

# Generación de escenarios regionalizados de cambio climático en AEMET

Alfonso Hernanz Lázaro  
[ahernanzl@aemet.es](mailto:ahernanzl@aemet.es)

Área de Evaluación y Modelización del Clima  
**AEMET**

## Herramientas interesantes para los grupos que trabajen en clima:

- Evaluación de modelos climáticos globales: <https://gcmeval.met.no/>
- Downscaling estadístico: <https://github.com/ahernanzl/pyClim-SDM>
- Homogenización de series: <https://www.climatol.eu/>

## Índice:

1. Predicción y proyección climática
2. Proyecciones climáticas globales
3. Downscaling
4. CORDEX
5. Descarga y formateo de datos CMIP y CORDEX
6. Estrategia de AEMET
7. Buenas prácticas

# 1. Predicción y proyección climática

¿Cómo va a ser el clima en el futuro?

# ¿Cómo va a ser el **clima** en el **futuro**?

¿Qué entendemos por clima?

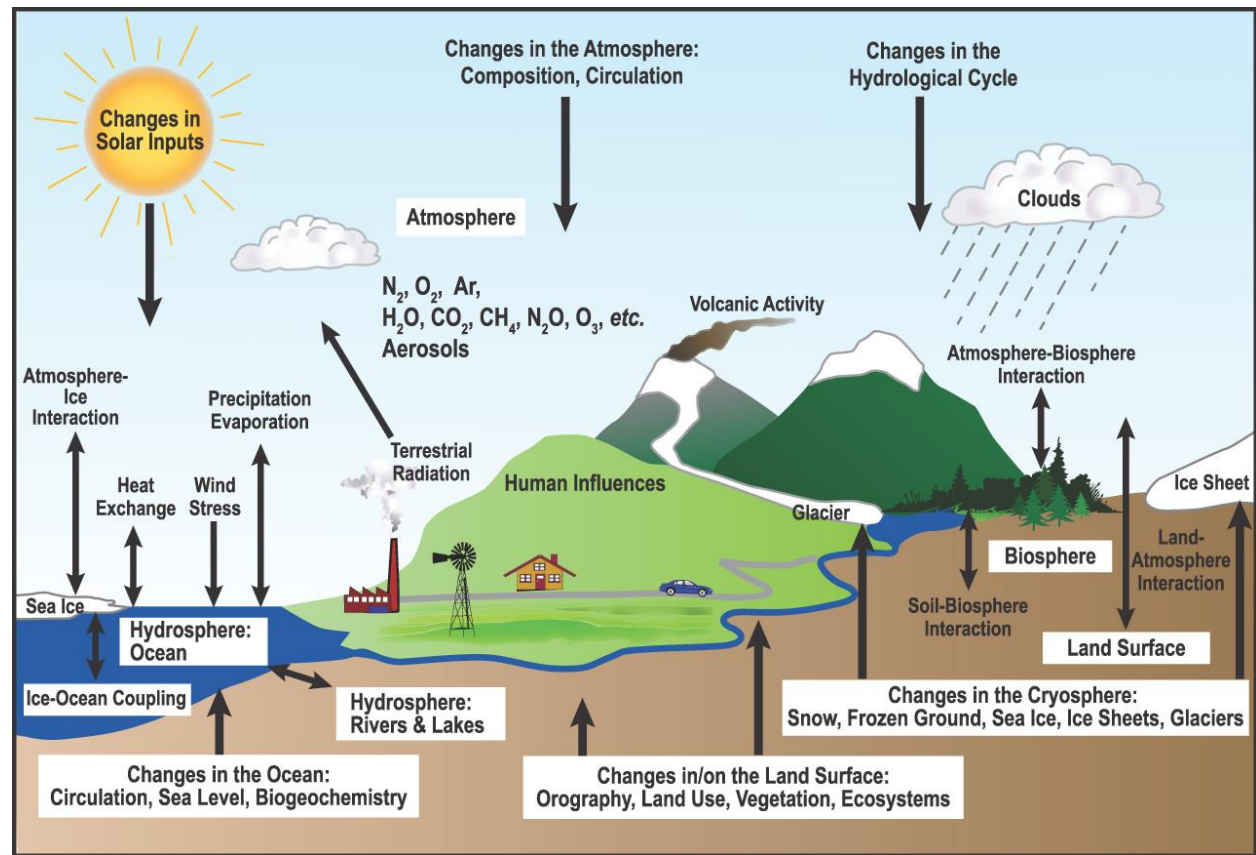
¿Qué entendemos por futuro?



## ¿Qué entendemos por clima?

**CLIMA:** es el estado **promedio** y la **variabilidad** del sistema climático (**descripción estadística** durante un periodo de tiempo desde varios meses hasta miles de años).

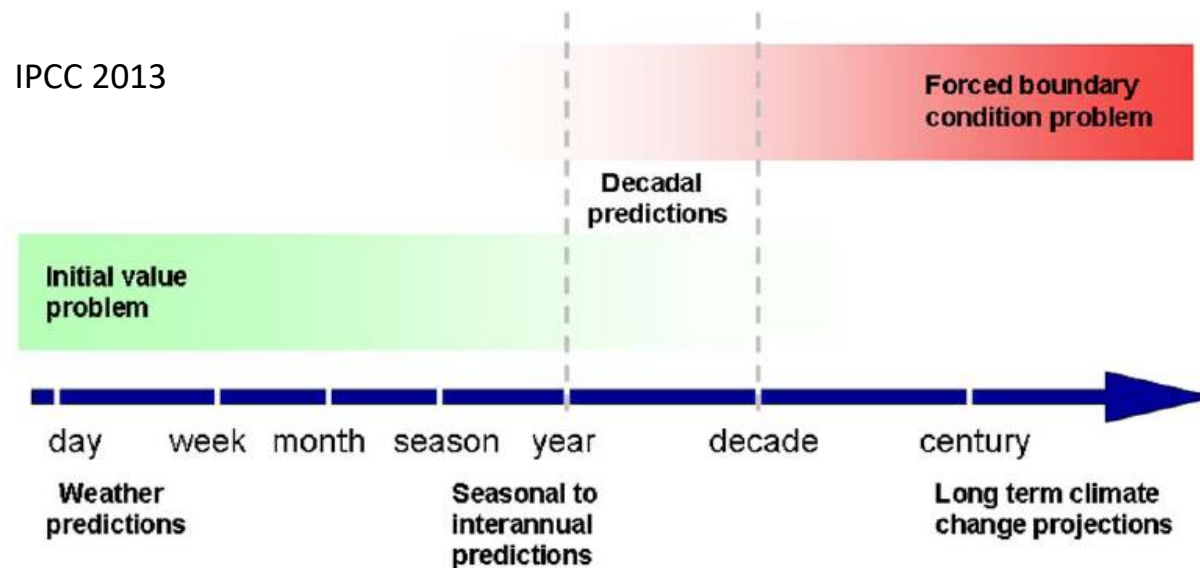
**SISTEMA CLIMÁTICO:** Sistema muy complejo que consta de cinco componentes principales: atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera, y de las interacciones entre ellos.



**¿Qué entendemos por futuro?**

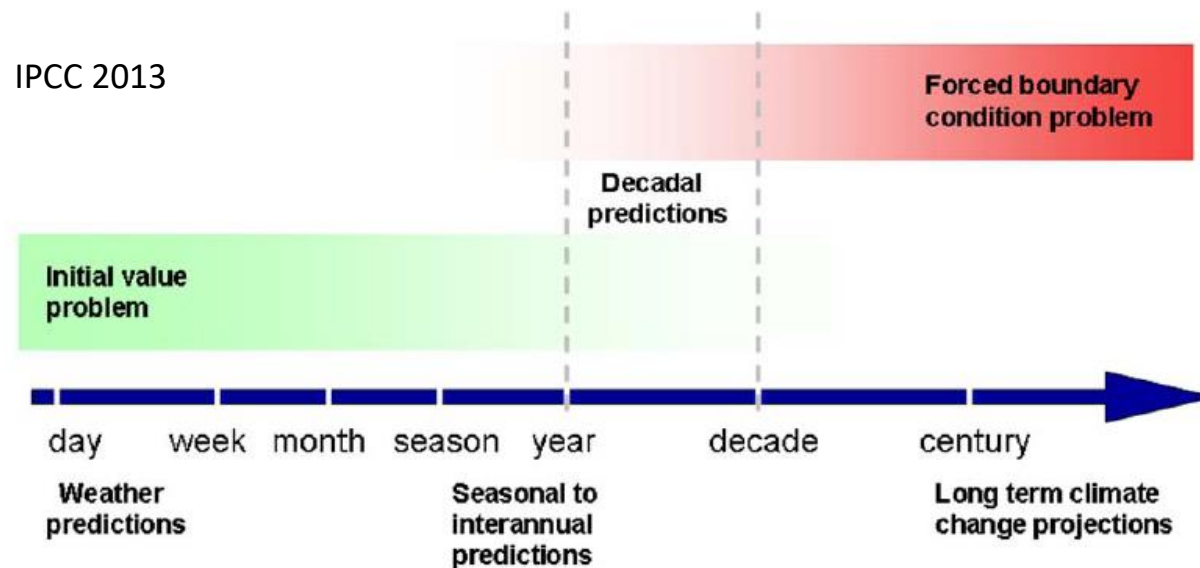


# Predicción climática vs. proyección climática



Una **predicción del tiempo** para dentro de una semana viene condicionada por el **estado actual** (aproximación de una borrasca, situación anticiclónica, etc.)

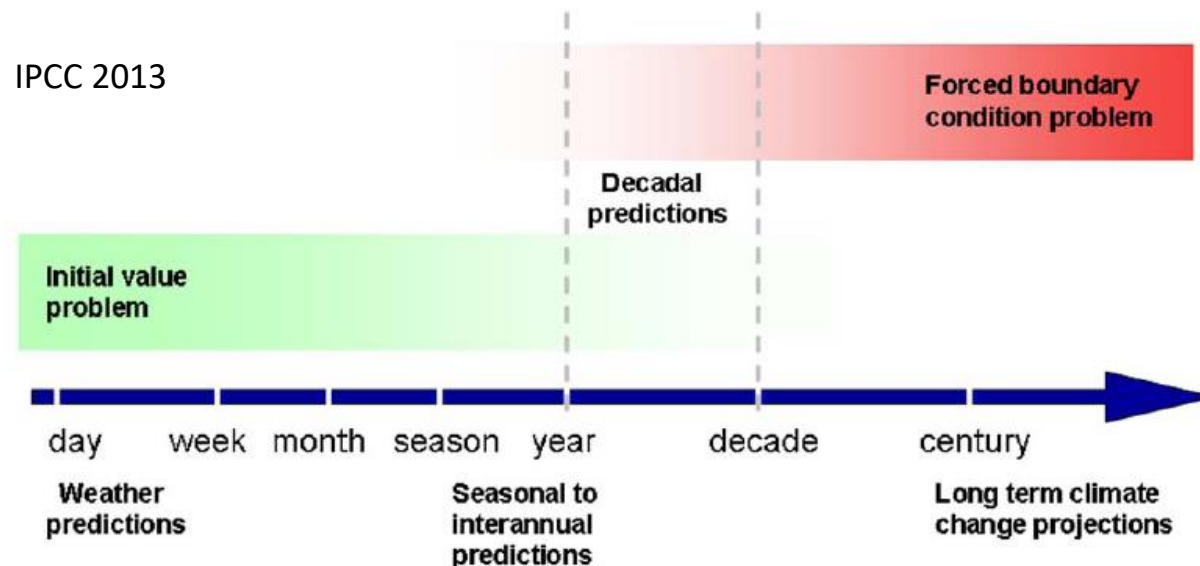
# Predicción climática vs. proyección climática



Una **predicción del tiempo** para dentro de una semana viene condicionada por el **estado actual** (aproximación de una borrasca, situación anticiclónica, etc.)

Una **predicción estacional** para dentro de tres meses también viene condicionada por el **estado actual** (ENSO, NAO, calor acumulado en océanos, cubierta de hielo marino, etc.)

# Predicción climática vs. proyección climática

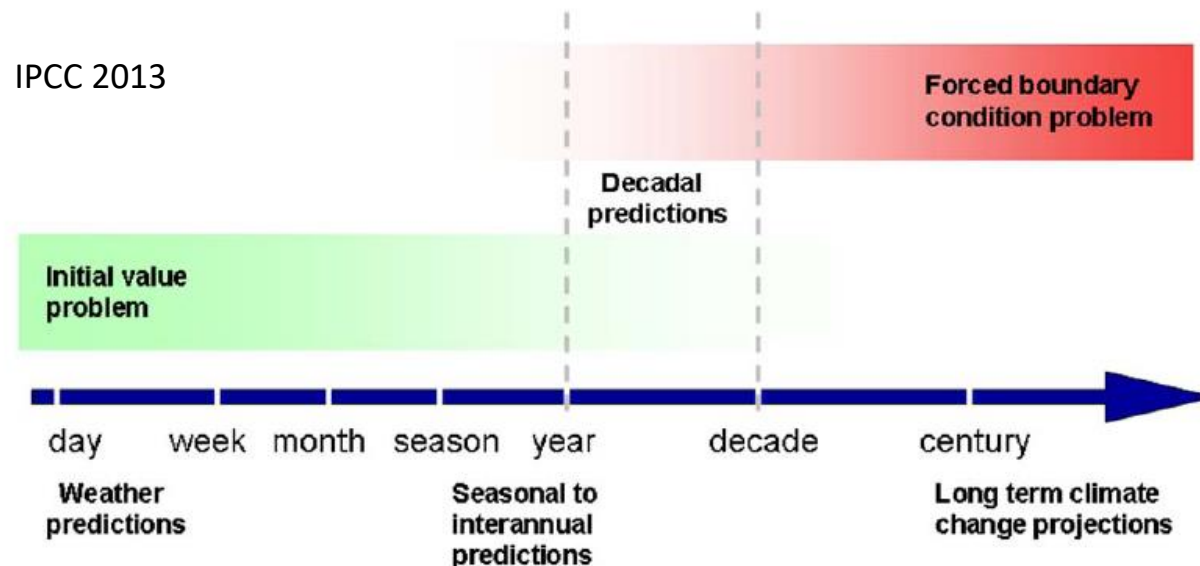


Una **predicción del tiempo** para dentro de una semana viene condicionada por el **estado actual** (aproximación de una borrasca, situación anticiclónica, etc.)

Una **predicción estacional** para dentro de tres meses también viene condicionada por el **estado actual** (ENSO, NAO, calor acumulado en océanos, cubierta de hielo marino, etc.)

En **predicción decadal** las **condiciones iniciales** de variables con inercia (calor acumulado en océanos, cubierta de hielo marino) todavía ejercen cierta influencia, pero las **condiciones de contorno** pesan cada vez más.

# Predicción climática vs. proyección climática



Una **predicción del tiempo** para dentro de una semana viene condicionada por el **estado actual** (aproximación de una borrasca, situación anticiclónica, etc.)

Una **predicción estacional** para dentro de tres meses también viene condicionada por el **estado actual** (ENSO, NAO, calor acumulado en océanos, cubierta de hielo marino, etc.)

En **predicción decadal** las **condiciones iniciales** de variables con inercia (calor acumulado en océanos, cubierta de hielo marino) todavía ejercen cierta influencia, pero las **condiciones de contorno** pesan cada vez más.

Una **proyección a largo plazo** (para dentro de 100 años) no viene condicionada por el estado actual, sino por los **forzamientos** o **condiciones de contorno** (Gases de efecto invernadero GEI's, aerosoles, etc.)

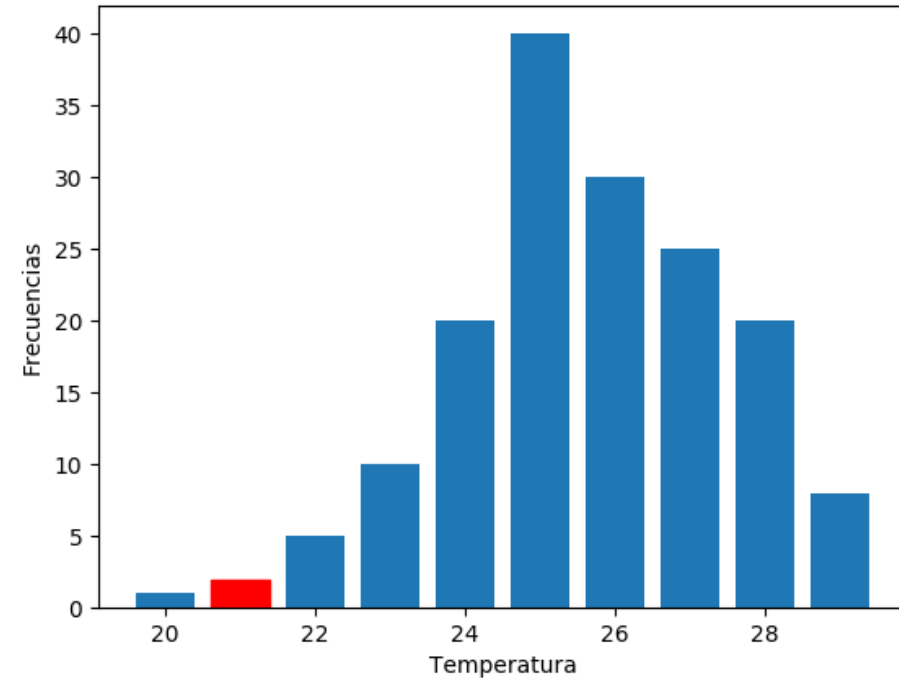
# Predicción climática vs. proyección climática

## Predicciones:

- **Las condiciones iniciales son cruciales.**
- Pretenden acertar en el valor de una variable en un momento dado.
- Dependiendo del alcance de la predicción (tiempo, estacional, decadal), se podrá acertar con mayor o menor grado de exactitud (desde dar temperaturas horarias hasta poder aspirar solamente a dar aumento o disminución de la temperatura global anual...).

## Proyecciones:

- **Las condiciones iniciales no son cruciales.**
- Pretenden dar **información estadística** de los posibles valores de una variable.

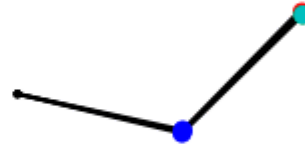


## Péndulo doble:

Nuestro sistema climático es un sistema caótico. Entendámoslo a través de otro sistema caótico, más sencillo: el péndulo doble. Se trata de un sistema con ecuaciones de evolución conocidas: a partir de unas **condiciones iniciales** podemos calcular las condiciones futuras a través de una serie de **ecuaciones**.



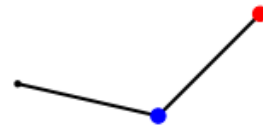
Sin embargo, decimos que es un sistema caótico, porque partiendo de condiciones iniciales muy similares, el sistema puede evolucionar de maneras muy distintas.



Problema del **sistema climático**: no podemos conocer con total exactitud el **punto de partida**. Y sin conocer con exactitud las condiciones iniciales, ¿creéis que podremos determinar la posición del péndulo dentro de 100 años?

En el futuro muy lejano, asumimos que **no podemos precisar la trayectoria** y nos conformamos con dar **información estadística de todas las posibles trayectorias**.

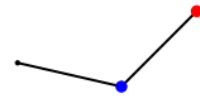
Simulamos el movimiento del péndulo durante un periodo largo de tiempo, tomamos nota de sus posiciones, y calculamos la posición promedio, la altura máxima, la frecuencia con que supera cierto umbral de altura, etc. Y esta información es poco sensible al punto de partida del péndulo.



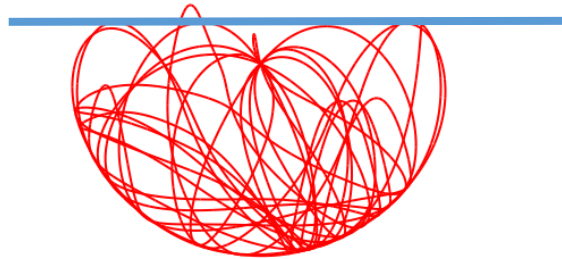
En nuestro sistema climático, simularemos series temporales largas, y estudiaremos aspectos estadísticos como los valores promedios, los extremos, la frecuencia de superación de umbrales, etc.



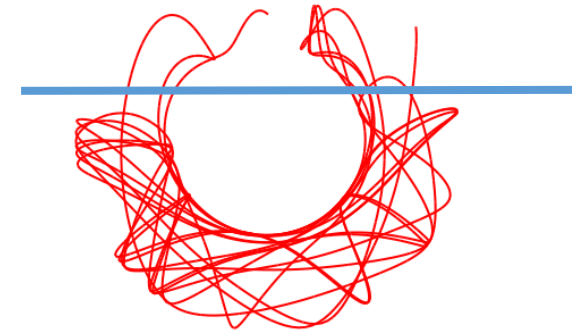
Si se producen **cambios** en los parámetros del péndulo (**condiciones de contorno**) su comportamiento cambia mucho.



Trayectoria



Climatología

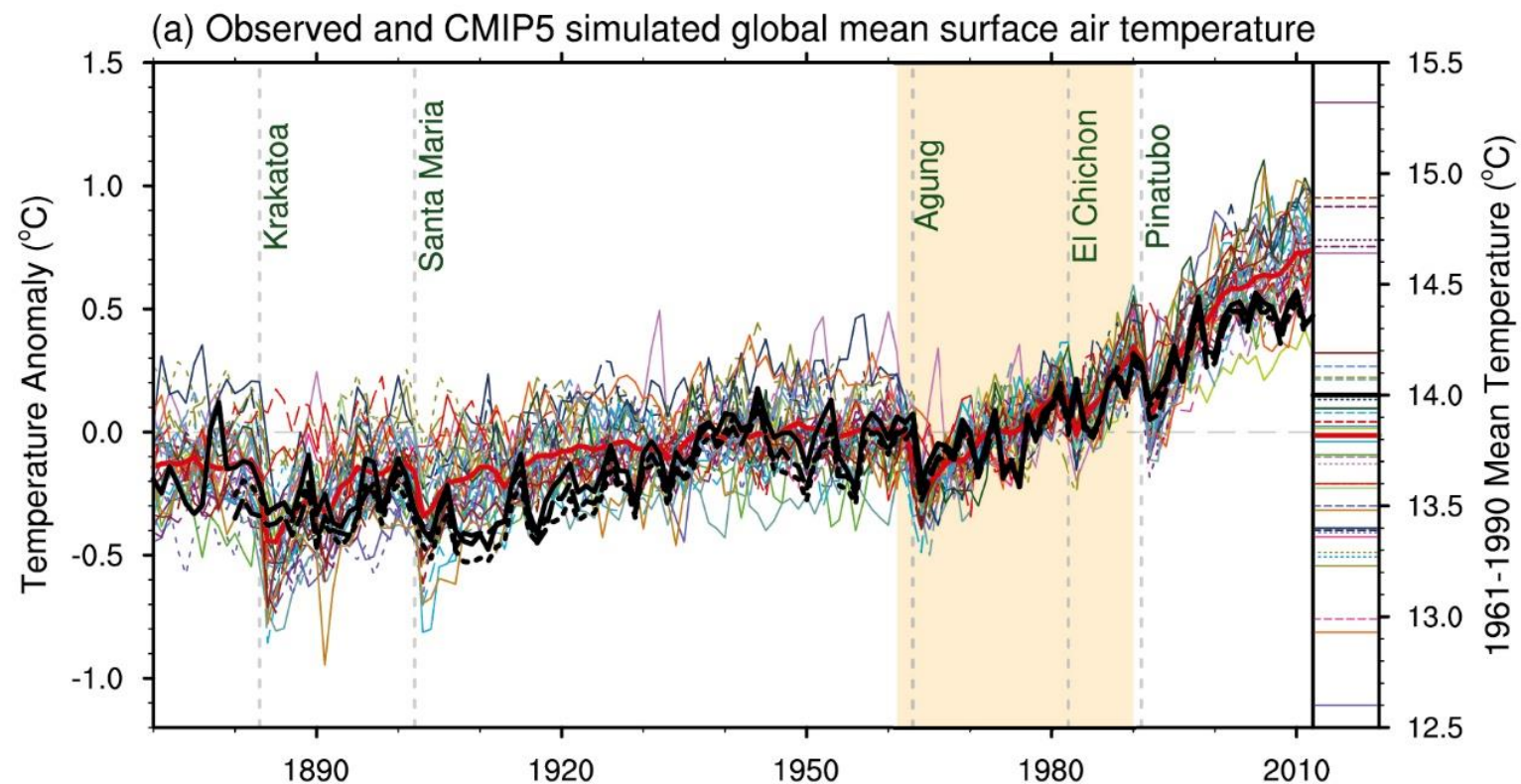


Si se producen cambios en las condiciones de contorno del planeta (gases de efecto invernadero, por ejemplo), la frecuencia con que se superan determinados umbrales cambiará.

## Predicción climática vs. proyección climática

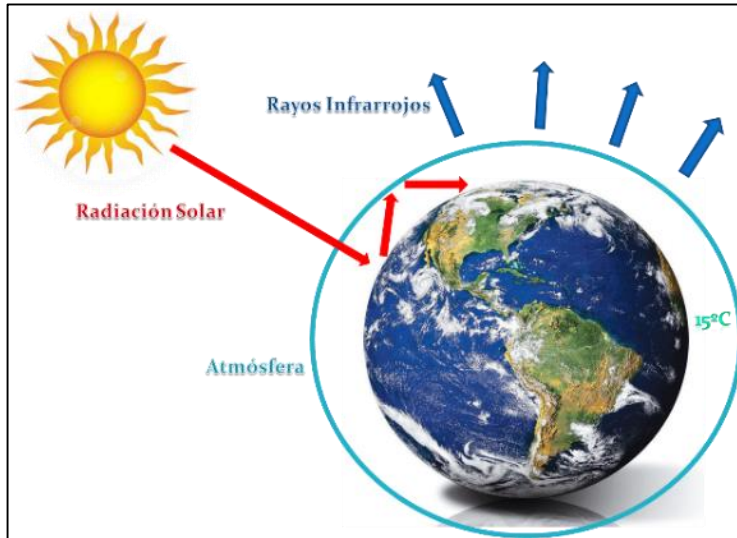
Por tanto, las simulaciones de los modelos climáticos no guardan una correspondencia con las observaciones a nivel de dato diario, ni siquiera anual. Los años anómalamente cálidos o secos pueden no coincidir con los observados.

Sin embargo, si tomamos un periodo suficientemente largo (30 años), las **series simuladas** y **observadas** han de guardar cierta **correspondencia** en **aspectos estadísticos** (medias, varianzas, percentiles, frecuencia de superación de umbrales, etc.)



## 2. Proyecciones climáticas globales

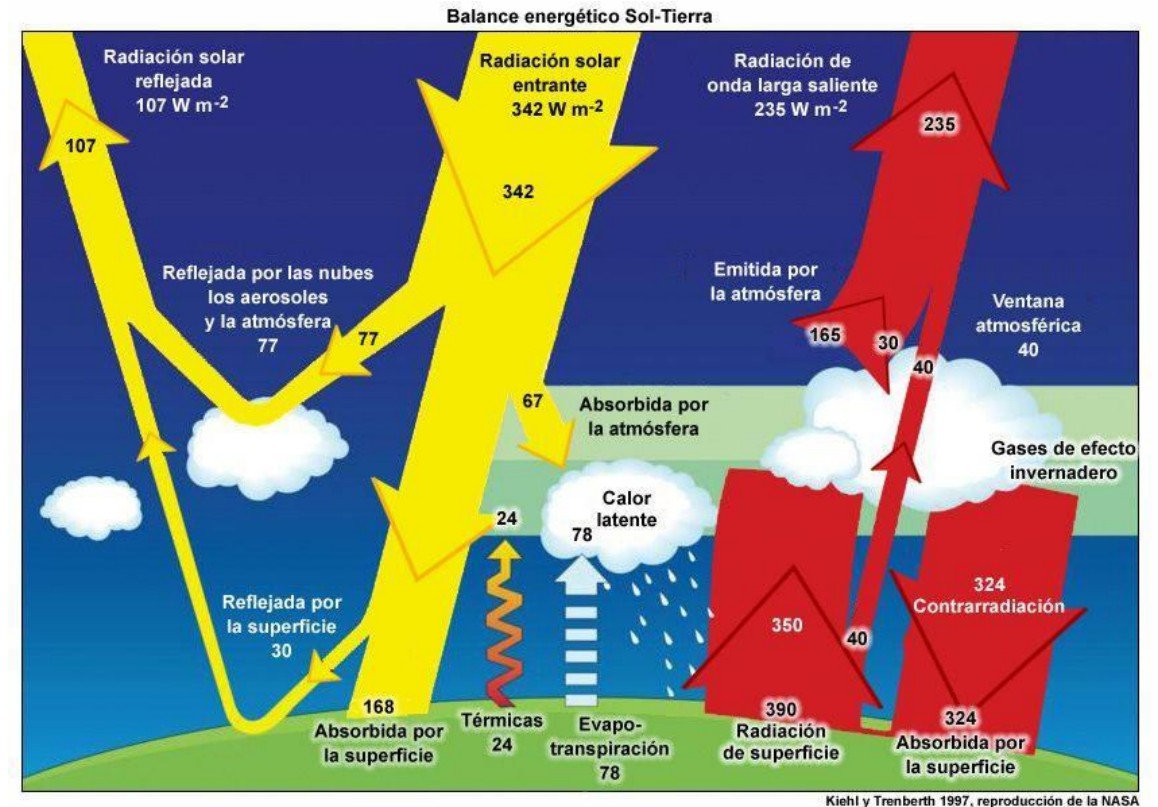
# El sistema climático en equilibrio



El sistema climático en **equilibrio** energético:  
Recibida = Reflejada + Emitida

Causas que pueden romper este equilibrio:

- Que cambie la energía que **llega**.
- Que cambie la energía que se **refleja**.
- Que cambie la energía que queda **atrapada** por el efecto invernadero.

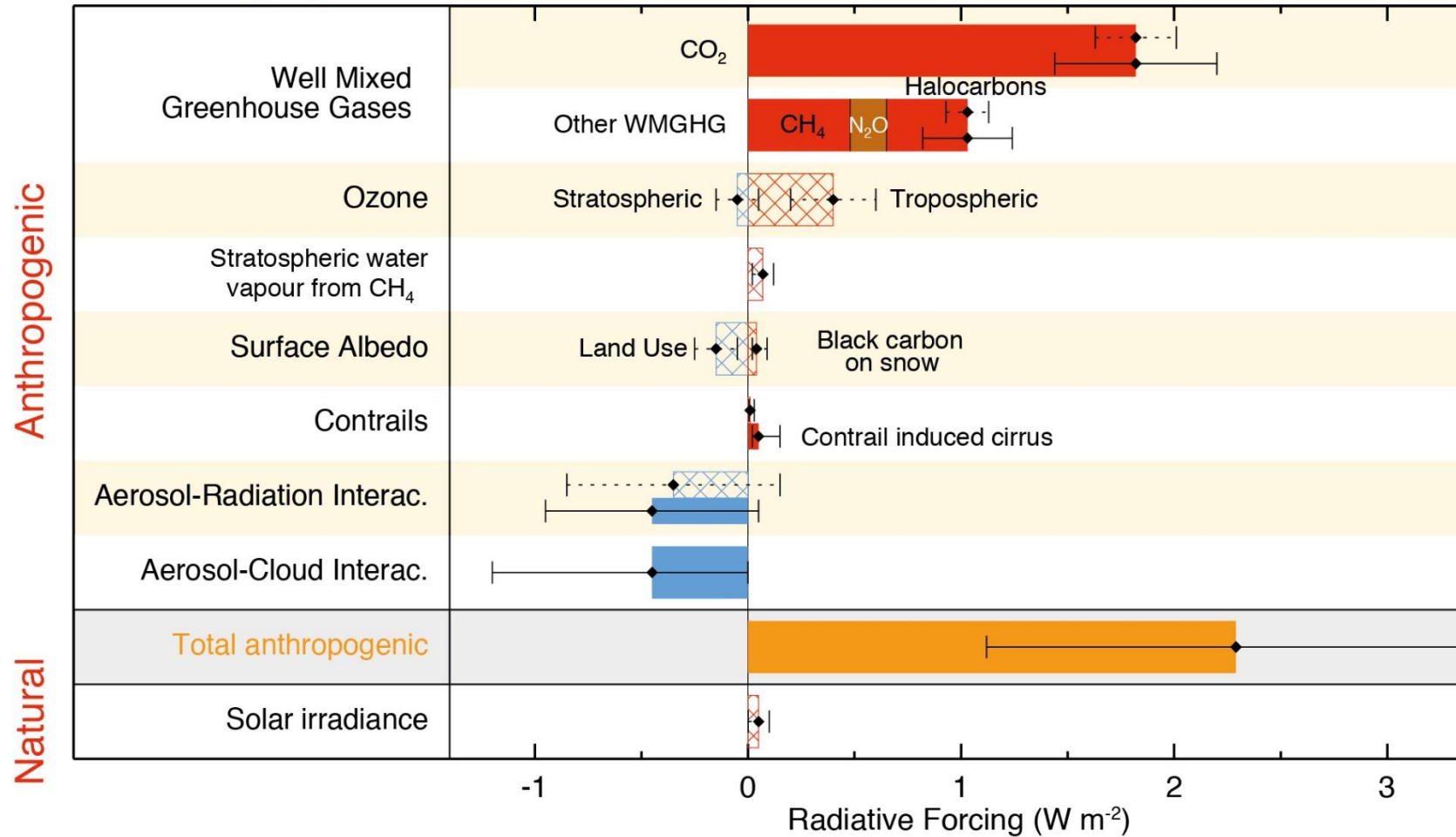


**Forzamiento radiativo:** es una medida del grado de ruptura de este equilibrio.

# Forzamiento radiativo reciente

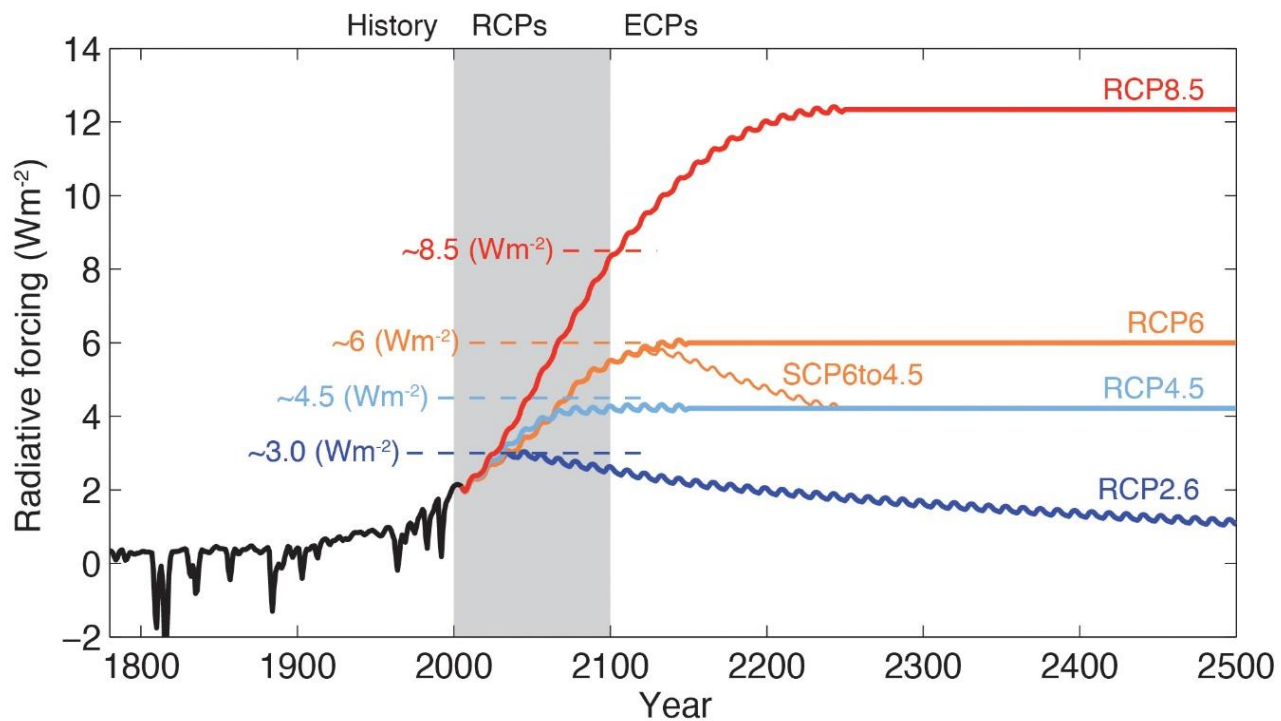
Radiative forcing of climate between 1750 and 2011

Forcing agent



# Forzamiento radiativo futuro

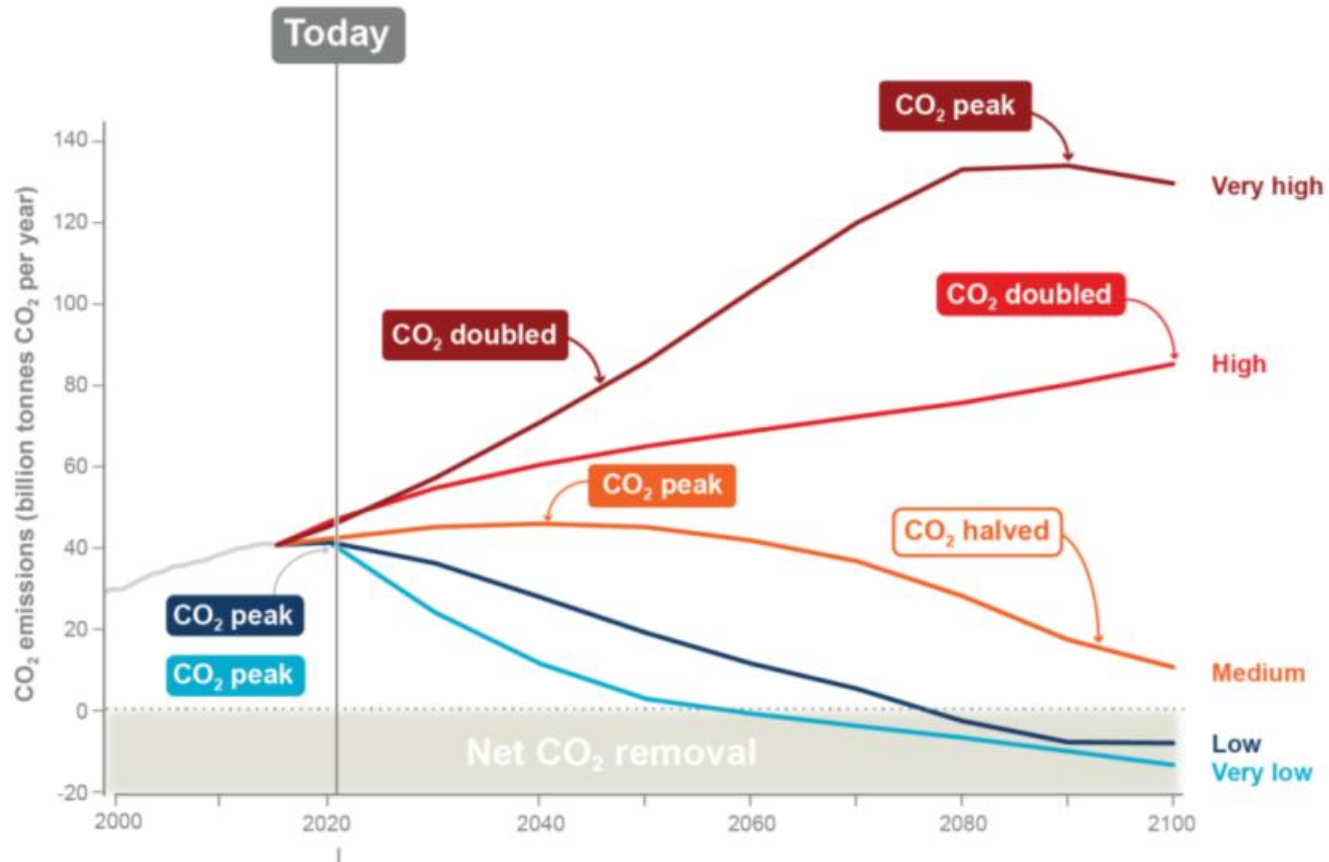
RCPs (Representative Concentration Pathways), IPCC AR5



	FR	Tendencia del FR
RCP2.6	2,6 W/m <sup>2</sup>	decreciente en 2100
RCP4.5	4,5 W/m <sup>2</sup>	estable en 2100
RCP6.0	6,0 W/m <sup>2</sup>	creciente
RCP8.5	8,5 W/m <sup>2</sup>	creciente

# Forzamiento radiativo futuro

SSPs (Shared Socioeconomic Pathways), IPCC AR6



**Very high: SSP5-8.5**

**High: SSP3-7.0**

**Medium: SSP2-4.5**

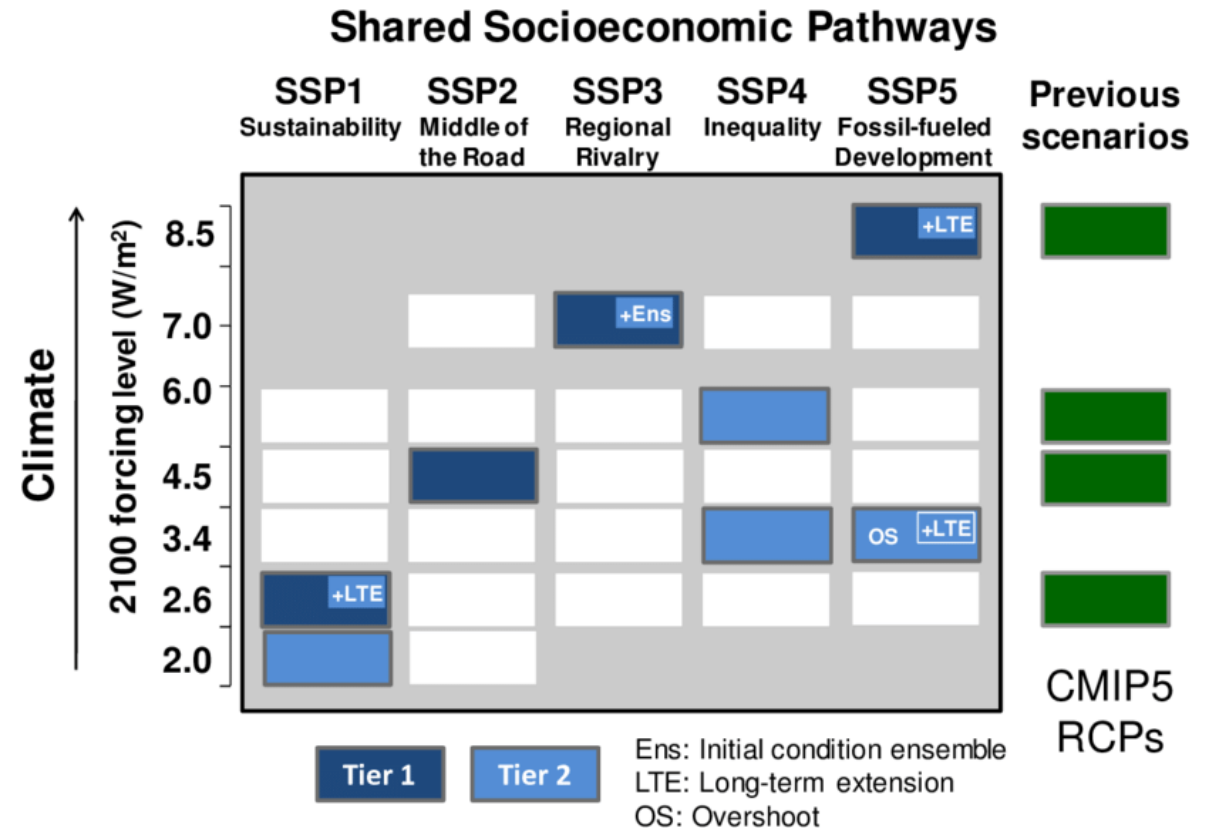
**Low: SSP1-2.6**

**Very low: SSP1-1.9**

# Forzamiento radiativo futuro

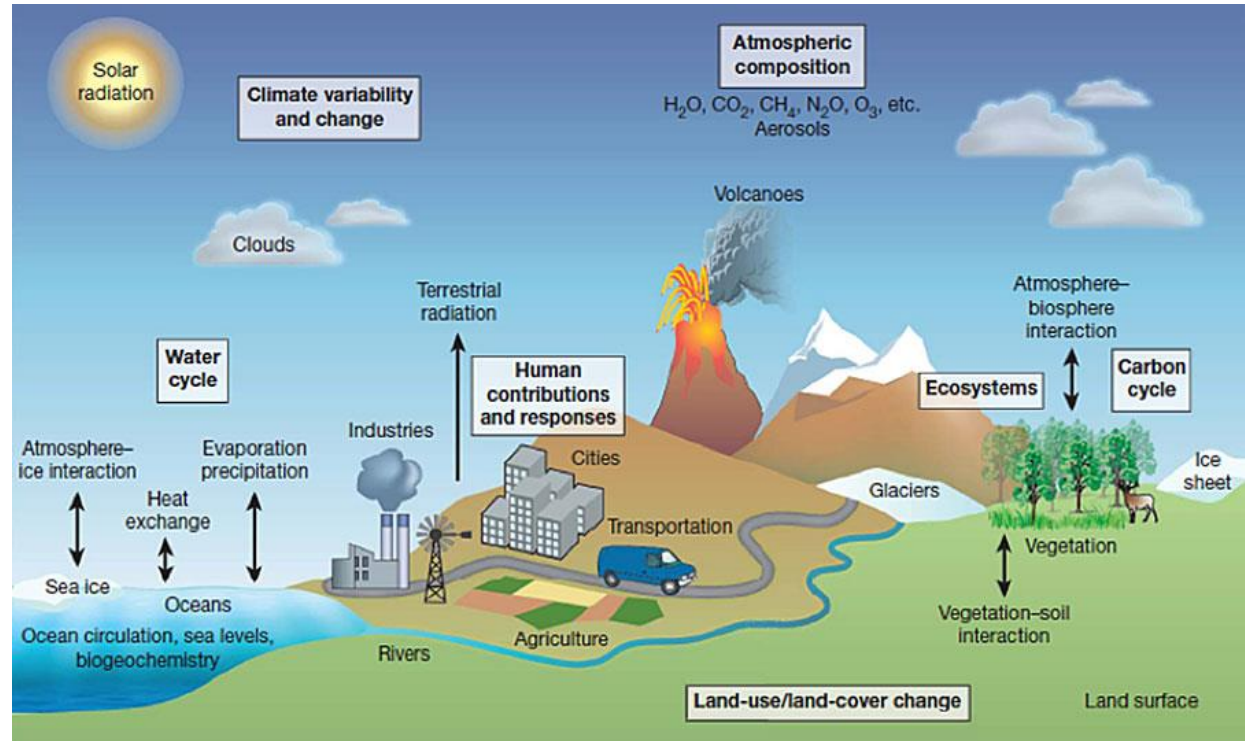
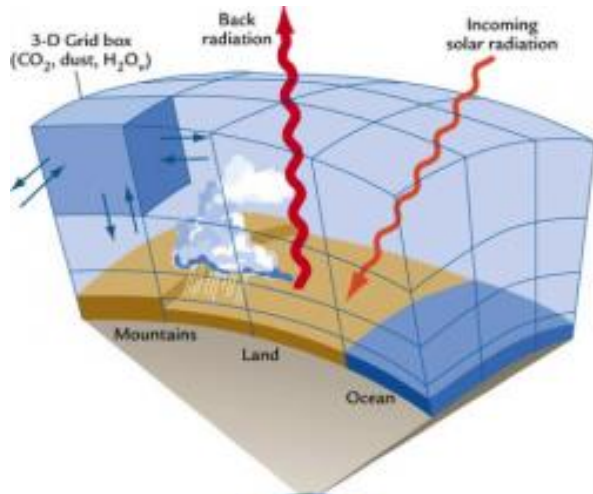


Narrativas: evoluciones plausibles de la sociedad y el sistema terrestre durante el siglo 21.





# Earth System Models



## Computer code

**Primitive equations**

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla u - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \nabla_h (K_{Mh} \cdot \nabla_h u) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{Mv} \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla v + fu = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + \nabla_h (K_{Mh} \cdot \nabla_h v) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{Mv} \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

$$0 = -\frac{\partial P}{\partial z} - \rho g$$

$$0 = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla T = \nabla_h (K_{Th} \cdot \nabla_h T) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{Tv} \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla S = \nabla_h (K_{Sh} \cdot \nabla_h S) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{Sv} \frac{\partial S}{\partial z} \right)$$

$$\rho = \rho(S, T, p)$$

*Momentum conservation*  
*Hydrostatic*  
*Continuity*  
*Tracer conservation*  
*Equation of state*

```
C** INITIALIZE SOME ARRAYS AT THE BEGINNING OF SPECIFIED DAYS
      fName = './prt/'//JMNT0(1:3)//CYEAR//'.prt'//LABEL1C
      IF(JDAY.NE.32) GO TO 294
      JEQ=1+JM/2
      DO 292 J=JEQ, JM
      DO 292 I=1, IM
292   TSFREQ(I, J, 1)=JDAY
      JEQM1=JEQ-1
      DO 293 J=1, JEQM1
      DO 293 I=1, IM
293   TSFREQ(I, J, 2)=JDAY
      GO TO 296
294   IF(JDAY.NE.213) GO TO 296
      JEQM1=JM/2
      DO 295 J=1, JEQM1
      DO 295 I=1, IM
295   TSFREQ(I, J, 1)=JDAY
C**** INITIALIZE SOME ARRAYS AT THE BEGINNING OF EACH DAY
296   DO 297 J=1, JM
      DO 297 I=1, IM

      TDIURN(I, J, 1)=1000.
      TDIURN(I, J, 2)=-1000.

      TDIURN(I, J, 6)=-1000.
```

## Coupled Model Intercomparison Project (CMIP)

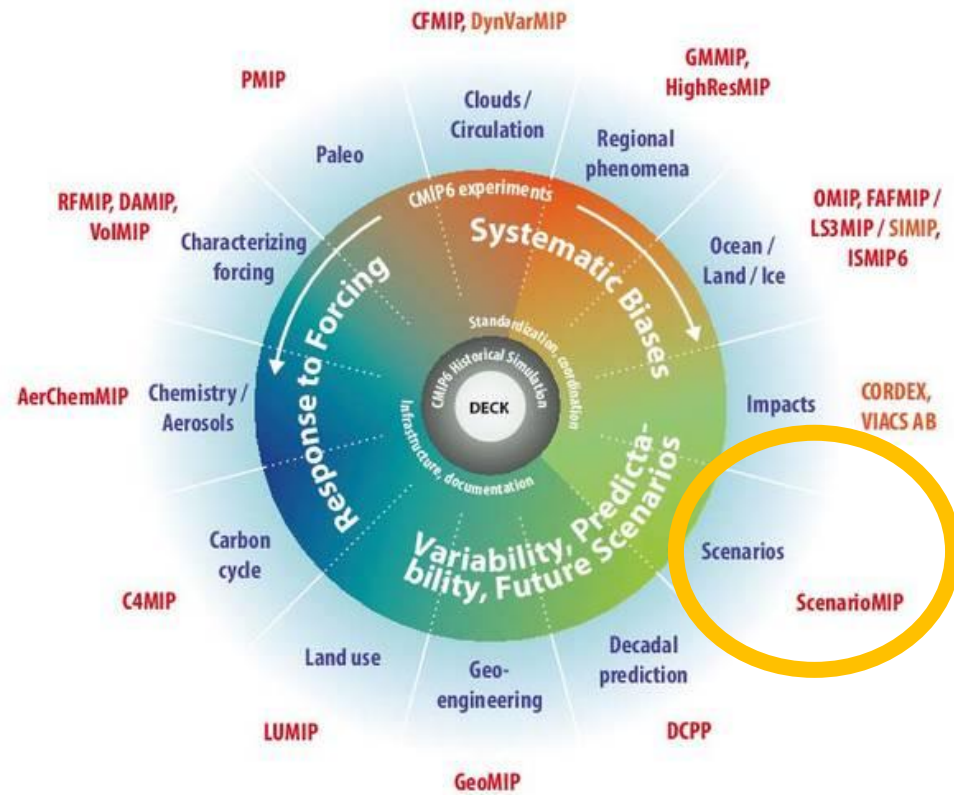


### ¿Qué es CMIP?

- Es un proyecto de intercomparación de modelos climáticos (AOGCMs y EMICs) del World Climate Research Programme (WCRP).
- Sus resultados son usados por el IPCC.
- CMIP5: >20 grupos de modelización y >50 modelos
- CMIP6: >49 grupos de modelización y >100 modelos

<https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip>

## The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6



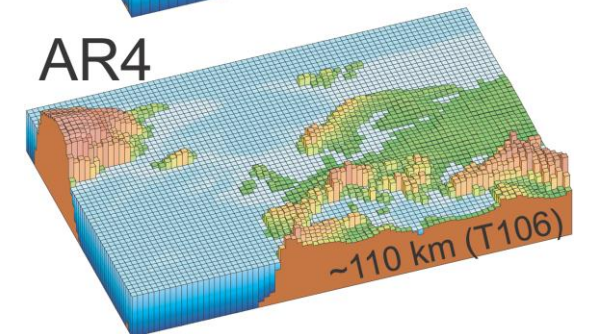
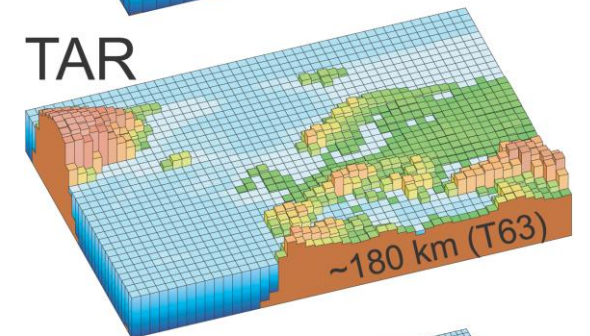
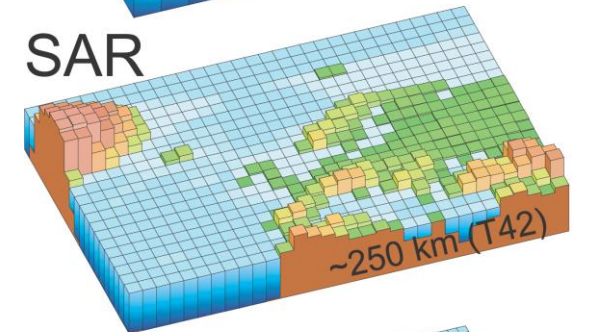
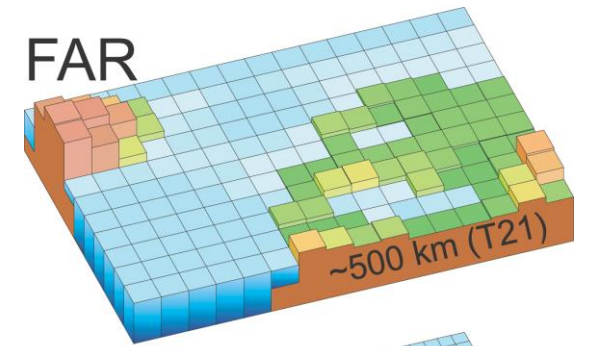
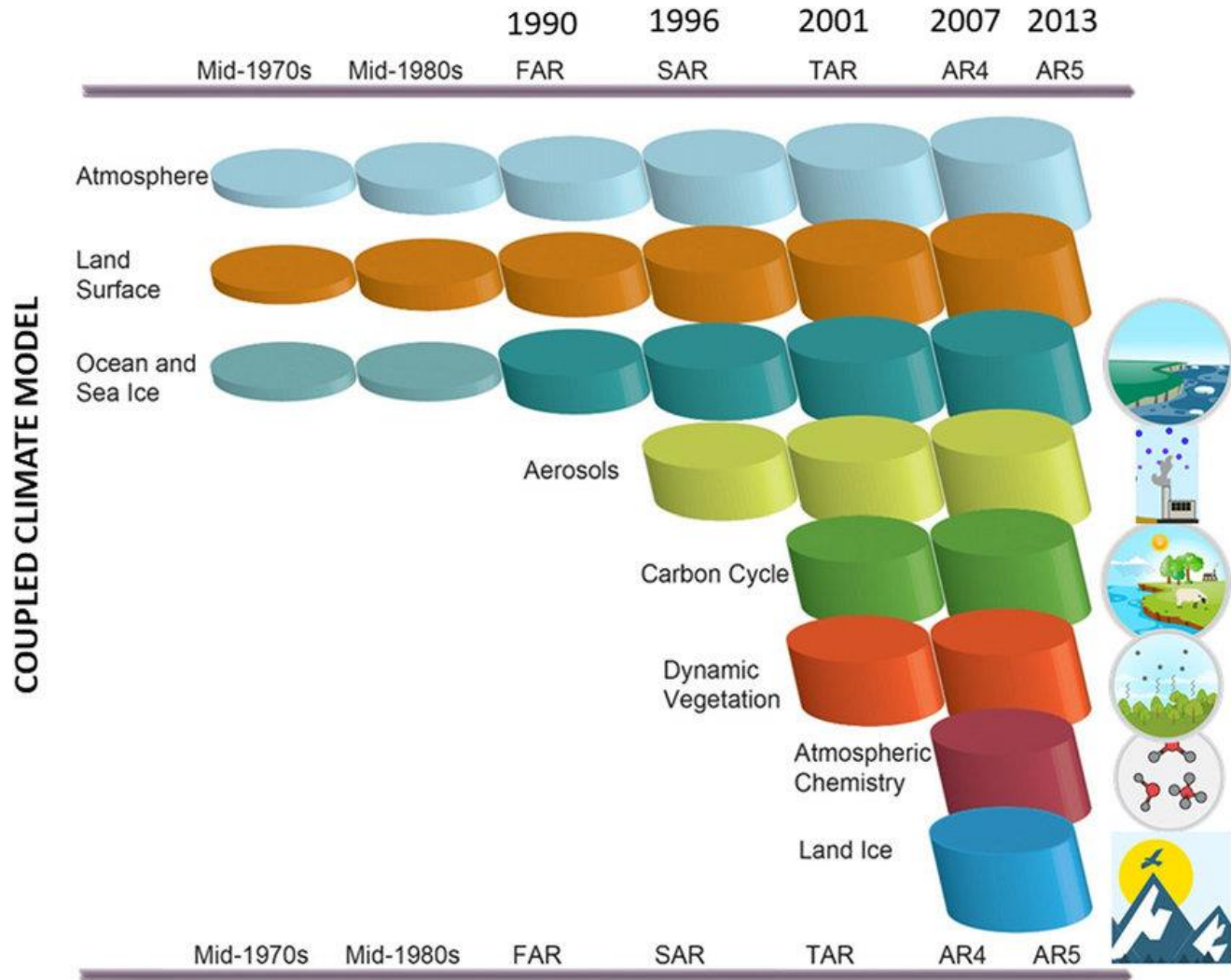
Se establecen unas guías para participar y cualquier grupo de modelización puede aportar sus simulaciones. Se deben proporcionar:

- “Carta de entrada”: Diagnostic, Evaluation and Characterization of Klima (**DECK**) experiments:
  - a) a historical Atmospheric Model Intercomparison Project (AMIP) simulation
  - b) a pre-industrial control simulation
  - c) a simulation forced by an abrupt  $4\times\text{CO}_2$
  - d) a simulation forced by a  $1\% \text{yr}^{-1}$   $\text{CO}_2$  increase.
- Simulaciones atendiendo a una serie de requisitos:
  - Escenarios/forzamientos.
  - Listado de variables
  - Resoluciones espaciales/temporales
  - Nomenclatura de las variables y formato de los datos.
  - Etc.

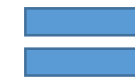
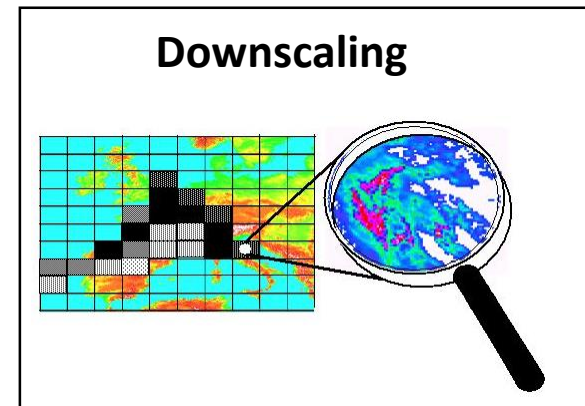
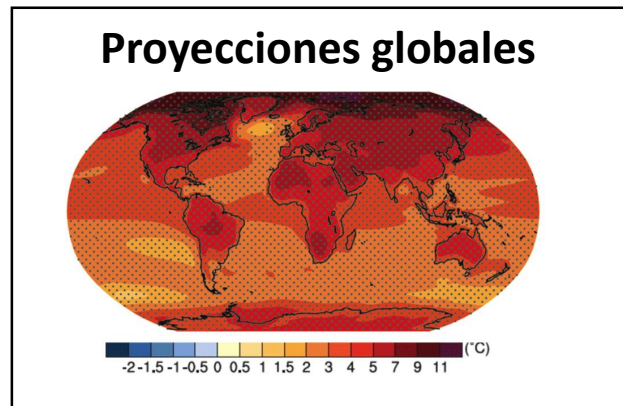
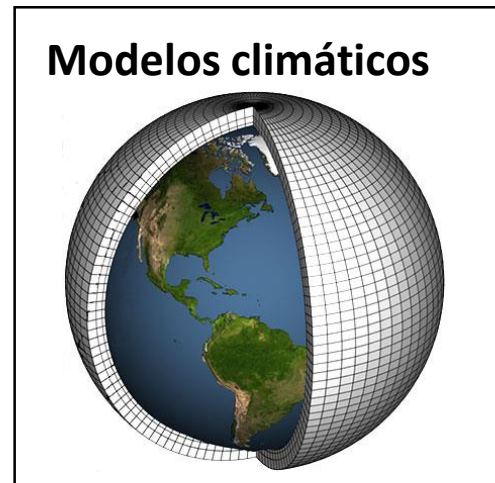
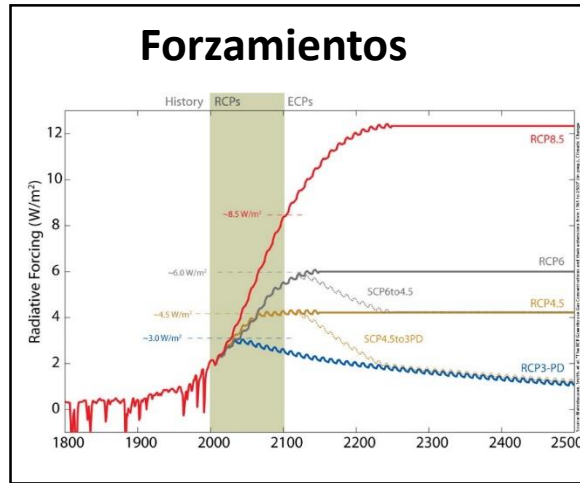


<https://pcmdi.llnl.gov/CMIP6/>

# Evolución de los modelos



# Escenarios regionalizados



**Escenarios regionalizados**

# 3. Downscaling

## Métodos de regionalización

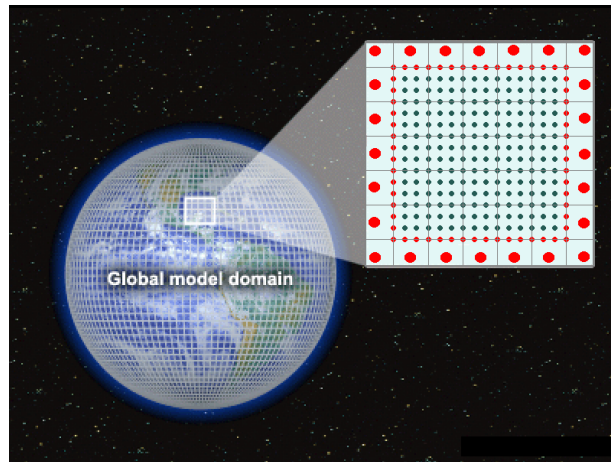
### Dinámicos

Se basan en los mismo principios que los modelos globales, pero aumentan la resolución espacial/temporal en el área de interés.

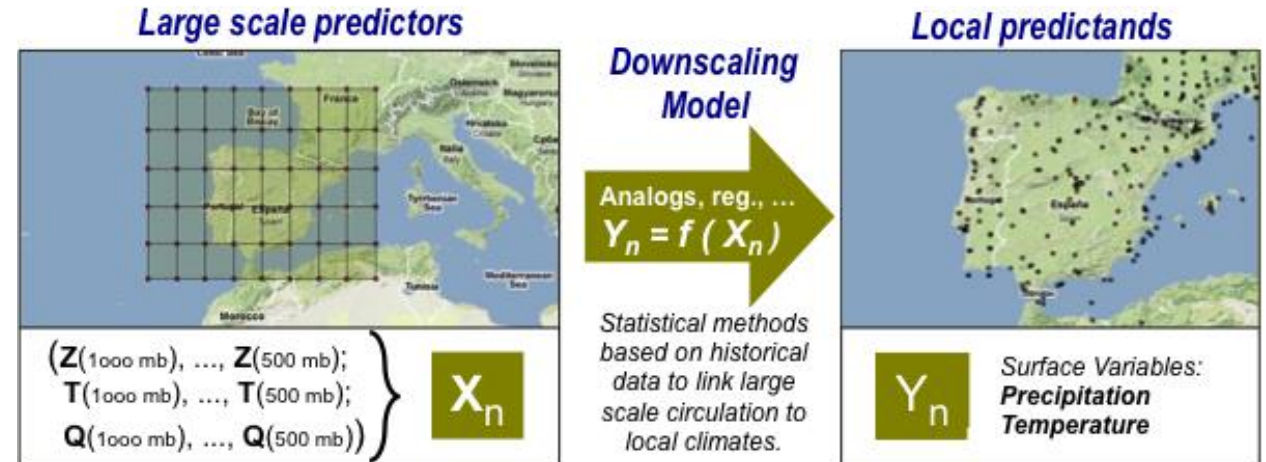
### Estadísticos

Se basan en la búsqueda de relaciones estadísticas entre una serie de variables conocidas de gran escala (**predictores**) y las variables locales de interés (**predictandos**).

### Regionalización dinámica



### Regionalización estadística



<https://meteo.unican.es/downscaling/intro.html>



## Métodos de regionalización

### Dinámicos

#### Ventajas:

- Proporciona una imagen físicamente consistente de las diferentes variables.

#### Inconvenientes:

- **Gran carga computacional**
- Afectados por sesgos en GCMs
- Los RCM no permiten la realimentación de las escalas locales a las globales (a diferencia de los GCM de alta resolución o resolución variable)

### Estadísticos

#### Ventajas:

- **Computacionalmente baratos** (facilita la generación de ensembles)

#### Inconvenientes:

- Se basan en la **suposición** de que la **relación** entre predictores y predictandos se mantiene **invariable** frente al cambio de clima
- Necesarias largas series de datos fiables
- Afectados por sesgos en GCMs
- No permiten la realimentación de las escalas locales a las globales

## Métodos de regionalización

### Dinámicos

#### Ventajas:

- Proporciona una imagen físicamente consistente de las diferentes variables.

#### Inconvenientes:

- **Gran carga computacional**
- Afectados por sesgos en GCMs
- Los RCM no permiten la realimentación de las escalas locales a las globales (a diferencia de los GCM de alta resolución o resolución variable)

### Estadísticos

#### Ventajas:

- **Computacionalmente baratos** (facilita la generación de ensembles)

#### Inconvenientes:

- Se basan en la **suposición** de que la **relación** entre predictores y predictandos se mantiene **invariable** frente al cambio de clima
- Necesarias largas series de datos fiables
- Afectados por sesgos en GCMs
- No permiten la realimentación de las escalas locales a las globales

## Métodos de regionalización

### Dinámicos

#### Ventajas:

- Proporciona una imagen físicamente consistente de las diferentes variables.

#### Inconvenientes:

- **Gran carga computacional**
- Afectados por sesgos en GCMs
- Los RCM no permiten la realimentación de las escalas locales a las globales (a diferencia de los GCM de alta resolución o resolución variable)

### Estadísticos

#### Ventajas:

- **Computacionalmente baratos** (facilita la generación de ensembles)

#### Inconvenientes:

- Se basan en la **suposición** de que la **relación** entre predictores y predictandos se mantiene **invariable** frente al cambio de clima
- Necesarias largas series de datos fiables
- Afectados por sesgos en GCMs
- No permiten la realimentación de las escalas locales a las globales

## Métodos de regionalización

### Dinámicos

#### Ventajas:

- Proporciona una imagen físicamente consistente de las diferentes variables.

#### Inconvenientes:

- **Gran carga computacional**
- Afectados por sesgos en GCMs
- Los RCM no permiten la realimentación de las escalas locales a las globales (a diferencia de los GCM de alta resolución o resolución variable)

### Estadísticos

#### Ventajas:

- **Computacionalmente baratos** (facilita la generación de ensembles)

#### Inconvenientes:

- Se basan en la **suposición** de que la **relación** entre predictores y predictandos se mantiene **invariable** frente al cambio de clima
- Necesarias largas series de datos fiables
- Afectados por sesgos en GCMs
- No permiten la realimentación de las escalas locales a las globales

## Métodos de regionalización

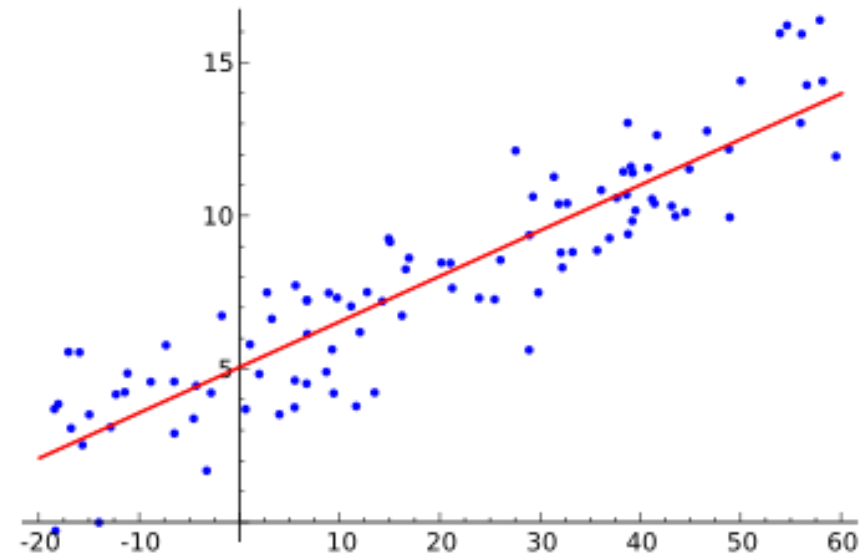
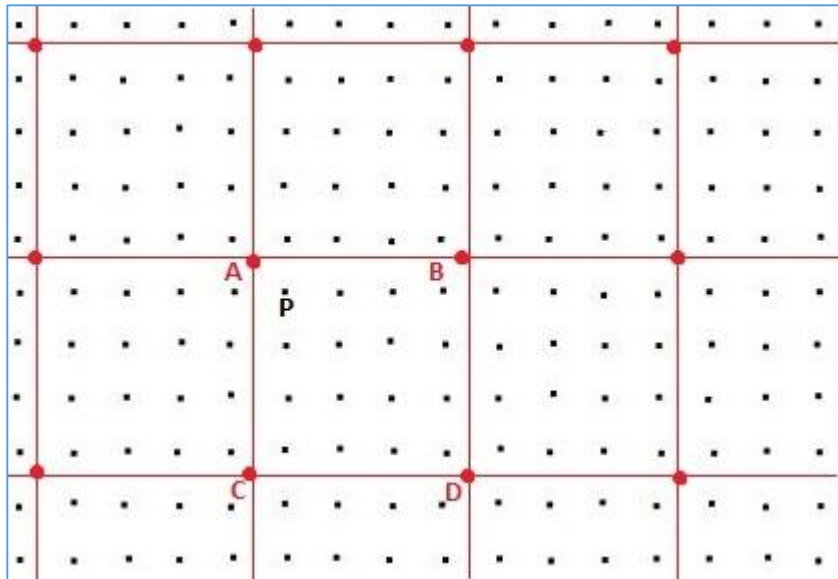
Dinámicos

Estadísticos

### Regresión:

Se establece, para cada punto o estación (P), una relación entre predictando y los predictores de puntos cercanos (A, B, C, D).

La relación puede ser lineal, polinómica, redes neuronales, etc.



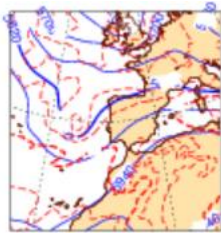
## Métodos de regionalización

Dinámicos

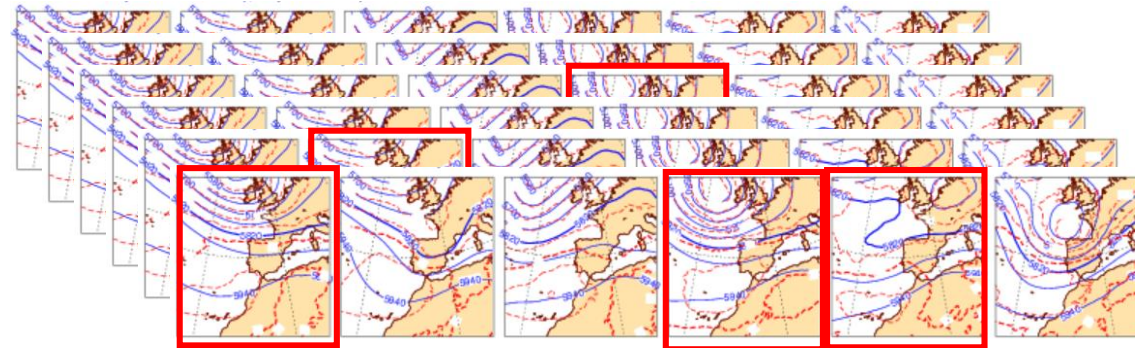
Estadísticos

### Análogos:

busca días similares al día problema en el pasado y los utiliza para hacer la calibración.



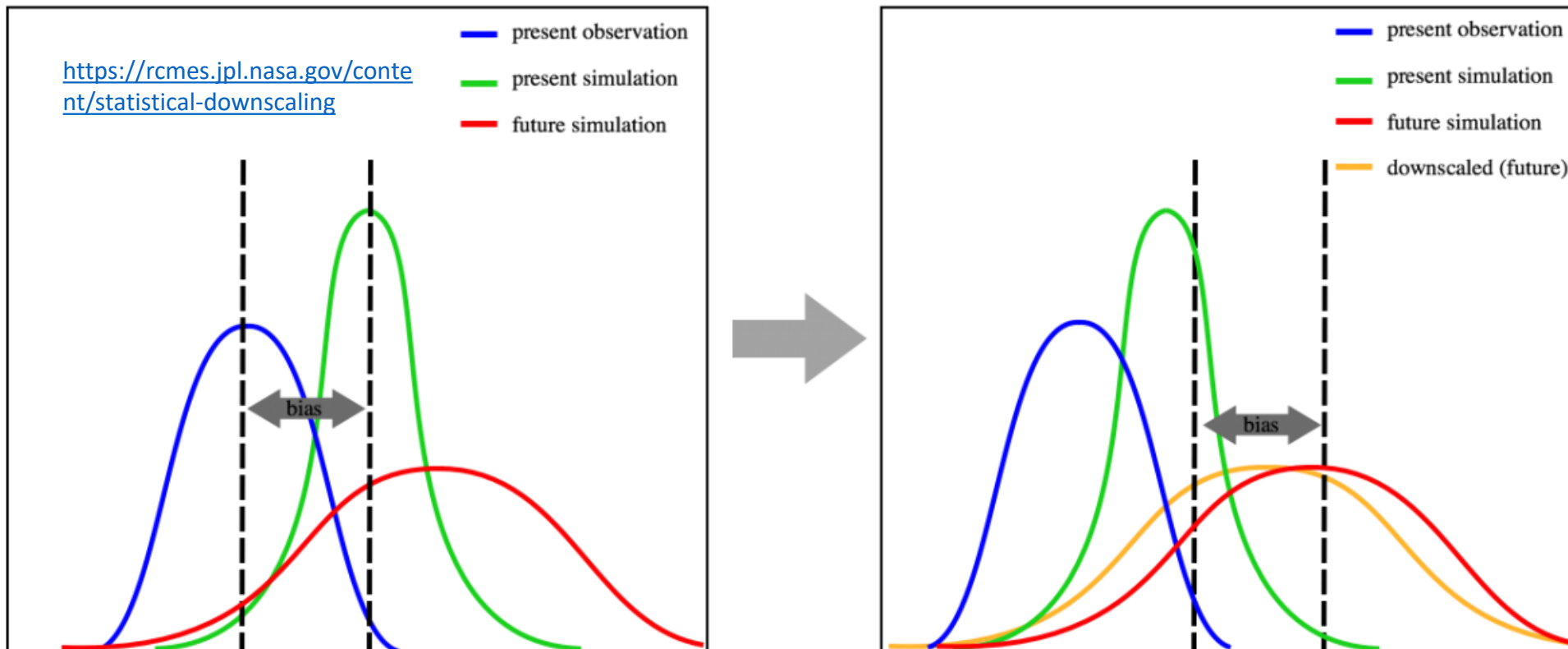
Día problema



Días análogos

## Model Output Statistics

Se ajustan las distribuciones de los modelos en histórico para aproximarse a las observaciones. Posteriormente ese ajuste se efectúa también en las simulaciones futuras.



# pyClim-SDM

pyClim-SDM

Experiment and Steps | **Methods** | Predictors | Climdex | Models and Scenarios | Dates and Domain

### Maximum Temperature

RAW

**Bias Correction:**

QM     QDM  
 DQM     PSDM

**Analogs / Weather Typing:**

ANA-MLR  
 WT-MLR

**Transfer Function:**

MLR     ANN  
                   SVM  
                   LS-SVM

**Weather Generators:**

WG-PDF

Select all    Deselect all

### Minimum Temperature

RAW

**Bias Correction:**

QM     QDM  
 DQM     PSDM

**Analogs / Weather Typing:**

ANA-MLR  
 WT-MLR

**Transfer Function:**

MLR     ANN  
                   SVM  
                   LS-SVM

**Weather Generators:**

WG-PDF

Select all    Deselect all

### Precipitation

RAW

**Bias Correction:**

QM     QDM  
 DQM     PSDM

**Analogs / Weather Typing:**

ANA-SYN-1NN     ANA-LOC-1NN     ANA-PCP-1NN  
 ANA-SYN-kNN     ANA-LOC-kNN     ANA-PCP-kNN  
 ANA-SYN-rand     ANA-LOC-rand     ANA-PCP-rand

**Transfer Function:**

GLM-LIN     ANN  
 GLM-EXP     SVM  
 GLM-CUB     LS-SVM

**Weather Generators:**

WG-NMM     WG-PDF

Select all    Deselect all

pyClim  
SDM

Run

Software escrito en Python, libre y con interfaz gráfica

<https://github.com/ahernanzl/pyClim-SDM/>





## Raw:

- **RAW**: no downscaling (nearest grid point).
- **RAW-BIL**: no downscaling (bilinear interpolation).

## Model Output Statistics:

- **QM**: Empirical Quantile Mapping (Thiemeßl *et al.*, 2011).
- **DQM**: Detrended Quantile Mapping (Cannon *et al.*, 2015). Quantile adjustment over detrended series.
- **QDM**: Quantile Delta Mapping in (Cannon *et al.*, 2015). Delta change over quantiles.
- **PSDM**: (Parametric) Scaled Distribution Mapping (Switanek *et al.*, 2021).

## Analogs / Weather Typing:

- **ANA-SYN**: Analog based on synoptic analogy. **1NN**: Nearest analog, **kNN**: k-nearest analogs, **rand**: random analog from Probability Density Function. See Hernanz *et al.* (2021).
- **ANA-LOC**: Same as ANA-SYN but using synoptic+local analogy. See Petisco de Lara, (2008a), Amblar-Francés *et al.* (2017) and Hernanz *et al.* (2021).
- **ANA-VAR**: Same as ANA-SYN but using the spatial pattern of the target variable itself.



## Linear:

- **MLR:** multiple linear regression. See Amblar-Francés *et al.*, (2017) and Hernanz *et al.* (2021). Based on SDSM (Wilby *et al.*, 2002).
- **MLR-ANA:** multiple linear regression based on analogs. See Petisco de Lara (2008b), Amblar-Francés *et al.* (2017) and Hernanz *et al.* (2021).
- **MLR-WT:** multiple linear regression based on weather types. Similar to ANA-MLR but using precalibrated relationships for each weather type.
- **GLM:** Generalized Linear Model. Logistic + MLR (**LIN**), or over transformed data (**EXP** for exponential and **CUB** for cubic regression). See Amblar-Francés *et al.* (2017) and Hernanz *et al.* (2021). Based on SDSM (Wilby *et al.*, 2002).



## Machine Learning:

- **SVM:** Support Vector Machine. Non-linear machine learning classification/regression. See Hernanz *et al.* (2021).
- **LS-SVM:** Least Square Support Vector Machine. Non-linear machine learning classification/regression. See Hernanz *et al.* (2021).
- **RF:** Random Forest. Non-linear machine learning classification/regression. This method is combined with a MLR to extrapolate to values out of the observed range.
- **XGB:** eXtreme Gradient Boost. Non-linear machine learning classification/regression. This method is combined with a MLR to extrapolate to values out of the observed range.
- **ANN:** Artificial Neural Networks. Non-linear machine learning classification/regression. See García-Valero (2021) and Hernanz *et al.* (2021).
- **CNN:** Convolutional Neural Networks. Non-linear machine learning classification/regression.



## Weather Generators:

- **WG-PDF:** Downscaling parameters of the distributions instead of downscaling daily data. See Erlandsen *et al.* (2020) and Benestad (2021).
- **WG-NMM:** Non-homogeneous Markov Model. Non-parametric Weather Generator based on a first-order two-state (wet/dry) Markov chain. Both the transition probabilities and the empirical distributions used for the intensity are conditioned on the precipitation given by the reanalysis/models. See Richardson (1981).



master 1 branch 4 tags

Go to file

Code

File/Folder	Commit Message	Time
ahernanzl	Added CMIP6 GCMs	
config	Added CMIP6 GCMs	
doc	Updated Figures_description.pdf	
input_data_template	Minor improvements	
lib	Minor improvements	
src	Added CMIP6 GCMs	
LICENSE	Initial commit	2 months ago
README.md	Updated README.md	29 days ago
requirements.txt	Added PRECONTROL beta version	last month

Clone

HTTPS GitHub CLI

https://github.com/ahernanzl/pyClim-SDM

Use Git or checkout with SVN using the web URL.

Open with GitHub Desktop

Download ZIP

About

Statistical Downscaling for Climate Change Projections with a Graphical User Interface

Readme

GPL-3.0 License

1 star

3 watching

2 forks

Releases 4

v1.1: Different hres\_metadata (t/... 22 days ago

Latest

<https://github.com/ahernanzl/pyClim-SDM/>

## Installation

---

pyClim-SDM has been originally designed for **Linux** and might present problems over a different OS.

In order to use pyClim-SDM, **python3** is required. pyClim-SDM makes use of the python libraries listed at requirements.txt. You can install them by following these steps:

- Install Miniconda 3 (6Gb aprox. needed): <https://docs.conda.io/en/latest/miniconda.html>
- Create a virtual environment: **conda create --name env**
- Activate your environment: **conda activate env**
- Install the requirements.txt: **python install\_requirements.py**



## How to use

- For your first steps you can use some example datasets included in the 'input\_data\_template' just by renaming this folder as 'input\_data', but limit your selection to the default sets of predictors and target variables. Be aware that only a few predictors have been included as well as few target points, so no conclusion about the methods skill must be reached using these data
- Open a terminal, go to the src/ directory and run 'python gui\_mode.py'
- Alternatively, pyClim-SDM can be used without the graphical interface by running manual\_mode.py and tuning the config/manual\_settings.py file.
- In order to use your own datasets, spatial domain, etc., prepare your 'input\_data' directory following the structure and format of the 'input\_data\_template'. Beware that the targetVariables themselves, given by reanalysis/GCMs are mandatory files for some methods and purposes. hres format: tas/tasmax/tasmin in degrees, pr in mm, uas/vas in m/s, hurs in %, clt in %. One row per date. The first column corresponds to the date yyyyymmdd, and the other rows (as many as grid points) containing data. Missing data must be coded as -999. Reanalysis and models format: One netCDF file per variable, models and scene, with all pressure levels.
- When working in a HPC, define partition name at config/advanced\_settings.py and tune jobs specifications at lib/launch\_jobs.py.

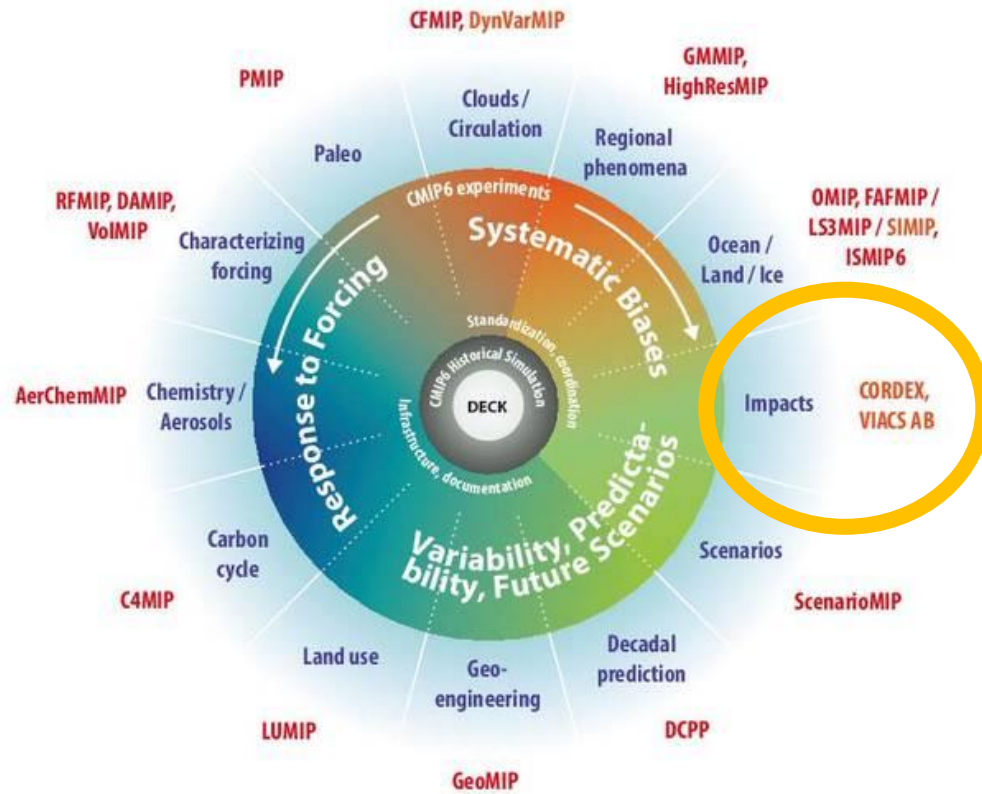
pyClim-SDM tiene datasets de ejemplo para poder familiarizarse con su uso sin necesidad de preparar datos propios.

# 4 COordinated Regional climate Downscaling Experiment (CORDEX)

<https://cordex.org/>



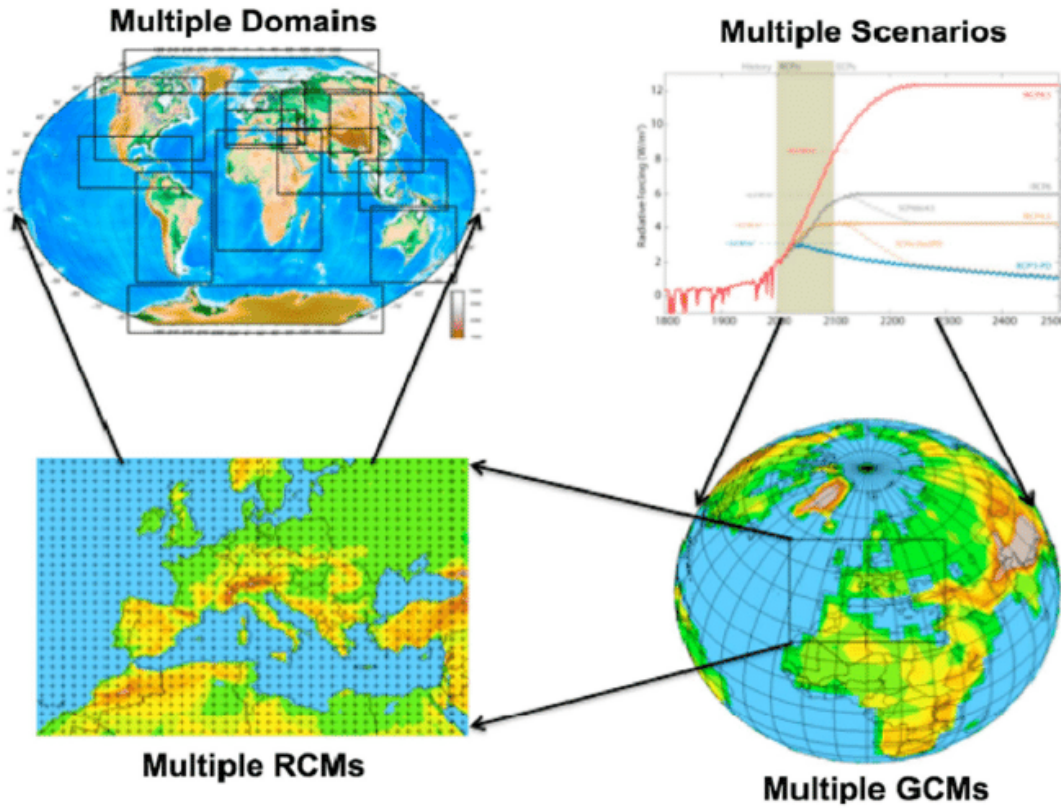
## COordinated Regional climate Downscaling Experiment (CORDEX)



Se establecen unas guías para participar y cualquier grupo de modelización puede aportar sus simulaciones. Se deben proporcionar:

- Evaluación: RCMs anidados en reanálisis.
- Simulaciones: RCMs anidados en GCMs
  - Escenarios/forzamientos.
  - Listado de variables
  - Resoluciones espaciales/temporales
  - Nomenclatura de las variables y formato de los datos.
  - Etc.

# CORDEX Framework



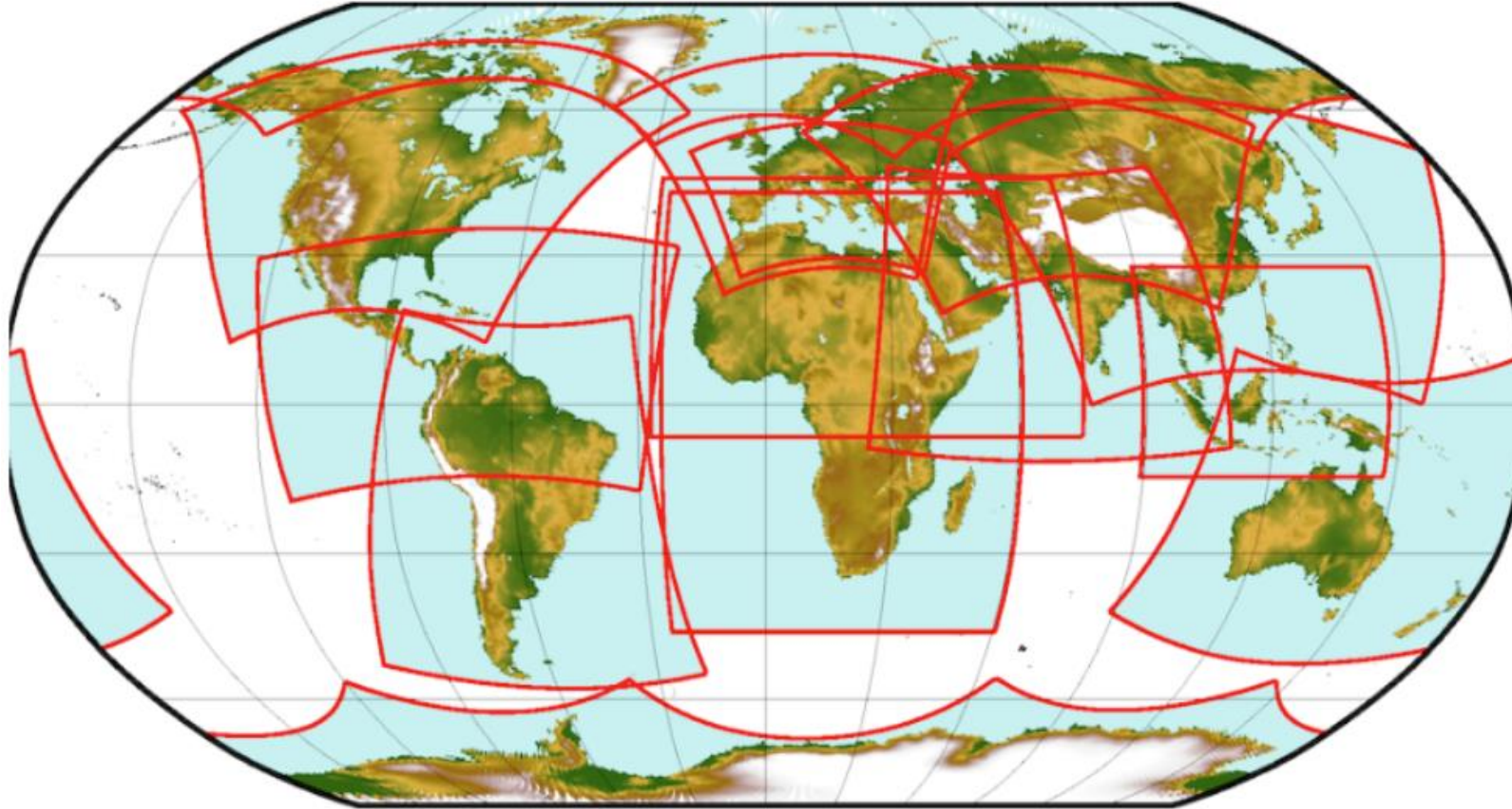
CORDEX (CMIP5):

- 14 dominios
- 22 GCMs / 35 RCMs
- 0.44° / 0.22° / 0.11°

Domain	Res.	ESGF						Other providers					
		models		scenarios				models		scenarios			
		R	G	h	26	45	85	R	G	h	26	45	85
1: South America (SAM)	0.22	3	6	9	6	3	9	-	-	-	-	-	-
	0.44	4	10	14	6	12	14	1	6	6	0	6	6
	<b>total</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>23</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>23</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
2: Central America (CAM)	0.22	3	5	7	6	0	7	-	-	-	-	-	-
	0.44	2	11	12	5	3	12	1	6	6	0	6	6
	<b>total</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>19</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
3: North America (NAM)	0.22	2	6	7	3	4	7	5	6	8	0	1	8
	0.44	3	3	5	1	5	4	6	14	17	0	7	17
	<b>total</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>17</b>
4: Africa (AFR)	0.22	3	4	9	9	0	9	2	2	2	0	2	1
	0.44	7	13	27	13	21	24	3	3	3	1	3	3
	<b>total</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>36</b>	<b>22</b>	<b>21</b>	<b>33</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
5: Europa (EUR)	0.11	14	11	53	27	23	51	2	3	4	1	0	4
	0.22	1	3	3	3	0	3	1	1	1	0	1	1
	0.44	12	10	25	10	20	25	4	8	10	0	7	8
	<b>total</b>	<b>19</b>	<b>13</b>	<b>65</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>63</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>12</b>



## CORDEX Domains



Region 1: South America

Region 2: Central America

Region 3: North America

Region 4: Africa

Region 5: Europe (EURO)

Region 6: South Asia

Region 7: East Asia

Region 8: Central Asia

Region 9: Australasia

Region 10: Antarctica

Region 11: Arctic

Region 12: Mediterranean (MED)

Region 13: Middle East North Africa (MENA)

Region 14: South-East Asia (SEA)

# 5. Descarga y formateo de datos CMIP y CORDEX

## ¿De dónde descargar los GCMs del CMIP y de CORDEX?

- Earth System Grid Federation (**ESGF**)
  - Info: <https://esgf.llnl.gov/>
  - Descarga: <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/>
- Copernicus Climate Data Store (**CDS**) <https://cds.climate.copernicus.eu/#!/home>
- Son datos **abiertos**.
- En el **CDS** hay **controles** de **calidad** extra, los datos están más depurados.



You are at the [ESGF@DOE/LLNL](#) node

[Home](#) [Contact Us](#) [Data Nodes](#) [Status](#)

[Technical Support](#)

MIP Era

Activity

Model Cohort

Product

WARNING: Not all models include a variant "r1i1p1f1", and across models, identical values of variant\_label do not imply identical variants! To learn which forcing datasets were used in each variant, please check modeling group publications and documentation provided through ES-DOC.

CMIP6 project data downloads are unrestricted. Downloads should be performed with the -s option to a wget script without the need to login. When using this method for download, ensure you are not using additional options, eg. -s and -H should never be combined.

For more information about CMIP6 data please consult this guide: <http://pcmdi.llnl.gov/CMIP6/Guide/dataUsers.html>

Source ID

Institution ID

Source Type

Nominal Resolution

Enter Text:

Display  results per page [\[ More Search Options \]](#)

Experiment ID

Sub-Experiment

Variant Label

Grid Label

Show All Replicas  Show All Versions  Search Local Node Only (Including All Replicas)

Search Constraints:  CMIP6 |  CMIP |  ACCESS-ESM1-5 |  AOGCM

Total Number of Results: 14313

-1- 2 3 4 5 6 Next >>

Please login to add search results to your Data Cart

Expert Users: you may display the search URL and [return results as XML](#) or [return results as JSON](#)

1. CMIP6.CMIP.CSIRO.ACCESS-ESM1-5.1pctCO2.r1i1p1f1.Amon.cl.gn  
Data Node: [esgf.nci.org.au](#)  
Version: 20191115  
Total Number of Files (for all variables): 8  
Full Dataset Services: [\[ Show Metadata \]](#) [\[ List Files \]](#) [\[ WGET Script \]](#) [\[ Show Citation \]](#) [\[ PID \]](#) [\[ Globus Download \]](#) [\[ Further Info \]](#)
2. CMIP6.CMIP.CSIRO.ACCESS-ESM1-5.1pctCO2.r1i1p1f1.Amon.pfull.gn  
Data Node: [esgf.nci.org.au](#)  
Version: 20191115

Wget script

## Script wget para descarga de los nodos ESGF

```
#!/bin/bash
#####
# ESG Federation download script
#
# Template version: 1.2
# Generated by esgf-node.llnl.gov - 2018/06/07 05:22:16
# Search URL: https://esgf-node.llnl.gov/esg-
search/wget/?distrib=false&dataset_id=cmip5.output1.MRI.MRI-
CGCM3.rcp45.day.atmos.day.r1i1p1.v20120701|esgf-data1.diasjp.net
#
#####
...
...
...
version=1.3.2
CACHE_FILE=.$(basename $0).status
openId=
search_url='https://esgf-node.llnl.gov/esg-
search/wget/?distrib=false&dataset_id=cmip5.output1.MRI.MRI-
CGCM3.rcp45.day.atmos.day.r1i1p1.v20120701|esgf-data1.diasjp.net'
```

```
#These are the embedded files to be downloaded
download_files="$(cat <<EOF--dataset.file.url.chksum_type.chksum
'hus_day_MRI-CGCM3_rcp45_r1i1p1_20060101-20061231.nc' 'http://esgf-
data1.diasjp.net/thredds/fileServer/esg_dataroot/cmip5/output1/MRI/MRI-
CGCM3/rcp45/day/atmos/day/r1i1p1/v20120701/hus/hus_day_MRI-
CGCM3_rcp45_r1i1p1_20060101-20061231.nc' 'SHA256'
'5da32efa62d651081502ebb74b26c679760b557eb672c4d6614f7dc159ab336d'
...
...
...
ESG_CREDENTIALS=${X509_USER_PROXY:-$ESG_HOME/credentials.pem}
ESG_CERT_DIR=${X509_CERT_DIR:-$ESG_HOME/certificates}
MYPROXY_STATUS=$HOME/.MyProxyLogon
COOKIE_JAR=$ESG_HOME/cookies
MYPROXY_GETCERT=$ESG_HOME/getcert.jar
CERT_EXPIRATION_WARNING=$((60 * 60 * 8)) #Eight hour (in seconds)
WGET_TRUSTED_CERTIFICATES=$ESG_HOME/certificates

# Configure checking of server SSL certificates.
# Disabling server certificate checking can resolve problems with myproxy
# servers being out of sync with datanodes.
CHECK_SERVER_CERT=${CHECK_SERVER_CERT:-Yes}
...
...
...
```



## CDS Copernicus.

Hay tres opciones:

- Rellenar el **formulario web**: más sencillo, menos potente.
- Usar el **toolbox**: permite ejecutar scripts en el servidor.
- Usar **cdsapi**: los scripts corren en local. Requiere instalación previa de cdsapi y creación de un fichero con la clave para conectarse al servidor. <https://cds.climate.copernicus.eu/api-how-to>

# CDS Copernicus. Formulario web



[Login/register](#)

[Home](#) [Search](#) [Datasets](#) [Applications](#) [Toolbox](#) [Support](#) [Live](#)

## CMIP6 climate projections

[Overview](#)

[Download data](#)

[Documentation](#)

[Clear all](#)

### Temporal resolution

At least one selection must be made

- Monthly  Daily  Fixed (no temporal resolution)

### Experiment ?

At least one selection must be made

- Historical  SSP1-1.9  SSP1-2.6  SSP4-3.4  SSP5-3.4OS  SSP2-4.5  
 SSP4-6.0  SSP3-7.0  SSP5-8.5

### Contact

[ECMWF Support Portal](#)

### Licence

[CMIP6 - Data Access - Terms of Use](#)

### Publication date

2021-03-23

### References

DOI: [10.24381/cds.d7eaec3d](#)

### Related data

[CMIP5 daily data on pressure levels](#)

## CDS Copernicus. Formulario web

Zip file (.zip)

Compressed tar file (.tar.gz)

[Clear all](#)

Show API request

Hide Toolbox request

[Login/register to submit request](#)

Post to Toolbox API endpoint.

```
import cdstoolbox as ct

@ct.application(title='Download data')
@ct.output.download()
def download_application():
    data = ct.catalogue.retrieve(
        'projections-cmip6',
        {
            'temporal_resolution': 'daily',
            'experiment': 'ssp1_1_9',
            'level': 'single_levels',
            'variable': 'daily_maximum_near_surface_air_temperature',
            'model': 'cnrm_esm2_1',
            'area': [
                90, -180, -90,
                180,
            ],
        }
    )
    return data
```

# CDS Copernicus. Toolbox



Alfonso Hernanz

Logout

Home Search Datasets Applications **Your requests** Toolbox Support Live

## Your requests

All Queued In progress Failed Unavailable Complete

Auto refreshed : 07:42:29

Delete selected

Product	Submission date	End date	Duration	Size	Status	
▶ projections-cordex-domains-single-levels	2021-06-23 10:44:40	2021-06-23 10:44:40	0:00:00	1.3 GB	Download	<input type="checkbox"/>
▶ projections-cordex-domains-single-levels	2021-06-23 10:41:11	2021-06-23 10:43:27	0:02:15	1.3 GB	Download	<input type="checkbox"/>

# CDS Copernicus. Toolbox

Home Search Datasets Applications Your requests **Toolbox** Support Live

## Toolbox Editor

01 Retrieve data

Console

Your queue

Runtime profile

Layout

Copy

Lock

Run

```
1 import cdstoolbox as ct
2
3
4 @ct.application(title='Retrieve Data')
5 @ct.output.download()
6 def retrieve_sample_data():
7     """
8     Application main steps:
9
10    - retrieve a variable from CDS Catalogue
11    - produce a link to download it.
12    """
13
14    data = ct.catalogue.retrieve(
15        'reanalysis-era5-single-levels',
16        {
17            'variable': '2m_temperature',
18            'product_type': 'reanalysis',
19            'year': '2017',
20            'month': '01',
21            'day': '02',
22            'time': '12:00',
23        }
24    )
```

## Retrieve Data

Download

[cds.services.cdm\\_translate-1624089722.306582-968-15-ba1ff22a-1776-49f9-9825-281754b27dfb\\_ERA5...](https://cds.services.cdm_translate-1624089722.306582-968-15-ba1ff22a-1776-49f9-9825-281754b27dfb_ERA5...)

Applications Data Documentation

Search for app or example

your workspace

CMIP5\_tx\_tn\_pcp

00 Hello World

examples

00 Hello World

**01 Retrieve data**

02 Plot map

03 Extract time series and plot graph

11 Calculate time mean and standard deviation

12 Calculate climatologies

21 Calculate regional mean and anomalies

31 Calculate trends

# Climate Data Operators (CDO)

- Herramienta para manipulación de ficheros NetCDF y GRIB desarrollada por el Max Planck Institute for Meteorology (MPI)
- Código abierto

<code>selparam</code>	Select parameters by identifier
<code>delparam</code>	Delete parameters by identifier
<code>selcode</code>	Select parameters by code number
<code>delcode</code>	Delete parameters by code number
<code>selname</code>	Select parameters by name
<code>delname</code>	Delete parameters by name
<code>selstdname</code>	Select parameters by standard name
<code>sellevel</code>	Select levels
<code>sellevelidx</code>	Select levels by index
<code>selgrid</code>	Select grids
<code>selzaxis</code>	Select z-axes
<code>selzaxisname</code>	Select z-axes by name
<code>selltype</code>	Select GRIB level types
<code>seltabnum</code>	Select parameter table numbers
<code>sel timestep</code>	Select timesteps
<code>seltime</code>	Select times
<code>selhour</code>	Select hours
<code>selday</code>	Select days
<code>selmonth</code>	Select months
<code>selyear</code>	Select years
<code>selseason</code>	Select seasons
<code>seldate</code>	Select dates
<code>selsmon</code>	Select single month
<code>sellonlatbox</code>	Select a longitude/latitude box
<code>selindexbox</code>	Select an index box

# Climate Data Operators (CDO)

## CDO Reference Card

---

Climate Data Operator  
Version 1.9.9  
October 2020

Uwe Schulzweida  
Max-Planck-Institute for Meteorology

---

<https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo>

### Syntax

```
cdo [Options] Operator1 [ -Operator2 [ -OperatorN ] ]
```

### Options

showformat	Show file format
showcode	Show code numbers
showname	Show variable names
showstdname	Show standard names
showlevel	Show levels
showtype	Show GRIB level types
showyear	Show years
showmon	Show months
showdate	Show date information
showtime	Show time information
showtimestamp	Show timestamp

*<operator>* infile

showattribute	Show a global attribute or a variable attribute
---------------	---

showattribute[,attributes] infile

partab	Parameter table
codetab	Parameter code table
griddes	Grid description
zaxisdes	Z-axis description
vct	Vertical coordinate table

*<operator>* infile

### File operations

apply	Apply operators on each input file.
-------	-------------------------------------

apply,operators infiles

# Climate Data Operators (CDO)

-V	Print the version number
-v	Print extra details for some operators
-z szip	SZIP compression of GRIB1 records

## Operators

### Information

info	Dataset information listed by parameter identifier
infn	Dataset information listed by parameter name
map	Dataset information and simple map
<i>&lt; operator &gt;</i> infile	

sinfo	Short information listed by parameter identifier
sinf	Short information listed by parameter name
<i>&lt; operator &gt;</i> infile	

diff	Compare two datasets listed by parameter id
diffn	Compare two datasets listed by parameter name
<i>&lt; operator &gt;</i> [,options] infile1 infile2	

npar	Number of parameters
nlevel	Number of levels
nyear	Number of years
nmon	Number of months
ndate	Number of dates

splitcode	Split code numbers
splitparam	Split parameter identifiers
splitname	Split variable names
splitlevel	Split levels
splitgrid	Split grids
splitzaxis	Split z-axes
splittabnum	Split parameter table numbers
<i>&lt; operator &gt;</i> [,params] infile obase	

splithour	Split hours
splitday	Split days
splitseas	Split seasons
splityear	Split years
splityearmon	Split in years and months
<i>&lt; operator &gt;</i> infile obase	

splitmon	Split months
<i>splitmon</i> [,format] infile obase	

splitsel	Split time selection
<i>splitsel</i> ,nsets [,noffset [,nskip]] infile obase	

distgrid	Distribute horizontal grid
<i>distgrid</i> ,nx [,ny] infile obase	

collgrid	Collect horizontal grid
<i>collgrid</i> [,nx [,names]] infile outfile	



# Climate Data Operators (CDO)

## Statistical values

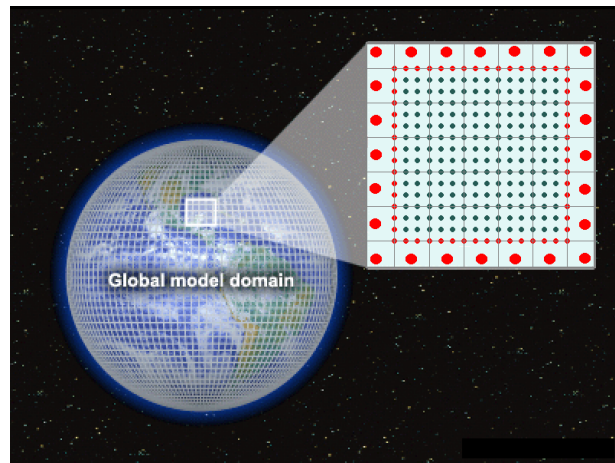
Available statistical functions	< stat >
minimum	min
maximum	max
range	range
sum	sum
mean	mean
average	avg
variance	var, var1
standard deviation	std, std1

<b>timcumsum</b>	Cumulative sum over all timesteps
<code>&lt; operator &gt; infile outfile</code>	
<b>consect</b>	Consecutive Timesteps
<code>&lt; operator &gt; infile outfile</code>	
<b>vars&lt; stat &gt;</b>	Statistical values over all variables
<code>&lt; operator &gt; infile outfile</code>	
<b>ens&lt; stat &gt;</b>	Statistical values over an ensemble
<code>&lt; operator &gt; infiles outfile</code>	
<b>enspctl</b>	Ensemble percentiles
<code>enspctl,p infiles outfile</code>	
<b>ensrkhistspace</b>	Ranked Histogram averaged over time
<b>ensrkhisttime</b>	Ranked Histogram averaged over space

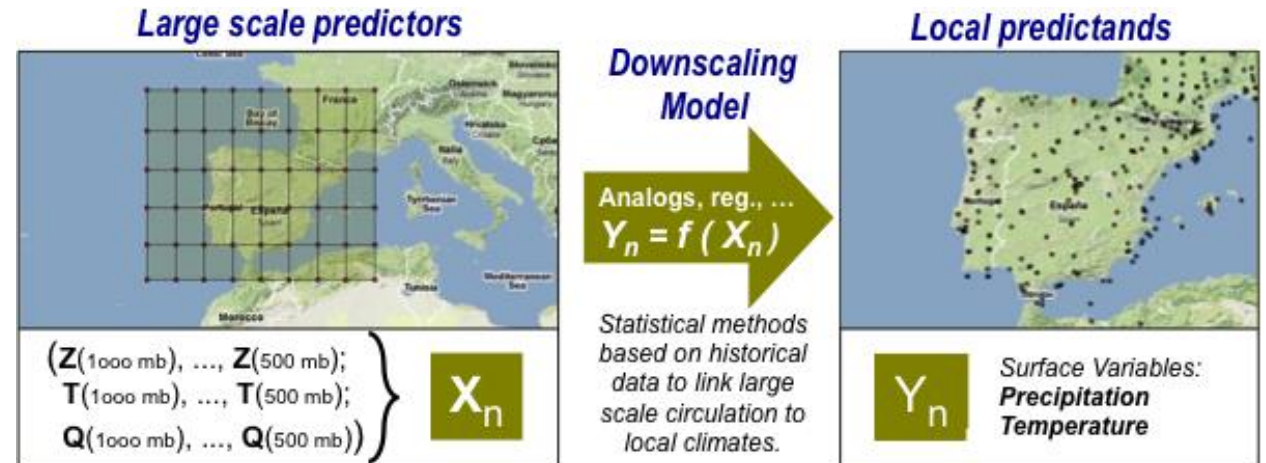
<b>mon&lt; stat &gt;</b>	Monthly statistical values
<code>&lt; operator &gt; infile outfile</code>	
<b>monpctl</b>	Monthly percentiles
<code>monpctl,p infile1 infile2 infile3 outfile</code>	
<b>yearmonmean</b>	Yearly mean from monthly data
<code>yearmonmean infile outfile</code>	
<b>year&lt; stat &gt;</b>	Yearly statistical values
<b>yearminidx</b>	Yearly minimum indices
<b>yearmaxidx</b>	Yearly maximum indices
<code>&lt; operator &gt; infile outfile</code>	
<b>yearpctl</b>	Yearly percentiles
<code>yearpctl,p infile1 infile2 infile3 outfile</code>	
<b>seas&lt; stat &gt;</b>	Seasonal statistical values
<code>&lt; operator &gt; infile outfile</code>	
<b>seaspctl</b>	Seasonal percentiles
<code>seaspctl,p infile1 infile2 infile3 outfile</code>	
<b>yhour&lt; stat &gt;</b>	Multi-year hourly statistical values
<code>&lt; operator &gt; infile outfile</code>	
<b>dhour&lt; stat &gt;</b>	Multi-day hourly statistical values
<code>&lt; operator &gt; infile outfile</code>	

## 6. Estrategia en AEMET

## Regionalización dinámica



## Regionalización estadística

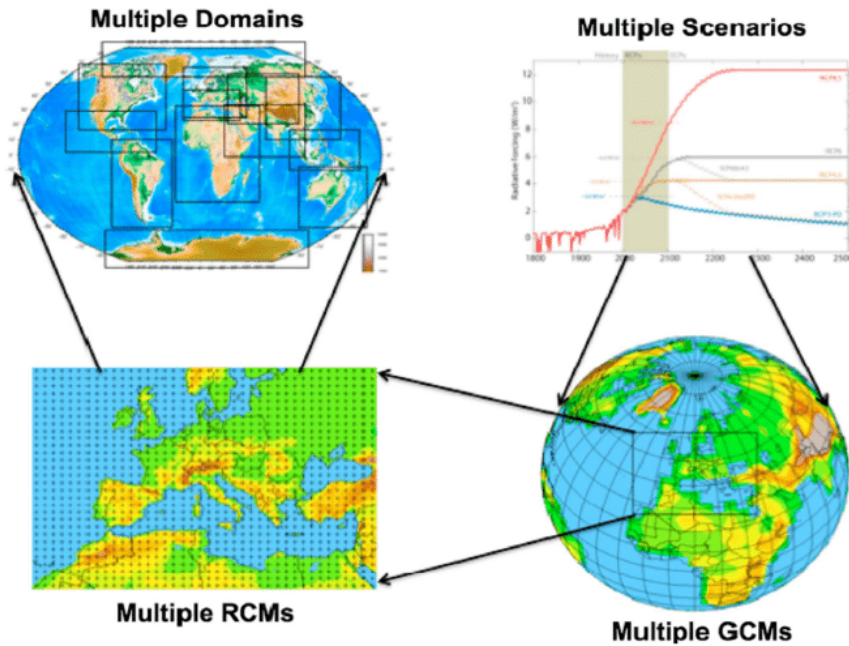


<https://meteo.unican.es/downscaling/intro.html>

# Métodos de regionalización

## Regionalización dinámica

### CORDEX Framework

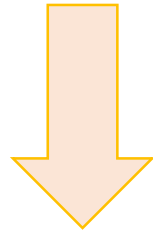


## Regionalización estadística

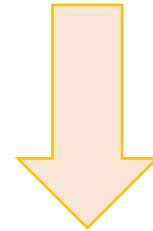
The screenshot shows the 'pyClim-SDM' software interface. The window title is 'pyClim-SDM'. The main content area is divided into three columns for 'Maximum Temperature', 'Minimum Temperature', and 'Precipitation'. Each column has a 'RAW' checkbox, a 'Bias Correction' section with checkboxes for QM, DQM, QDM, and PSDM, an 'Analog / Weather Typing' section with checkboxes for ANA-MLR, WT-MLR, ANA-SYN-1NN, ANA-SYN-kNN, ANA-SYN-rand, ANA-LOC-1NN, ANA-LOC-kNN, ANA-LOC-rand, ANA-PCP-1NN, ANA-PCP-kNN, and ANA-PCP-rand, a 'Transfer Function' section with checkboxes for MLR, ANN, SVM, and LS-SVM, and a 'Weather Generators' section with checkboxes for WG-PDF, WG-NMM, and WG-PDF. At the bottom of each column are 'Select all' and 'Deselect all' buttons. A 'Run' button is located at the bottom right of the interface. The 'pyClim SDM' logo is in the bottom left corner.

## Regionalización estadística

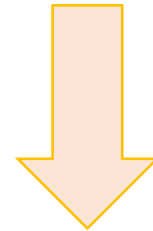
Se requieren series observadas largas y de calidad



Estaciones de observación



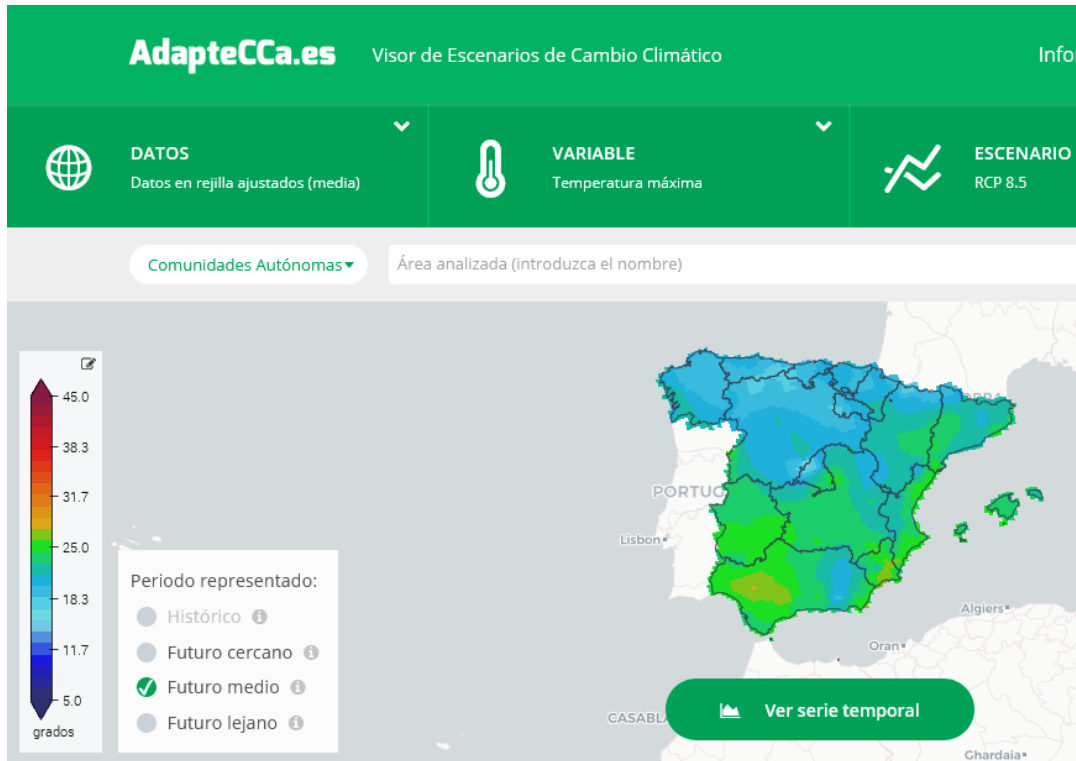
Rejillas observacionales



Rejilla alta resolución (5 km) para temperatura y precipitación diarias generada en AEMET

# Visualización

## Visor de Escenarios AdapteCCA



<https://escenarios.adaptecca.es/>

# Descarga masiva

## Web AEMET

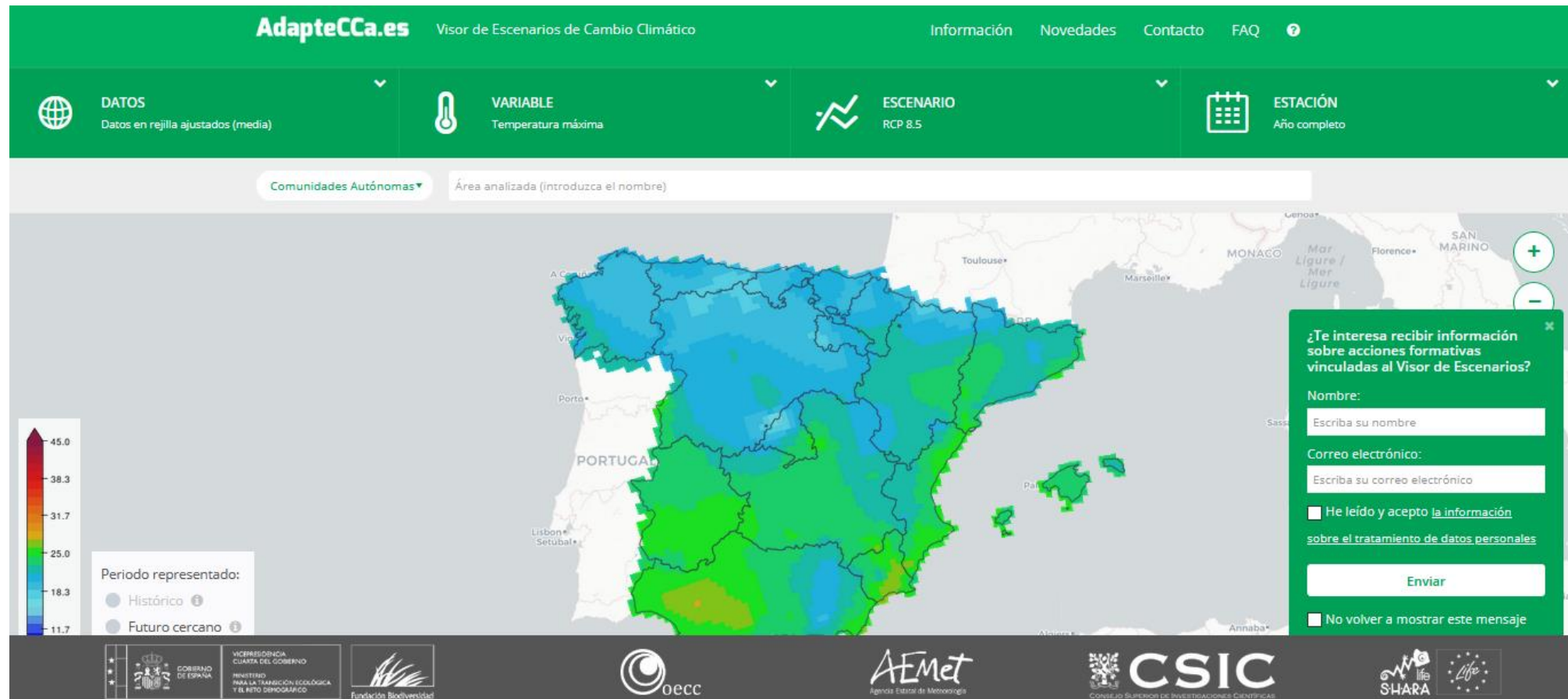
The screenshot shows the AEMET mass download interface. It has three tabs: "Proyección regionalización estadística", "Proyección regionalización dinámica", and "Datos observacionales". Below the tabs are four columns: "AR5-IPCC", "AR4-IPCC", "ENSEMBLES STREAM1", and "ENSEMBLES STREAM2". There are four dropdown menus: "Método" (Todas, Análogos Estaciones, Regresión Estaciones, R. Neuronales Estaciones, Análogos Rejilla, Regresión Rejilla, R. Neuronales Rejilla), "Modelo" (Todos, ACCESS1-0, ACCESS1-3, bcc-csm1-1, BNU-ESM, CMCC-CESM, CMCC-CM, CMCC-CMS), "Escenarios" (Todos, HISTORICAL, RCP4.5, RCP8.5, RCP6.0), and "Variable" (Todos, Precipitación, Tmax, Tmin). At the bottom are "BUSCAR" and "LIMPIAR" buttons.

[https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat](https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat)

# Visor de Escenarios AdapteCCA

Es una plataforma de fácil acceso para conocer, **visualizar** y descargar las proyecciones más actualizadas para el clima futuro de España.

Ha sido desarrollado en el marco del **PNACC** y del proyecto **LIFE SHARA** "Sensibilización y Conocimiento para la Adaptación al Cambio Climático"



# Visor de Escenarios AdapteCCA

- Uso sencillo, cómodo, **intuitivo**.
- Permite **explorar** las **incertidumbres** y **comparar** distintas opciones fácilmente y de forma **interactiva**.

**AdapteCCA.es** Visor de Escenarios de Cambio Climático

Información Novedades Contacto FAQ ?

**DATOS** Datos en rejilla ajustados (media)

**VARIABLE** Temperatura máxima

**ESCENARIO** RCP 8.5

**ESTACIÓN** Año completo

**DATOS EN REJILLA AJUSTADOS (EUROCORDEX)**

- Datos en rejilla ajustados (media)
- CNRM-CERFACS-CNRM-CM5\_r1i1p1\_CLMcom-CCLM4-8-17\_v1
- CNRM-CERFACS-CNRM-CM5\_r1i1p1\_CNRM-ALADIN53\_v1
- CNRM-CERFACS-CNRM-CM5\_r1i1p1\_SMHI-RCA4\_v1
- ICHEC-EC-EARTH\_r12i1p1\_CLMcom-CCLM4-8-17\_v1
- ICHEC-EC-EARTH\_r12i1p1\_SMHI-RCA4\_v1
- ICHEC-EC-EARTH\_r1i1p1\_KNMI-RACMO22E\_v1

**DATOS EN REJILLA (EUROCORDEX)**

- Datos en rejilla (media)
- CNRM-CERFACS-CNRM-CM5\_r1i1p1\_CLMcom-CCLM4-8-17\_v1
- CNRM-CERFACS-CNRM-CM5\_r1i1p1\_CNRM-ALADIN53\_v1
- CNRM-CERFACS-CNRM-CM5\_r1i1p1\_SMHI-RCA4\_v1
- ICHEC-EC-EARTH\_r12i1p1\_CLMcom-CCLM4-8-17\_v1
- ICHEC-EC-EARTH\_r12i1p1\_SMHI-RCA4\_v1
- ICHEC-EC-EARTH\_r1i1p1\_KNMI-RACMO22E\_v1
- ICHEC-EC-EARTH\_r3i1p1\_DMI-HIRHAM5\_v1

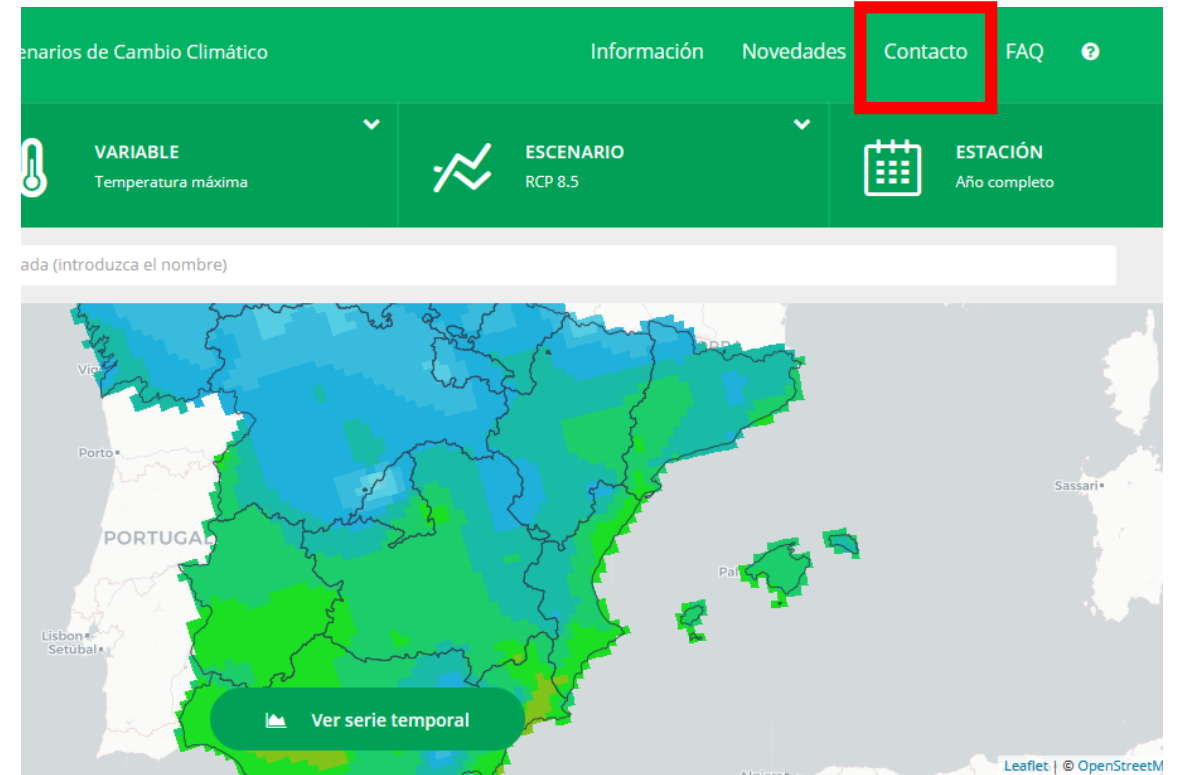
temporal

Leaflet | © OpenStreetMap © CartoDB



# Visor de Escenarios AdapteCCA

- Detrás hay un **grupo de trabajo estable**, lo que permite la continua mejora del visor.
- Hay **canales de comunicación** con los **usuarios** para conocer sus necesidades, lo que permite la incorporación de nuevos índices en función de las necesidades de la comunidad.

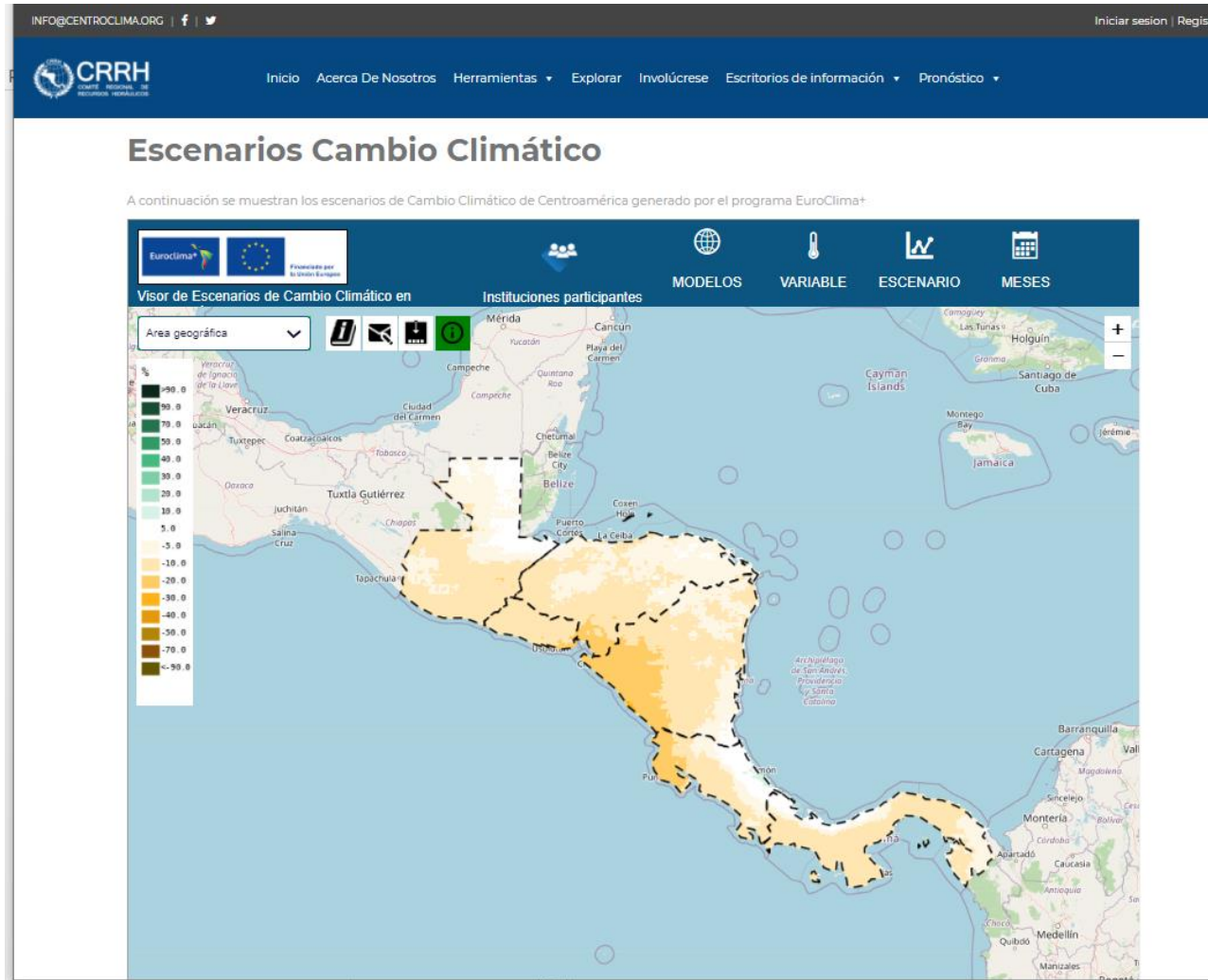


# Visor de Escenarios AdapteCCA

Ha servido de **ejemplo** para otros visores.

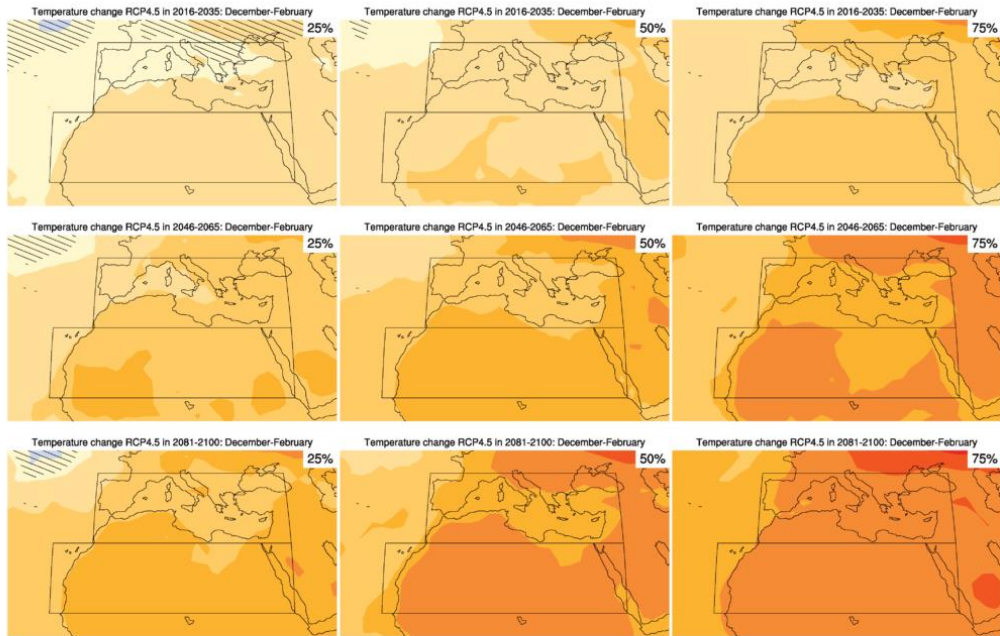
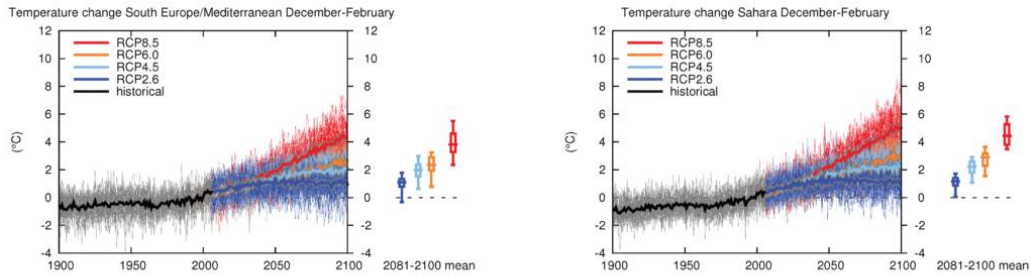
Visor de Centroamérica de EuroCLIMA+

<https://centroclima.org/escenarios-cambio-climatico/>

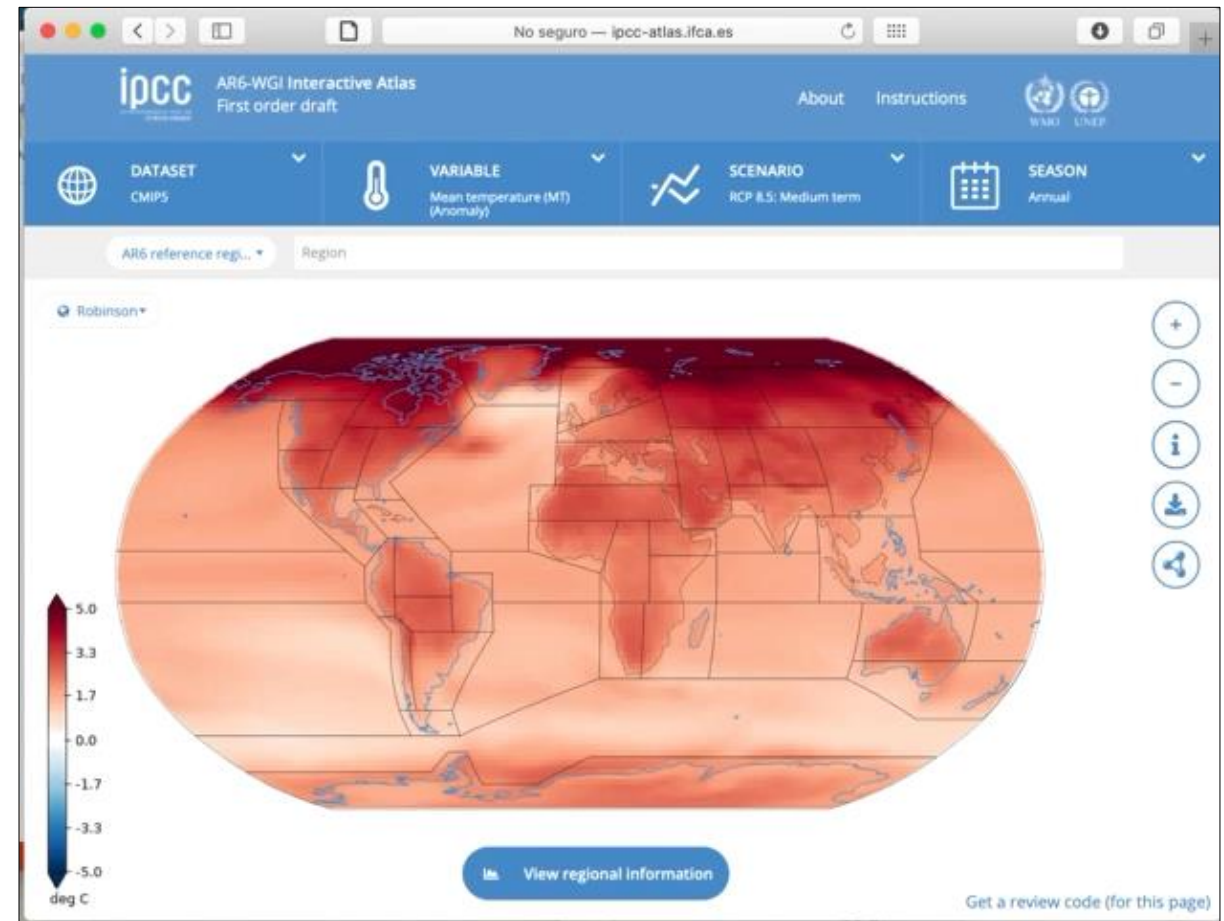


# Visor de Escenarios AdapteCCA

Ha servido de **ejemplo** para otros visores.



## Atlas interactivo del IPCC (AR6)



## Datos puntuales: estaciones

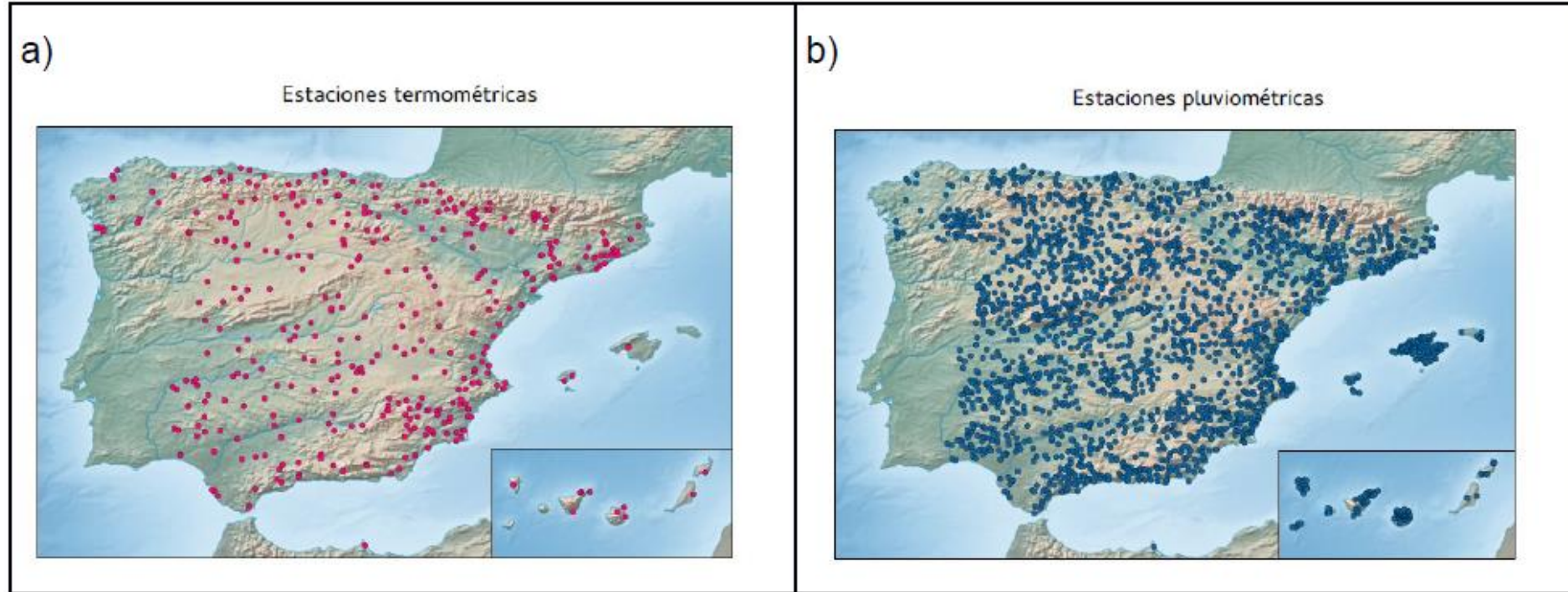


Figura 2.4. Distribución espacial de las estaciones climatológicas utilizadas para la regionalización de: a) temperatura (374) y b) precipitación (2323).

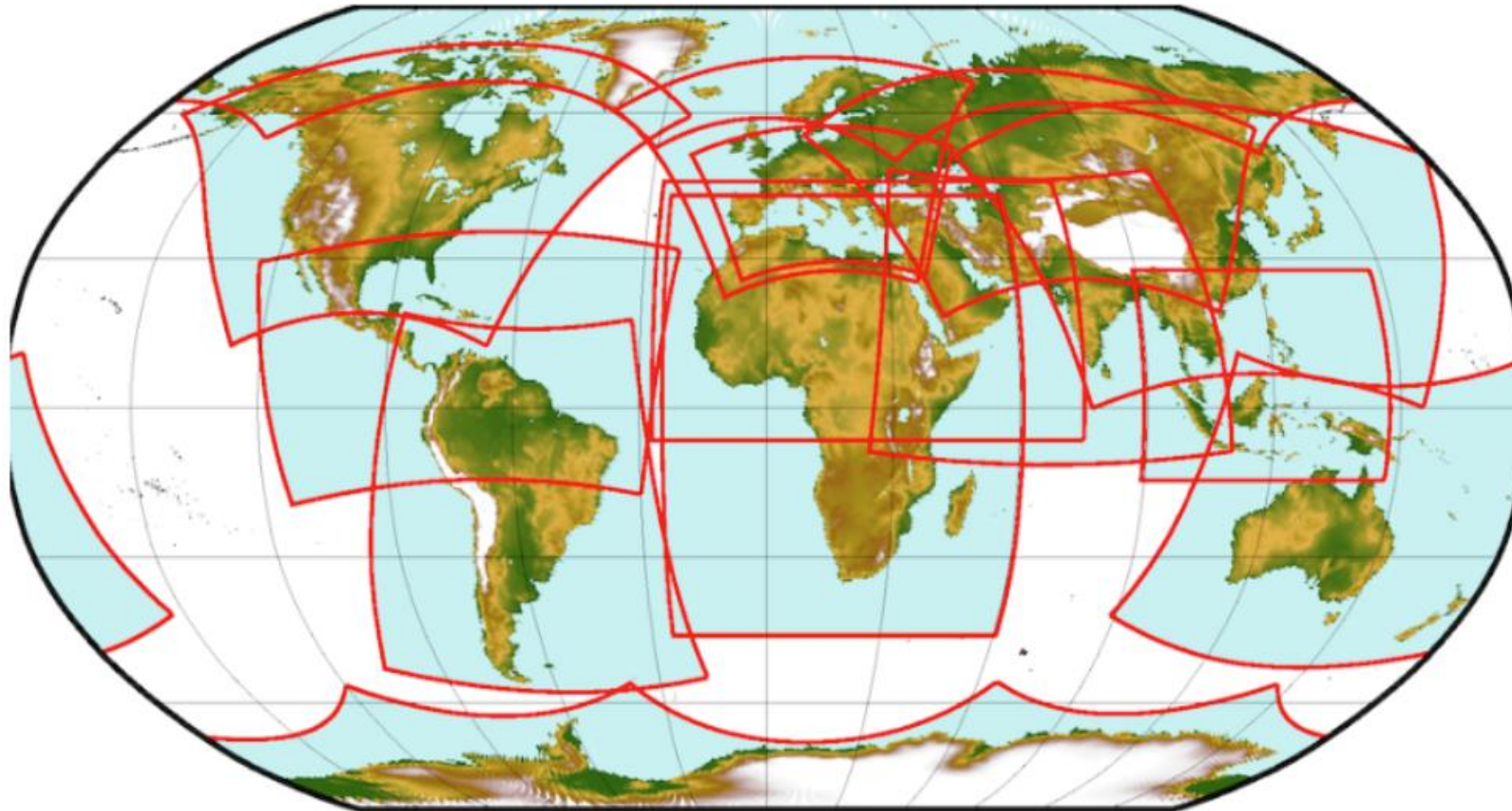
Amblar et al. (2017)

Regionalización estadística: Análogos y Regresión (SDSM)

## Datos en rejilla

CORDEX (CMIP5):

- 14 dominios
- 22 GCMs / 35 RCMs
- $0.44^\circ$  /  $0.22^\circ$  /  $0.11^\circ$



- Region 1: South America
- Region 2: Central America
- Region 3: North America
- Region 4: Africa
- Region 5: Europe (EURO)
- Region 6: South Asia
- Region 7: East Asia
- Region 8: Central Asia
- Region 9: Australasia
- Region 10: Antarctica
- Region 11: Arctic
- Region 12: Mediterranean (MED)
- Region 13: Middle East North Africa (MENA)
- Region 14: South-East Asia (SEA)

## Datos en rejilla

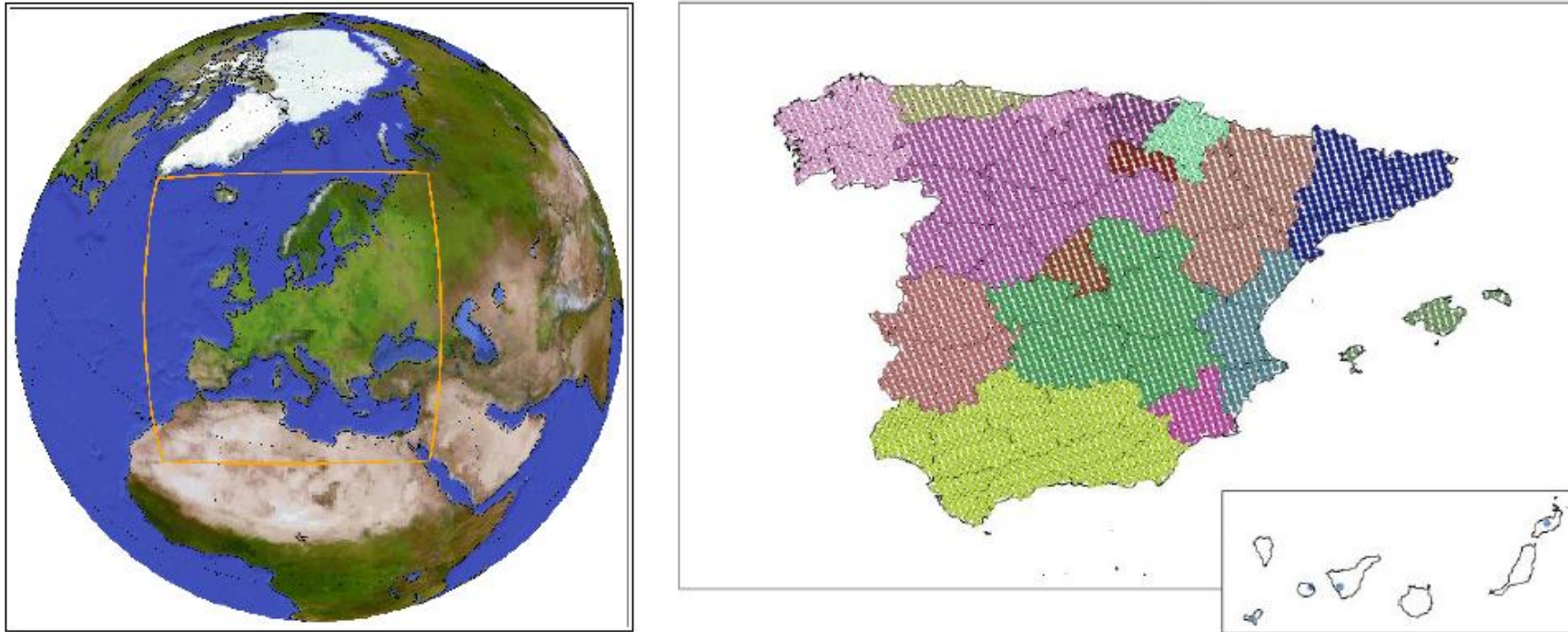


Figura 2.2 (izquierda). Dominio EURO-CORDEX.

Figura 2.3 (derecha). Distribución espacial de los puntos de rejilla de CORDEX sobre España peninsular y Baleares (EUR-11) y sobre Canarias (AFR-44).

Amblar et al. (2017)

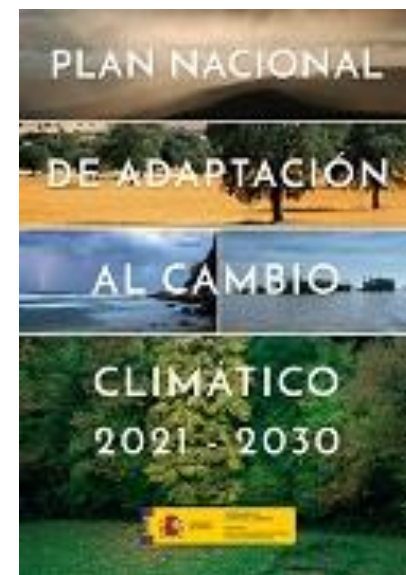
Regionalización dinámica: Península y Baleares (11 km). Canarias: no disponible

# Web AEMET

AEMET tiene el mandato por parte del PNACC de generar y coordinar el esfuerzo en la producción de escenarios regionalizados de cambio climático.

## Proyecciones climáticas para el siglo XXI

El clima está cambiando como consecuencia de las actividades humanas, singularmente por las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la utilización de combustibles fósiles y a la deforestación. En este apartado se incluye información tanto numérica como gráfica relativa a las proyecciones de cambio climático para el siglo XXI regionalizadas sobre España y correspondientes a diferentes escenarios de emisión de utilidad para ser empleada, en el marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), en trabajos de evaluación de impactos y vulnerabilidad.



**Resultados gráficos** NOVEDAD

Gráficos de proyecciones regionalizadas de cambio climático.

**Datos diarios** NOVEDAD

Datos diarios generados por AEMET y proyecto ENSEMBLES.

**Datos mensuales**

Datos mensuales generados por los proyectos ESCENA, ESTCENA, ENSEMBLES y AEMET.

[https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat](https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat)

# Web AEMET

## Descarga masiva de datos

Proyección regionalización estadística		Proyección regionalización dinámica		Datos observacionales	
AR5-IPCC	AR4-IPCC	ENSEMBLES STREAM1	ENSEMBLES STREAM2		

Método	Modelo	Escenarios	Variable	Periodo
Todas Análogos Estaciones Regresión Estaciones <b>R. Neuronales Estaciones</b> Análogos Rejilla Regresión Rejilla R. Neuronales Rejilla	Todos ACCESS1-0 ACCESS1-3 bcc-csm1-1 BNU-ESM CMCC-CESM CMCC-CM CMCC-CMS	Todos HISTORICAL RCP4.5 RCP8.5 RCP6.0	Todos Precipitación Tmax Tmin	Todos 1961-2000 2006-2100 1961-2005

Novedad:  
Rejilla de 5 km

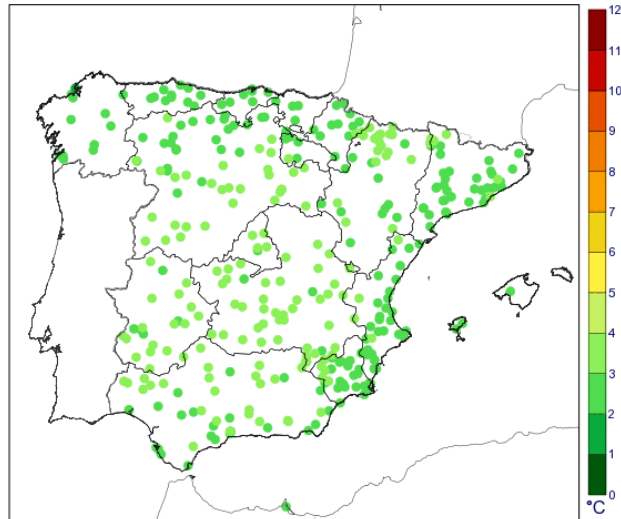
BUSCAR LIMPIAR



# Web AEMET

## Visualización de gráficas precalculadas

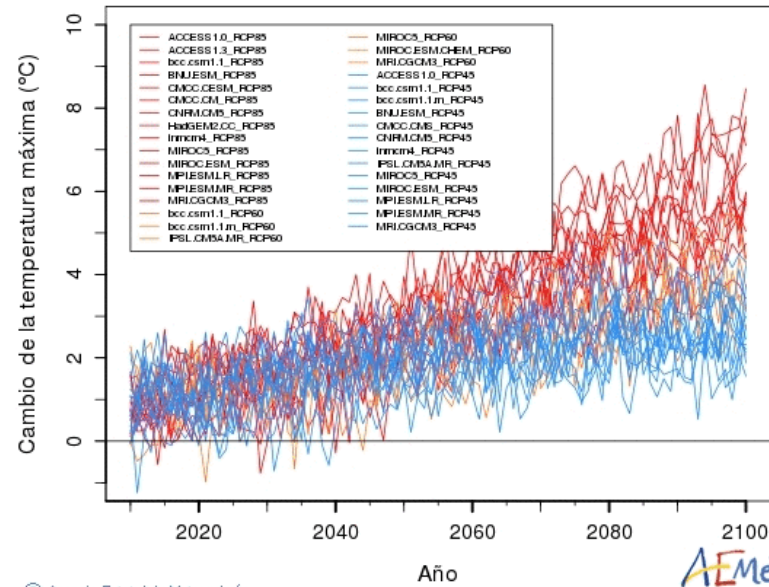
RCP8.5 2046-2065  
ANUAL



© Agencia Estatal de Meteorología

AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología

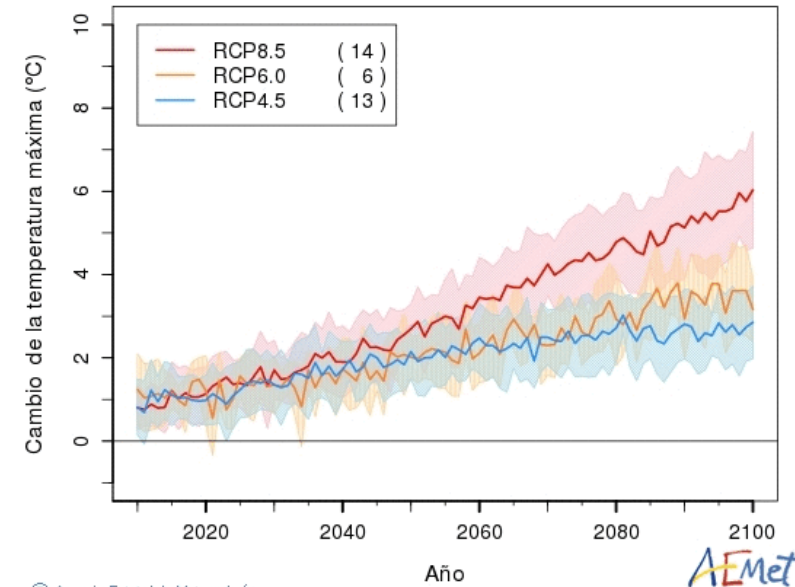
SEGOVIA  
ANUAL



© Agencia Estatal de Meteorología

AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología

SEGOVIA  
ANUAL



© Agencia Estatal de Meteorología

AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología

## Escenarios AEMET CMIP6

Las proyecciones de CMIP6 ya están disponibles.

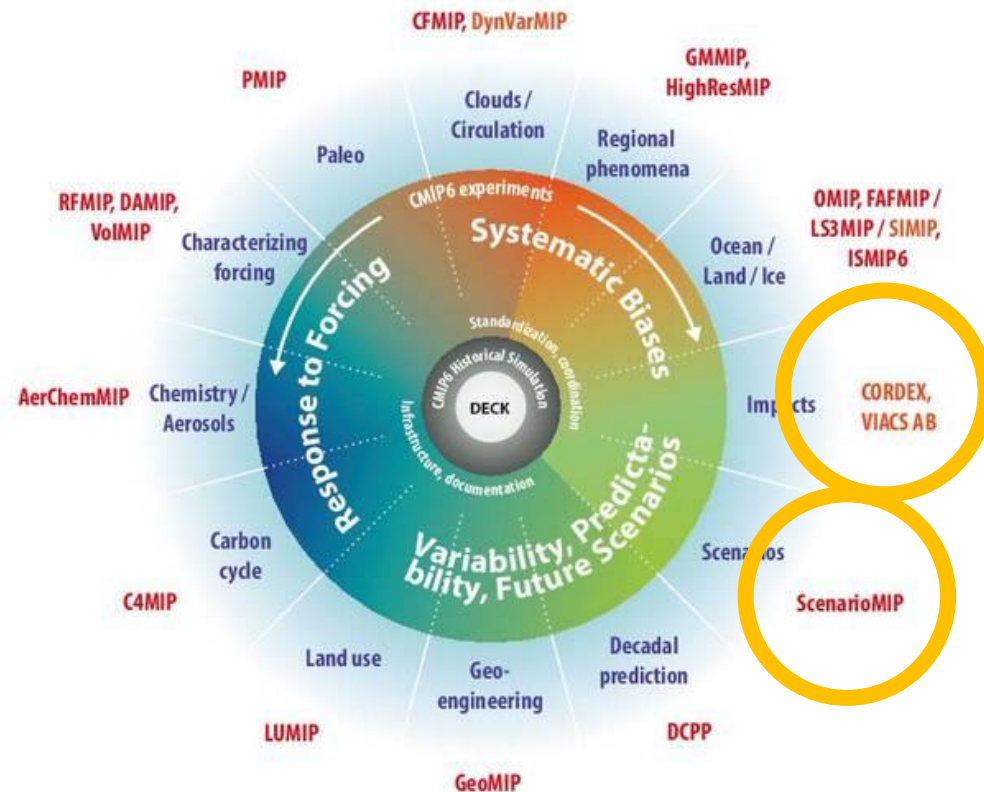


Estamos trabajando en:

- Descarga y formateo de datos (GCMs)
- Evaluación y selección de un ensemble representativo de GCMs
- Evaluación y selección de métodos estadísticos
- Preparación de nuevas bases de datos de estaciones (más estaciones y series más largas)
- Preparación de nuevas rejillas observacionales

# Escenarios AEMET CMIP6

## Descarga y formateo de datos (GCMs)



- Modelos Climáticos Globales CMIP6 ya disponibles en nodos ESGF y Copernicus CDS
- Modelos Climáticos Regionales (CORDEX) aún no están disponibles.



# Escenarios AEMET CMIP6

## Evaluación y selección de un ensemble representativo de GCMs

### 2- Evaluación en histórico

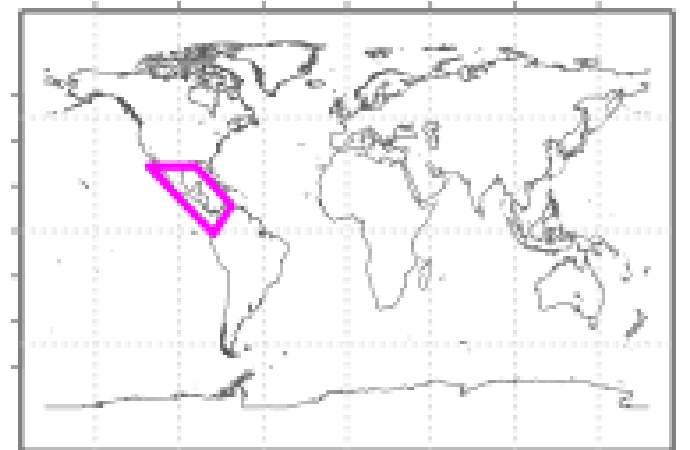
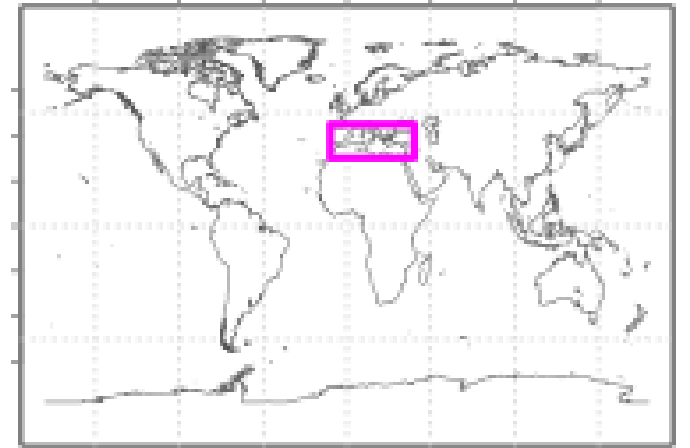
Exigimos a los GCMs que reproduzcan de manera razonable el clima actual

### 3- Evaluación en futuro

De todos aquellos GCMs que pasan unos filtros mínimos de calidad en la evaluación en histórico, buscamos seleccionar un subconjunto representativo de todos ellos.

# GCMeval: a tool for climate model ensemble evaluation

- Herramienta web interactiva
- Permite evaluar GCMs en histórico
- Permite explorar la dispersión de subconjuntos de modelos en futuro
- Contiene 100 modelos (realizaciones) de CMIP6
- Tiene unas regiones espaciales predefinidas



# GCMeval: a tool for climate model ensemble evaluation

Variables ▼

**Temperature**

Important (1) ▼

**Precipitation**

Important (1) ▲

Not considered (0)

Important (1)

Very important (2)

Settings for scatterplot ◀

Seasons ▼

**Annual**

Important (1) ▼

**Winter (DJF)**

Important (1) ▲

Not considered (0)

Important (1)

Very important (2)

Skill scores ▼

**Bias**

Important (1) ▼

**Spatial correlation**

Important (1) ▼

**Spatial sd ratio**

Important (1) ▼

**RMSE of annual cycle**

Important (1) ▼

<https://gcmeval.met.no/>

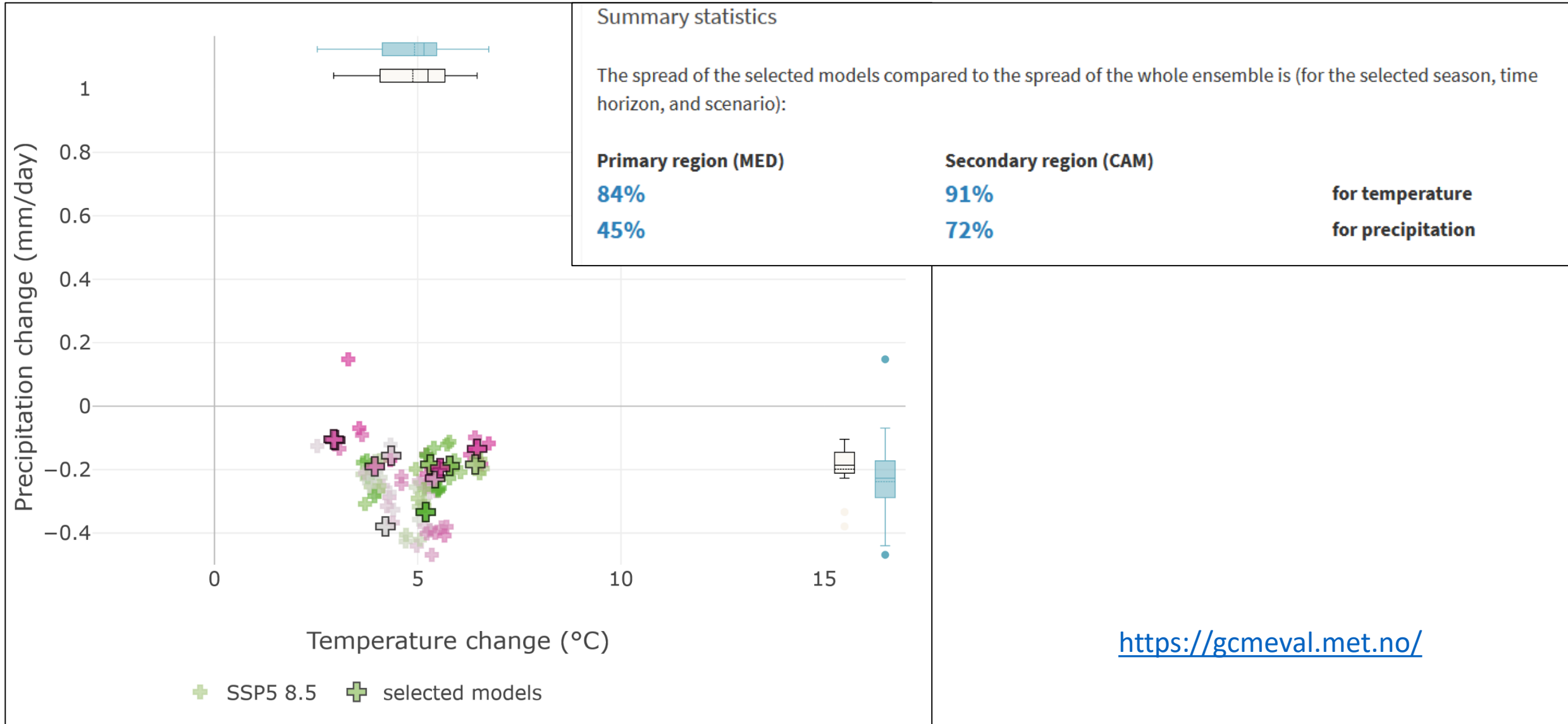
# GCMeval: a tool for climate model ensemble evaluation

Model name	Rank
CMIP6.ACCESS_CM2.r2i1p1f1	21
CMIP6.ACCESS_ESM1_5.r5i1p1f1	76
CMIP6.CAMS_CSM1_0.r1i1p1f1	90
CMIP6.CanESM5.r1i1p1f1	96
CMIP6.FGOALS_f3_L.r1i1p1f1	86
CMIP6.FGOALS_g3.r1i1p1f1	88
CMIP6.GISS_E2_1_G.r1i1p3f1	52
CMIP6.HadGEM3_GC31_LL.r1i1p1f3	18
CMIP6.HadGEM3_GC31_MM.r3i1p1f3	1
CMIP6.MIROC_ES2L.r1i1p1f2	59

<https://gcmeval.met.no/>



# GCMeval: a tool for climate model ensemble evaluation



# Escenarios AEMET CMIP6

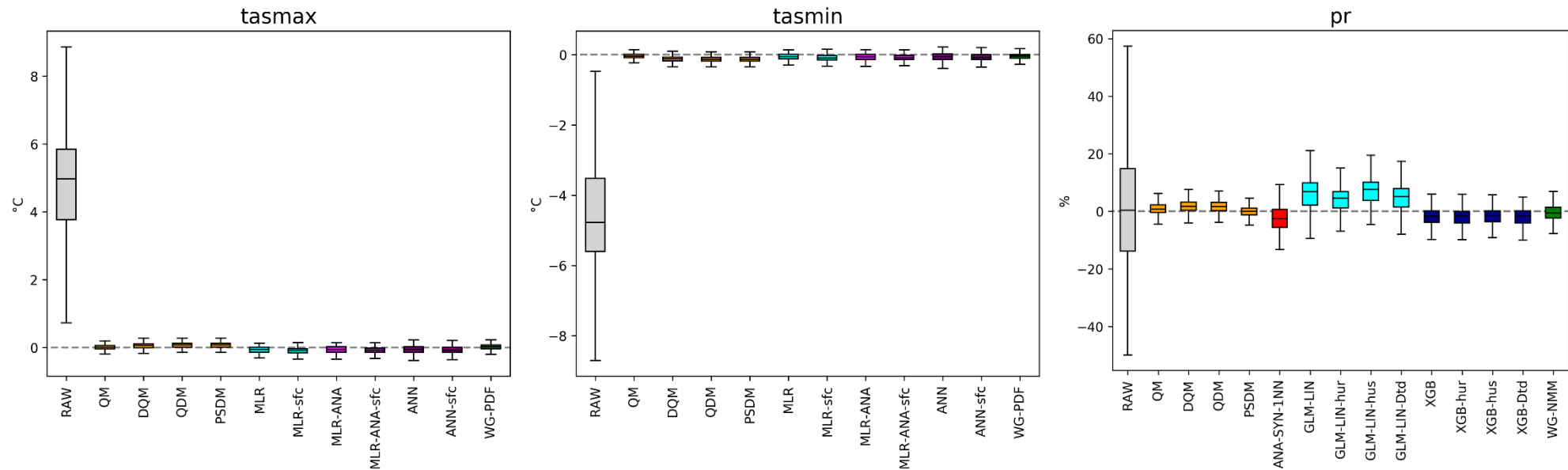
## Evaluación y selección de métodos estadísticos

Tipos de experimento:		
Perfect predictor experiment	Imperfect predictor experiment	Transferability experiment
<ul style="list-style-type: none"><li>• Se evalúan los métodos de regionalización en un periodo histórico.</li><li>• Se aplican sobre un <b>reanálisis</b> (predictores perfectos).</li><li>• Se comparan con observaciones.</li><li>• Se divide el periodo histórico en dos partes: training y testing.</li></ul> <p>• DOI: <a href="https://doi.org/10.1002/joc.7271">10.1002/joc.7271</a></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se trata de evaluar no solo a los métodos de regionalización, sino también el impacto que tienen sobre ellos el uso de predictores imperfectos de los GCMs.</li><li>• No se pueden evaluar a nivel de dato diario, ya que los <b>GCMs no están sincronizados</b> con las observaciones.</li></ul> <p>• DOI: <a href="https://doi.org/10.1002/joc.7611">10.1002/joc.7611</a></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Los métodos estadísticos se basan en la hipótesis de que las relaciones encontradas en presente seguirán siendo válidas en futuro (lo cual puede no ser cierto y es difícilmente analizable).</li><li>• Se evalúan aspectos como el impacto que la regionalización tiene en las <b>tendencias</b> dadas por los modelos globales.</li></ul> <p>• DOI: <a href="https://doi.org/10.1002/joc.7464">10.1002/joc.7464</a></p>

# Escenarios AEMET CMIP6

## Evaluación y selección de métodos estadísticos

### Bias en los valore medios

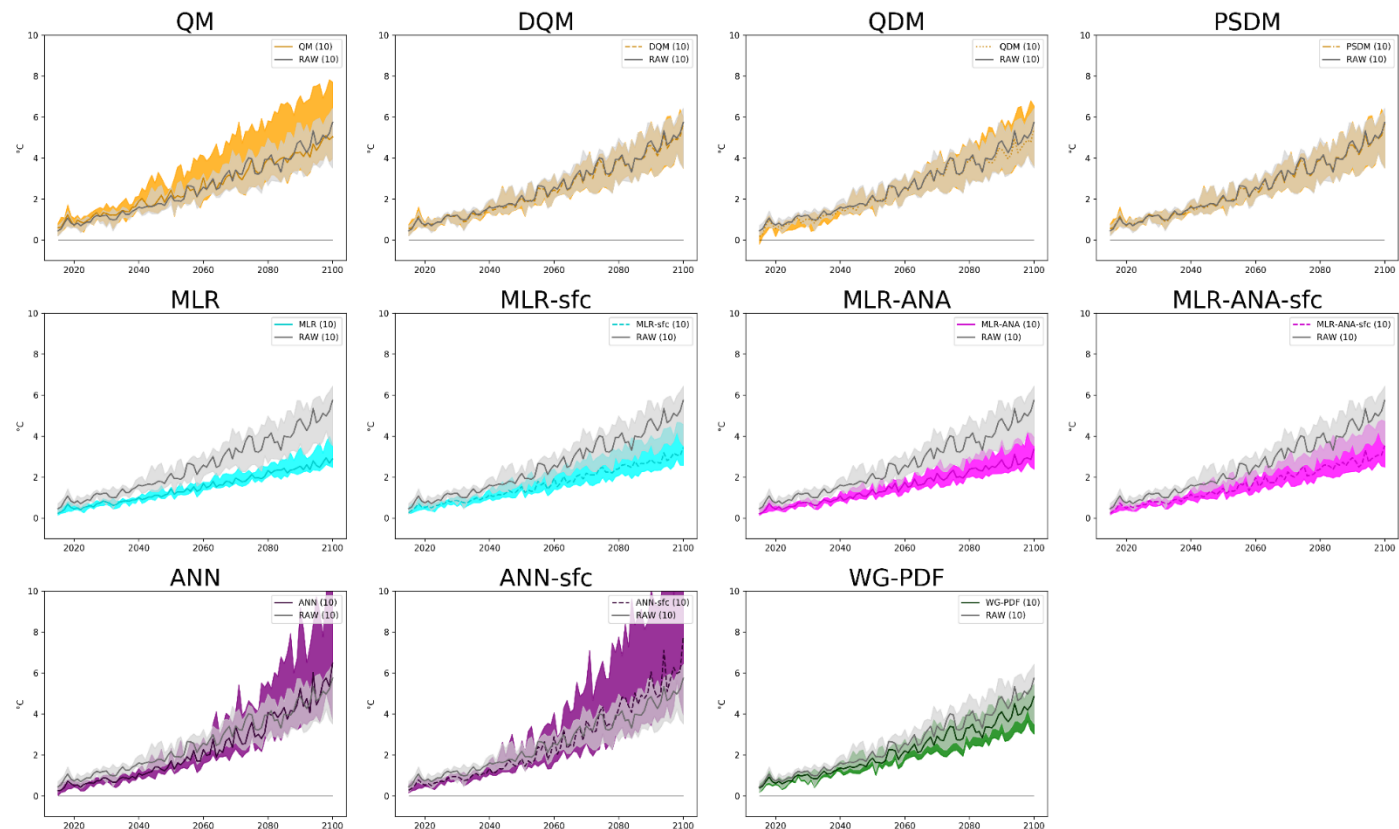


En gris los modelos en baja resolución, y en colores distintos métodos de regionalización estadística

# Escenarios AEMET CMIP6

## Evaluación y selección de métodos estadísticos

### Impacto de la regionalización en las tendencias futuras



En gris los modelos en baja resolución, y en colores distintos métodos de regionalización estadística

# Escenarios AEMET CMIP6

## Evaluación y selección de métodos estadísticos

### Conclusiones

#### CMIP5:

- Análogos
- Regresión
- Redes Neuronales



#### CMIP6:

- MOS (Model Output Statistics)
- eXtreme Gradient Boost con corrección de sesgos por Quantiles Mapping (trend preserving)

# Escenarios AEMET CMIP6

## Preparación de nuevas bases de datos de estaciones

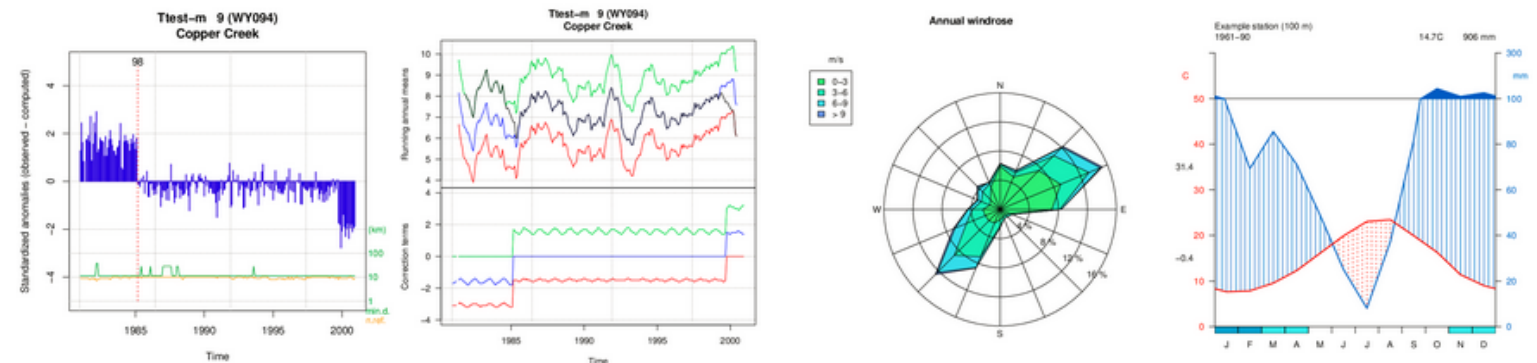
Se está trabajando (Área de Climatología y Aplicaciones Operativas, Banco Nacional de Datos Climatológicos) en la **homogeneización** de series de datos diarios observados en el periodo 1976-2020 (45 años).



## The *climatol* R package

Jose A. Guijarro

(Last update: 2022-09-20)



English

Español

Français

*CLIMATOL* is an R package holding functions for quality control, homogenization and missing data in-filling of climatological series and to obtain climatological summaries and grids from the resulting series. It also provides functions to draw wind-roses and Walter&Lieth climate diagrams.

<https://www.climatol.eu/>

## Escenarios AEMET CMIP6

### Preparación de nuevas rejillas observacionales

Se está trabajando (Área de Desarrollo y Aplicaciones) en la generación de una **rejilla observacional de 2.5 km.** tanto para la Península como para Baleares y Canarias.

La rejilla se genera utilizando el algoritmo de asimilación de datos del modelo numérico HIRLAM

Nota técnica rejilla 5 km:

[http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos\\_en\\_linea/publicaciones\\_y\\_estudios/publicaciones/NT\\_24\\_AEMET/NT\\_24\\_AEMET.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/NT_24_AEMET/NT_24_AEMET.pdf)



# Escenarios AEMET CMIP6

Preparación de nuevas rejillas observacionales



**Por nuestro propio beneficio,  
¡compartamos nuestras observaciones!**



En Centroamérica el número de simulaciones de **CORDEX** y sus resoluciones espaciales son muy **limitadas**.



Solución:  
**downscaling estadístico**  
¿Qué necesitamos?  
**Observaciones** largas y homogéneas



Alternativa:  
**Rejillas** observacionales (de satélite, reanálisis, etc).

Visor de escenarios de Centroamérica (<https://centroclima.org/escenarios-cambio-climatico/>):

- ERA5 (temperatura)
- CHIRPS (precipitación)



# 7. Buenas prácticas

## Variabilidad natural



## Cambio climático



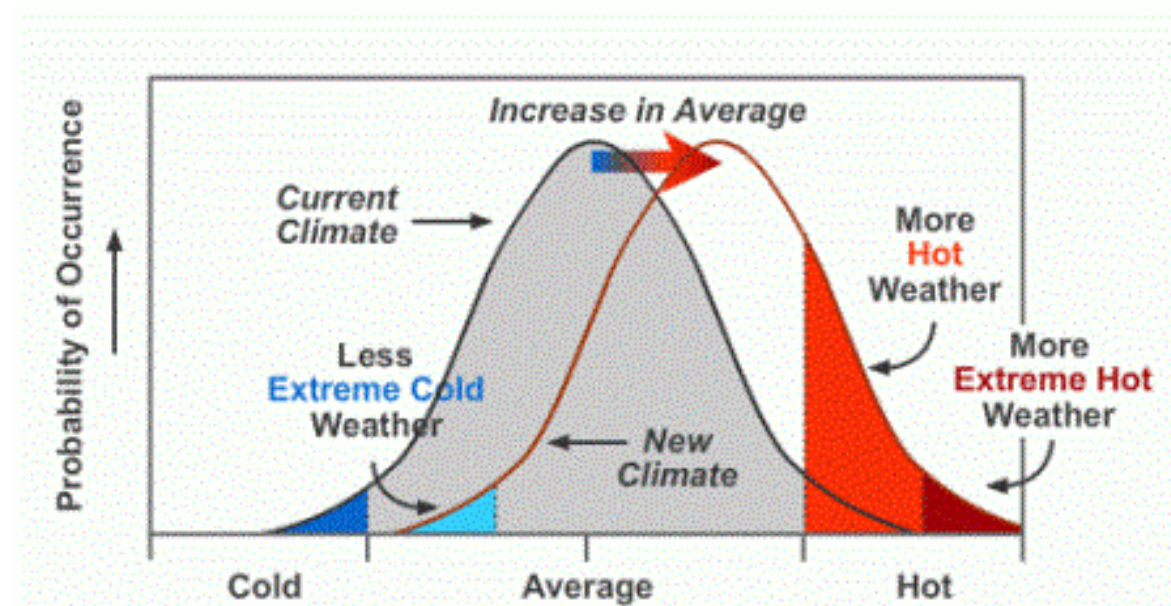
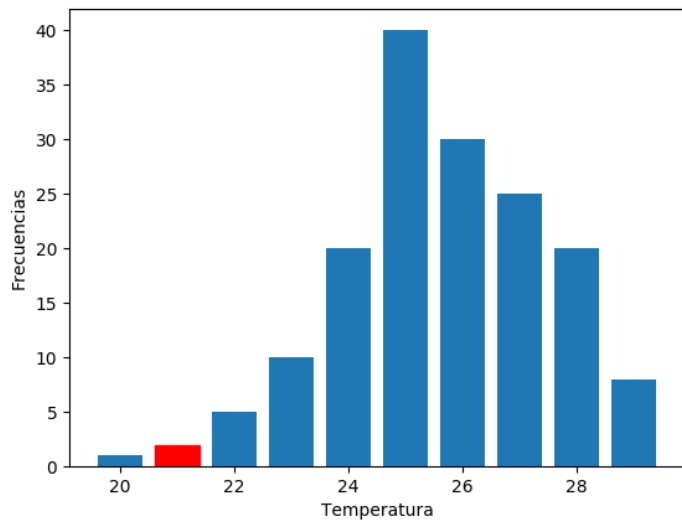
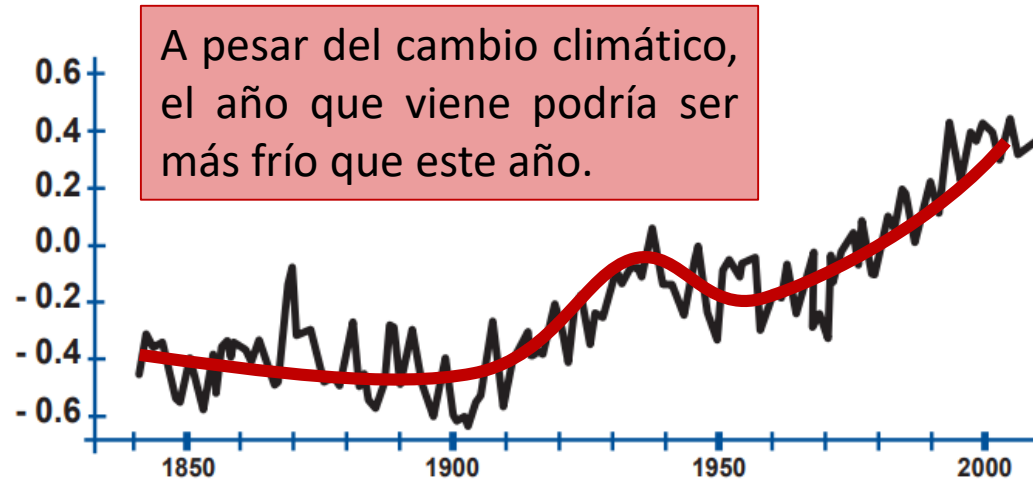
Si usted quiere tomar decisiones para **el año que viene**, su enemigo no es el cambio climático.



Si usted quiere tomar decisiones para **2050**, sígame, le presentaré a las proyecciones climáticas

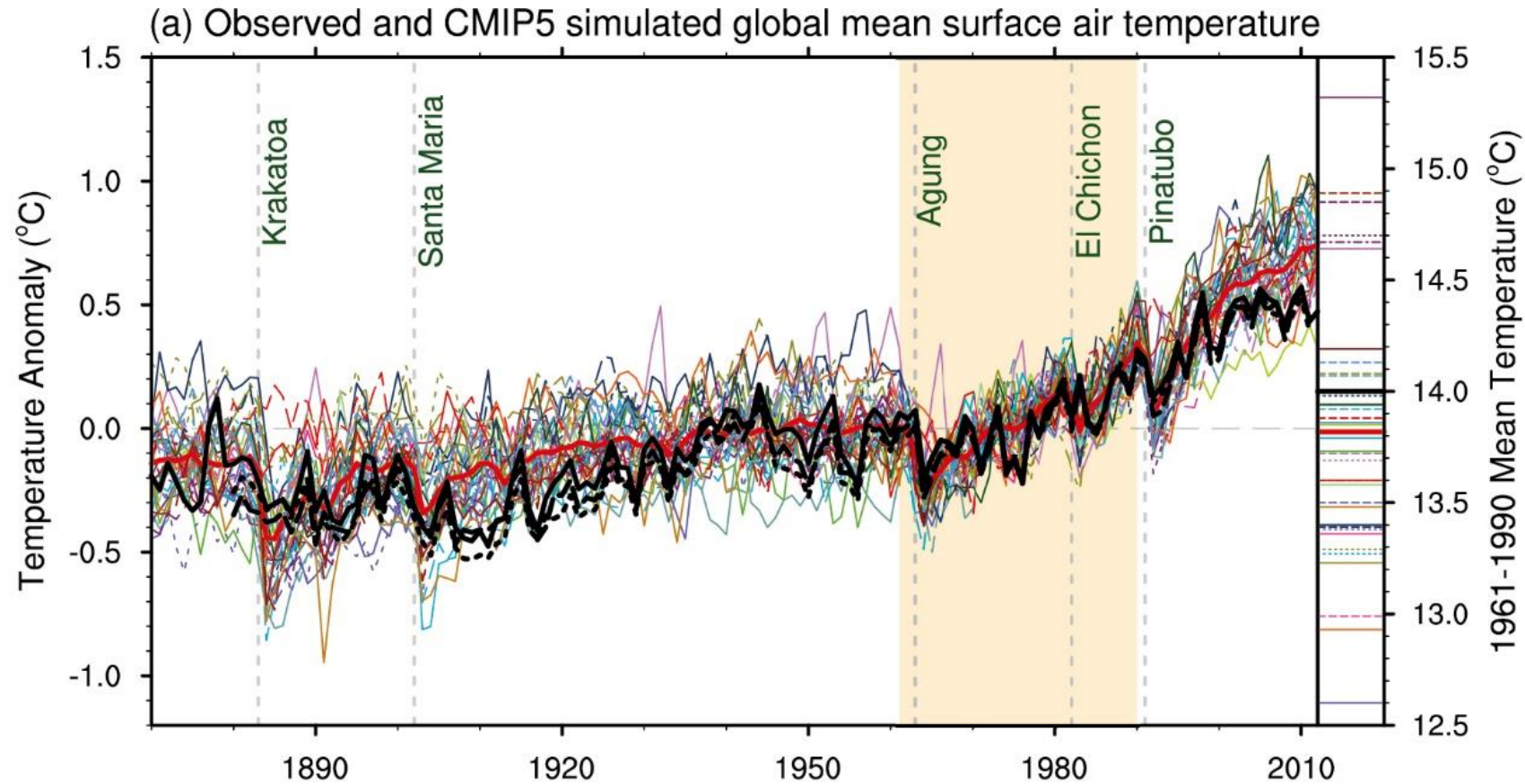
# Variabilidad natural

# Cambio climático

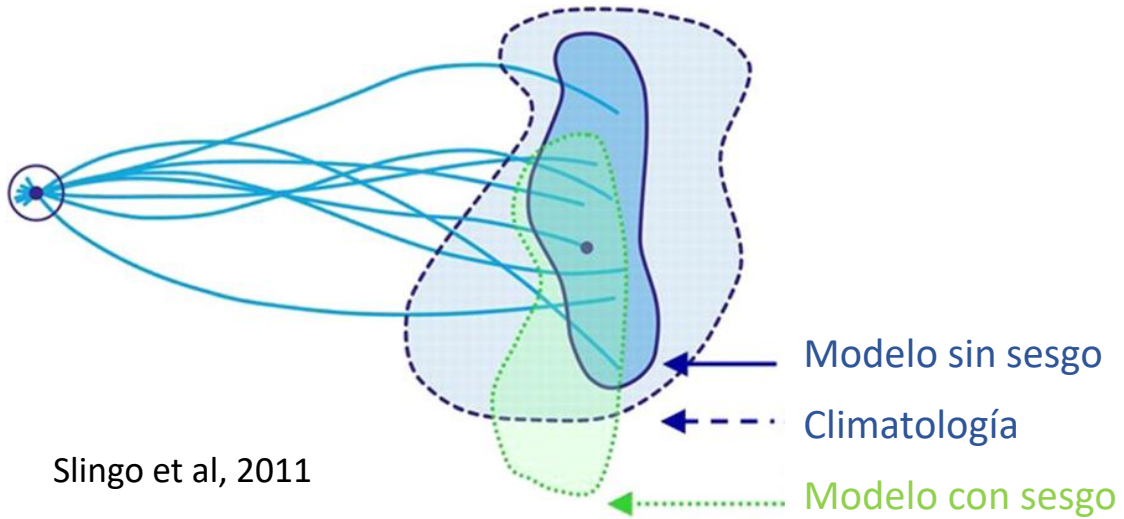


## Proyecciones:

- No están sincronizadas con la realidad (no tienen correspondencia día-día o año-año)
- Si se coge un periodo largo, sus **propiedades estadísticas** sí se corresponden con las de la realidad.

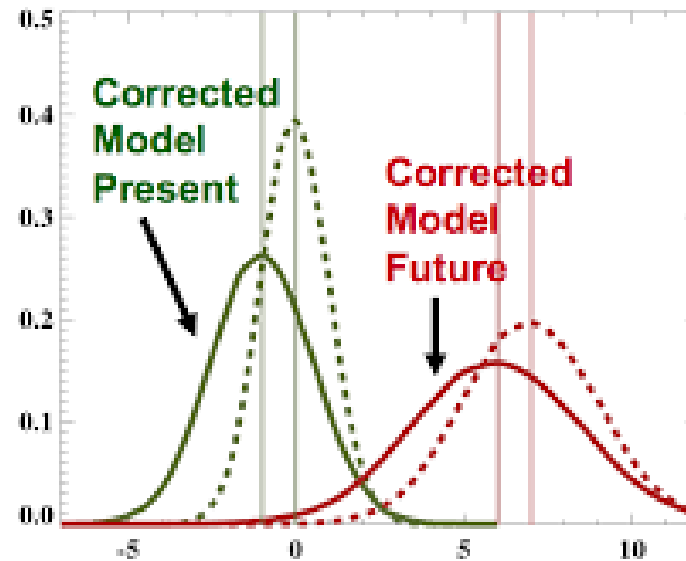


# Sesgos



## Estrategias:

- Corrección de sesgos.
- Usar valores relativos (**cambio**) referidos a la climatología del modelo.





DATOS

Datos en rejilla ajustados (media)



VARIABLE

Temperatura máxima



ESCENARIO

RCP 8.5



ESTACIÓN

Año completo

DATOS EN REJILLA AJUSTADOS (EUROCORDEX)

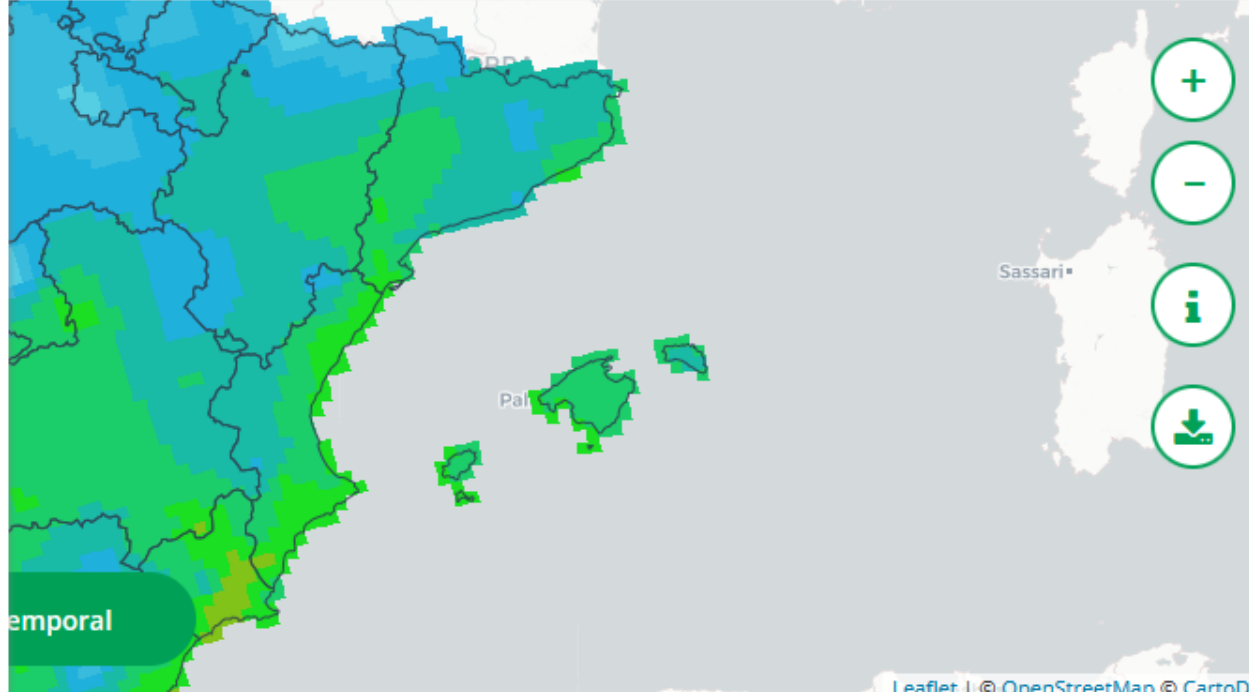
- Datos en rejilla ajustados (media)
- CNRM-CERFACS-CNRM-CM5\_r1i1p1\_CLMcom-CCLM4-8-17\_v1
- CNRM-CERFACS-CNRM-CM5\_r1i1p1\_CNRM-ALADIN53\_v1
- CNRM-CERFACS-CNRM-CM5\_r1i1p1\_SMHI-RCA4\_v1
- ICHEC-EC-EARTH\_r12i1p1\_CLMcom-CCLM4-8-17\_v1
- ICHEC-EC-EARTH\_r12i1p1\_SMHI-RCA4\_v1
- ICHEC-EC-EARTH\_r1i1p1\_KNMI-RACMO22E\_v1

DATOS EN REJILLA (EUROCORDEX)

- Datos en rejilla (media)
- [Ver más...](#)

DATOS EN ESTACIONES

- Datos en estaciones (media)
- ACCESS1-0\_ANALOGOS
- bcc-csm1-1-m\_ANALOGOS
- bcc-csm1-1-m\_SDSM
- bcc-csm1-1\_ANALOGOS
- BNU-ESM\_ANALOGOS
- BNU-ESM\_SDSM
- CanESM2\_SDSM
- CMCC-CM\_ANALOGOS



Proyección regionalización estadística

Proyección regionalización dinámica

### Método

- Todas
- Análogos Estaciones
- Regresión Estaciones
- R. Neuronales Estaciones
- Análogos Rejilla
- Regresión Rejilla
- R. Neuronales Rejilla

### Modelo

- Todos
- ACCESS1-0
- ACCESS1-3
- bcc-csm1-1
- BNU-ESM
- CMCC-CESM
- CMCC-CM
- CMCC-CMS

### Escenarios

- Todos
- HISTORICAL
- RCP4.5
- RCP8.5
- RCP6.0

¿Regionalización dinámica o estadística?

¿Qué método elijo?

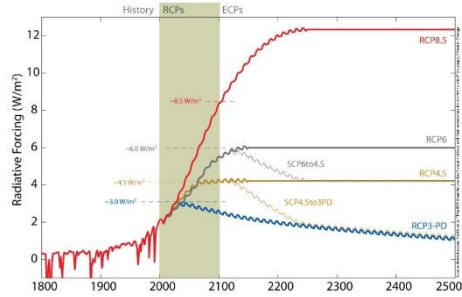
¿Y modelo?



¿Escenario?

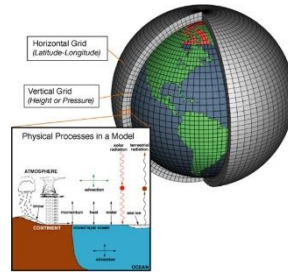
¿Estaciones o rejilla?

## Forzamientos



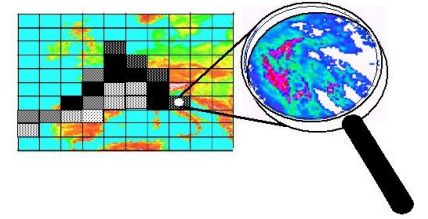
No sabemos cómo  
evolucionará la sociedad

## Modelos climáticos



Los modelos climáticos no  
son perfectos

## Downscaling



Las técnicas de  
regionalización tampoco

# ¡Incertidumbres!

¿Regionalización  
dinámica o estadística?

¿Qué método elijo?

¿Y modelo?



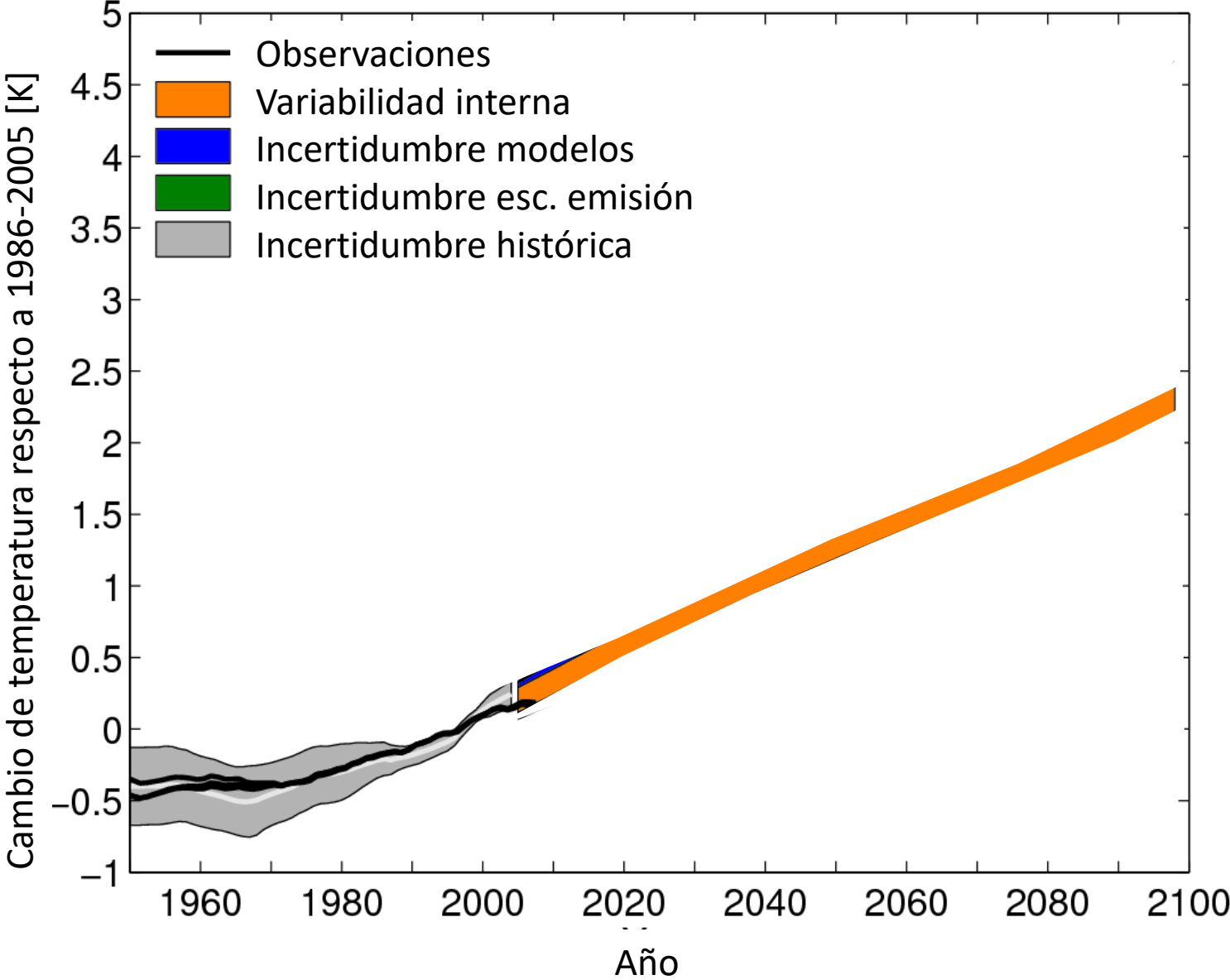
¿Escenario?

¿Estaciones o rejilla?

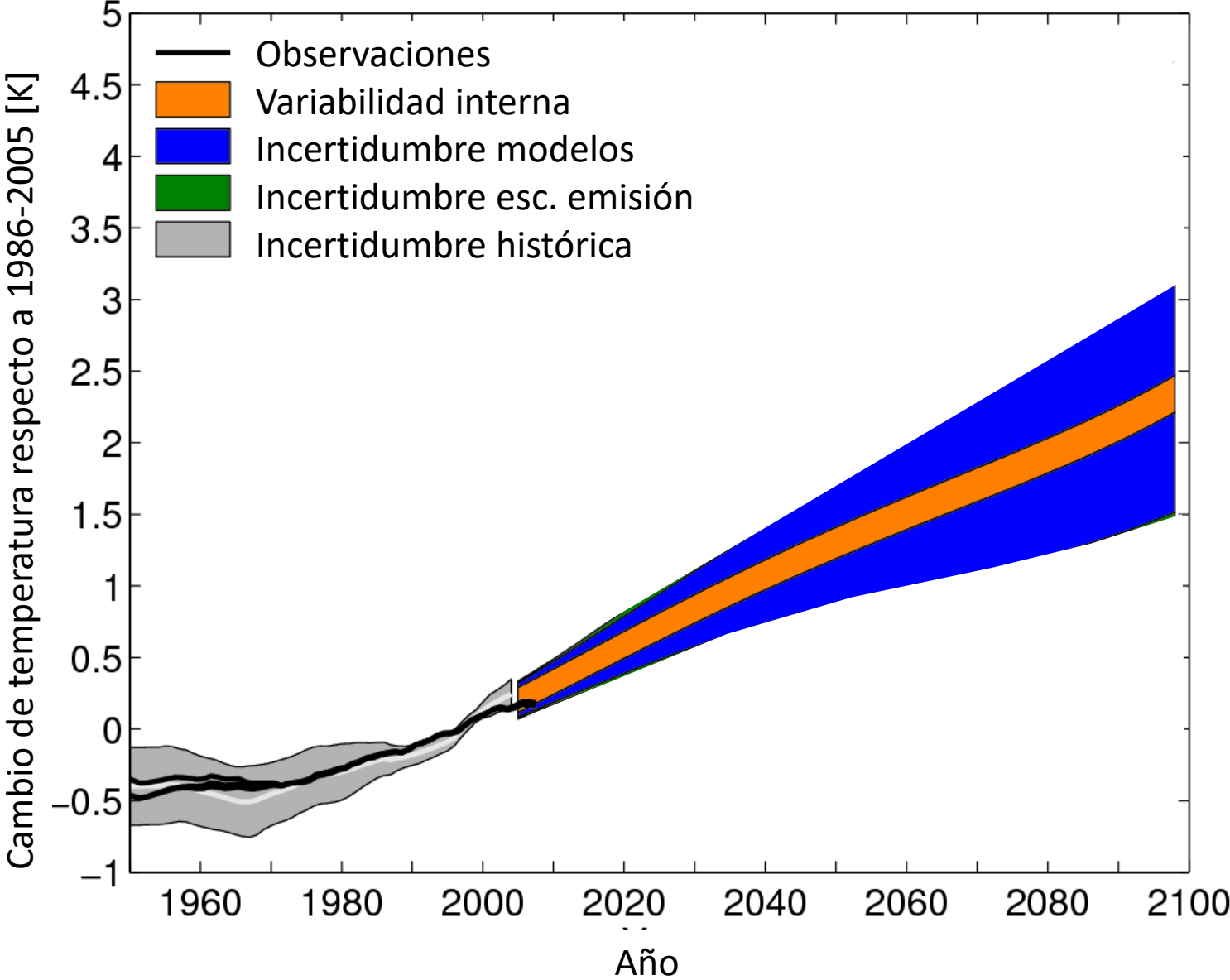




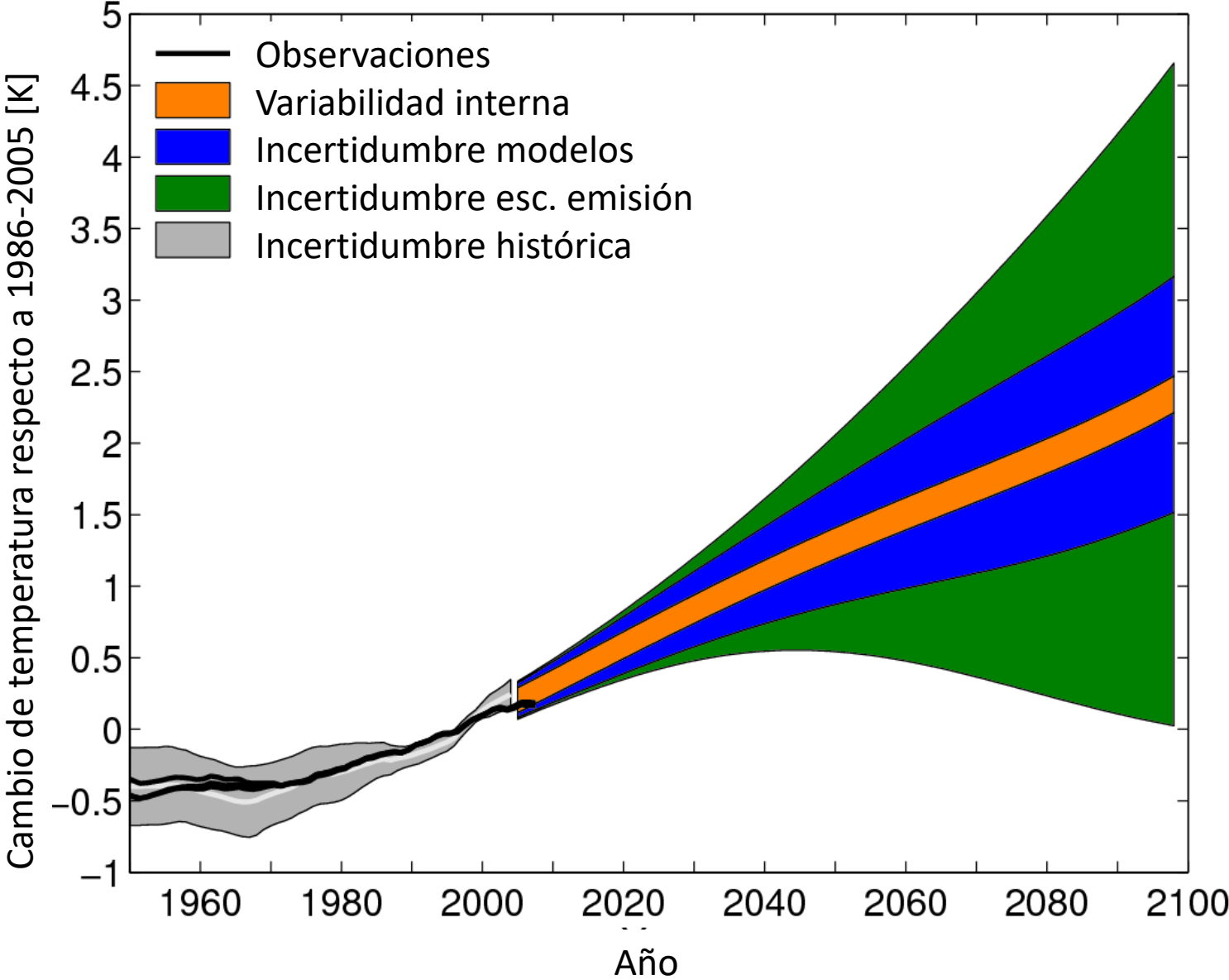
# Fuentes de incertidumbre en la proyección de temperatura global media



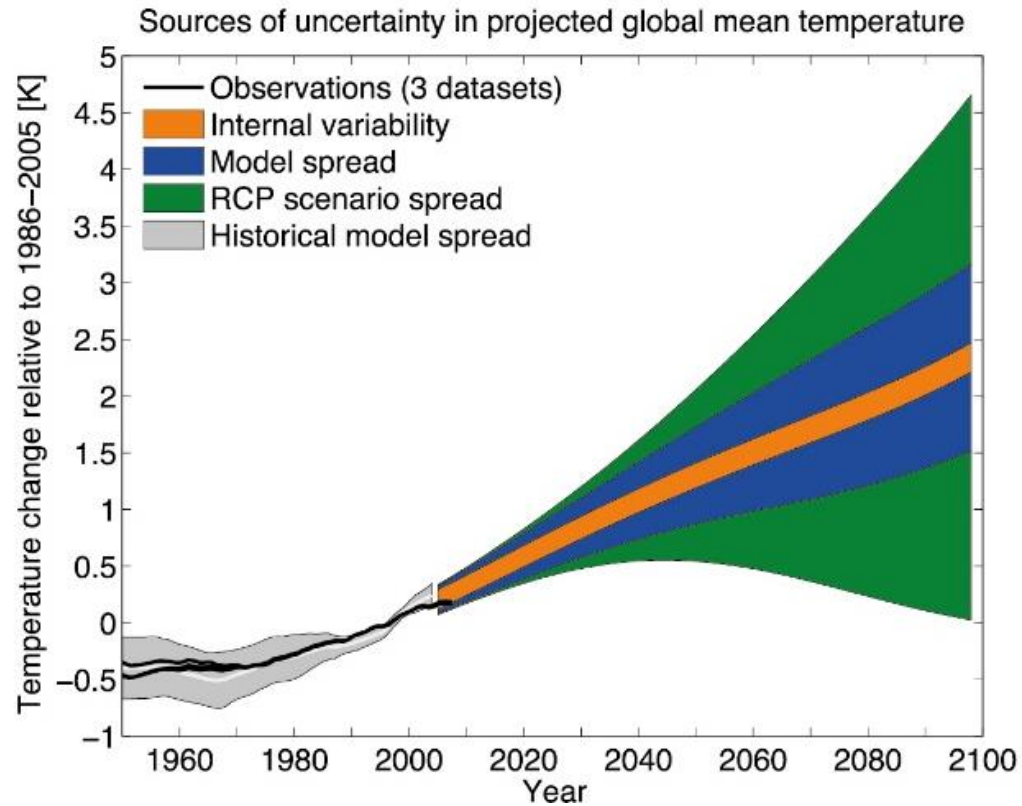
# Fuentes de incertidumbre en la proyección de temperatura global media



# Fuentes de incertidumbre en la proyección de temperatura global media

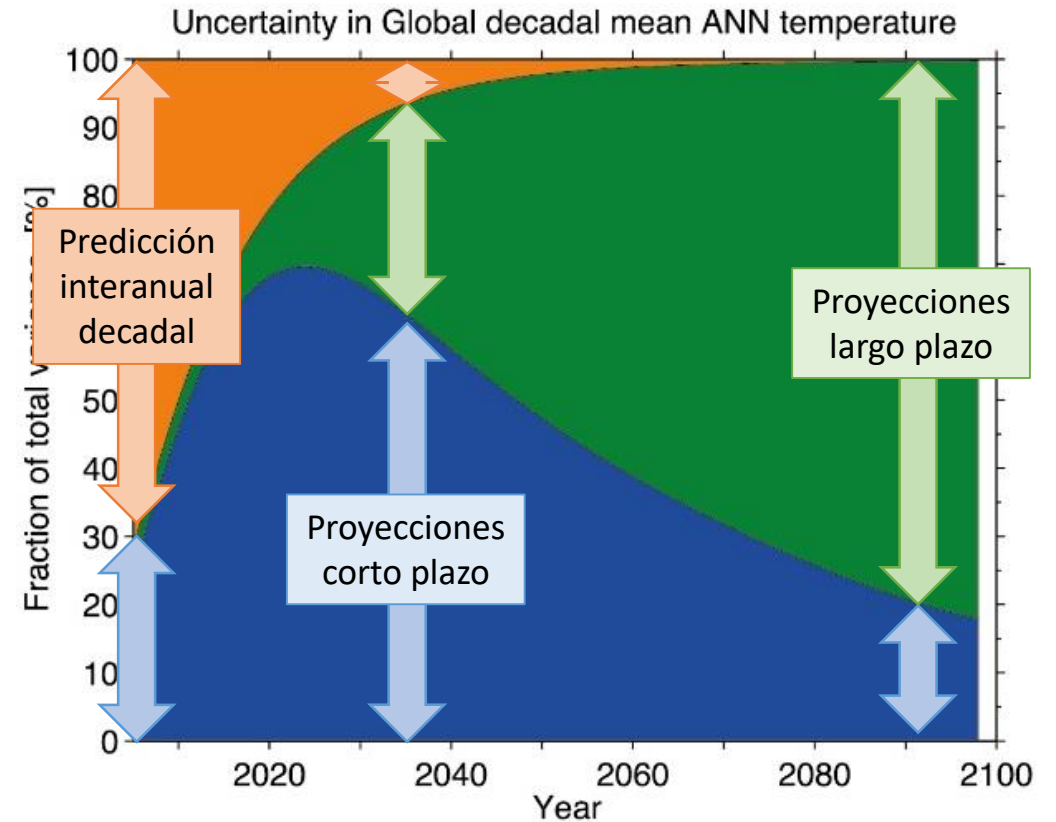


# Fuentes de incertidumbre en la proyección de temperatura global media



*Model spread* da información de la incertidumbre en la respuesta del sistema climático al forzamiento.

IPCC (2013)



Kirtman et al. 2013, modificado

Proyección regionalización estadística

Proyección regionalización dinámica

Método

- Todas
- Análogos Estaciones
- Regresión Estaciones
- R. Neuronales Estaciones
- Análogos Rejilla
- Regresión Rejilla
- R. Neuronales Rejilla

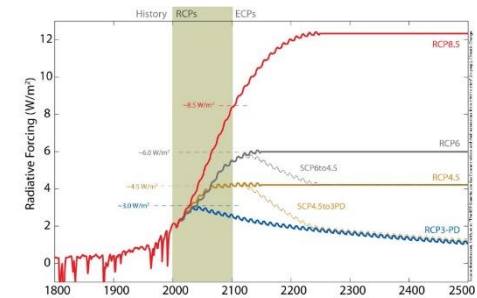
Modelo

- Todos
- ACCESS1-0
- ACCESS1-3
- bcc-csm1-1
- BNU-ESM
- CMCC-CESM
- CMCC-CM
- CMCC-CMS

Escenarios

- Todos
- HISTORICAL
- RCP4.5
- RCP8.5
- RCP6.0

- **Explora los distintos RCPs**, te darán una idea del abanico de posibles futuros, dependiendo de la evolución de la sociedad en términos socioeconómicos, demográficos, políticas de mitigación, etc.
- **Analízalos por separado**, no los promedies. Son caminos muy distintos y así sabrás que parte de la incertidumbre depende de factores sociales.



Proyección regionalización estadística

Proyección regionalización dinámica

### Método

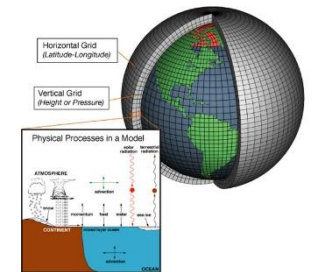
- Todas
- Análogos Estaciones
- Regresión Estaciones
- R. Neuronales Estaciones
- Análogos Rejilla
- Regresión Rejilla
- R. Neuronales Rejilla

### Modelo

- Todos
- ACCESS1-0
- ACCESS1-3
- bcc-csm1-1
- BNU-ESM
- CMCC-CESM
- CMCC-CM
- CMCC-CMS

### Escenarios

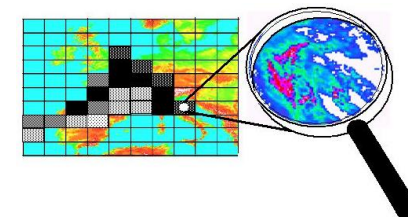
- Todos
- HISTORICAL**
- RCP4.5
- RCP8.5
- RCP6.0



- ¿Cuál es el mejor modelo? Depende de para qué.
- Aunque un modelo sea muy bueno en el presente, podría no serlo en el futuro (la evaluación en presente puede servir para descartar modelos claramente inadecuados, pero no para seleccionar al mejor modelo).
- **Usa un ensemble grande de modelos**, te darán una idea de la incertidumbre en la respuesta del sistema climático ante los forzamientos futuros.



Proyección regionalización estadística	Proyección regionalización dinámica	
Método	Modelo	Escenarios
<ul style="list-style-type: none"> <li>Todas</li> <li>Análogos Estaciones</li> <li>Regresión Estaciones</li> <li>R. Neuronales Estaciones</li> <li>Análogos Rejilla</li> <li>Regresión Rejilla</li> <li>R. Neuronales Rejilla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Todos</li> <li>ACCESS1-0</li> <li>ACCESS1-3</li> <li>bcc-csm1-1</li> <li>BNU-ESM</li> <li>CMCC-CESM</li> <li>CMCC-CM</li> <li>CMCC-CMS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Todos</li> <li><b>HISTORICAL</b></li> <li>RCP4.5</li> <li>RCP8.5</li> <li>RCP6.0</li> </ul>



- Cada familia (dinámica/estadística) tiene sus fortalezas y debilidades.
- Existen trabajos de evaluación de las distintas técnicas que te pueden ayudar: CORDEX (dinámica) y VALUE (estadística).
- Puedes realizar tu propia evaluación, específica para tu propósito.
- Una buena evaluación en presente no garantiza fiabilidad en futuro.
- **Explora las distintas técnicas de regionalización, tendrás una idea más claras de las incertidumbres y la robustez de tus resultados.**



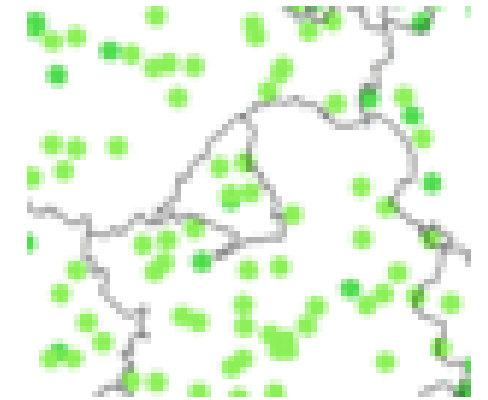
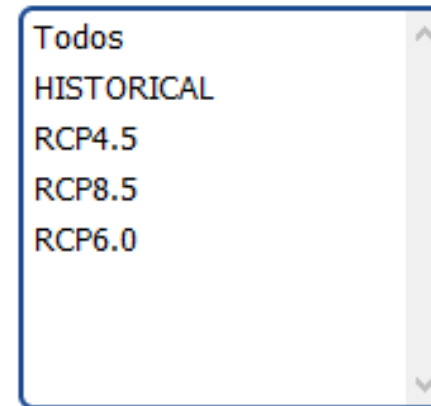
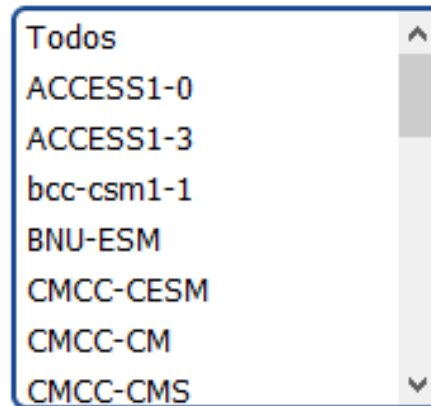
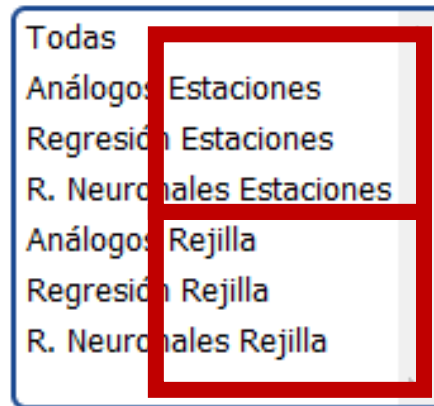
Proyección regionalización estadística

Proyección regionalización dinámica

Método

Modelo

Escenarios



- Las proyecciones en **rejilla** representan un **promedio espacial** del área correspondiente a cada punto de grid, por lo que algunas características aparecerán suavizadas.
- Datos **puntuales** solo existen allí donde hay una **estación de observación**, y solo para técnicas de regionalización **estadística**.





## Resumen:

- No se puede estudiar un año aislado, sino periodos grandes (**30 años**).
- Se deben analizar en **términos estadísticos y probabilistas** (promedios, percentiles, etc.)
- Los datos están afectados por distintas fuentes de **incertidumbre**, por lo que conviene explorar las distintas opciones: RCPs, modelos, técnicas de regionalización...
- Los modelos tienen **sesgos**, conviene corregirlos.

