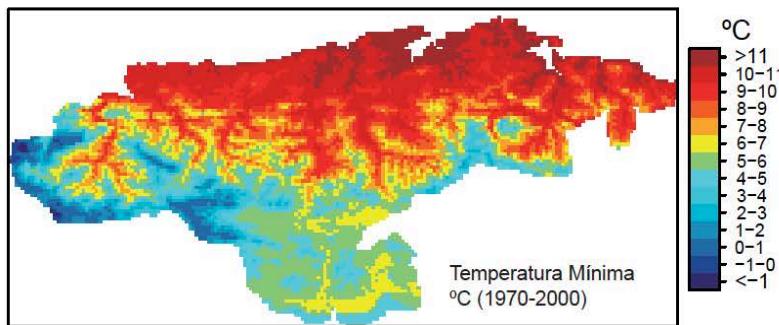
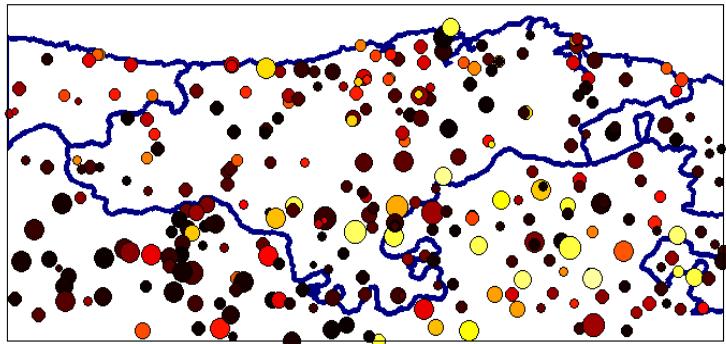




<http://www.meteo.unican.es>

Herramientas de caracterización y predicción meteorológica.

Aplicación a infraestructuras eléctricas



José M. Gutiérrez
gutierjm@unican.es

Instituto de Física de Cantabria
Santander Meteorology Group



gracias a
Daniel San Martín
Markel García



<http://www.meteo.unican.es>



Dpto. Matemática Aplicada y
Ciencias de la Computación



Instituto de Física de Cantabria



predictia
INTELLIGENT DATA SOLUTIONS

Our main research lines are:

**José M.
Gutiérrez**

Statistical
downscaling



**Miguel A.
Rodríguez**

Nonlinear
Physics



**Antonio
Cofiño**

Computing
Data Management



**Jesús
Fernández**

Numerical
modelling



**Sixto
Herrera**

Machine
Learning



Staff – Key Persons

Interdisciplinary research group
formed by 15 researchers based
on Santander (Spain).

Our main research activity is
downscaling (local prediction)

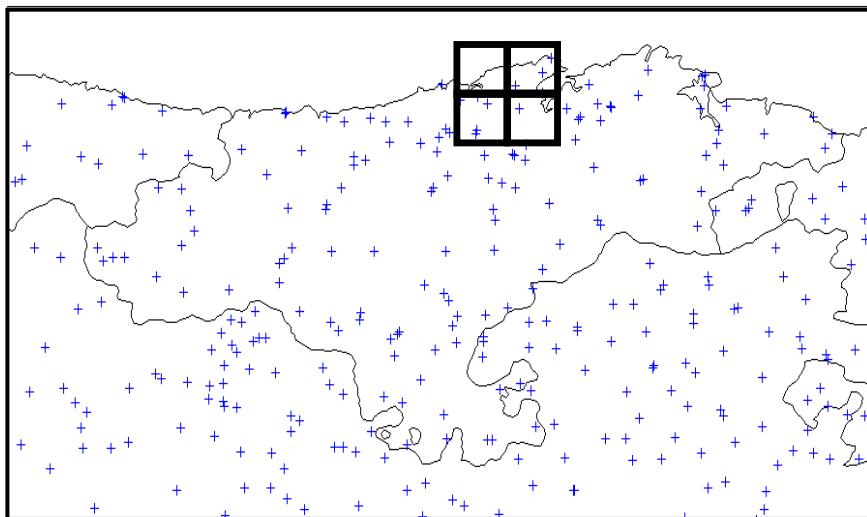
- ❖ ***Caracterización climática: Rejillas interpoladas.***
 - ❖ ***Zonificación y puntos óptimos de observación.***
- ❖ ***Modelos de predicción atmosférica***
 - ❖ ***Ejemplo ilustrativo.***
 - ❖ ***Métodos estadísticos: series temporales.***
 - ❖ ***Modelos numéricos de la atmósfera.***
- ❖ ***Conclusions***

Técnicas Geoestadísticas

OBSERVACIONES DE METEOROS



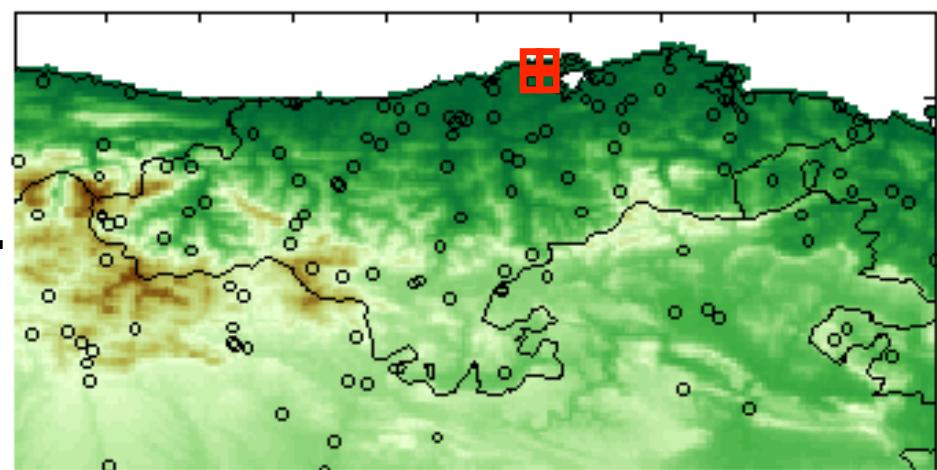
10km



MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL DEL TERRENO

1km

Altura, pendiente, distancia mar, insolación potencial, orientaciones, bloqueos.



Existen dos metodologías aplicables para obtener una caracterización climática regular (en un rejilla, típicamente de 1 km) de una región:

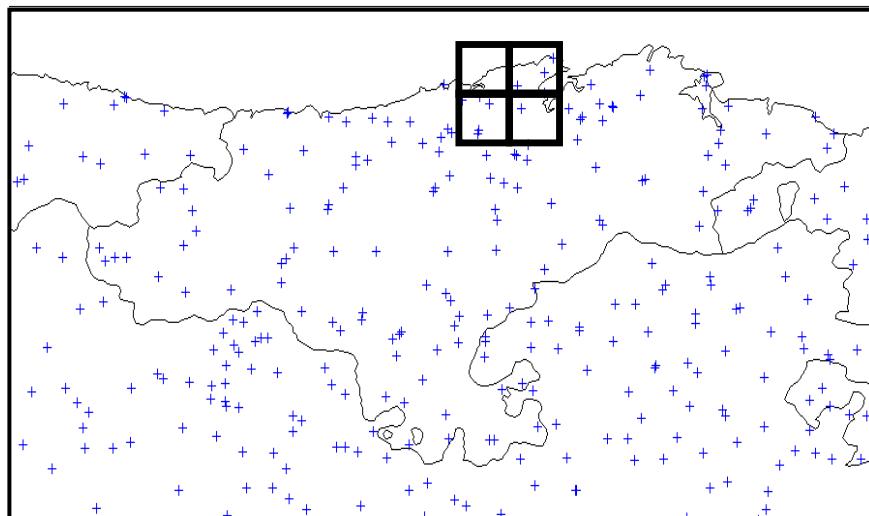
1. Interpolando las **observaciones históricas** disponibles de la variable de interés.
2. Usando **modelos climáticos numéricos** para simular una climatología “sintética”.

Técnicas Geoestadísticas

OBSERVACIONES DE METEOROS



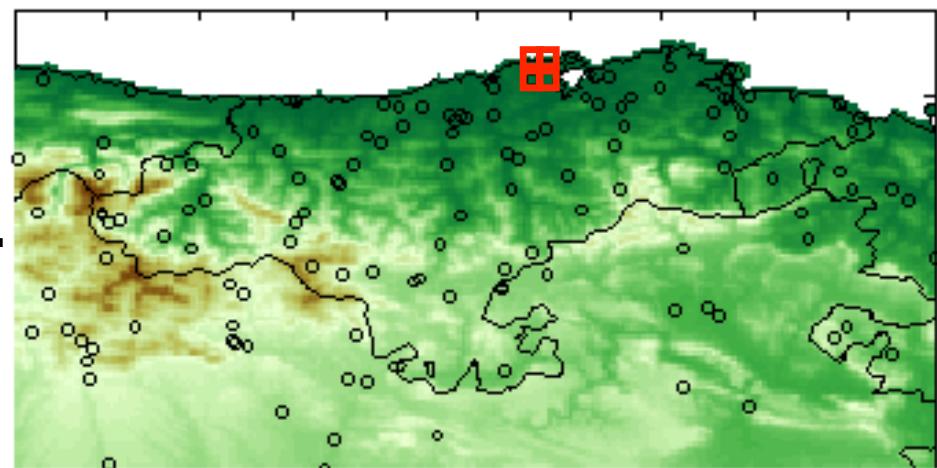
10km



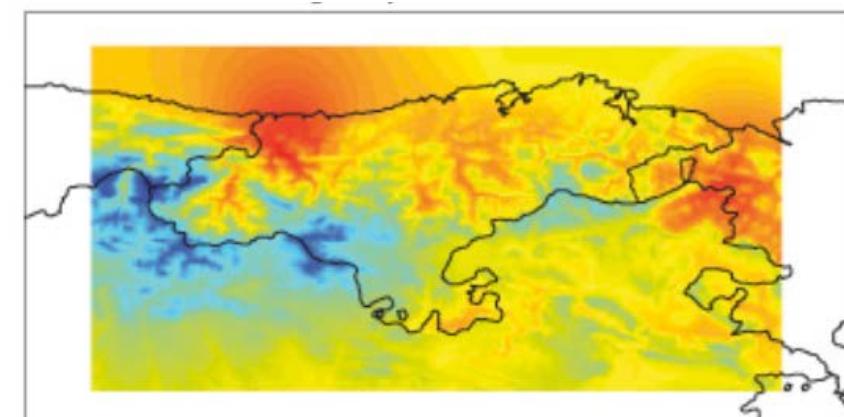
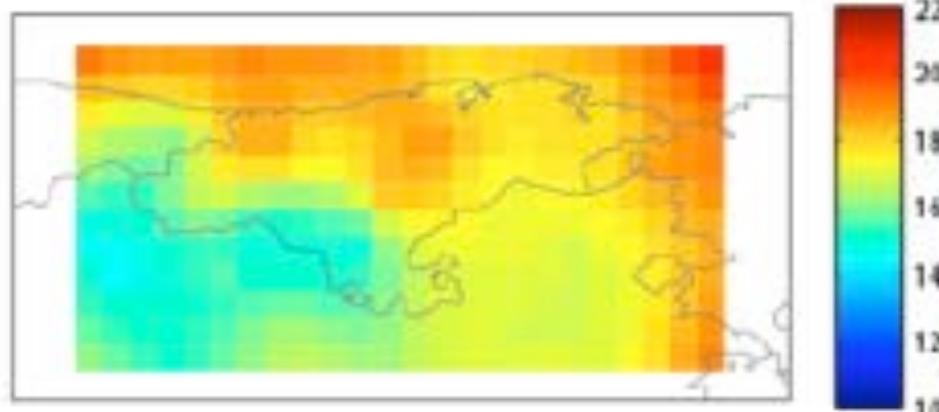
MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL DEL TERRENO

1km

Altura, pendiente, distancia mar, insolación potencial, orientaciones, bloqueos.

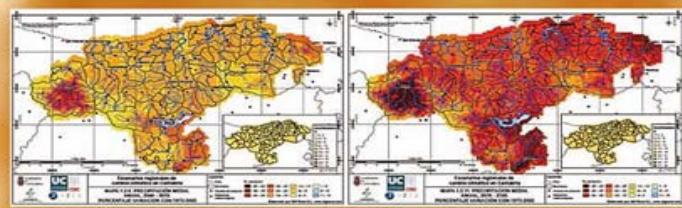
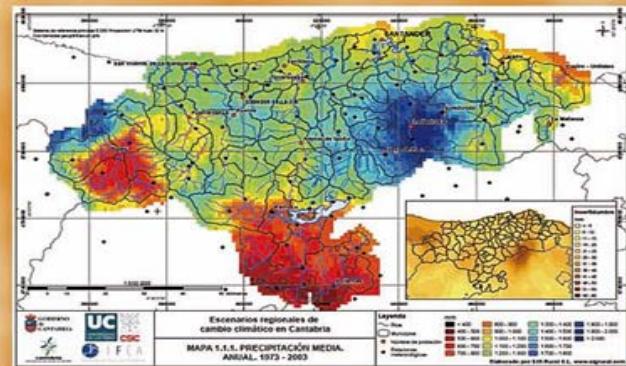


Técnicas de interpolación + Regresión con predictores MDT



Escenarios Regionales Probabilísticos de Cambio Climático en Cantabria: Termopluviosidad

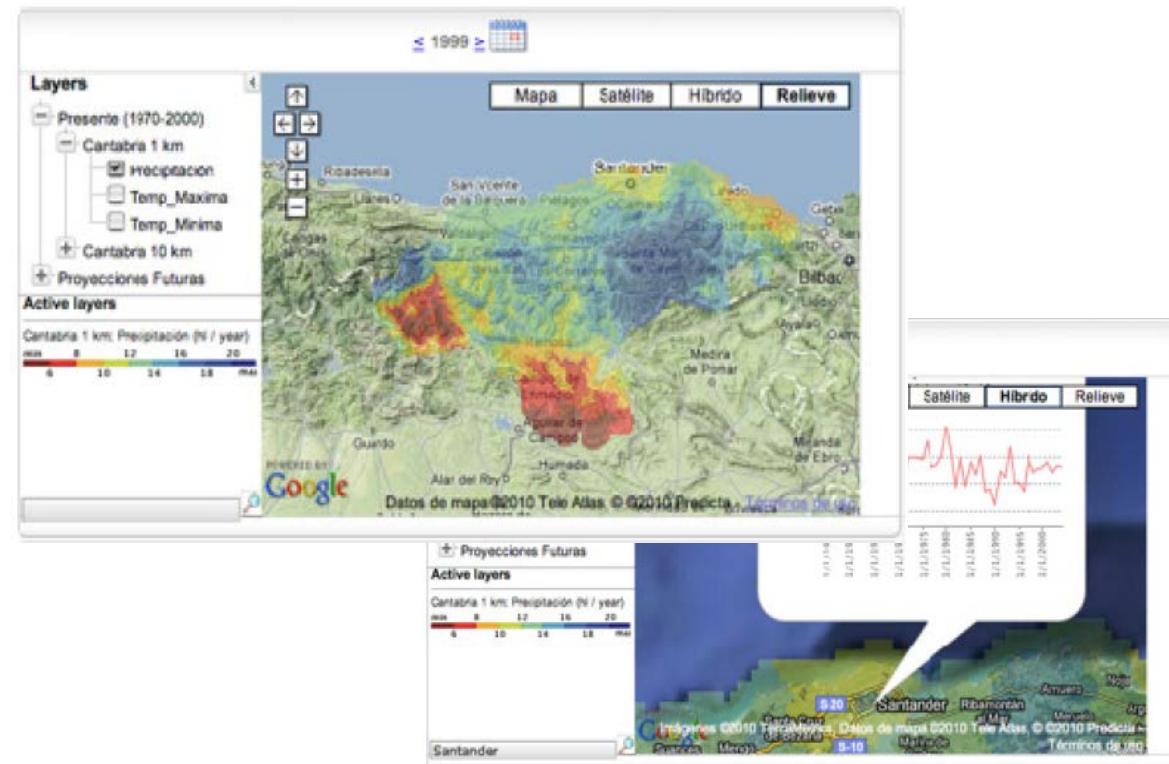
J.M. Gutiérrez, S. Herrera, D. San-Martín, C. Sordo,
J.J. Rodríguez, M. Frochoso, R. Ancell, J. Fernández,
A.S. Cofiño, M.R. Pons, M.A. Rodríguez



(Santander, 2010)

Series **anuales, mensuales y diarias**
de estas variables. **Formato SIG y
NETCDF (binario).**

**[http://www.meteo.unican.es/
escenariosCantabria](http://www.meteo.unican.es/escenariosCantabria)**



Cuidado con productos genéricos

Santander Meteorology Group
A multidisciplinary approach for weather & climate

Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas

Robert J. Hijmans^{1,*}, Susan E. Cameron^{1,2},

Issue

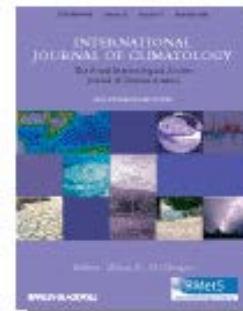
Juan L. Parra¹, Peter G. Jones³, Andy

Jarvis^{3,4}

Article first published online: 30 NOV 2005

DOI: 10.1002/joc.1276

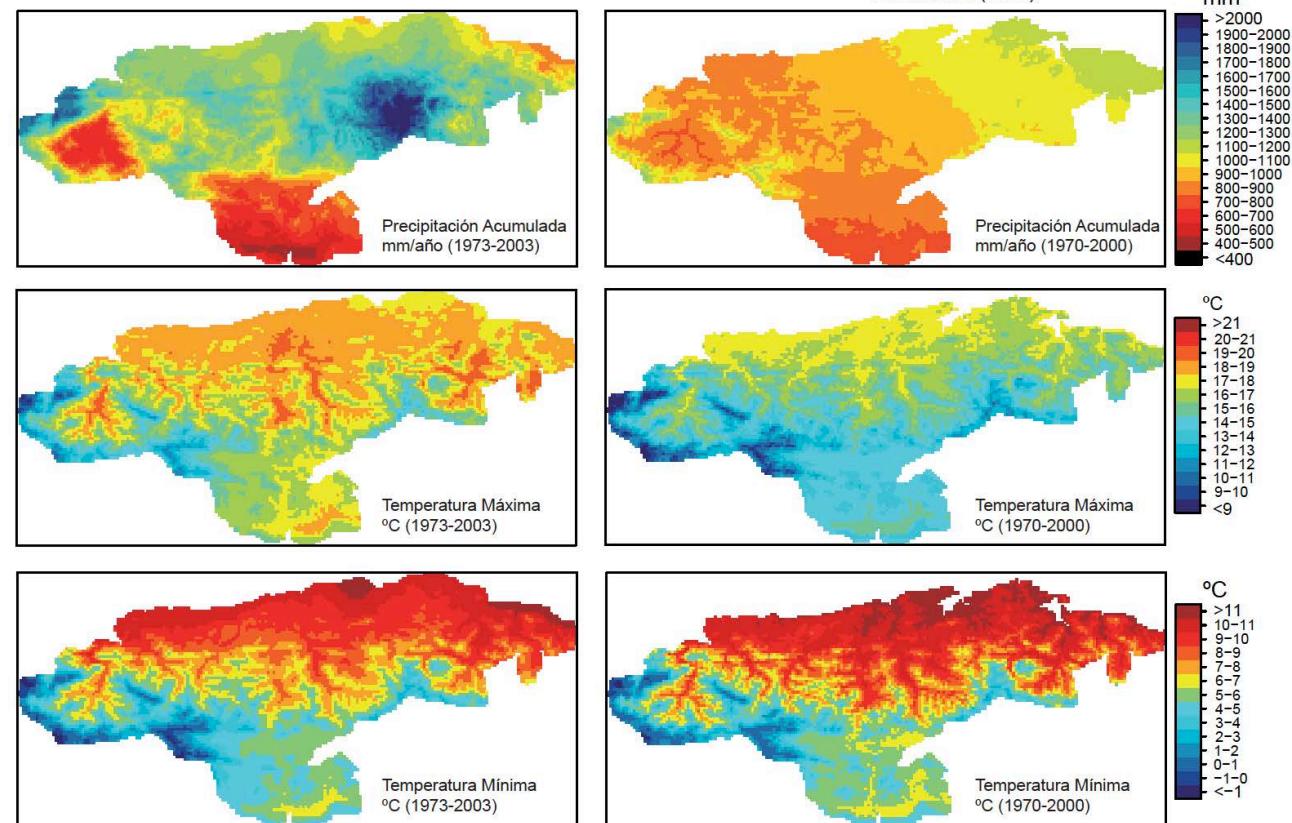
Copyright © 2005 Royal Meteorological Society



International Journal of
Climatology
Volume 25, Issue 15, pages
1965–1978, December 2005

Times cited > 6000

Existen varios productos con cobertura global que ofrecen climatologías de alta resolución (1 km), como WorldClim.



Comparación de dos productos de 1km.

Cuando no existen observaciones locales disponibles con densidad suficiente (por ejemplo para viento), es posible recurrir a los **modelos numéricos de simulación atmosférica** para reconstruir una “climatología sintética”.

The screenshot shows the header of the IDAE website, featuring the Spanish flag, the Ministry of Industry, Tourism, and Trade logo, the IDAE logo, and a 'ahorra energía' (save energy) button. The header also includes links for 'Contactar' and 'Mapa Web'. Below the header, there are three main navigation sections: 'Información', 'Consulta de datos', and 'Descarga de mapas'. The 'Información' section contains links to 'Introducción', 'Metodología utilizada', and 'Resultados de la modelización'. The 'Consulta de datos' section contains links to 'Manual' and 'Acceso al aplicativo *'. The 'Descarga de mapas' section contains links to 'España', 'Comunidades Autónomas', and 'Autónomas'. The central content area discusses the introduction to the Spanish Wind Atlas, mentioning the study of Spain's wind resource potential across the entire national territory and an additional 24 nautical miles offshore. It also explains the use of a numerical simulation model for long-term wind resource prospecting. A red box highlights the text: "Para realizar el Atlas Eólico de España se ha recurrido a un **modelo de simulación meteorológica y de prospección del recurso eólico a largo plazo**, estudiando su interacción con la caracterización topográfica de España, sin llevar a cabo una campaña de mediciones específica. En cambio, sí se han utilizado datos reales del recurso para la validación de los resultados de la herramienta de simulación adoptada." At the bottom, it notes that conventional methods require a long and costly measurement campaign, which depends on the installation of a

Español Català Euskara Galego English

Información

- [Introducción](#)
- [Metodología utilizada](#)
- [Resultados de la modelización](#)

Consulta de datos

- [Manual](#)
- [Acceso al aplicativo *](#)

Descarga de mapas

- [España](#)
- [Comunidades Autónomas](#)
- [Autónomas](#)

[Inicio](#) > [Información](#) > [Introducción al Atlas Eólico](#)

Introducción al Atlas Eólico

IDAE ha creído necesario elaborar un Estudio del Recurso Eólico de España con la fiabilidad suficiente para permitir la evaluación del potencial eólico disponible, incluyendo la explotación de sus resultados mediante un Sistema de Información Geográfica de consulta pública, cuyo **ámbito de aplicación sea todo el territorio nacional, incluyendo las aguas interiores y una banda litoral marina adicional de 24 millas náuticas**. La utilización de criterios uniformes facilita la comparación entre los resultados obtenidos en distintas zonas del país.

Para realizar el Atlas Eólico de España se ha recurrido a un **modelo de simulación meteorológica y de prospección del recurso eólico a largo plazo**, estudiando su interacción con la caracterización topográfica de España, sin llevar a cabo una campaña de mediciones específica. En cambio, sí se han utilizado datos reales del recurso para la validación de los resultados de la herramienta de simulación adoptada.

Los métodos convencionales para estudiar el potencial eólico en grandes extensiones requieren una larga y costosa campaña de medidas, la cual depende de la instalación de un

MAPA EÓLICO DE CANTABRIA

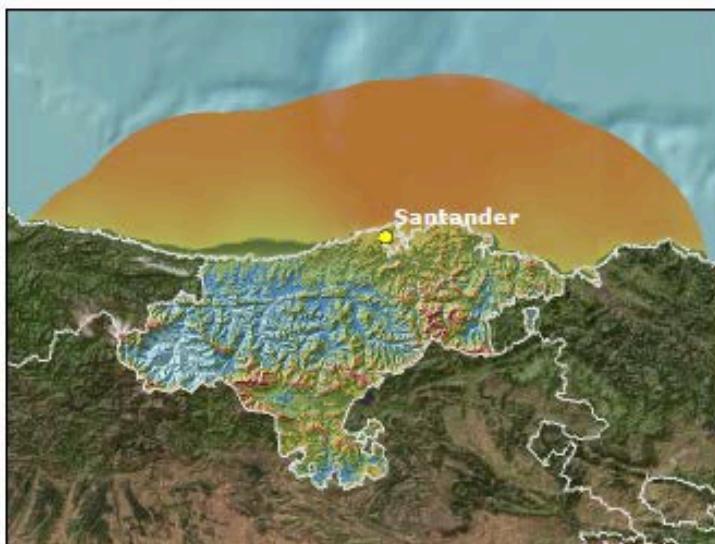
Velocidad Media Estacional a 80 m de altura



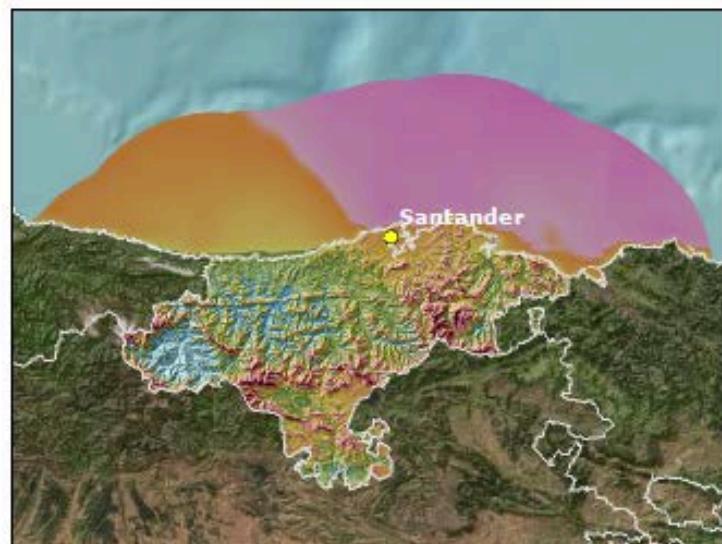
PRIMAVERA



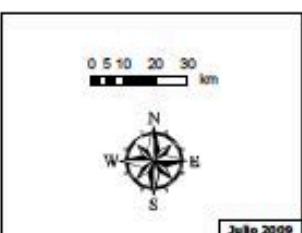
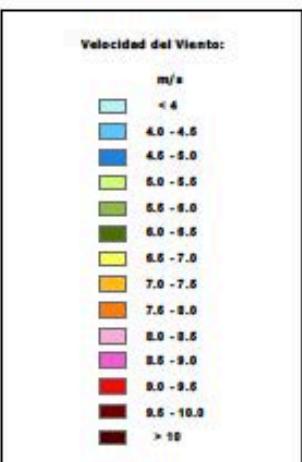
VERANO



OTOÑO



INVIERNO



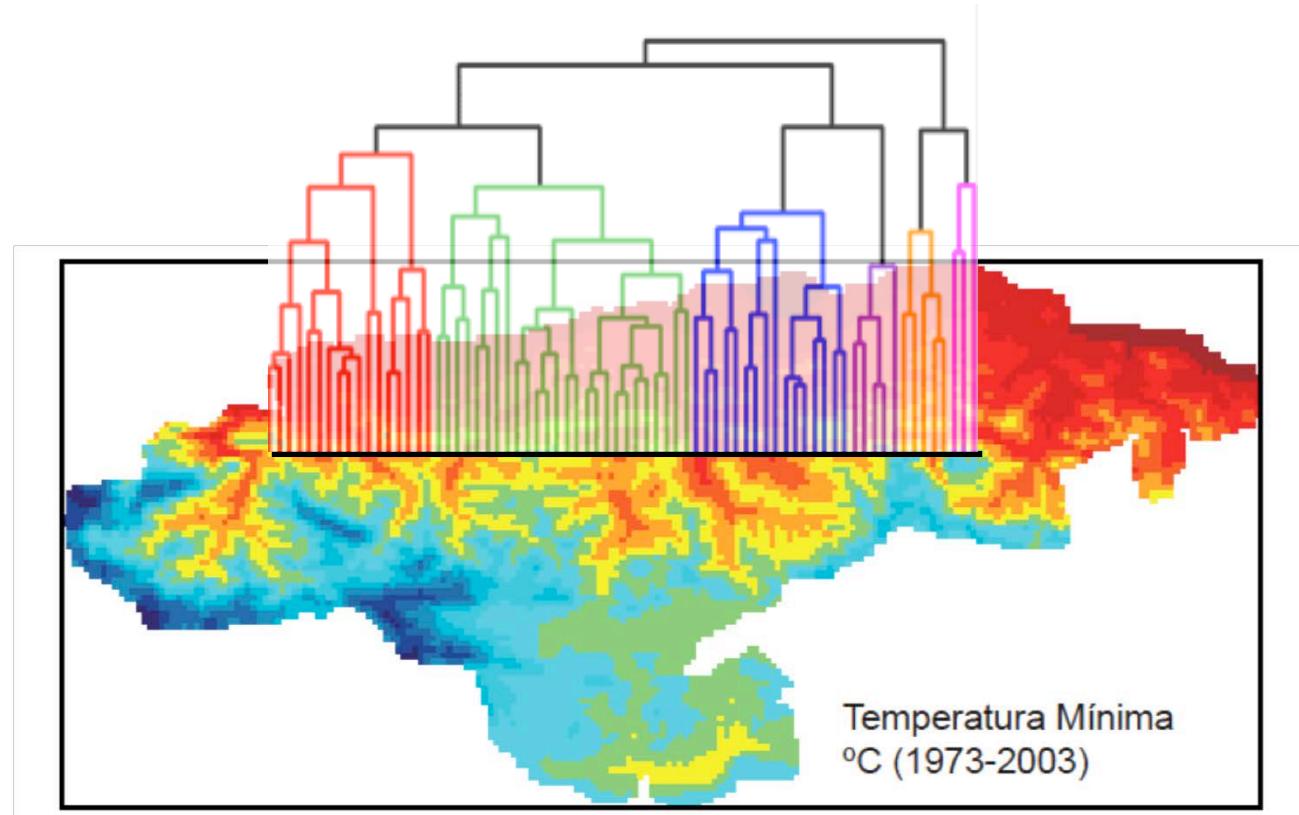
Julio 2009

Bebido por:
 meteo-sim
Truewind

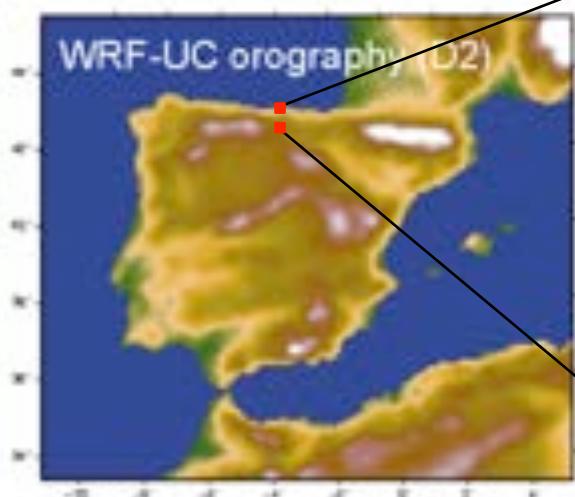
CIMA
CONSEJO INVESTIGACIONES MATERIALES
 IDAE
INSTITUTO DE DIFUSIÓN DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

Zonificación climática

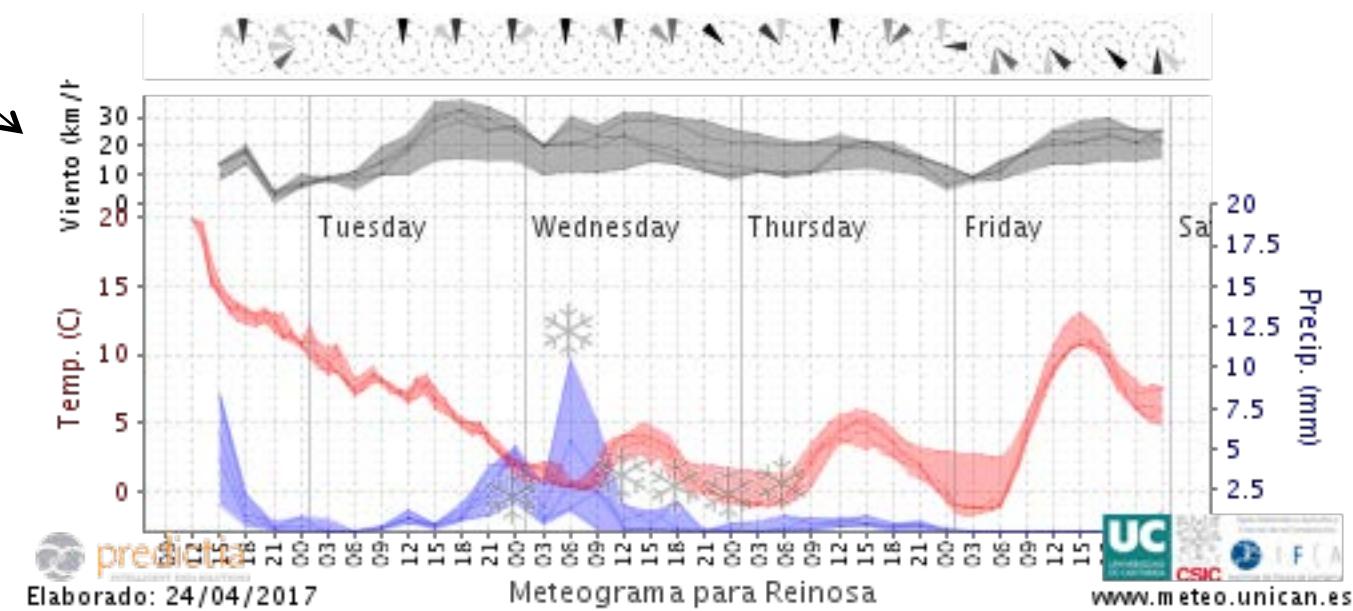
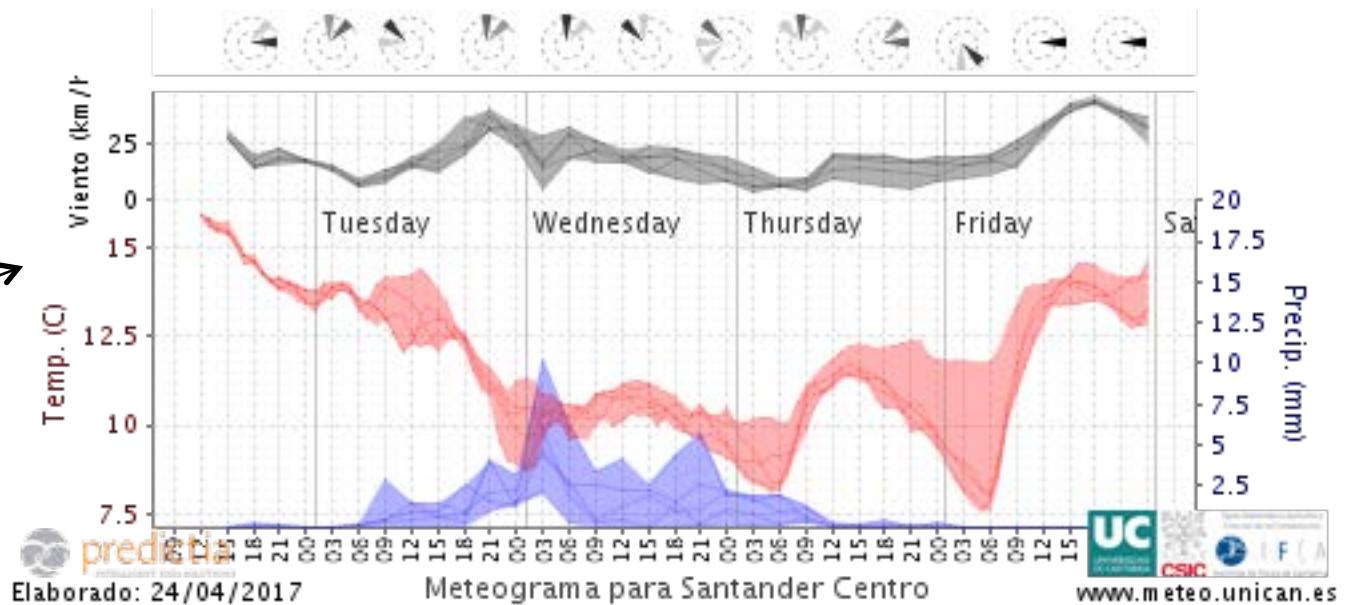
Estos productos permiten obtener una zonificación (segmentación) climática de la región de interés (2D o 1D) aplicando técnicas estadísticas de segmentación a las series temporales diarias/mensuales de los distintos puntos de rejilla.

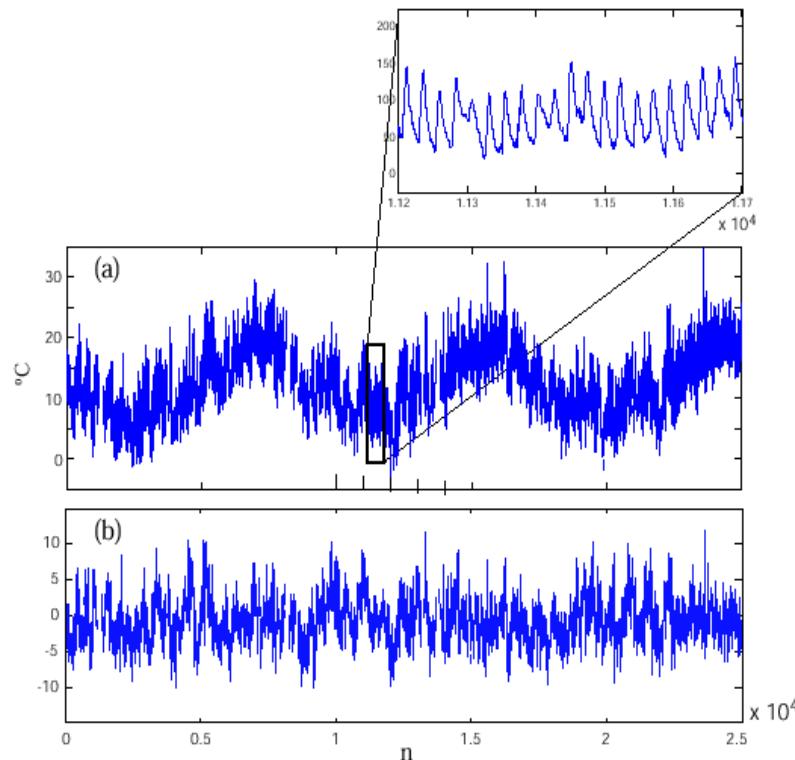


- ❖ ***Caracterización climática: Rejillas interpoladas.***
 - ❖ *Zonificación y puntos óptimos de observación.*
- ❖ ***Modelos de predicción atmosférica***
 - ❖ *Ejemplo ilustrativo.*
 - ❖ *Métodos estadísticos: series temporales.*
 - ❖ *Modelos numéricos de la atmósfera.*
- ❖ ***Conclusions***



Resolución: 9 km





Determinista

Mod. Autoregresivos:

Redes Neuronales:

$$\hat{O}_{t+1} = F(O_{t-\tau})$$

Probabilístico

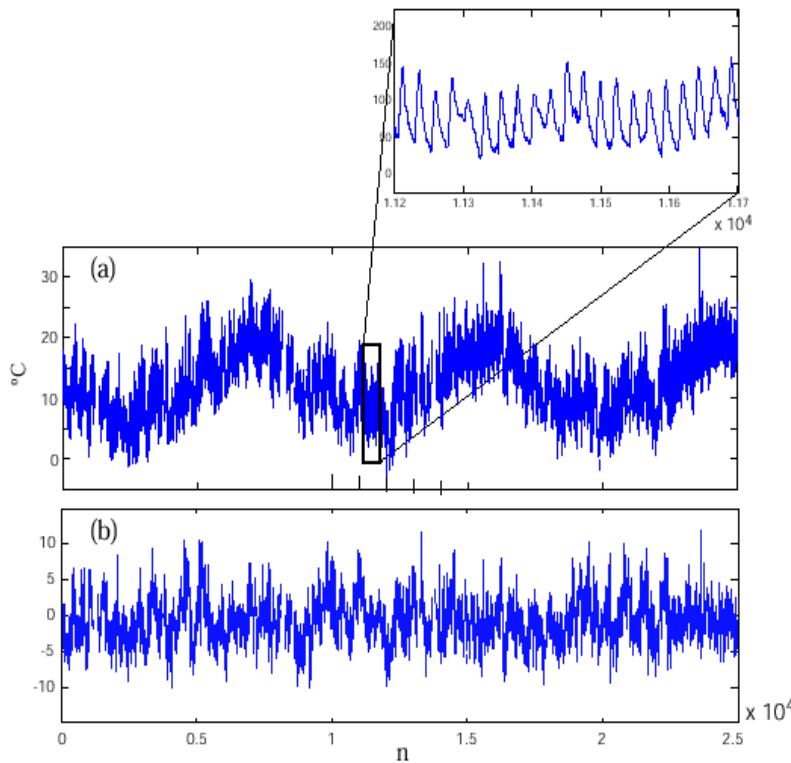
Procesos de Markov:

$$P(Y_{t+1} | Y_{t-\tau})$$

Métodos espectrales

Las técnicas de series temporales
son competitivas para predicciones a
muy corto plazo **6-8 horas.**

Técnicas de series temporales



Determinista

Mod. Autoregresivos:

Redes Neuronales:

$$\hat{O}_{t+1} = F(O_{t-\tau})$$

Probabilístico

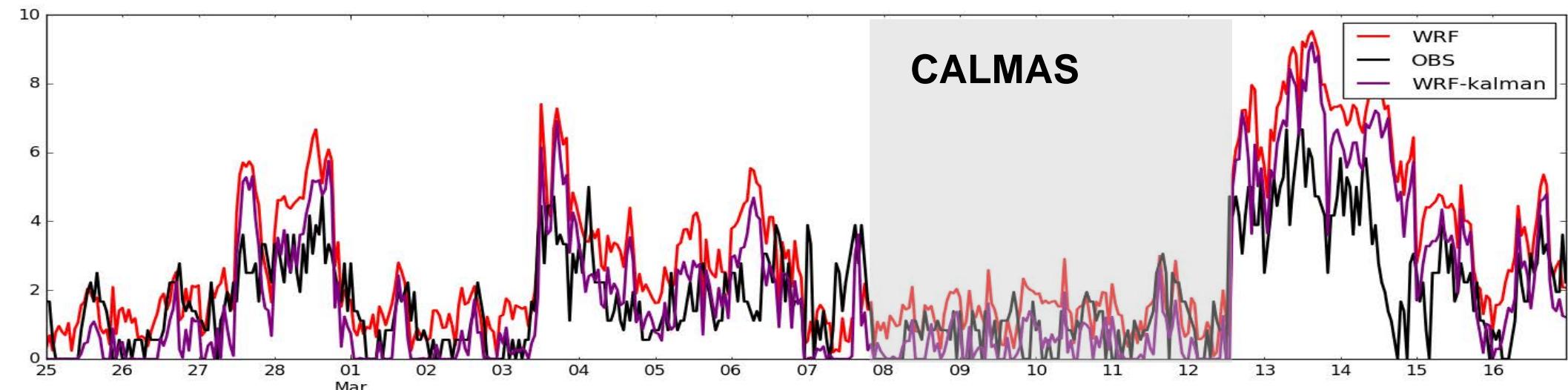
Procesos de Markov:

$$P(Y_{t+1}/Y_{t-\tau})$$

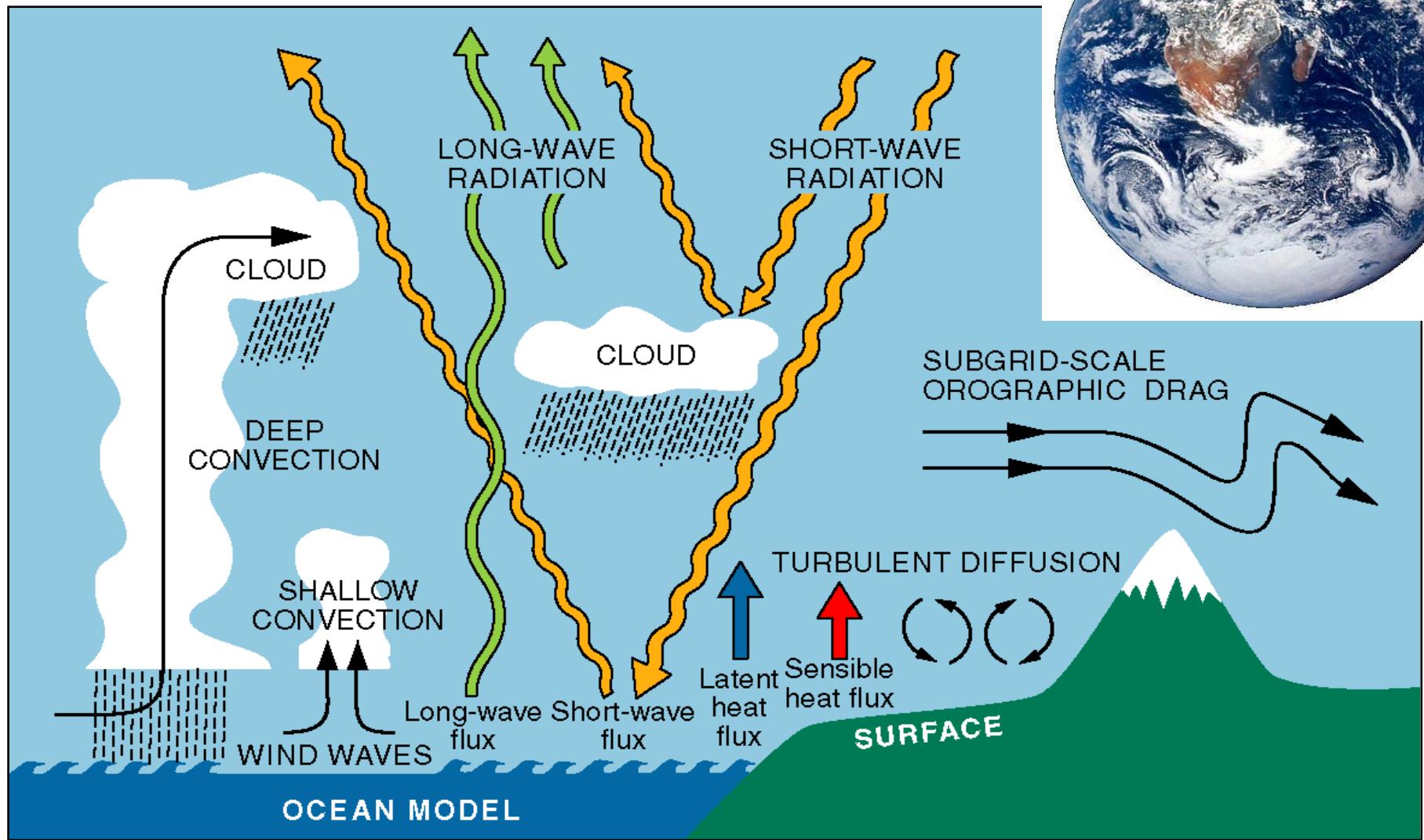
Métodos espectrales

Las técnicas de series temporales son competitivas para predicciones a muy corto plazo **6-8 horas**, pero no predicen cambios.

CALMAS



La dinámica a gran escala (sinóptica) de la atmósfera está regida por leyes físicas conocidas.



La dinámica a gran escala (sinóptica) de la atmósfera está regida por leyes físicas conocidas.

Conservación de energía, masa, momento, vapor de agua, ecuación de estado de gases.

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = -\alpha \nabla p - \nabla \phi + \mathbf{F} - 2\Omega \times \mathbf{v}$$

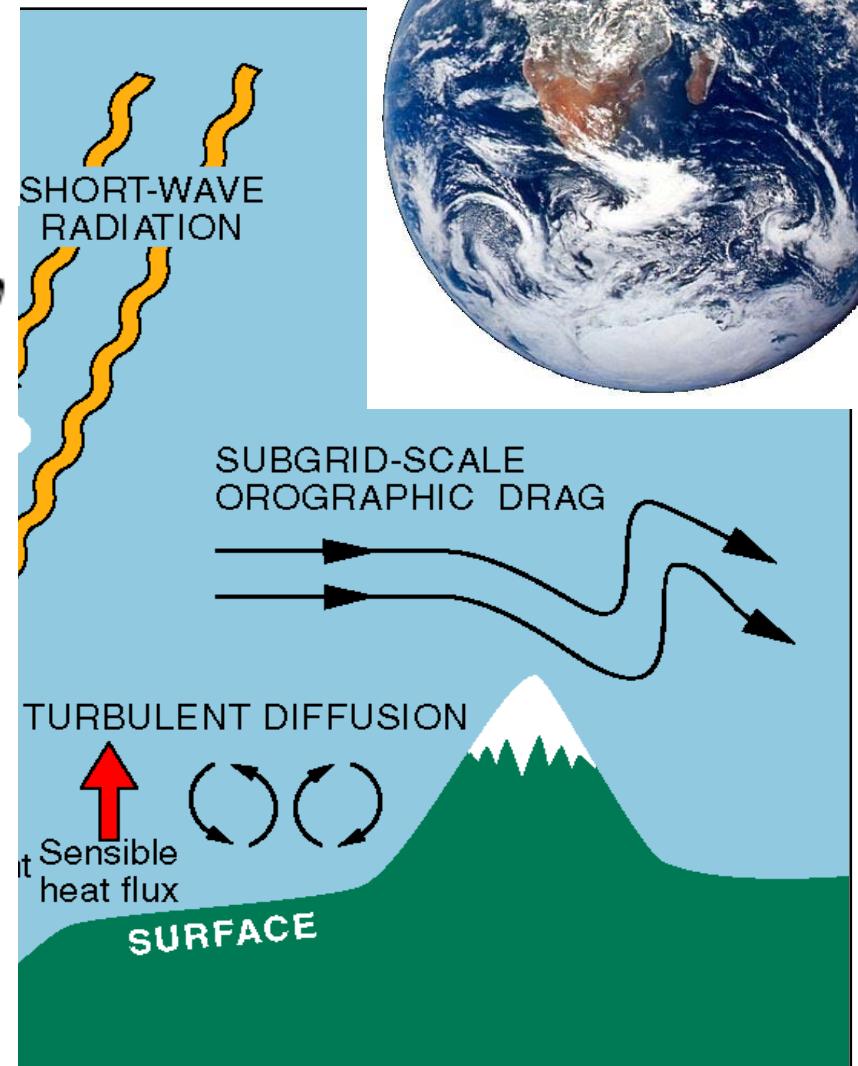
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \mathbf{v})$$

$$p\alpha = RT$$

$$Q = C_p \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dp}{dt}$$

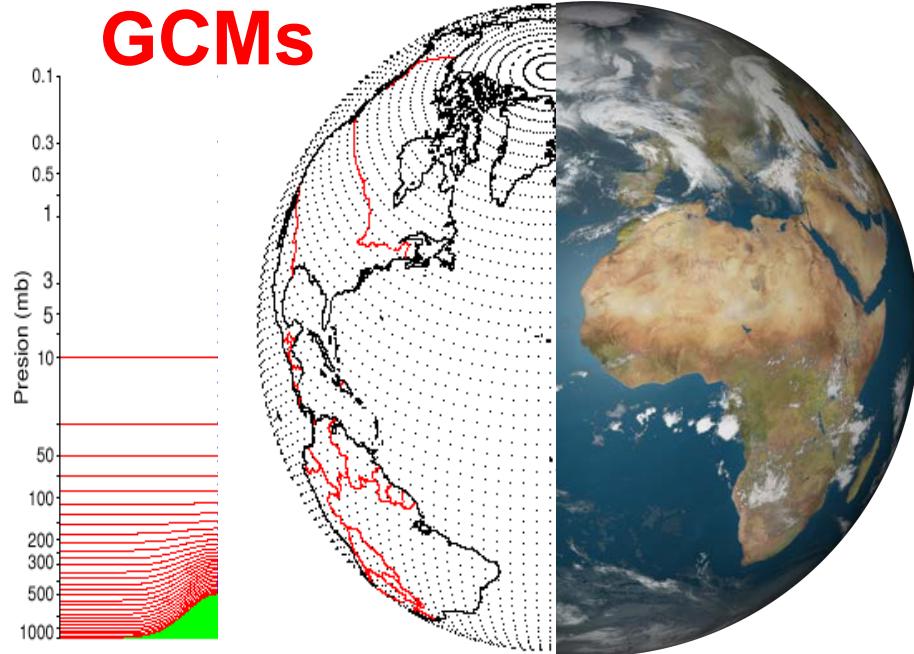
$$\frac{\partial \rho q}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \mathbf{v} q) + \rho (E - C)$$

$$\mathbf{v} = (u, v, w), T, p, \rho = 1/\alpha \text{ y } q$$



resolución
 $\propto 1/\Delta t$

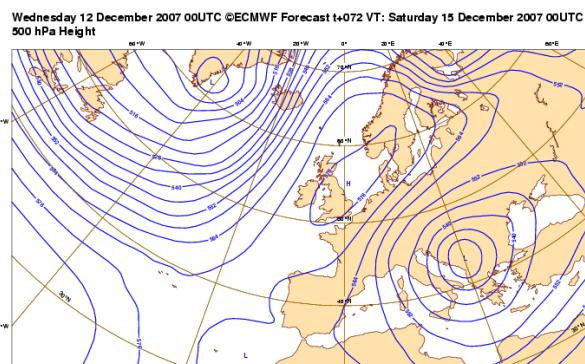
Duplicar la resolución espacial supone incrementar el tiempo en un factor 16



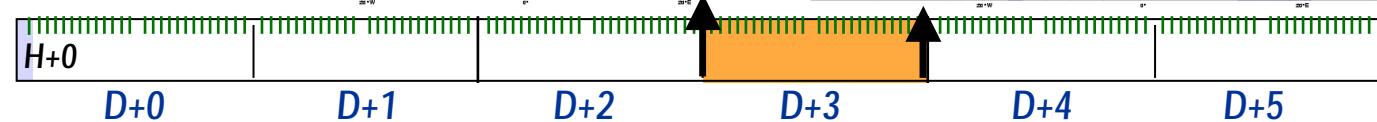
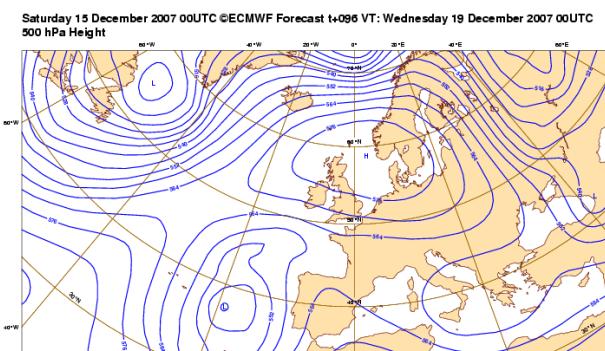
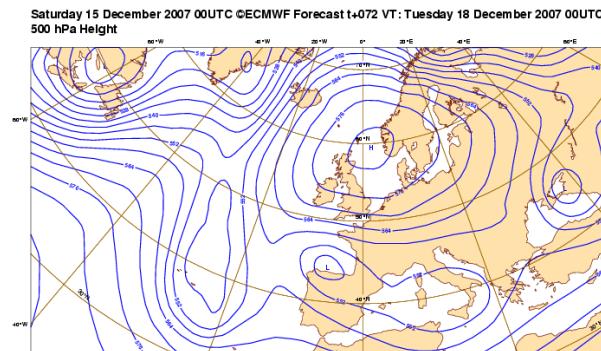
Conservación de energía, masa, momento, vapor de agua, ecuación de estado de gases.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -\alpha \nabla p - \nabla \phi + \mathbf{F} - 2\Omega \times \mathbf{v} \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) \\ p\alpha = RT \\ Q = C_p \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dp}{dt} \\ \frac{\partial \rho q}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \mathbf{v} q) + \rho(E - C) \end{array} \right.$$

$\mathbf{v} = (u, v, w), T, p, \rho = 1/\alpha$ y q

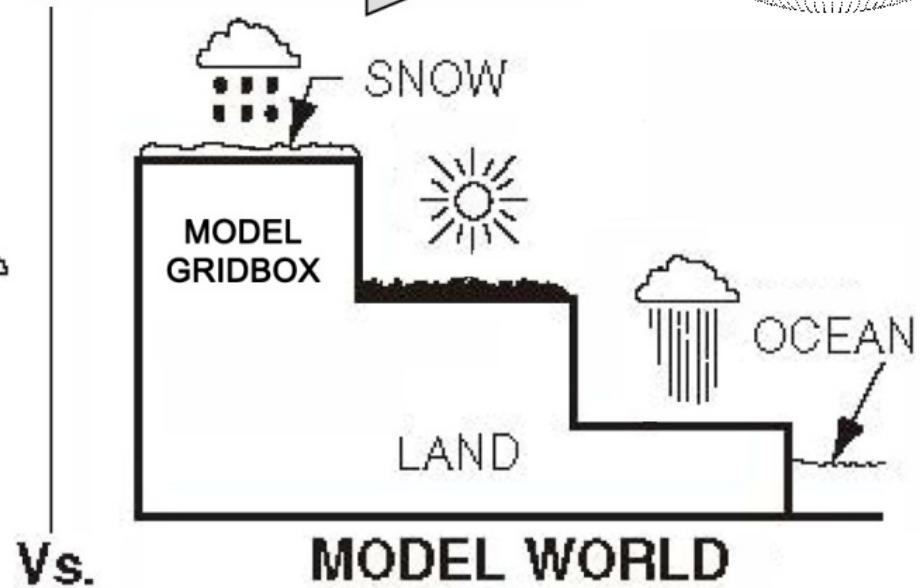
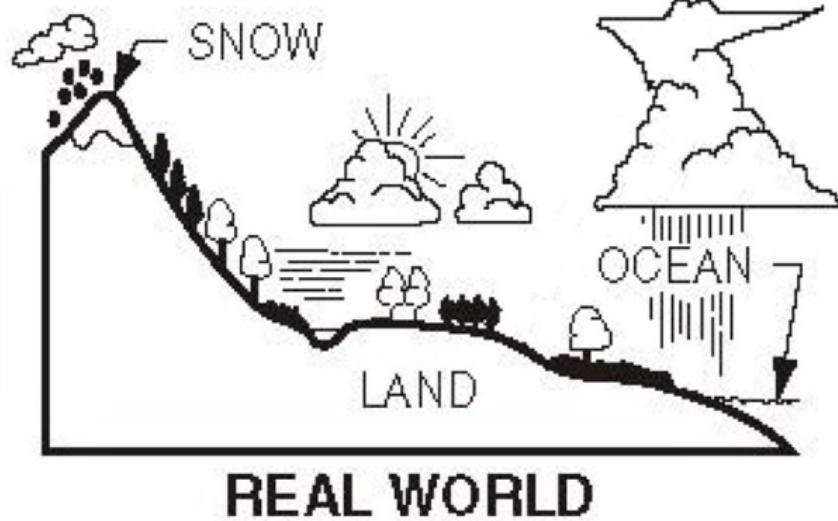
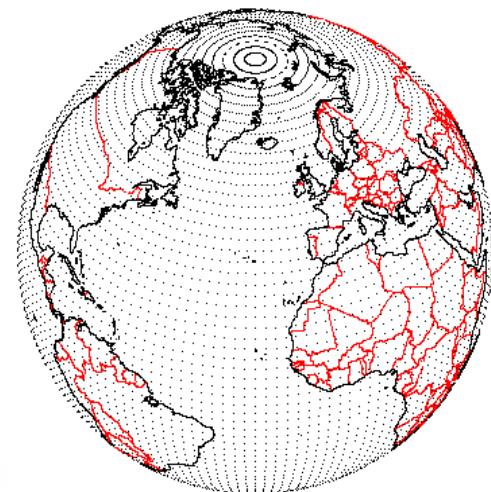


Condición inicial





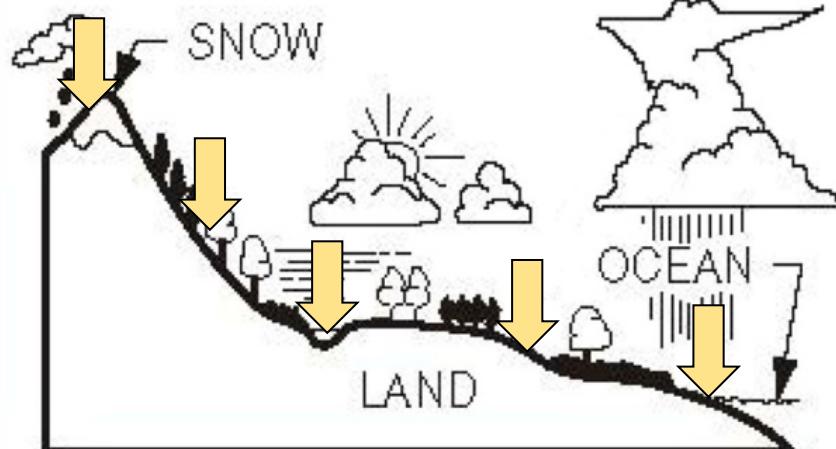
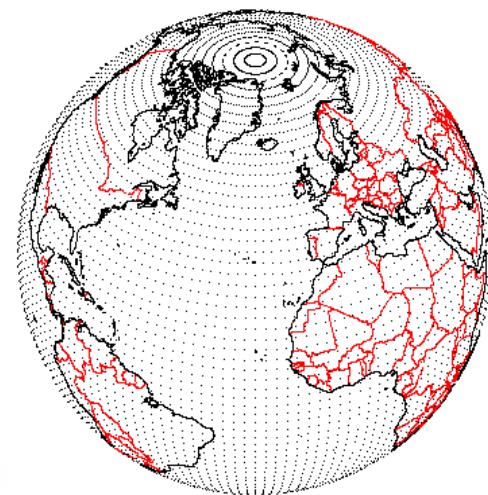
NUMERICAL MODELING
DISCRETIZATION (4D) + PARAMETRIZATION
of subgrid processes





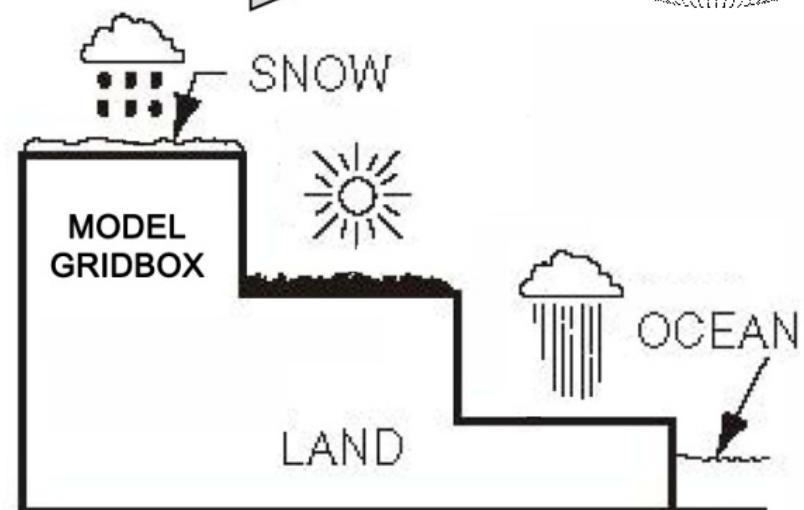
NUMERICAL MODELING

DISCRETIZATION (4D) + PARAMETRIZATION
of subgrid processes



REAL WORLD

Vs.



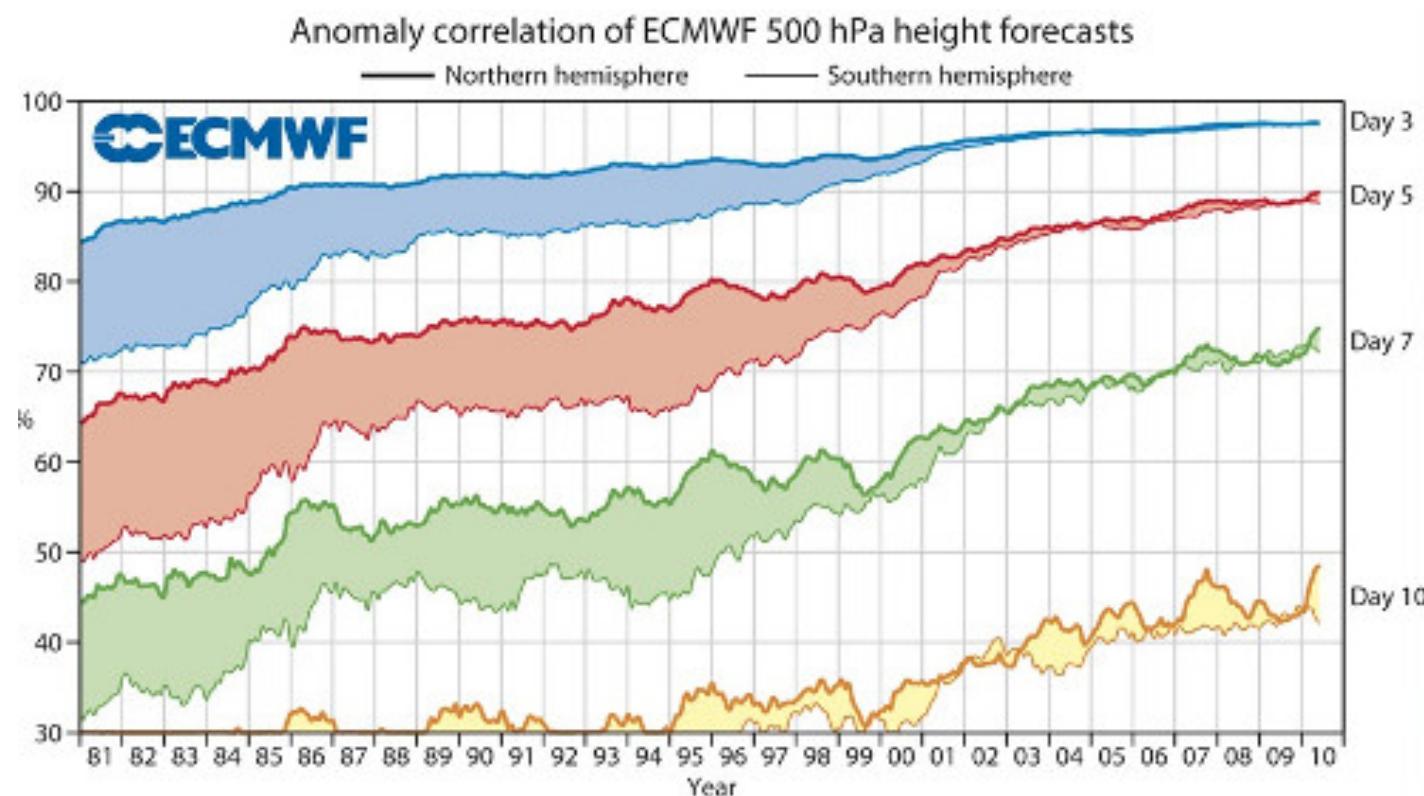
MODEL WORLD

Postproceso / Recalibración

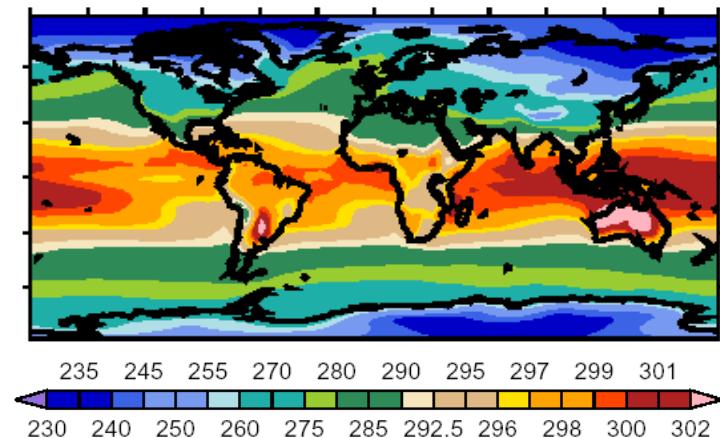
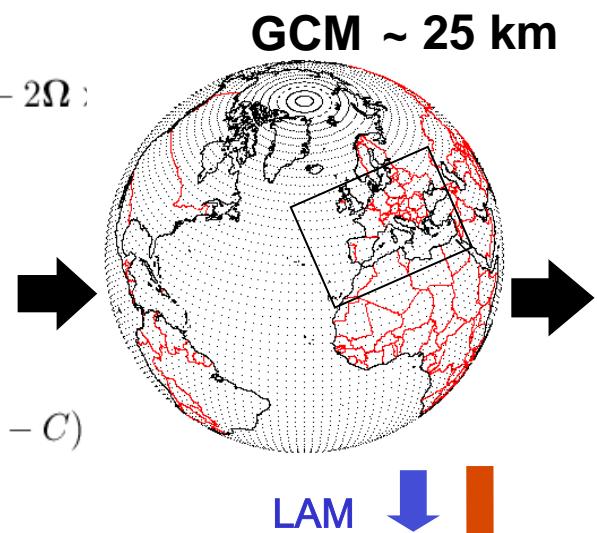
Downscaling estadístico

Los dos modelos globales más populares son:

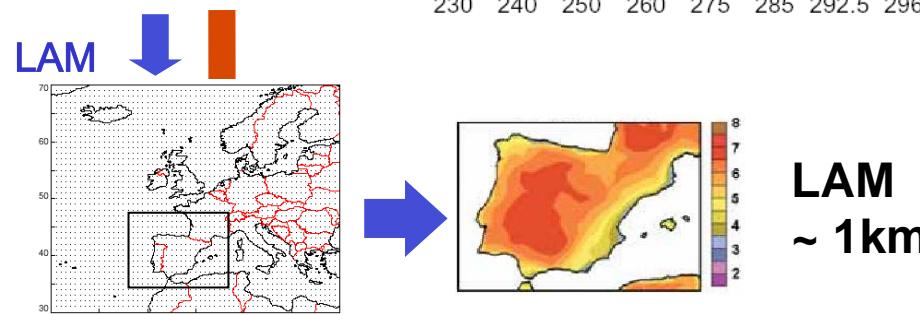
- **El modelo Integrated Forecast System (IFS) del ECMWF de 9 km de resolución.**
- **El modelo Global Forecast System (GFS) del NCEP de 25 km de resolución.**



$$\begin{aligned}\frac{dv}{dt} &= -\alpha \nabla p - \nabla \phi + F - 2\Omega v \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} &= -\nabla \cdot (\rho v) \\ p\alpha &= RT \\ Q &= C_p \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dp}{dt} \\ \frac{\partial \rho q}{\partial t} &= -\nabla \cdot (\rho v q) + \rho(E - C)\end{aligned}$$

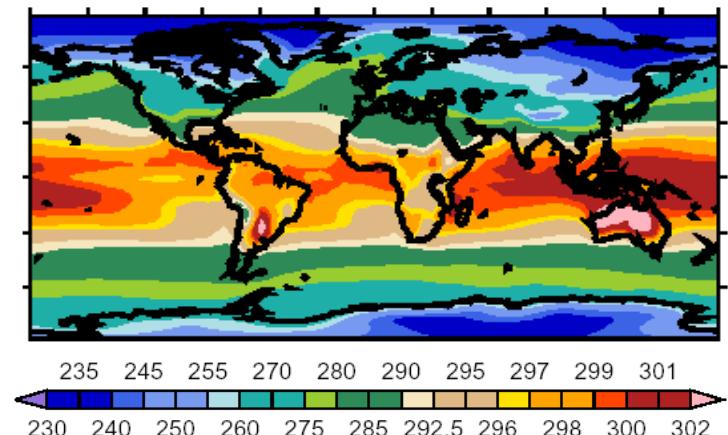
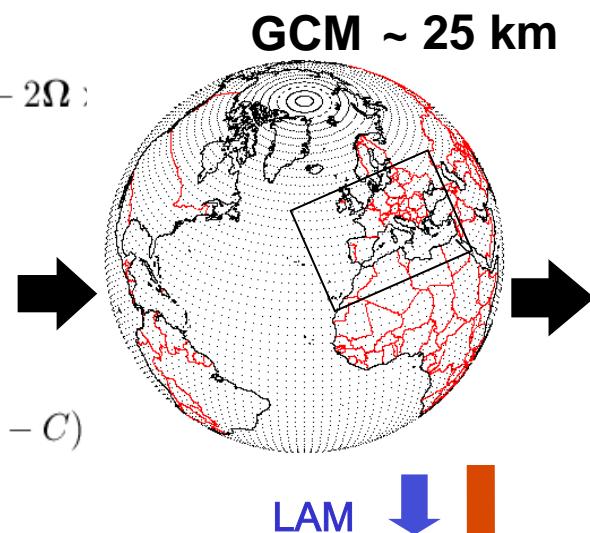


*El downscaling dinámico utiliza Modelos de Área Limitada (**LAM**) forzados por la condiciones de contorno datos por el modelo global.*

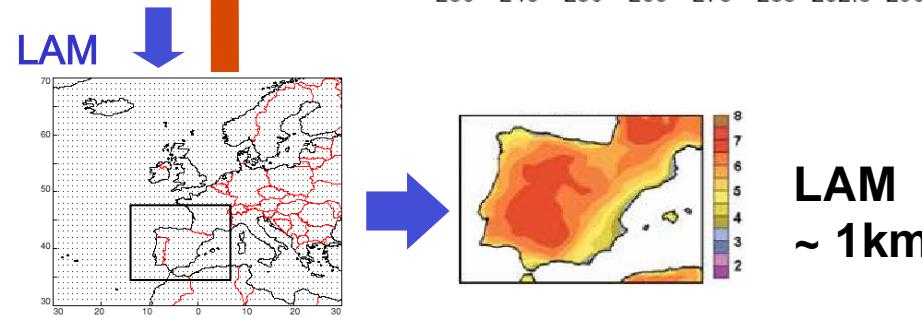


LAM
~ 1km

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= -\alpha \nabla p - \nabla \phi + F - 2\Omega v \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} &= -\nabla \cdot (\rho v) \\ p\alpha &= RT \\ Q &= C_p \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dp}{dt} \\ \frac{\partial \rho q}{\partial t} &= -\nabla \cdot (\rho v q) + \rho(E - C) \end{aligned}$$



El downscaling dinámico utiliza Modelos de Área Limitada (**LAM**) forzados por la condiciones de contorno dadas por el modelo global.

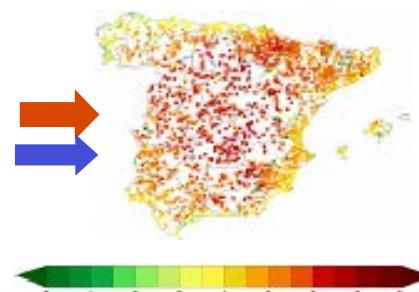


Observaciones históricas

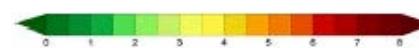


$$Y = f(X; \theta)$$

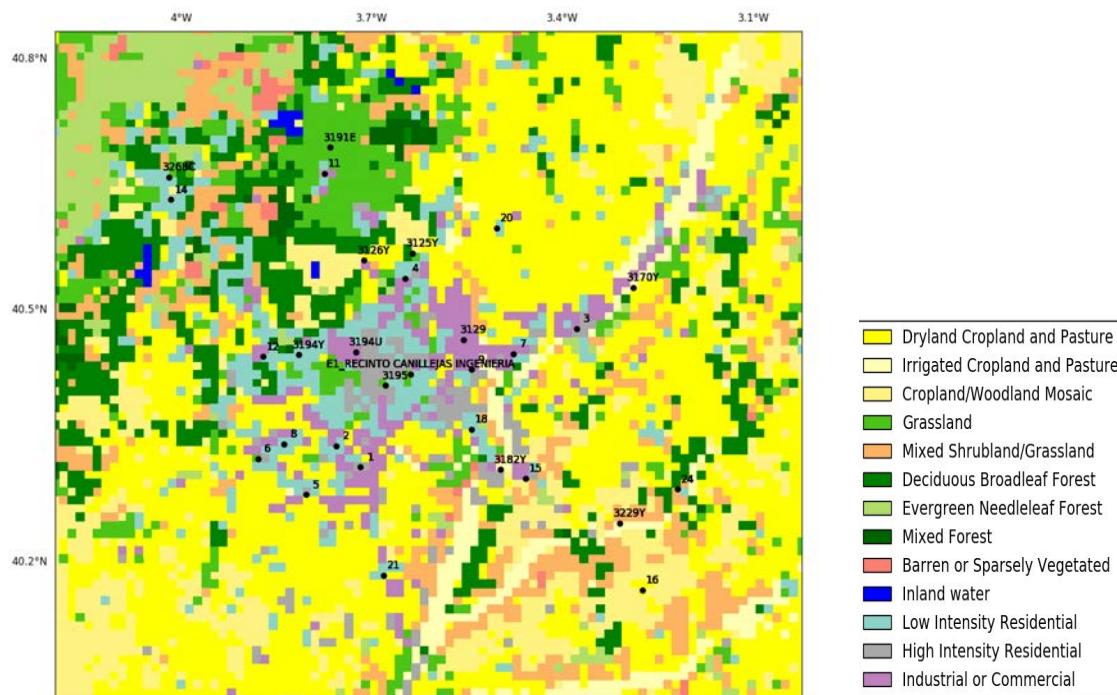
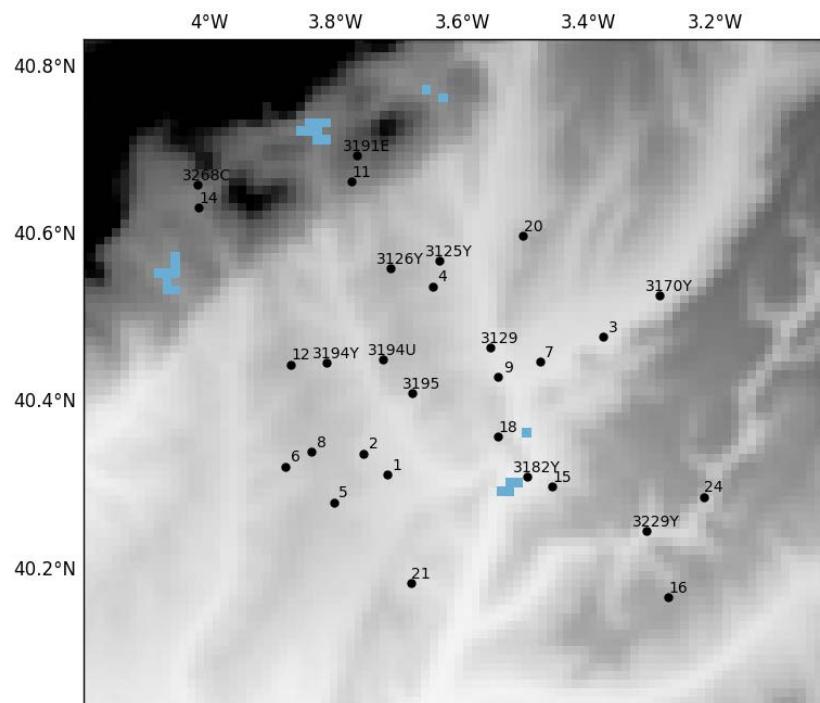
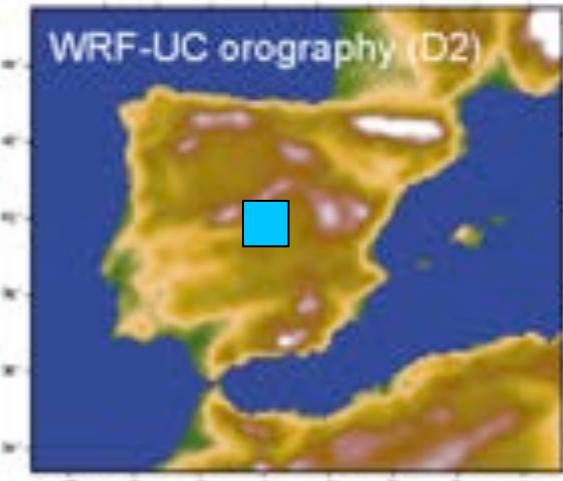
Las técnicas estadísticas se basan en modelos que relacionan predicciones y observaciones



Local

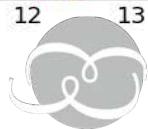
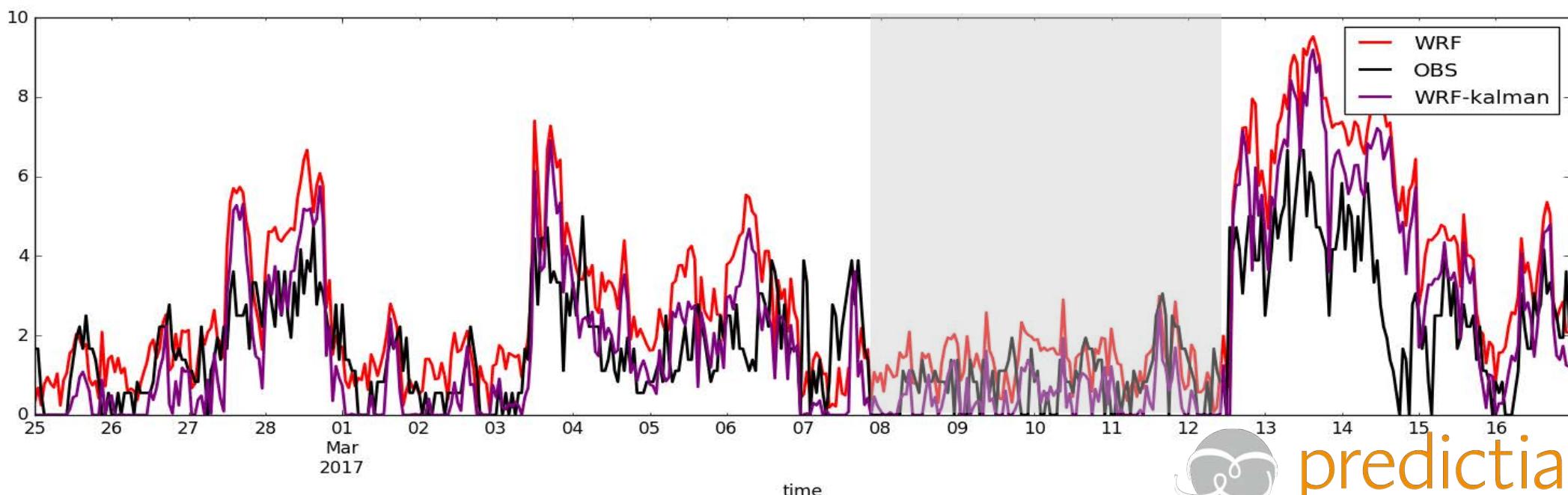
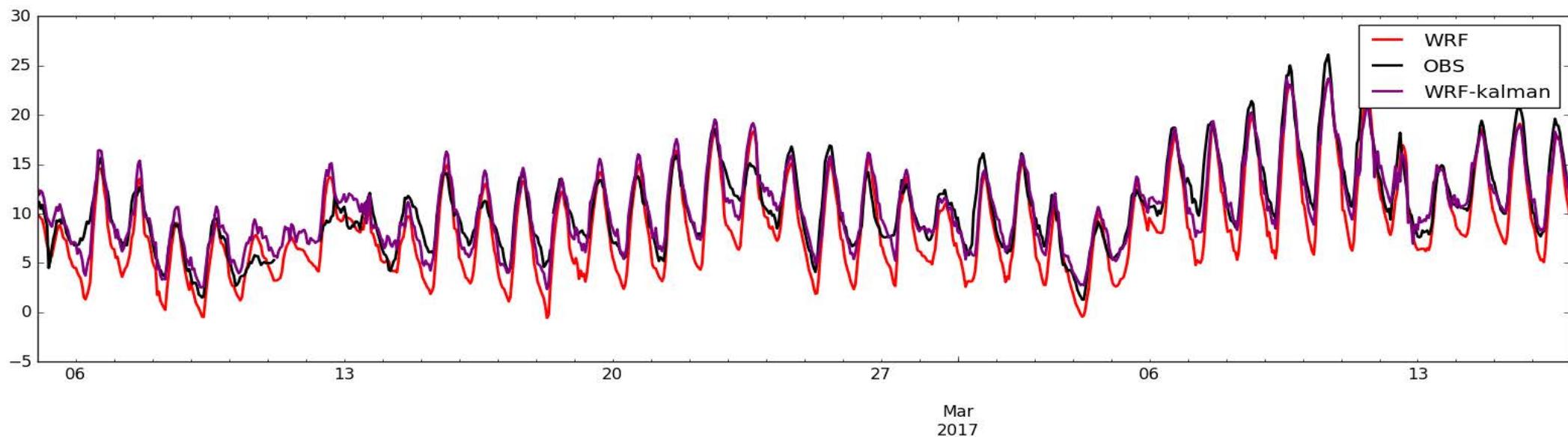


Permiten calibrar las predicciones de los modelos numéricos.



CORINE, en lugar de USGS33

Postproceso: Filtros de Kalman



Temperatura

	MAE	MAE kalman	Added value (%)
3229Y	1.87	1.60	14.40
3126Y	1.58	1.47	6.91
3194Y	2.01	1.81	10.36
3182Y	1.71	1.52	11.52
3194U	1.74	1.57	9.81
3268C	1.87	1.72	8.18
3	1.24	1.14	8.68
4	1.35	1.10	18.09
7	1.36	1.22	10.33
9	1.38	1.32	4.21
15	1.49	1.41	5.53
18	1.11	1.04	5.75
1	1.03	0.98	4.22
2	1.31	1.17	11.07
5	1.16	0.99	14.93
6	1.10	1.08	2.52
8	1.23	1.02	17.25
11	1.12	0.95	14.90
12	1.19	0.98	17.88
20	1.18	1.10	6.88
21	1.12	1.06	5.67
14	1.80	1.66	8.12
24	1.34	1.12	16.18
16	1.09	1.09	-0.01
3129	1.63	1.50	7.93
3195	1.29	0.95	25.99
3191E	1.12	0.98	13.26

Viento

	MAE	MAE Kalman	Added value (%)
3126Y	1.74	0.86	50.57
3182Y	1.30	0.99	23.85
3	0.84	0.77	8.33
4	1.08	0.83	23.15
7	0.85	0.79	7.06
9	0.98	0.72	26.53
15	0.94	0.85	9.57
18	1.32	0.88	33.33
1	1.40	0.81	42.14
2	1.22	0.79	35.25
5	1.07	1.00	6.54
6	1.49	0.97	34.90
8	1.18	0.92	22.03
11	1.29	0.90	30.23
12	1.37	0.91	33.58
20	1.35	1.04	22.96
21	1.00	0.78	22.00
14	1.07	0.98	8.41
24	1.58	1.42	10.13
16	1.54	0.88	42.86
3129	1.15	1.02	11.30
3195	1.49	0.84	43.62
3191E	1.24	1.09	12.10

RESOLUCIÓN 1

900€ / mes

Tamaño: 240Km x 240Km

Resolución de 3.3Km

Anidado a una de las salidas diarias del GFS

72 horas de simulación de hasta 8 variables
del modelo

Simulación de años históricos por 600€/mes
simulado

CONTRATAR

RESOLUCIÓN 2

1500€ / mes

Tamaño: 80Km x 80Km anidado

Resolución 1.1Km

Anidado a una de las salidas diarias del GFS

72 horas de simulación de hasta 8 variables del
modelo

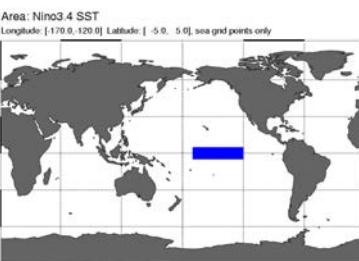
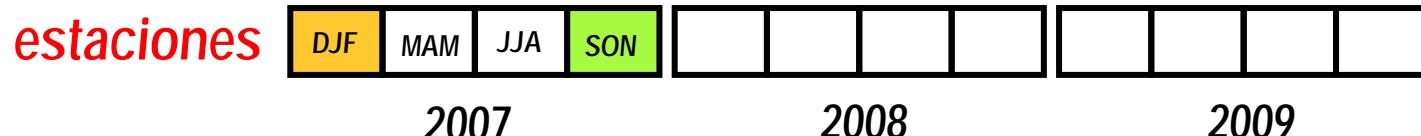
Simulación de años históricos por 1000€/mes
simulado

CONTRATAR

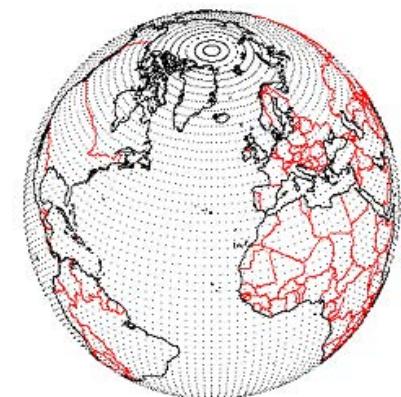
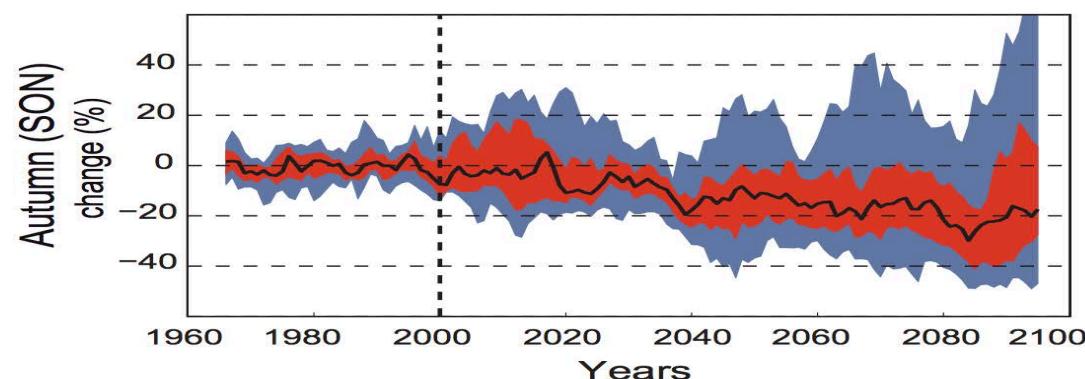
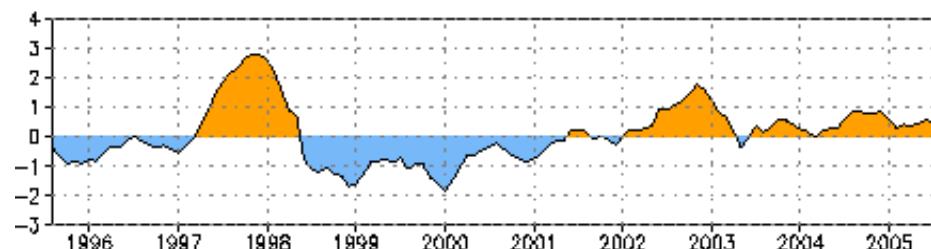


predictia
INTELLIGENT DATA SOLUTIONS

Otros Tipos de Predicciones



El Niño es el fenómeno oceánico más significativo a escalas de tiempo inter-anual:
→ Fuente de predecibilidad



Conclusiones

El estado actual de la modelización numérica y los modelos y productos comerciales existentes proporcionan predicciones a 1km de resolución (con un horizonte de tres días y una resolución temporal horaria) en regiones extensas (~ 100 x 100 km).

Estas predicciones tienen que ser calibradas con datos históricos observados para eliminar los sesgos sistemáticos de las mismas.