

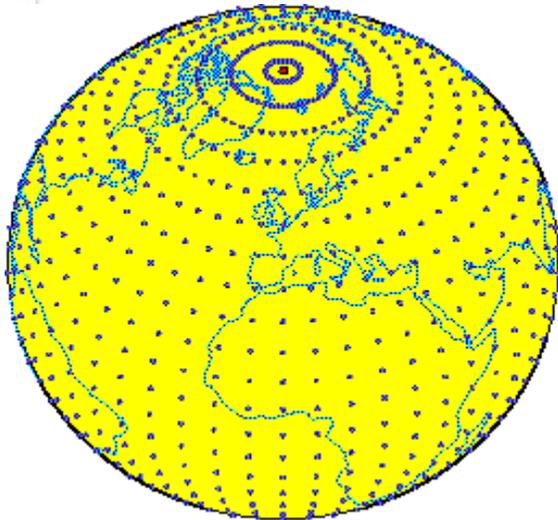
# Modelos matemáticos para la predicción del tiempo en AEMET. Presente y futuro

**José A. García-Moya**  
Jefe del Departamento de Desarrollo y Aplicaciones (DDA)  
Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)  
[jgarciamoyaz@aemet.es](mailto:jgarciamoyaz@aemet.es)

# Los sistemas de predicción actuales



Están basados en modelos numéricos de carácter global, regional o local con un alto poder de resolución espacial y temporal y calculados varias veces al día: predicciones cada vez de mayor calidad.



- **La modelización de la atmósfera se basa en la resolución de un conjunto de ecuaciones termo-hidrodinámicas, que como cualquier problema matemático que simula una evolución temporal necesita:**
  - Conocer con la mayor exactitud posible el estado inicial (observaciones);
  - Uso generalizado de la matemática discreta; y
  - El auxilio de potentes ordenadores

# ¿Qué problemas presentan los modelos meteorológicos?



- **La modelización de la atmósfera posee una serie de problemas específicos, tales como:**
  - Incertidumbre en las condiciones iniciales
  - Multiplicidad de escalas espaciales y temporales
  - No linealidad del sistema
  - Conocimiento insuficiente de las leyes de la física (p.ej., turbulencia, microfísica de nubes, termodinámica del no equilibrio,...)
  - Límite de cálculo impuesto por los ordenadores existentes en el momento.

# Sistema de ordenadores del ECMWF



**1400 TF Potencia Pico**

**Reemplazado en 2014**

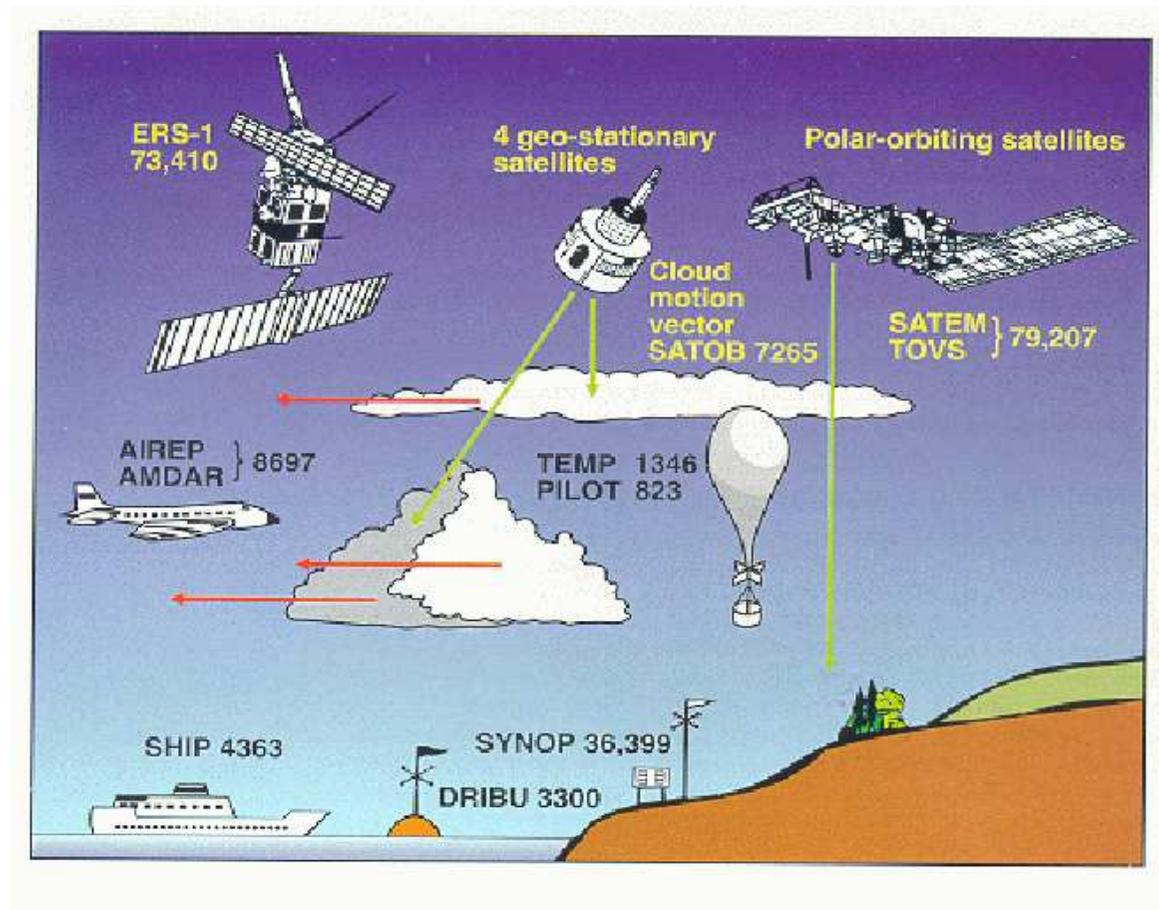
**15000 TF Potencia Pico?**

**2.5 TF Potencia Pico**

**Reemplazado en 2012**

**250 TF Potencia Pico**

# Asimilación de datos



# El modelo del ECMWF

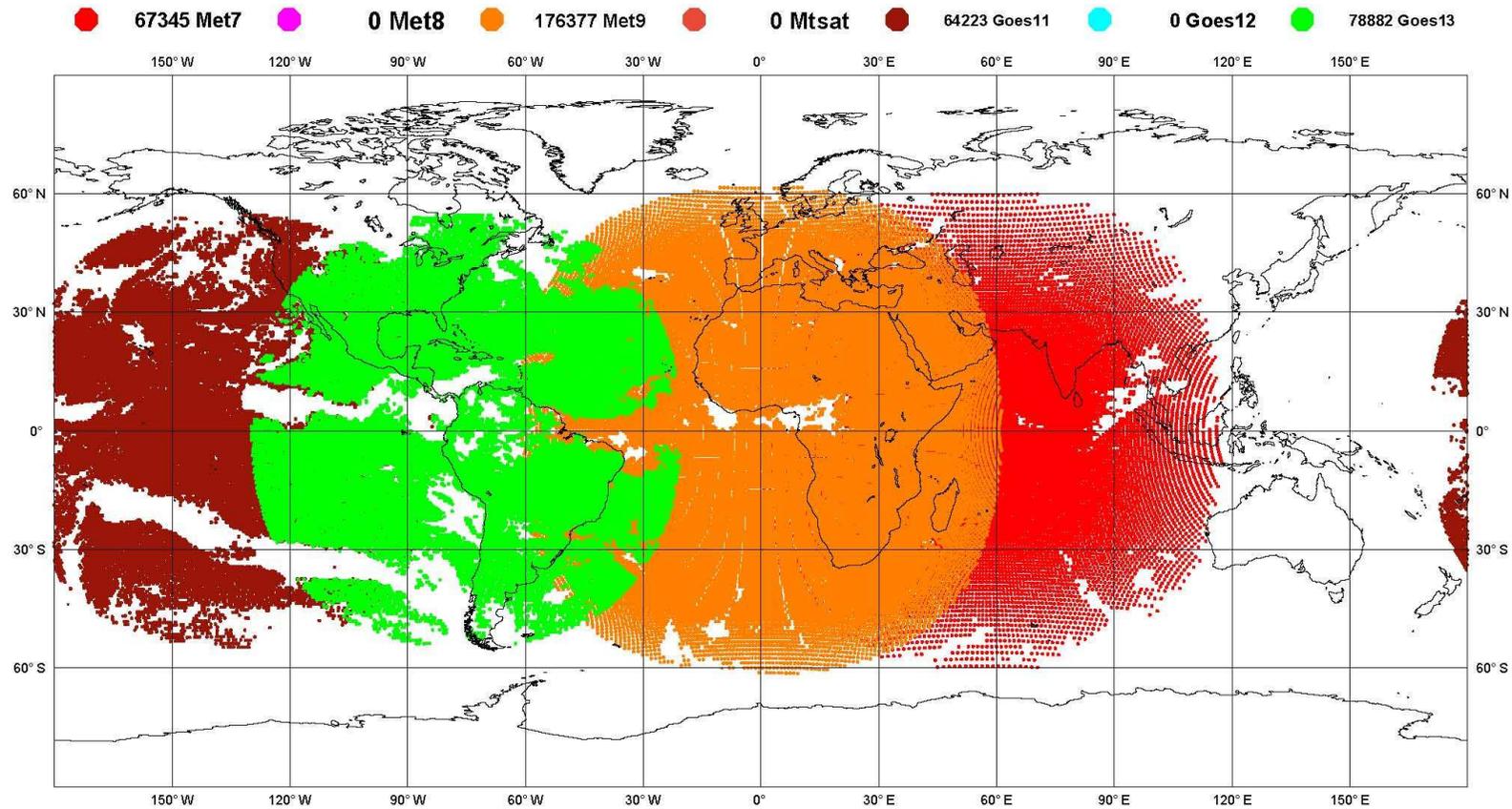


- Referencia: <http://www.ecmwf.int>
- Modelo global de circulación general.
- Operativo desde 1979 con predicciones diarias (00 y 12 UTC) hasta 15 días de plazo.
- Se usa también para predicciones mensuales y estacionales (6 meses).

# Observaciones usadas



ECMWF Data Coverage (All obs DA) - GRAD  
09/MAY/2011; 12 UTC  
Total number of obs = 386827



# El Modelo del Centro Europeo



- Diferentes versiones del Modelo:
  - Modelo determinista actual  $T_L1279 L91$ 
    - 16 km de res. horizontal y 91 niveles verticales (2 veces al día)
  - EPS (Predicción por Conjuntos)  $T_L639L62$  (1-10 días) y  $T_L319L62$  (11-15 días)
    - 30 km de res. horizontal y 62 niveles verticales para 50 miembros (2 veces al día) a diez días y 60 km de res. horizontal en el rango 11-15 días
  - 4DVAR (Asimilación Variacional)  $T255L91$ 
    - 25/80 km de res. horizontal y 91 niveles verticales
  - Predicción mensual  $T_L159L62$ 
    - 125 km modelo acoplado atm/océano (océano 125x30 km en los trópicos; 125x100 km en latitudes medias, 29 niveles océano)
  - Predicción estacional  $T_L159L62$ 
    - 125 km modelo acoplado atm/océano (océano 125x30 km en los trópicos; 125x100 km en latitudes medias, 29 niveles océano)

# Aplicaciones de las salidas directas de los modelos



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

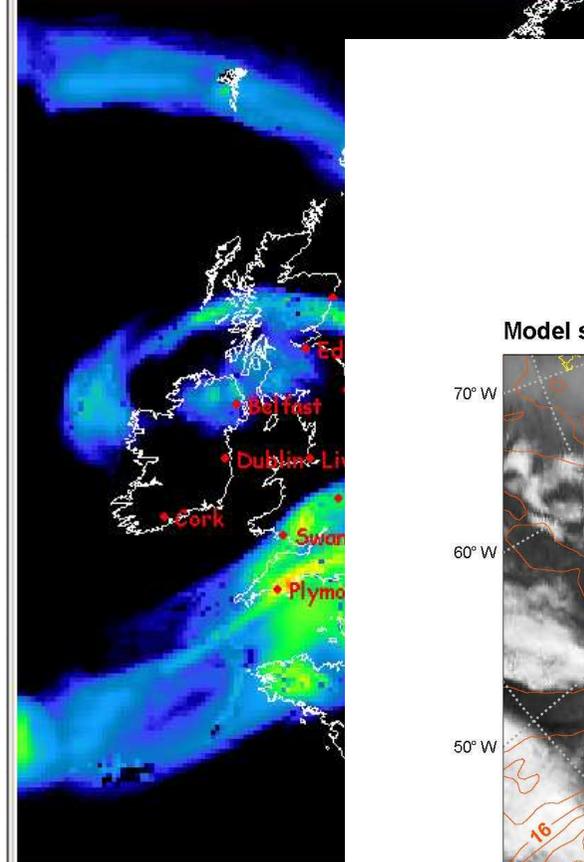


Hyrad - Mesoscale Model - meso dyn rain rate

File View Display Setup Window Video Time-series Help



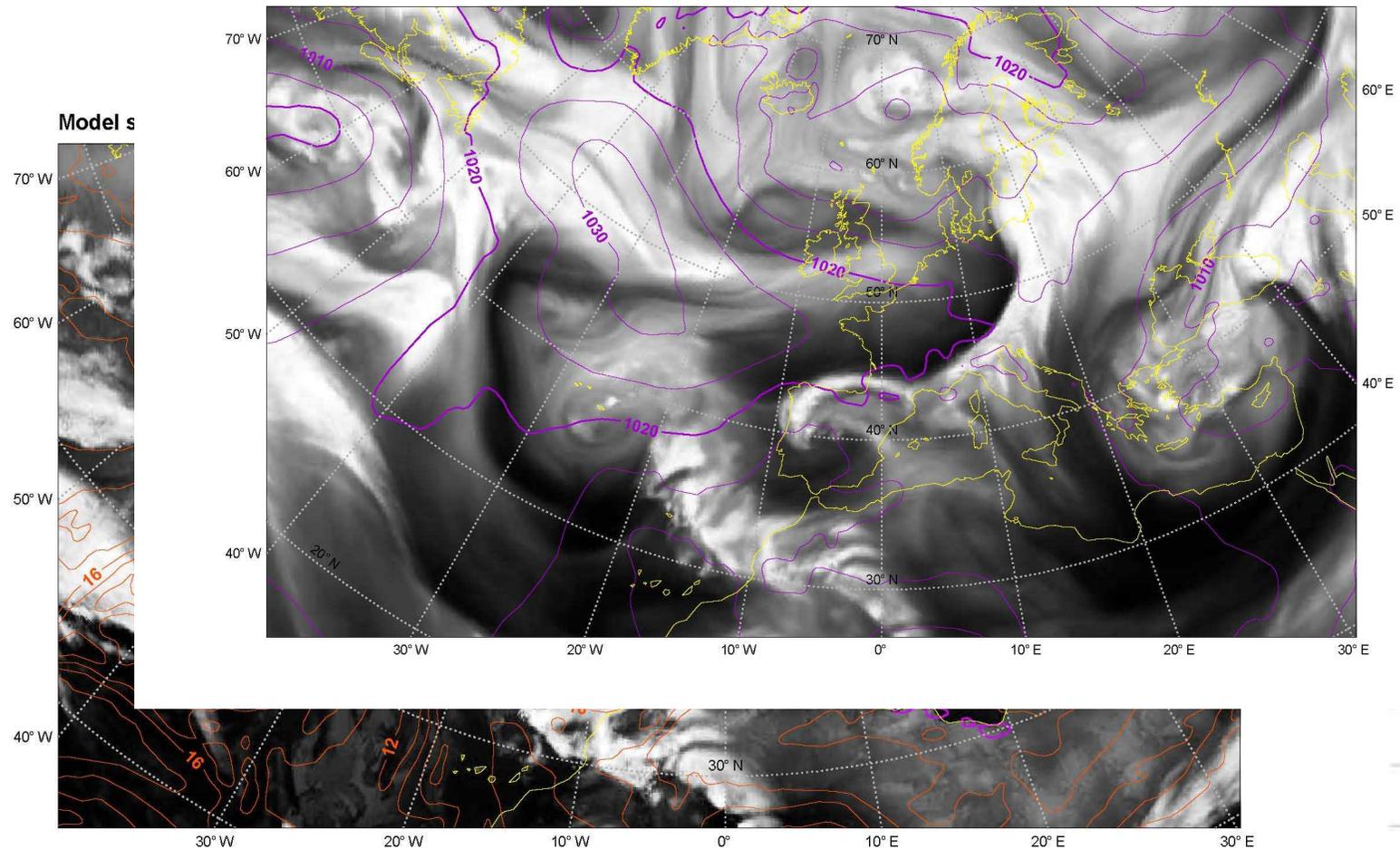
Mesoscale Model - meso dyn rain rate



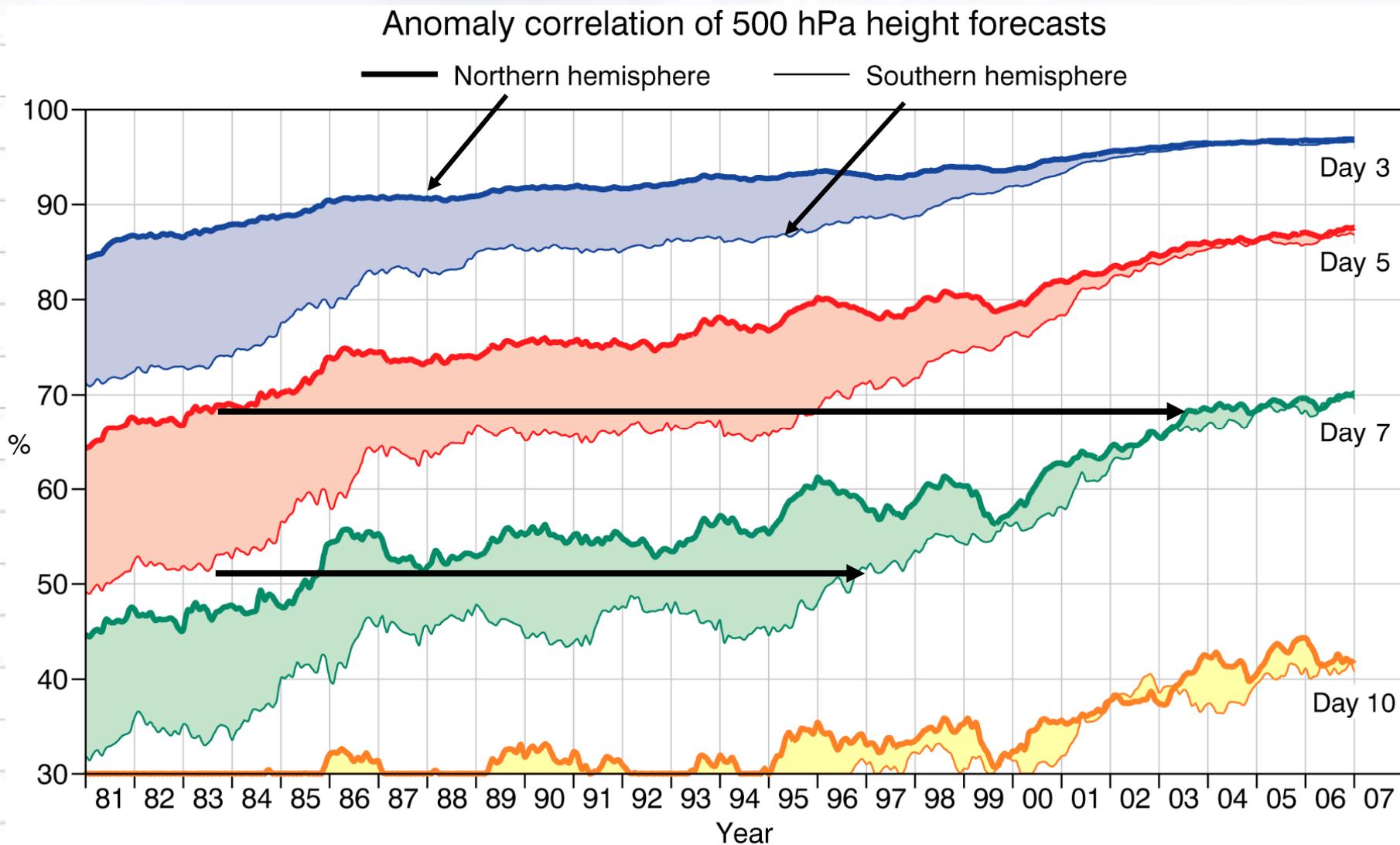
12:00 GMT Sat 26-Jan-2002 (00:00+12:00)

12:00 GMT Sat 26-Jan-2002 (00:00+12:00) 1.70

Tuesday 10 May 2011 00UTC © ECMWF t+72 VT:Friday 13 May 2011 00 UTC  
Model simulated METEOSAT 9 SEVIRI (Channel 5 WV6.2) Brightness Temperature and Mean sea level pressure



# Calidad de la predicción del ECMWF



# Verificación comparada



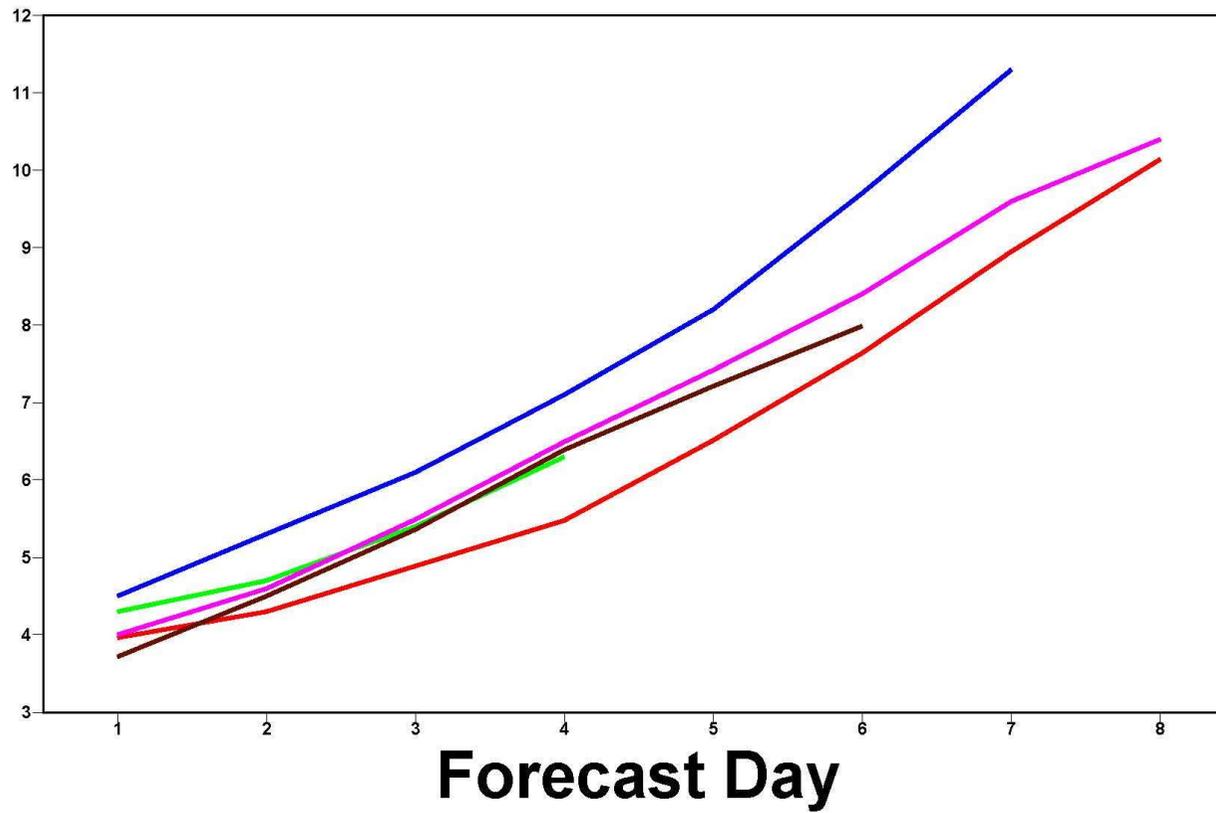
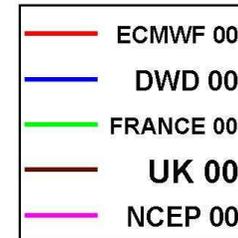
## VERIFICATION TO W.M.O. STANDARDS EUROPE

VERIFICATION AGAINST RADIOSONDES

850 hPa WIND

RMSEV (m/s)

Mean values 201103 to 201103

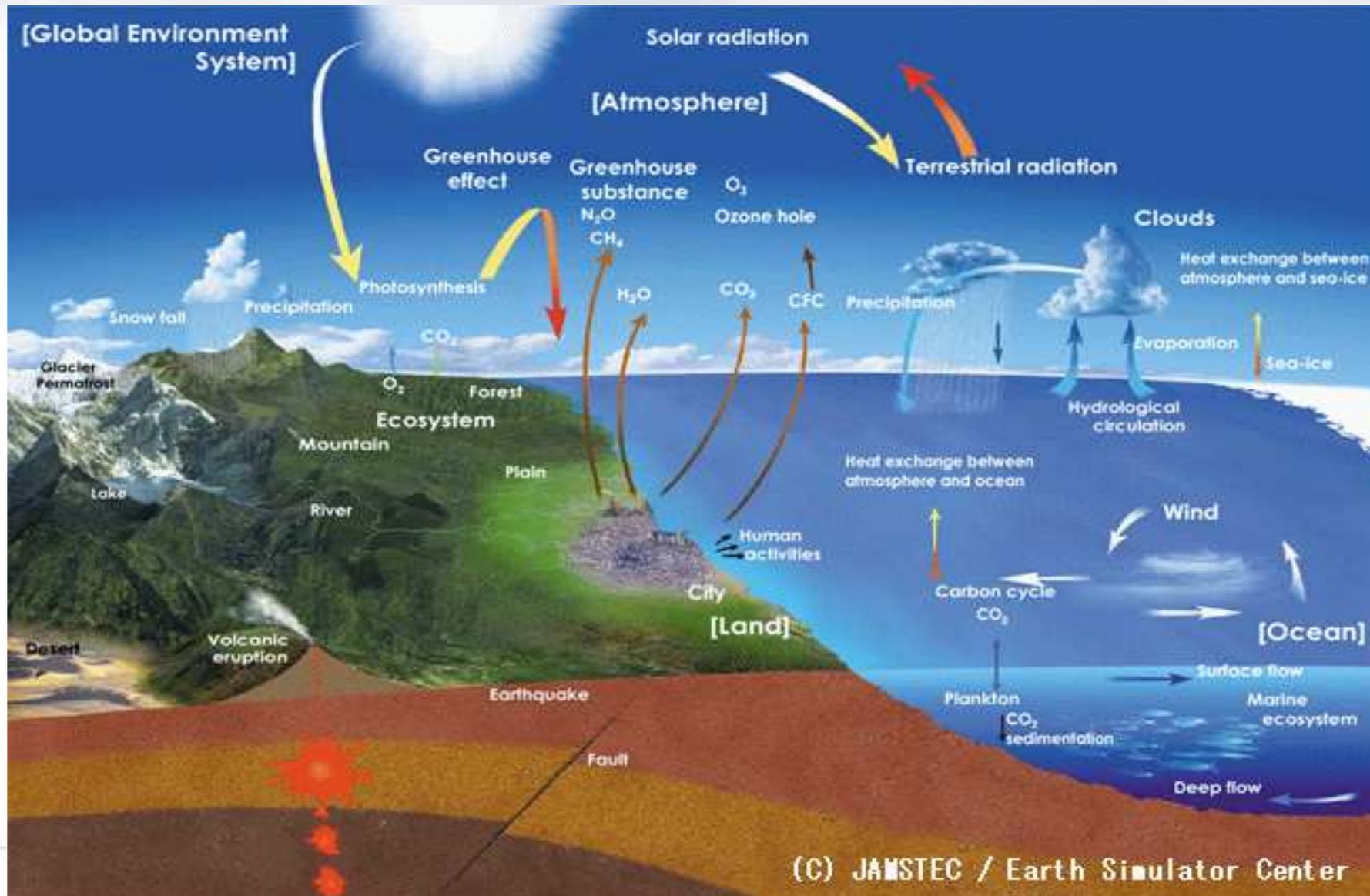


**Pero este es el presente**

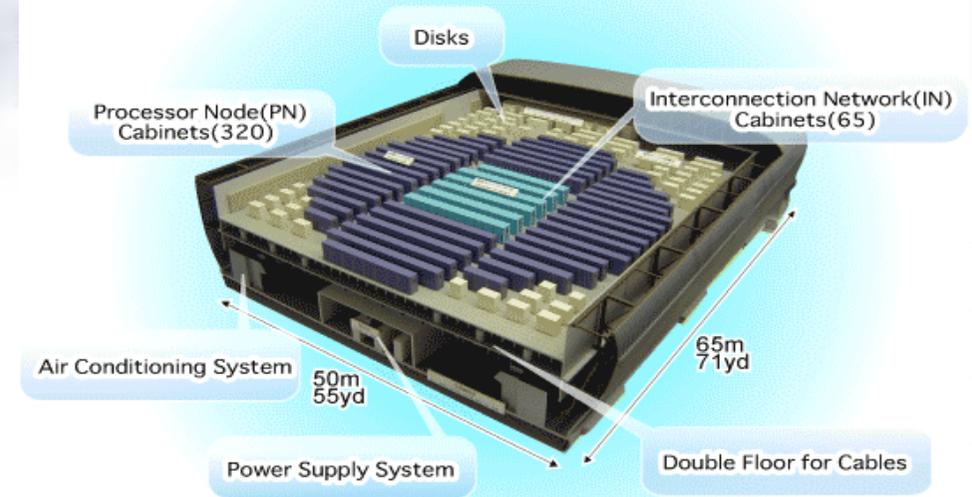


- **El futuro es...**

# El sistema climático



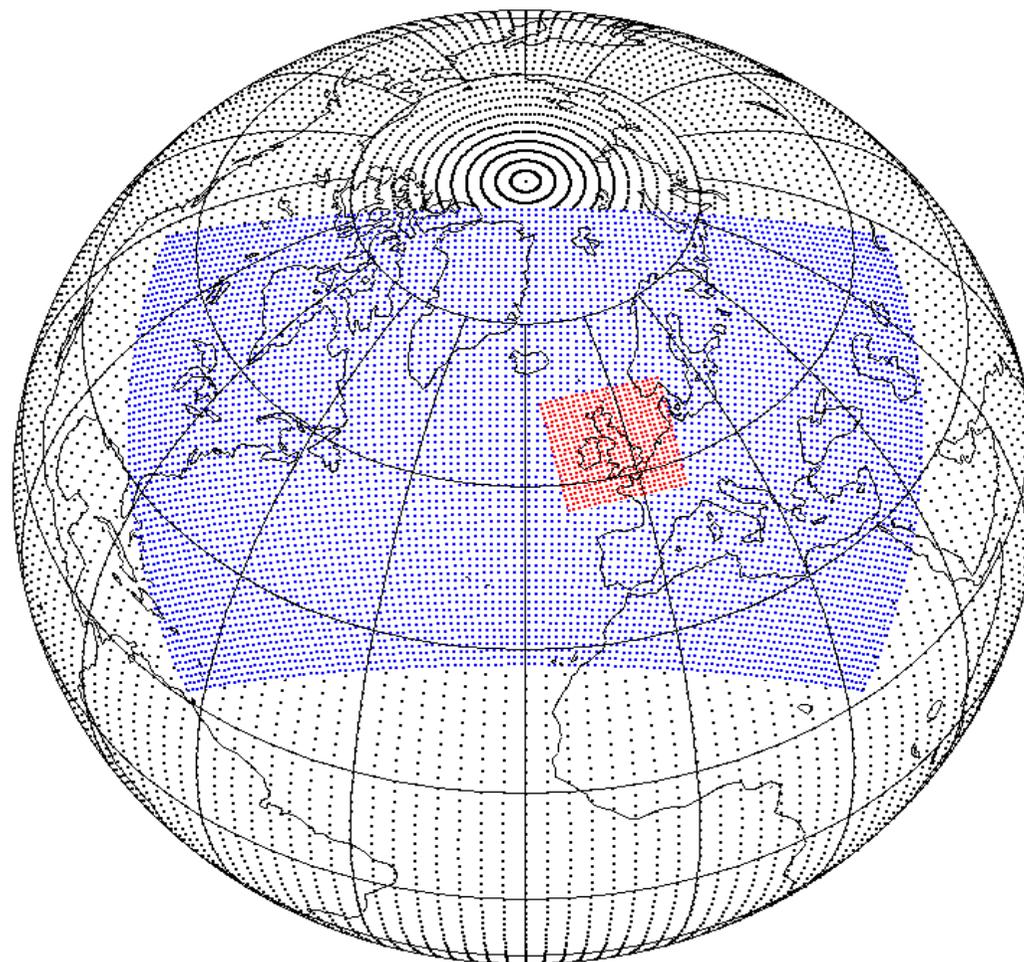
# Ahora



## Earth Simulator Centre II (Japón)

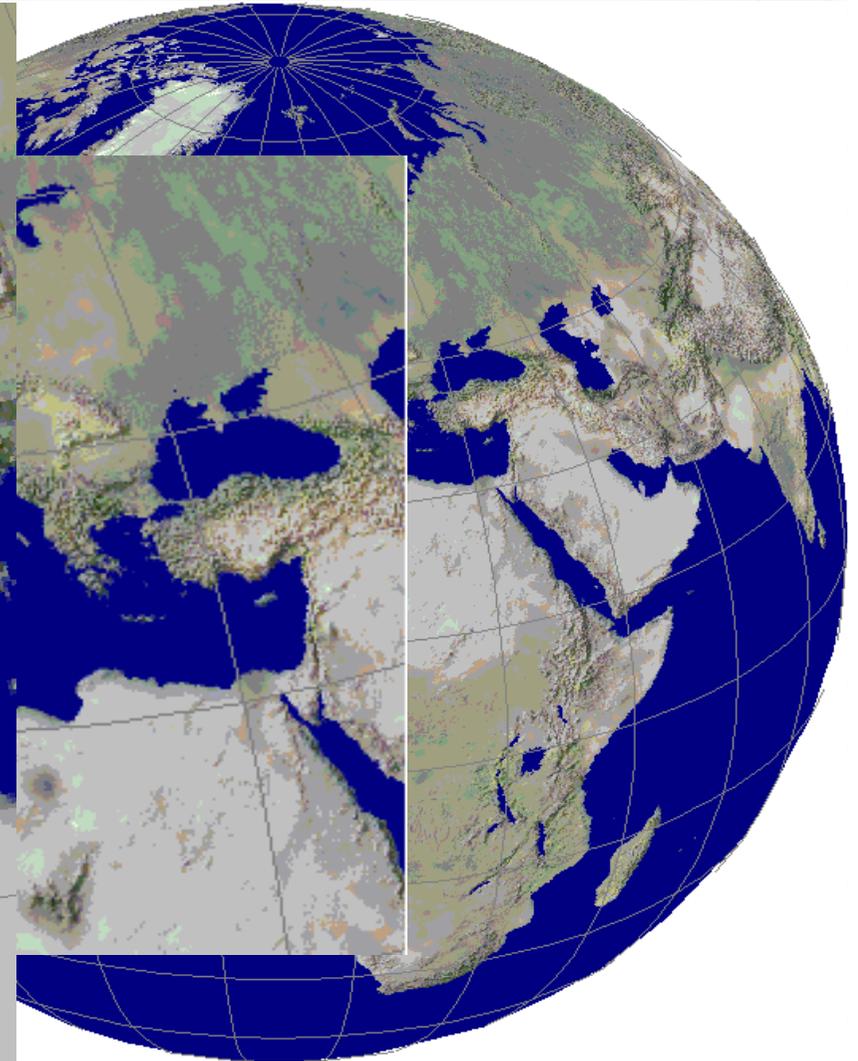
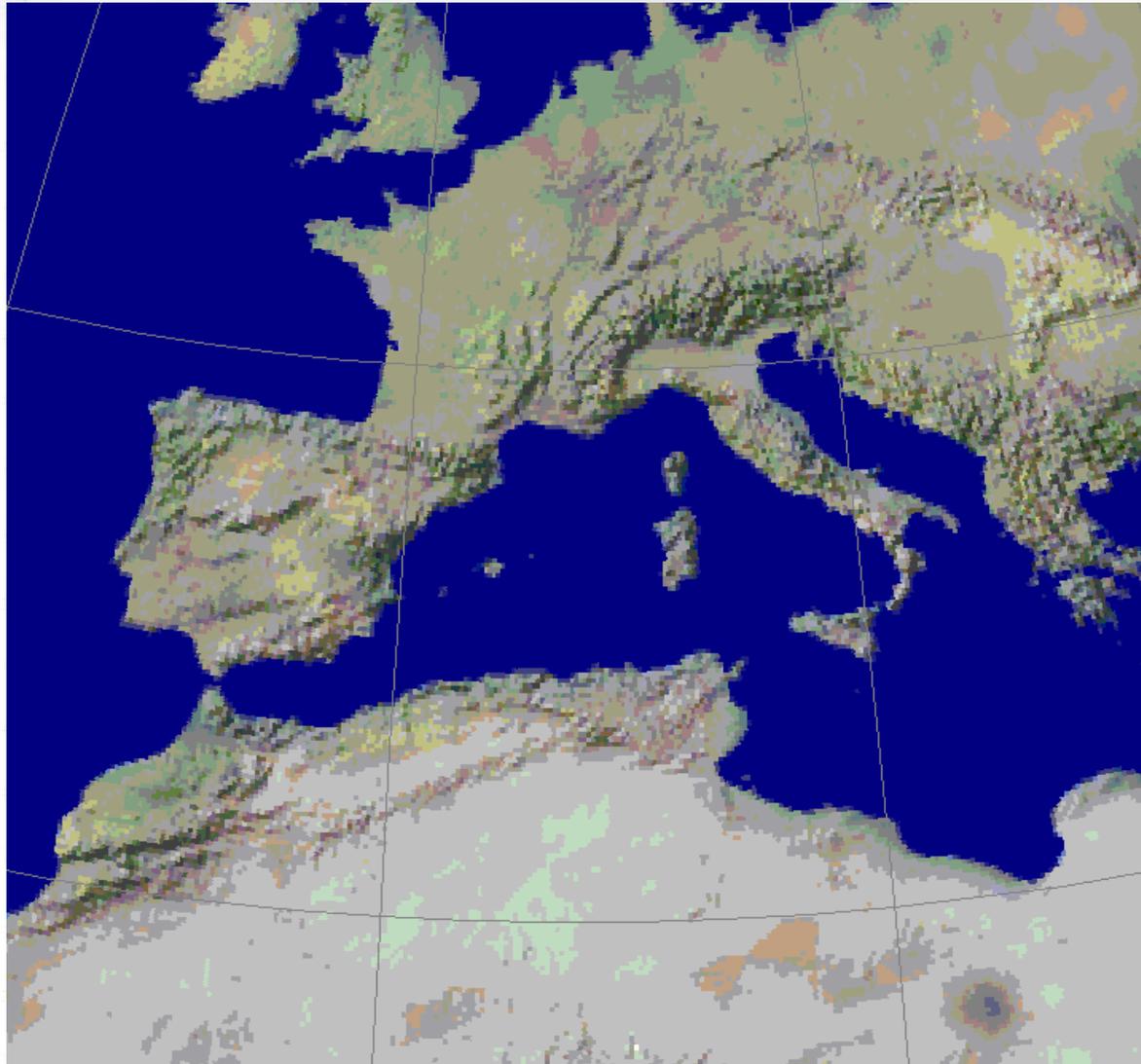
- Ordenador NEC SX6 – 640 nodos x 8 Procesadores vectoriales = 5120 PEs =>
- **4 PetaF de potencia pico (4000 TF).**
- Integraciones globales del sistema climático con 1 Km de resolución

# Rejillas anidadas



- Basada en el modelo Hirlam (<http://www.hirlam.org>)
- Consorcio Europeo formado por 8 SMHNs (Suecia, Noruega, Finlandia, Dinamarca, Irlanda, Holanda, Islandia y España).
- Hirlam es un modelo de área limitada (LAM).

# Marco Geográfico



# Hirlam en AEMET



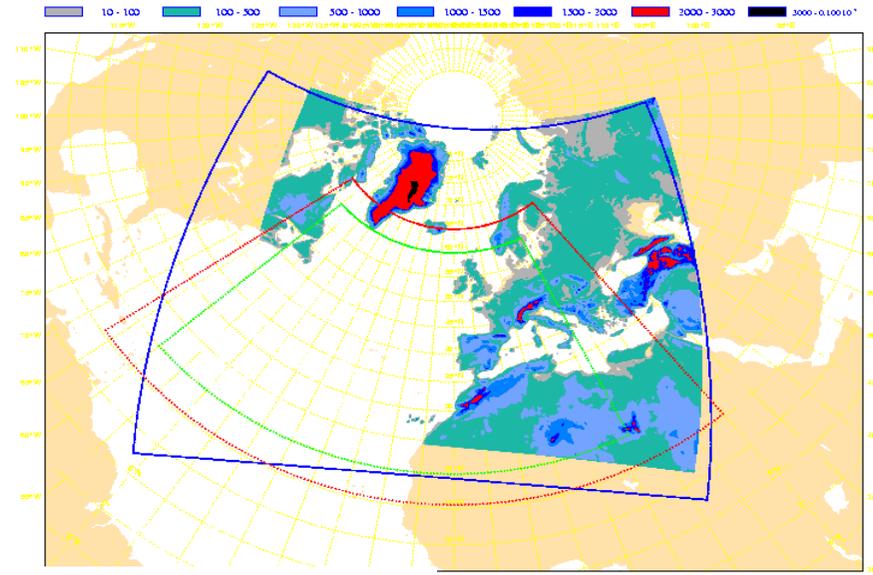
- ONR:
  - Resolución 0.16 grados latxlon.
  - 40 niveles verticales.
  - Condiciones de contorno del ECMWF.
  - Predicciones hasta 72 horas, 4 veces al día: 00, 06, 12 y 18 UTC.
  - Asimilación de datos variacional 3DVAR.

# Hirlam en AEMET

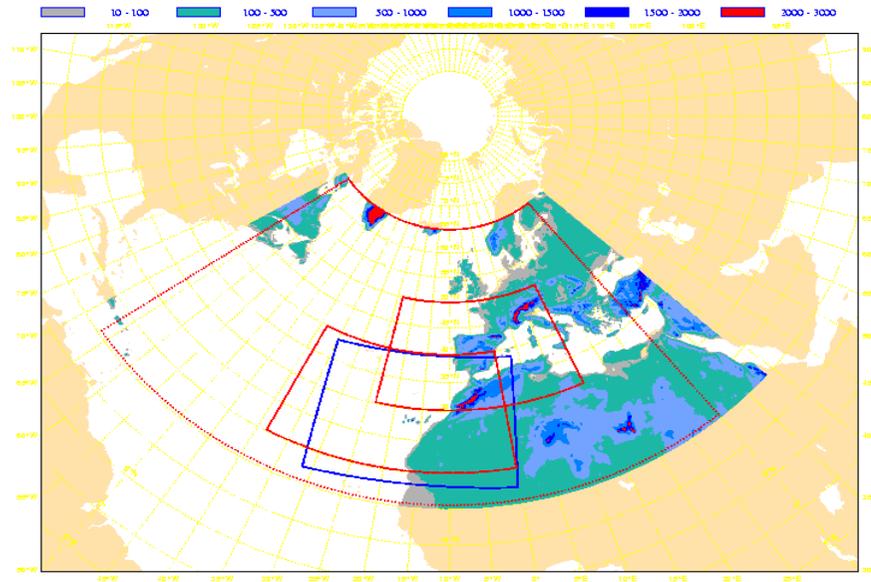


- HNR y CNN:
  - Resolución 0.05 grados latxlon.
  - 40 niveles verticales.
  - Condiciones de contorno de ONR.
  - Predicciones hasta 36 horas, 4 veces al día: 00, 06, 12 y 18 UTC.
  - Asimilación de datos variacional 3DVAR.

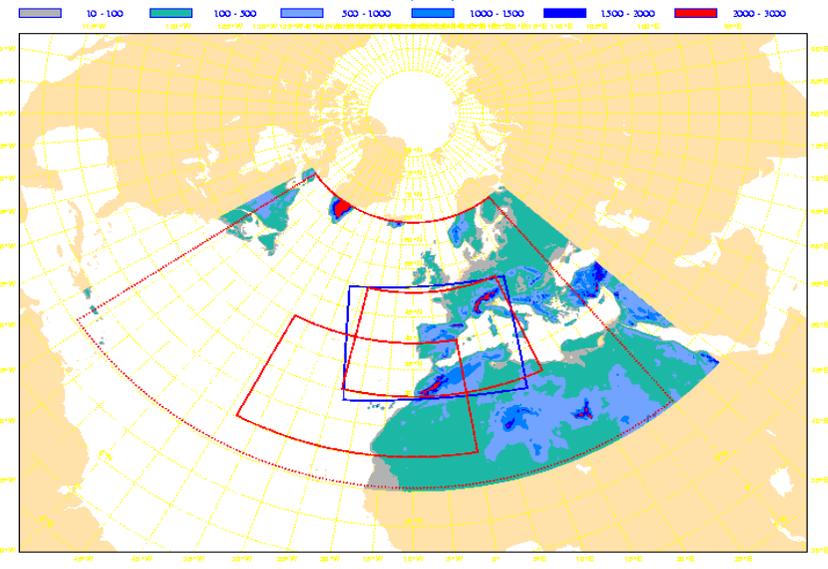
C (0.15), OPR(0.50) and WAVE



CAN(0.05)



HIR(0.05)

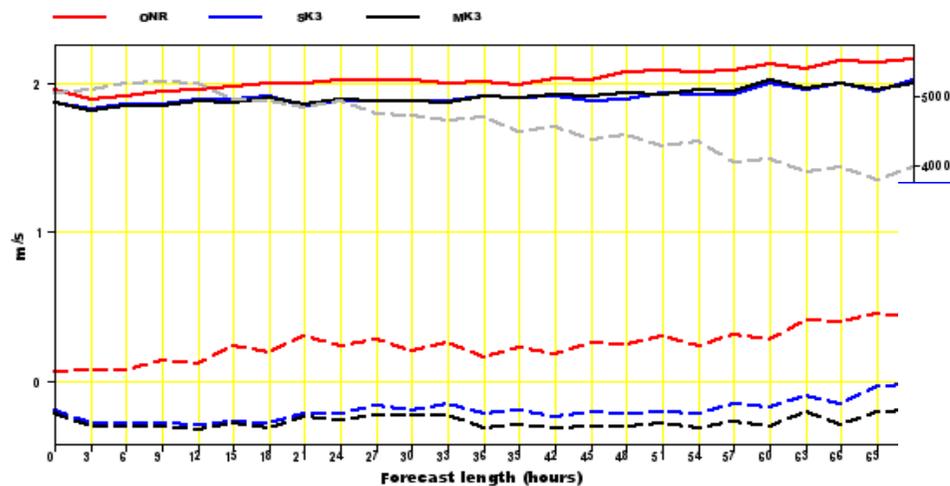


# Verificación comparada - España y Portugal



## Dirección

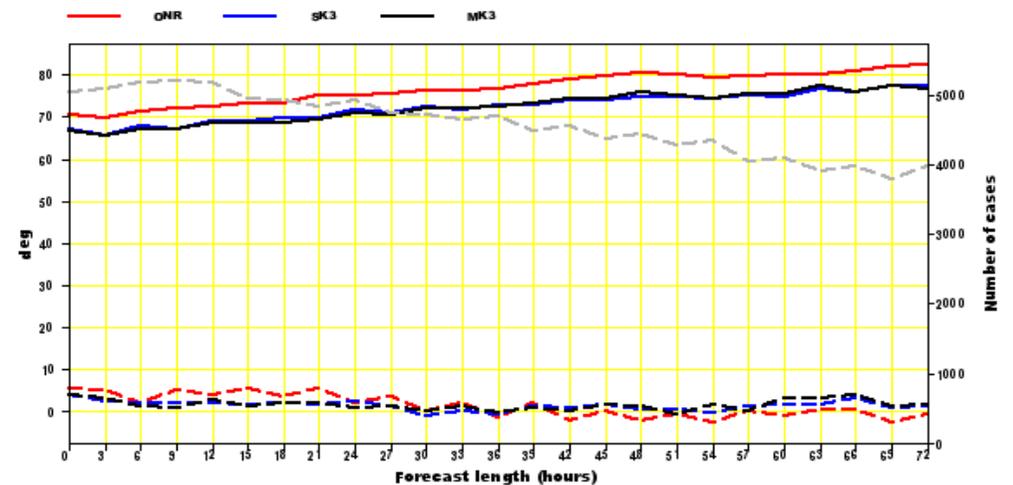
136 stations Area:SpainPortugal  
 Period: 20090514-20090525  
 Wind speed Hours: {00,06,12,18}  
 Solid RMS; Dashed BIAS; Dashed grey is number of cases



MAGICS 0.11 noauto - png Tue Jun 2 07:17:16 2009

## Velocidad

136 stations Area:SpainPortugal  
 Period: 20090514-20090525  
 Wind direction Hours: {00,06,12,18}  
 Solid RMS; Dashed BIAS; Dashed grey is number of cases

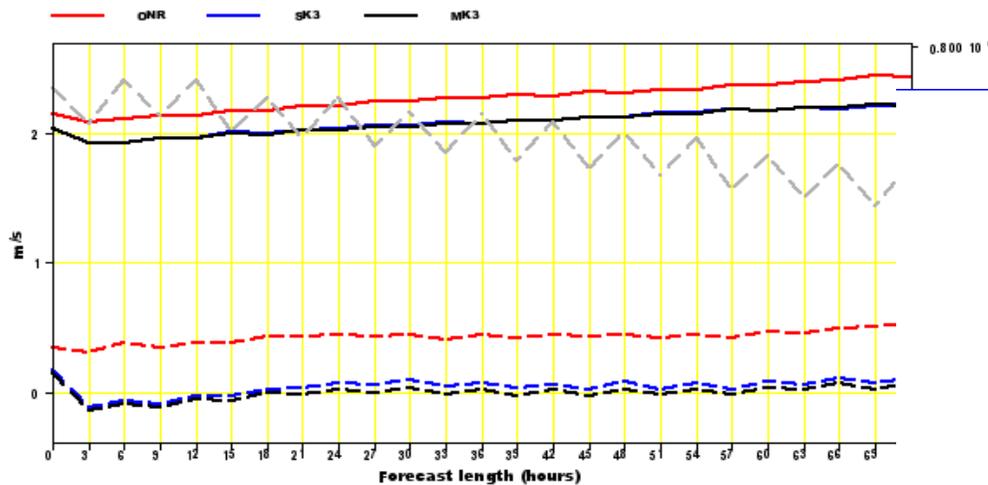


MAGICS 0.11 noauto - png Tue Jun 2 07:17:16 2009

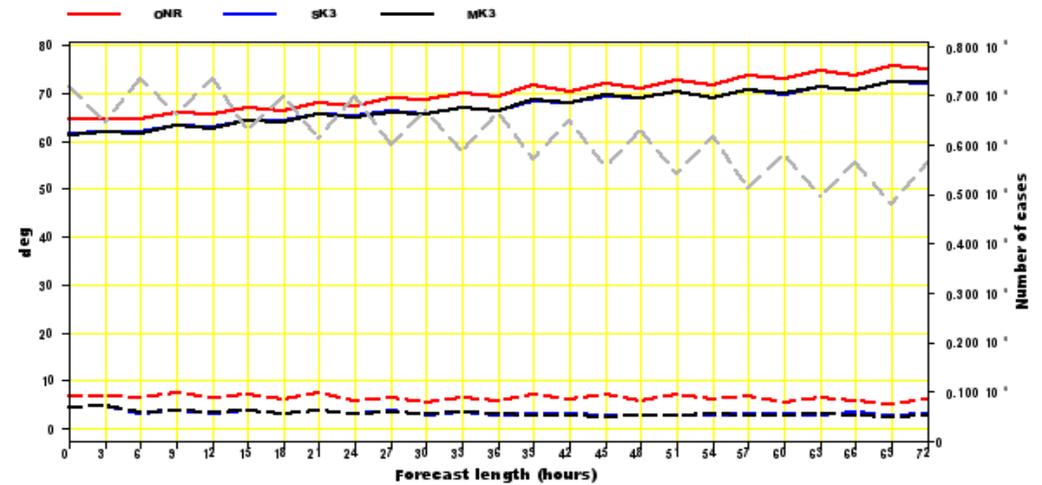
# Verificación comparada - Europa

## Dirección

**1858 stations Area:ALL**  
**Period: 20090514-20090525**  
**Wind speed Hours: {00,06,12,18}**  
**Solid RMS; Dashed BIAS; Dashed grey is number of cases**



**1863 stations Area:ALL**  
**Period: 20090514-20090525**  
**Wind direction Hours: {00,06,12,18}**  
**Solid RMS; Dashed BIAS; Dashed grey is number of cases**



## Velocidad

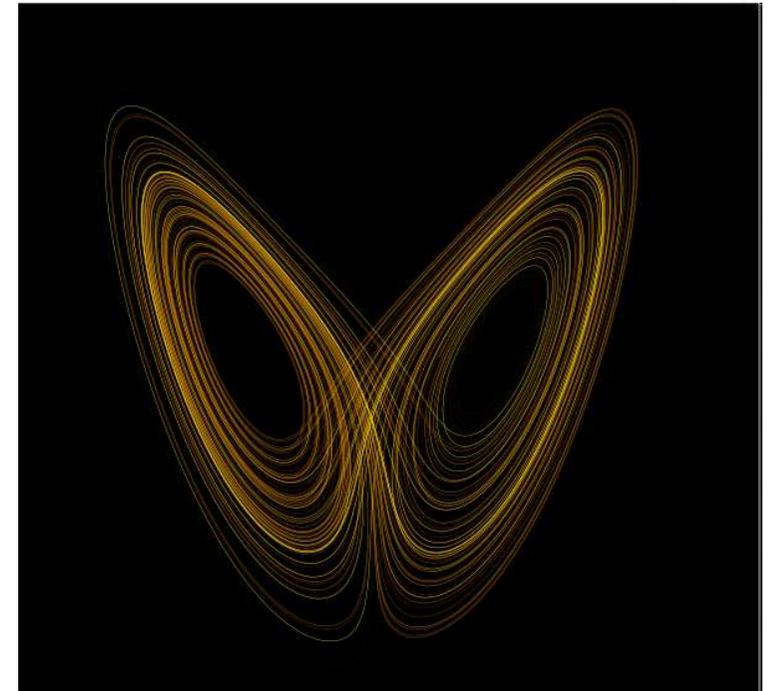
# Planes de futuro



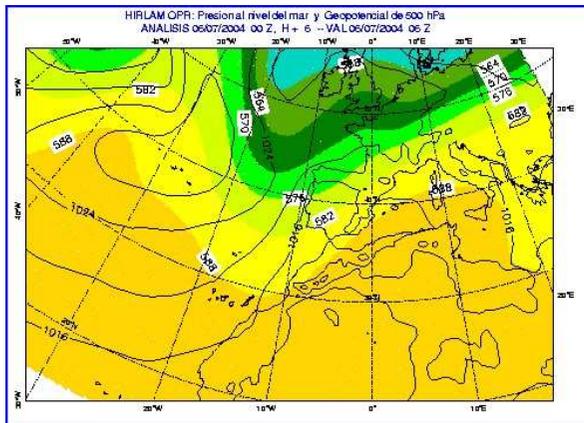
- A dos o tres años vista.
- Nuevo ordenador de supercomputación.
- Modelos:
  - Sinópticos (Hirlam) - 8 Km de resolución - 72 horas de predicción - 4 veces al día.
  - Mesoescala (Harmonie) - 2 Km de resolución - 36 horas de predicción - 4 veces al día.
  - Ensembles - 30 miembros - 10 Km de resolución - 72 horas de predicción - 2 veces al día.

# Butterfly Effect - Caos

- **Predictability: Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil set off a Tornado in Texas?**
- **Predecibilidad**

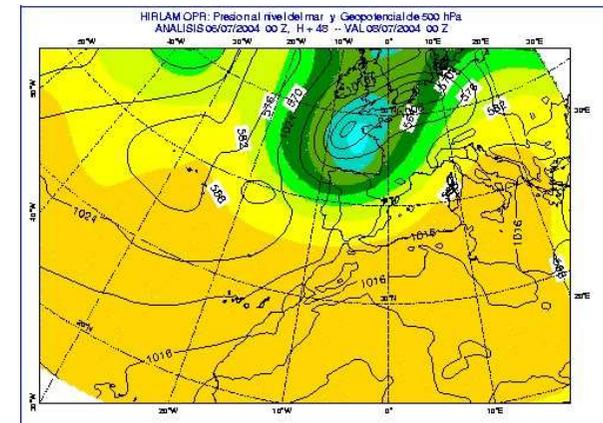
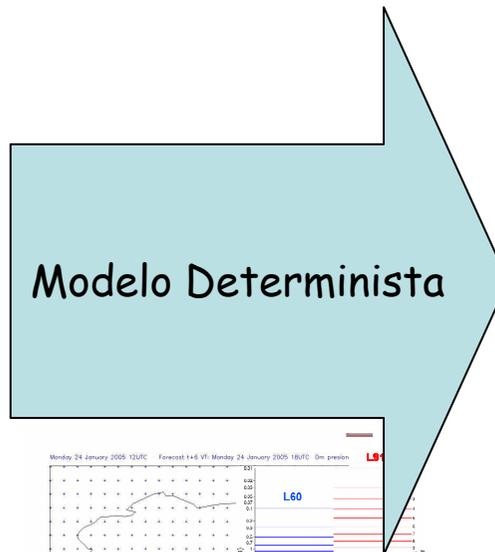


# Modelos Deterministas



Condiciones iniciales

$$\mathbf{X}(t_0)$$

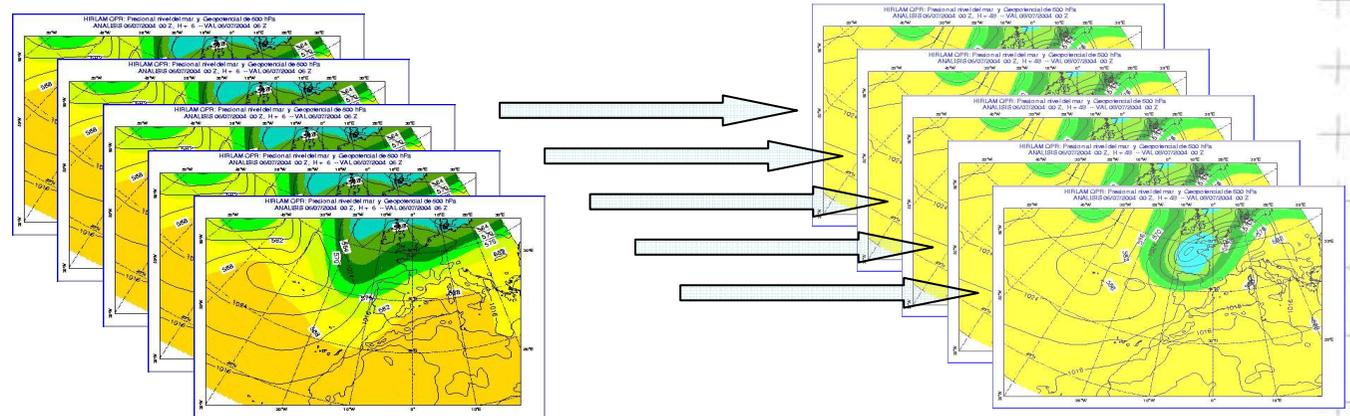


Una única predicción

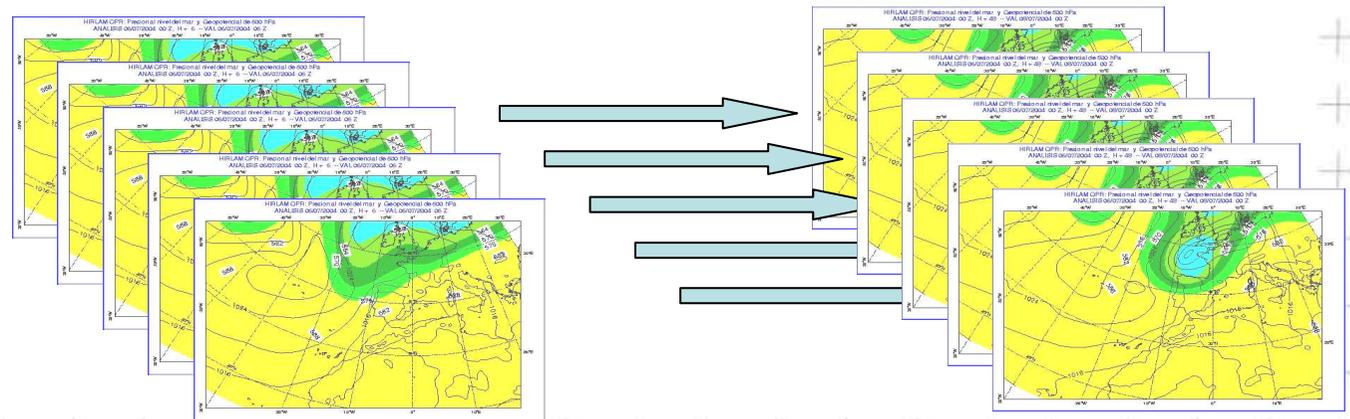
$$\mathbf{X}(t_0 + \Delta t)$$

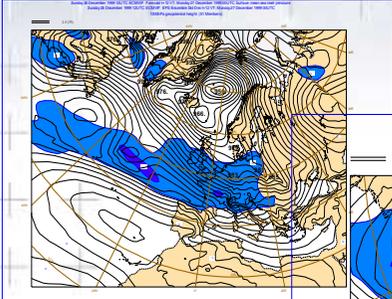
# ¿Cómo simular la incertidumbre?

- Perturbaciones en las condiciones iniciales

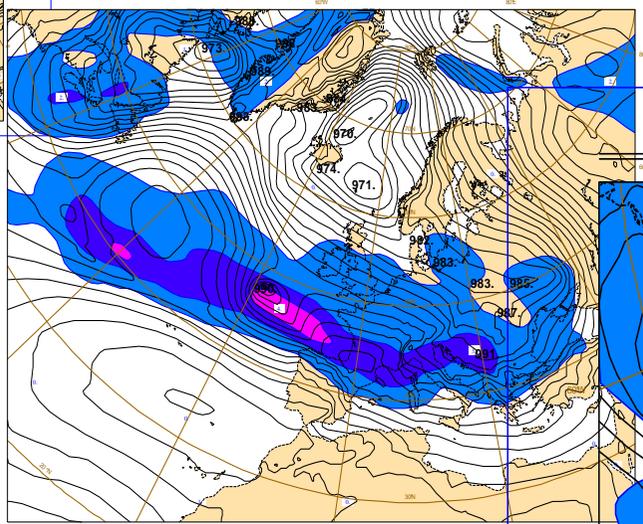


- Perturbaciones en la Física del modelo

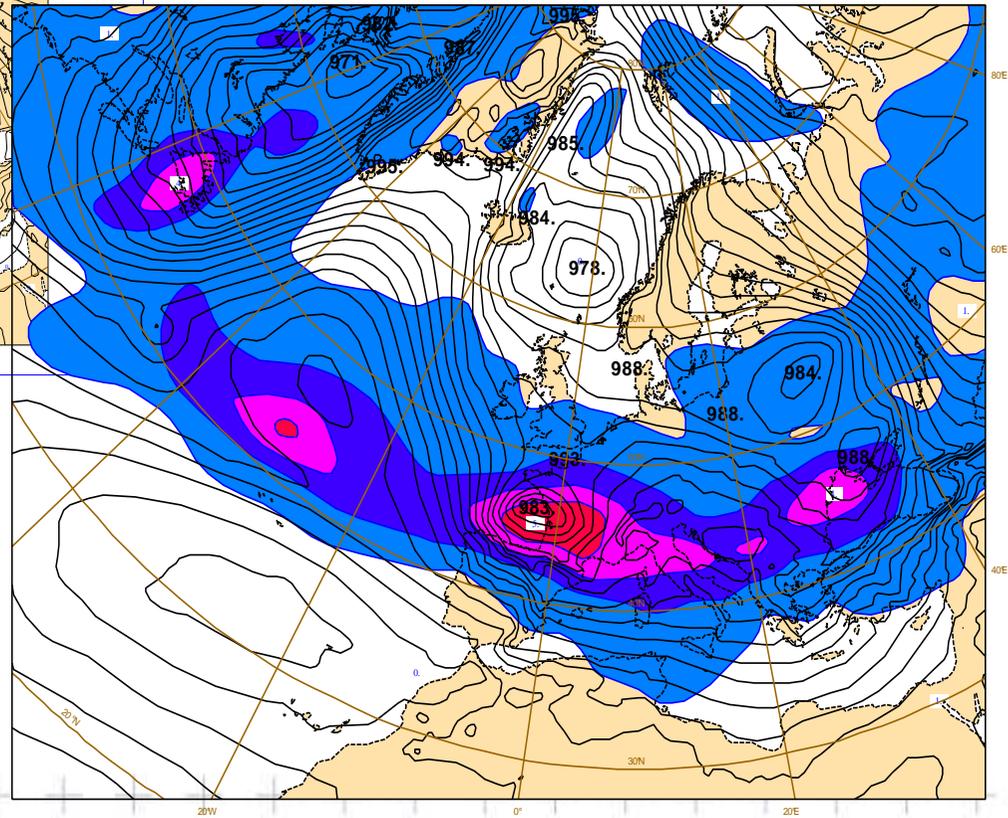




Sunday 26 December 1999 12UTC ECMWF Forecast +24 VT; Monday 27 December 1999 12UTC Surface: mean sea level pressure  
Sunday 26 December 1999 12UTC ECMWF EPS Ensemble Std Dev +24 VT; Monday 27 December 1999 12UTC  
1000hPa geopotential height (51 Members)

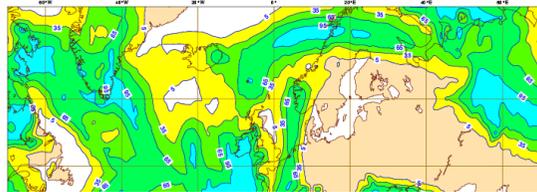


Sunday 26 December 1999 12UTC ECMWF Forecast +36 VT; Tuesday 28 December 1999 00UTC Surface: mean sea level pressure  
Sunday 26 December 1999 12UTC ECMWF EPS Ensemble Std Dev +36 VT; Tuesday 28 December 1999 00UTC  
1000hPa geopotential height (51 Members)

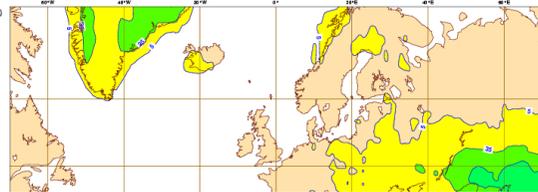


- Z1000 Martin Storm

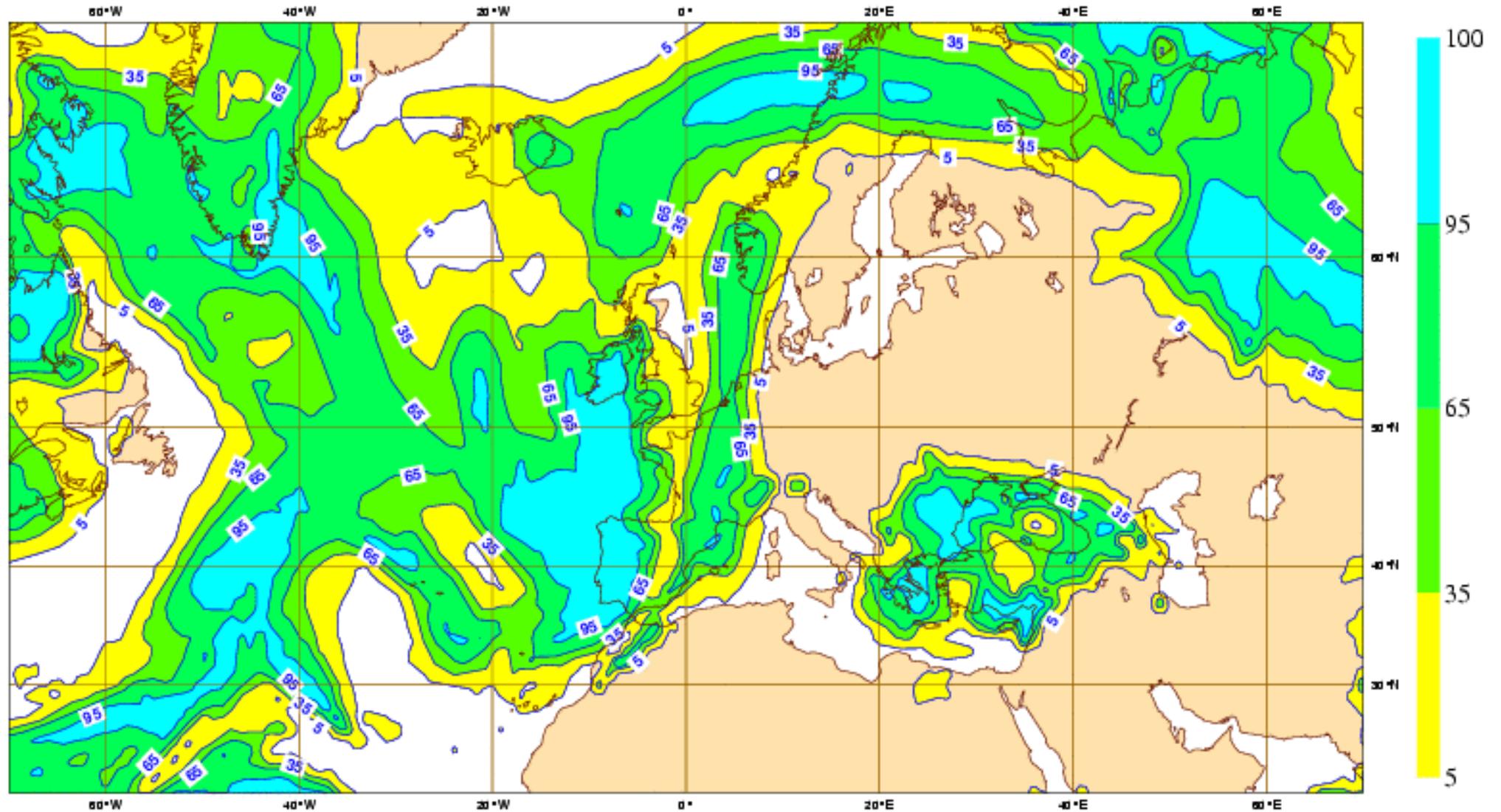
Thursday 21 September 2006 12UTC OECMWF Forecast probability to 06-060 VT: Saturday 23 September 2006 00UTC - Sunday 24 September 2006 00UTC



Thursday 21 September 2006 12UTC OECMWF Forecast probability to 20-240 VT: Tuesday 26 September 2006 12UTC - Sunday 1 October 2006 12UTC

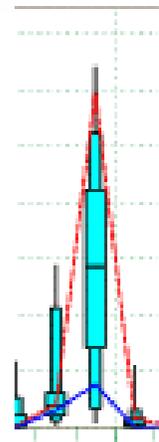


Thursday 21 September 2006 12UTC OECMWF Forecast probability to 036-060 VT: Saturday 23 September 2006 00UTC - Sunday 24 September 2006 00UTC  
Surface: Total precipitation probability > 1.0 mm

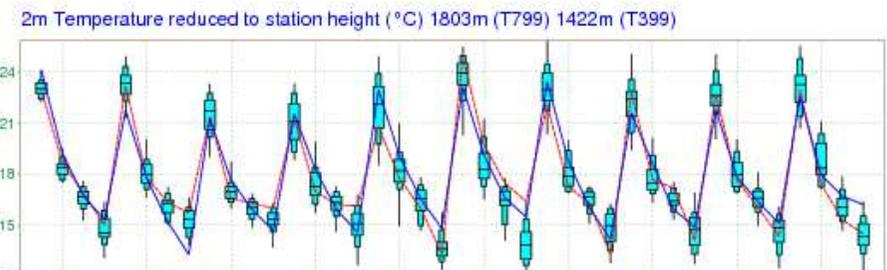
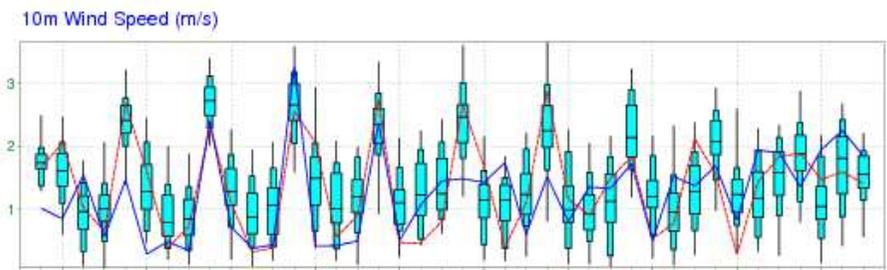
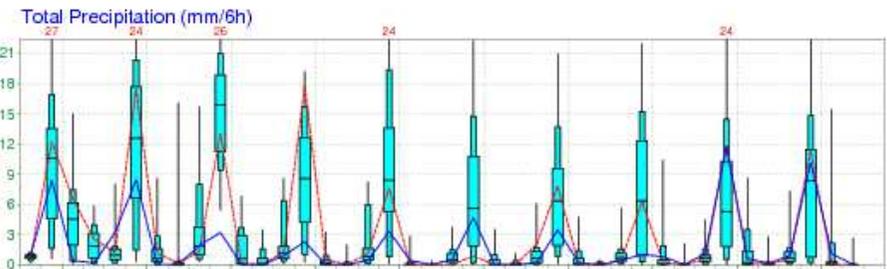
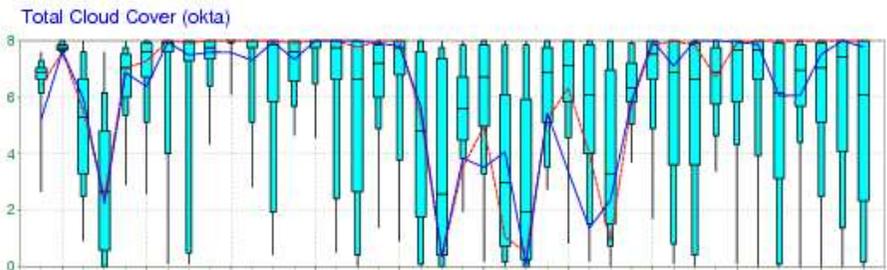


# EPSgramas

- Interpolación del EPS en un lugar
- Variables:
  - Nubosidad
  - Precipitación /6h
  - Velocidad del viento a 10m
  - Temperature a 2 m
- Evolución temporal (D+1...D+10)/6h:
  - Box-Plot (min-p10-p25-p50-p75-p90-max): PDF usando EPS 50 miembros
  - Rojo: control
  - Azul: Modelo determinista de alta resolución

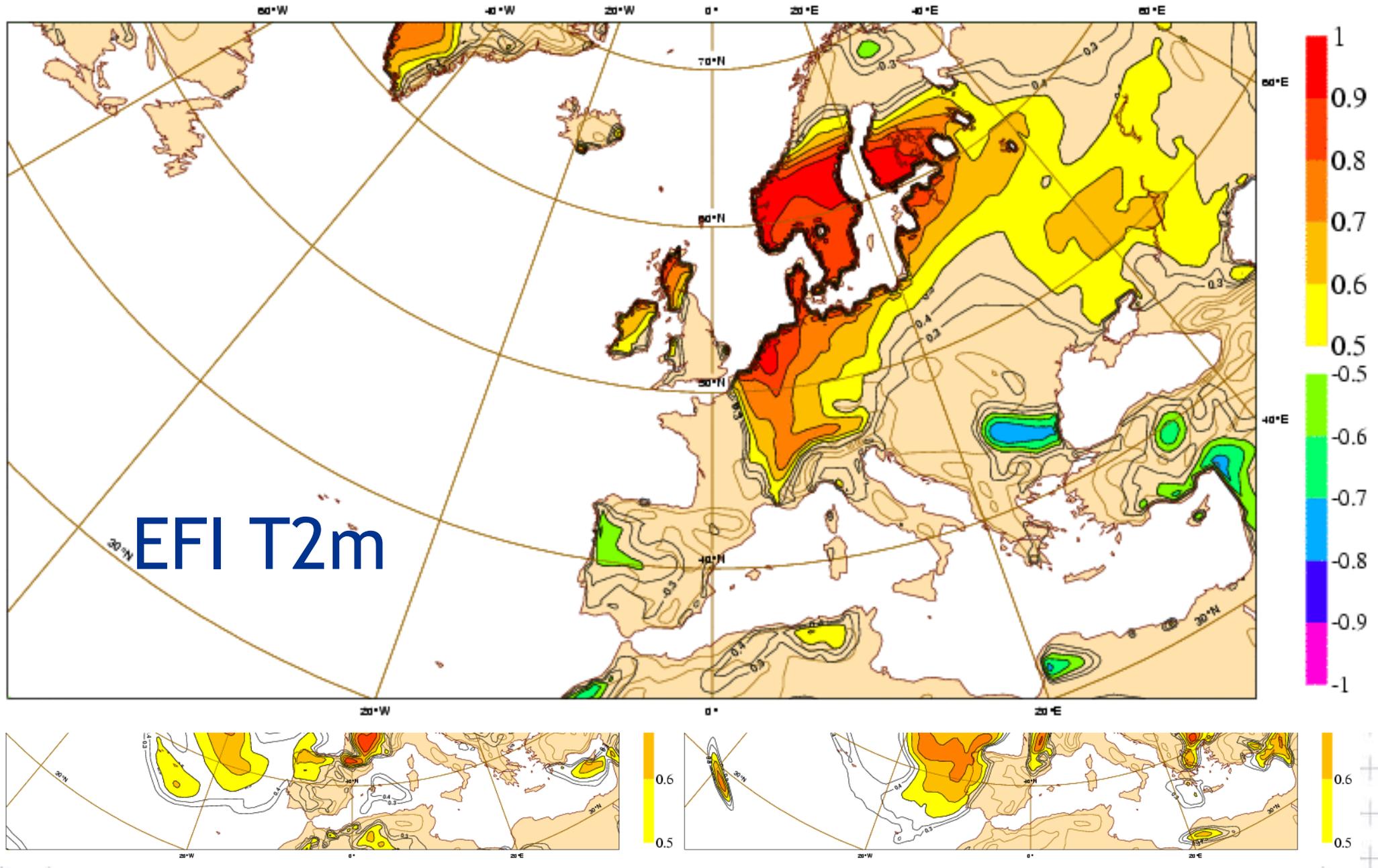


EPS Meteogram  
Antigua (1575m) 14.61 °N 90.9 °W  
Deterministic Forecast and EPS Distribution Thursday 10 September 2009 12 UTC



Thu 10 max 90% 75% median 25% 10% min  
Magics--> 25.7  
EPS Control(50 km) High Resolution Deterministic(25 km)

Thursday 21 September 2006 12UTC ©ECMWF Extreme forecast Index t+024 VT: Friday 22 September 2006 12UTC  
Surface: 2 metre temperature



## Sistema de Predicción por Conjuntos para el Corto Plazo - Multimodelo



- **Hirlam** (<http://hirlam.org>).
- **HRM del DWD** (SM de Alemania).
- **MM5** (<http://box.mmm.ucar.edu/mm5/>).
- **UM del UKMO** (SM de Gran Bretaña).
- **LM (COSMO Model)** del Consorcio COSMO (<http://www.cosmo-model.org>).

# Sistema de Predicción por Conjuntos para el Corto Plazo - Multimodelo



## Diferentes modelos globales:

- ECMWF
- GSM del JMA (SM de Japón)
- GFS del NCEP (SM de USA)
- GME del DWD (SM de Alemania)
- CMC (SM de Canadá)

# SREPS en AEMET



- Mummub: Multi-modelo Multi-condiciones de contorno
- Predicciones hasta 72 horas, 2 veces al día (00 & 12 UTC).
- Características:
  - 5 modelos.
  - 5 condiciones de contorno.
- Ensemble de 25 miembros ensemble cada 12 hours



MINISTERIO  
DE MEDIO AMBIENTE  
Y MEDIO RURAL Y M



**Gracias por su atención.**

**[jgarciamoyaz@aemet.es](mailto:jgarciamoyaz@aemet.es)**

**?**