

**Conferencia sobre adaptación ante los riesgos climáticos en la realidad insular.**

# EL PROYECTO PLANCLIMAC EN CANARIAS.

## UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

**Juan C. Pérez Darías**

**Juan P. Díaz González**



PLANCLIMAC

**Interreg**  
Fondo Europeo de Desarrollo Regional



**MAC 2014-2020**  
Cooperación Territorial





## Universidad de La Laguna (ULL)

- Grupo de Recursos de Suelos y Aguas

**Actividad 2.1.3.** Efecto del cambio climático en la **desertificación**. Análisis de las causas y procesos generadores de este fenómeno.

- Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera (**GOTA**)

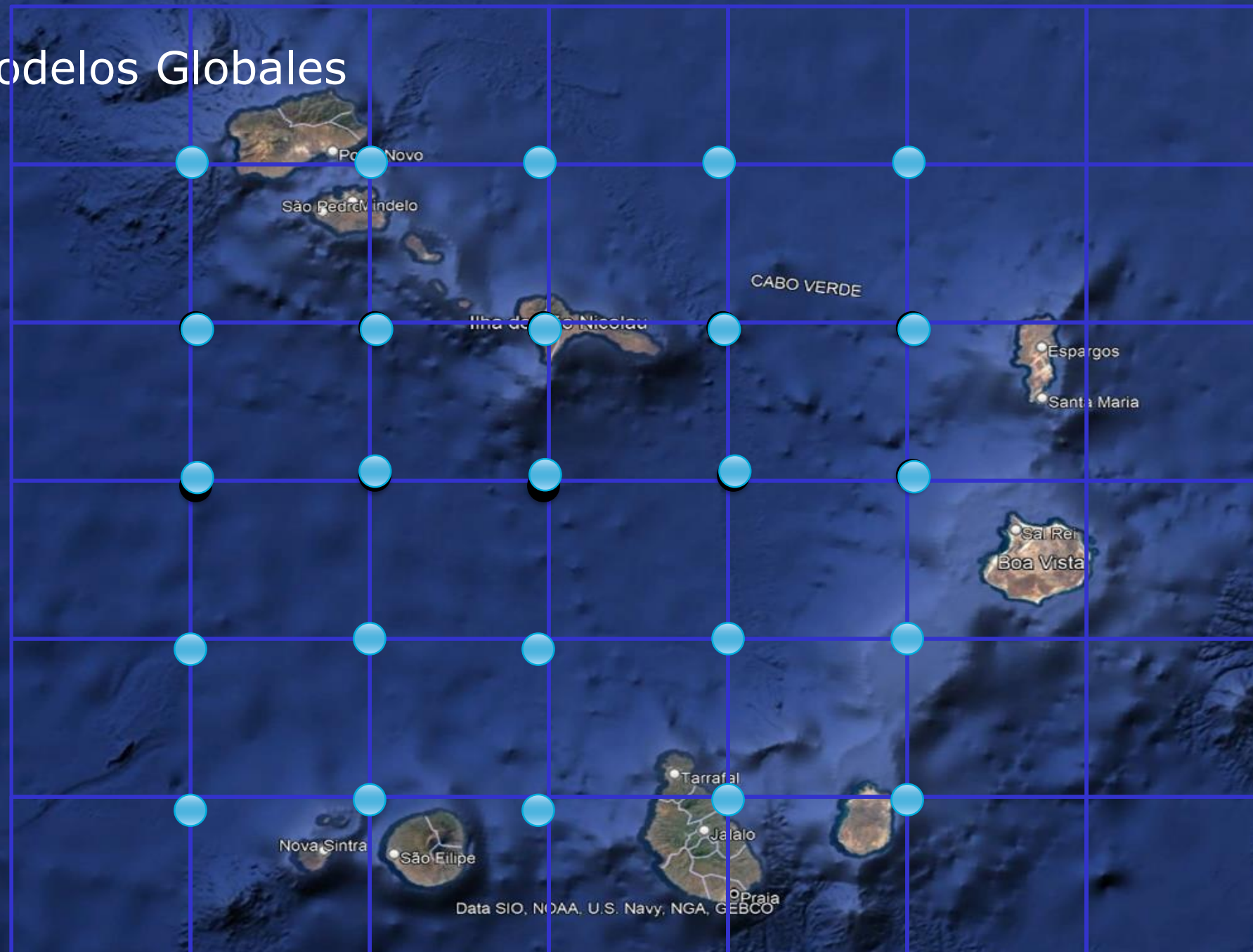
**Actividad 2.2.1.** Configuración del modelo WRF en cada una de las regiones de interés y obtención de **proyecciones climáticas a lo largo del siglo XXI** haciendo uso de las condiciones climáticas de Canarias.

## Instituto Tecnológico de Energías Renovables (ITER)

**Actividad 2.2.1.** Configuración del modelo WRF en cada una de las regiones de interés y obtención de **proyecciones climáticas a lo largo del siglo XXI** haciendo uso de las condiciones climáticas de Canarias.

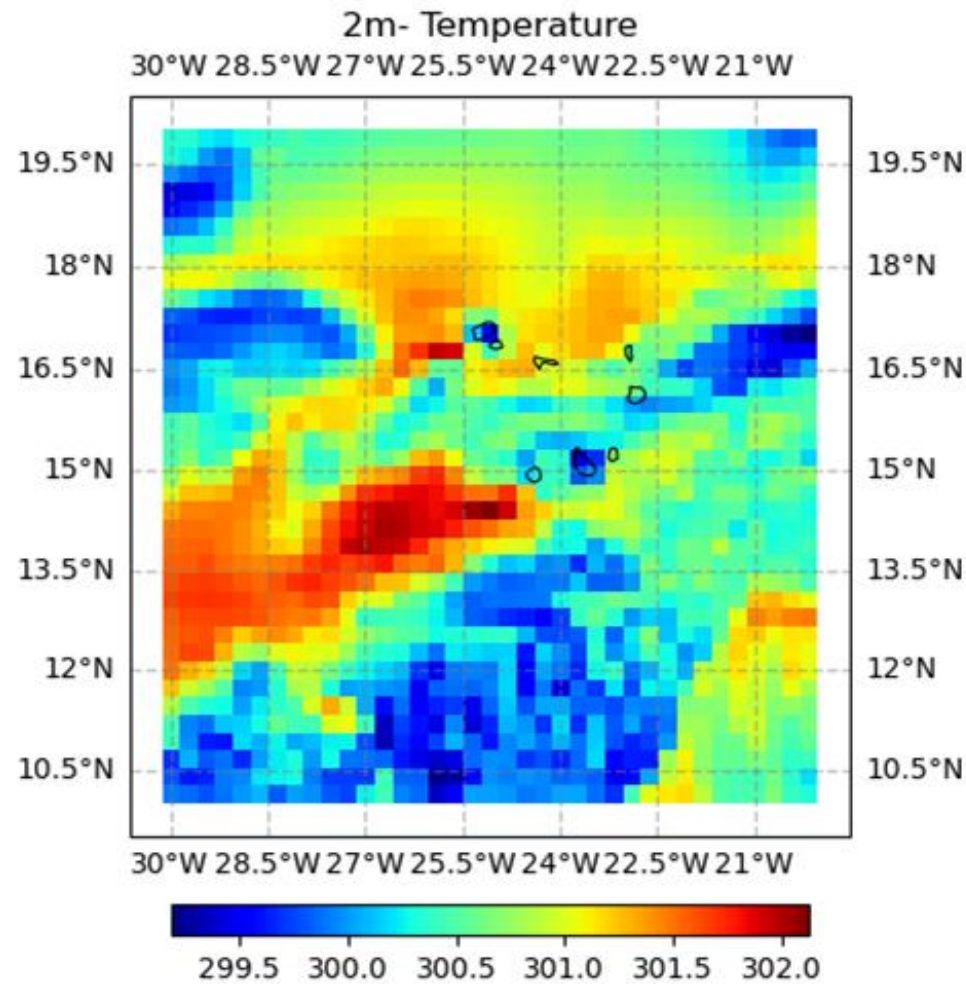


# Modelos Globales





## Cape Verde 2m Temp.

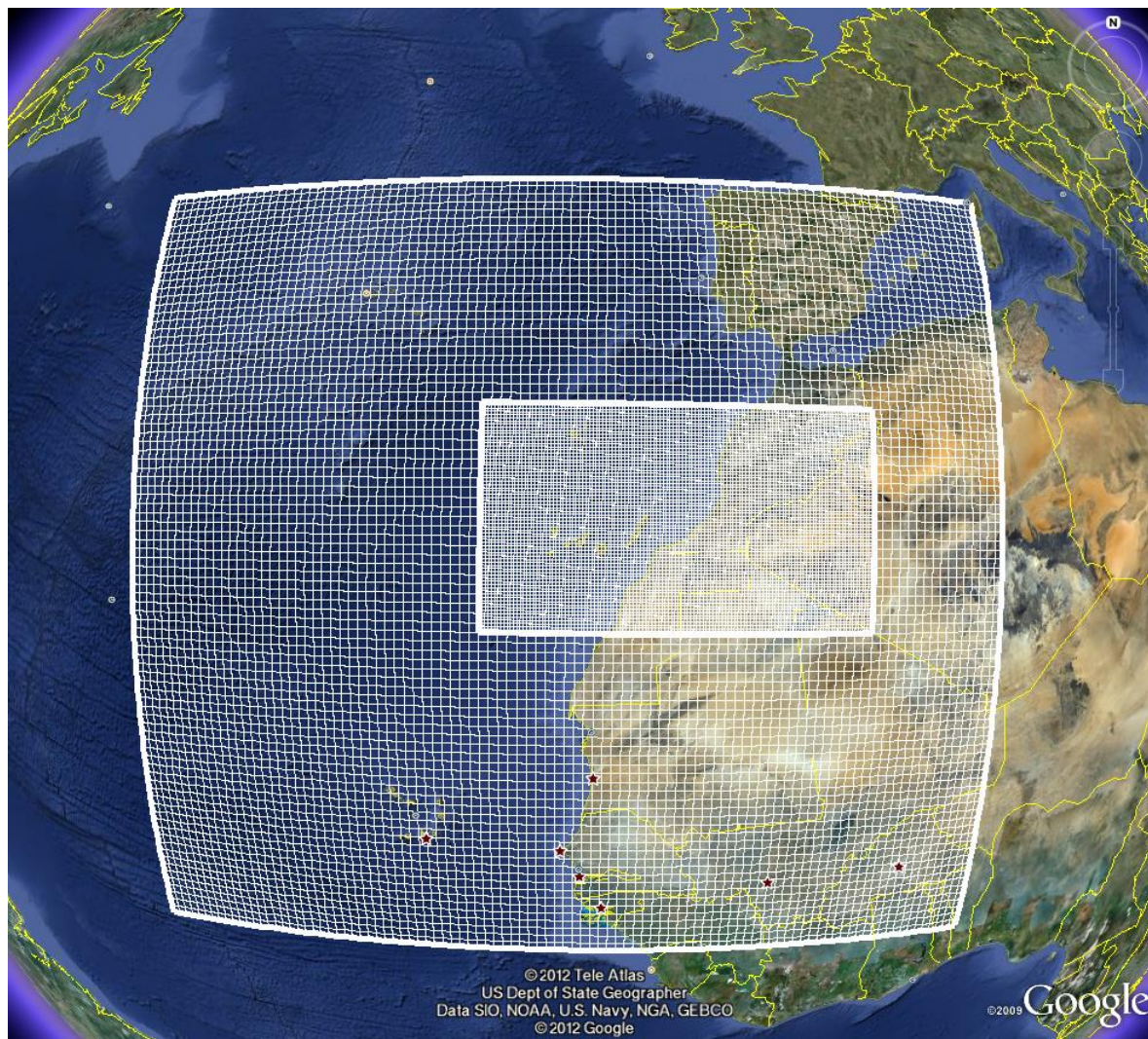
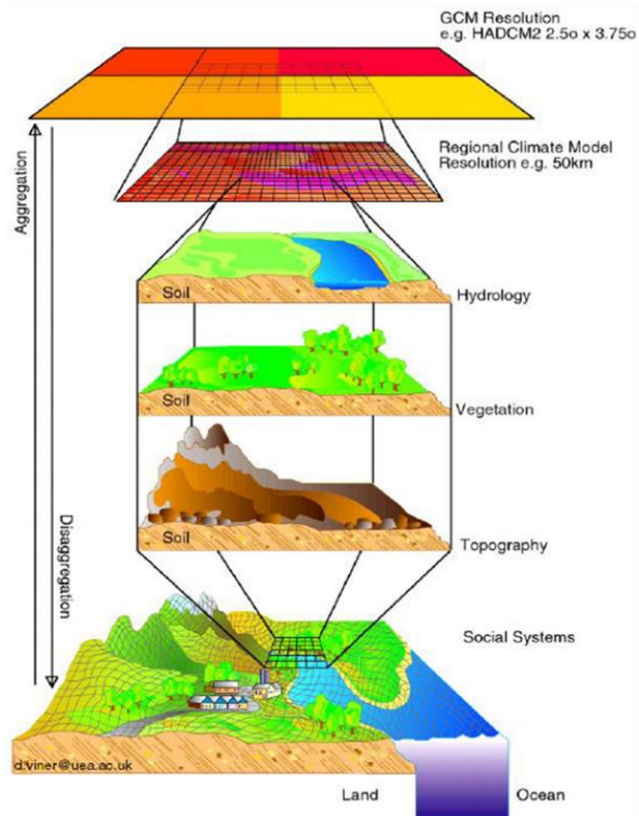




# Modelos Regionais



Departamento de Física  
Universidad de La Laguna





Domínios PLANCLIMAC

## Domain setup



Departamento de Física  
Universidad de La Laguna



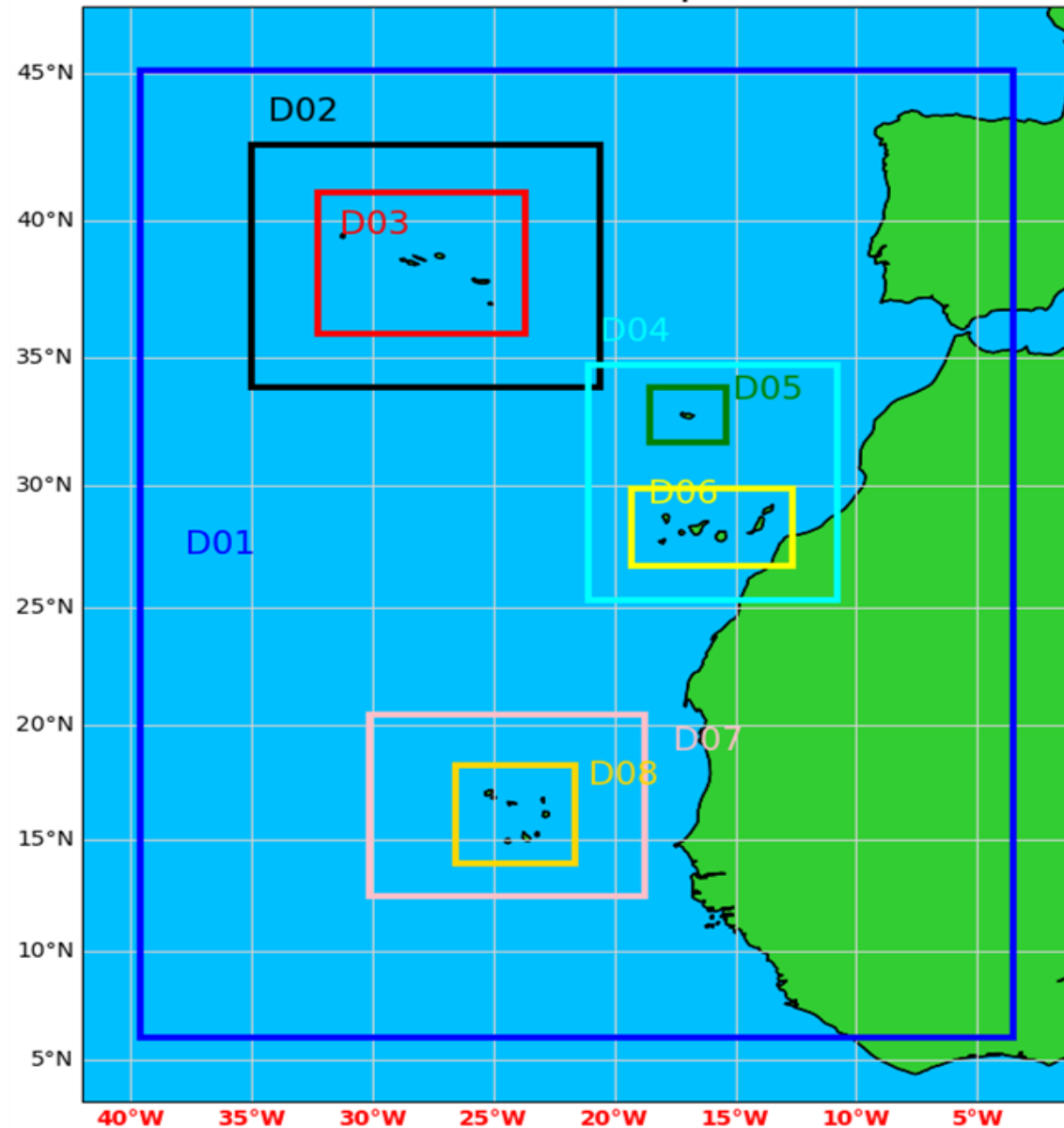
Interreg  
Fondo Europeo de Desarrollo Regional



MAC 2014-2020  
Cooperación Territorial



WRF nested domain setup (PLANCLIMAC)

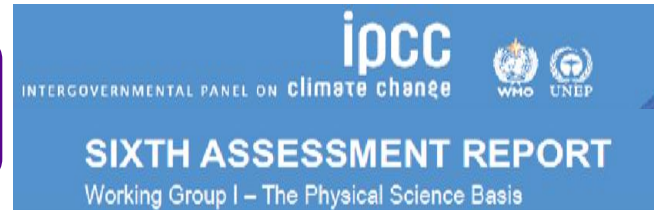




# Escenarios de futuro

## Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)

### Escenarios de cambio climático



**Table 2**

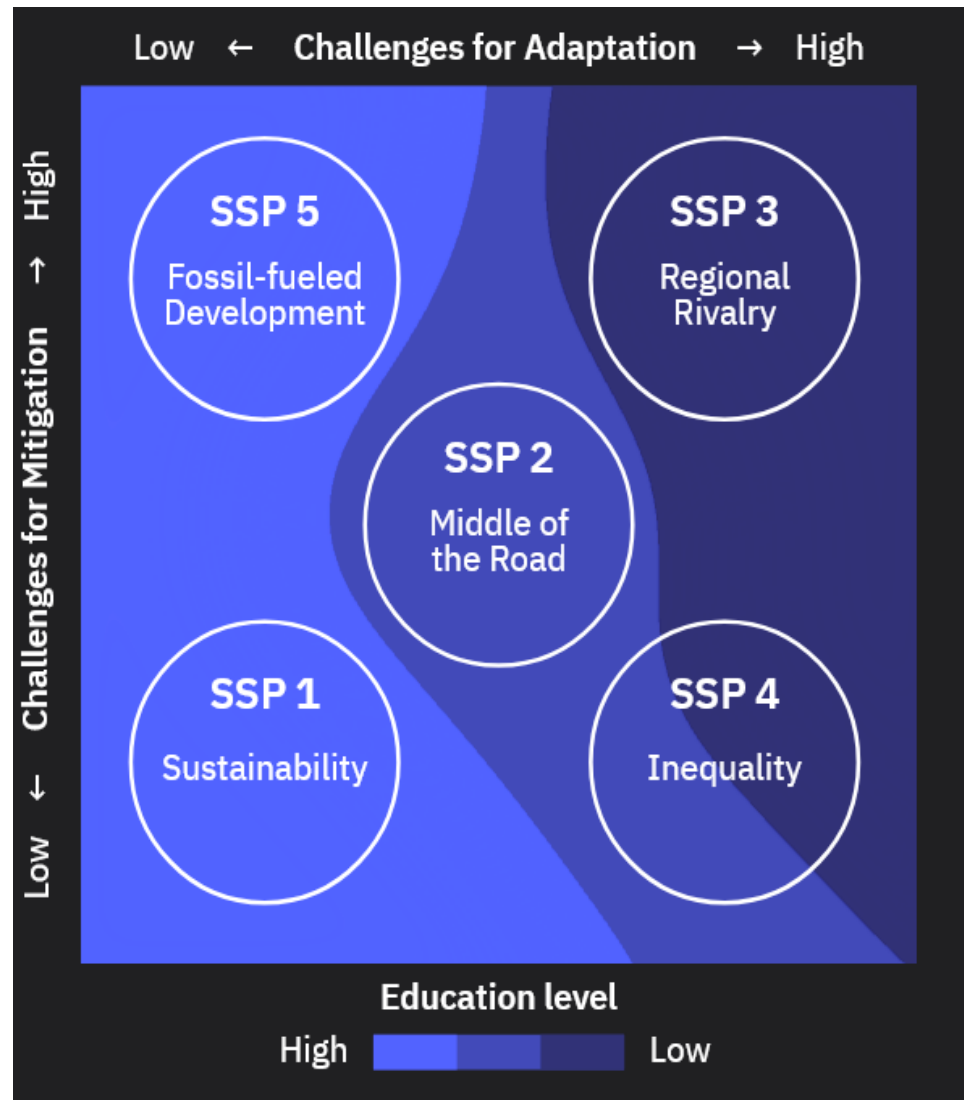
Summary of assumptions regarding Economy & Lifestyle and Policies & Institutions elements of SSPs. Country groupings referred to in table entries are based on the World Bank definition of low-income (LIC), medium-income (MIC) and high-income (HIC) countries.

| SSP element                        | SSP1                                                                             | SSP2                                                                     | SSP3                                                                     | SSP4                                                                                            | SSP5                                                                                                |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Economy &amp; lifestyle</b>     |                                                                                  |                                                                          |                                                                          |                                                                                                 |                                                                                                     |
| Growth (per capita)                | High in LICs, MICs; medium in HICs                                               | Medium, uneven                                                           | Slow                                                                     | Low in LICs, medium in other countries                                                          | High                                                                                                |
| Inequality                         | Reduced across and within countries                                              | Uneven moderate reductions across and within countries                   | High, especially across countries                                        | High, especially within countries                                                               | Strongly reduced, especially across countries                                                       |
| International trade                | Moderate                                                                         | Moderate                                                                 | Strongly constrained                                                     | Moderate                                                                                        | High, with regional specialization in production                                                    |
| Globalization                      | Connected markets, regional production                                           | Semi-open globalized economy                                             | De-globalizing, regional security                                        | Globally connected elites                                                                       | Strongly globalized, increasingly connected                                                         |
| Consumption & Diet                 | Low growth in material consumption, low-meat diets, first in HICs                | Material-intensive consumption, medium meat consumption                  | Material-intensive consumption                                           | Elites: high consumption lifestyles; Rest: low consumption, low mobility                        | Materialism, status consumption, tourism, mobility, meat-rich diets                                 |
| <b>Policies &amp; institutions</b> |                                                                                  |                                                                          |                                                                          |                                                                                                 |                                                                                                     |
| International Cooperation          | Effective                                                                        | Relatively weak                                                          | Weak, uneven                                                             | Effective for globally connected economy, not for vulnerable populations                        | Effective in pursuit of development goals, more limited for envt. goals                             |
| Environmental Policy               | Improved management of local and global issues; tighter regulation of pollutants | Concern for local pollutants but only moderate success in implementation | Low priority for environmental issues                                    | Focus on local environment in MICs, HICs; little attention to vulnerable areas or global issues | Focus on local environment with obvious benefits to well-being, little concern with global problems |
| Policy orientation                 | Toward sustainable development                                                   | Weak focus on sustainability                                             | Oriented toward security                                                 | Toward the benefit of the political and business elite                                          | Toward development, free markets, human capital                                                     |
| Institutions                       | Effective at national and international levels                                   | Uneven, modest effectiveness                                             | Weak global institutions/ natl. govts. dominate societal decision-making | Effective for political and business elite, not for rest of society                             | Increasingly effective, oriented toward fostering competitive markets                               |





## Escenarios SSP

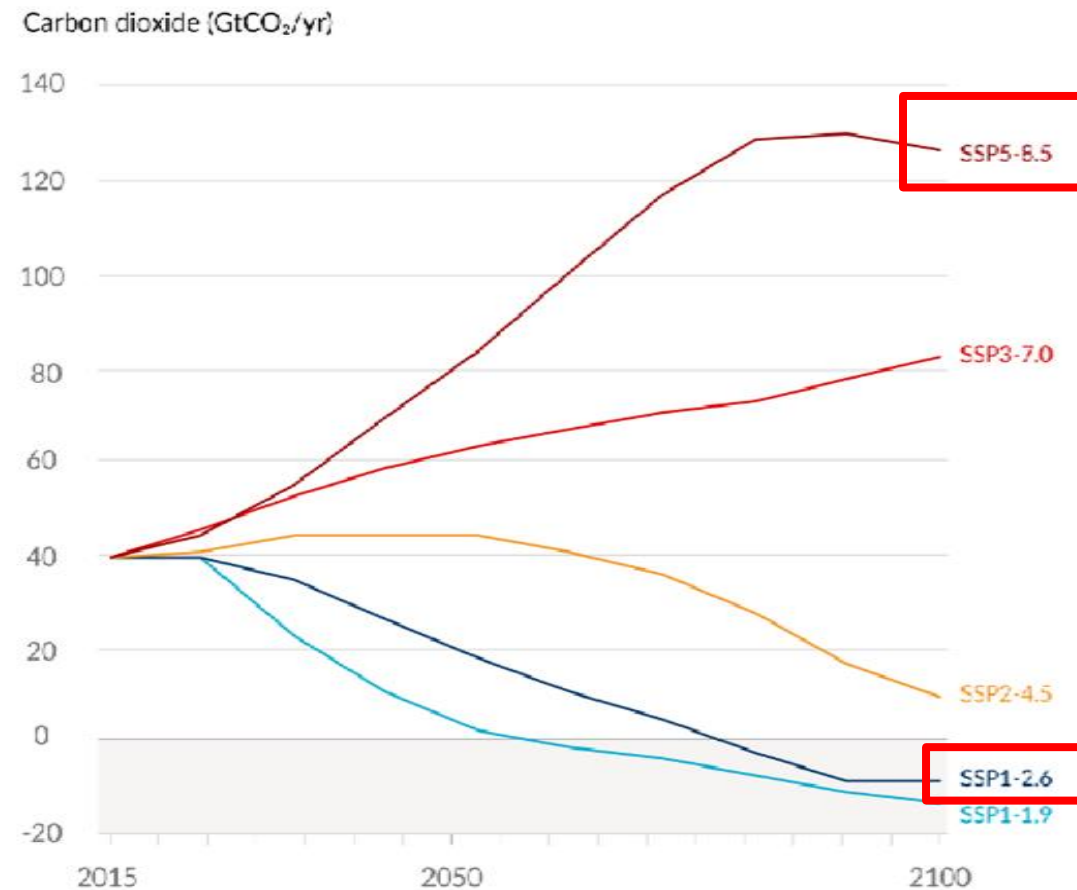




## Escenarios SSP

**Future emissions cause future additional warming, with total warming dominated by past and future CO<sub>2</sub> emissions**

*Figure SPM.4*

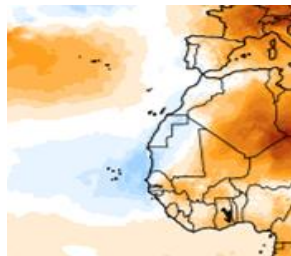




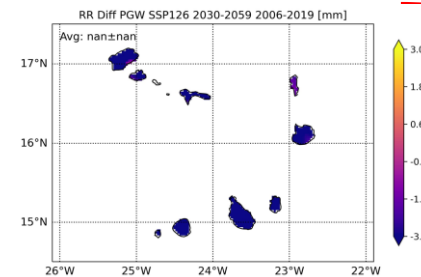
# Modelos Regionales

Pasado reciente

ERA5



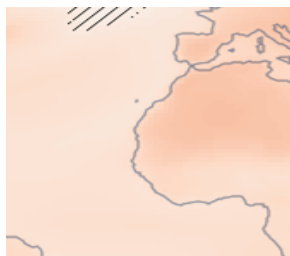
WRF



**SEÑAL DE  
CAMBIO  
CLIMÁTICO**

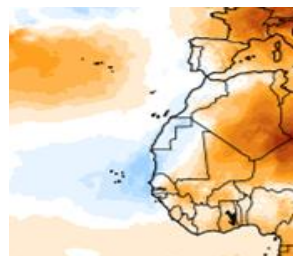
FUTURO  
(Escenarios SSP)

CMIP6 cambio  
promedio mensual

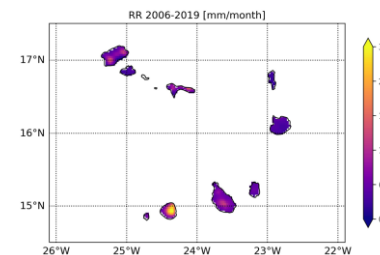


+

ERA5



WRF





Azores

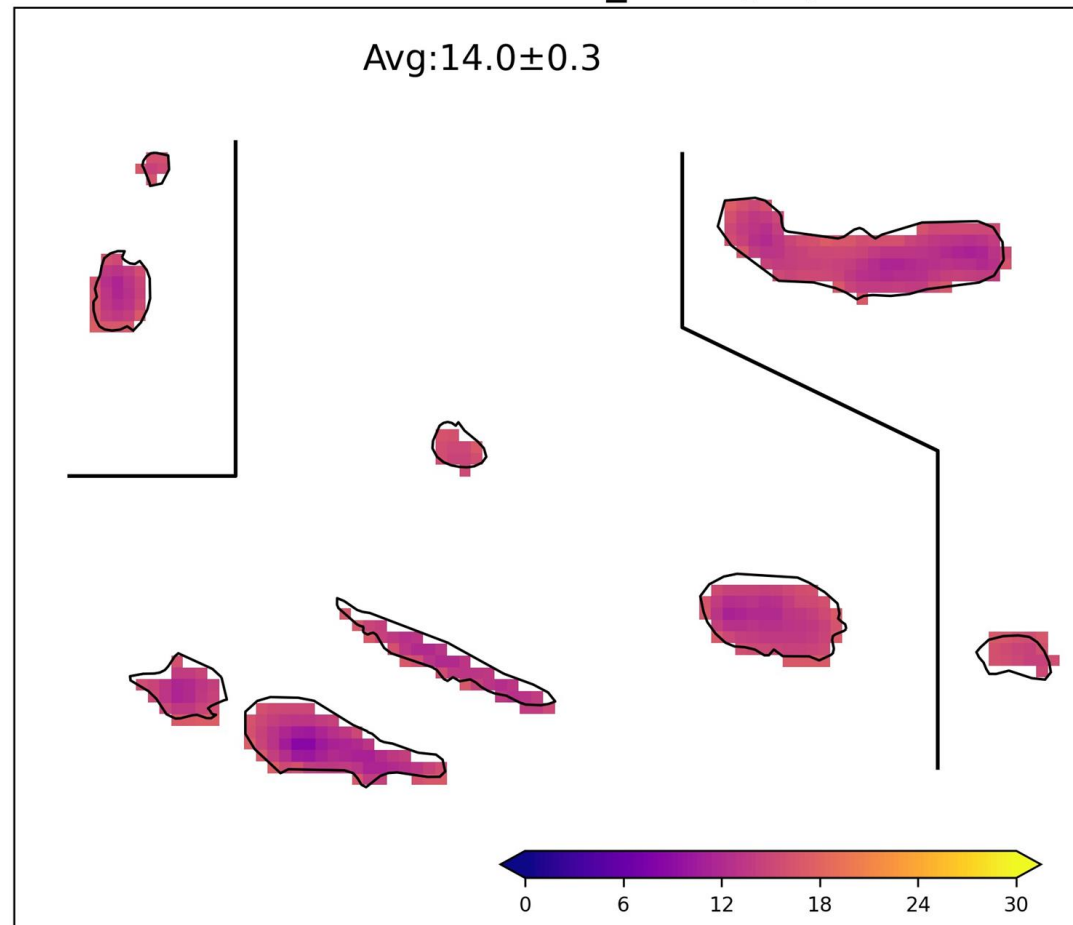


Departamento de Física  
Universidade de La Laguna



Azores TG 1982\_2019 [°C]

Avg:  $14.0 \pm 0.3$



Interreg  
Fondo Europeo de Desarrollo Regional



MAC 2014-2020  
Cooperación Territorial





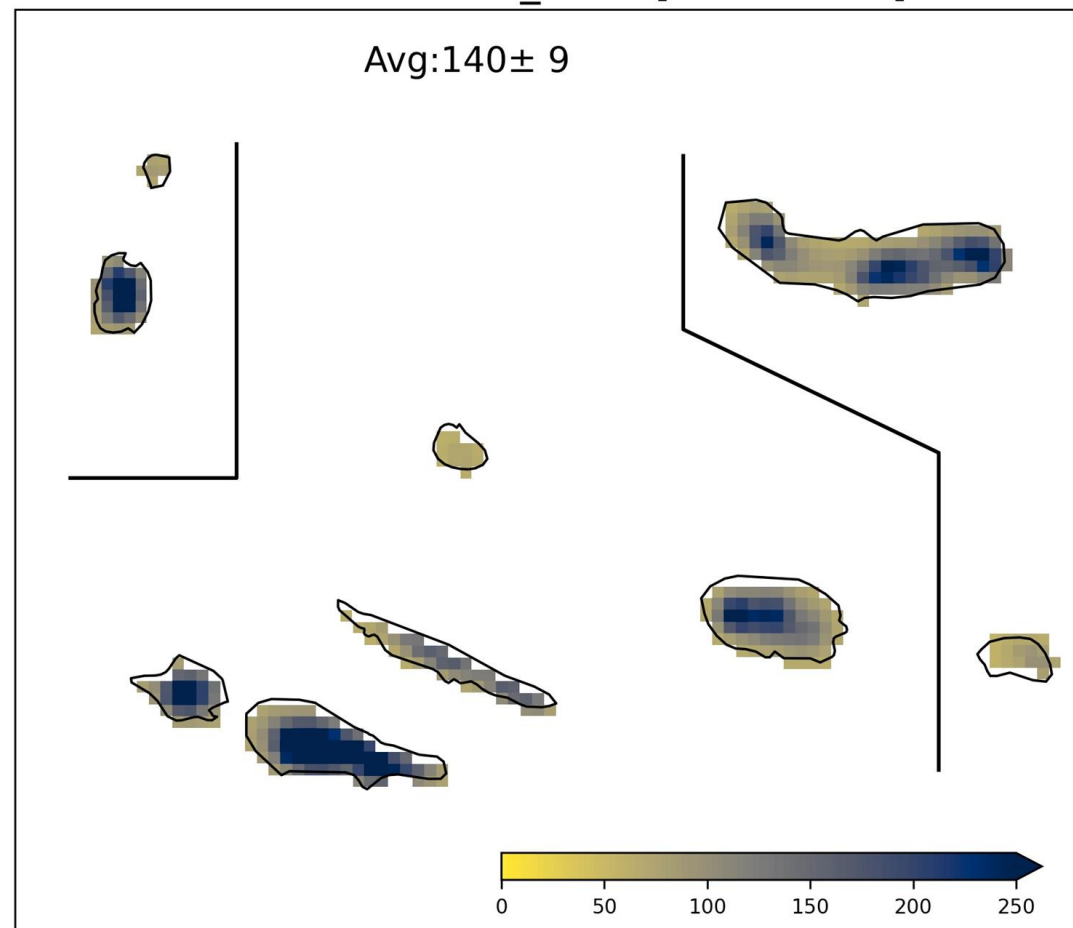
# Azores



Departamento de Física  
Universidad de La Laguna



Azores RR 1982\_2019 [mm/month]



Interreg  
Fondo Europeo de Desarrollo Regional



MAC 2014-2020  
Cooperación Territorial





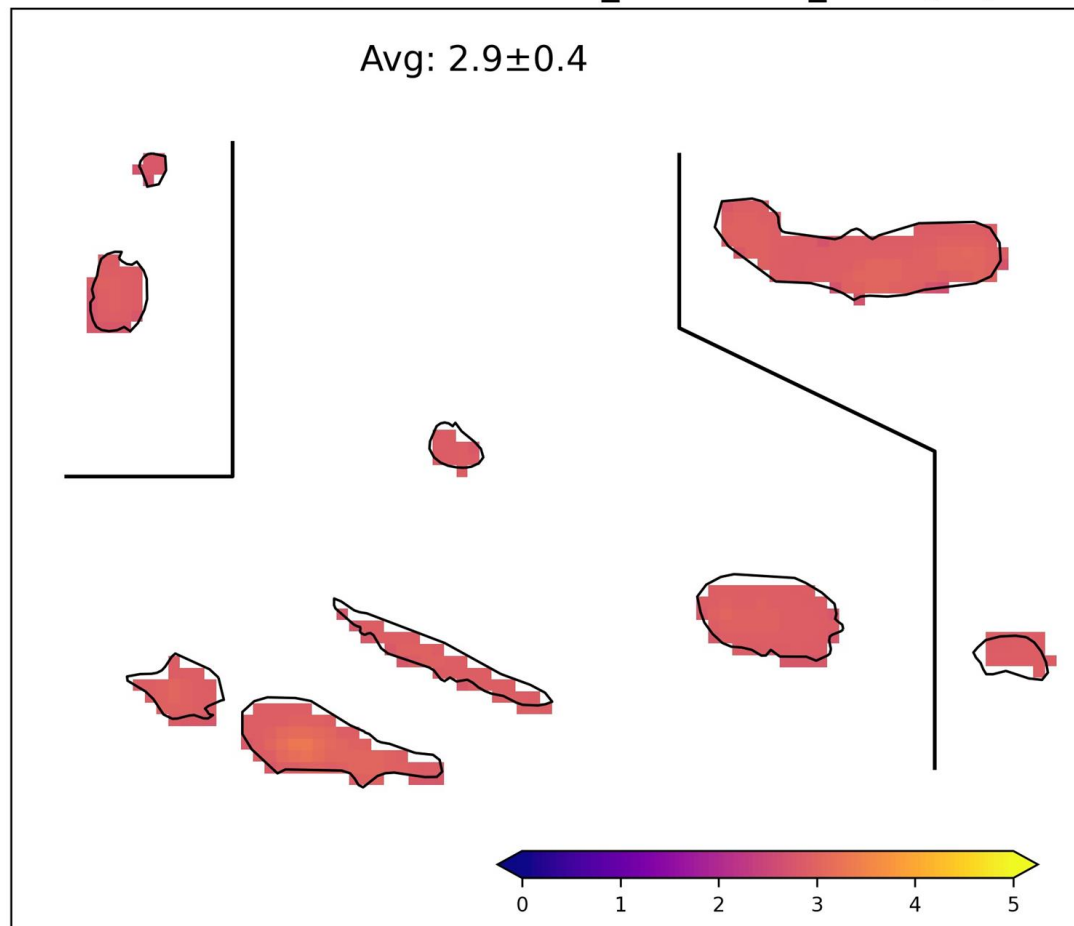
# Azores



Departamento de Física  
Universidade de La Laguna



Azores TG Diff SSP585 2070\_2099 1982\_2019 [°C]





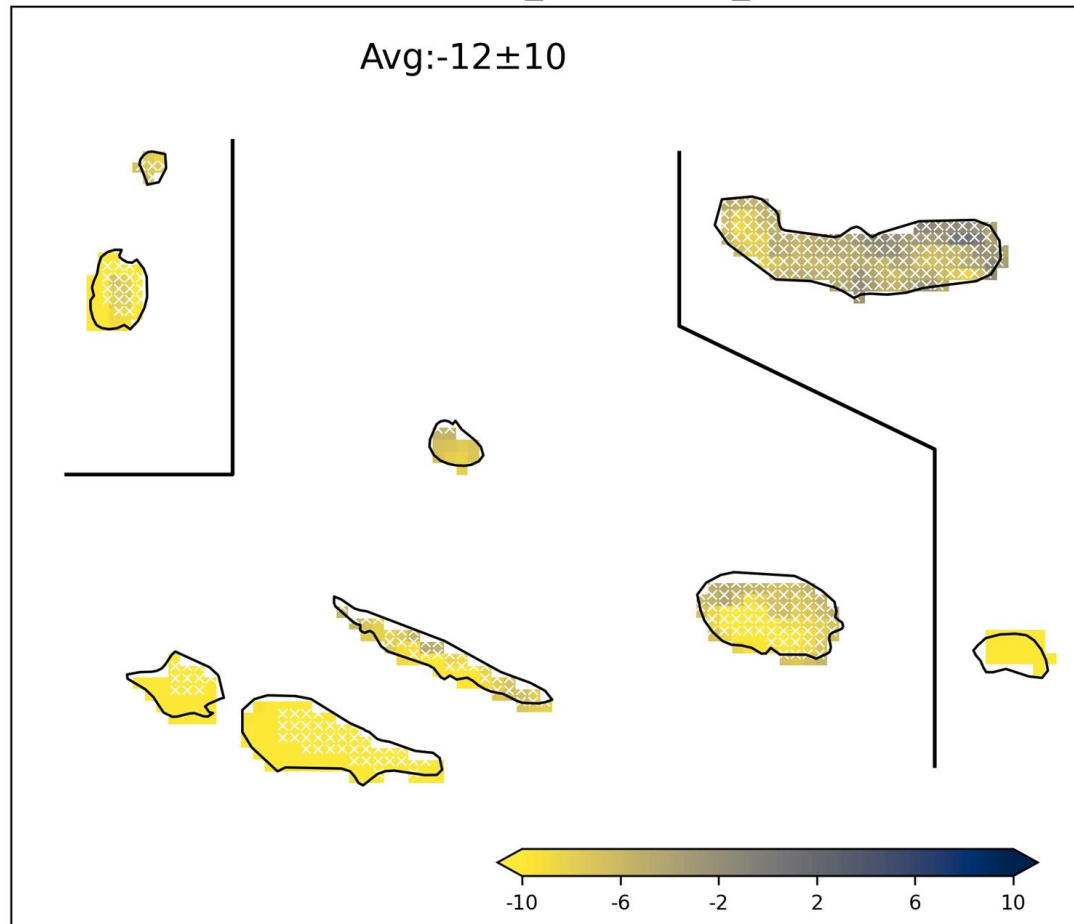
Azores



Departamento de Física  
Universidad de La Laguna



Azores RR Diff SSP585 2070\_2099 1982\_2019 [mm/month]





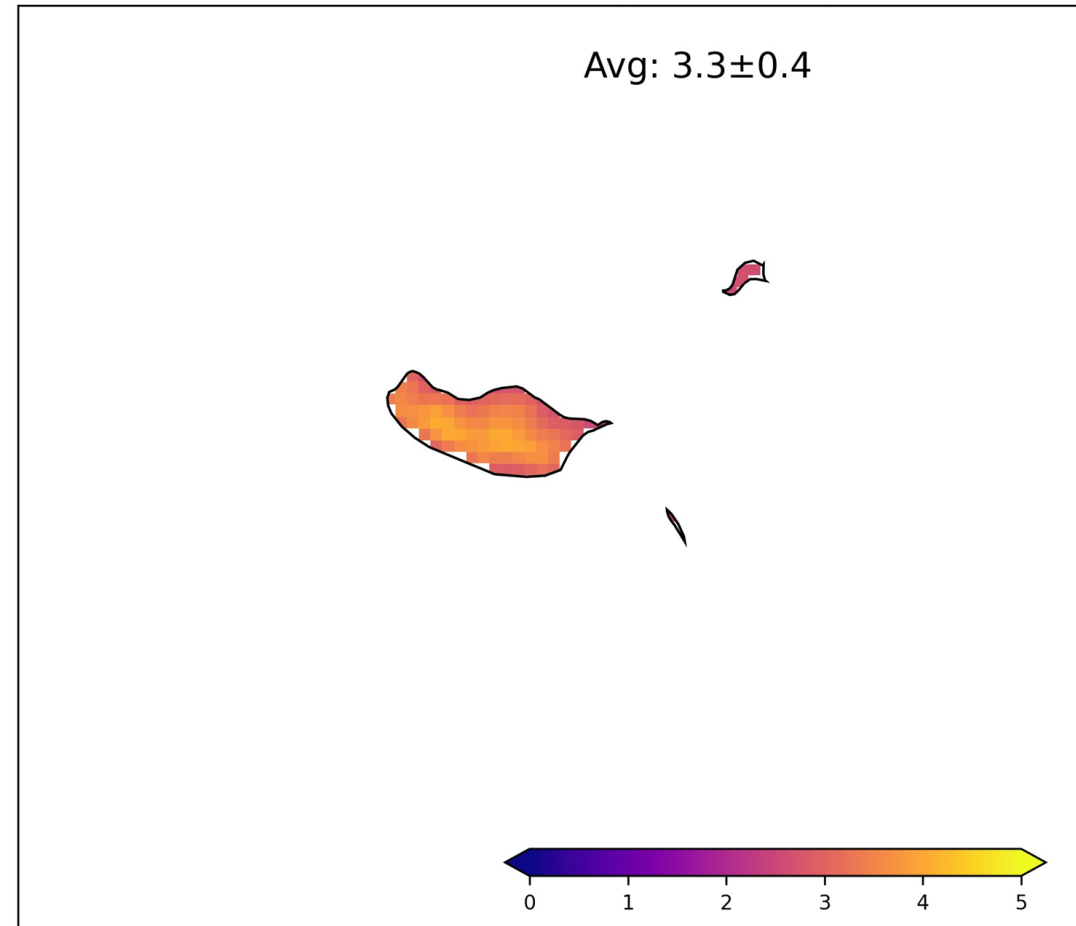
Madeira



Departamento de Física  
Universidade de La Laguna



Madeira TG Diff SSP585 2070\_2099 1982\_2019 [°C]



Interreg  
Fondo Europeo de Desarrollo Regional



MAC 2014-2020  
Cooperación Territorial





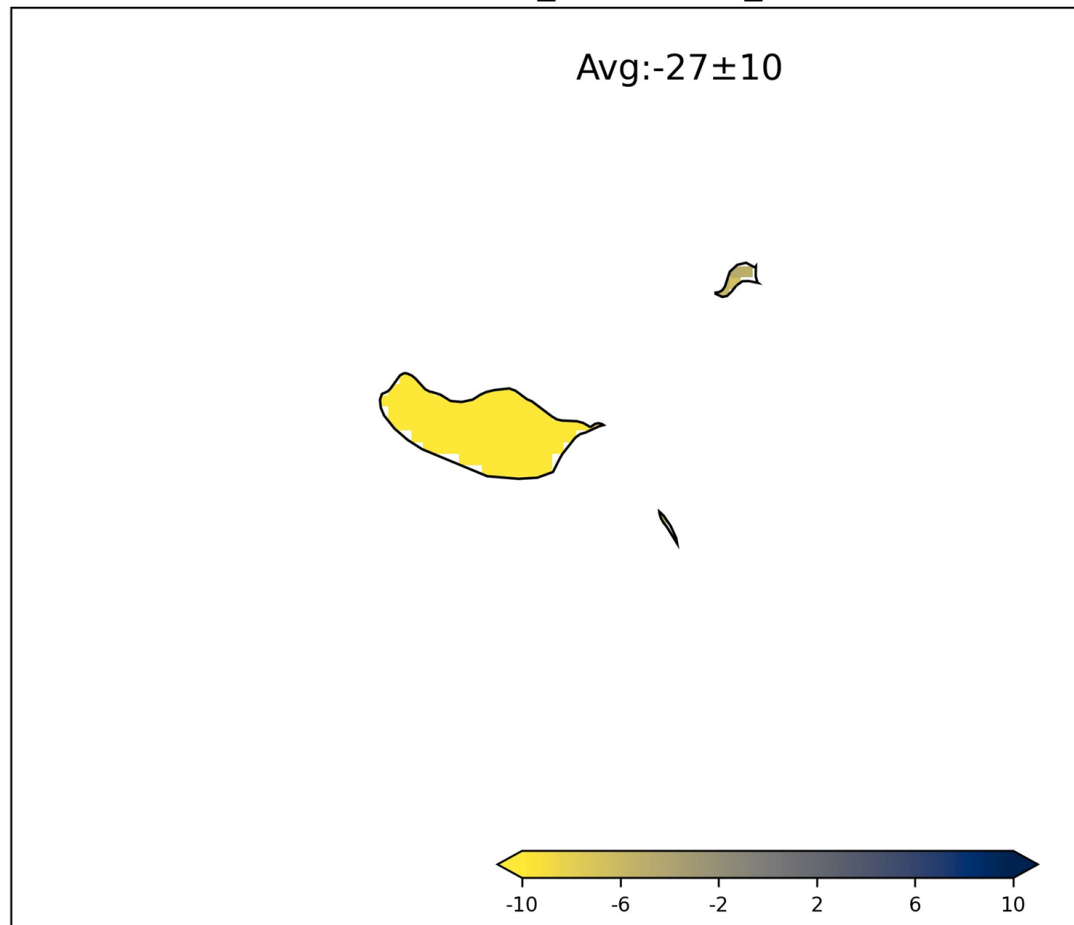
Madeira



Departamento de Física  
Universidade de La Laguna



Madeira RR Diff SSP585 2070\_2099 1982\_2019 [mm/month]





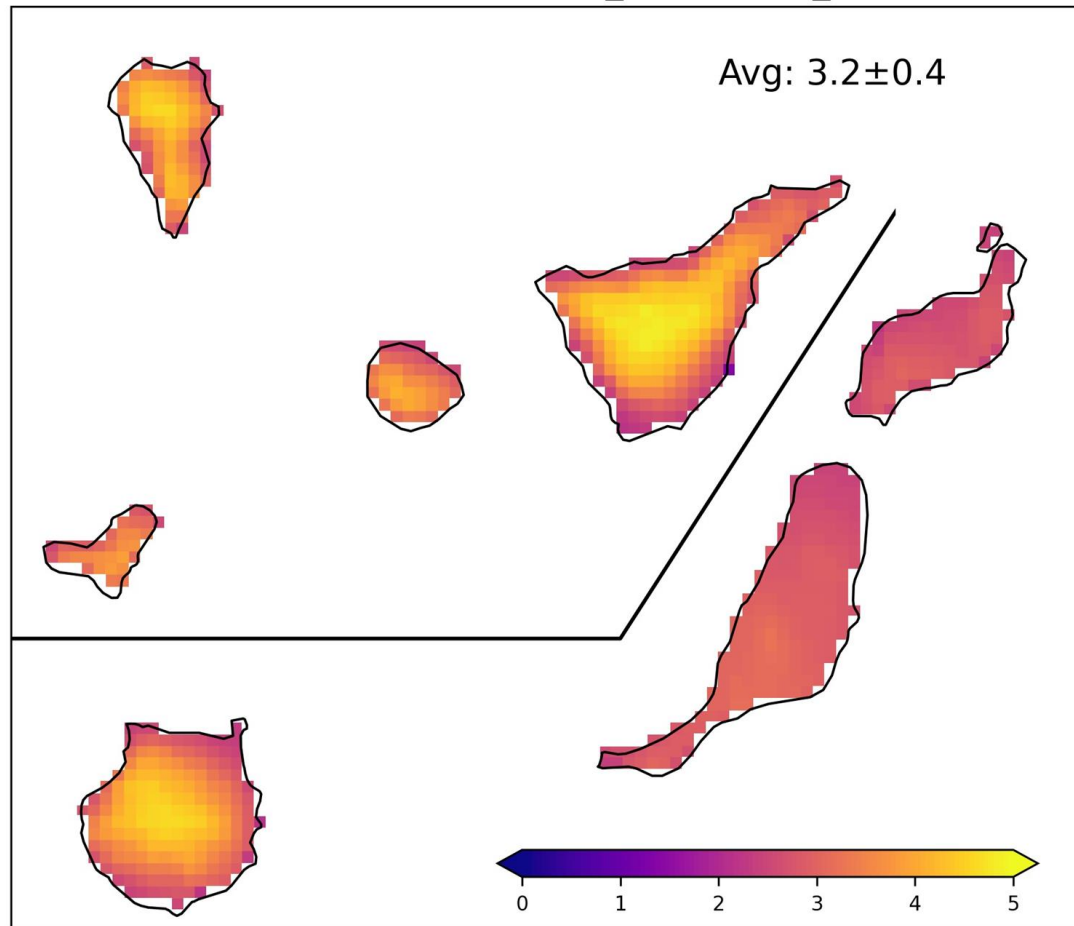
Canarias



Departamento de Física  
Universidad de La Laguna



Canary TG Diff SSP585 2070\_2099 1982\_2019 [°C]



Interreg  
Fondo Europeo de Desarrollo Regional



MAC 2014-2020  
Cooperación Territorial





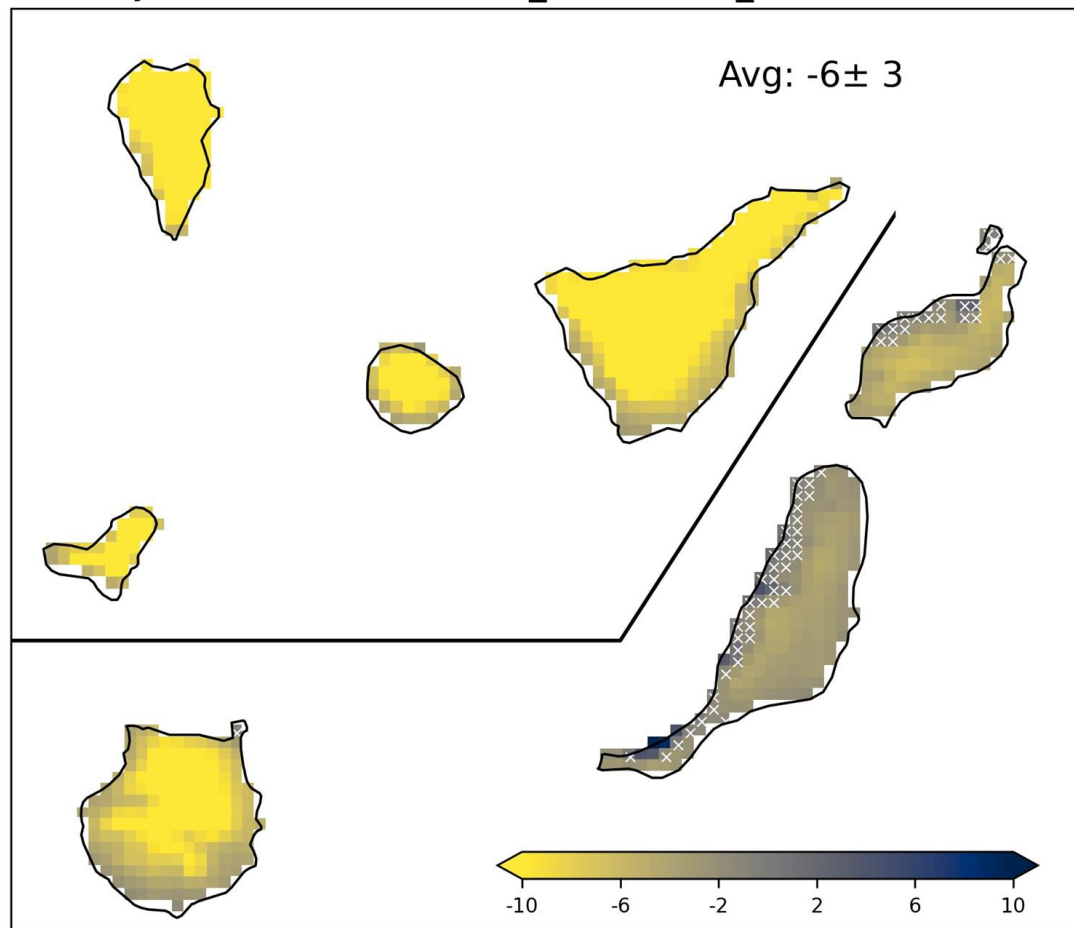
# Canarias



Departamento de Física  
Universidad de La Laguna



Canary RR Diff SSP585 2070\_2099 1982\_2019 [mm/month]





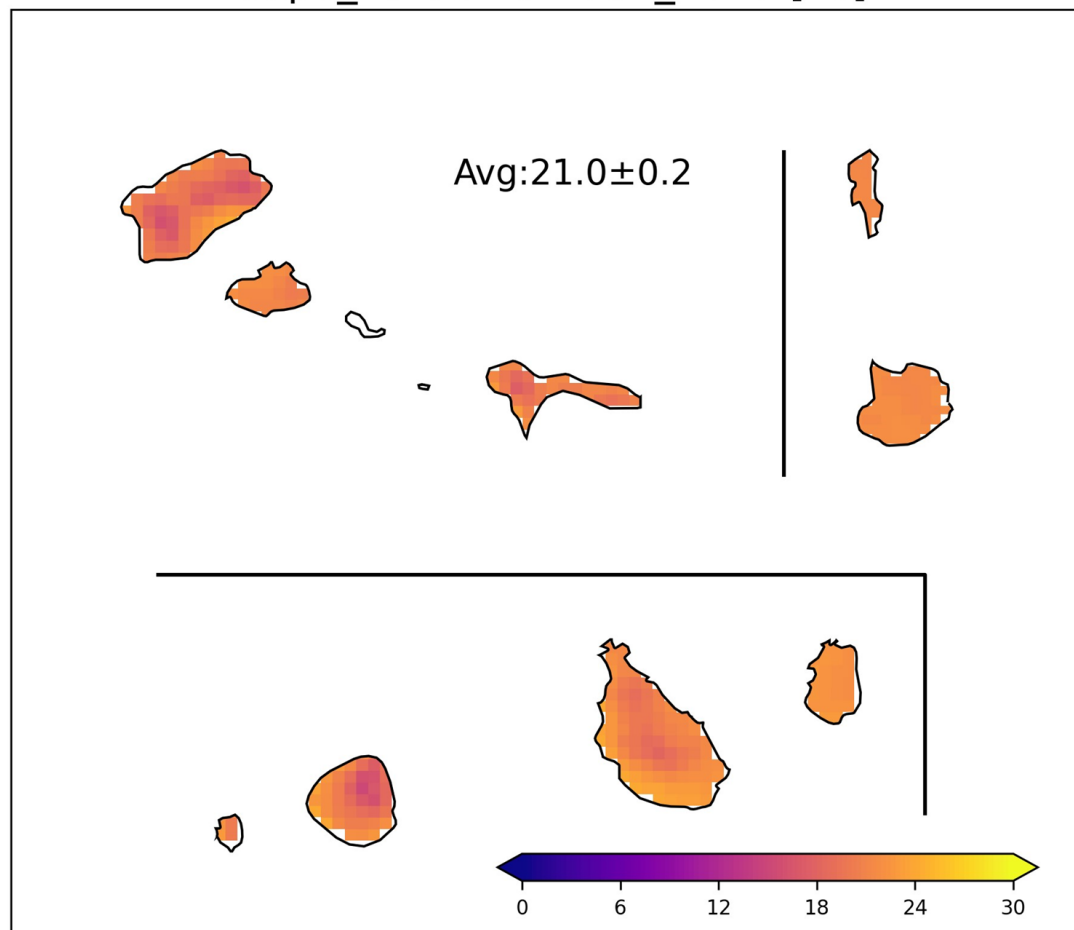
Cabo Verde



Departamento de Física  
Universidad de La Laguna



Cape\_Verde TG 1982\_2019 [°C]





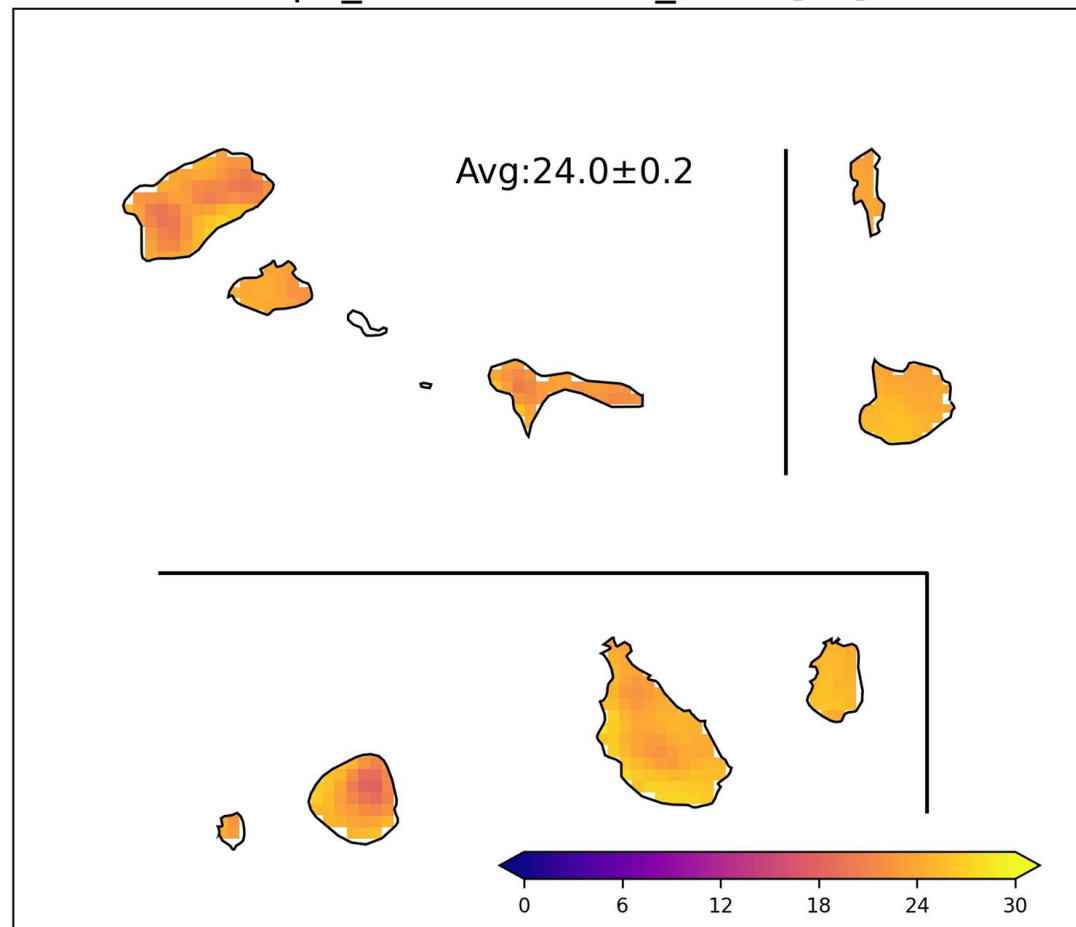
# Cabo Verde



Departamento de Física  
Universidad de La Laguna



Cape\_Verde TX 1982\_2019 [°C]





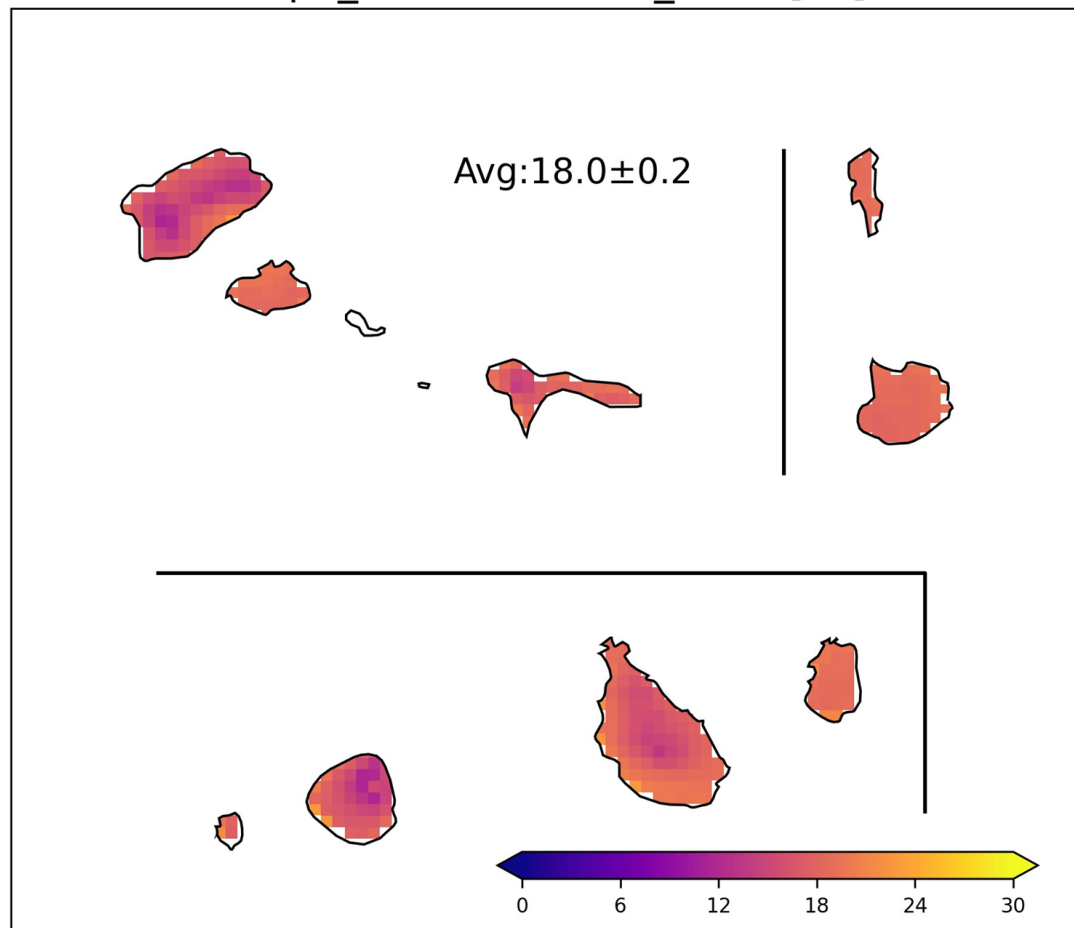
Cabo Verde



Departamento de Física  
Universidad de La Laguna



Cape\_Verde TN 1982\_2019 [°C]





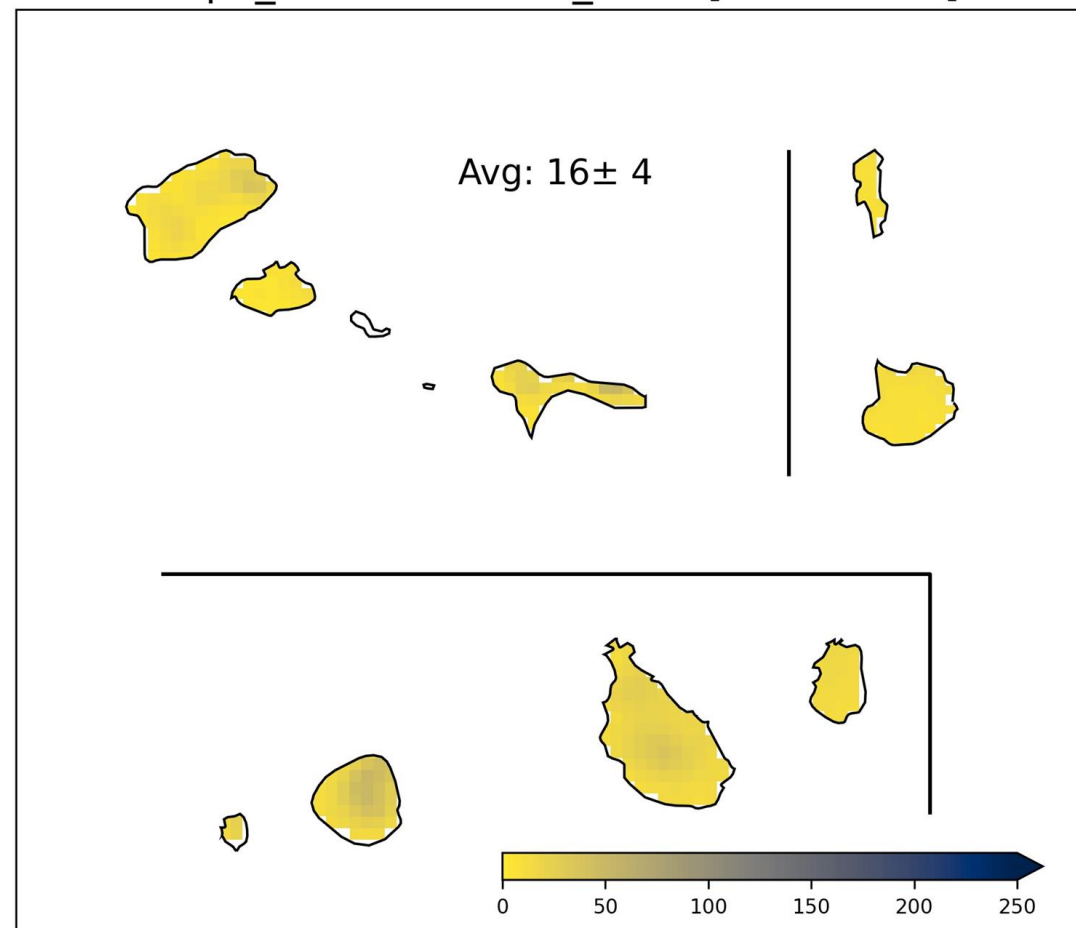
# Cabo Verde



Departamento de Física  
Universidad de La Laguna



Cape\_Verde RR 1982\_2019 [mm/month]





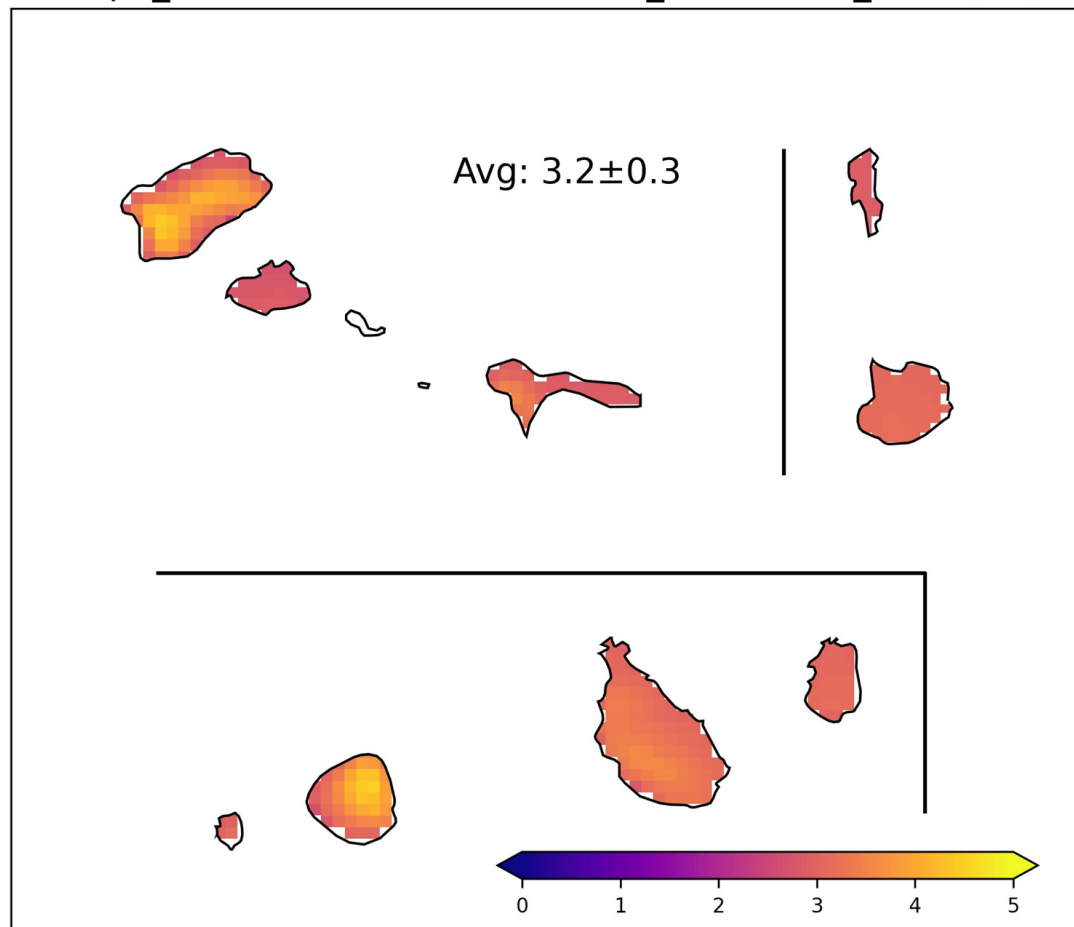
# Cabo Verde



Departamento de Física  
Universidad de La Laguna



Cape\_Verde TG Diff SSP585 2070\_2099 1982\_2019 [°C]





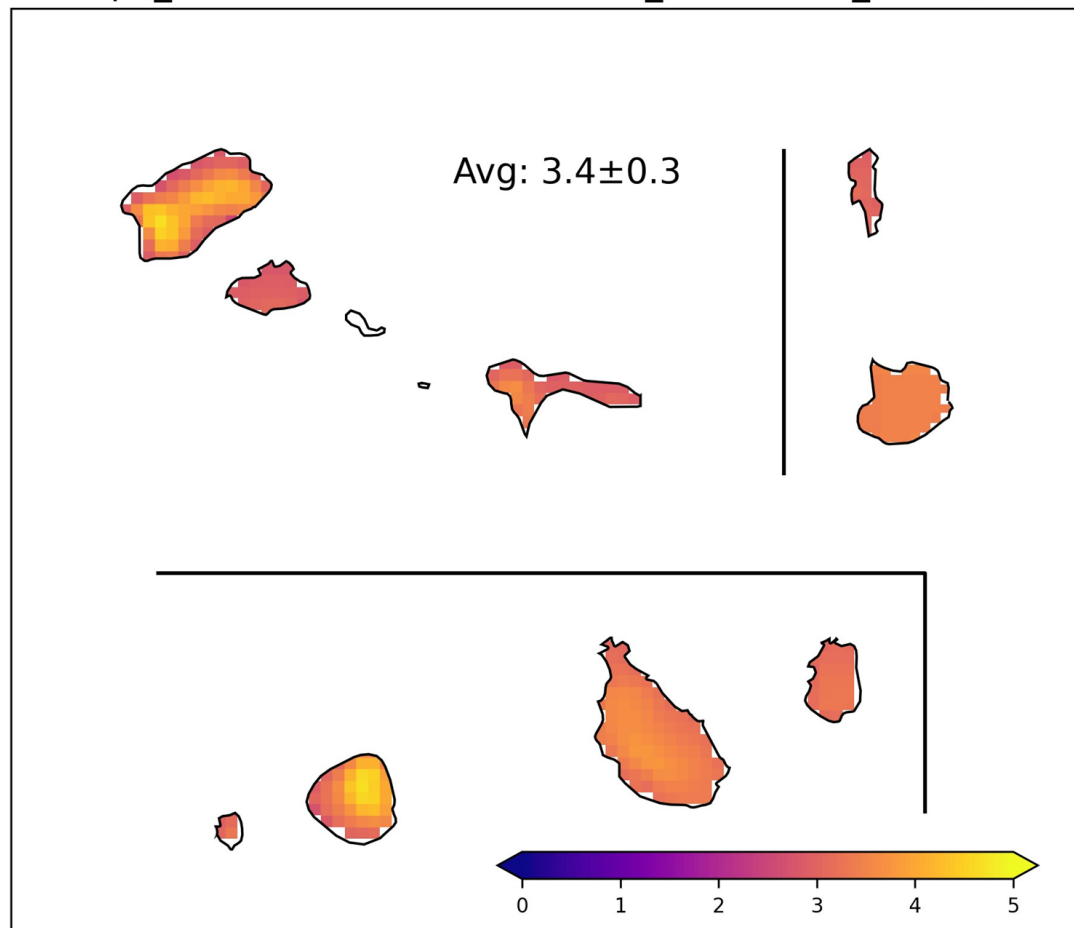
# Cabo Verde



Departamento de Física  
Universidad de La Laguna



Cape\_Verde TX Diff SSP585 2070\_2099 1982\_2019 [°C]





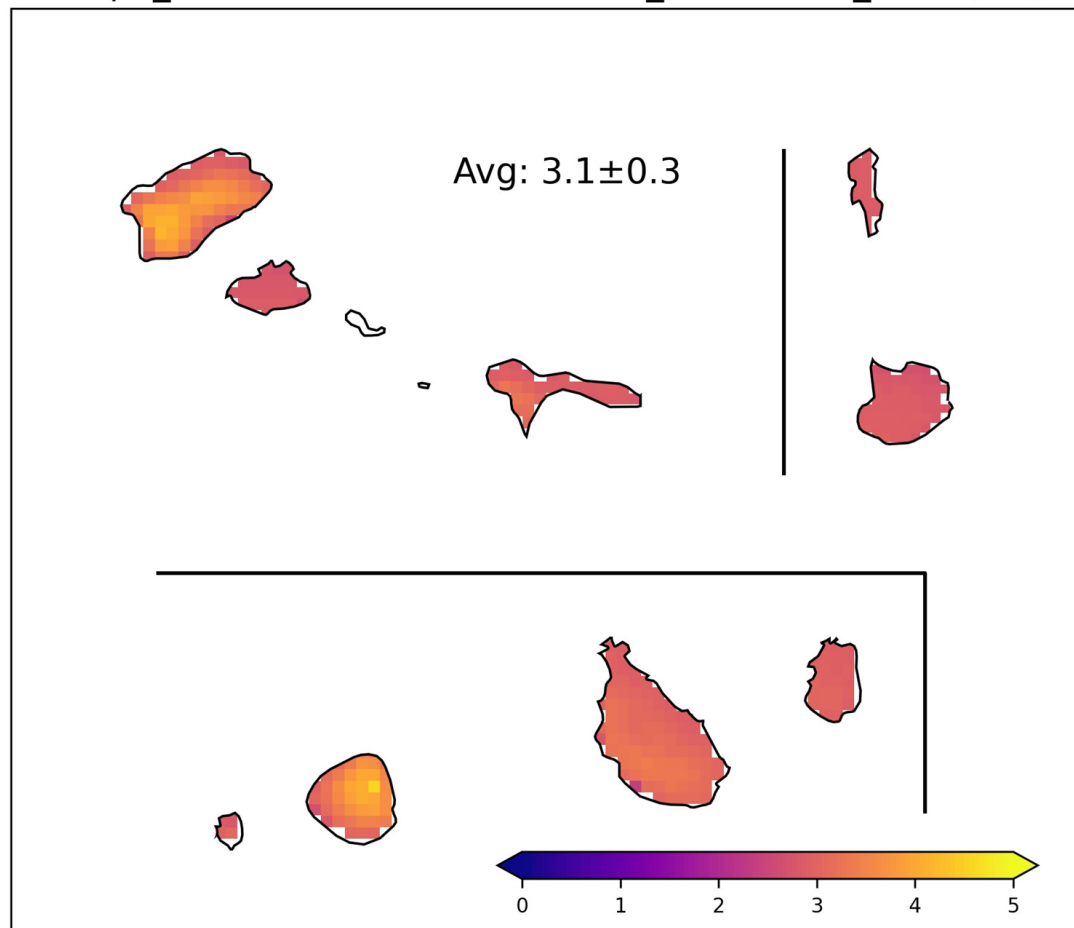
# Cabo Verde



Departamento de Física  
Universidad de La Laguna



Cape\_Verde TN Diff SSP585 2070\_2099 1982\_2019 [°C]





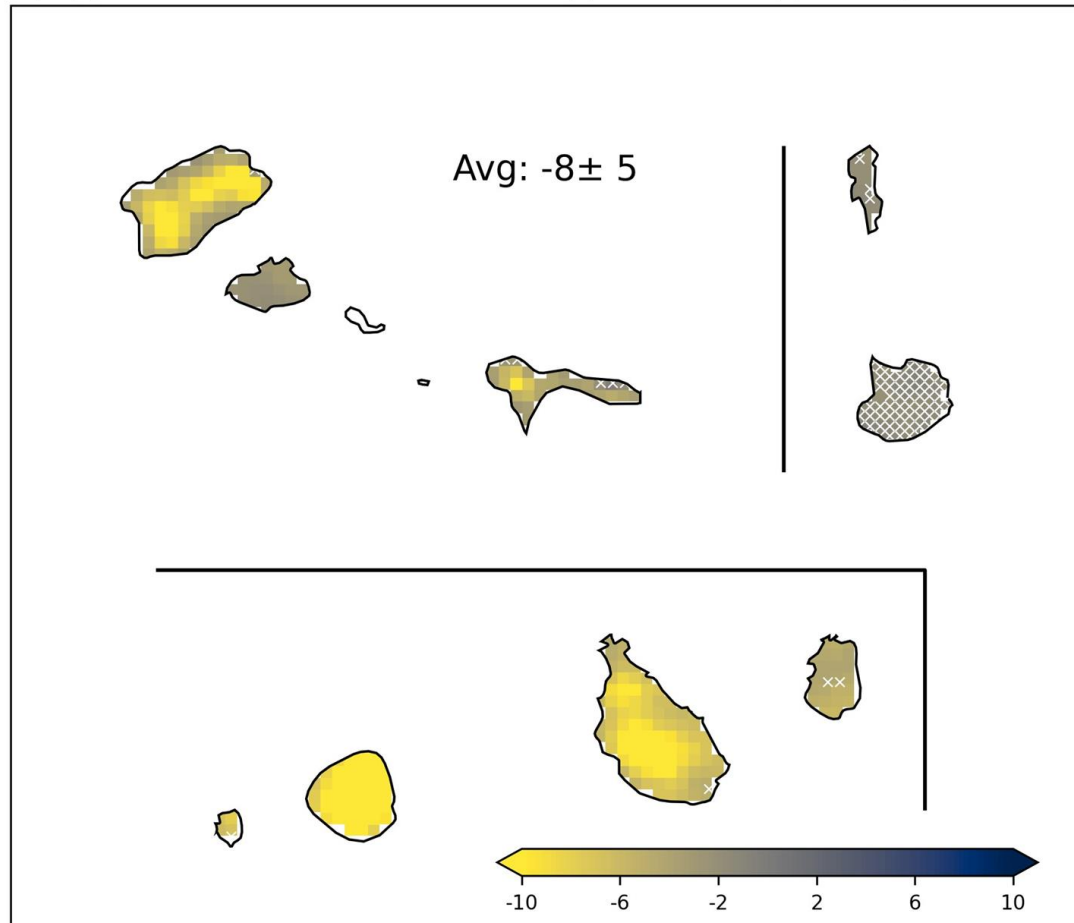
# Cabo Verde



Departamento de Física  
Universidad de La Laguna



Cape\_Verde RR Diff SSP585 2070\_2099 1982\_2019 [mm/month]





## Visión general del proceso de regionalización

- Análisis
- Predicciones
- Reanálisis
- Proyecciones



- Frecuencia: 6 horas
- Resolución espacial: Decenas o centenas de kilómetros

### Modelos Globales

### Selección y descarga de entradas

- Selección de los modelos globales
  - Periodos de interés
  - Escenarios de interés
  - Variables de interés
  - Frecuencia adecuada
- 17 modelos de diferentes instituciones internacionales
- Gran volumen de información



## Visión general del proceso de regionalización

- Análisis
- Predicciones
- Reanálisis
- Proyecciones



- Frecuencia: 6 horas
- Resolución espacial: Decenas o centenas de kilómetros

**Modelos Globales**



**Preprocesamiento**

### Preprocesamiento

- Selección de los datos para la resolución de interés
  - Adaptación de los niveles verticales
  - Remapeo de los diferentes modelos a un grid común
  - Cálculo de la señal de cambio para cada una de las variables
  - **17 modelos de diferentes** instituciones internacionales
- Preprocesamiento de los datos históricos
  - Sustitución de la SST por los datos NOAA
- Cálculo de la señal **Pseudo Global Warming**



## Visión general del proceso de regionalización

- Análisis
- Predicciones
- Reanálisis
- Proyecciones



- Frecuencia: 6 horas
- Resolución espacial: Decenas o centenas de kilómetros

**Modelos Globales**



**Preprocesamiento**



**Regionalización  
(downscaling)**

### Regionalización.

- Regionalización para el periodo histórico
  - 1982 - 2019
- Regionalización escenario más favorable (SSP126)
  - 2030 - 2059
  - 2070 - 2099
- Regionalización escenario más desfavorable (SSP585)
  - 2030 - 2059
  - 2070 - 2099



## Visión general del proceso de regionalización

- Análisis
- Predicciones
- Reanálisis
- Proyecciones



- Frecuencia: 6 horas
- Resolución espacial: Decenas o centenas de kilómetros

**Modelos Globales**



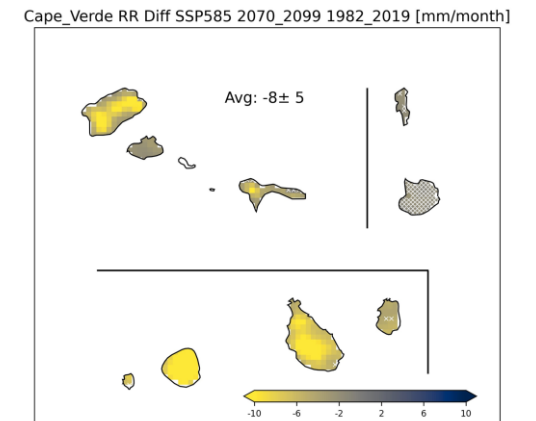
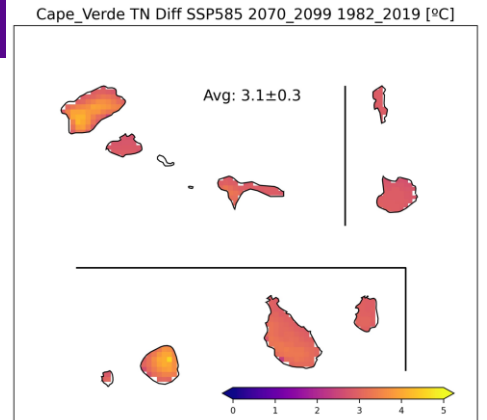
**Preprocesamiento**



**Regionalización  
(downscaling)**



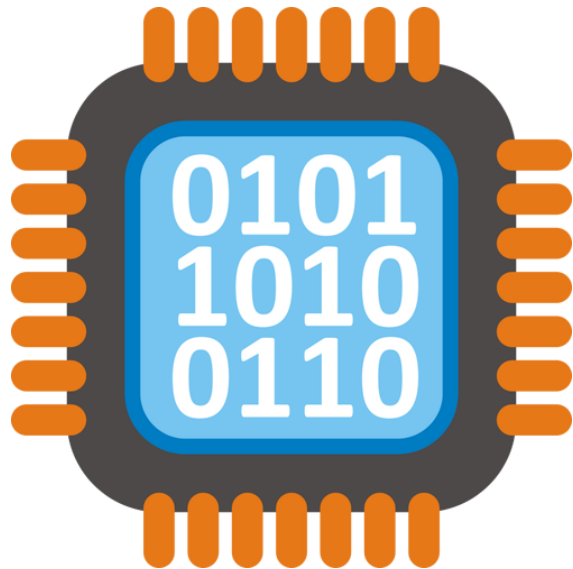
**Post Procesamiento**





**Cada una de las fases descritas requieren:**

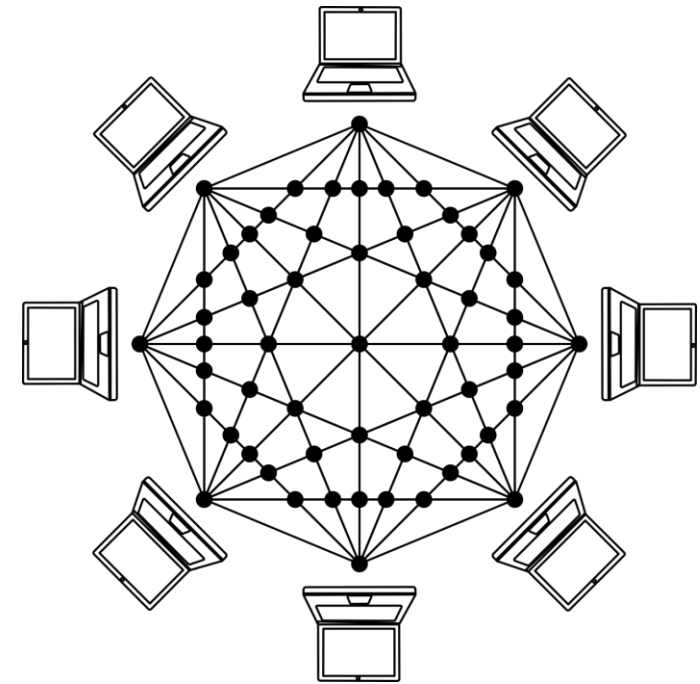
**Cómputo**



**Almacenamiento**



**Comunicaciones**





## Algunos números: Cómputo

Objetivo: Resolver numéricamente las ecuaciones físicas que gobiernan el sistema Tierra - Océano - Atmósfera

### The Primitive Equations

$$\frac{du}{dt} - \left( f + \frac{u \tan \phi}{a} \right) v + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + F_x = 0$$

$$\frac{dv}{dt} + \left( f + \frac{u \tan \phi}{a} \right) u + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + F_y = 0$$

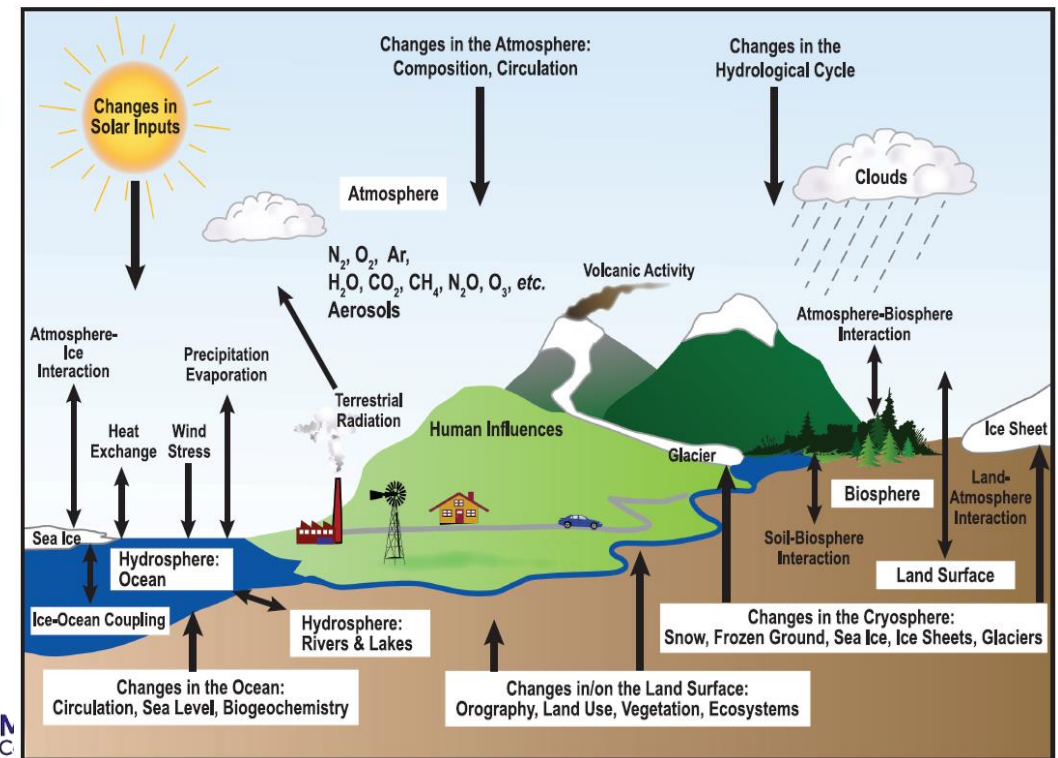
$$p = R \rho T$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} + g \rho = 0$$

$$\frac{dT}{dt} + (\gamma - 1) T \nabla \cdot \mathbf{V} = \frac{Q}{c_p}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{V} = 0$$

$$\frac{\partial \rho_w}{\partial t} + \nabla \cdot \rho_w \mathbf{V} = [\text{Sources} - \text{Sinks}]$$

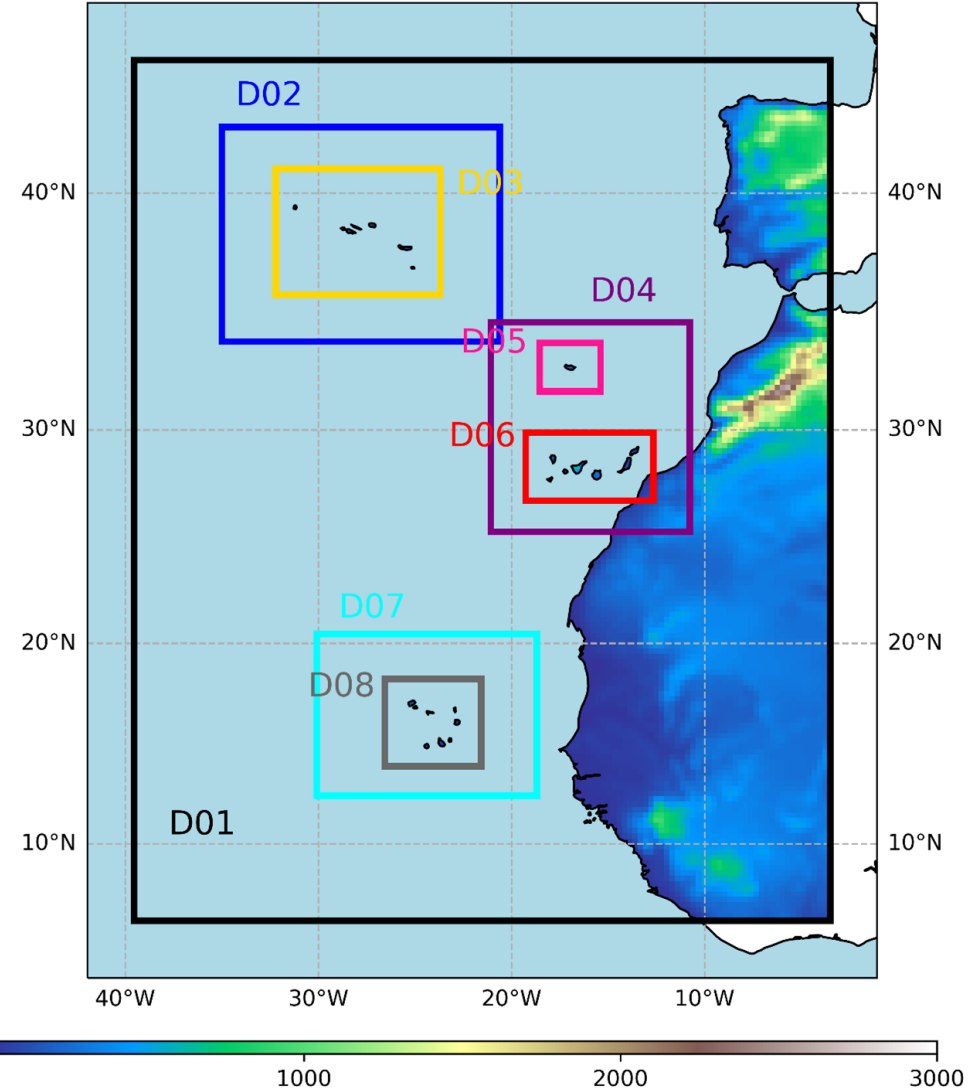




## Algunos números: Cómputo

Elección de las zonas a regionalizar:  
Dominios

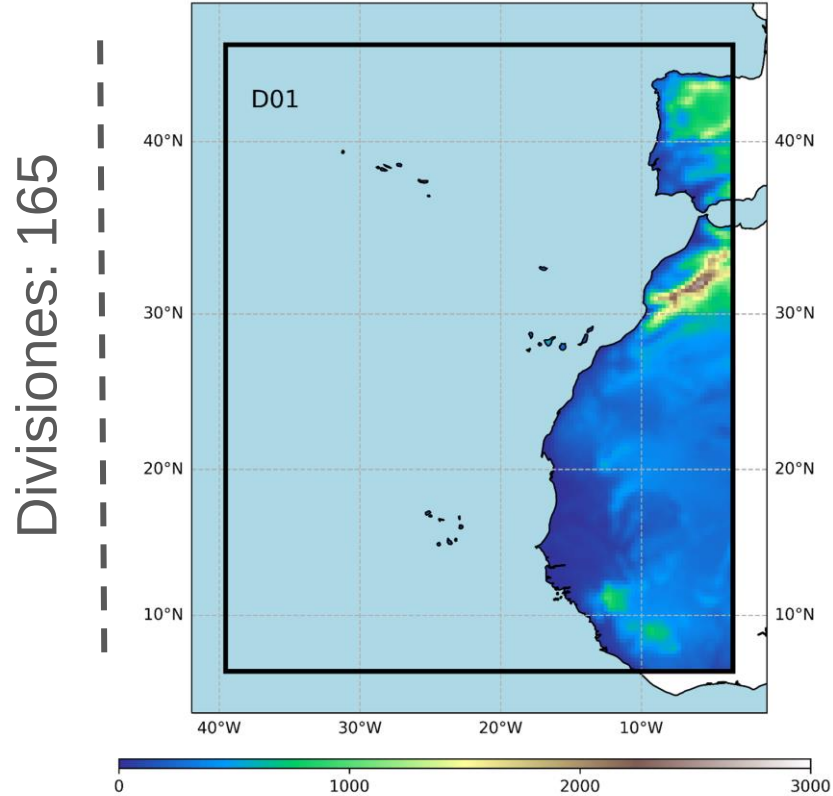
- Se diseñan de forma anidada para ajustar progresivamente la resolución horizontal al dominio interior (alta resolución)
- Incrementar resolución espacial implica aumentar la resolución temporal
- En nuestro caso, el objetivo es resolver cada archipiélago a  $3 \times 3$  kms.
- **8 dominios**





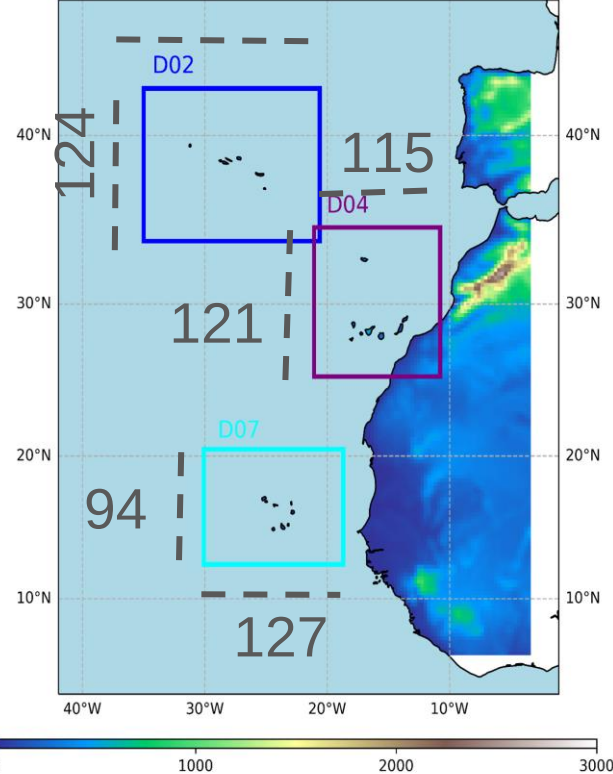
## 1 dominio general: 27 kms / 135 segundos

Divisiones: 134

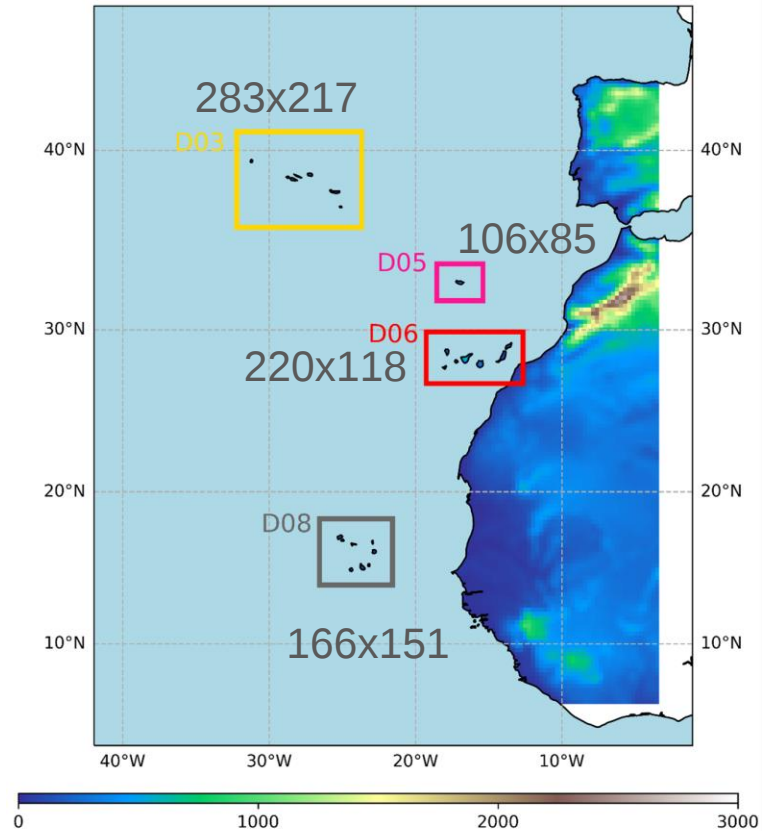


## 3 dominios intermedios: 9 kms / 45 segundos

160



## 4 dominios finales: 3 kms / 15 segundos





## Algunos números: Cómputo

Además de la descomposición en celdas horizontales, hay que evaluar las diferentes capas atmosféricas / terrestres.

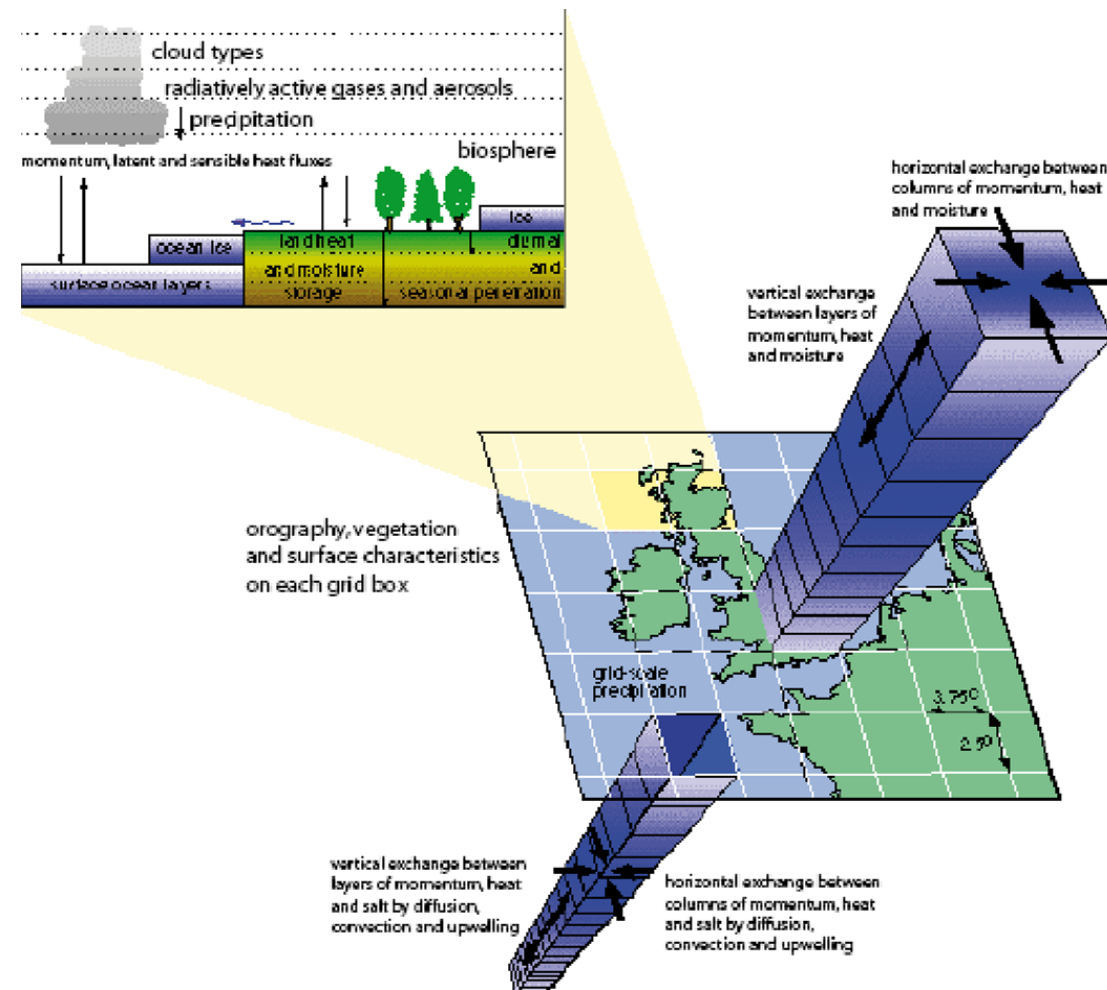
En nuestro caso:

- 50 niveles atmosféricos
- 4 niveles terrestres
- Número total de celdas (sólo celdas 3 x 3 kms):

**6.558.138 celdas**

Número total de timesteps:

**63 M / 30 años simulados**





## Algunos números: Almacenamiento

Durante las simulaciones, periódicamente se va almacenando el “estado” del sistema a través de un conjunto amplio de variables de salida:

- 117 variables 3d (tiempo, latitud, longitud)
- 21 variables 4d (nivel, tiempo, latitud, longitud)

En nuestro caso, las salidas para cada uno de los dominios se almacenan cada 2 horas:

- Aprox. 7.5 GB /día simulado (comprimido)
- 59130 días simulados

**Total: 450 TB** (sólo salidas)





## Infraestructura de cómputo para abordar el Proyecto

### A) TeideHPC (ITER)

#### Nodos Sandy Bridge

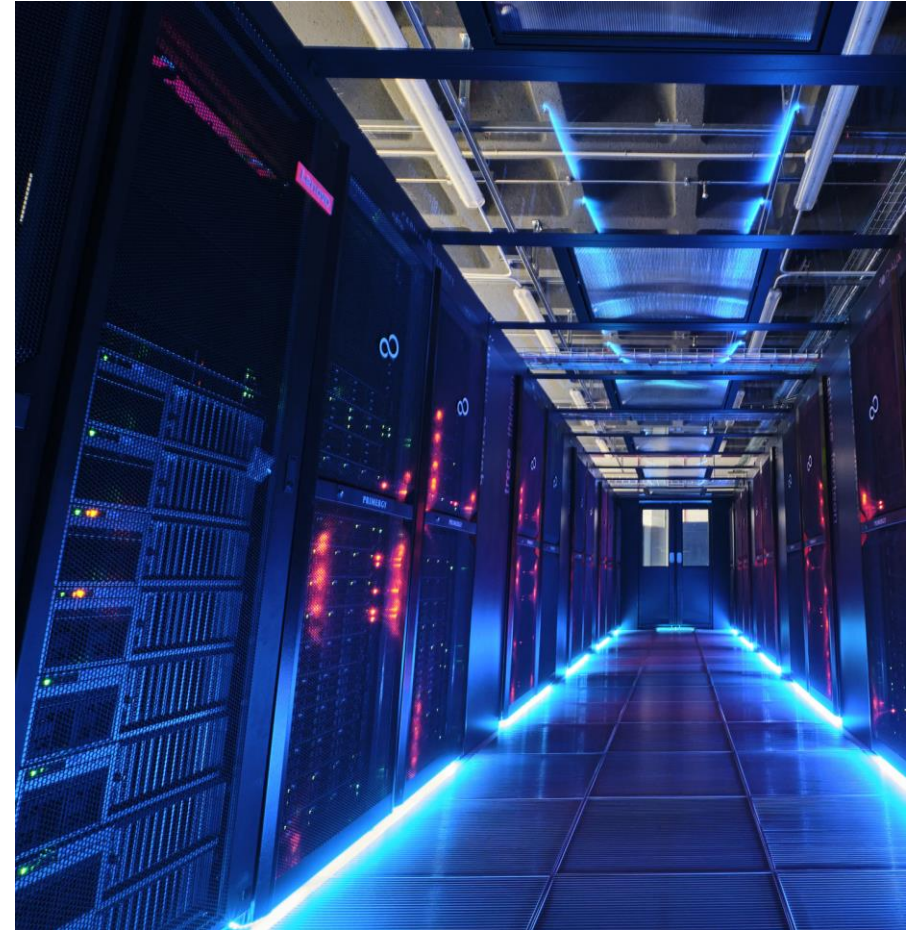
- 1028 nodos.
- 2xIntel Xeon E52670 8C/16T
- 32 GB RAM.

#### Nodos Ivy Bridge

- 72 nodos.
- 2xIntel Xeon E52670v2 10C/20T
- 32 GB RAM.

#### Fat Nodes

- 3 nodos.
- 4xIntel Xeon E54620 8C/16T.
- 256 GB RAM.





## Infraestructura de cómputo para abordar el Proyecto

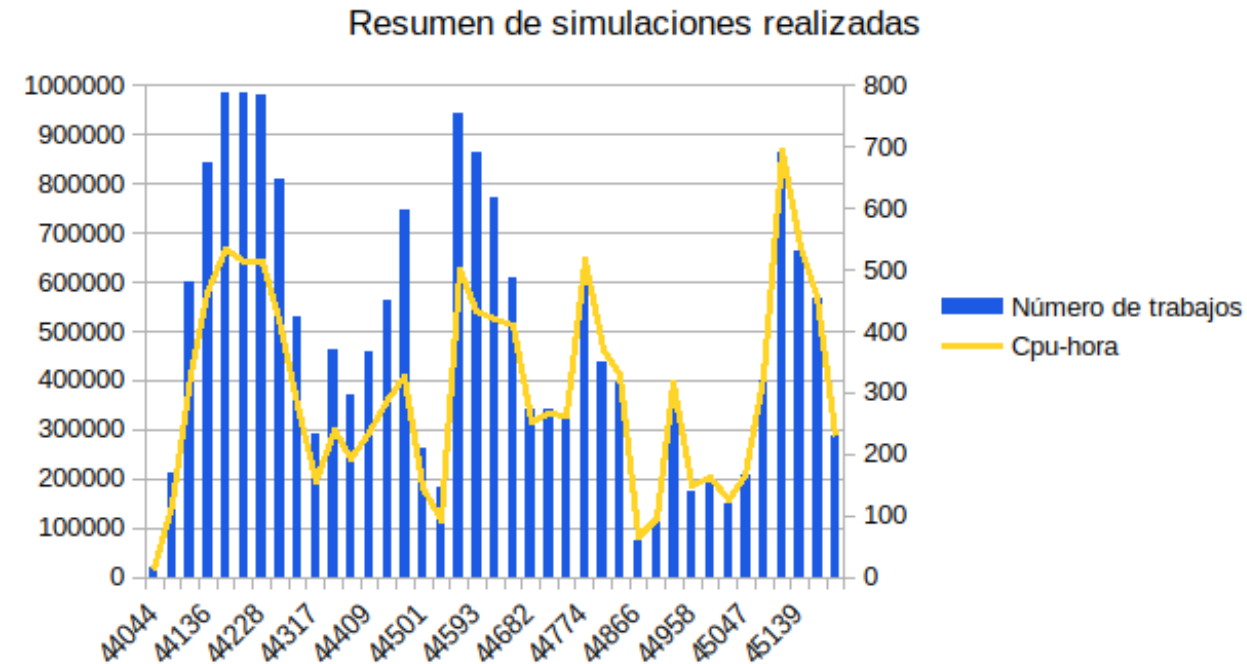
### Algunos números de las simulaciones

- Aprox. 1024 cores dedicados durante todo el proyecto
- Aprox. 16.000 trabajos
- Aprox. 15,5M cpu-hora

Una cpu-hora es una medida del trabajo realizado por un ordenador GFLOP en una hora (1 GFLOP son  $1 \times 10^9$  operaciones de punto flotante por segundo)

Equivalente a **645.000 cpu-días**

- Equivalente a **1769 cpu-años**
- Equivalente a **110 años con un solo nodo**





## Infraestructura de cómputo para abordar el Proyecto

### CPD Local (GOTA-CPD)

Utilizado para el pre y postprocesamiento

Almacenamiento de todo el Proyecto

### 7 Sistemas de almacenamiento

- 2.3 PB de capacidad

### 8 Equipos de procesamiento

- 316 cores
- 1.1 TB de RAM

### 4 Equipos de gestión





## Gestión de la infraestructura

Multitud de procesos:

- Descarga de los datos observacionales
- Descarga de los datos de entrada
- Preprocesamiento y transferencia al sistema HPC
- Control de la ejecución de los experimentos
- Transferencia de resultados al CPD local
- Postprocesamiento de los datos
- Simulaciones locales
- Monitorización de la infraestructura

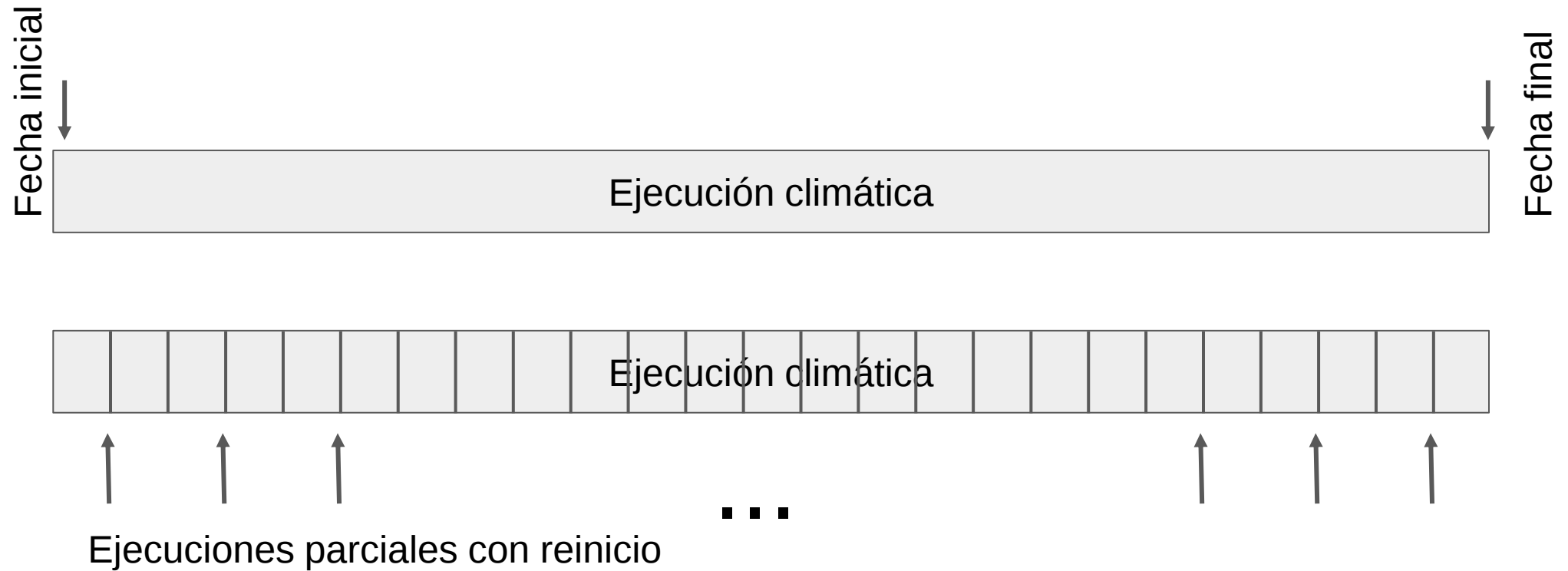


desarrollo de  
herramientas para el  
soporte de estas  
tareas



## Gestión de la infraestructura

Gestión de los experimentos: WRF4G (Univ. Cantabria + GOTA)





## Gestión de la infraestructura

Monitorización de los experimentos:

- Estado
- Parar, reiniciar y re-ejecutar experimentos

The screenshot shows a web browser window with the URL <https://wrfapp.polvo.com/#/experiments?filter=%7B%7D&order=ASC&page=157&perPage=10&sort=id>. The page title is "Experiments". On the left, there is a sidebar with navigation links: Dashboard, Experiments, Realizations, and Chunks. The main content area displays a table of experiments. The table has columns: Id (with an upward arrow), Name, Sdate, Edate, Basepath, Multiparams labels, and Experiment description. The table contains 10 rows of data, with the last row highlighted. At the bottom of the table, there is a pagination bar showing "Rows per page: 10", "1561-1570 of 1589", and navigation links for "PREV", "1", "...", "156", "157", "158", "159", and "NEXT".

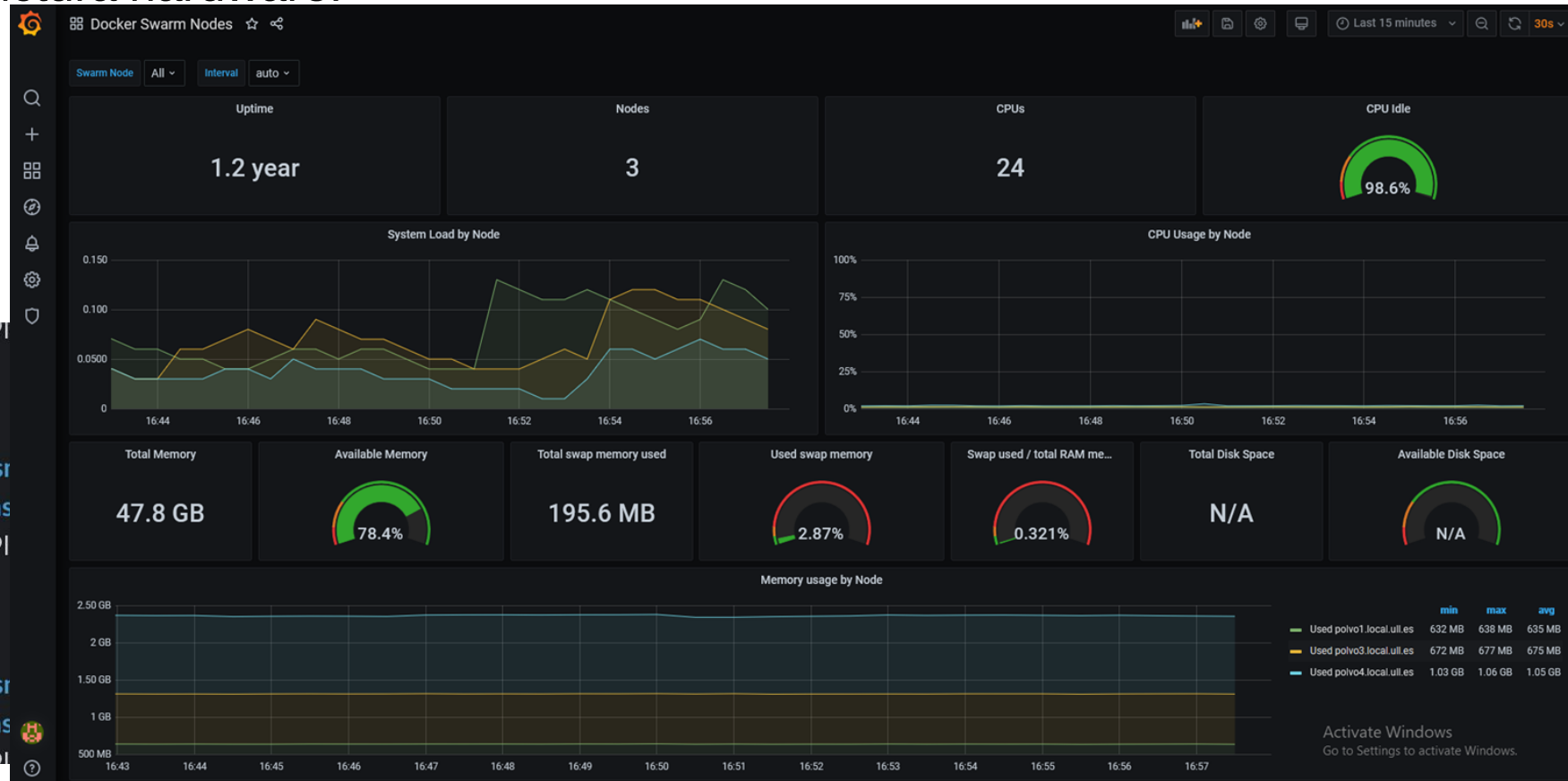
| <input type="checkbox"/> | Id ↑ | Name                       | Sdate    | Edate    | Basepath                                                        | Multiparams labels | Experiment description |
|--------------------------|------|----------------------------|----------|----------|-----------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------|
| <input type="checkbox"/> | 1595 | 100802_ec_rad24_67l_fix    | 1/8/2010 | 2/8/2010 | /home/jcperez/data/WRF4G/repository/output/Nubit/20100802/67lev | myj/qnse           |                        |
| <input type="checkbox"/> | 1596 | 100802_ecacm_rad24_67l_fix | 1/8/2010 | 2/8/2010 | /home/jcperez/data/WRF4G/repository/output/Nubit/20100802/67lev | acm2               |                        |
| <input type="checkbox"/> | 1597 | PC_MPI_ssp126_6980         | 1/1/2069 | 1/1/2080 | /home/jcperez/data/WRF4G/repository/output/PLANCL/MPI/SSP126    |                    |                        |
| <input type="checkbox"/> | 1598 | PC_MPI_ssp126_7990         | 1/1/2079 | 1/1/2090 | /home/jcperez/data/WRF4G/repository/output/PLANCL/MPI/SSP126    |                    |                        |
| <input type="checkbox"/> | 1599 | PC_MPI_ssp126_89100        | 1/1/2089 | 1/1/2100 | /home/jcperez/data/WRF4G/repository/output/PLANCL/MPI/SSP126    |                    |                        |
| <input type="checkbox"/> | 1600 | PC_MPI_ssp585_2940         | 1/1/2029 | 1/1/2040 | /home/jcperez/data/WRF4G/repository/output/PLANCL/MPI/SSP585    |                    |                        |
| <input type="checkbox"/> | 1601 | PC_MPI_ssp585_3950         | 1/1/2039 | 1/1/2050 | /home/jcperez/data/WRF4G/repository/output/PLANCL/MPI/SSP585    |                    |                        |
| <input type="checkbox"/> | 1602 | PC_MPI_ssp585_4960         | 1/1/2049 | 1/1/2060 | /home/jcperez/data/WRF4G/repository/output/PLANCL/MPI/SSP585    |                    |                        |
| <input type="checkbox"/> | 1603 | PC_MPI_ssp585_6980         | 1/1/2069 | 1/1/2080 | /home/jcperez/data/WRF4G/repository/output/PLANCL/MPI/SSP585    |                    |                        |
| <input type="checkbox"/> | 1604 | PC_MPI_ssp585_7990         | 1/1/2079 | 1/1/2090 | /home/jcperez/data/WRF4G/repository/output/PLANCL/MPI/SSP585    |                    |                        |



## Gestión de la infraestructura

Monitorización de la infraestructura hardware:

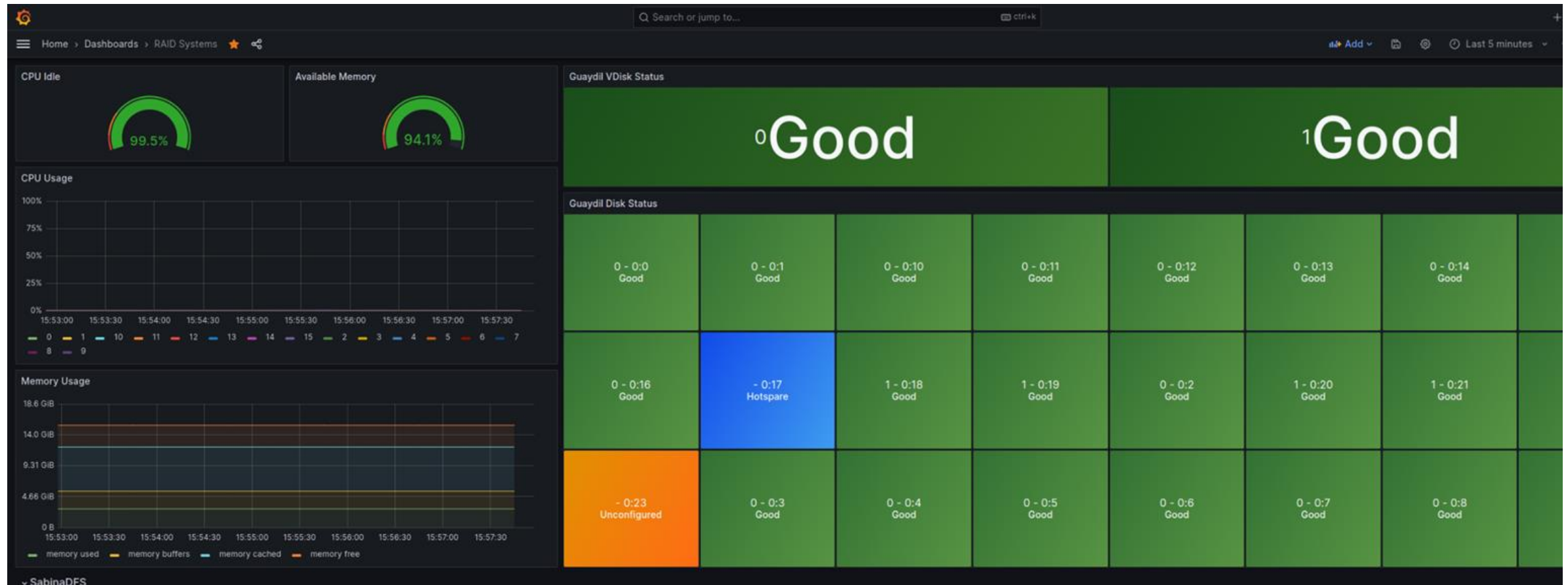
- Detección de avisos
- Sistema de alertas





## Gestión de la infraestructura

Monitorización del almacenamiento:





## Monitorización de las simulaciones en HPC /Transferencia de resultados:





PLANCLIMAC

**Muito obrigado pela atenção**  
**Muchas gracias por su atención**



**Universidad  
de La Laguna**



**ITER** Instituto Tecnológico y de  
Energías Renovables



**MAC 2014-2020**  
Cooperación Territorial

