



**Barcelona  
Supercomputing  
Center**  
*Centro Nacional de Supercomputación*

# Tractament estadístic de la incertesa en models climàtics

Llorenç Lledó  
departament de Ciències de la Terra

1 de febrer de 2022

Happy stats hour

# The MareNostrum 4 supercomputer

Total peak performance:

**13,7 Pflops/s**



Access: [prace-ri.eu/hpc-access](https://prace-ri.eu/hpc-access)



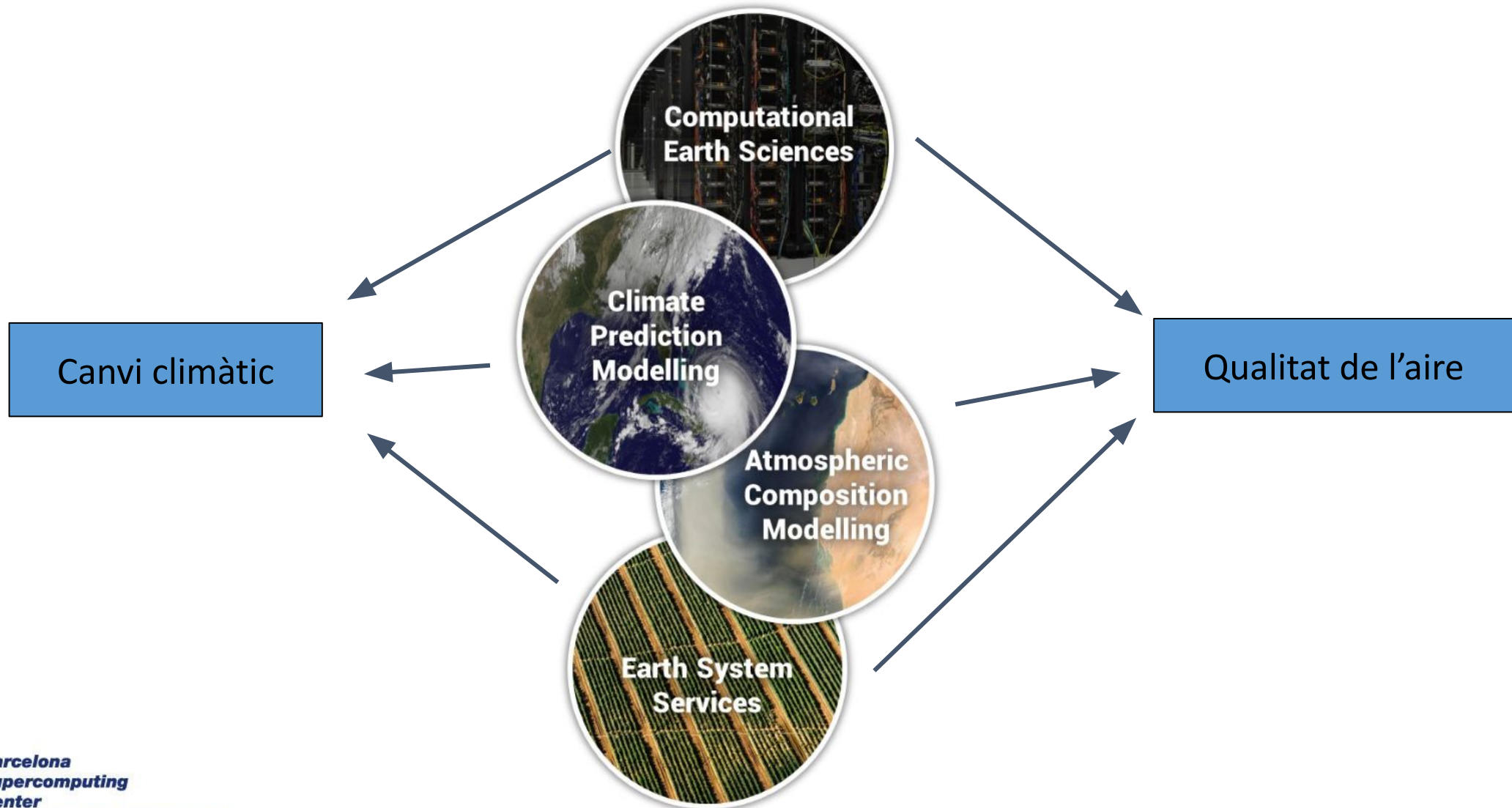
RED ESPAÑOLA DE  
SUPERCOMPUTACIÓN

Access: [bsc.es/res-intranet](https://bsc.es/res-intranet)

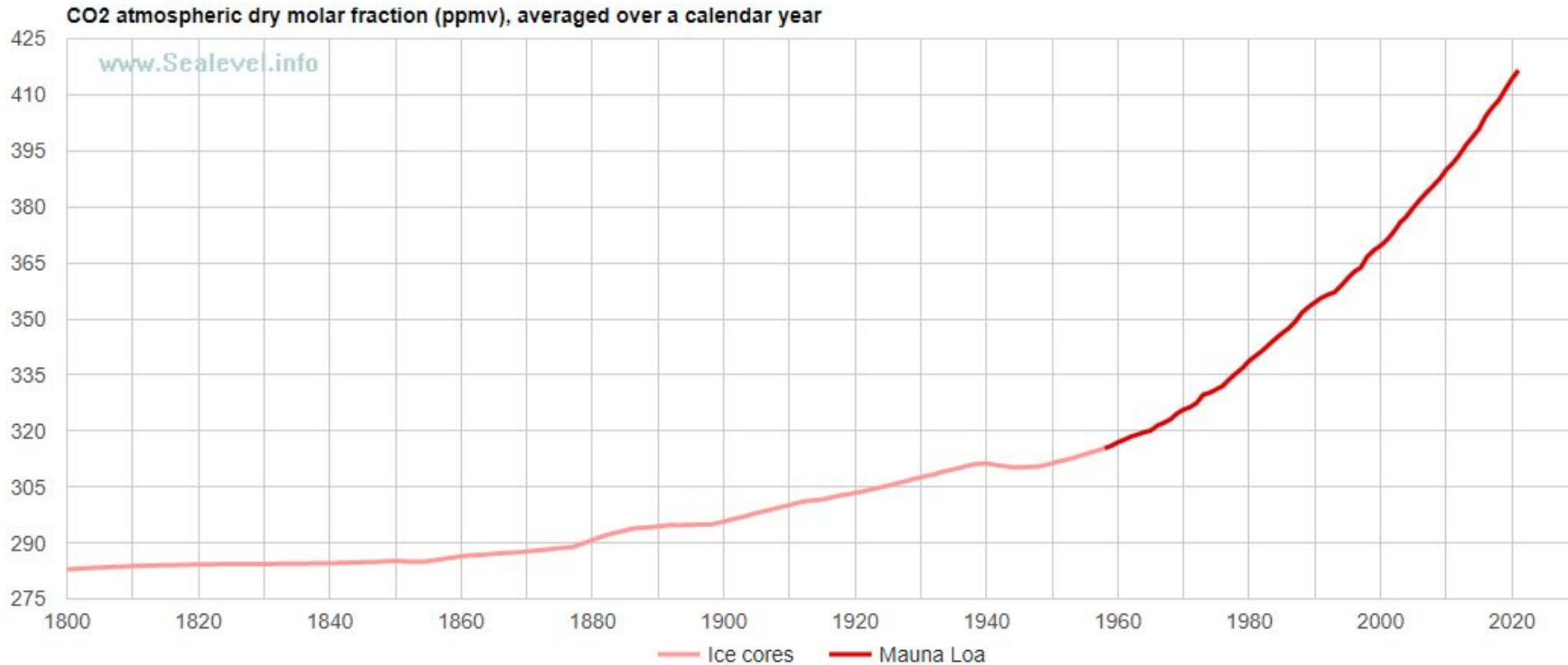


**Barcelona  
Supercomputing  
Center**  
Centro Nacional de Supercomputación

# Dos grans reptes ambientals

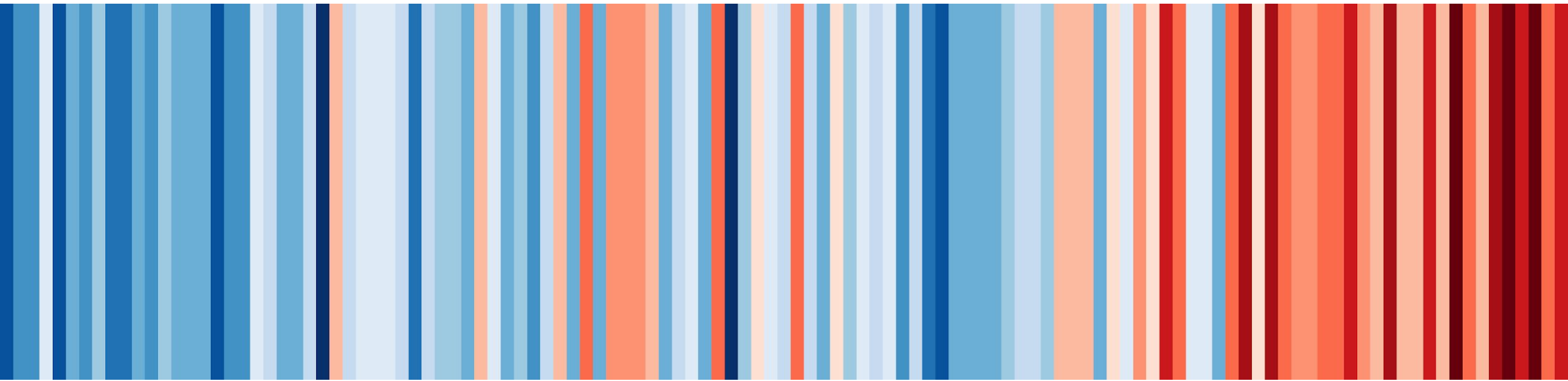


# Concentració de CO2 a l'atmosfera



# Climate stripes

històric d'anomalies anuals de temperatura a Espanya



1910

1930

1950

1970

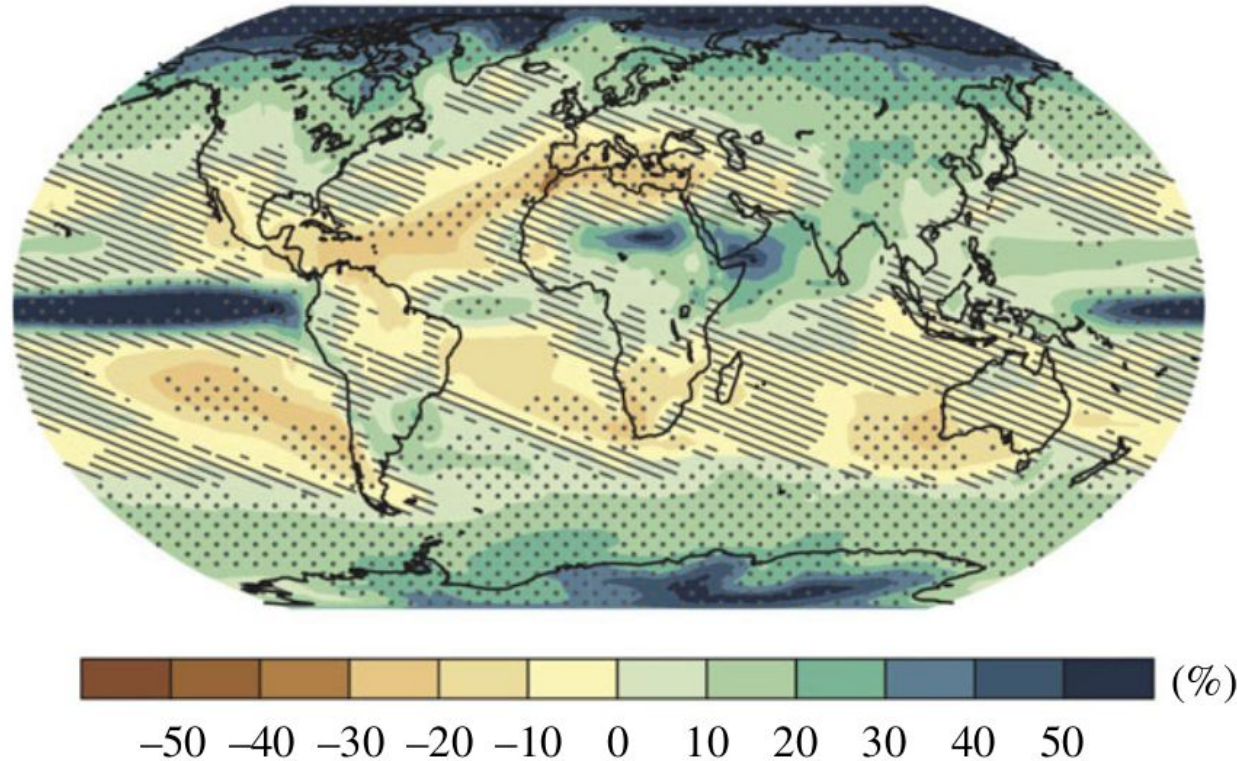
1990

2010

tendència clara

variacions entre anys consecutius

# Canvis de precipitació projectats

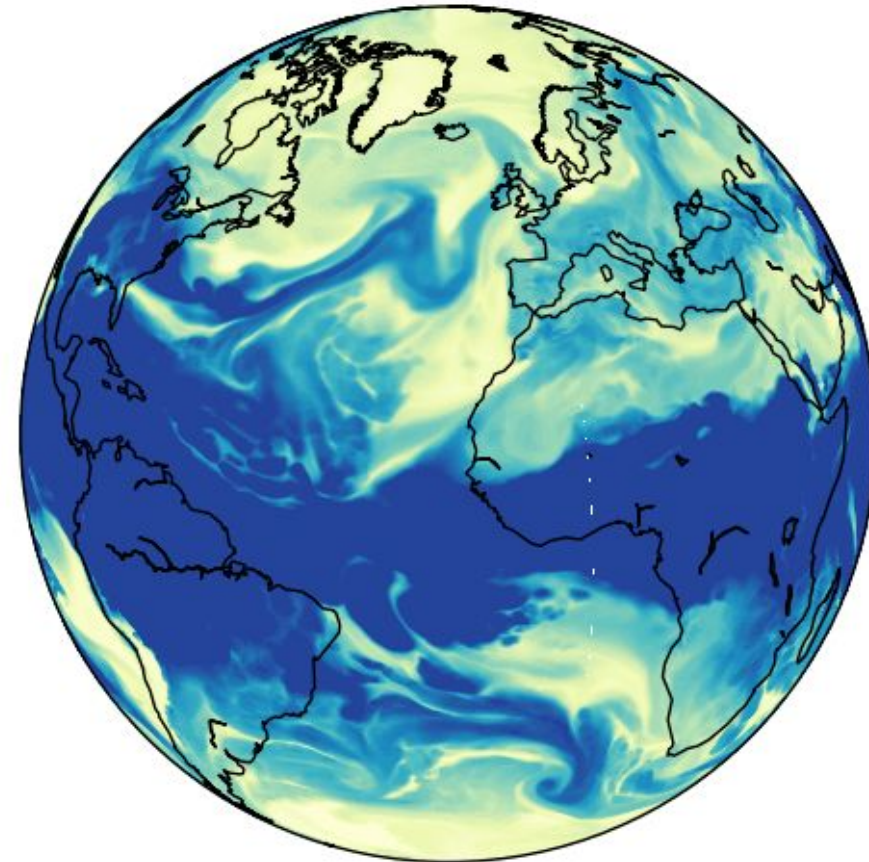


**Figure 1.** Projected changes in precipitation (in %) over the twenty-first century under a high climate forcing scenario (RCP8.5). Stippling indicates where the multi-model mean change is large compared with natural internal variability in 20 year means (greater than two standard deviations) and where at least 90% of models agree on the sign of change. Hatching indicates where the multi-model mean change is small compared with internal variability (less than one standard deviation), but this does not mean that individual model changes are small. From the Summary for Policymakers of [2]. (Online version in colour.)

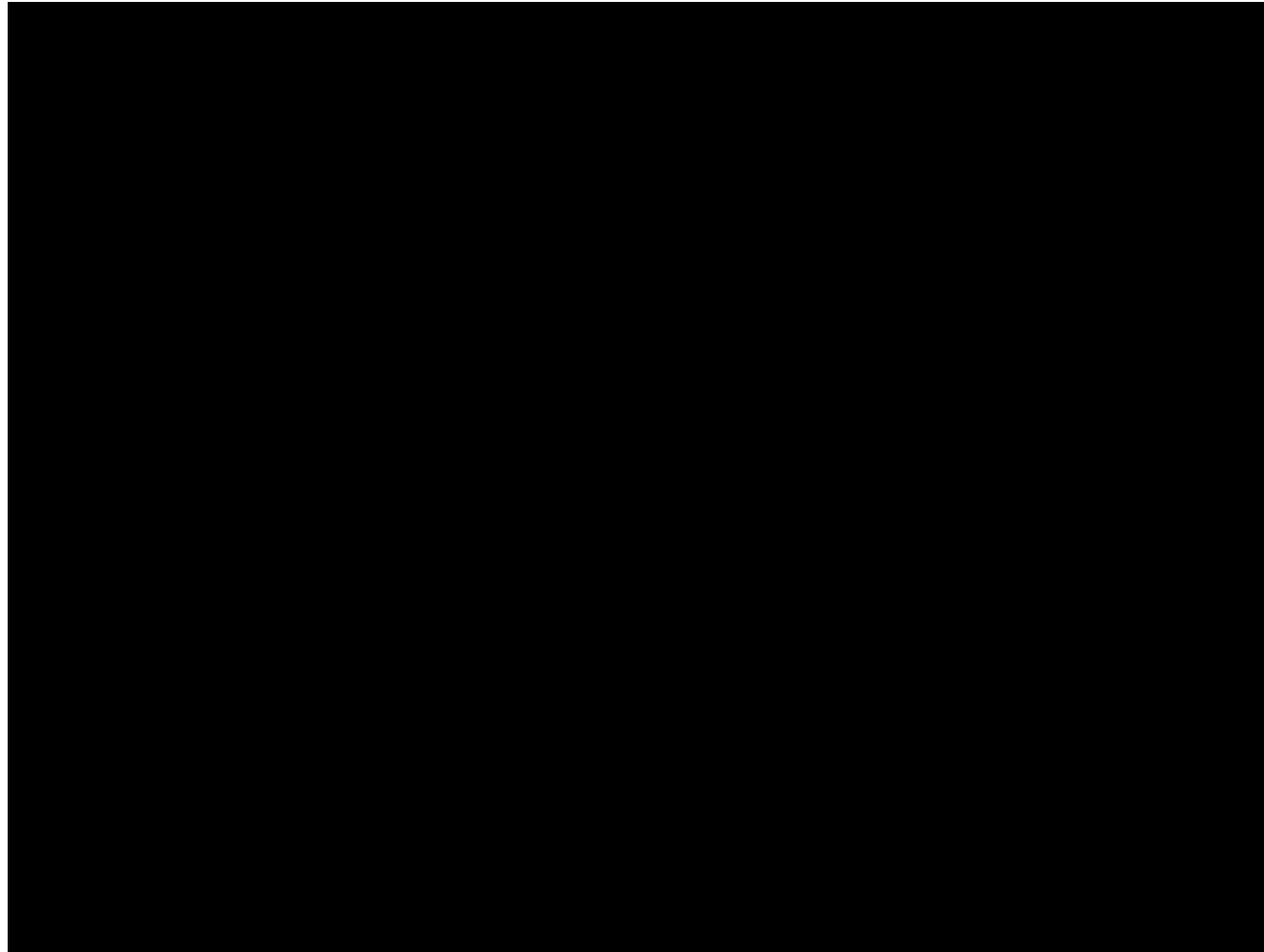
# L'atmosfera és caòtica

1. Equacions diferencials que descriuen el moviment dels fluids
2. Els errors inicials van creixent fins a dominar els resultats -> la previsió meteo es pot fer a 10/15 dies vista
3. l'estadística ens permet estudiar la distribució de valors (el clima):
  - a. quines situacions son mes probables que altres?
  - b. què passa si canvio un forçament?

1993-05-26

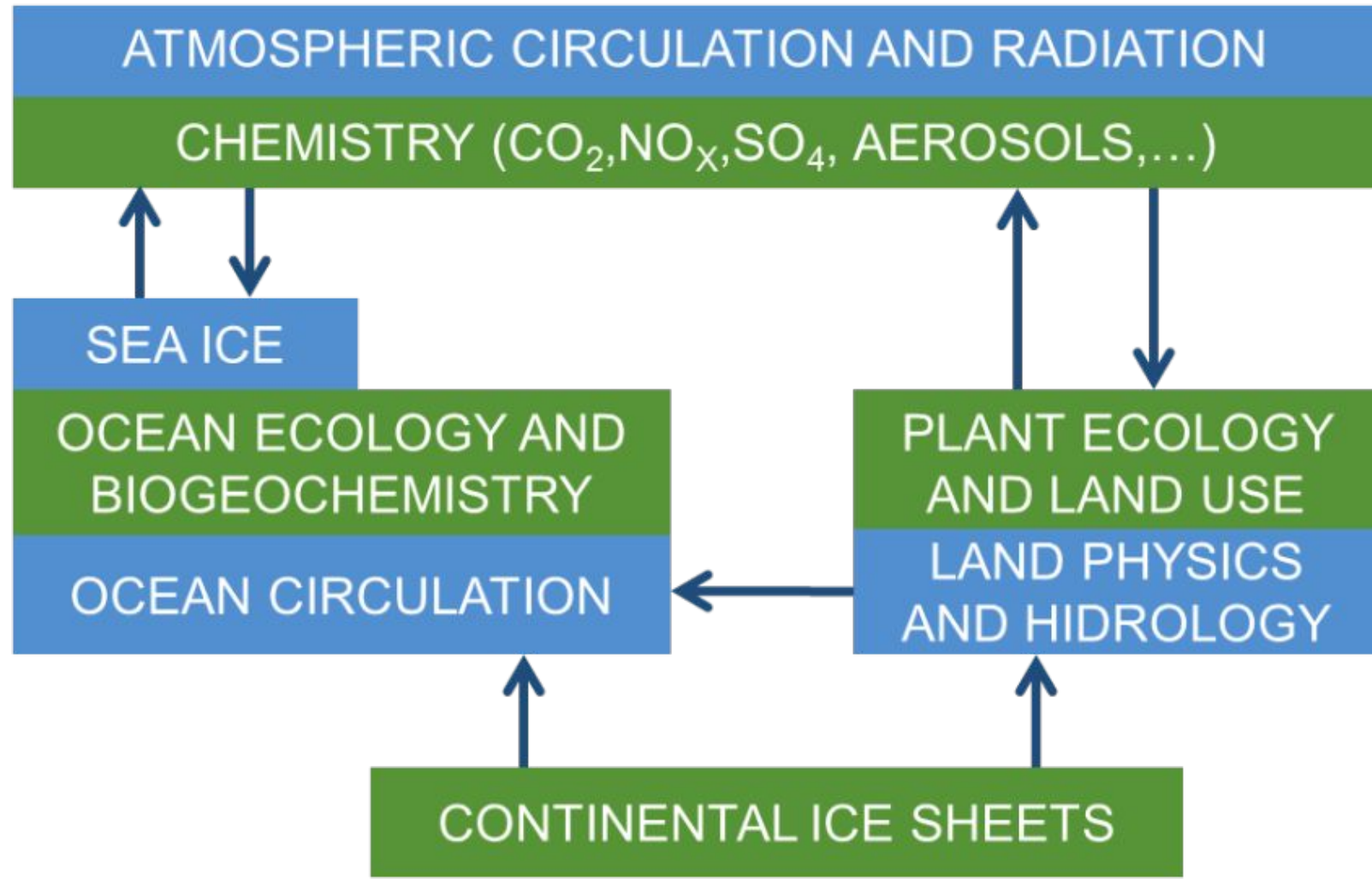


# Un sistema dinàmic caòtic de joguina





# Models del sistema Terra



# Que pot passar si...

## **Anàlisis físics**

$P(t.\text{ global}>2 \mid \text{CO}_2=500\text{ppm})$  vs  $P(t.\text{ global}>2 \mid \text{CO}_2=400\text{ppm})$

## **Anàlisis socioeconòmics**

$P(t.\text{ global}>2 \mid \text{business as usual})$  vs  $P(t>2 \mid \text{ecologic transition})$

## **Anàlisis de riscos**

$P(\text{huracà a BCN} \mid \text{CO}_2=500\text{ppm})$

$P(\text{huracà a BCN} \mid t>2)$  ← acord de París (factoritzar)

# 3 incerteses a la cadena de causalitats

(Shepherd 2019)

Ciències socials

decisions socio-econòmiques

vulnerabilitat i exposició

impactes i riscos

Ciència física

concentracions de CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub>

temperatura

termodinàmica

circulació atmosfèrica

altres variables físiques

Incertesa #1

Incertesa #2

Incertesa #3

#1. Quines concentracions futures tindrem?

#2. Com afecta un increment de CO<sub>2</sub> concret a la t. global?

#3. Com evolucionarà la circulació?

# #1. Quines concentracions futures tindrem?

- governat per decisions polítiques complexes:
  - transició energètica i ecològica
  - creixement econòmic i desigualtats
  - creixement de població
- es simulen un nombre limitat d'escenaris
  - intervenció en els models imposant condicions de CO2 concretes
  - son els 'pathways' (RCP/SSP)
- cada escenari és plausible, però no s'hi assigna cap probabilitat
- es tracta d'avaluar el rang de possibles respostes
- l'única incertesa en la qual podem actuar

## #2. Sensibilitat climàtica del planeta Terra

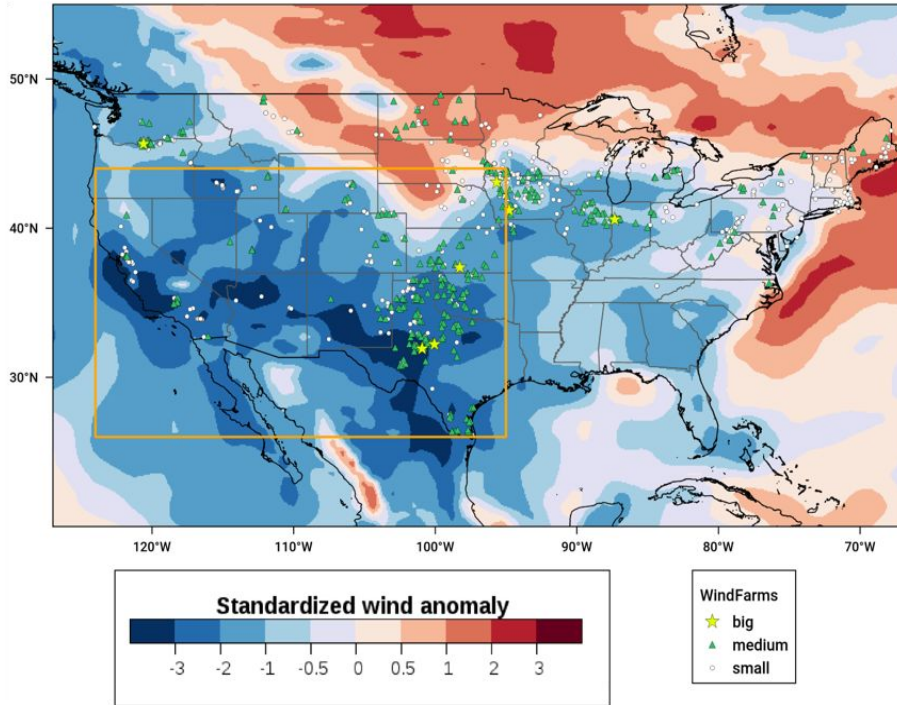
- Quant augmenta la temperatura global si doblem el CO2?
  - la resposta és un únic valor...
  - ...però **no sabem** exactament quin!!
  - com millors models i observacions tenim més afinem aquest valor
- Diferents models ens donen diferents respostes:
  - estudiem la distribució de la resposta dels diferents models:
    - quina mitjana té? és robust el canvi?
- *a priori* cada model té la mateixa probabilitat de ser correcte
  - amb les observacions podem fer correccions *a posteriori*

## #3. Com evolucionarà la circulació?

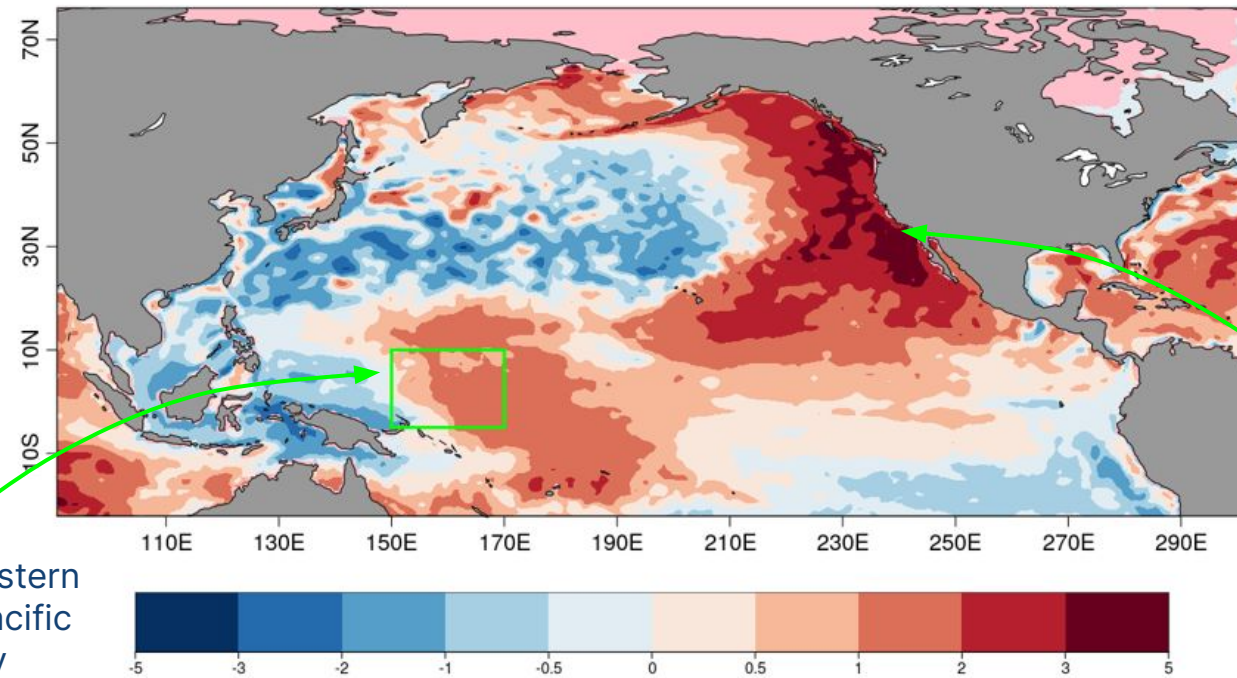
- Incertesa intrínseca del sistema climàtic degut al seu comportament caòtic
  - es coneix com a variabilitat natural
  - si tinguéssim 1000 planetes bessons i apliquéssim la mateixa concentració de CO<sub>2</sub> a tots ells però amb inicialitzacions lleugerament diferents obtindriem 1000 trajectories diferents.
- un únic model (e.g. el perfecte) dona múltiples respostes depenent de les condicions inicials
  - anàlisi estadístic dels membres i de les variacions interanuals
- cada realització és equiprobable (hipòtesi d'intercanviabilitat)
  - estudiem la distribució de probabilitat
- els pronòstics són probabilístics per naturalesa
- les observacions ens revelaran només una única evolució, però qualsevol altra hagués estat possible

# L'episodi de poc vent del 2015 als EEUU

Q1 2015 wind anomaly



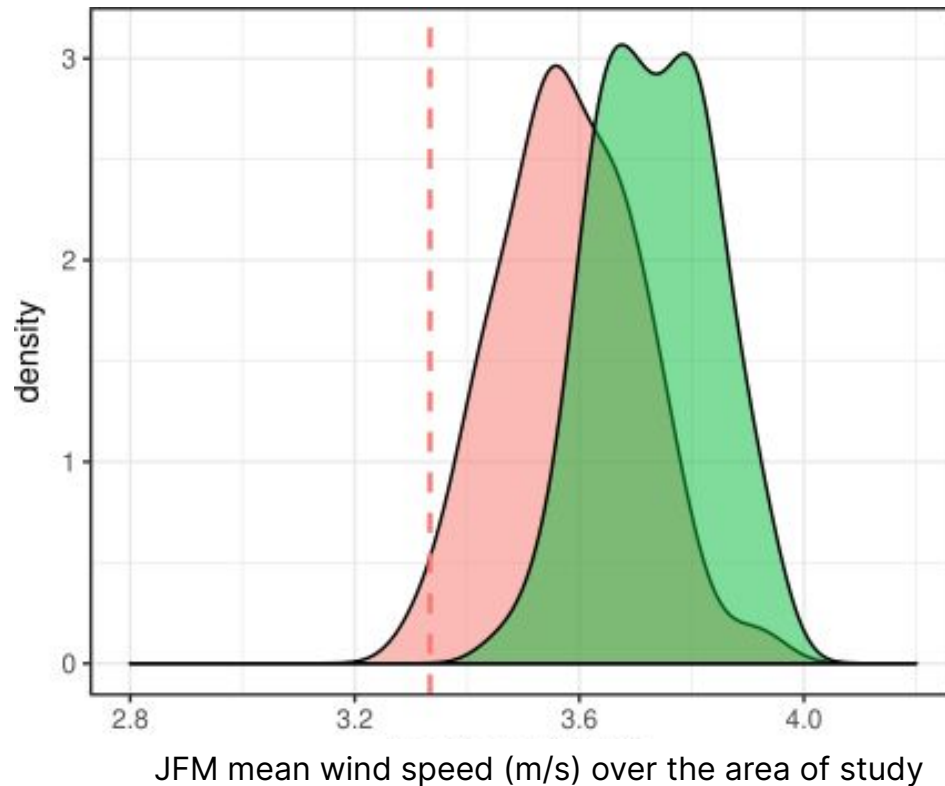
Standardized SST anomalies for Q1 2015



SSTs in Western Tropical Pacific are key

High SSTs in western coast partly due to an "atmospheric bridge" process

# Experiment d'atribució



2 experiments amb 100 members inicialitzats el dia 1 de gener de 2015

PDF(vent | t. oceà normal)

PDF(vent | t. oceà alta)





**Barcelona  
Supercomputing  
Center**  
*Centro Nacional de Supercomputación*

# Moltes gràcies!

Llorenç Lledó  
Earth Sciences department

escriu-me: [llledo@bsc.es](mailto:llledo@bsc.es)

o segueix-me:  @lluritu