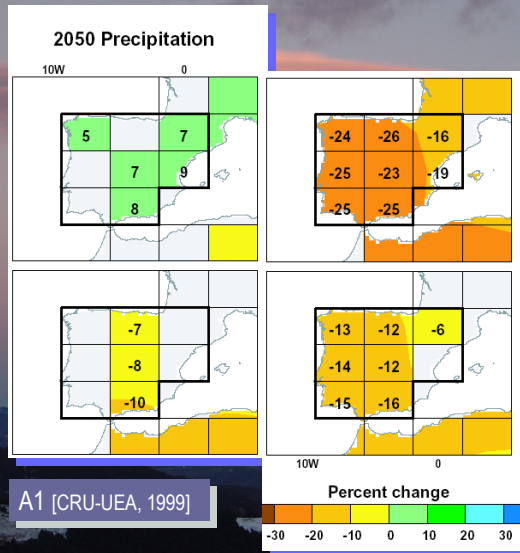
Finals segle XXI [IPCC TAR, 2007]

El canvi a Europa i la Mediterrània



2080-2099, A1B [IPCC 4AR, 2007]

Precipitació a la Península Ibèrica



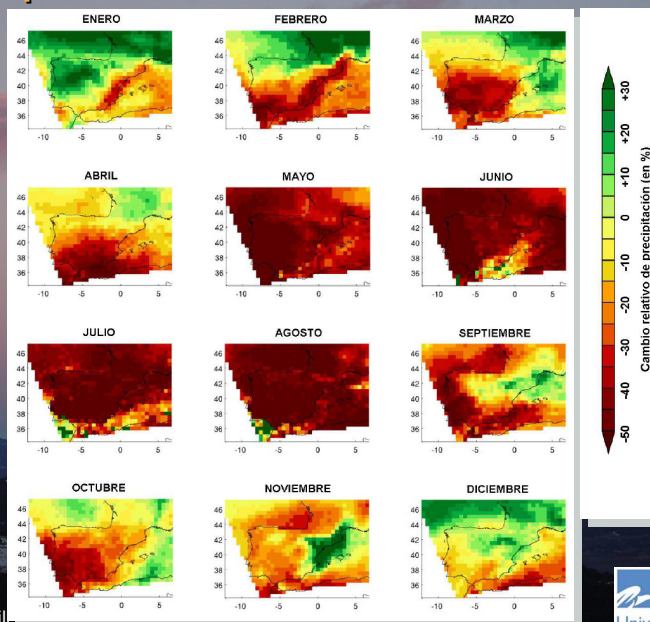
A1 [CRU-UEA, 1999]

Josep Calbó i Angrill



Precipitació a la Península Ibèrica

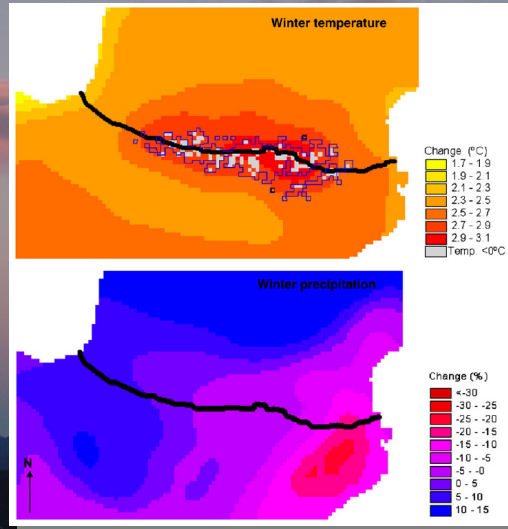
Conjunt de models regionals del clima, PRUDENCE A2, 2070-2100 [INM, 2007]



Josep Calbó i Angrill



Temperatura i precipitació, Pirineus

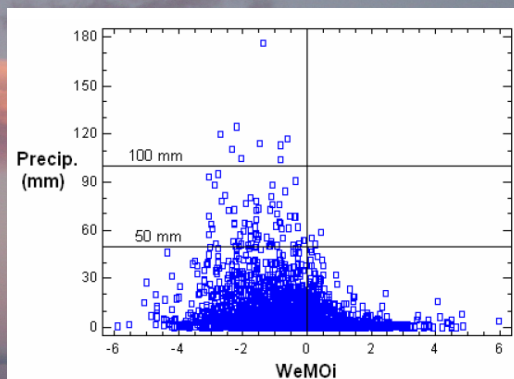
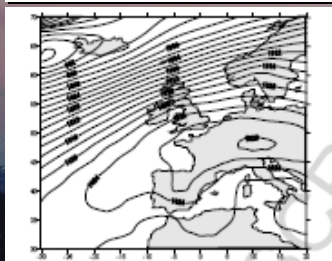
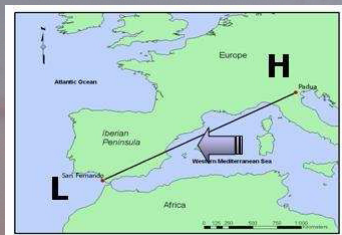


A2, 2070-2100 [López Moreno et al., 2008]

Josep Calbó i Angrill



Regionalització dinàmica-estadística

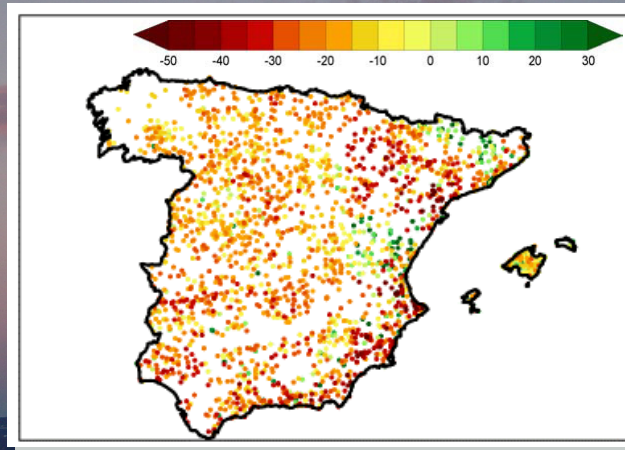


WeMO i precipitació a Tortosa, 1951-2000
[López-Bustins, 2007]

Josep Calbó i Angrill



Precipitació, Espanya



A2, 2070-2100 [INM, 2007]

Josep Calbó i Angrill

Universitat de Girona

Resumint, a Catalunya

	Hivern	Primavera	Estiu	Tardor	Any
ΔT (°C)	2.5,4.0	3.0,4.5	5.5,7.0	4.0,5.5	4.0,5.5
Δpp (%)	-5,+10	-10,0	-30,-10	-15,-5	-15,-5

Diverses tècniques i diversos escenaris, 2070-2100, [Calbó, 2008]

Josep Calbó i Angrill

Universitat de Girona