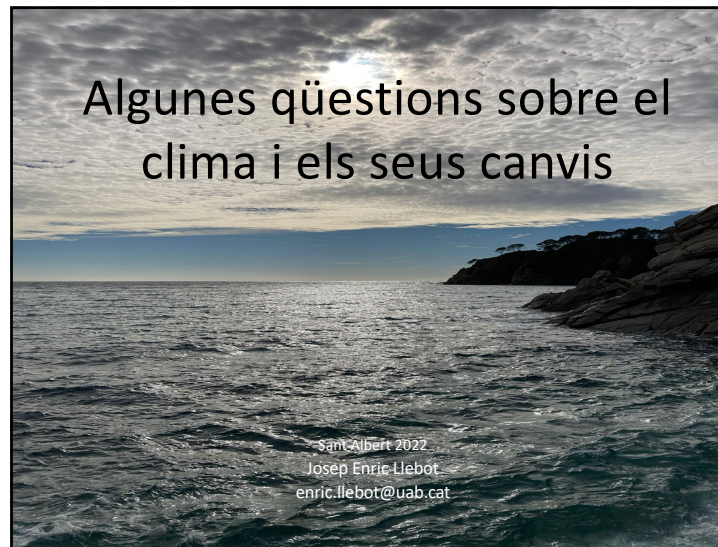
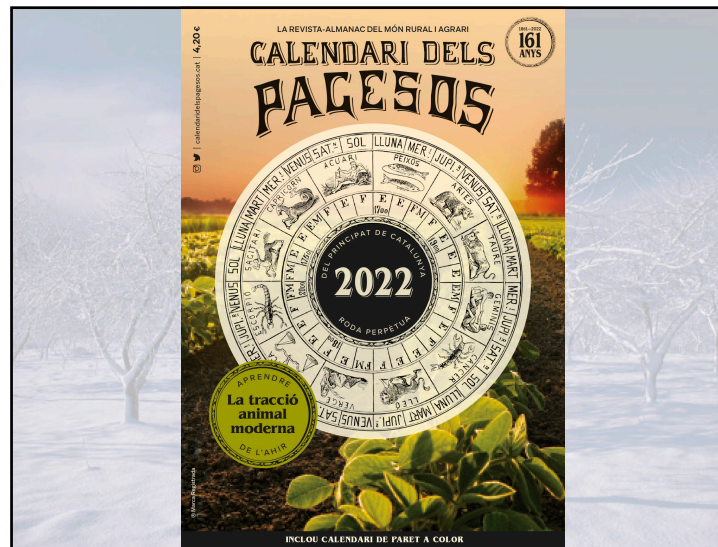




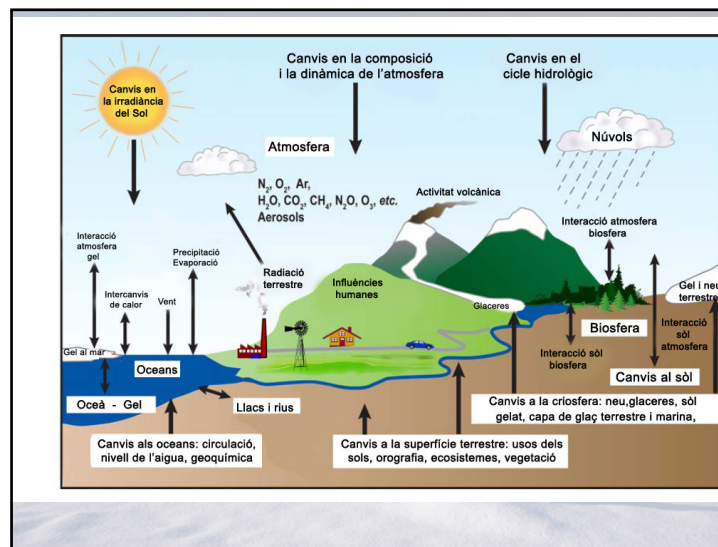
1



2

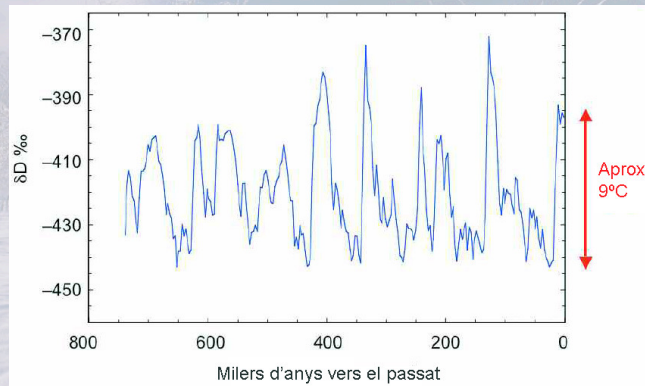


3



4

El clima ha canviat “sempre” però, per quines causes?



5

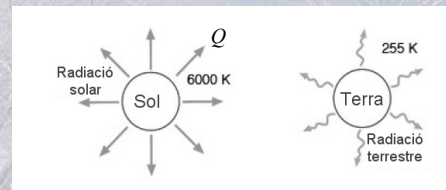
Diari Ara: 22 d'octubre 2022



6

Balanç d'energia

- La Terra rep energia del Sol i n'absorbeix una bona part.

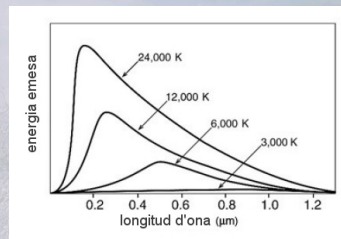


- La Terra per mantenir l'equilibri tèrmic ha d'emetre la mateixa energia que rep. Ho fa a la temperatura d'emissió

7

7

Lleis de la radiació



Llei de Wien

$$\lambda_{\text{m}} = \frac{2897}{T}$$
Llei de Stefan-Boltzmann

$$E = \sigma T^4$$

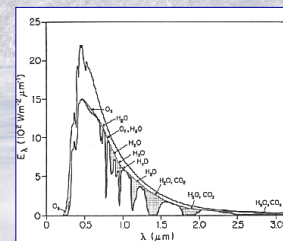
$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

Llei de Planck

$$E = \frac{c_1}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]}$$

$$c_1 = 3.74 \times 10^{-16} \text{ W m}^2$$

$$c_2 = 1.44 \times 10^{-2} \text{ m K}$$



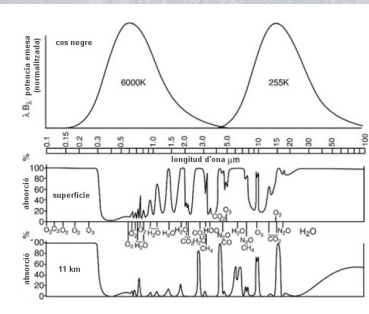
8

8

Longitud d'ona de màxima d'emissió de la Terra

$$\lambda_{m,ter}T_{ter} = \lambda_{m,sol}T_{sol}$$

$$\lambda_{m,ter} = \frac{\lambda_{m,sol}T_{sol}}{T_{ter}} = \frac{0.6\mu m \times 6000}{255} = 14\mu m$$



- L'atmosfera es gairebé transparent al visible
- L'atmosfera és molt opaca a l'UV
- L'opacitat de l'atmosfera a l'IR és variable
- El N₂ no juga cap paper.
- L'O₂ absorbeix únicament a l'UV llunyà i a l'IR pròxim.
- L'absorció de la radiació terrestre està dominada per molècules triatòmiques: O₃, H₂O, CO₂... són els gasos amb efecte d'hivernacle

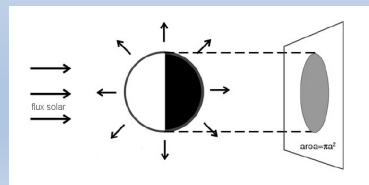
9

Energia interceptada per la Terra

$$R_0 = \frac{Q}{4\pi r^2} = \frac{3.87 \times 10^{26} \text{ W}}{4\pi (150 \times 10^6)^2} = 1367 \text{ W m}^{-2}$$

$$S_0 \pi a^2 / 4 \pi a^2 (1 - \alpha_p) = 239.2 \text{ W m}^{-2}$$

- Constant solar: flux d'energia solar que arriba a la Terra. Depèn de la distància al Sol. El Sol produeix $Q = 3.87 \times 10^{26} \text{ W}$

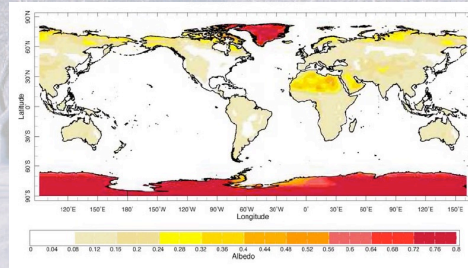


10

10

L'albedo

Tipus de superfície	Albedo (%)
Oceà	2 – 10
Bosc	6 – 18
Urbà	14 – 18
Gespa	7 – 25
Sol	10 – 20
Prat	16 – 20
Sorra del desert	35 – 45
Gel	20 – 70
Núvols (prims, gruixuts)	30 60 – 70
Neu vella	40 – 60
Neu nova	75 – 95



11

Constant solar

- Constant solar: flux d'energia solar que arriba a la Terra. Depèn de la distància al Sol. El Sol produeix $Q=3,87 \times 10^{26} \text{ W}$

$$S_0 = \frac{Q}{4\pi r^2} = \frac{3,87 \times 10^{26} \text{ W}}{4\pi (150 \times 10^9 \text{ m})^2} = 1367 \text{ W m}^{-2}$$

$$S_0 (0,706/4000^2) = 341,7 \text{ W m}^{-2}$$

	r	S_0	α_p	T_e	T_m	T_s	τ
	10^9 m	W m^{-2}		K	K	K	dia
Venus	108	2632	0.77	227	230	760	243
Terra	150	1367	0.30	255	250	288	1.00
Mart	228	589	0.24	211	220	230	1.03
Jupiter	780	51	0.51	103	130	134	0.41

$$(S_0 \cdot 0,68) / (4000^2) = 0,223 = 1510 \text{ W m}^{-2}$$

$$(S_0 \cdot 0,68) / (4000^2) = 0,70 = 234,10 \text{ W m}^{-2}$$

12

12



Jean Baptiste Joseph Fourier

REMARQUES GÉNÉRALES sur les Températures du globe terrestre et des espaces planétaires.

PAR M. FOURIER.

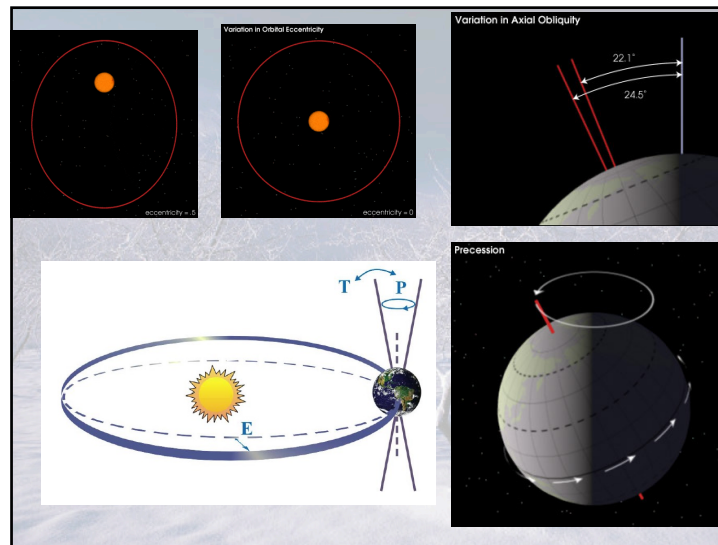
La question des températures terrestres, l'une des plus remarquables et des plus difficiles de toute la philosophie naturelle, se compose d'éléments assez divers qui doivent être considérés sous un point de vue général. J'ai pensé qu'il serait utile de réunir dans un seul écrit les conséquences principales de cette théorie; les détails analytiques que l'on omit ici se trouvent dans les ouvrages que j'ai déjà publiés. J'ai désiré surtout présenter aux physiciens, dans un tableau peu étendu, l'en-

- "L'embolcall atmosfèric de la Terra es comporta com el vidre d'un hivernacle: La temperatura augmenta perquè la calor en forma de llum troba menys obstacles per passar per l'aire que la calor quan s'intenta escapar en forma de calor radiant" J. Fourier, "Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires". *Ahn. Chlm. Phys.* **27** 136-167 (1824)
- "La Terra està submergida en la temperatura freda de l'espai interplanetari i escalfada pel Sol la distribució irregular del qual produeix la diversitat dels climes terrestres"

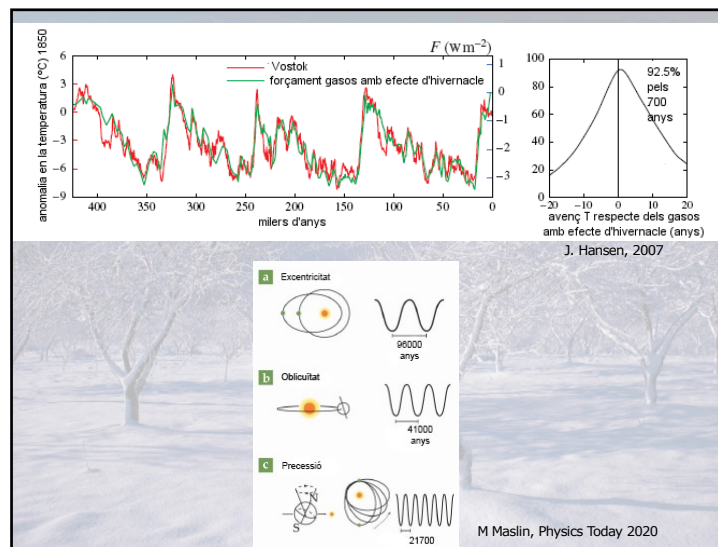
13

[illegible]

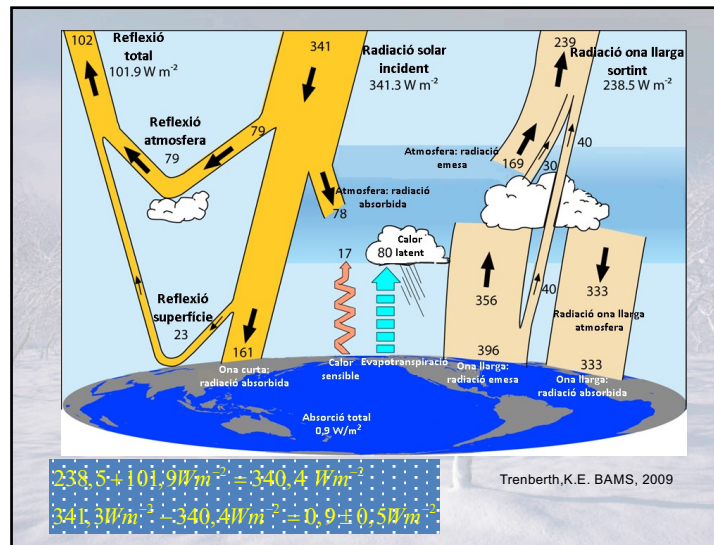
14



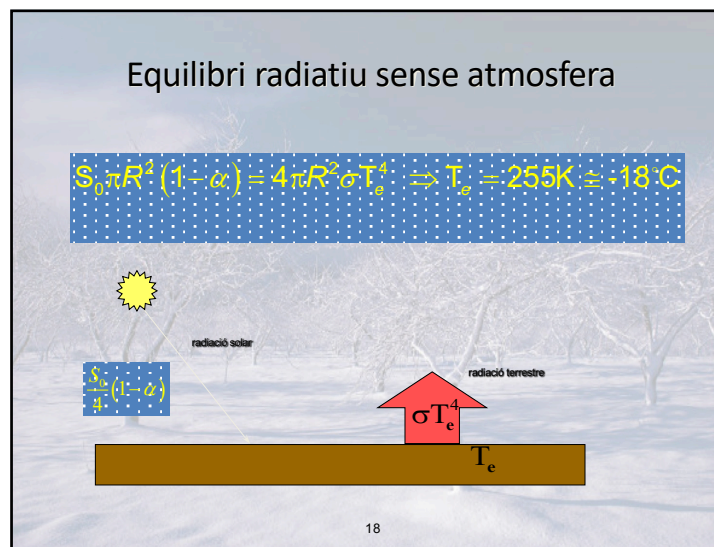
15



16



17



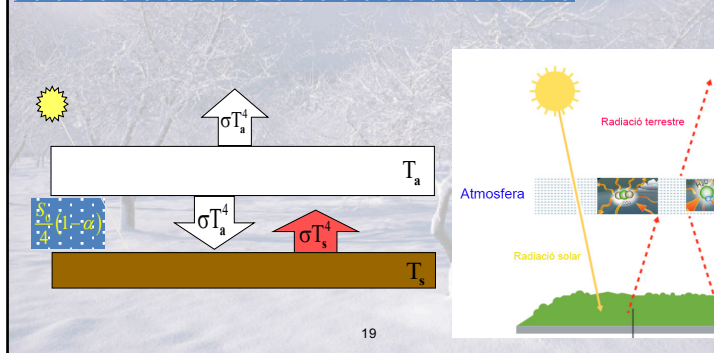
18

18

Atmosfera absorbeix tota la radiació terrestre

$$S_0 \pi R^2 (1 - a) + 4\pi R^2 \sigma T_a^4 = 4\pi R^2 \sigma T_s^4; T_a = 255K \approx -18^\circ C$$

$$2\sigma T_a^4 = \sigma T_s^4 \Rightarrow T_s = T_a \sqrt[4]{2} \approx 303K \approx 30^\circ C$$



19

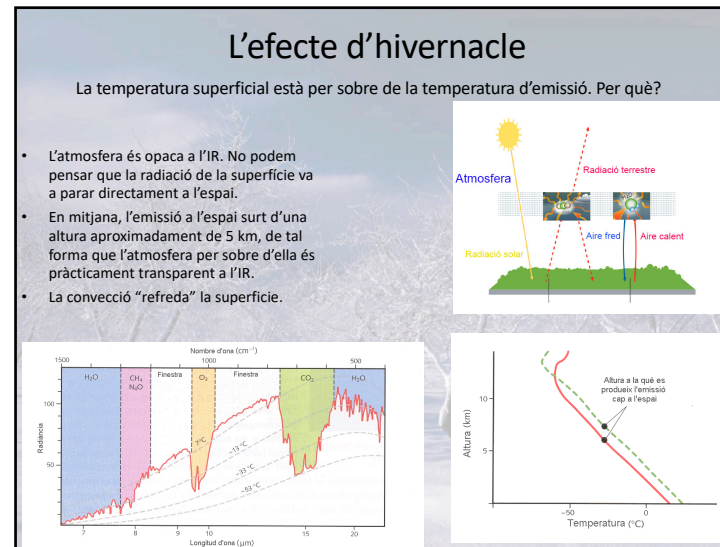
19

Per què T està sobre valorada?

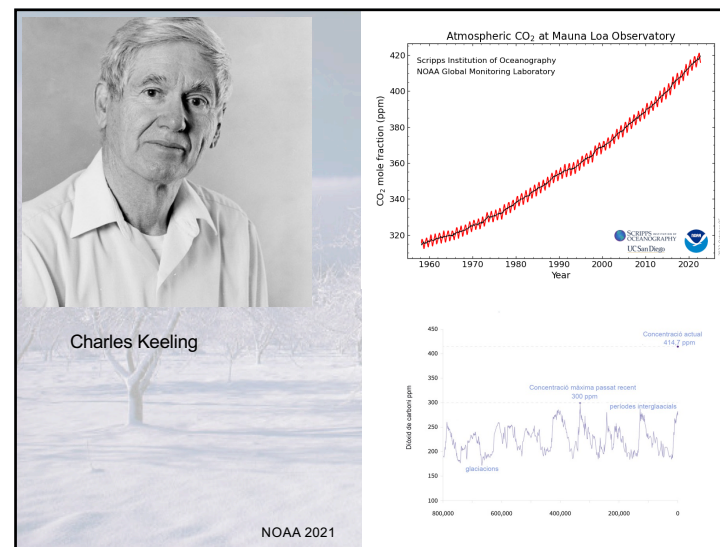
- No tot el flux solar incident al cim de l'atmosfera arriba a la superfície (20-25%)
- L'efecte d'hivernacle que considera el model és més fort d'allò que es dona a la realitat, per tant "s'escapàrà" radiació
- Hi ha efectes convectius

20

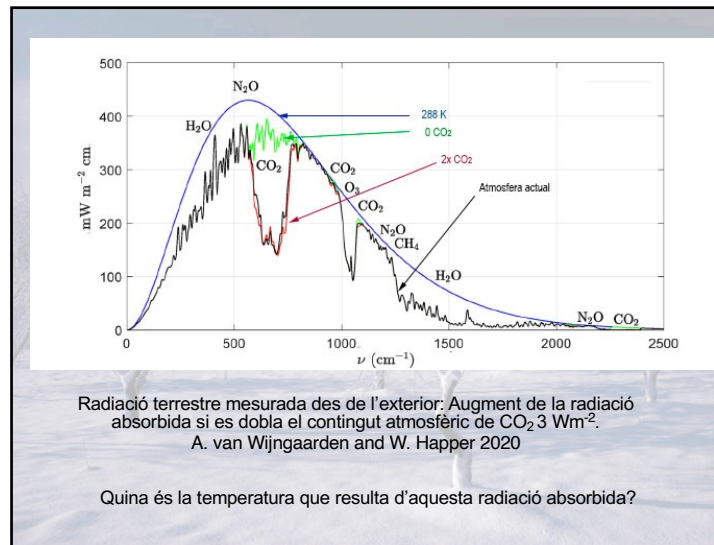
20



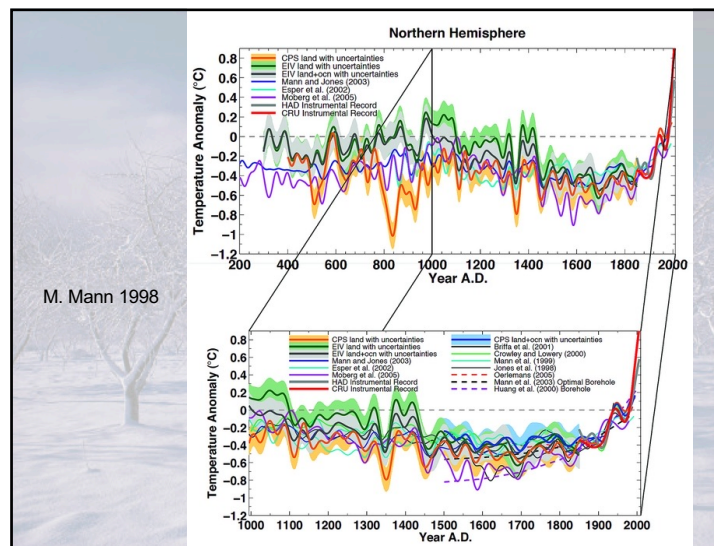
21



22



23

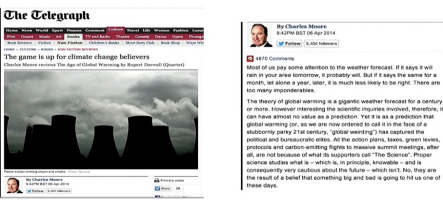


24



Què passarà en el futur?

Mariano Rajoy (2007) “Yo sé poco de este asunto, pero mi primo supongo que sabrá. ‘He traído aquí a diez de los más importantes científicos del mundo y ninguno me ha garantizado el tiempo que hará mañana en Sevilla. ¿Cómo alguien puede decir lo que va a pasar en el mundo dentro de 300 años?’”



“The theory of global warming is a gigantic weather forecast for a century or more....therefore it can have almost no value as a prediction “

25

Els models climàtics estan basats en lleis bàsiques de la física



Dinàmica: $\vec{F} = m\vec{a}$



Radiació: $E = h\nu$



Termodinàmica: $\delta Q = TdS$



26

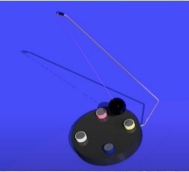


$$\rho \left(\frac{\partial}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \right) \vec{u} = \rho \vec{g} - \nabla p + \mu \nabla^2 \vec{u}$$

Múltiples escales temporals i espacials

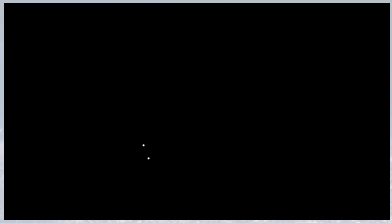
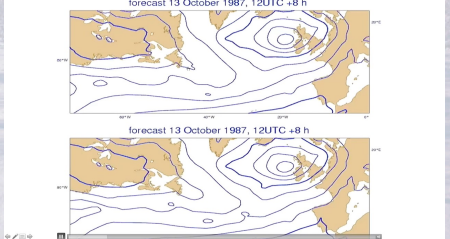


27

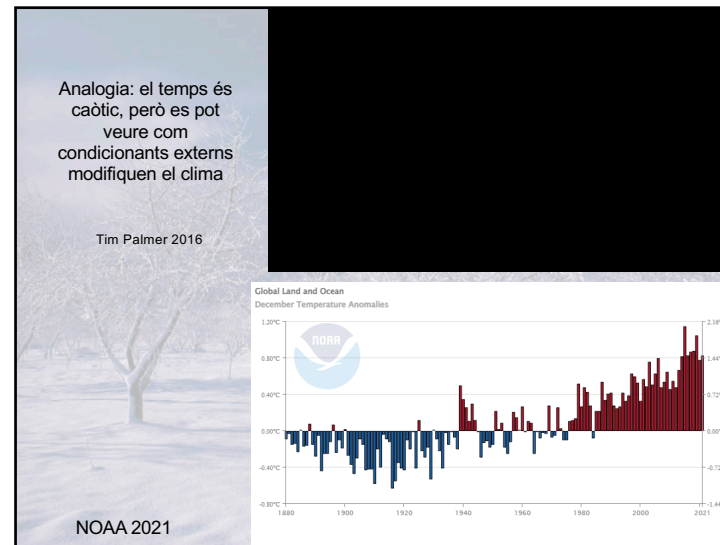


Analogia: el temps és caòtic

Tim Palmer 2016

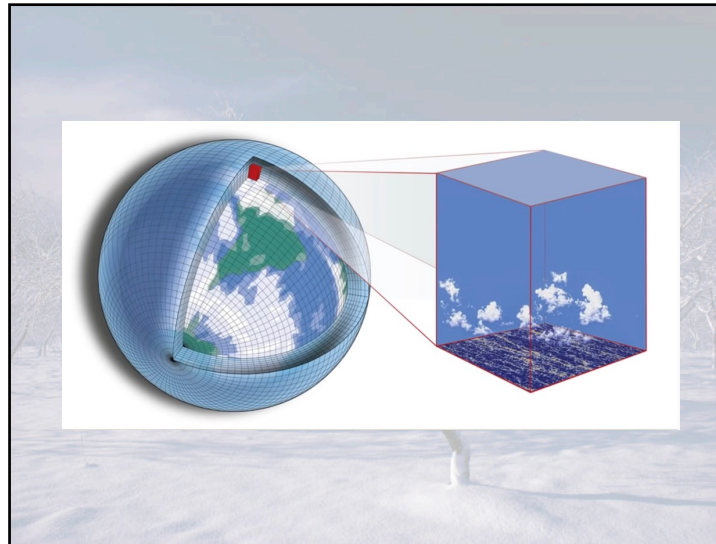
28



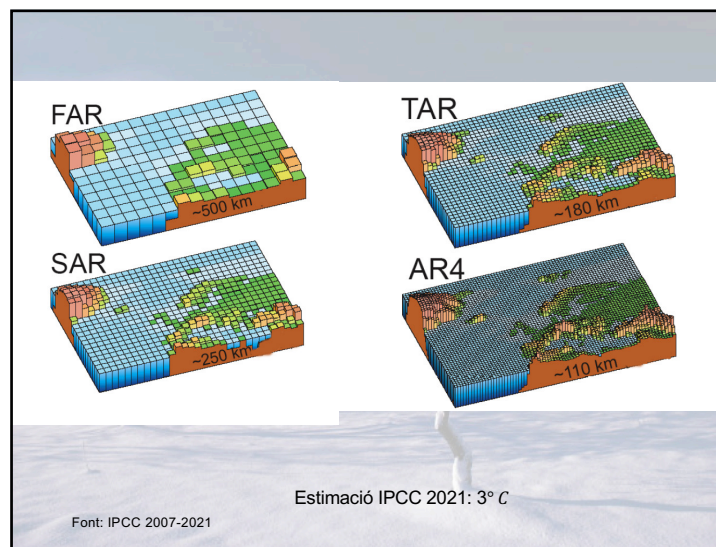
29



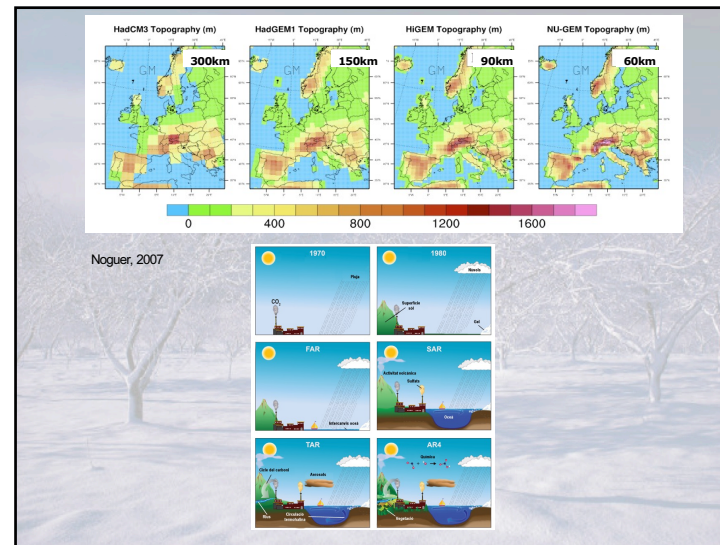
30



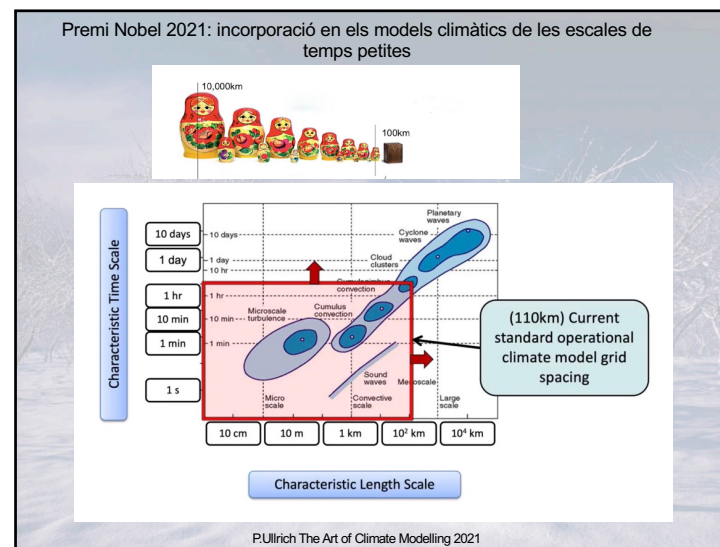
31



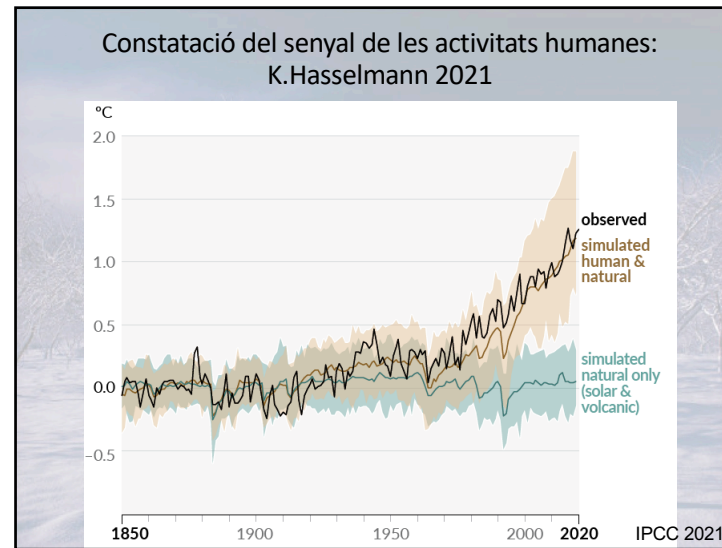
32



33



34



35