

# Canvi climàtic: la modelització dels fenòmens

observats

**Pedro Jiménez Guerrero**

[pedro.jimenez@bsc.es](mailto:pedro.jimenez@bsc.es)

Barcelona Supercomputing Center-Centro Nacional de Supercomputación

Departamento de Ciencias de la Tierra, Barcelona

Director: José M. Baldasano ([jose.baldasano@bsc.es](mailto:jose.baldasano@bsc.es))

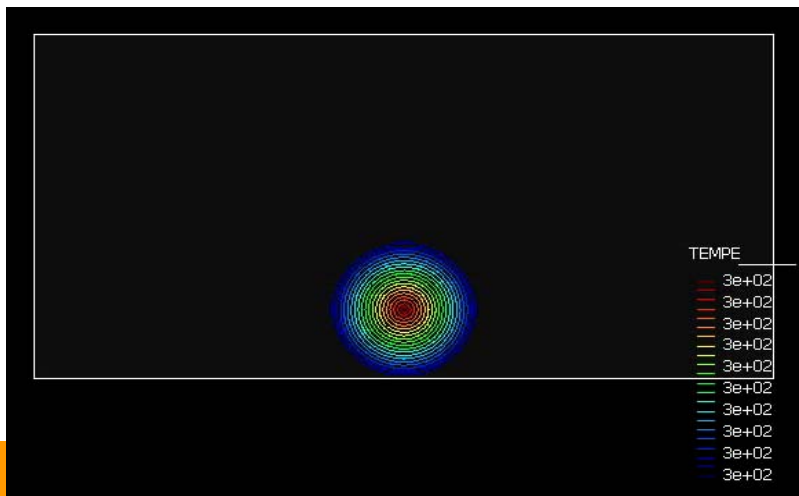


Departamento de Ciencias de la Tierra,  
Barcelona Supercomputing Center-  
Centro Nacional de Supercomputación  
(BSC-CNS)

Contacto: jose.baldasano@bsc.es  
URL: <http://www.bsc.es>

La investigación está relacionada con:  
modelización de calidad del aire  
(fotoquímica y aerosoles) y meteorológica  
de alta resolución; modelización climática  
global y regional (retroalimentaciones  
climáticas con calidad del aire y  
forzamiento radiativo) y modelización  
global y regional de polvo mineral.

Ciencias de la Tierra Computacionales:

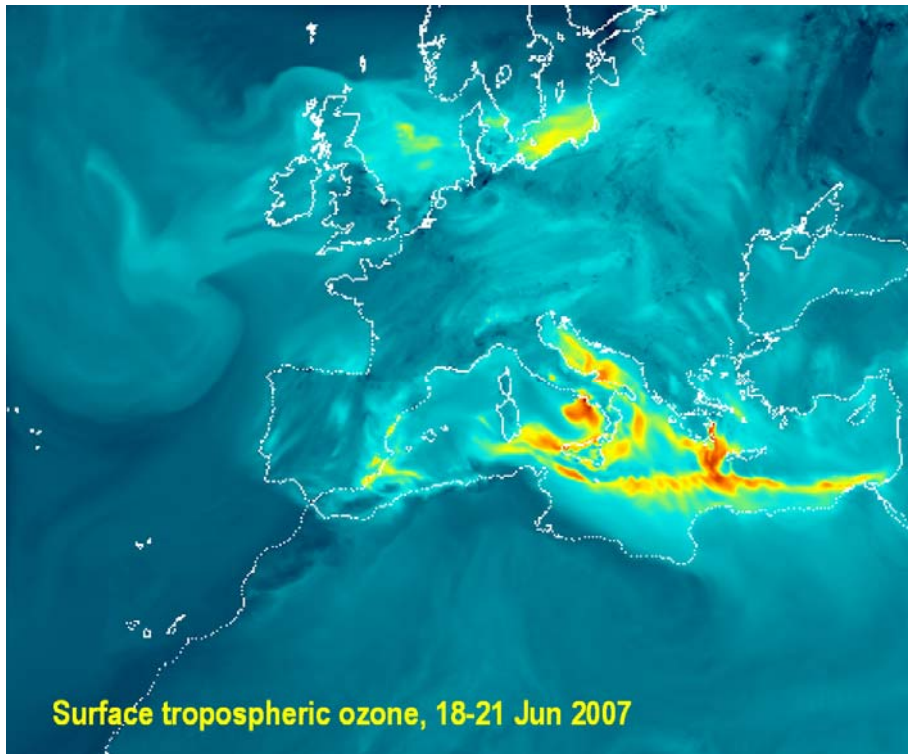
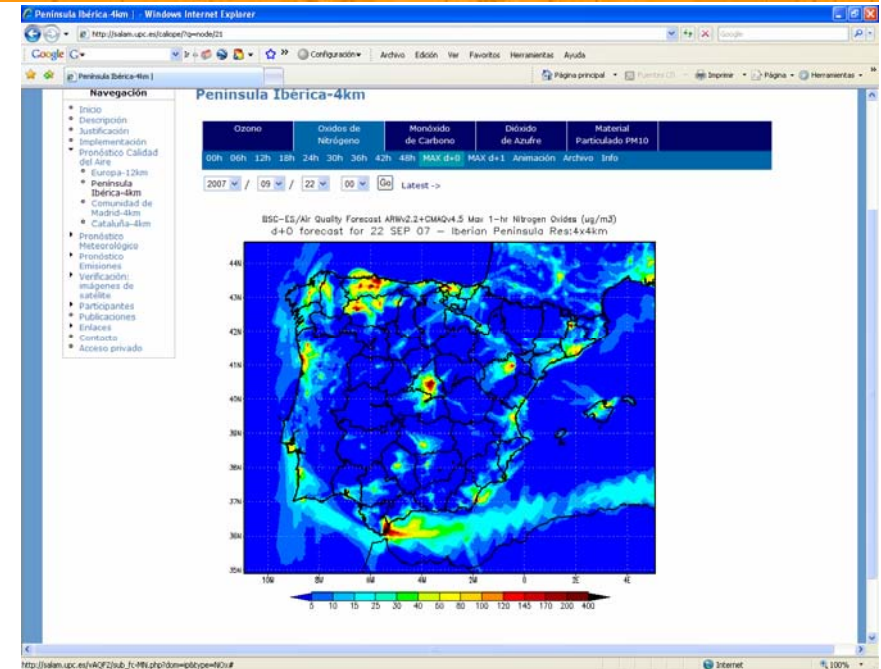


- ✓ Estudios de rendimiento de los núcleos WRF usando el software Paraver desarrollado en el BSC-CNS.
- ✓ **Etapas inicial:** aplicación de los métodos numéricos basados en elementos finitos a modelos atmosféricos para su implementación en infraestructuras de supercomputación.



## Modelización de calidad del aire y meteorológica:

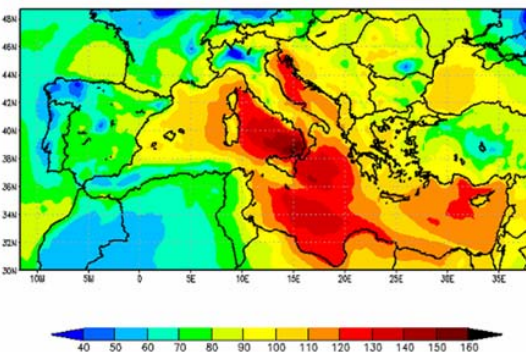
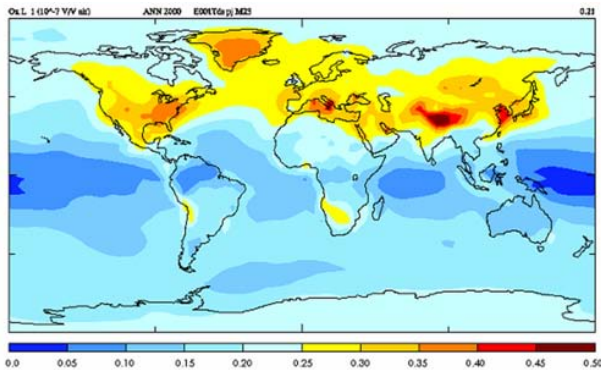
- ✓ El grupo ofrece un servicio **pan-Europeo de modelización y evaluación de calidad del aire** para usuarios finales con alta resolución espacio-temporal del sistema de modelización.
- ✓ Pronósticos operativos diarios de calidad del aire y meteorológicos (resolución 12 km para Europa y 4 km para la península Ibérica) (<http://www.bsc.es/caliope>).



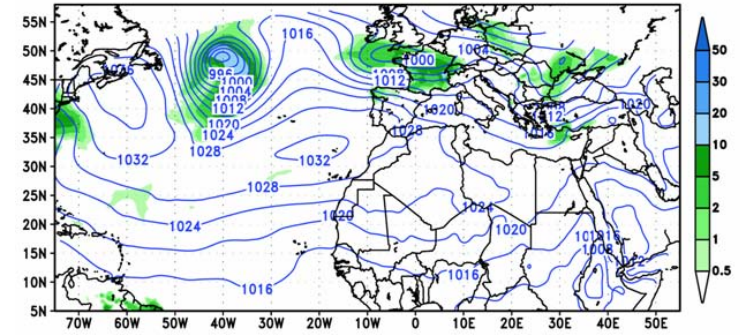
- ✓ Modelización de alta resolución para Europa y la península Ibérica para describir la **dinámica de la contaminación atmosférica** y las relaciones entre las emisiones y los procesos físico-químicos.
- ✓ Desarrollo del modelo de emisiones **HERMES** para España (resolución 1 km y 1 hr).
  - ✓ Modelo WRF usado para episodios severos meteorológicos (e.g. tormenta extra-tropical DELTA modelizada con alta resolución, 1 km).

## Polvo mineral:

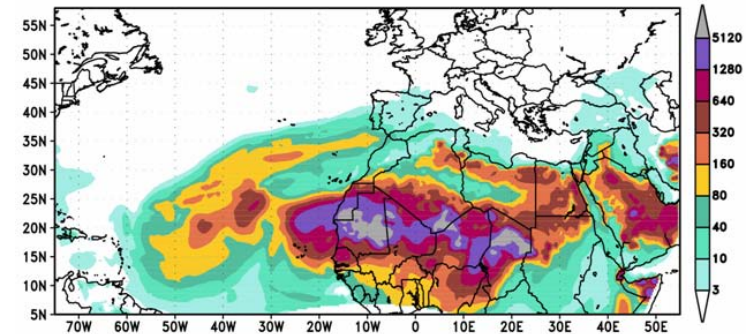
- ✓ Pronósticos operativos diarios de polvo para las regiones Euro-Mediterránea y Este Asiático basados en DREAM (<http://www.bsc.es/projects/earthscience/DREAM>).
- ✓ **Lideres de la iniciativa** del WMO para crear un centro regional para Sand and Dust Storm Warning System.
- ✓ **Etapa inicial** del desarrollo de un modelo de polvo global-regional /hidrostático-no hidrostático basado en el UMO.



12h acc. Precipitation and MSL Pressure  
12h reanalysis for 12z 14 FEB 97



BSC/DREAM Lowest Model Level Dust Concentration (ug/m\*\*3)  
12h reanalysis for 12z 14 FEB 97



## Modelización climática:

- ✓ **Modelización climática global** con los modelos NASA GISS ModelE, NCAR WACCM y EC-EARTH en MareNostrum.
- ✓ Implementación de un **modelo regional de clima (RCM)** basado en WRF/CMAQ/DREAM para el Mediterráneo y Europa (resolución 20 km) para simular el impacto regional del cambio climático en la tendencia de episodios extremos.

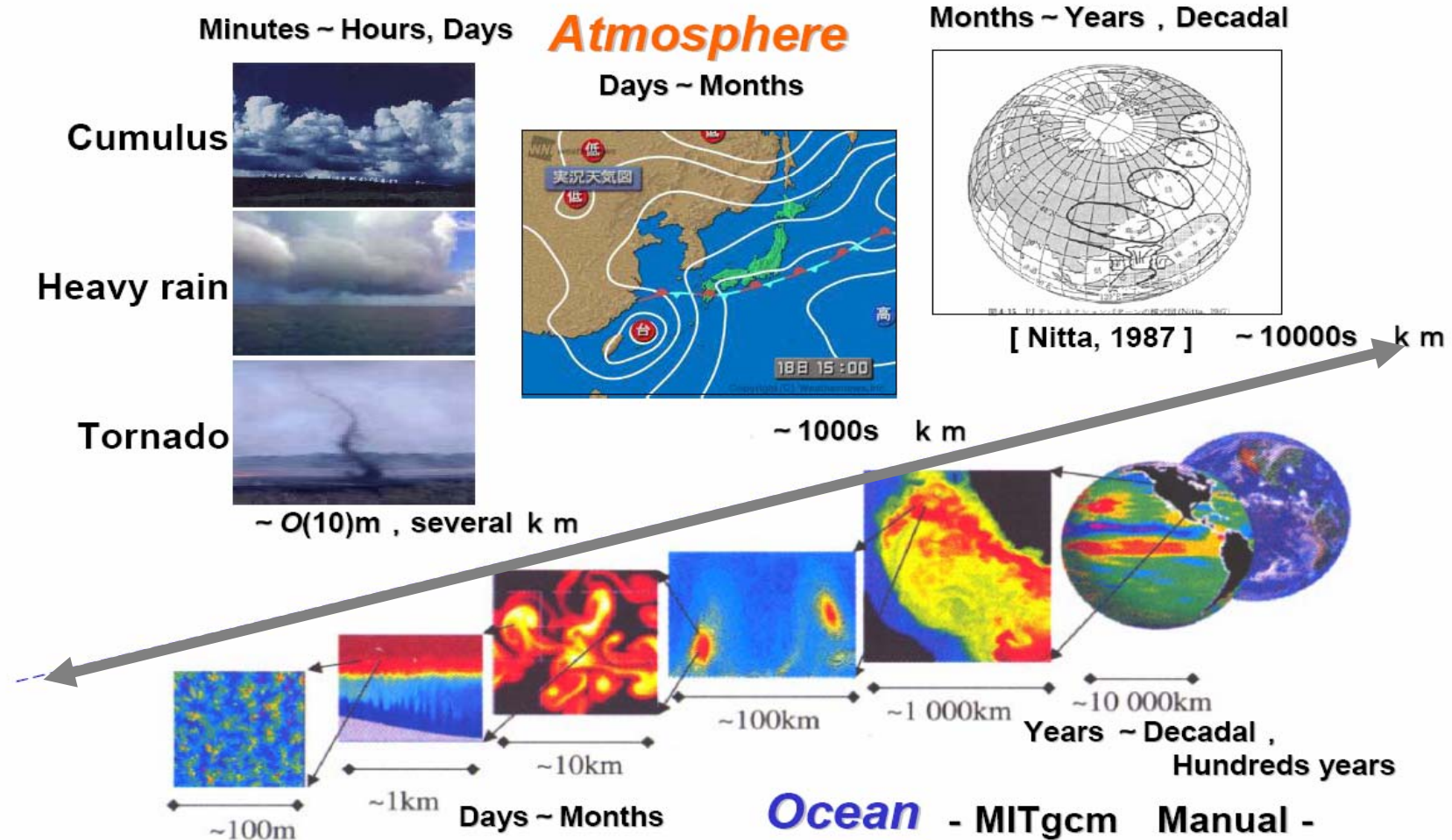


## Índice

1. Modelos climáticos: formulación y necesidades de supercomputación
2. Modelos de circulación globales (GCM): aplicaciones de los modelos GISS ModelE de la NASA, WACCM del NCAR y EC-EARTH del ECMWF en el supercomputador MareNostrum
  1. HINDCAST Y EVALUACIÓN PASADA (1957-2002)
  2. ESCENARIOS FUTUROS
3. Modelos regionales de clima (RCM): ¿qué información podemos obtener de ellos comparado con los GCM?  
WRF/CMAQ aplicados a estudios de clima regionales
4. Aplicaciones de alta resolución de modelización atmosférica implementados en supercomputadores: el proyecto CALIOPE

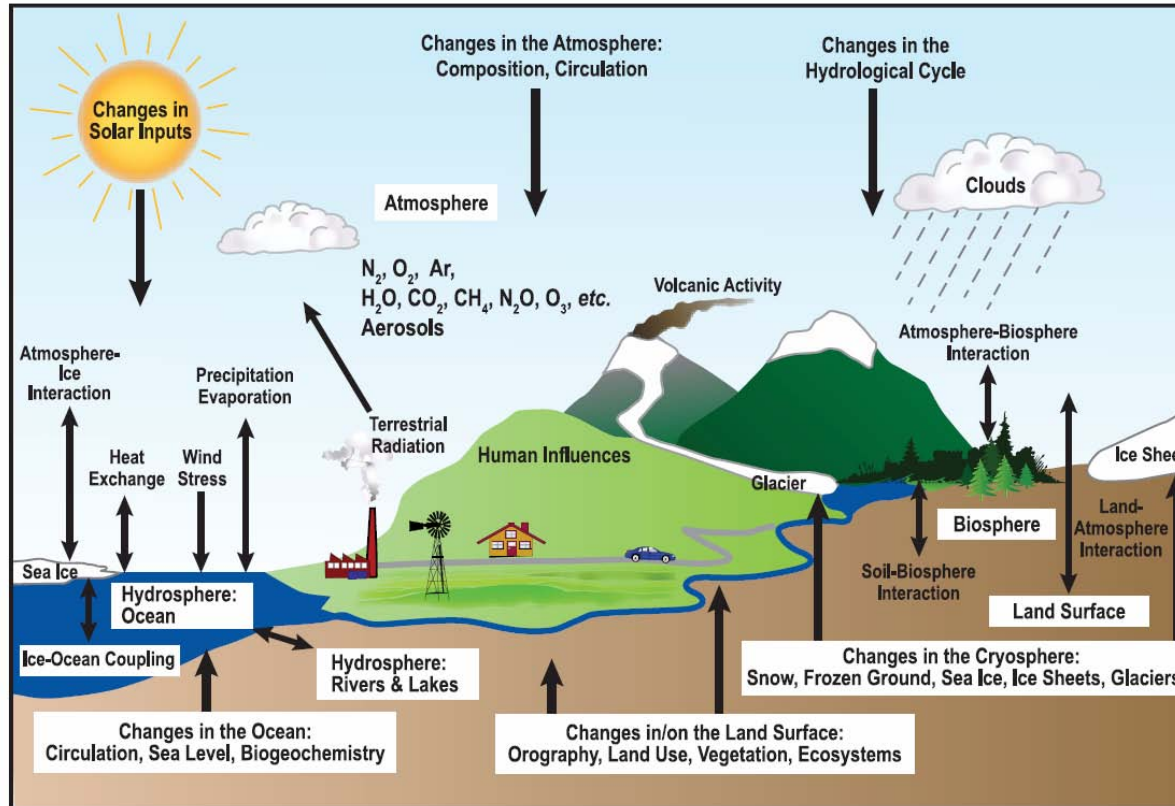


## Escala espaciotemporal del sistema terrestre (Earth System)





Source: IPCC AR4, 2007.



FAQ 1.2, Figure 1. Schematic view of the components of the climate system, their processes and interactions.

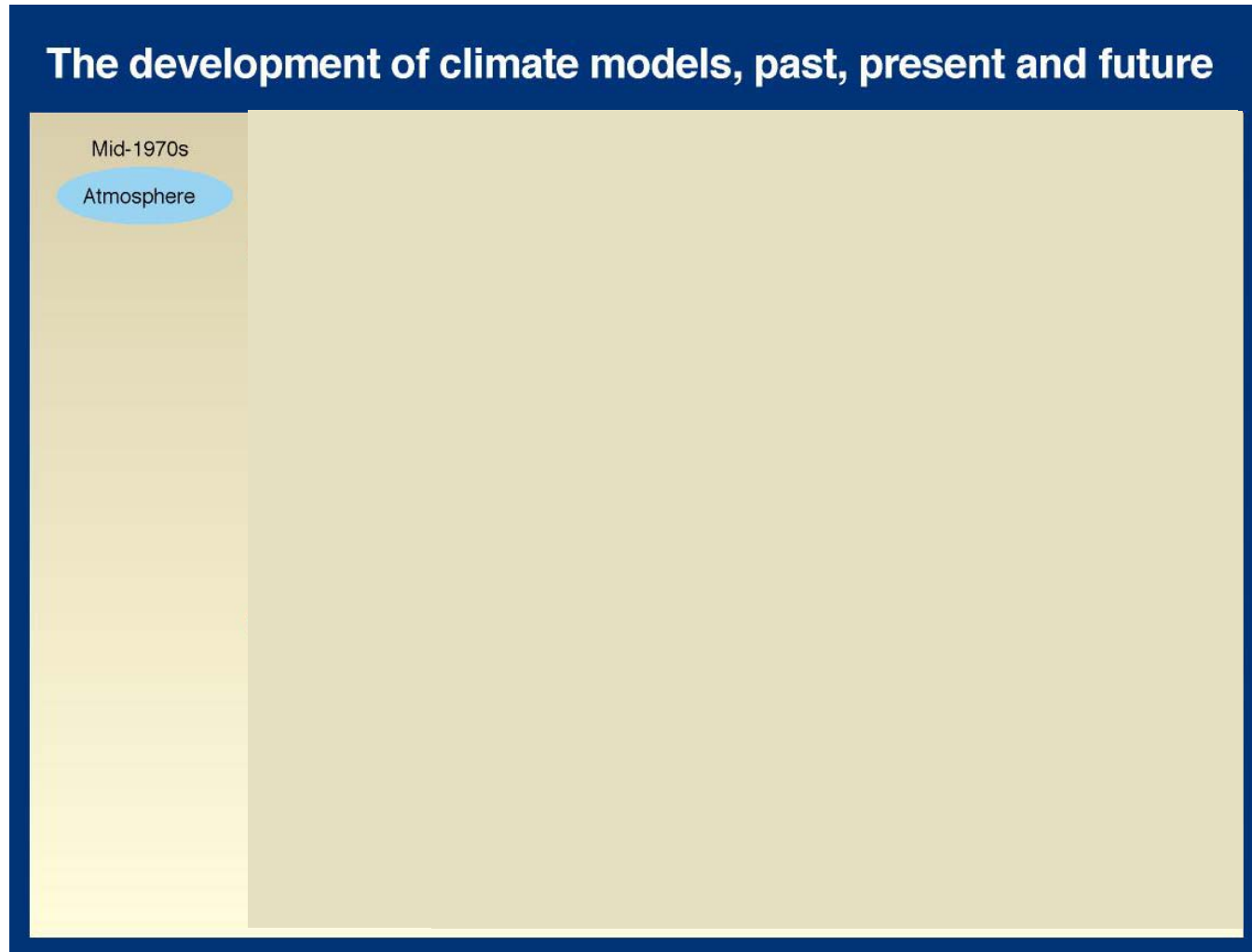
## SISTEMA CLIMÁTICO:

- ✓ **ATMÓSFERA:** circulación, transferencia de calor hacia y desde el sol, formación de nubes y flujos reactivos atmosféricos que determinan la composición química.
- ✓ **OCÉANO:** interacción del océano y la atmósfera a través de intercambio de momento, calor y agua. El océano es un sumidero de calor y un medio de transporte de energía de continente a continente.
- ✓ **TIERRA:** vegetación y suelo juegan un papel importante en términos de dinámica atmosférica y transporte de compuestos contaminantes.

- ✓ **CRIOSFERA:** nieve, hielo e influencia mar-hielo en las circulaciones a gran escala.
- ✓ **BIOSFERA:** la vida en la tierra y el agua tiene un importante impacto en los ciclos de C y N.



## Situación actual: modelos de circulación globales (GCM)



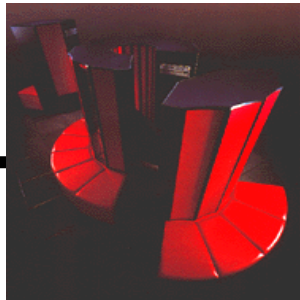




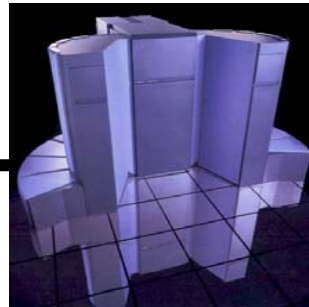
## Historia de supercomputadores en ECMWF



1979: Cray 1-A  
1 cpu (80 MHz)  
Peak 160Mf



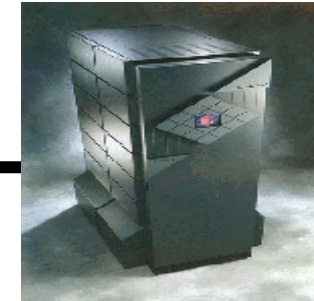
1986: Cray XMP-48  
4 cpu (112 MHz)  
Peak 880Mf



1990: Cray Y-MP 8/8-64  
8 cpu (166 MHz)



1992: Cray C90  
16 cpu  
Peak 16 Gf



1994: Cray T3D  
128 cpu



1996: Fujitsu VPP700  
116 cpu  
Peak 255 Gf



1999: Fujitsu VPP5000  
100 cpu (80 MHz)  
Peak 960Gf



2002: 2 IBM Cluster 1600  
30 p690 SMP  
Upgrade: 70 p690+



2006: 2 IBM Cluster  
310 p5-575  
Peak 38 Tf

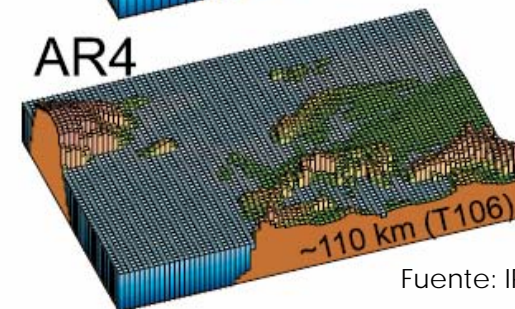
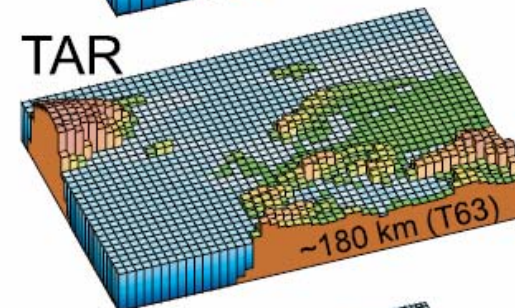
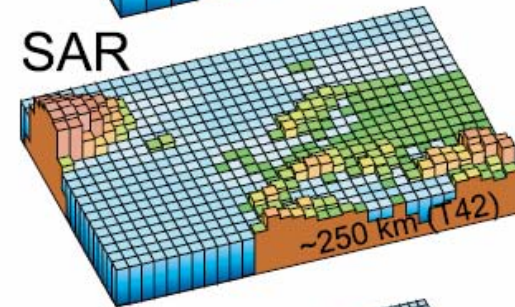
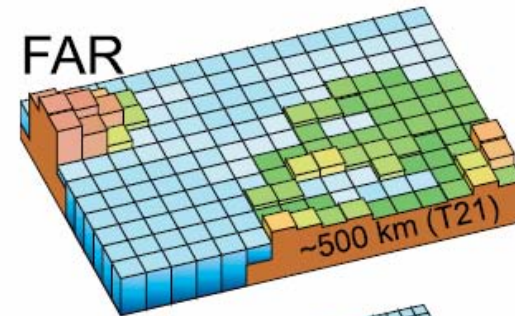
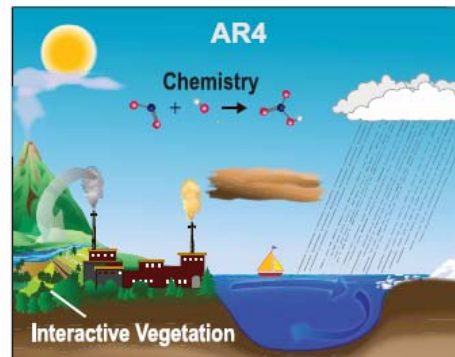
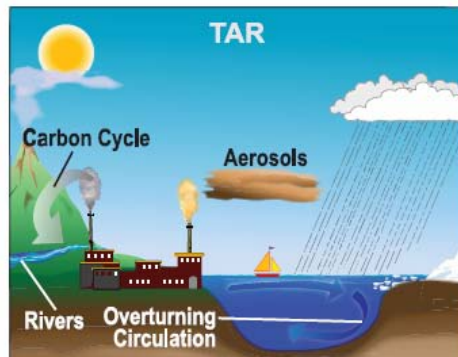
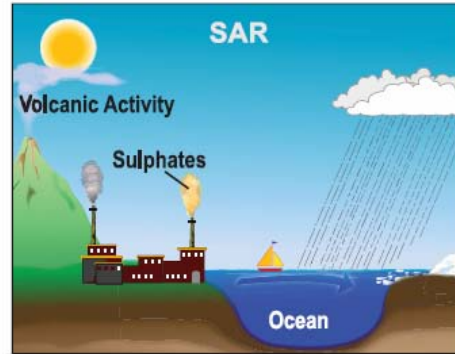
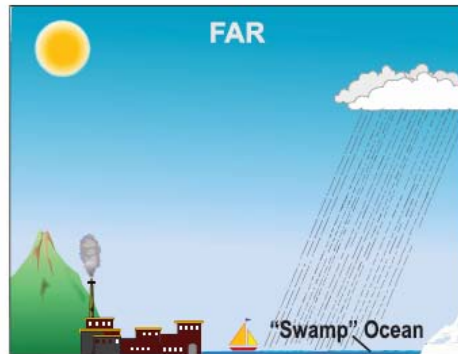
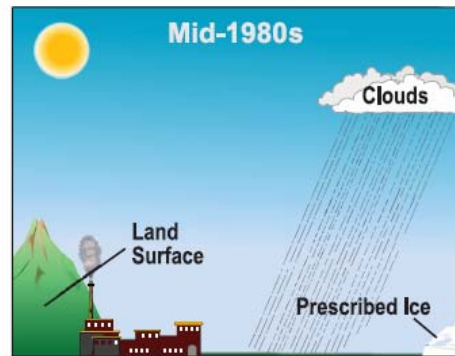
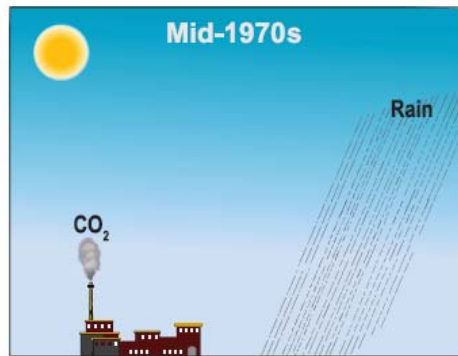


Figure 1.2. The complexity of climate models has increased over the last few decades. The additional physics incorporated in the models are shown pictorially by the different features of the modelled world.

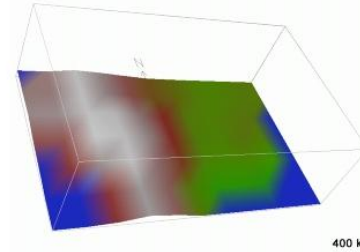
Fuente: IPCC AR4, 2007.



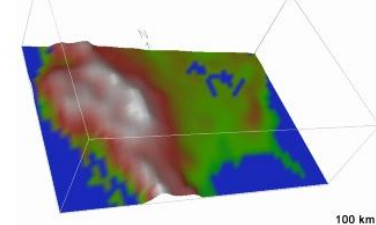
- ✓ Modelos climáticos actuales:
  - Resolución global –  $4^\circ \times 4.5^\circ$  a  $2^\circ \times 2.5^\circ$
  - Aplicaciones regionales – 50 to 20 km

- ✓ Incremento de las resoluciones de las actuales simulaciones climáticas
  - Hasta  $1^\circ$ - $0.5^\circ$  grados para simulaciones globales para poder comparar con los resultados actuales.
  - Capacidad para aumentar la resolución de las simulaciones climáticas:
    - Mejorar las simulaciones de los procesos mesoscales en regiones con complejidad en los forzamientos superficiales (topografía compleja, heterogeneidad en los usos del suelo, etc.)
    - Tendencia de episodios extremos (precipitaciones torrenciales, sequías, etc.)

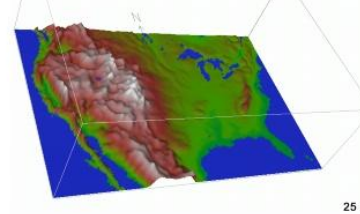
Climate Models circa early 1990s



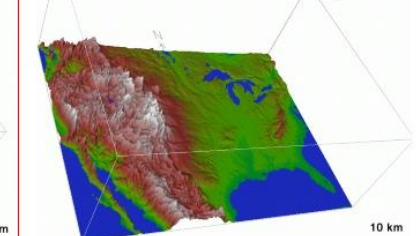
Global coupled climate models in 2006



Regional models



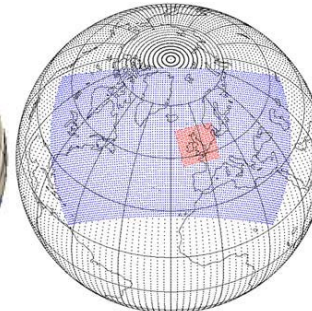
Global models in 5-10 yrs



Optimistic view on model-development

- ✓ Para ello, es necesario incrementar los recursos actuales de supercomputación y mejorar los códigos para su implementación en estas grandes infraestructuras.

Modelo global



Modelo de área limitada  
 (azul, rojo)

## Modelos de circulación globales (GCM)

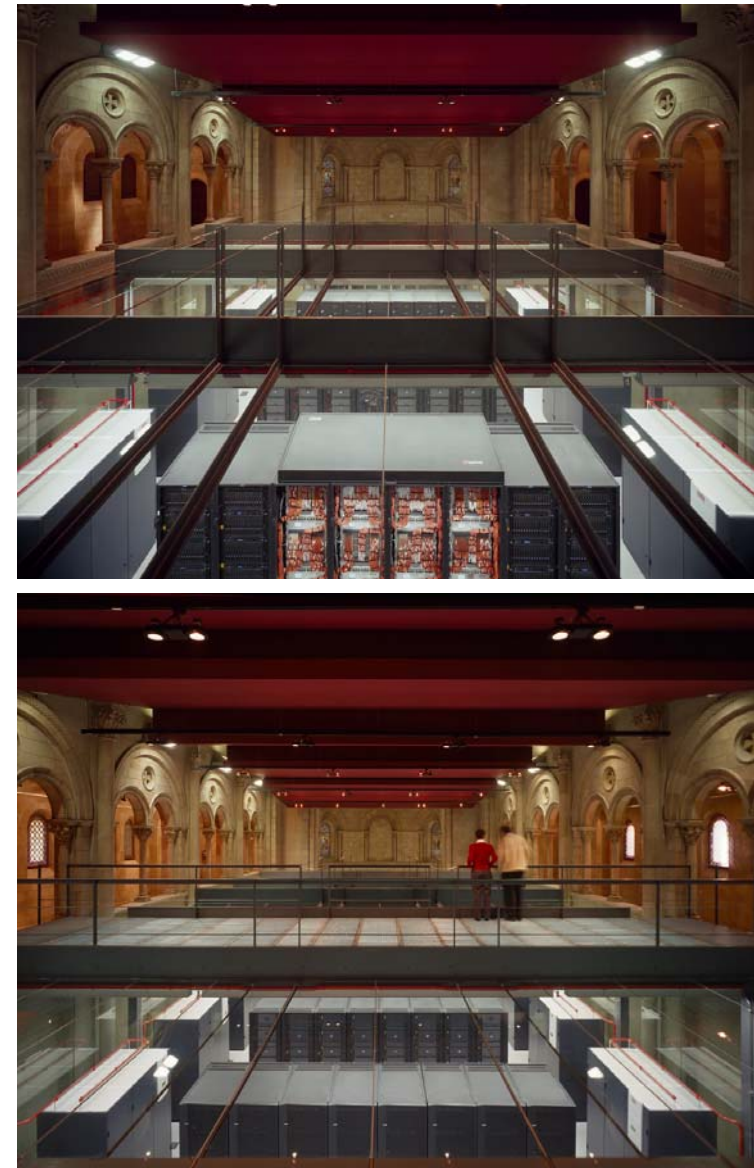
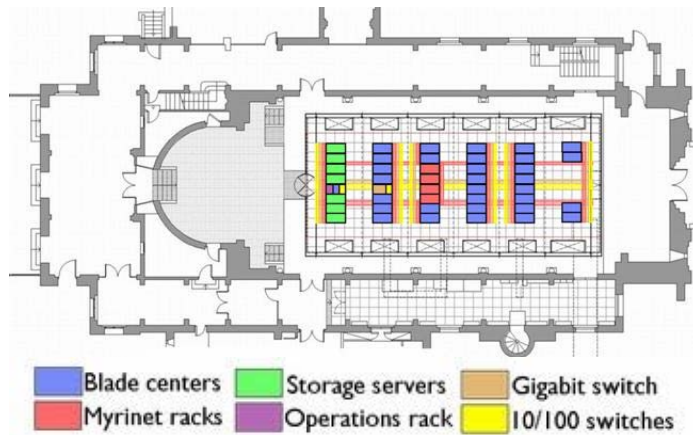
Algunos modelos construidos bajo la filosofía “modelización por componentes (modeling-by-components)”

- ✓ *Goddard Institute for Space Studies (GISS) GCM, NASA, U.S.A.*
- ✓ *Whole-Atmosphere Community Climate Model (WACCM), National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder, Colorado, U.S.A.*
- ✓ *EC-EARTH, ECMWF and consortium, Europe.*
- ✓ *Hamburg General Circulation Model, version 5 (ECHAM5), Max Planck Institute, Hamburg, Germany*
- ✓ *Hadley Centre Coupled Model, version 3 (HadCM3), Met Office, Reading, UK*
- ✓ *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Princeton (CDG1), U.S.A.*

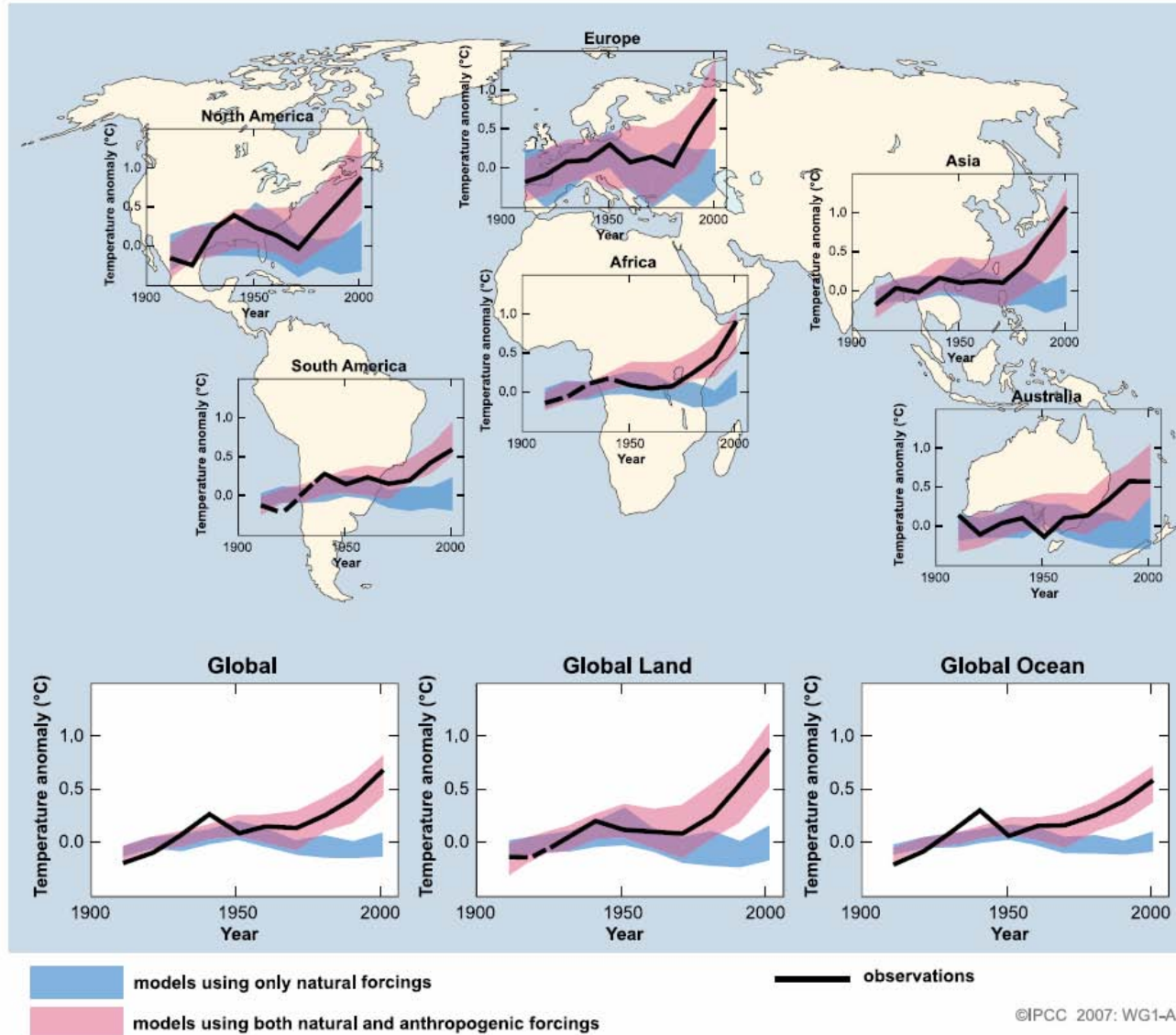


## Supercomputador MareNostrum

- ✓ 10240 procesadores IBM Power PC 970MP a 2.3 GHz (2560 JS21 blades).
- ✓ 20 TB memoria principal.
- ✓ 94,21 Tflops (rendimiento pico).
- ✓ 280 + 90 TB disco.
- ✓ Redes de Interconexión:
  - Myrinet
  - Gigabit
- ✓ Linux cluster (SuSe).
- ✓ Diskless network support.



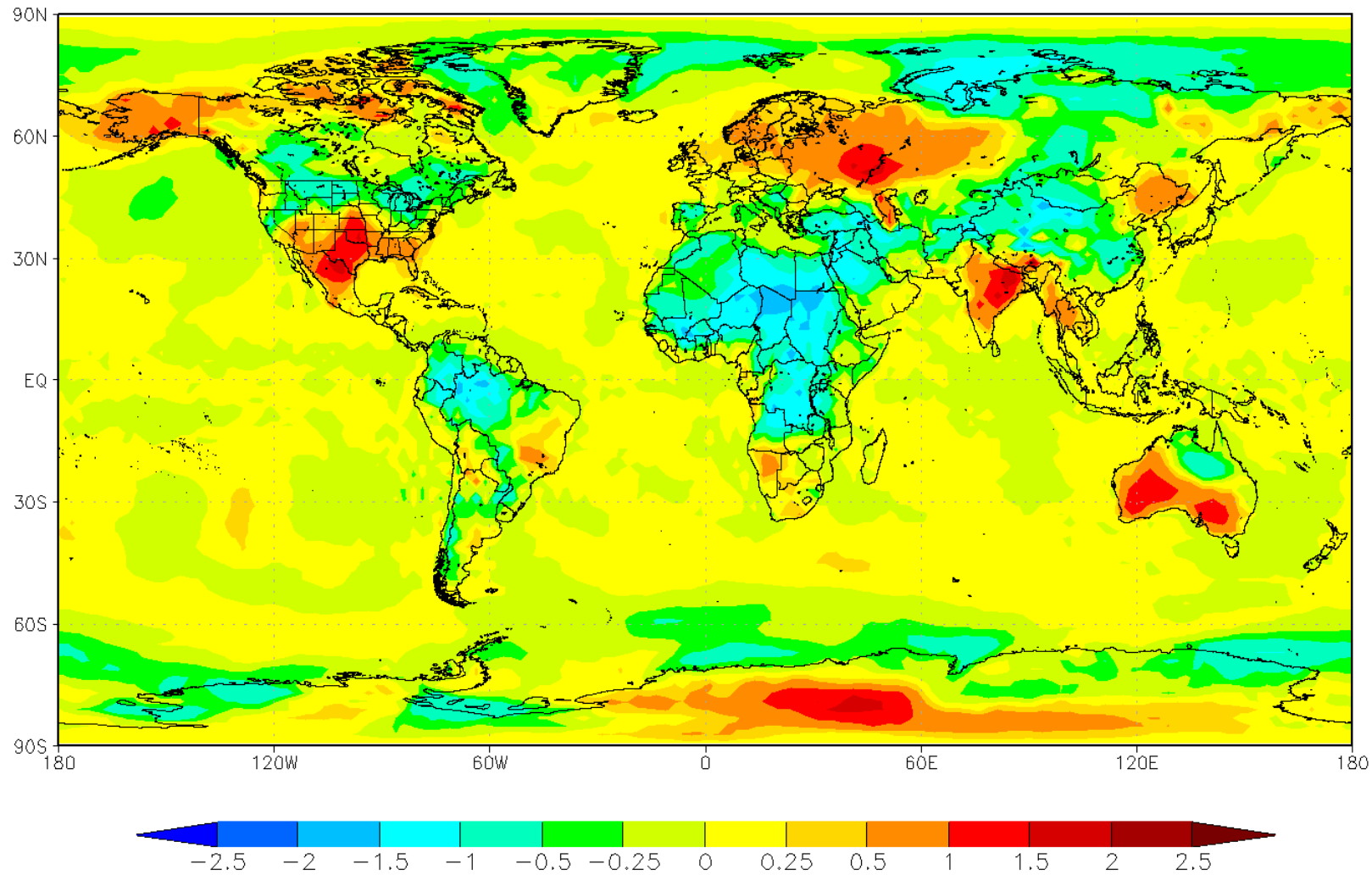
## GLOBAL AND CONTINENTAL TEMPERATURE CHANGE







GISS ModelE at BSC-CNS Surface Temperature Anomaly C (1951-1980)  
Year 1950, BAU scenario - Global Res:2x2.5

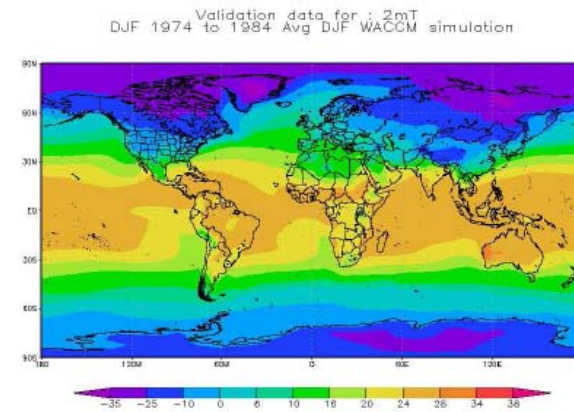
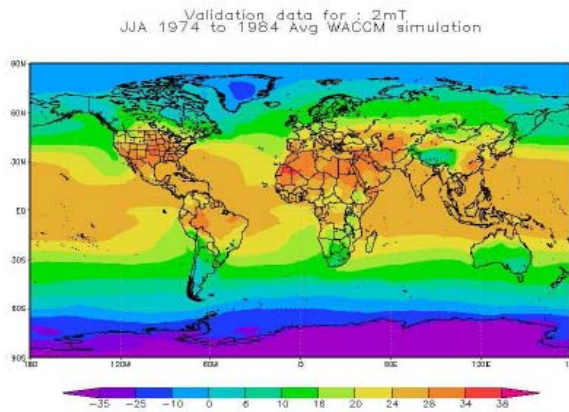
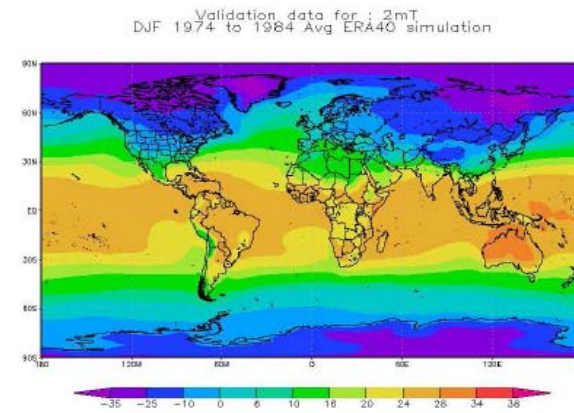
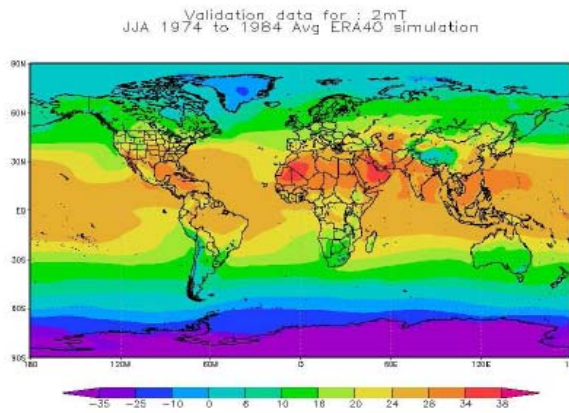
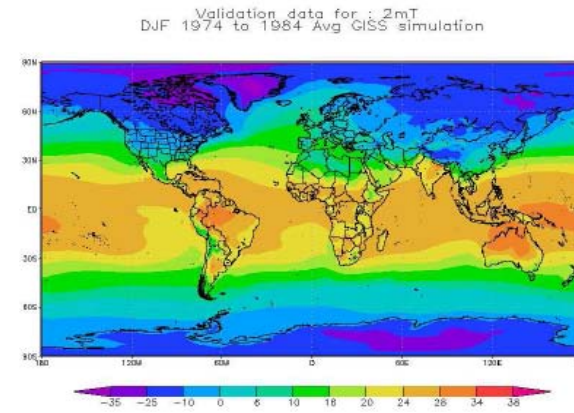
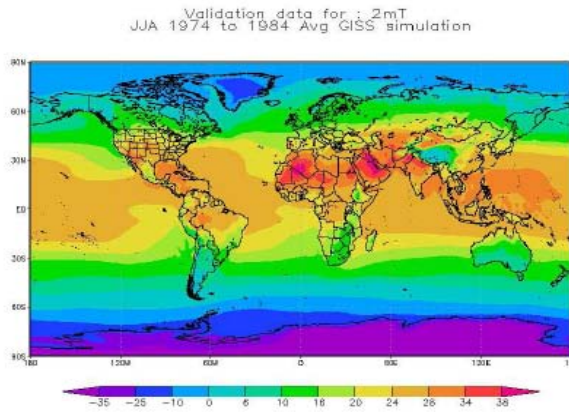




## 2mT (°C)

### JJA

### DJF



## GISS

## Reanálisis ERA40

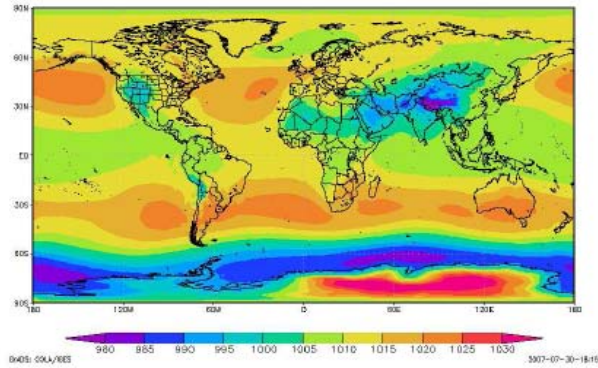
## WACCM



## Presión (hPa)

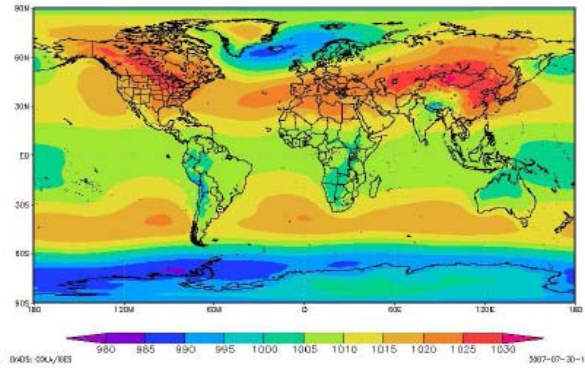
**JJA**

Validation for: SLP [hPa]  
 JJA 1974 to 1984 Avg GISS simulation



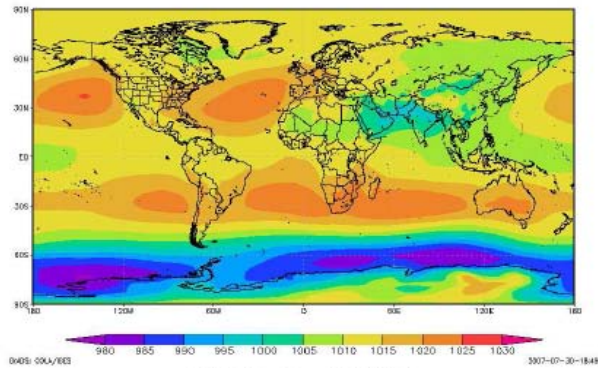
**DJF**

Validation for: SLP [hPa]  
 DJF 1974 to 1984 Avg GISS simulation

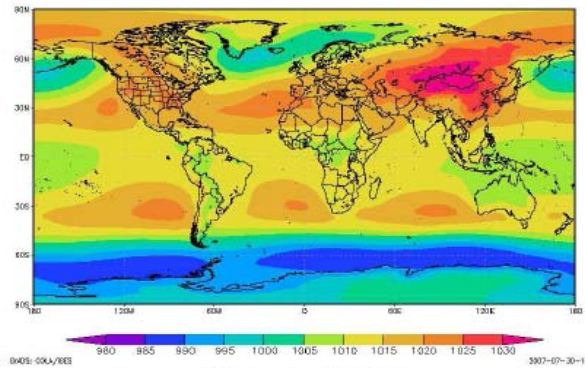


**GISS**

Validation for: SLP [hPa]  
 JJA 1974 to 1984 Avg ERA40 simulation

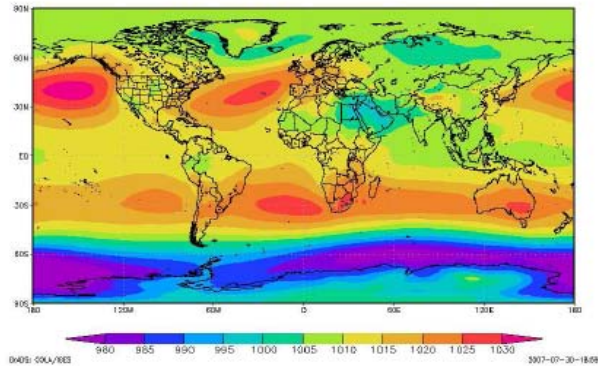


Validation for: SLP [hPa]  
 DJF 1974 to 1984 Avg ERA40 simulation

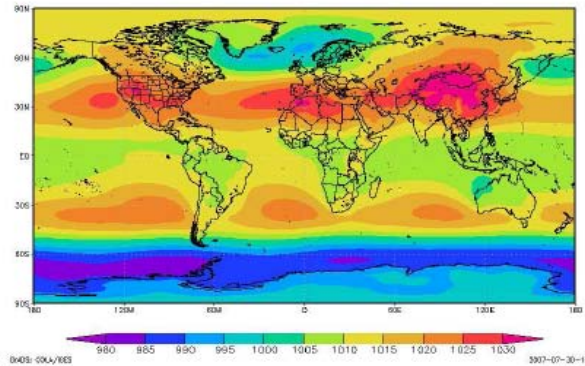


**Reanálisis  
ERA40**

Validation for: SLP [hPa]  
 JJA 1974 to 1984 Avg WACCM simulation



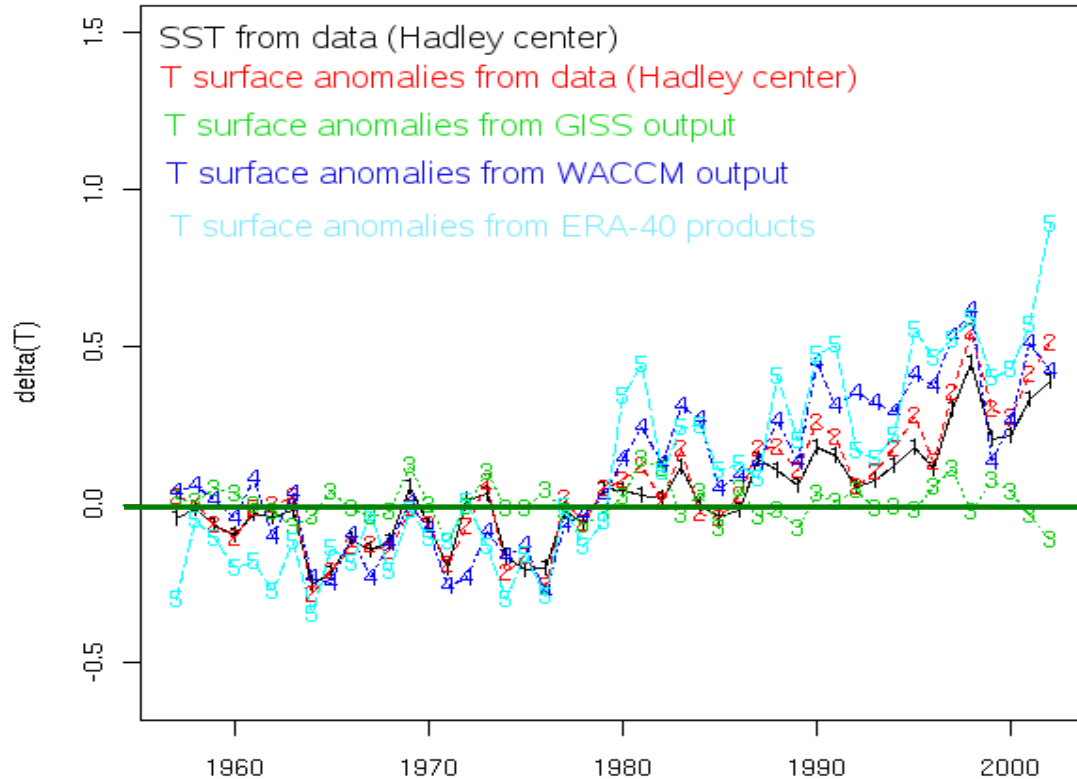
Validation for: SLP [hPa]  
 DJF 1974 to 1984 Avg WACCM simulation



**WACCM**



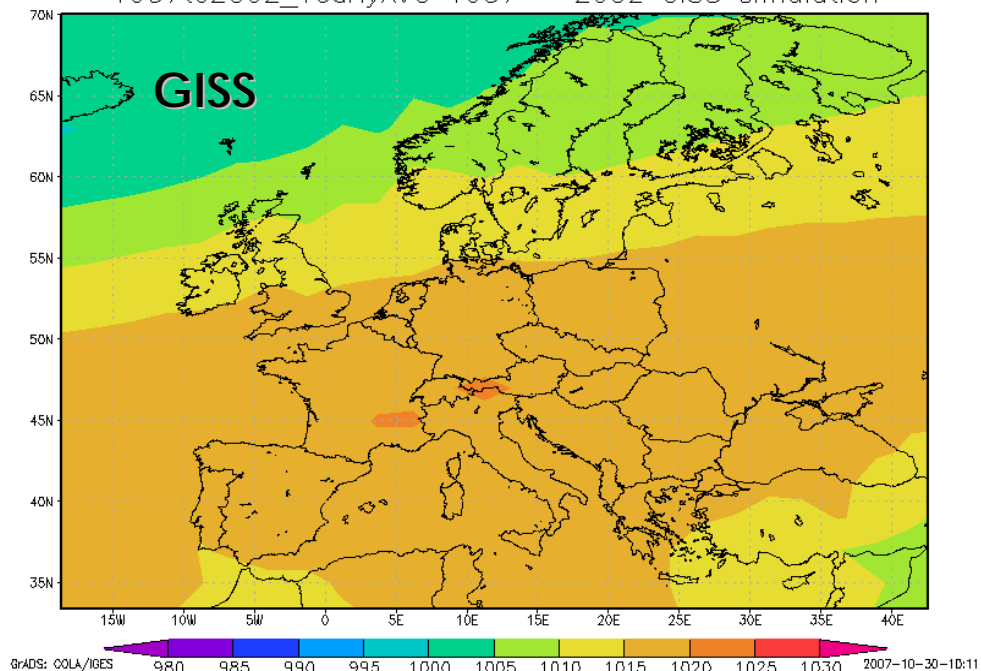
## Anomalías de $T_{\text{superficial}}$ respecto al periodo 1961-1990



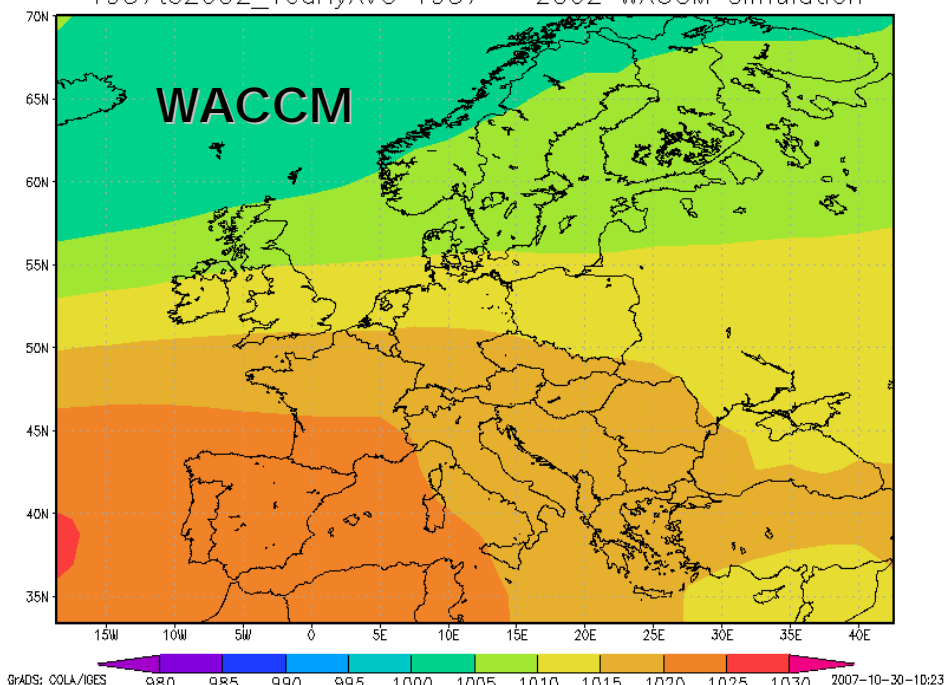
Periodo 1957-2002, bias y error cuadrático medio (RMSE) (*abajo*) para la presión en superficie, temperatura en superficie, cobertura nubosa total y altura geopotencial.

		GISS		WACCM	
		BIAS	RMSE	BIAS	RMSE
World	SLP [hPa]	-0.5578	13.237	-1.118	14.322
	2m T [°C]	0.8662	11.237	-0.1797	11.840
	tcc [%]	13.567	22.324	N.A.	N.A.
	Geop. Height [m] at 500 mb	2.775	41.851	14.484	43.032
	Geop. Height [m] at 700 mb	-2.676	38.508	4.856	32.799

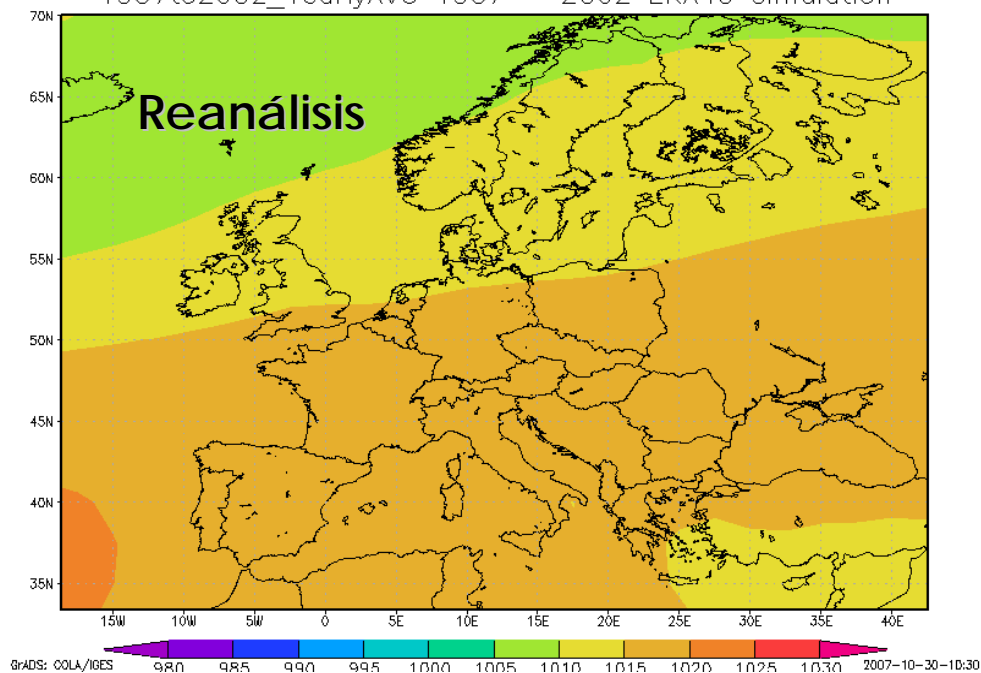
Validation for: SLP [hPa]  
1957to2002\_YearlyAVG 1957 - 2002 GISS simulation



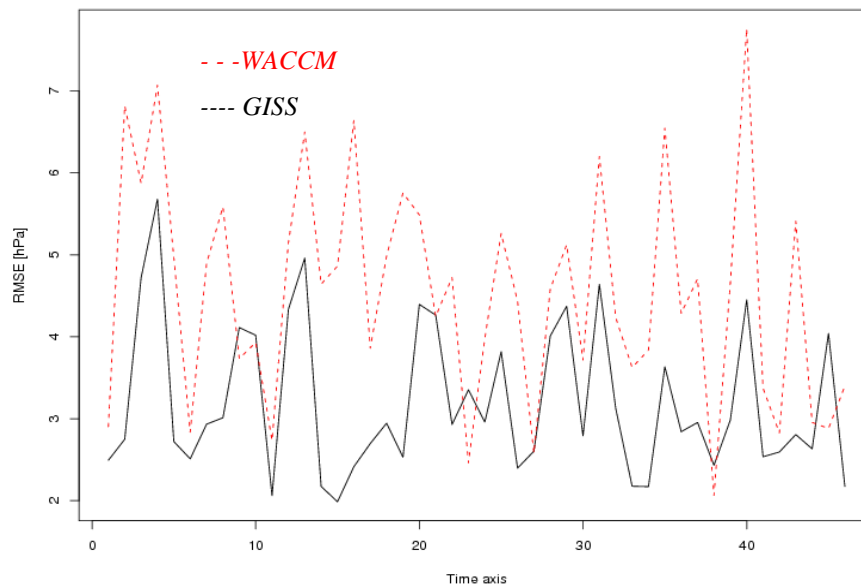
Validation for: SLP [hPa]  
1957to2002\_YearlyAVG 1957 - 2002 WACCM simulation



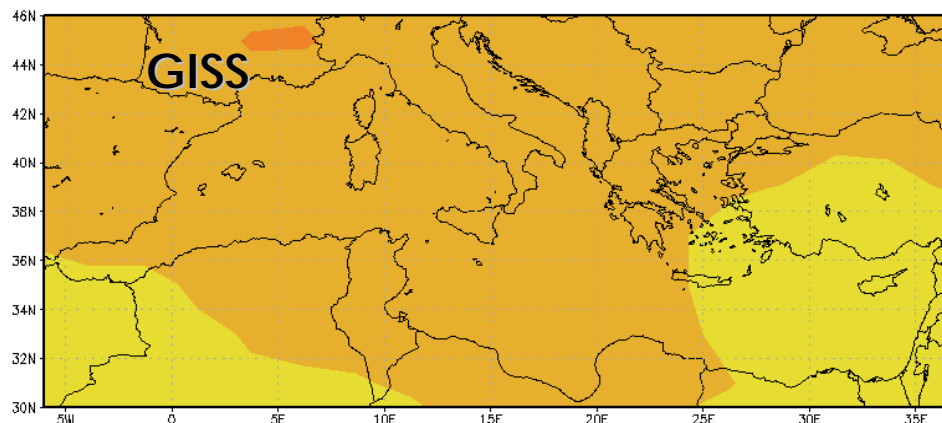
Validation for: SLP [hPa]  
1957to2002\_YearlyAVG 1957 - 2002 ERA40 simulation



RMSE SLP\_Yearly europe 1957-2002



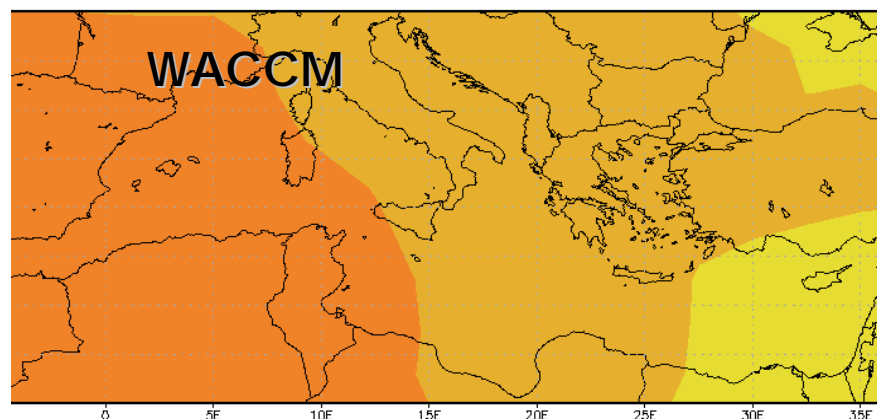
Validation for: SLP [hPa]  
1957to2002\_YearlyAVG 1957 - 2002 GISS simulation



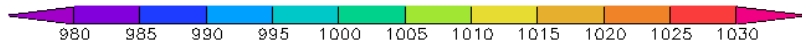
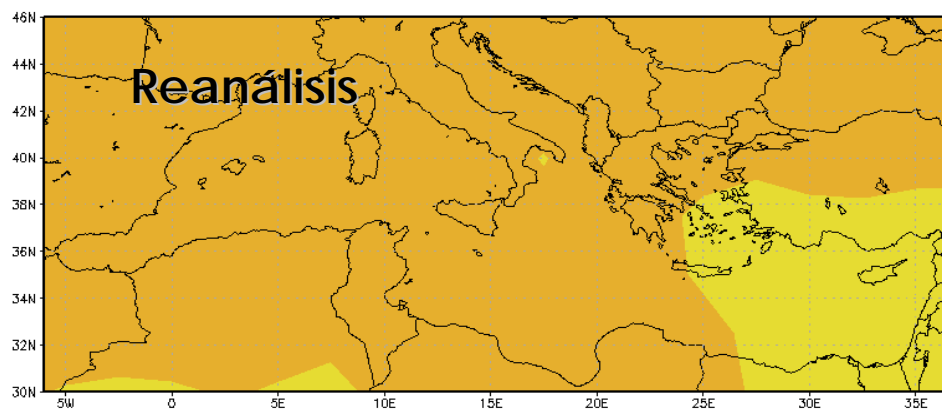
GrADS: COLA/IGES

2007-10-30-10:11

Validation for: SLP [hPa]  
1957to2002\_YearlyAVG 1957 - 2002 WACCM simulation



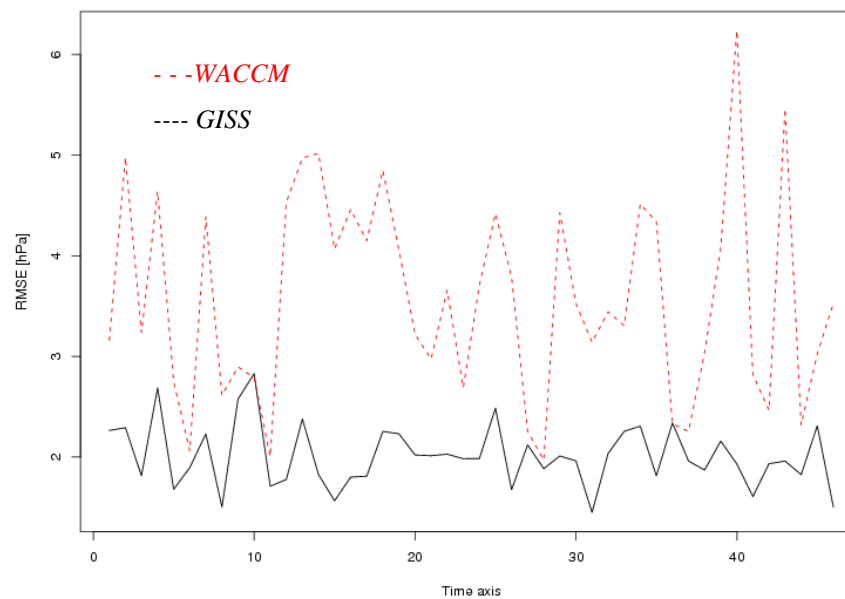
Validation for: SLP [hPa]  
1957to2002\_YearlyAVG 1957 - 2002 ERA40 simulation



GrADS: COLA/IGES

2007-10-30-10:30

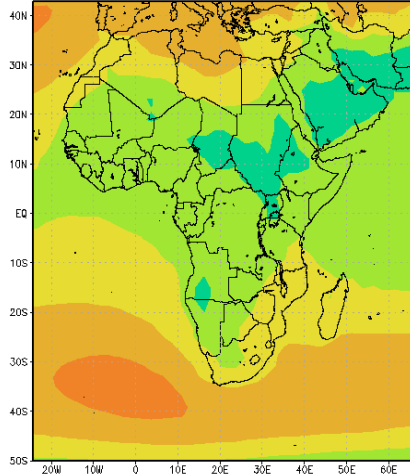
RMSE SLP\_Yearly mediterranean 1957-2002





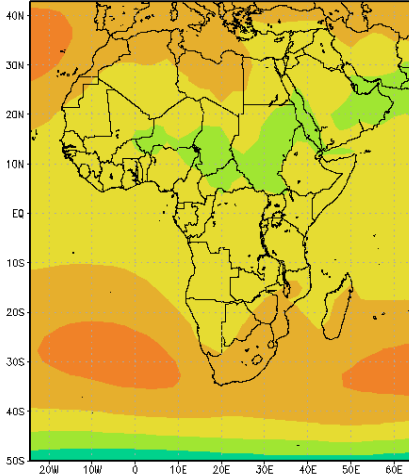
## GISS

Validation for: SLP [hPa]  
 1957to2002\_YearlyAVG 1957 - 2002 GISS sir



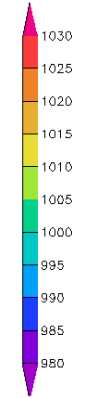
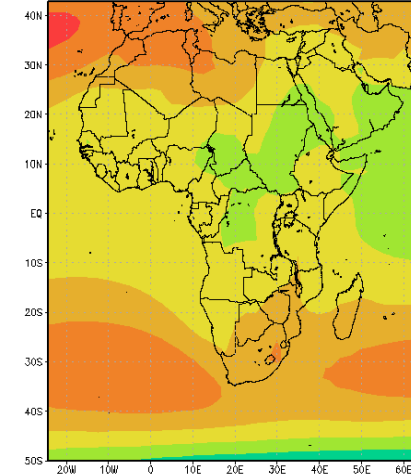
## Reanálisis

Validation for: SLP [hPa]  
 1957to2002\_YearlyAVG 1957 - 2002 ERA4

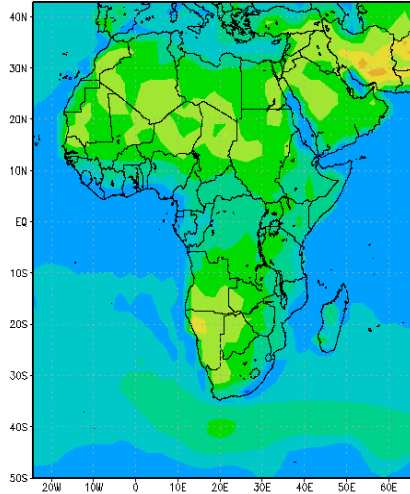


## WACCM

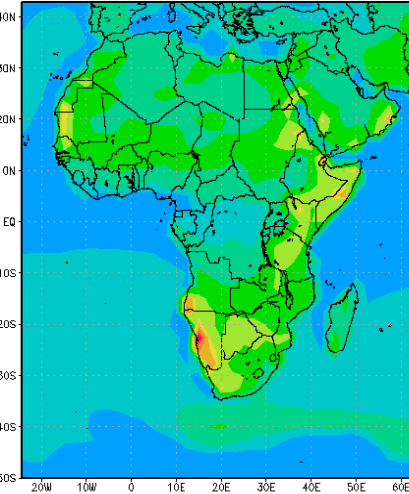
Validation for: SLP [hPa]  
 1957to2002\_YearlyAVG 1957 - 2002 WACCM simulation



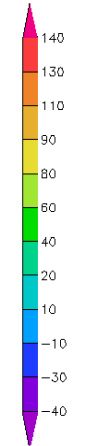
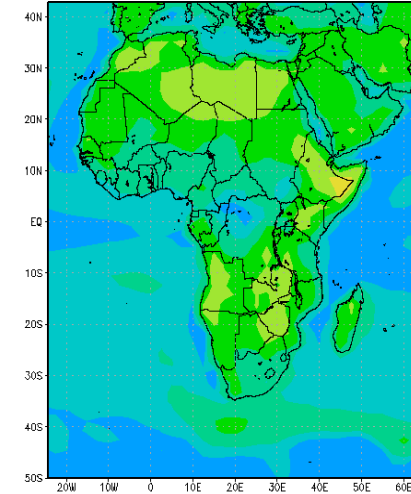
Validation data for: Sensible Heat Flux at surface  
 1957to2002\_YearlyAVG 1957 - 2002 C



Validation data for: Sensible Heat Flux at surface  
 1957to2002\_YearlyAVG 1957 - 2002 ERA-



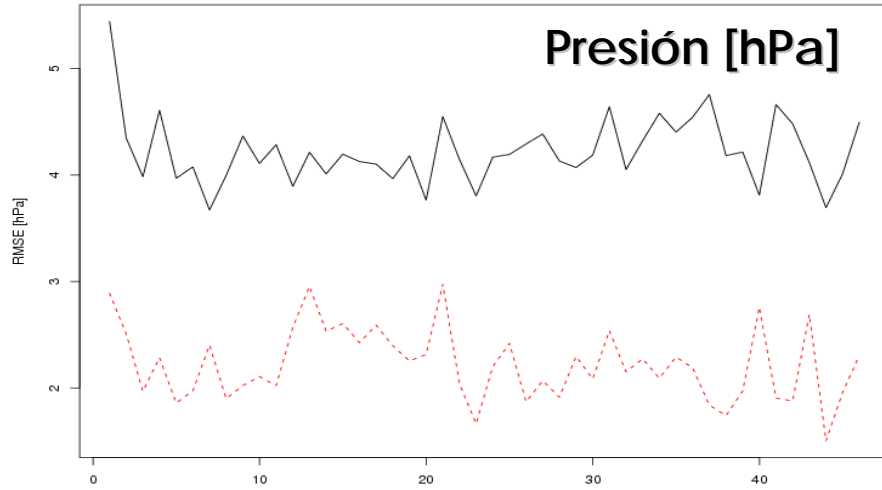
Validation data for: Sensible Heat Flux at surface [W m<sup>-2</sup>]  
 1957to2002\_YearlyAVG 1957 - 2002 WACCM





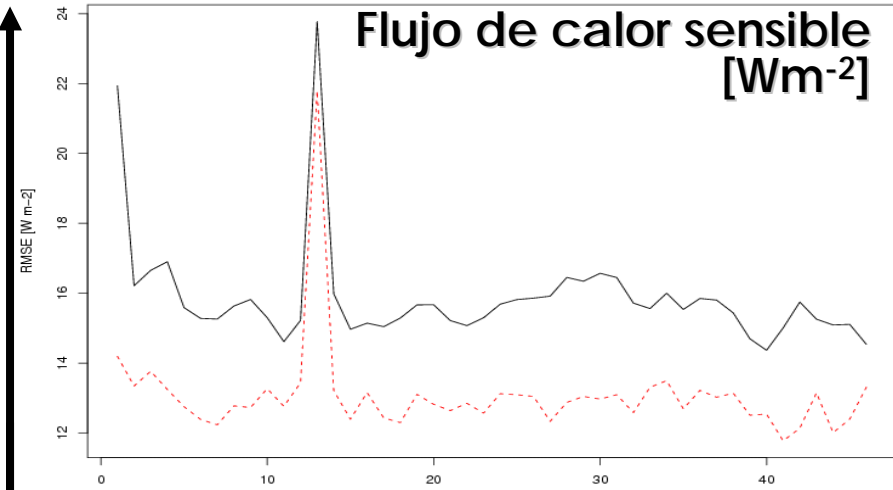
GISS  
WACCM

RMSE SLP\_Yearly africa 1957-2002

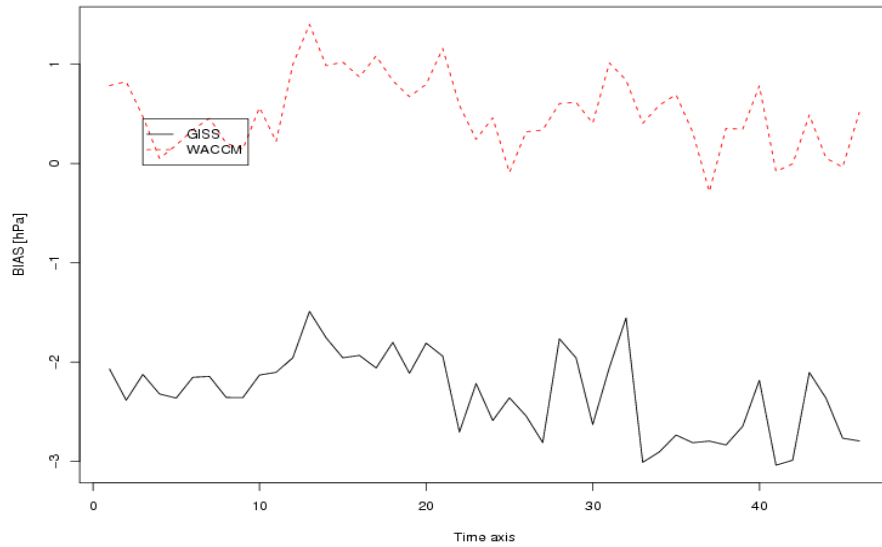


RMSE

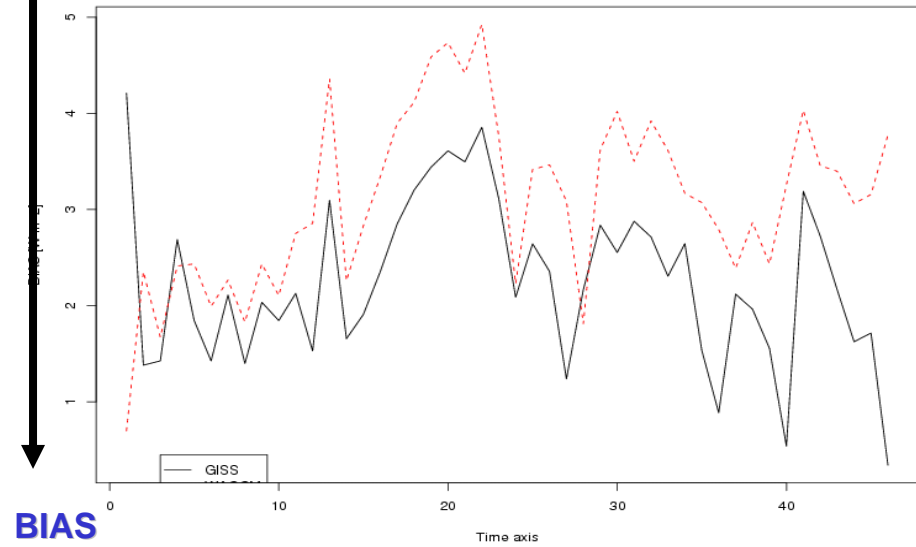
RMSE SensHeatFlx\_Yearly africa 1957-2002



BIAS SLP\_Yearly africa 1957-2002



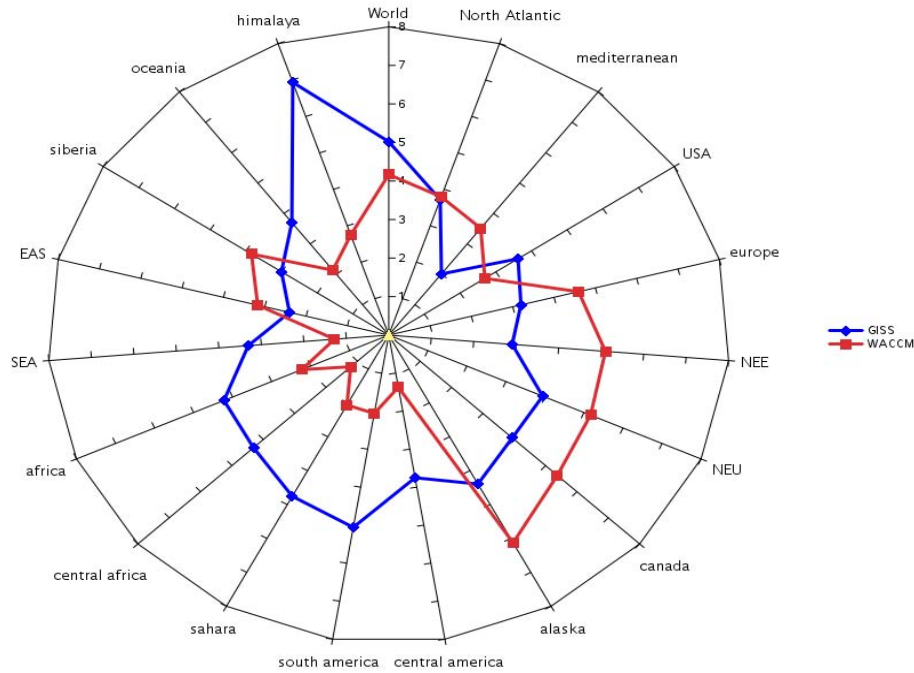
BIAS SensHeatFlx\_Yearly africa 1957-2002



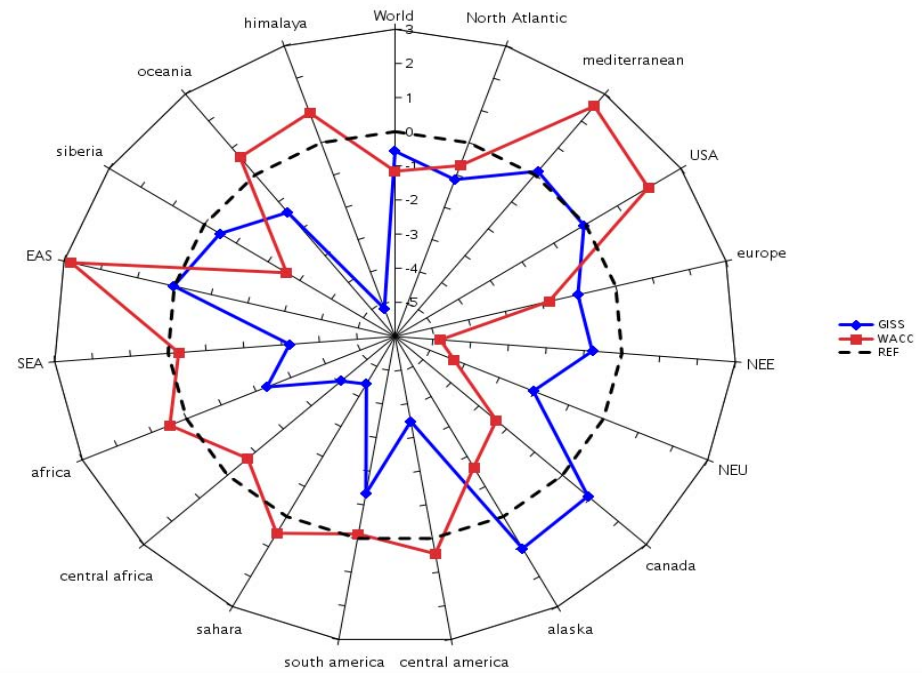
BIAS



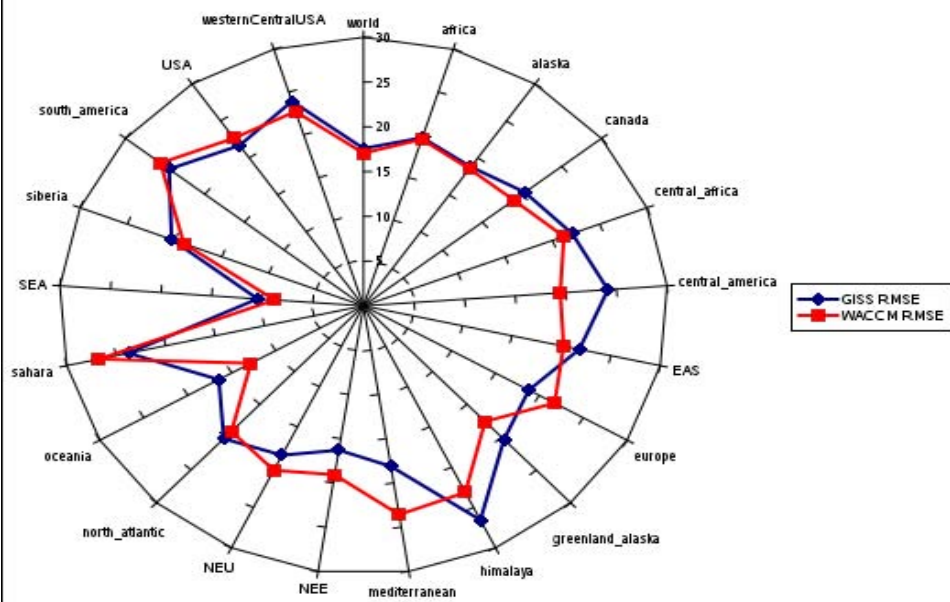
**RMSE (SLP - hPa) Yealry values - 1957-2002**



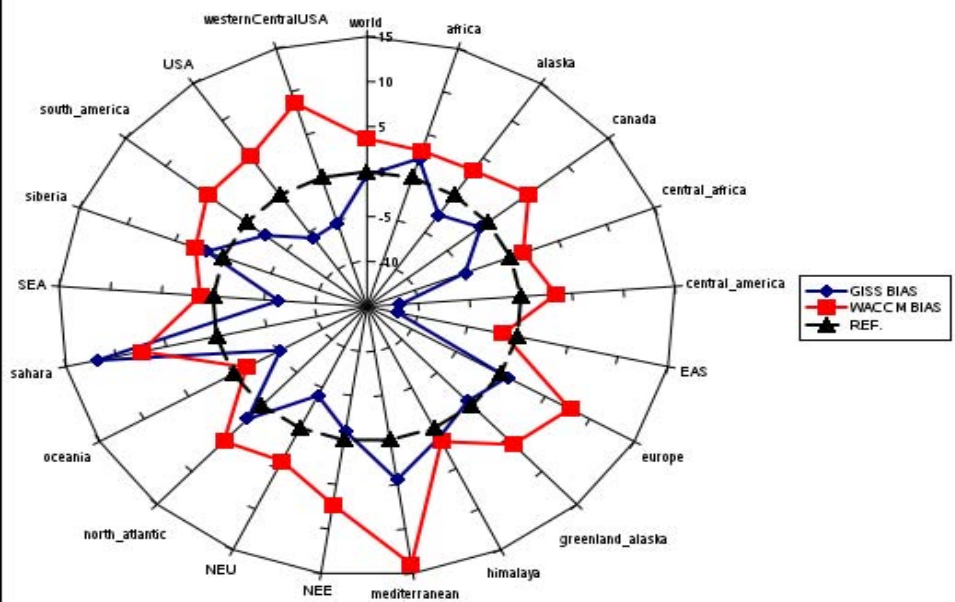
**BIAS (SLP hPa) Yealry values - 1957-2002**



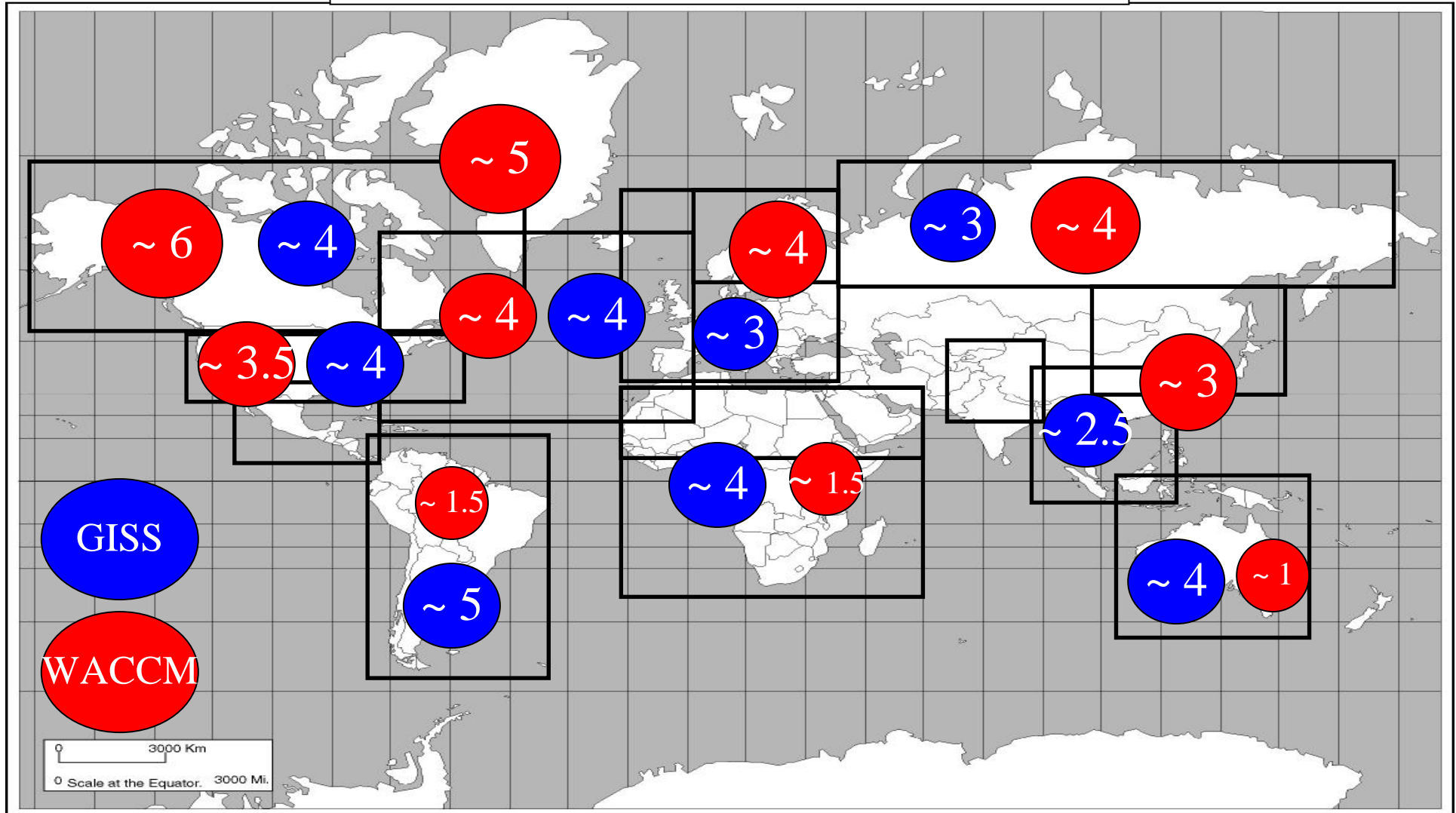
**RMSE (Sens. Heat Flux [Wm-2]) 1957-2002**



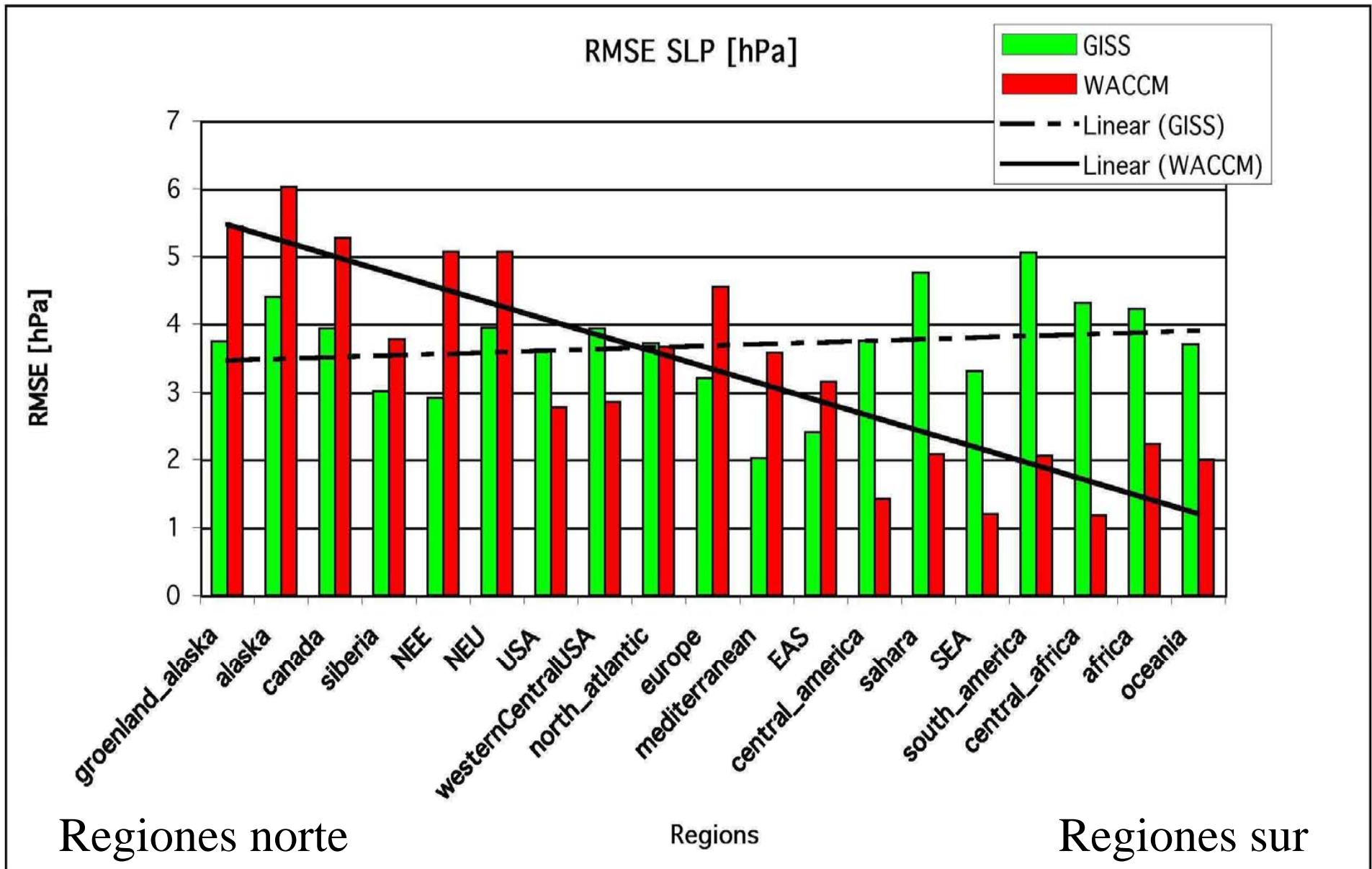
**BIAS (Sens. Heat Flux [Wm-2]) 1957-2002**

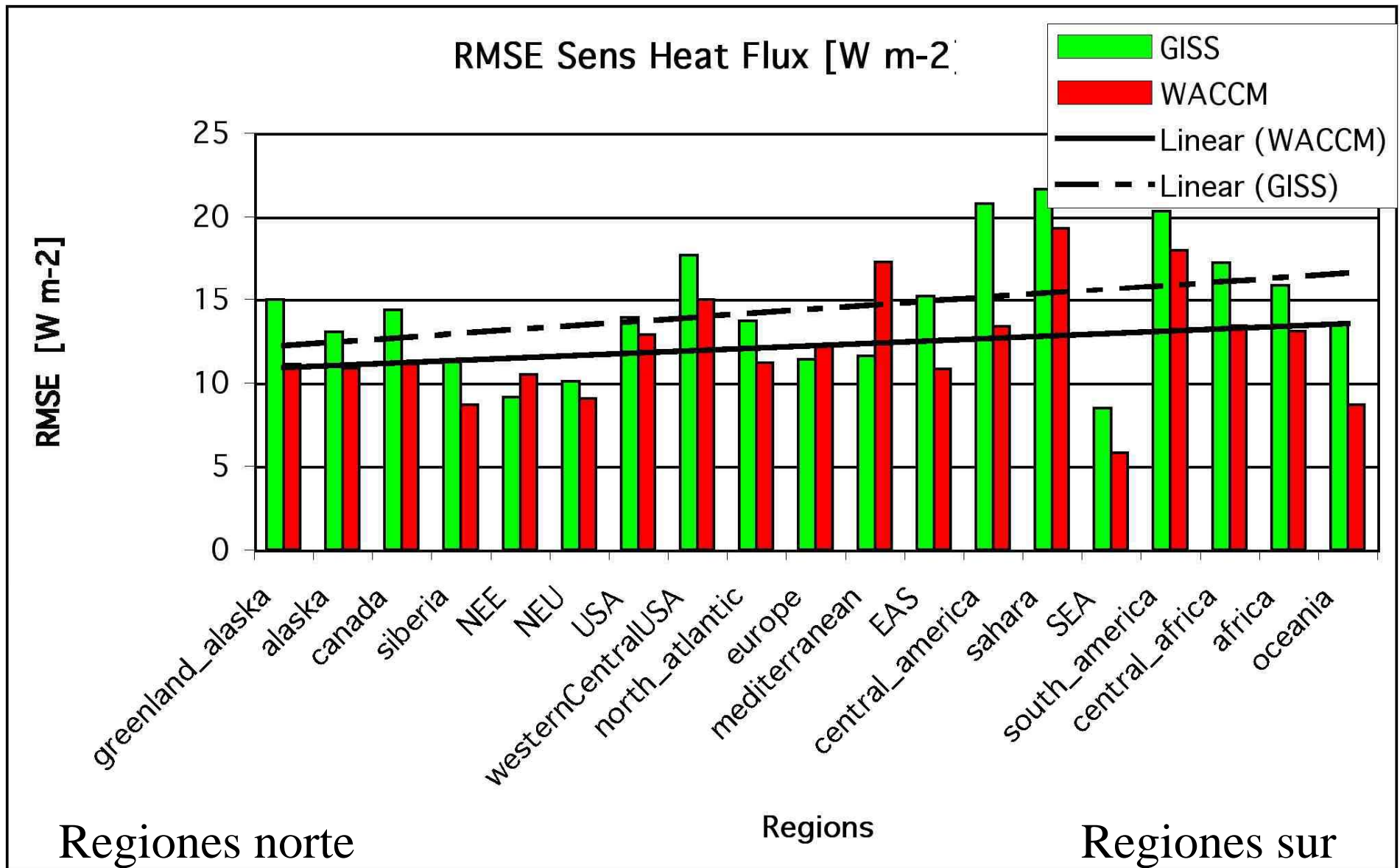


# Distribución cualitativa del error [hPa]



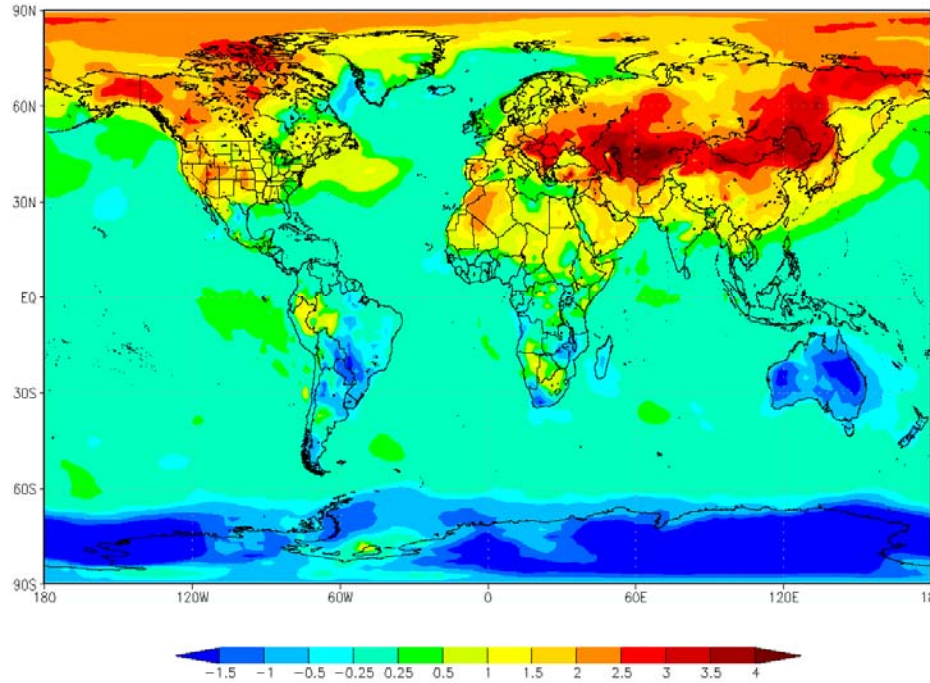




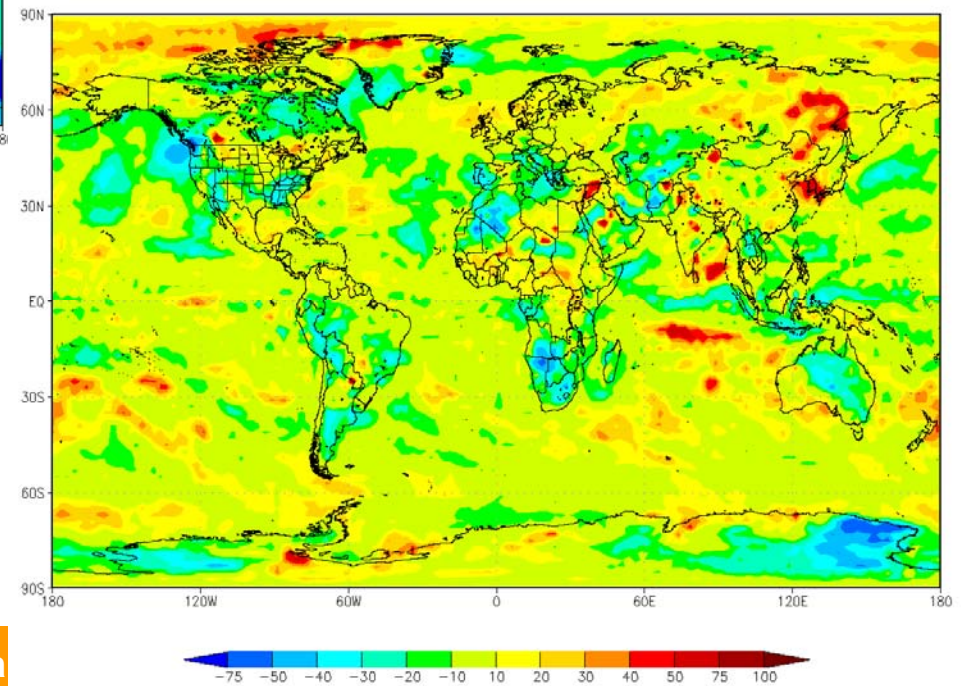




GISS ModelE at BSC-CNS Annual Surface Temperature Difference C (2050-2005)  
Difference Year 2050-2005, BAU scenario - Global Res:2x2.5



GISS ModelE at BSC-CNS Annual Precipitation Difference (%) (2050-2005)  
Difference Year 2050-2005, BAU scenario - Global Res:2x2.5





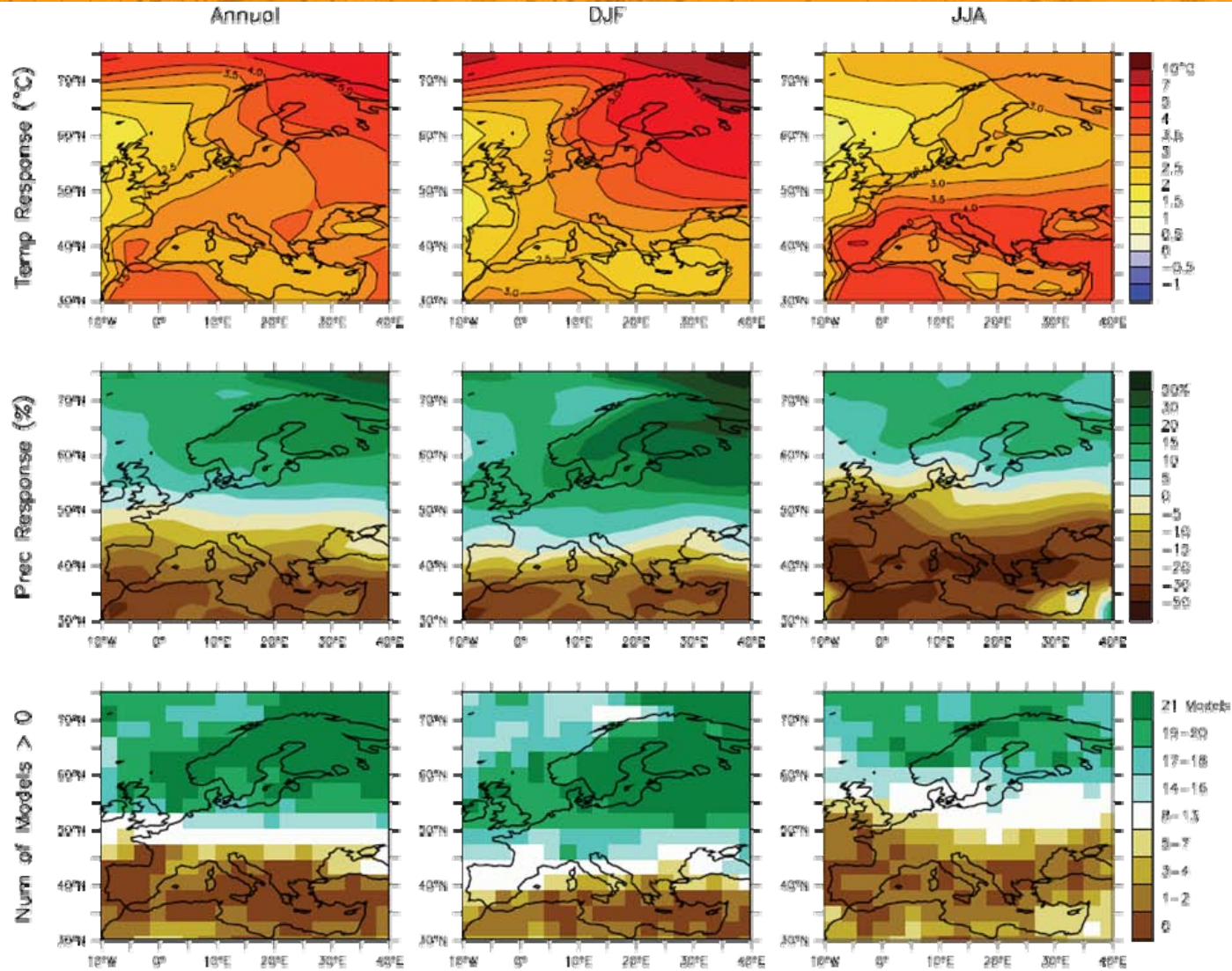
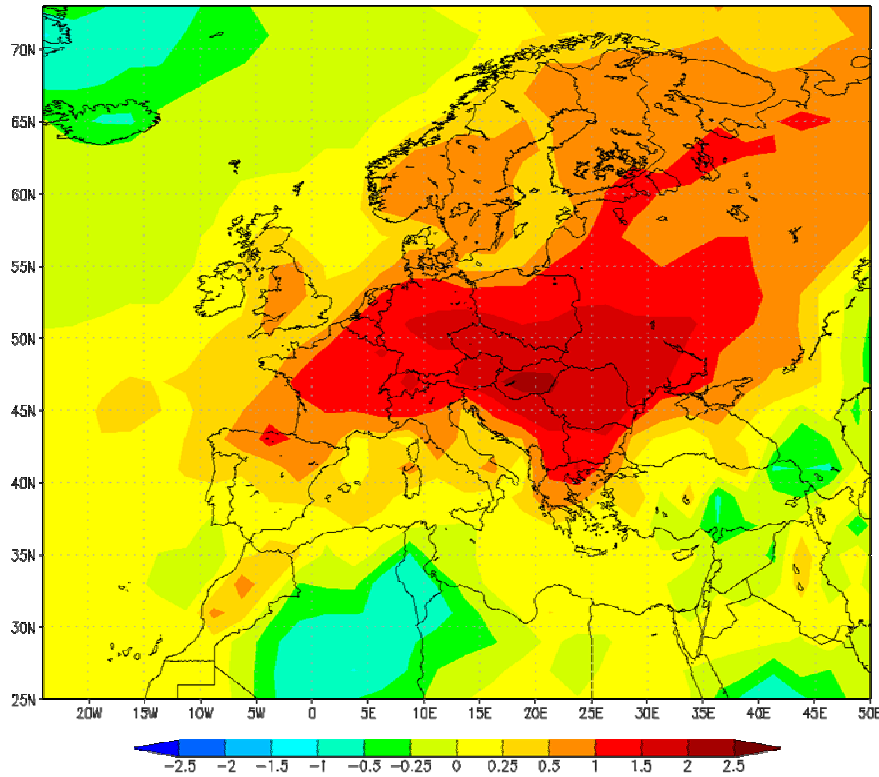


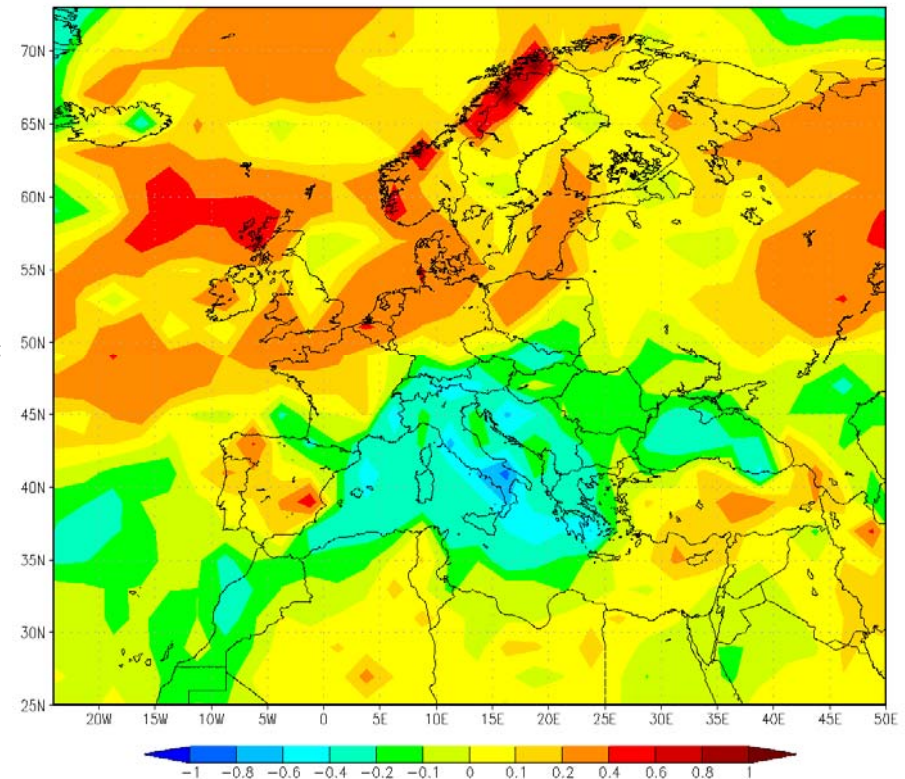
Figure 11.5. Temperature and precipitation changes over Europe from the MMD-A1B simulations. Top row: Annual mean, DJF and JJA temperature change between 1980 to 1999 and 2080 to 2099, averaged over 21 models. Middle row: same as top, but for fractional change in precipitation. Bottom row: number of models out of 21 that project increases in precipitation.

Fuente: IPCC AR4, 2007.

GISS ModelE at BSC-CNS Surface Temperature Anomaly C (1951-1980)  
Year 2020, BAU scenario - Europe Res:2x2.5



GISS ModelE at BSC-CNS Precipitation Anomaly mm/day (1951-1980)  
Year 2020, BAU scenario - Europe Res:2x2.5

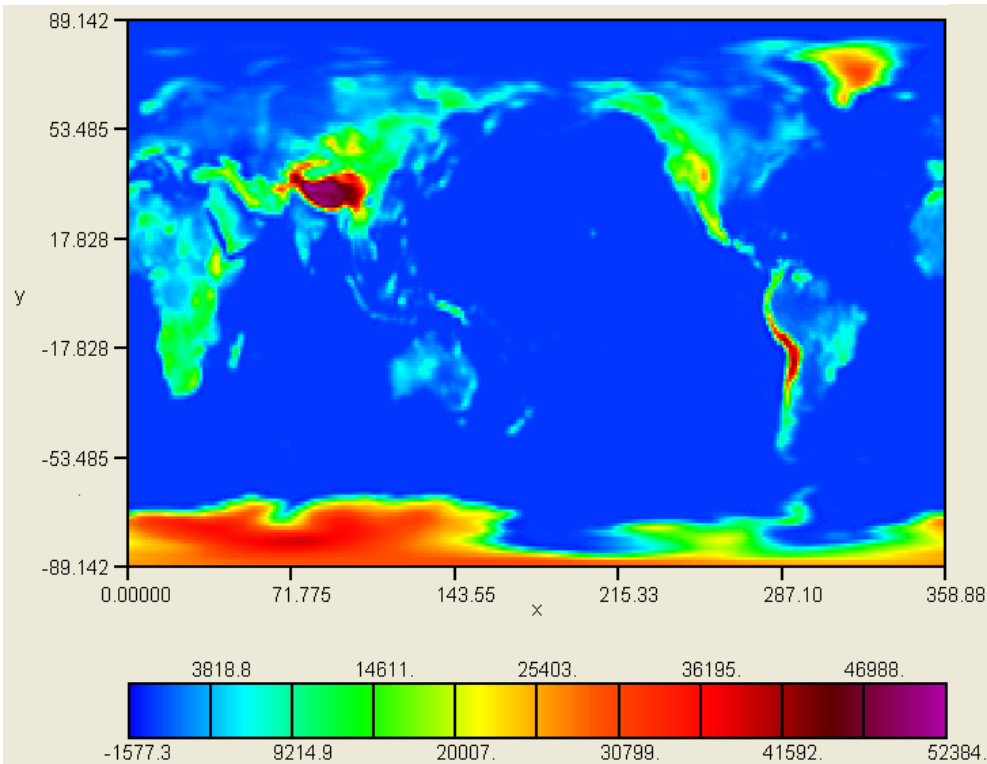




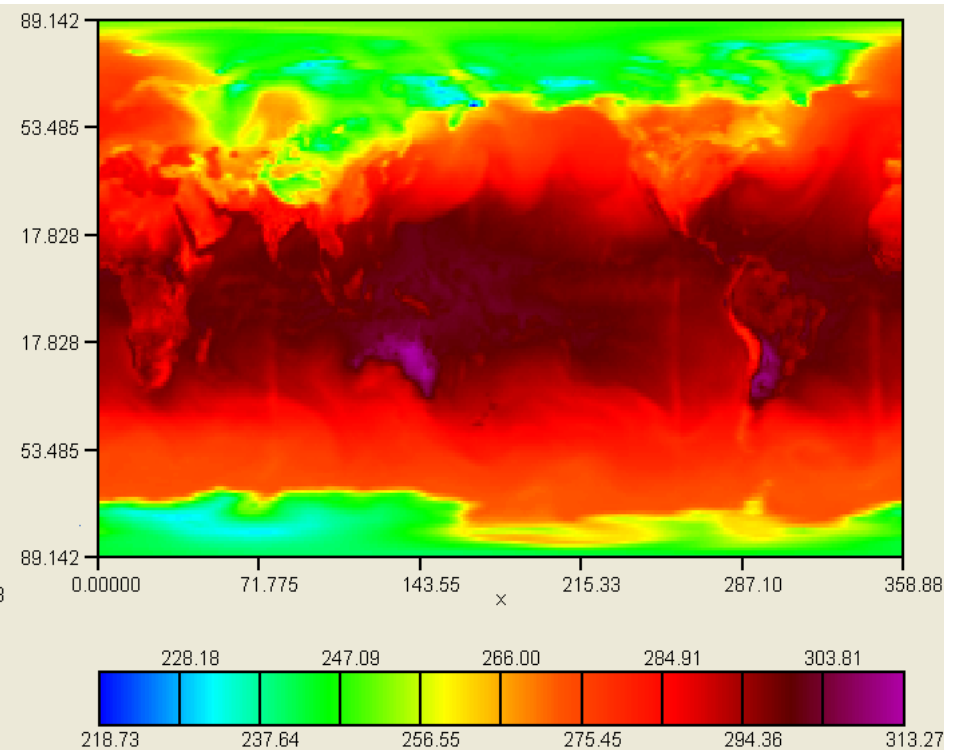


“Seamless approach” para la  
simulación meteo-clima  
IFS+NEMO+LIM  
T159L91 (aprox.  $1^\circ$  vs  $2 \times 2.5^\circ$  para  
GISS o WACCM)

### Geopotencial



### 2m-Temperatura



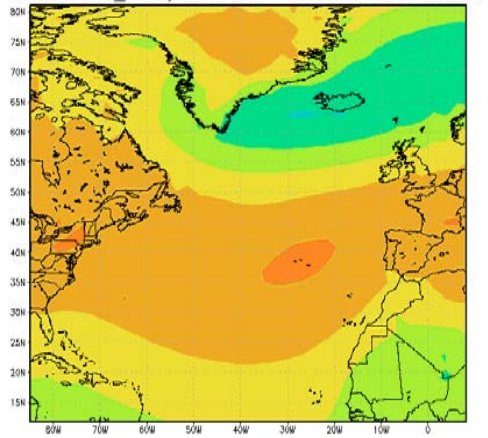


## Clima Regional

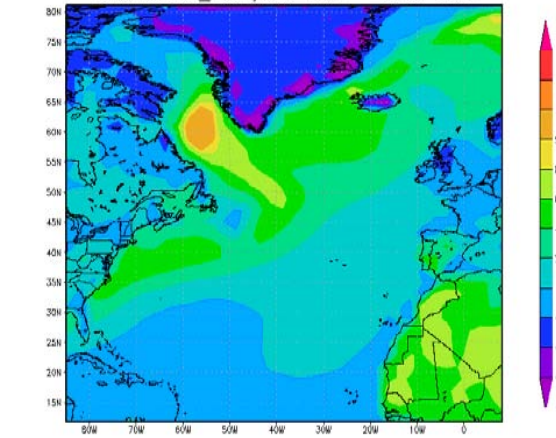
Las dificultades actuales para la modelización de alta resolución vienen condicionadas no sólo por las limitaciones de capacidades de cálculo (escalabilidad, I/O), sino también por limitaciones físicas dentro de los modelos de circulación globales. Esto nos obliga al uso de **MODELOS REGIONALES DE CLIMA (RCM)**.

Las aplicaciones de RCM en dominios de área limitada usan mallas al menos un orden de magnitud más finas (10-20 km) y escalas temporales de cálculo de horas. Por lo tanto, se requiere de capacidad de supercomputación para estas aplicaciones.

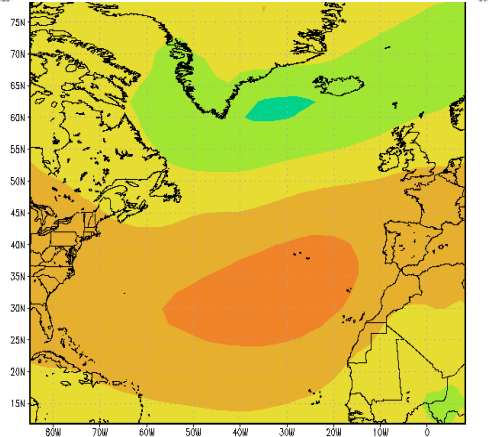
Validation for: SLP [hPa]  
1957to2002\_YearlyAVG 1957 - 2002 GISS simulation



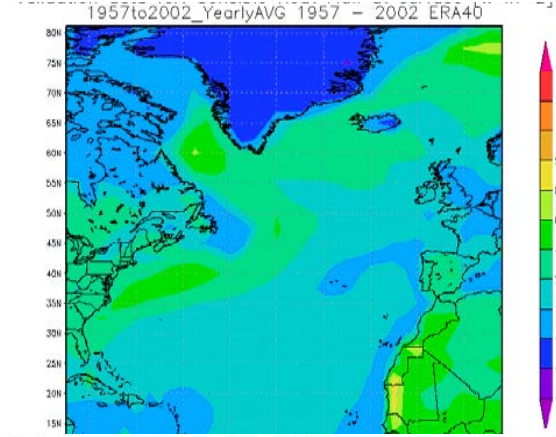
Validation data for: Sensible Heat Flux at surface [W m<sup>-2</sup>]  
1957to2002\_YearlyAVG 1957 - 2002 GISS



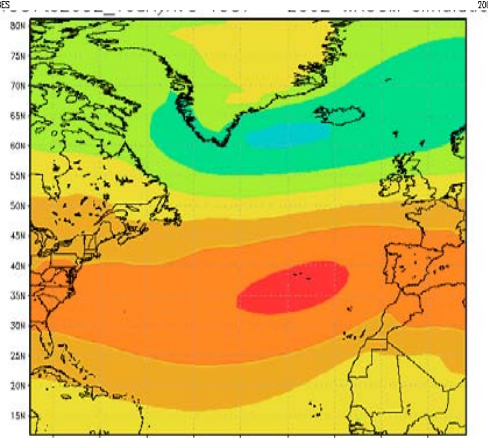
04DS: 05LA/05S 2007-10-30-10:26



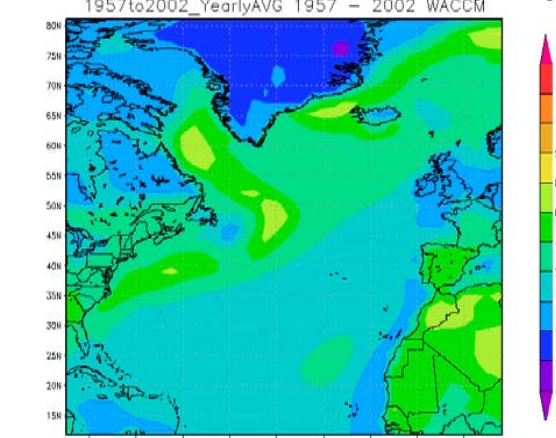
1957to2002\_YearlyAVG 1957 - 2002 ERA40



04DS: 05LA/05S 2007-11-14-10:30

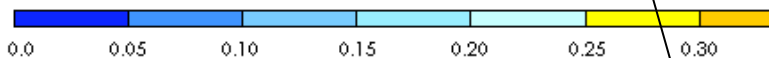
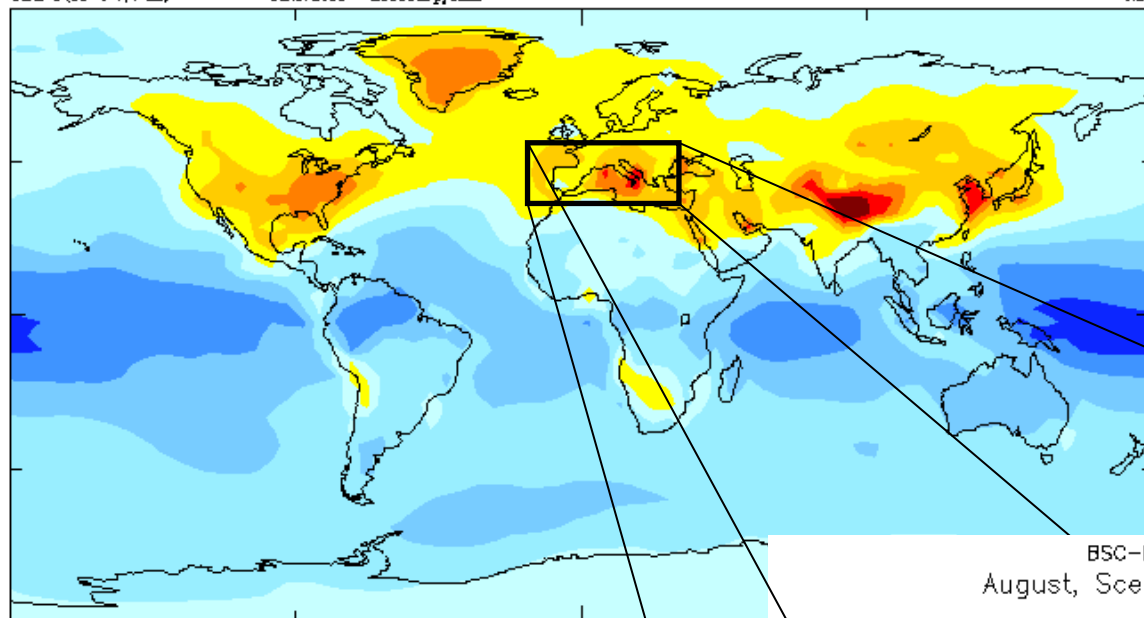


Validation data for: Sensible Heat Flux at surface [W m<sup>-2</sup>]  
1957to2002\_YearlyAVG 1957 - 2002 WACCM



04DS: 05LA/05S

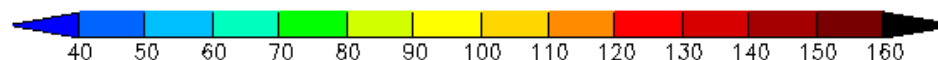
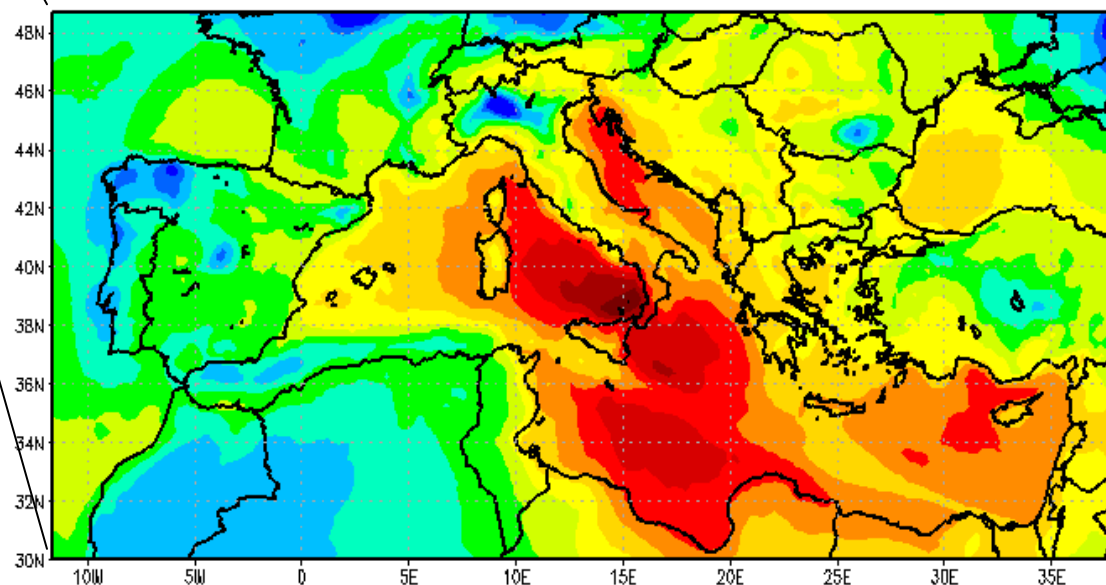
2007-10-30-10:26



- RCM han mostrado mejoras en los procesos mesoescalares en regiones con fuertes forzamientos superficiales (topografía compleja, heterogeneidad en usos del suelo, interfase tierra-mar, etc.).
- RCM resuelven la **precipitación convectiva** para el estudio de episodios extremos de lluvia (torrenciales) y sus cambios.
- Resuelven procesos de **mesoescala** (circulaciones).
- Estudian **tendencias en episodios extremos de contaminación** (especialmente ozono y material particulado).

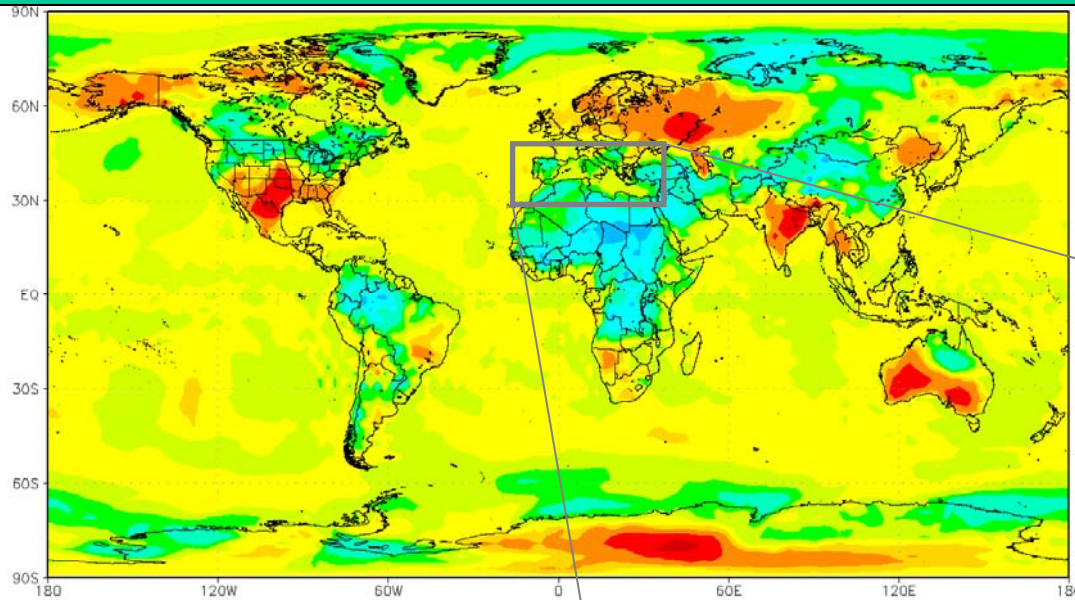
¿QUÉ INFORMACIÓN OBTENEMOS DE LOS **MODELOS REGIONALES DE CLIMA (RCM)** QUE NO SE EXPLICA POR LOS MODELOS GLOBALES (GCM)?

BSC-ES CMAQv4.5 Ozone Monthly Average (ug/m<sup>3</sup>)  
August, Scenario 2000 - Mediterranean Res:20x20km





## Supercomputación y clima: acoplamiento modelo de circulación global-química (GCM) con un modelo regional de clima (RCM)

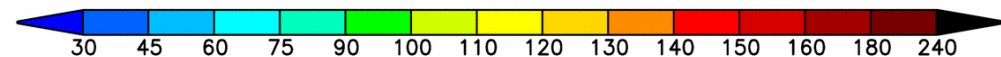
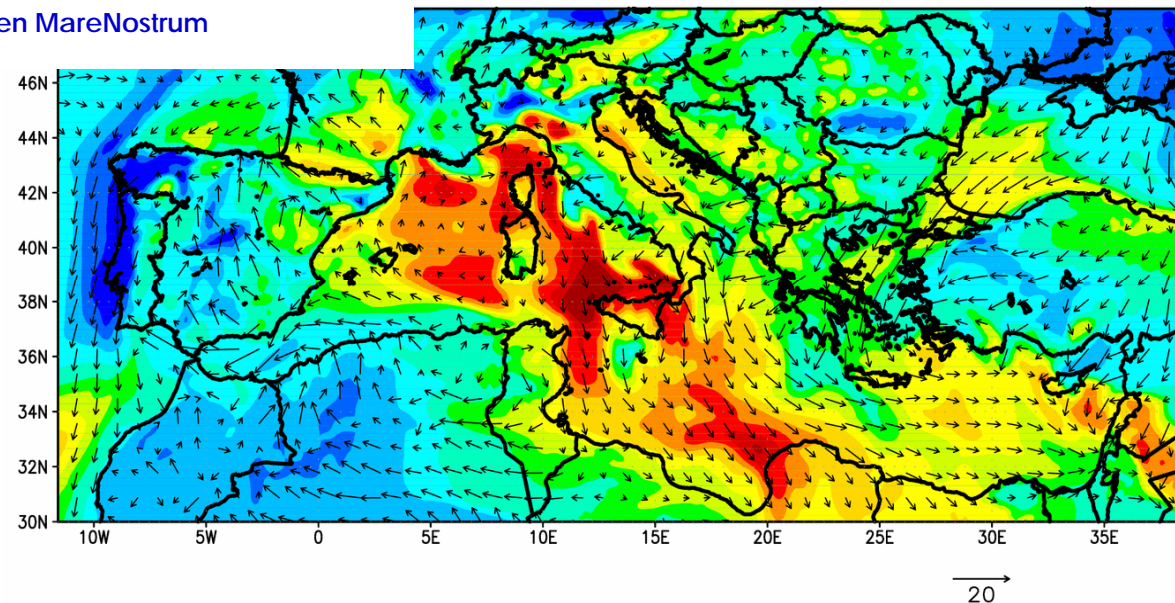


RCM puede explicar tendencias en:  
precipitaciones torrenciales,  
olas de calor, sequías,  
episodios de contaminación  
atmosférica que afectan la  
salud humana.

RCM basado en WRF-ARW/HERMES/CMAQ/DREAM

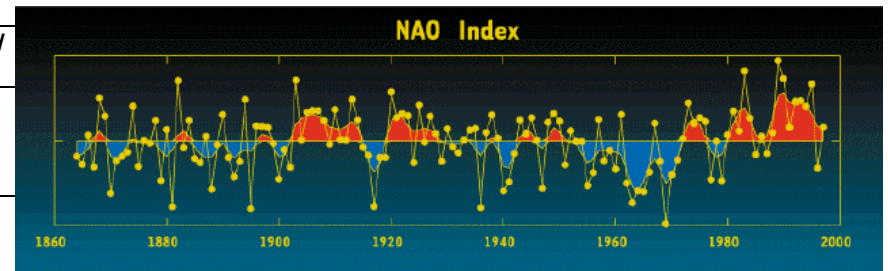
GISS NASA Global Model implementado en MareNostrum

El tiempo de cálculo (sólo el RCM) para cada día de un escenario climático es de 3.5h por día (usando 200 procesadores de MareNostrum). Por lo tanto, el tiempo total de cálculo para cada escenario climático es sobre **260400 h·cpu** para las simulaciones. En una máquina monoprocesador, las simulaciones hubiesen llevado **10850 días (29.72 años)**.

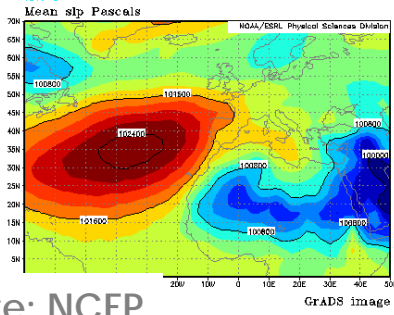




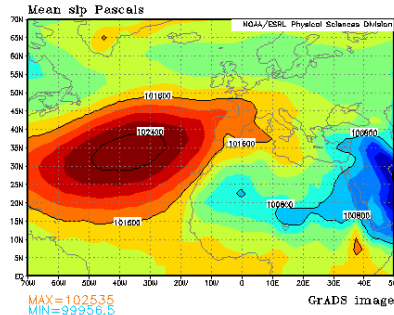
	Monthly station based NAO index (August)	Seasonal station based NAO index (JAS)	Annual station based NAO index
1960	-3.5	-2.6	-1.88
1980	-2.1	-1.0	-1.58
2000	0.4	3.3	1.18



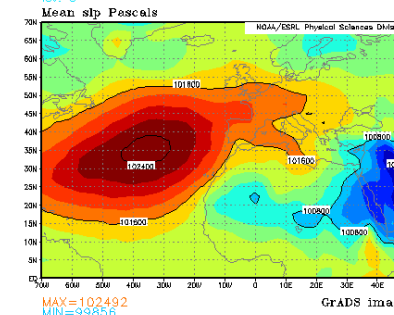
lon: plotted from -70 to 50  
lat: plotted from 0 to 70.00  
t: averaged over Jun 1 1960 to Aug 31 1960  
lev: 0



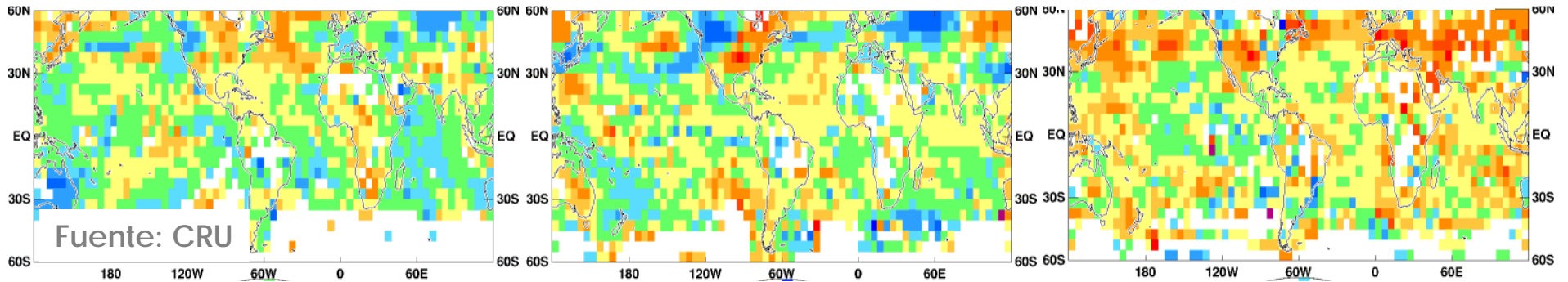
lon: plotted from -70 to 50  
lat: plotted from 0 to 70.00  
t: averaged over Jun 1 1980 to Aug 31 1980  
lev: 0



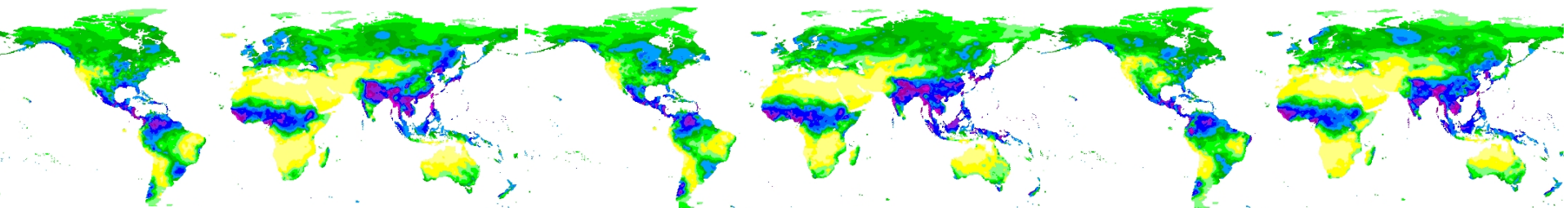
lon: plotted from -70 to 50  
lat: plotted from 0 to 70.00  
t: averaged over Jun 1 2000 to Aug 31 2000  
lev: 0



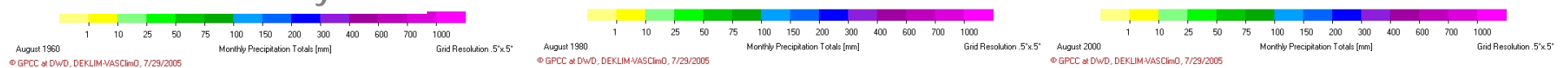
Fuente: NCEP



Fuente: CRU



Fuente: VASCLimO by DWD



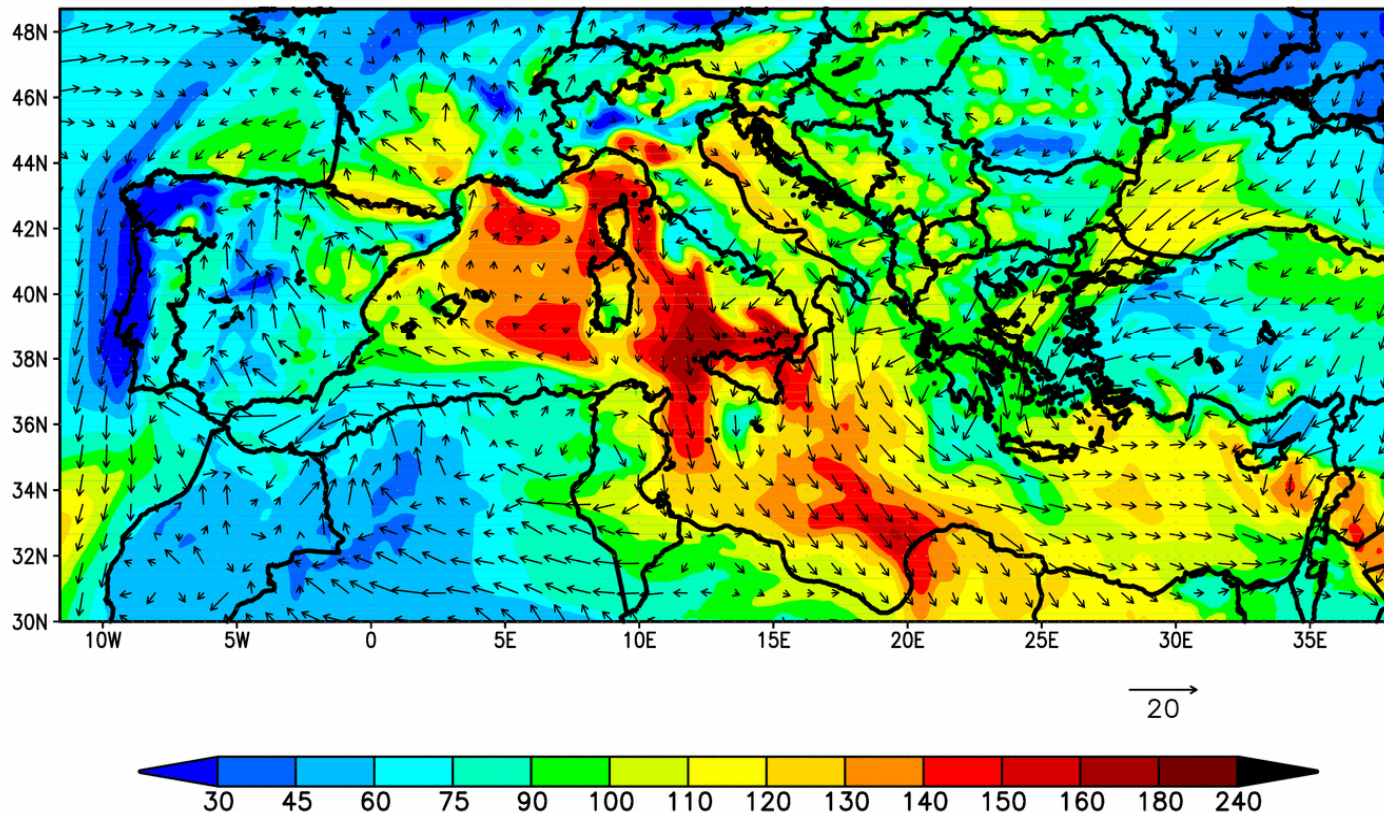
© GPCP at DWD, DEKLM-VASCLimO, 7/29/2005

© GPCP at DWD, DEKLM-VASCLimO, 7/29/2005

© GPCP at DWD, DEKLM-VASCLimO, 7/29/2005

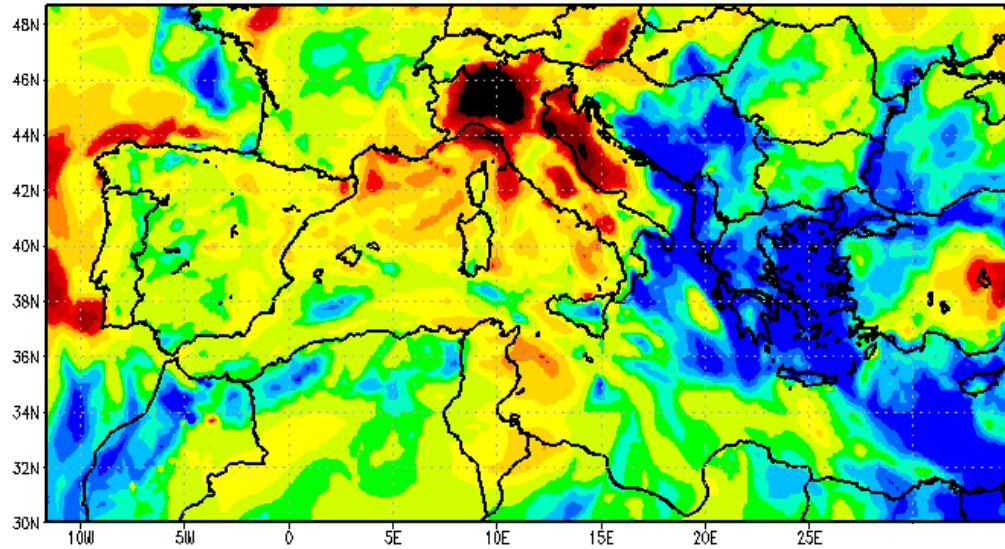
El dominio de estudio cubre un área de 4940 km x 2640 km con un tamaño de malla horizontal de **20 km** y una resolución vertical de **32 capas** en la troposfera.

05z 16 AUG 00 – Mediterranean Res:20x20km



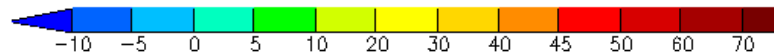
Con el fin de aislar los posibles efectos de la variabilidad climática en las concentraciones en superficie de contaminantes atmosféricos en el Mediterráneo, se asume la hipótesis de emisiones constantes en el periodo de estudio.

BSC-ES CMAQv4.5 Ozone 1-hr Maximum ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
August, Scenario 2000-Scenario 1960 - Mediterranean Res:20x20km

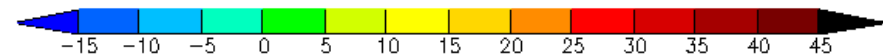
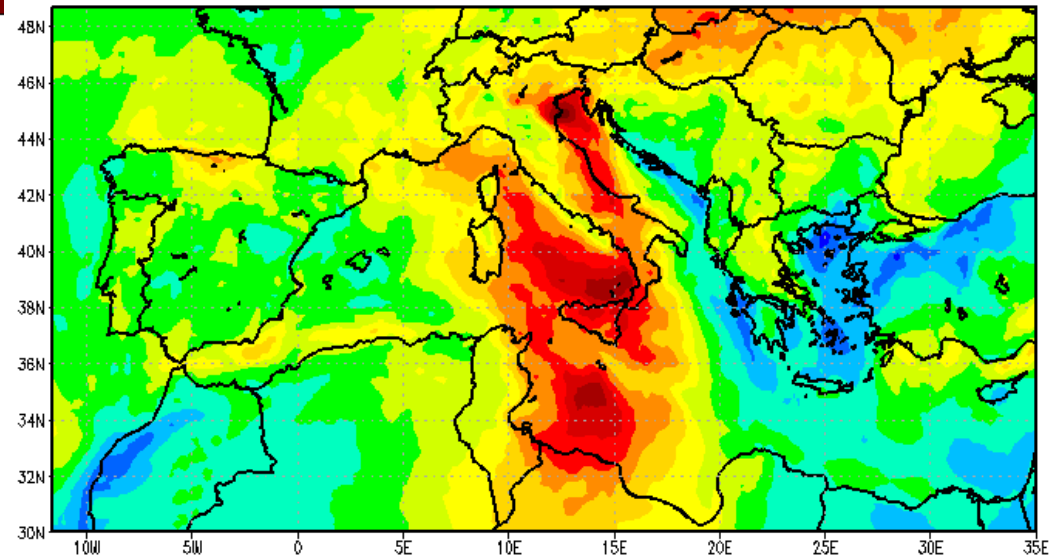


La hipótesis de emisiones invariables conlleva un incremento en la concentración de ozono en la región central Mediterránea, principalmente en el norte de Italia (más de  $70 \mu\text{g m}^{-3}$  para los niveles máximos horarios).

BSC-ES CMAQv4.5 Ozone Monthly Average ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
August, Scenario 2000-Scenario 1960 - Mediterranean Res:20x20km

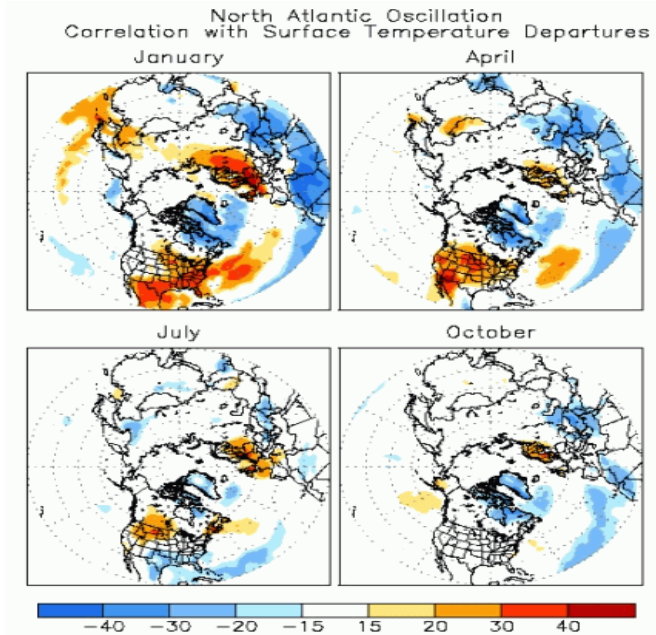
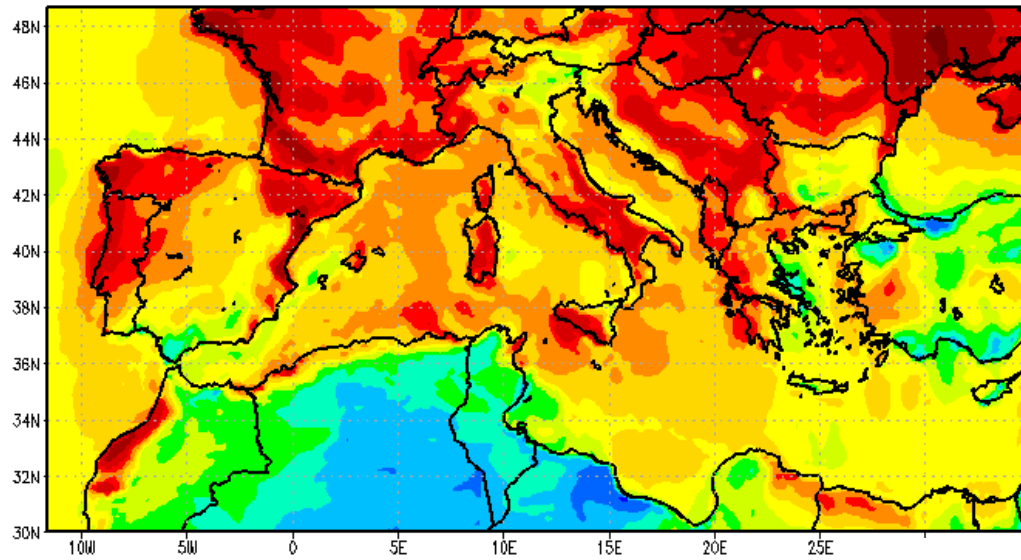


La concentración media en verano presenta un marcado gradiente desde el Mediterráneo Central (donde los incrementos de ozono alcanzan los  $30 \mu\text{g m}^{-3}$ ) a los extremos del dominio, donde no se observan variaciones apreciables o incluso pequeños descensos en los niveles modelizados.





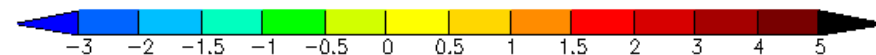
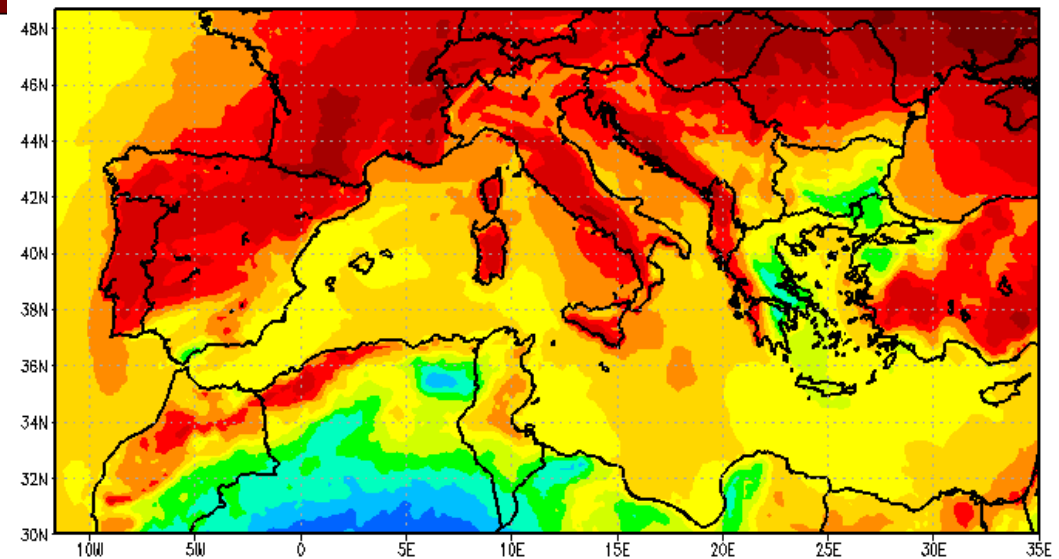
BSC-ES WRF-ARW Temp2 Maximum (K)  
 August, Scenario 2000-Scenario 1960 - Mediterranean Res:20x20km



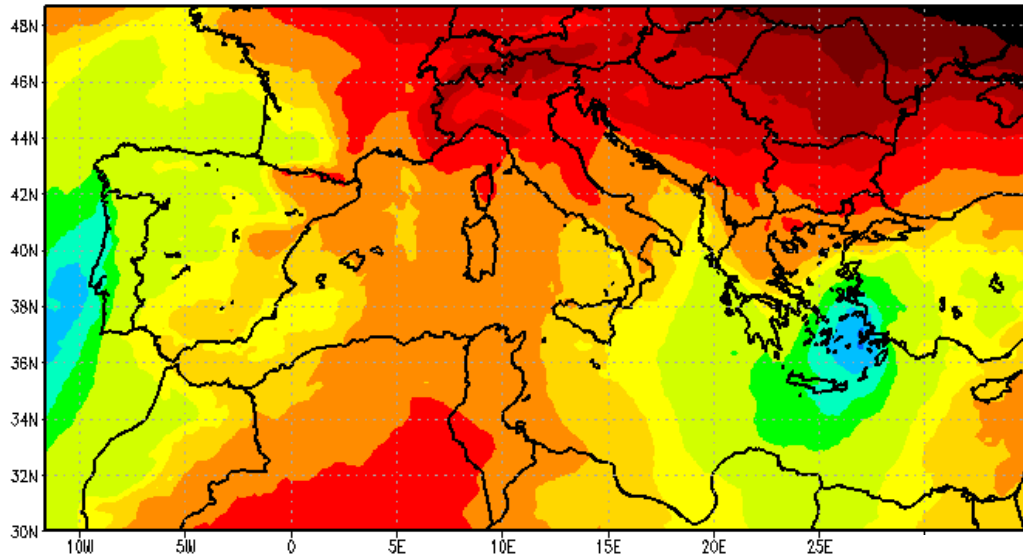
BSC-ES WRF-ARW Temp2 Monthly Average (K)  
 August, Scenario 2000-Scenario 1960 - Mediterranean Res:20x20km



El incremento en la  
 concentración de  
 contaminantes se debe a una  
 fotoquímica favorecida como  
 consecuencia del incremento  
 de temperatura en Europa  
 Central para el periodo de  
 estudio...



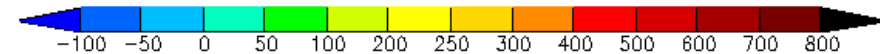
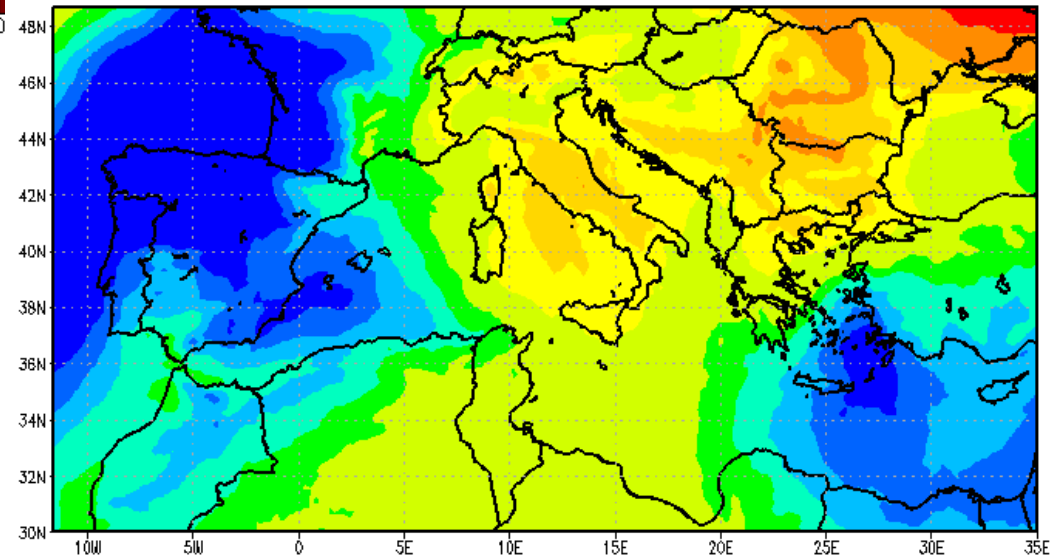
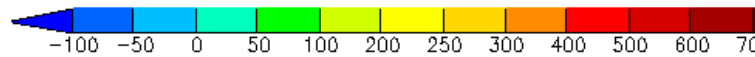
BSC-ES WRF-ARW Sea-Level Pressure Monthly Average (Pa)  
August, Scenario 2000-Scenario 1960 - Mediterranean Res:20x20km



# Earth Sciences

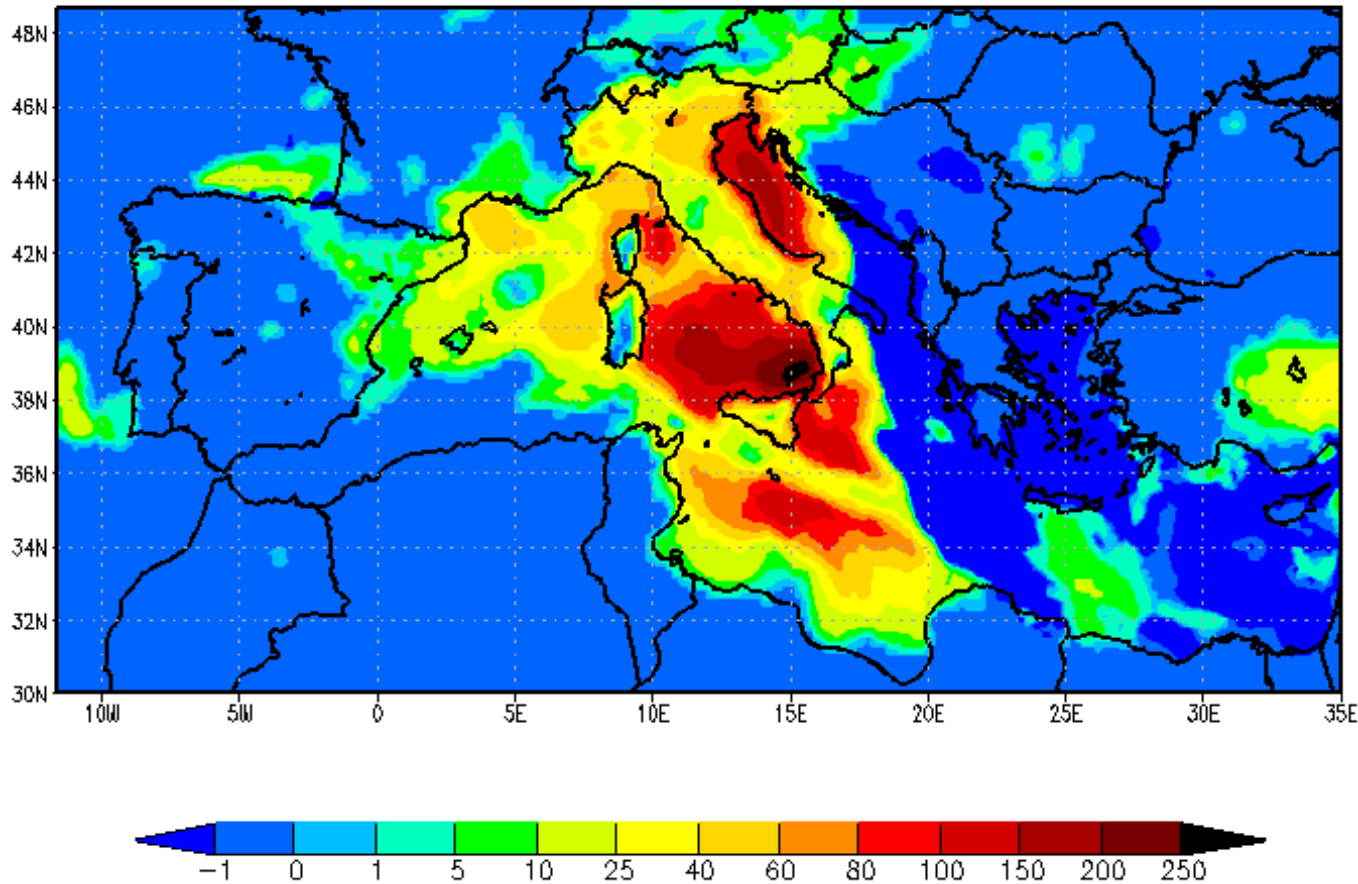
...y a las altas presiones que se extienden hacia Europa Central y regiones del este durante los veranos de 1960, 1980 y 2000.

BSC-ES WRF-ARW Sea-Level Pressure Monthly Average (Pa)  
August, Scenario 2000-Scenario 1980 - Mediterranean Res:20x20km





BSC-ES CMAQv4.5 Ozone Number of Exceedances Information Threshold (hr)  
August, Scenario 2000-Scenario 1960 - Mediterranean Res:20x20km

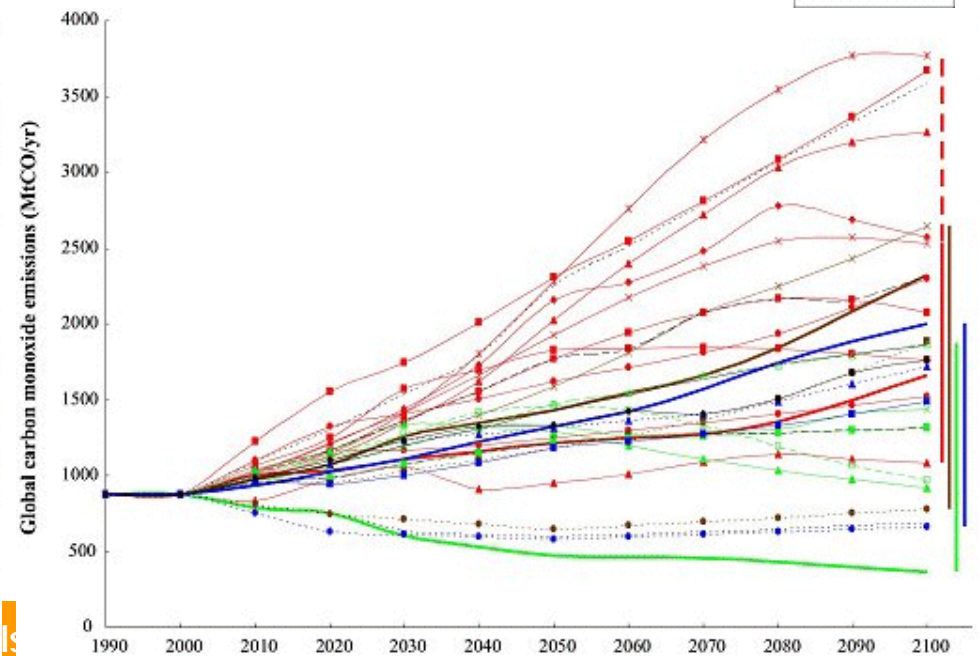
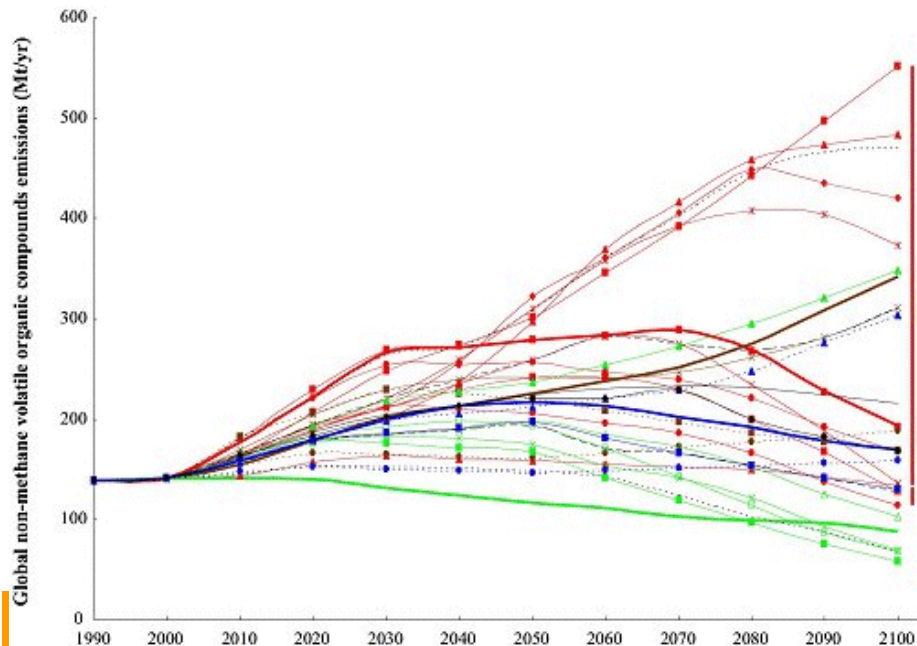
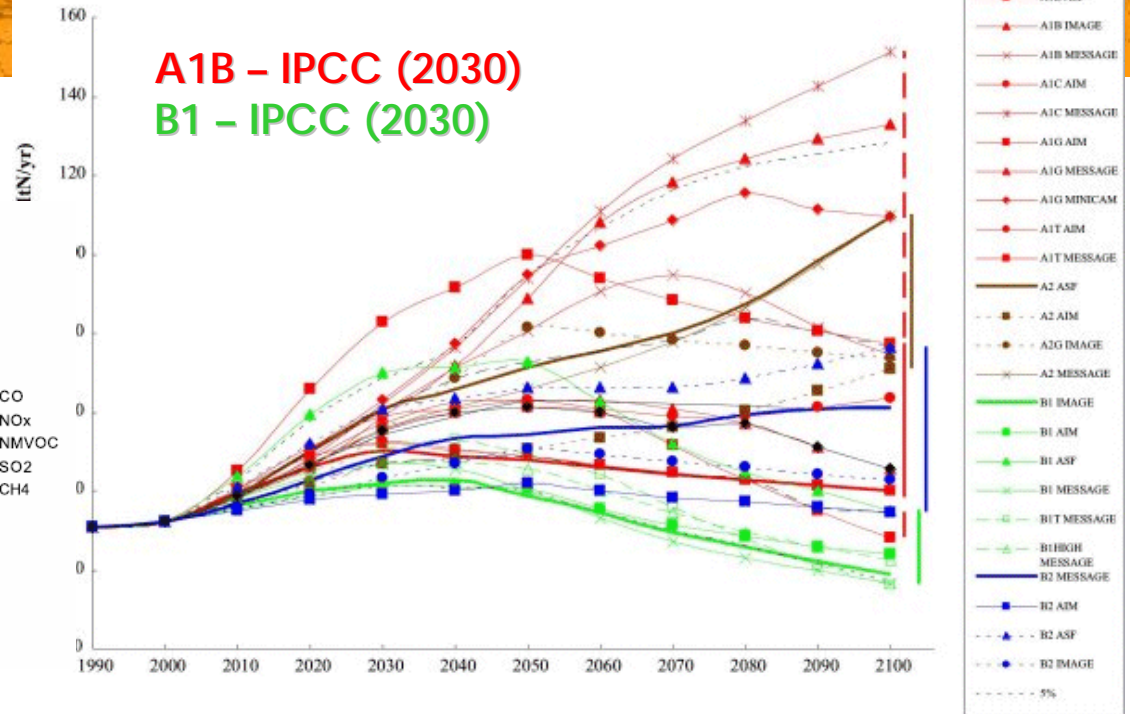
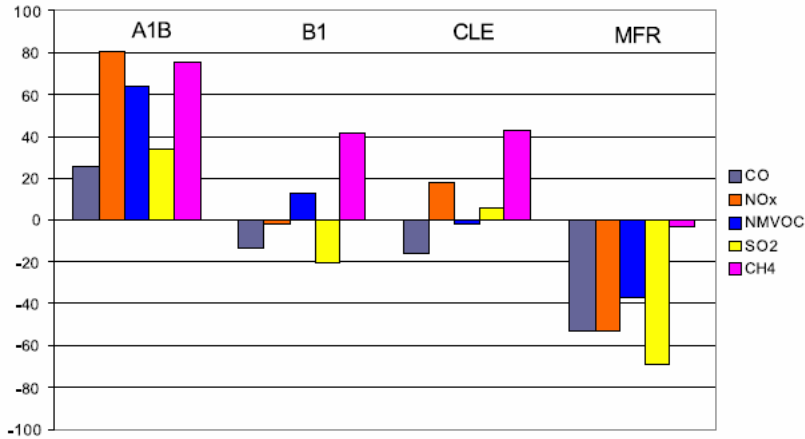


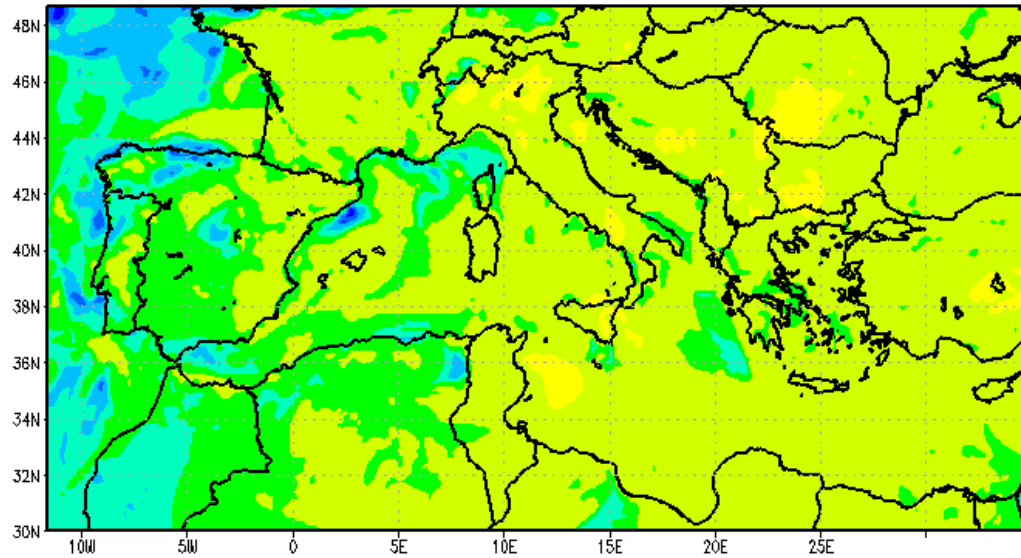
El número de excedencias del umbral máximo de ozono en 1-hr ( $180 \mu\text{g m}^{-3}$ ) ha aumentado progresivamente durante los meses de verano de los años 1960-1980-2000 en el Mediterráneo Central, mientras que el número de excedencias ha disminuido sobre la costa oriental y el mar Egeo.





## Escenarios Año 2030 (según Unger et al., 2006):



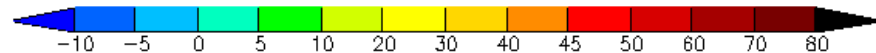
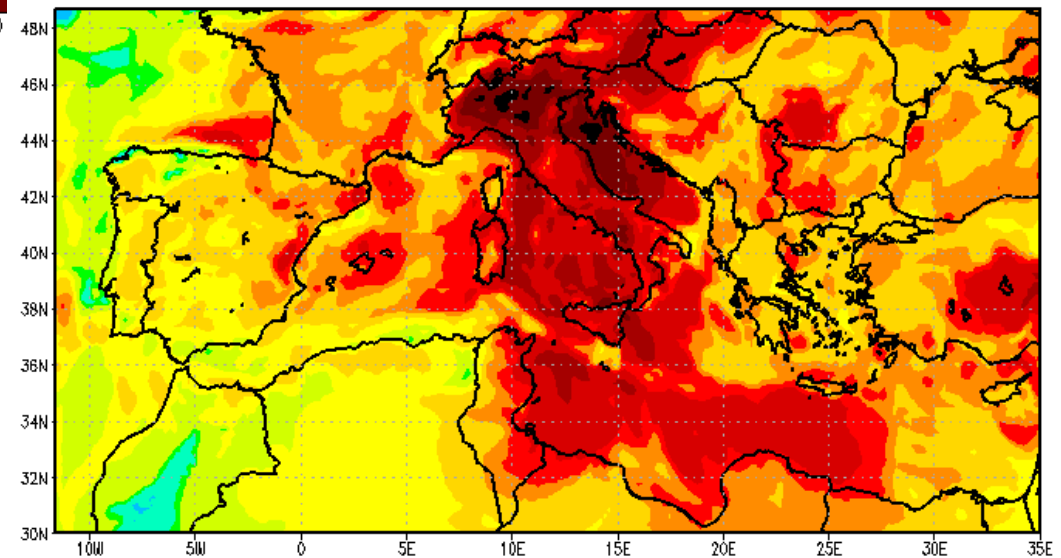


La meteorología del año de referencia (2000) se ha usado para aislar el efecto de variar las emisiones

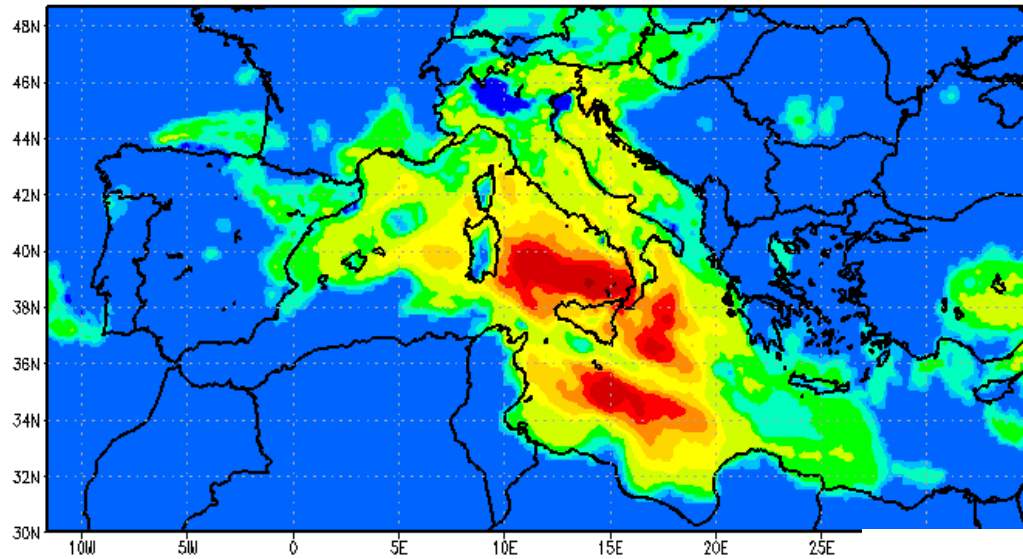
BSC-ES CMAQv4.5 Ozone 1-hr Maximum ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
August, Scenario 2000-Scenario B1 2030 - Mediterranean Res:20x20km



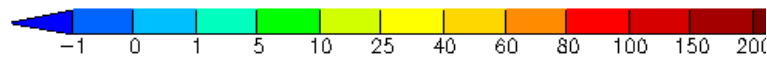
La concentración máxima horaria de ozono en el Mediterráneo se reduce en todo el dominio para los escenarios A1B ( $10\text{-}20 \mu\text{g m}^{-3}$ ) y B1 ( $30\text{-}70 \mu\text{g m}^{-3}$ )



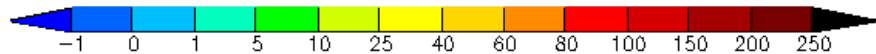
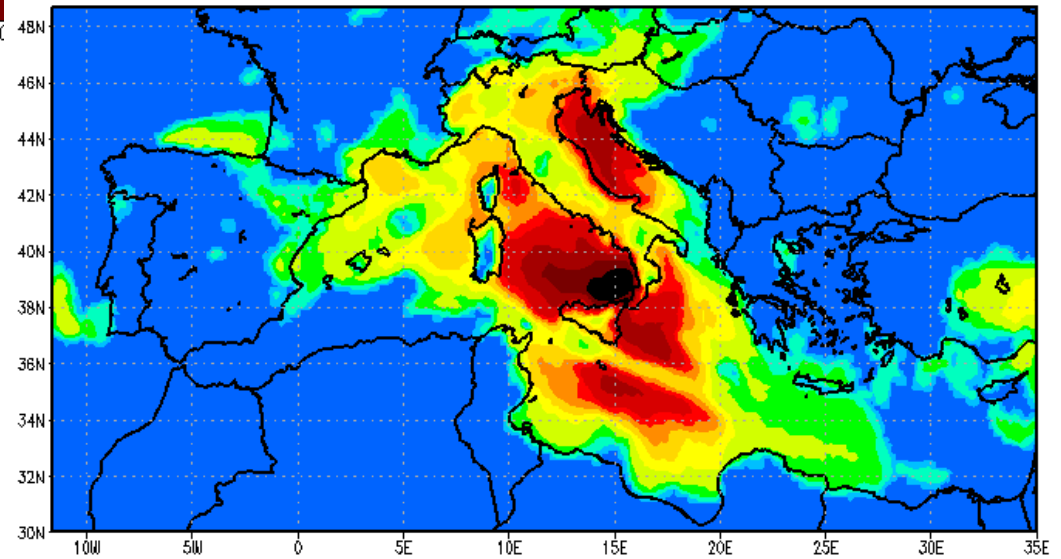
BSC-ES CMAQv4.5 Ozone Number of Exceedances Information Threshold (hr)  
August, Scenario 2000-Scenario A1B 2030 - Mediterranean Res:20x20km



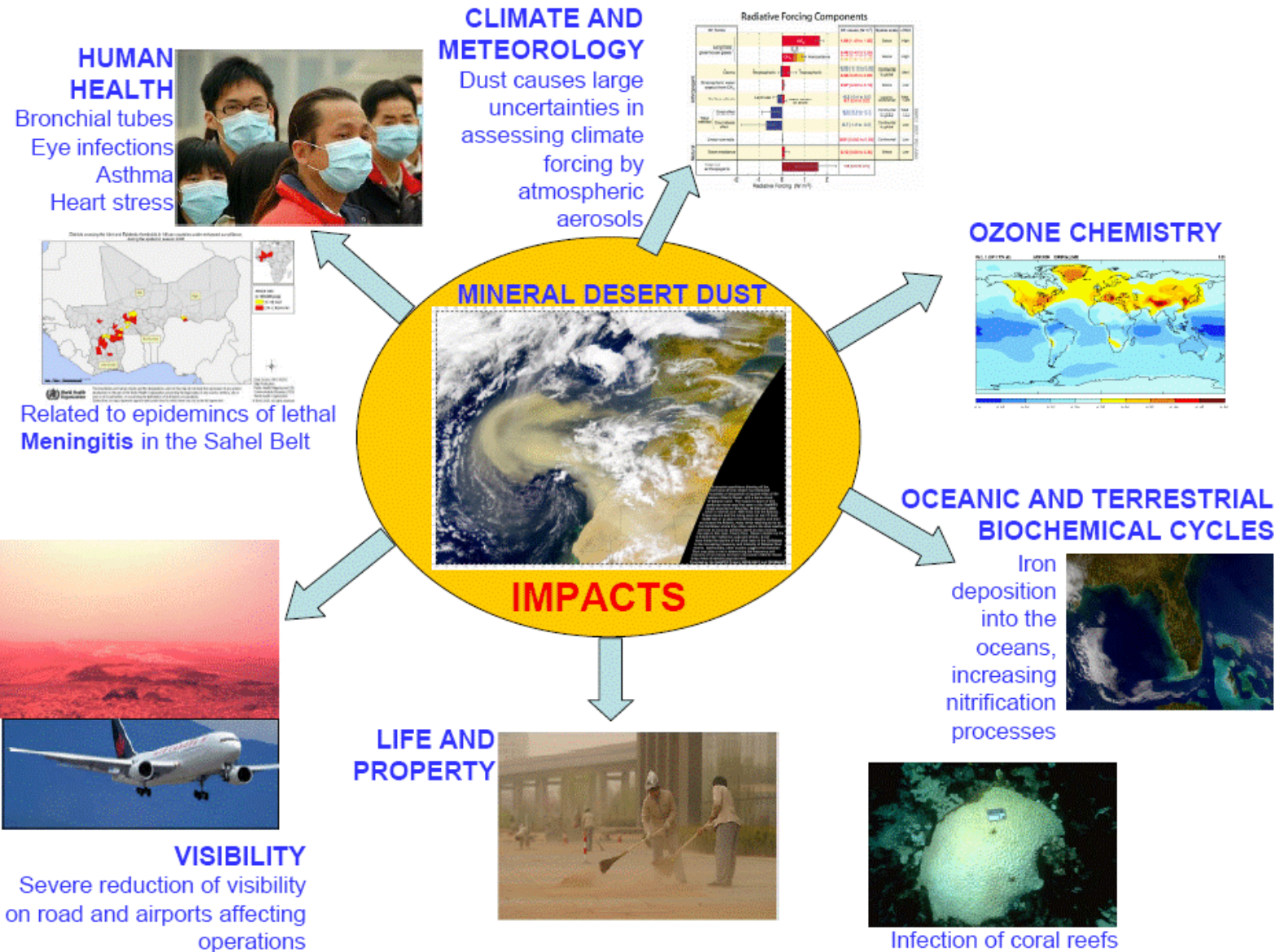
BSC-ES CMAQv4.5 Ozone Number of Exceedances Information Threshold (hr)  
August, Scenario 2000-Scenario B1 2030 - Mediterranean Res:20x20km



En el sur de Italia las excedencias del umbral horario de ozono durante el verano se reduce en más de 100 horas para el escenario A1B y más de 250 horas para el mismo periodo en la simulación B1.

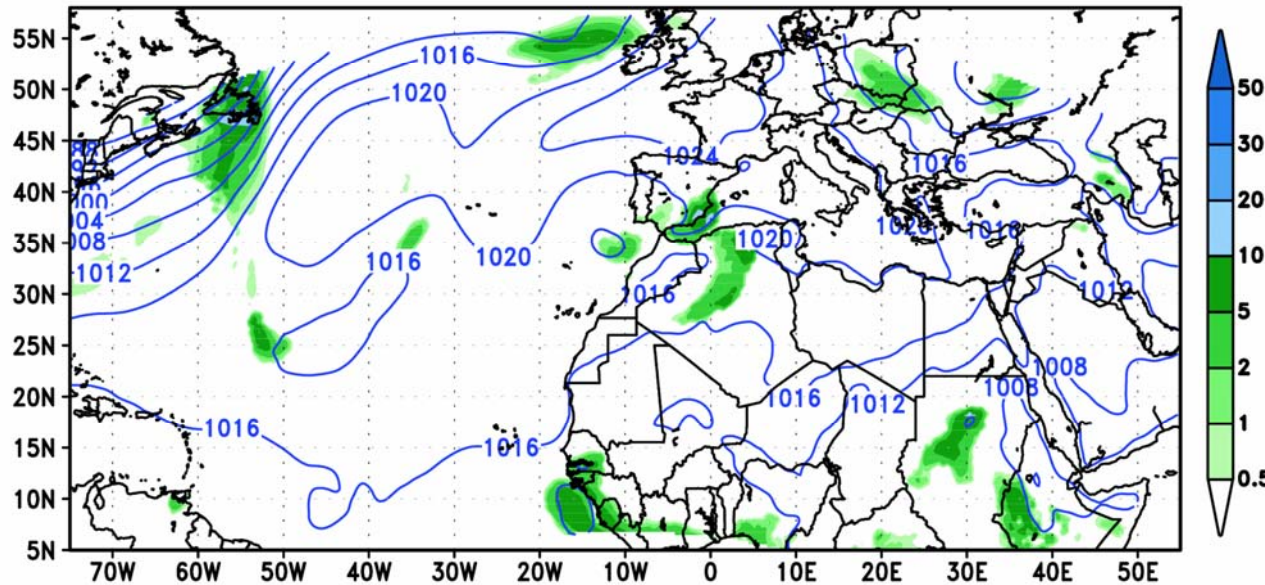




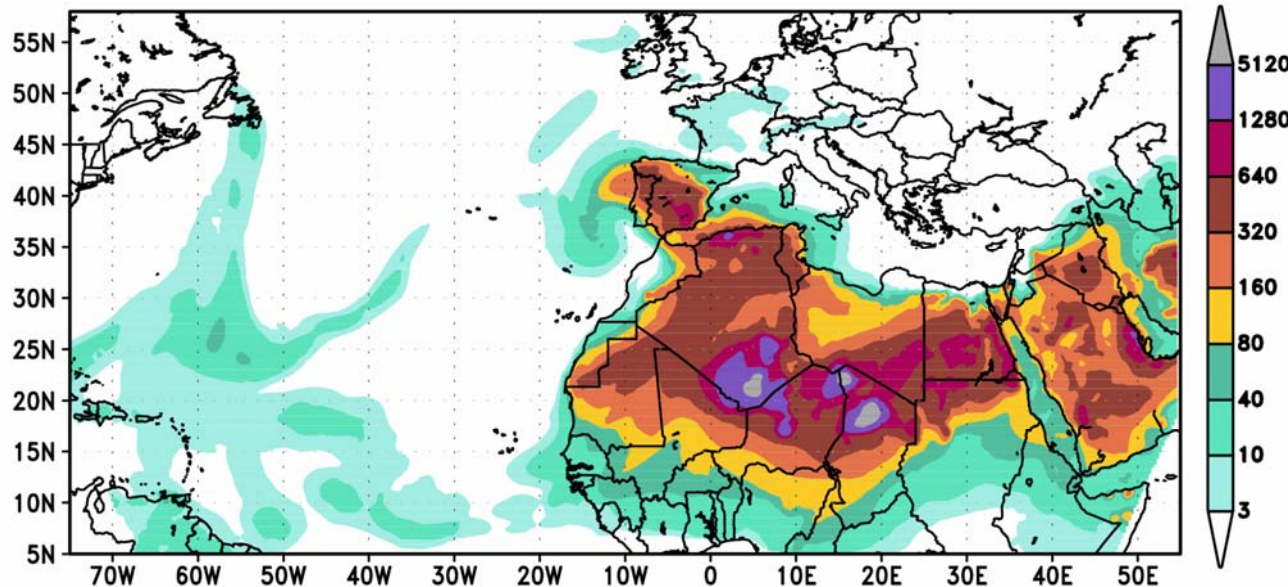




12h acc. Precipitation and MSL Pressure  
12h reanalysis for 12z 30 SEP 97



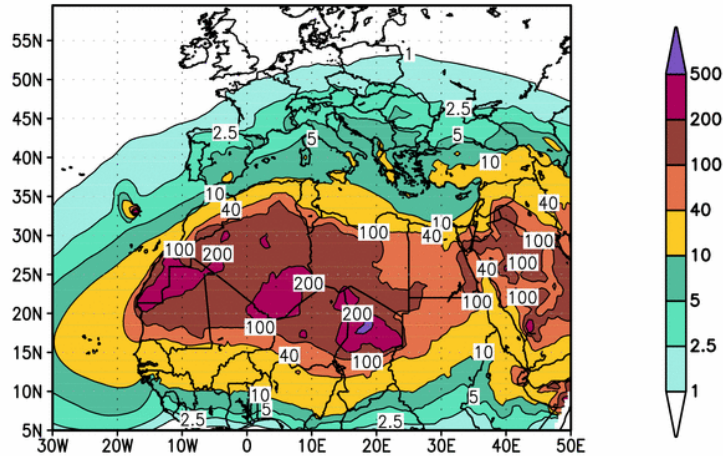
BSC/DREAM Lowest Model Level Dust Concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
12h reanalysis for 12z 30 SEP 97



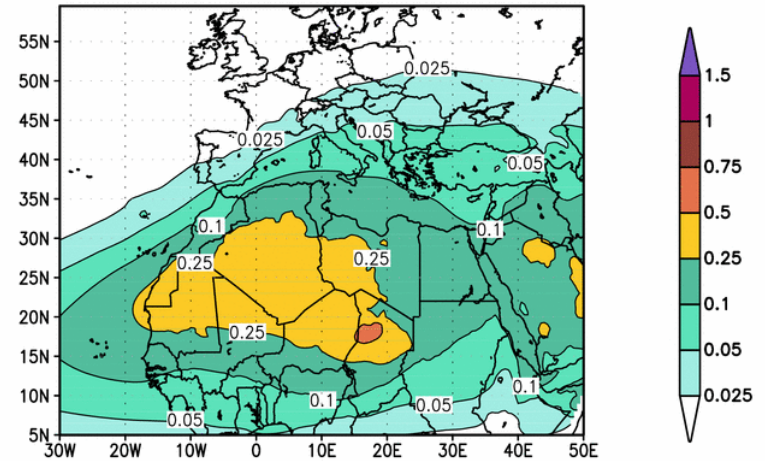
- Resolución:  $1/3^\circ \times 1/3^\circ$  horizontal y 24 niveles
- Paso de tiempo: 120 s
- Vegetación y propiedades del suelo constantes
- Tiempo de cálculo con un único procesador para simulación de 24h: ~ 70 min
- Tiempo de cálculo con un único procesador para 48 años: ~ 851 días (~ 28 meses)
- 116 procesadores: ~ 7 días



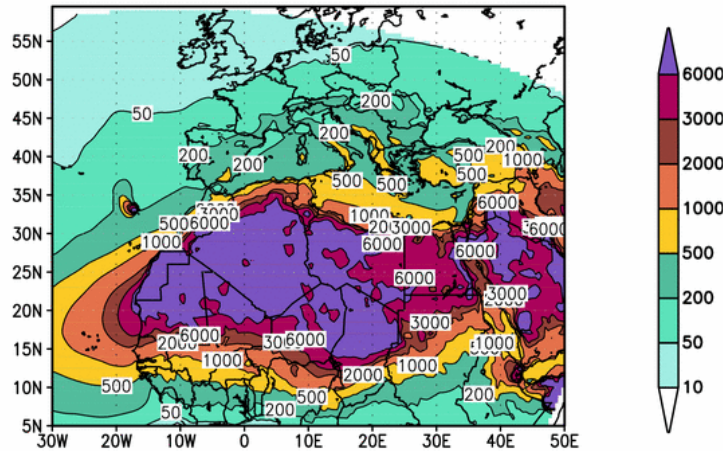
Surf. dust conc. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] 1981–2006



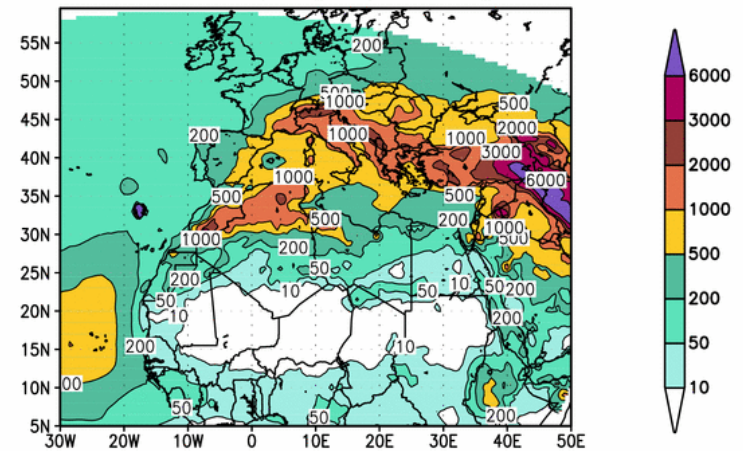
AOD 550 nm 1981–2006



Average dry dust dep. [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ] 1981–2006



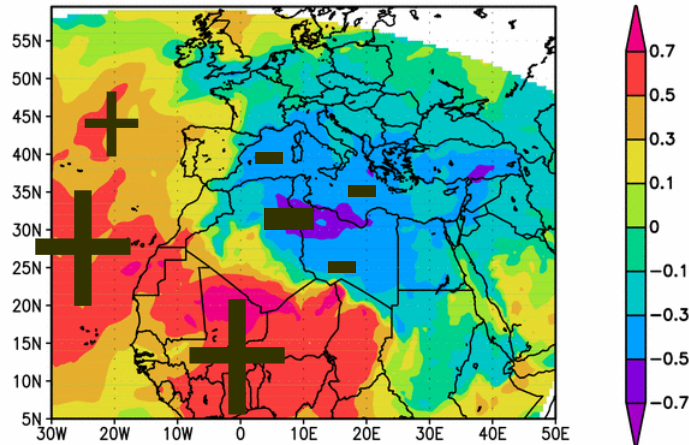
Average wet dust dep. [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ] 1981–2006





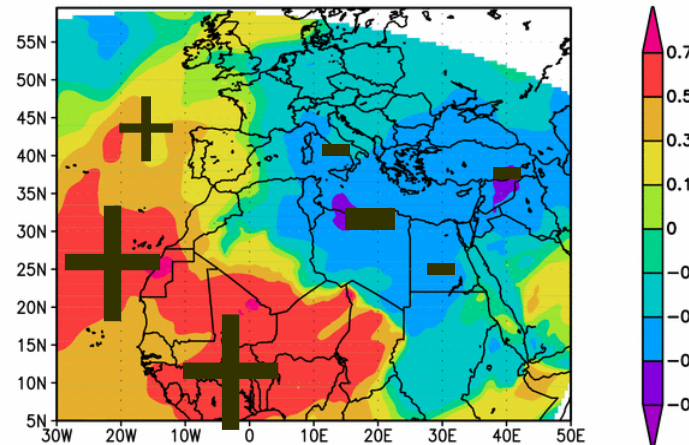
## DJF NAO vs. DJF concentration

Corr. DJF-NAO vs DJF Conc. 1981-2006



## DJF NAO vs. DJF AOD

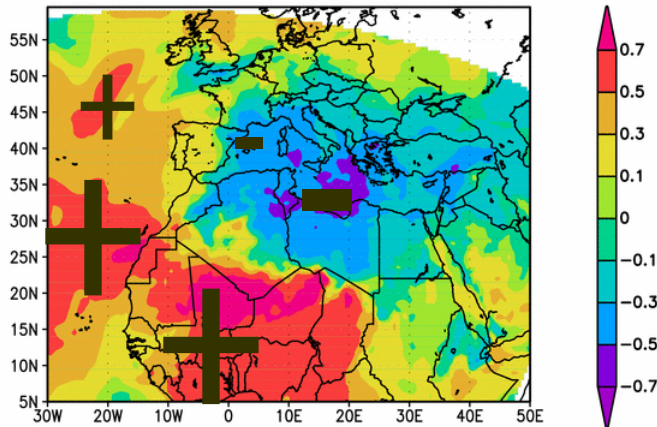
Corr. DJF-NAO vs DJF AOD 1981-2006



+ Mayores concentraciones de polvo en invierno en el periodo 1981-2006 con respecto al periodo 1950-1980 en el Atlántico Norte?

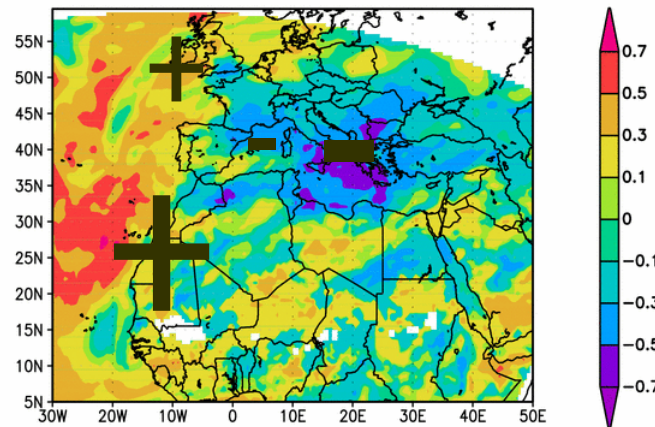
## DJF NAO vs. DJF Dry Dep

Corr. DJF-NAO vs DJF Dry Dep. 1981-2006



## DJF NAO vs. DJF Wet Dep

Corr. DJF-NAO vs DJF Wet Dep. 1981-2006



+ Tendencia decreciente de polvo en el periodo 1990-2006?

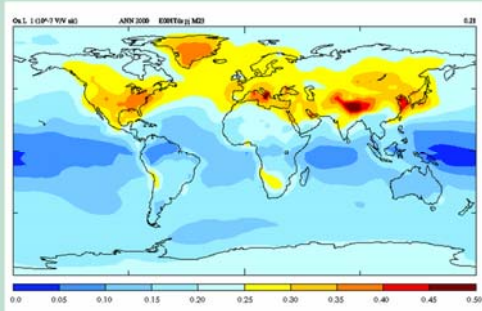
- Anti-correlaciones en el Mediterráneo



# CALIOPE Air Quality Forecasting System

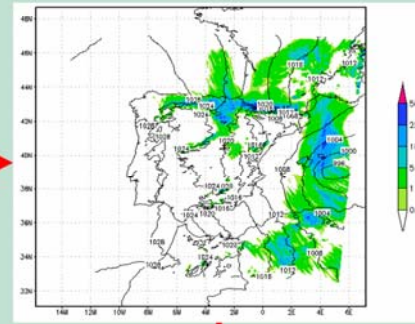
## GLOBAL SIMULATIONS

Initial and boundary conditions



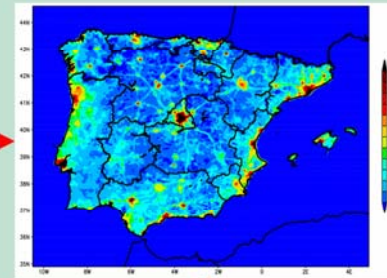
## METEOROLOGICAL FORECAST FOR SPAIN

High resolution (4 km)

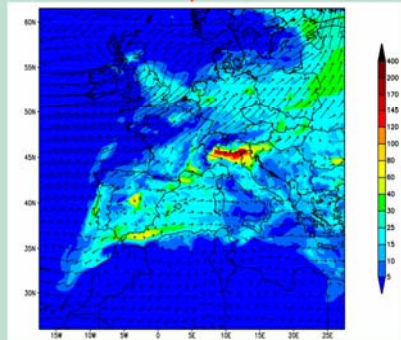


## EMISSION MODEL

HERMES developed at BSC-CNS

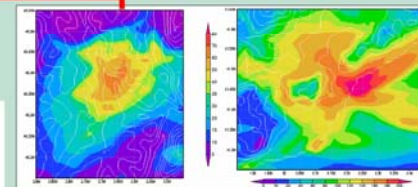
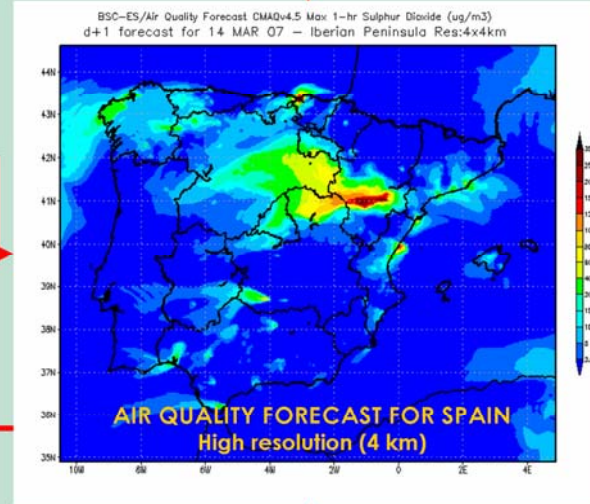


# Sistema de pronóstico de la calidad del aire CALIOPE



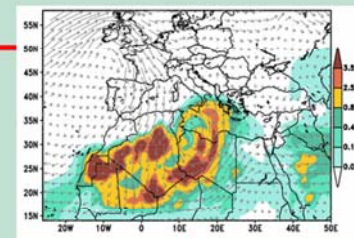
## EUROPEAN METEOROLOGICAL AND AIR QUALITY FORECAST

High resolution (12 km)



## AIR QUALITY FORECAST FOR HOT-SPOTS REGIONS

Madrid and Barcelona (1 km)



## SAHARAN DUST OUBREAKS

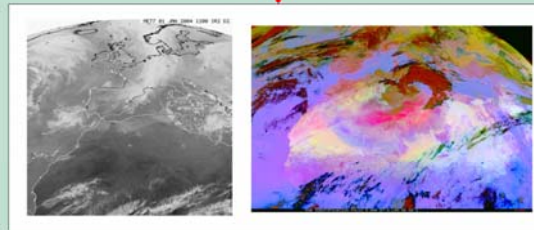
Dust Regional Atmospheric Model (DREAM)

Quai-real time air quality data from stations



## METEOROLOGICAL AND AIR QUALITY OBSERVATIONS

Dynamics and model evaluation



## SATELLITE OBSERVATIONS

Surveillance and model verification



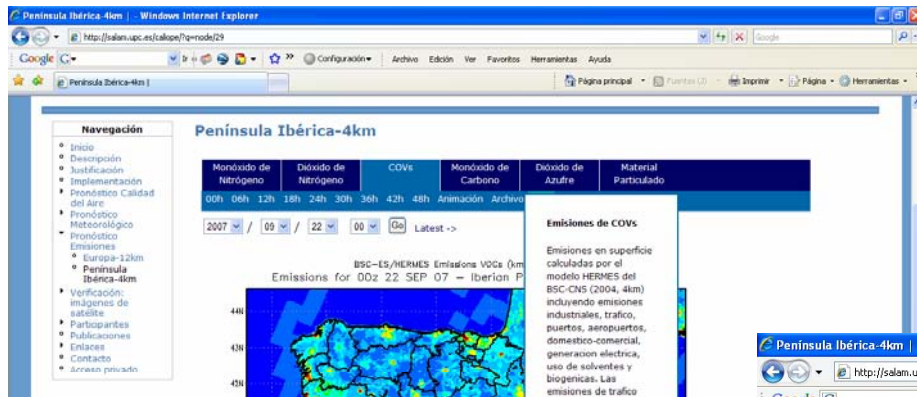
## PARTICULATE MATTER OBSERVATIONS

Dynamics and model evaluation

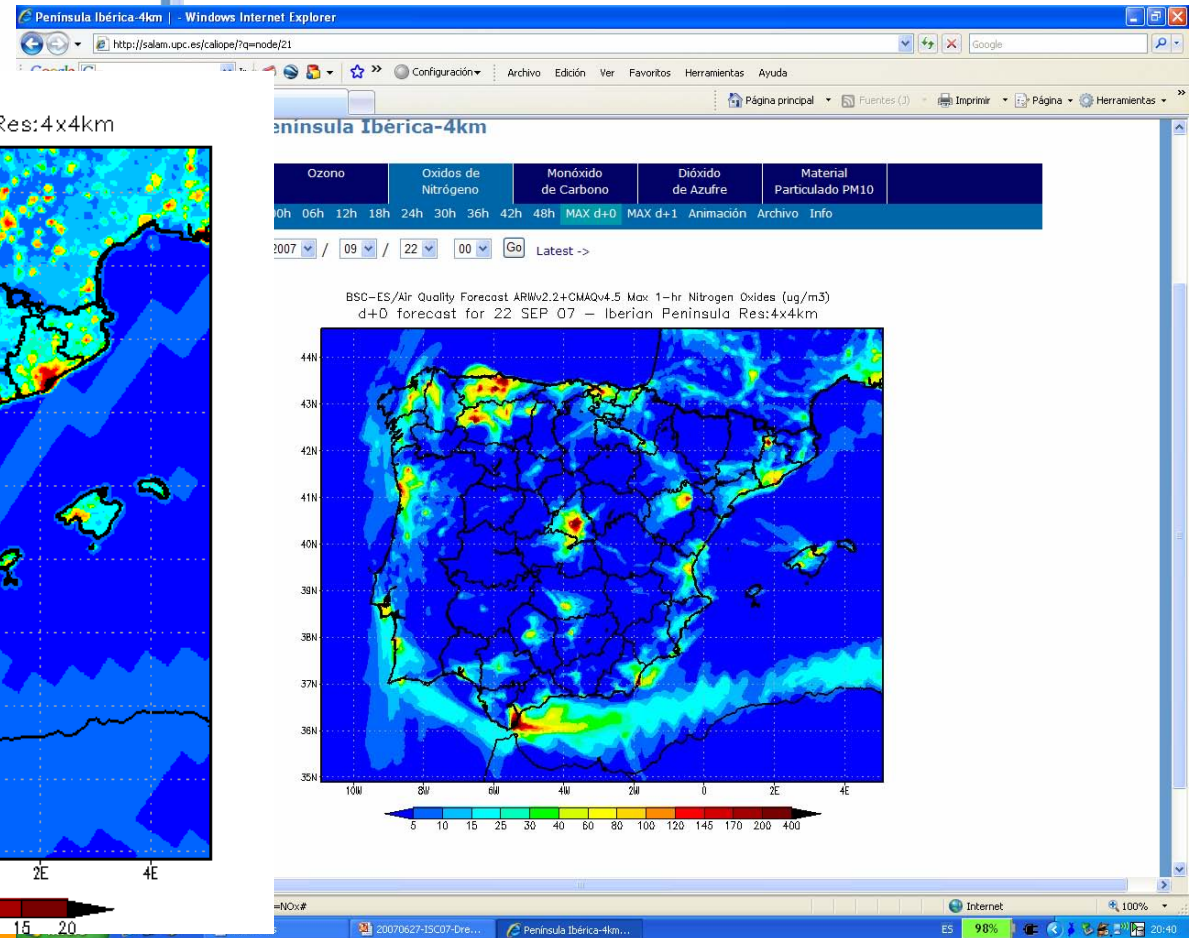
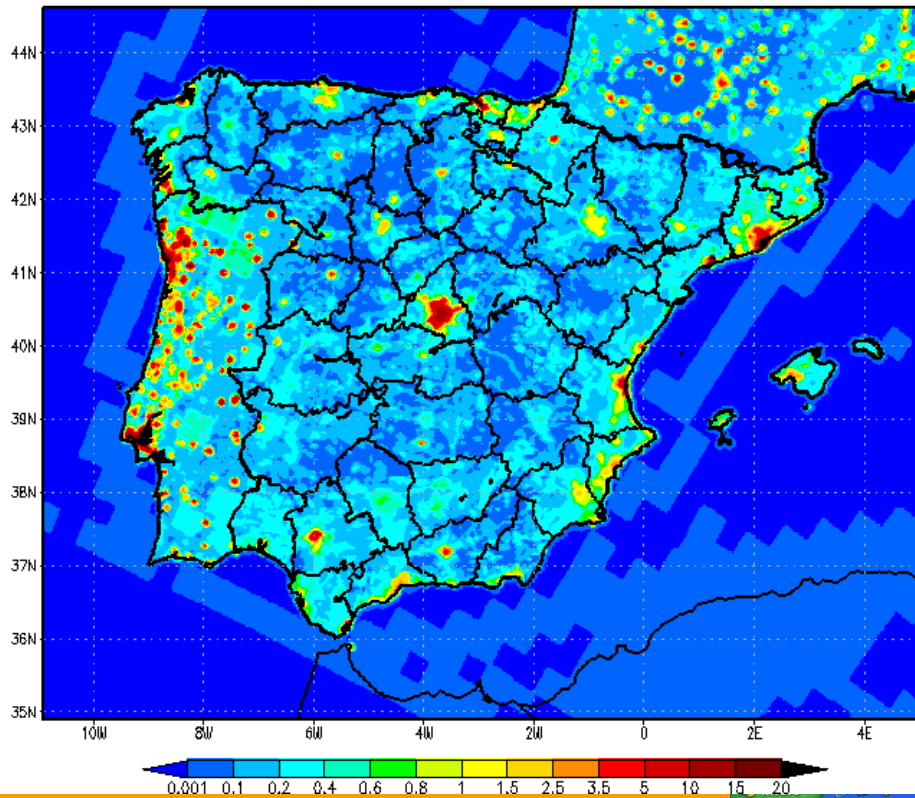




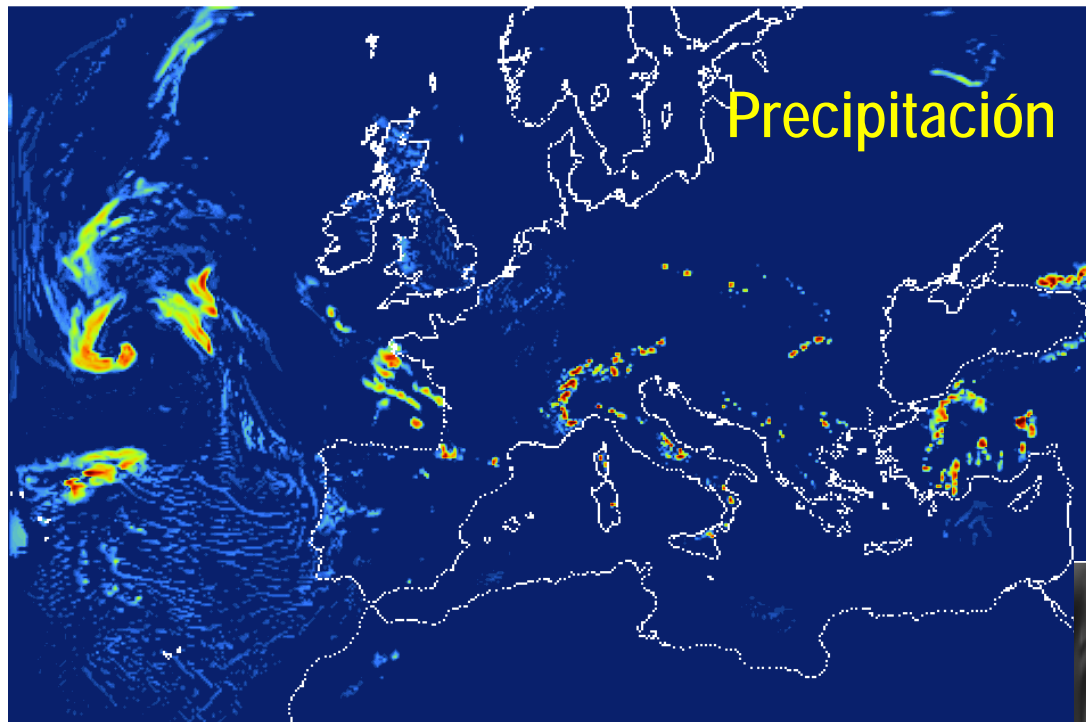
<http://www.bsc.es/caliope>



BSC-ES/HERMES Emissions VOCs (kmoles/h)  
Emissions for 00z 22 SEP 07 – Iberian Peninsula Res:4x4km



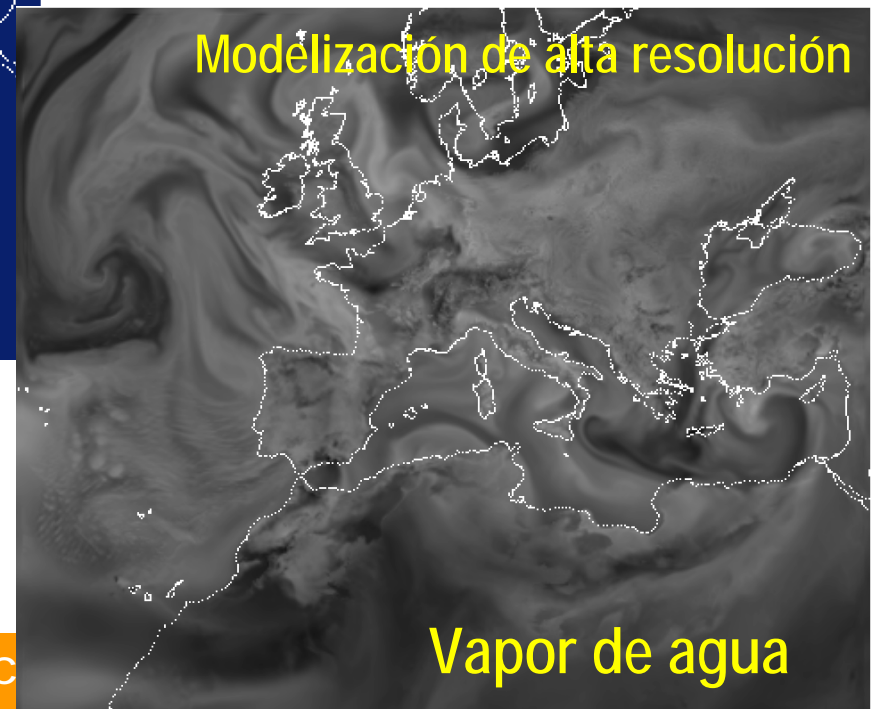
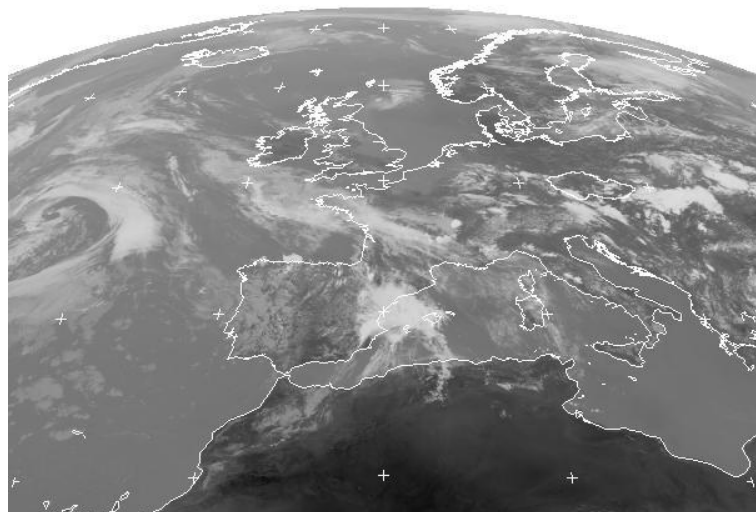




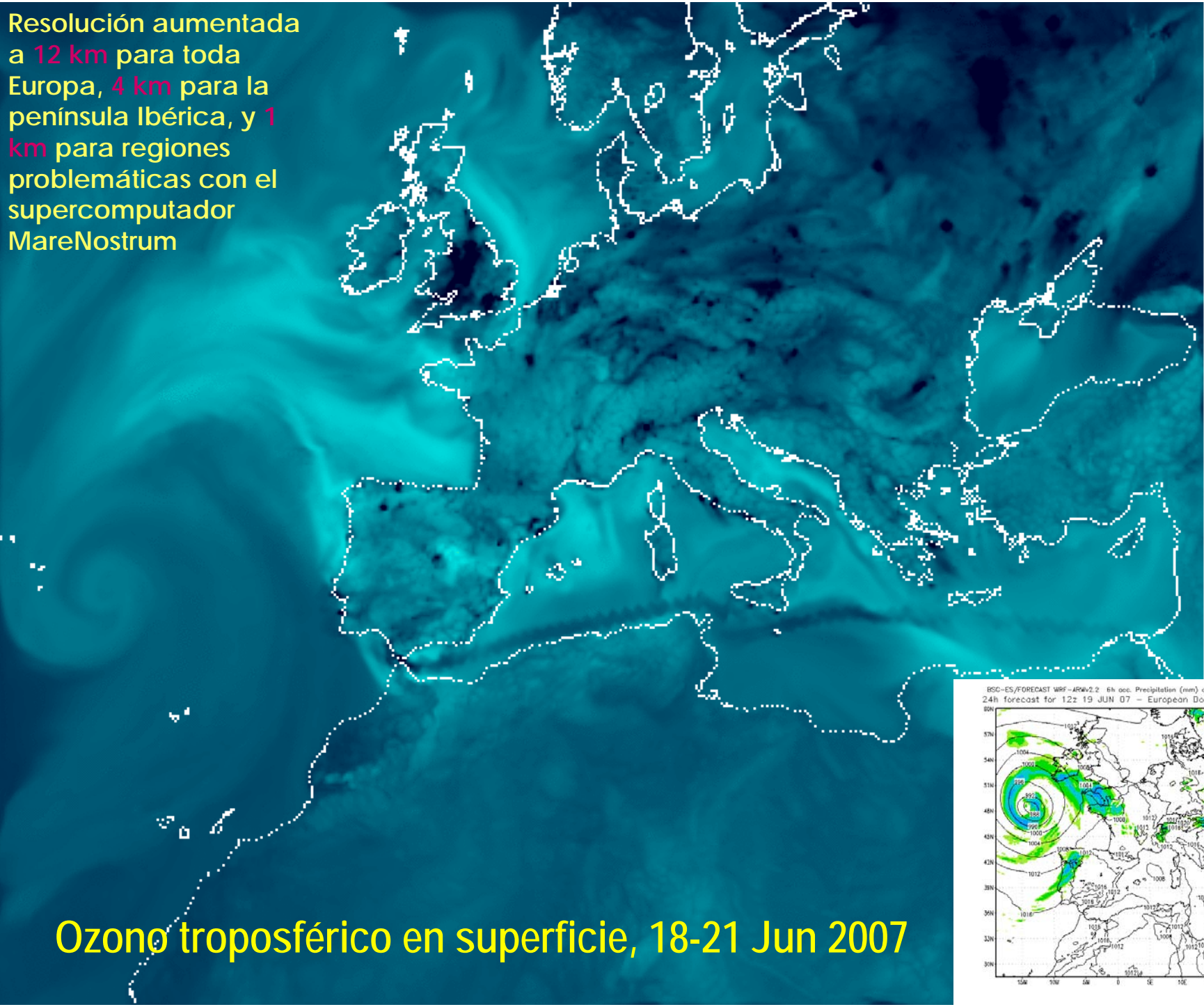
Mejora de la resolución espacial – hacia un sistema de modelización de calidad del aire de nueva generación

Resolución aumentada a **12 km** para toda Europa, **4 km** para la península Ibérica, y **1 km** para regiones problemáticas con el supercomputador MareNostrum

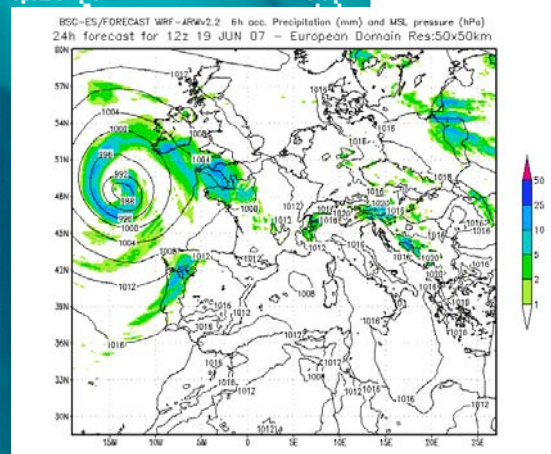
Copyright 2007 EUMETSAT MET9 10 JUN 2007 1200 BNV IR\_108 2



Resolución aumentada a 12 km para toda Europa, 4 km para la península Ibérica, y 1 km para regiones problemáticas con el supercomputador MareNostrum



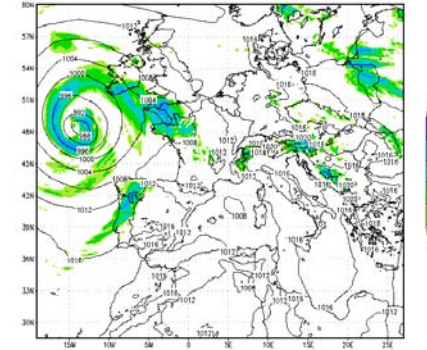
Ozono troposférico en superficie, 18-21 Jun 2007



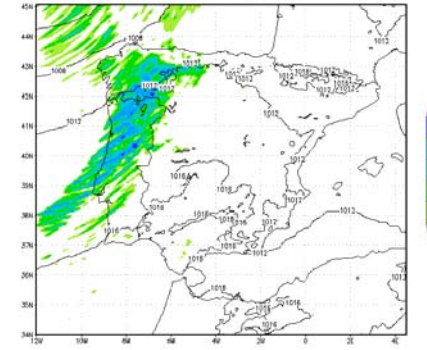


Dominio con una resolución de **4 km** para la península Ibérica

BSC-ES/FORECAST WRF-ARWv2.2 6h acc. Precipitation (mm) and MSL pressure (hPa)  
24h forecast for 12z 19 JUN 07 - European Domain Res:50x50km

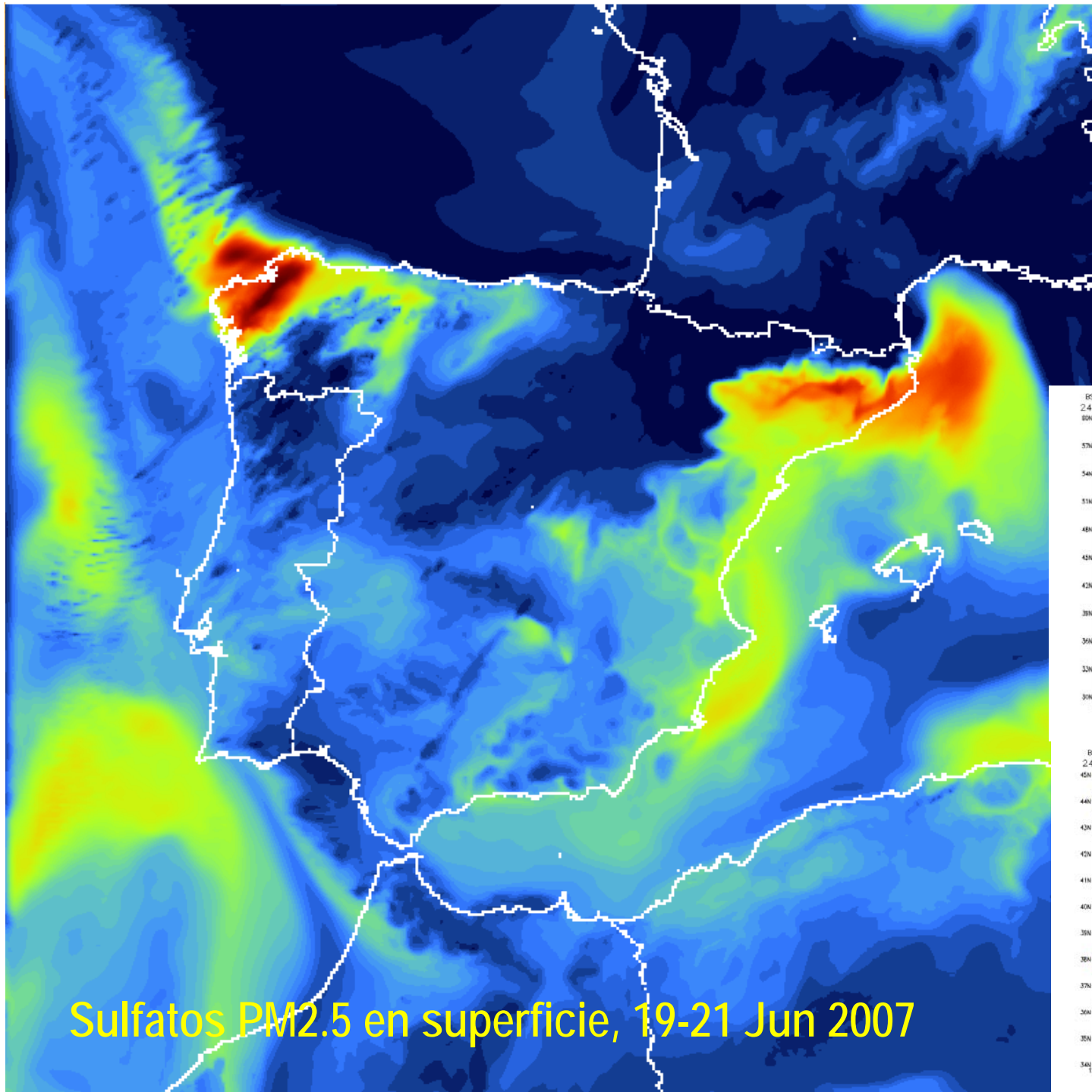


BSC-ES/FORECAST WRF-ARWv2.2 6h acc. Precipitation (mm) and MSL pressure (hPa)  
24h forecast for 12z 19 JUN 07 - European Domain Res:50x50km



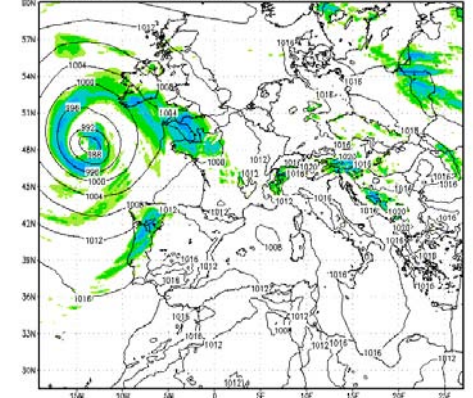
Ozono troposférico en superficie, 19-21 Jun 2007



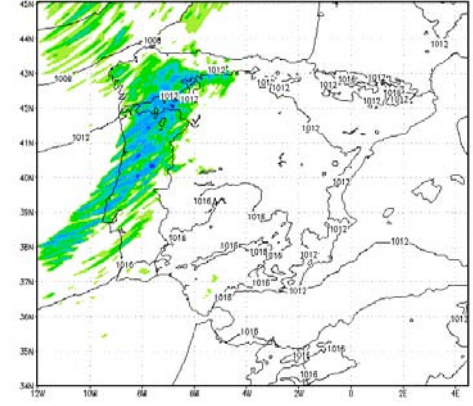


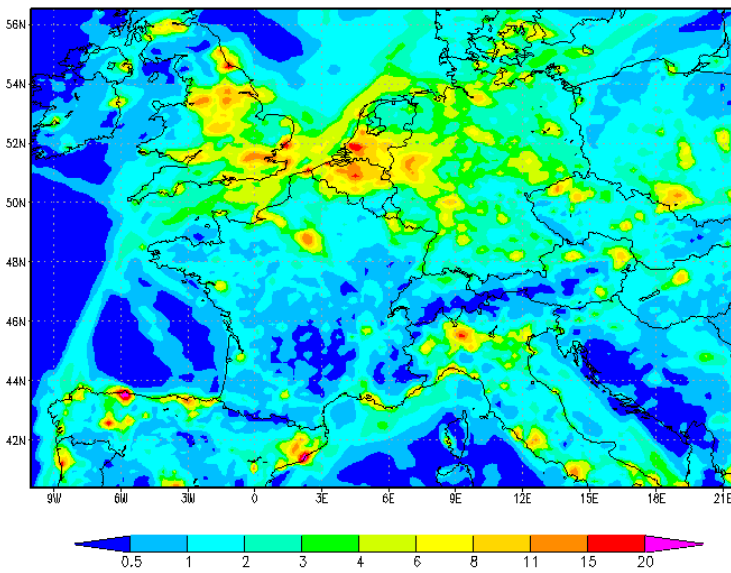
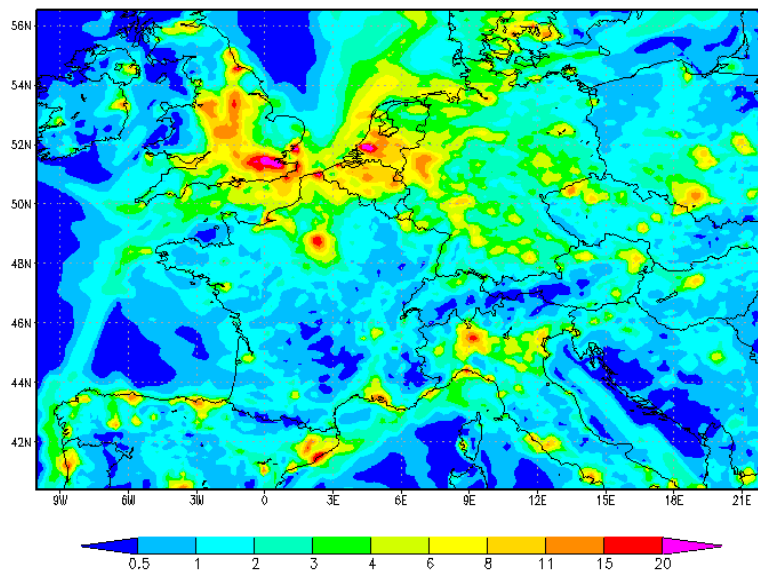
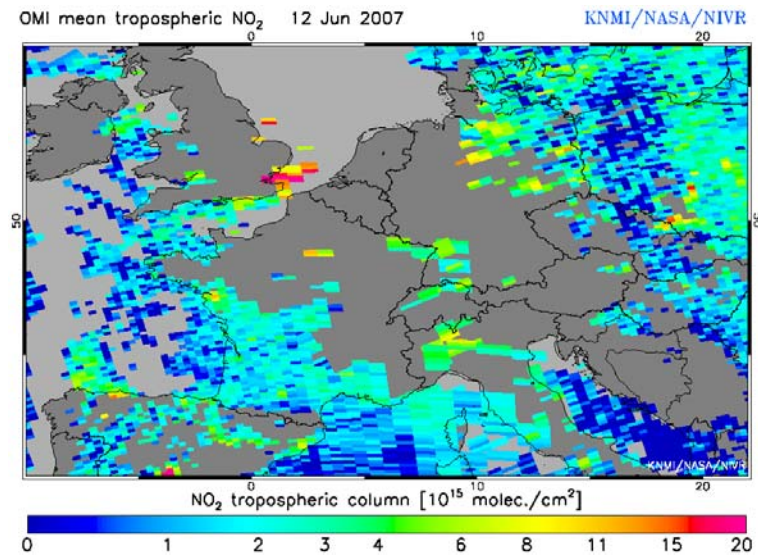
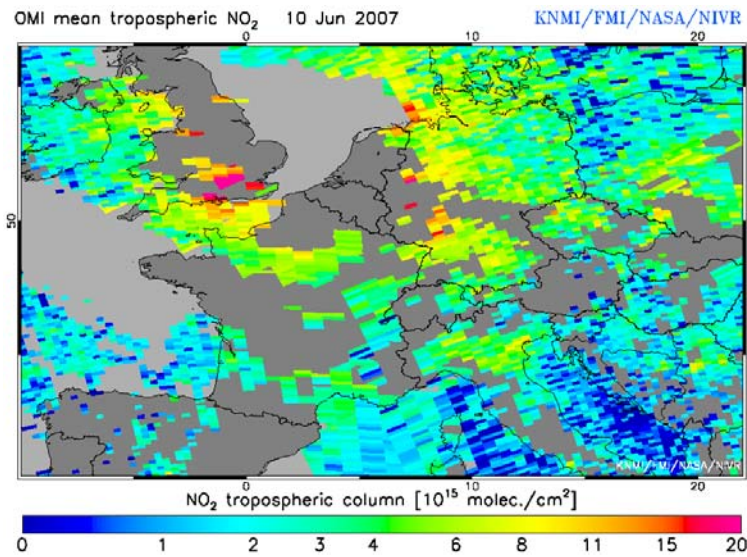
Sulfatos PM2.5 en superficie, 19-21 Jun 2007

BSC-ES/FORECAST WRF-ARWV2.2 6h occ. Precipitation (mm) and MSL pressure (hPa)  
24h forecast for 12z 19 JUN 07 - European Domain Res:50x50km



BSC-ES/FORECAST WRF-ARWV2.2 6h occ. Precipitation (mm) and MSL pressure (hPa)  
24h forecast for 12z 19 JUN 07 - European Domain Res:50x50km









## The ENES proposal

60 TFE in 2008 for Europe (EVE:lab)

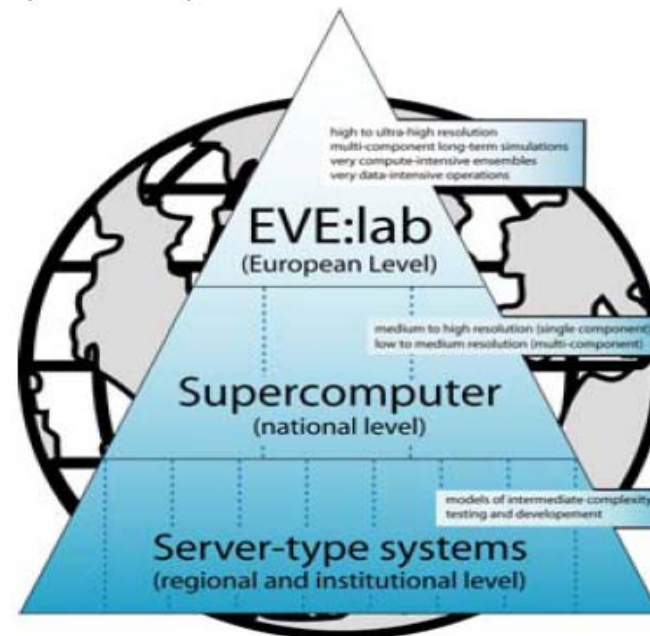
Sustained effort until 10 PFE

Contributors : F, GB, D, FP'7, other countries


**-GISS ModelE**

**-EC-EARTH (ECMWF)**

**-IPSL CM5**



## Mejora de la capacidad de supercomputación (Fuente: PRACE)



Challenge	1TF sustained	10-100 TF sustained	100-1000 TF sustained	>1 PF sustained
Weather and air quality	Preliminary studies on limited domains	Cloud resolving models and high resolution air quality forecast on limited domains	1 km resolution model for the area of EU member state	1 km resolution models, including more processes and coupling (aerosols, land surface, ...)
Climate Extreme events, Impacts		Modified regime for extreme events (5 to 10 200-year medium-resolution coupled simulations) ->		Tropical phenomena (high-vertical resolution O/A coupling, 10cm, 1°A, 0.5°O)
Climate Earth System Modelling		Increase the number of species/variables (->200)	Oceanic CO2 absorption (1/12° & biogeochemistry)	Oceanic CO2 absorption (1/20° & biogeochemistry)
Climate Quantifying uncertainties	IPCC-type « crude » estimations	1. Estimate climate sensitivity with «super-parameterizations» (2D at each grid point) 2. Estimate the range of possibilities Ensemble of 1.000 simulations at today resolution with Earth System models	Quantify the probabilities Ensemble of 1.000 simulations at increased resolution	Estimate climate sensitivity with high-resolution NH model (Grid-size of ≈3km)
Climate surprises Slow-down of the Gulf Stream	Preliminary studies have shown such events are possible within the next couple of centuries	Define probabilities : More numerous simulations	Better estimation of the time horizon : Longer simulations Increase resolution	Toward real prediction: Increase spatial resolution (1 PF and beyond)





## GRACIAS POR SU ATENCIÓN

### Agradecimientos

Especialmente, agradecer al Dr. José María Baldasano ([jose.baldasano@bsc.es](mailto:jose.baldasano@bsc.es)), al Dr. Carlos Pérez y al Dr. Oriol Jorba por la información y transparencias suministradas para esta presentación; NASA, NCAR y ECMWF por las salidas de los modelos GISS, WACCM y EC-EARTH. Gracias a Simone Marras por su colaboración en los trabajos relacionados con la comparación GISS/WACCM/ERA40 (Marras et al., 2007, AGU Fall Meeting).

Estos trabajos han sido financiados por los proyectos GLORIA (DEISA), CICYT CGL2006-08903 y CICYT CGL2006-11879 del Ministerio de Ciencia e Innovación y el proyecto CALIOPE del Ministerio de Medio Ambiente.

GISS NASA Global ModelE implementado en MareNostrum

incsw\_grnd - Color-Filled Contour Plot View

### CONTACTO

[pedro.jimenez@bsc.es](mailto:pedro.jimenez@bsc.es)