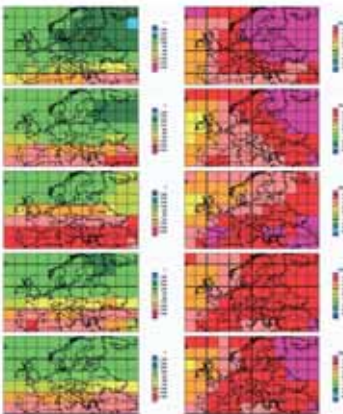




Seminario sectorial del  
Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático



**TALLER TÉCNICO SOBRE  
ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO  
Y REGIONALIZACIÓN**



CENEAM- VALSAM (SEGOVIA)  
27, 28 y 29 de abril de 2011

# Introducción

# Indice

- Introducción y marco
- Observaciones
- Proyecciones
- Evaluación de modelos
- Regionalización dinámica
- Regionalización estadística
- Incertidumbres
- Difusión información → Servicios climáticos
- Conclusiones y perspectivas

## **Marco (I): Reforzamiento Servicios Climáticos**

- Establecimiento por la OMM de un marco global para la provisión de servicios climáticos (WCC3, sept 2009)
- EUMETNET estudia en un grupo de trabajo las diferentes opciones de provisión de servicios de cambio climático desde la perspectiva de los SMNs europeos
- CISCLIMA: Alianza estratégica de AEMET y IM

## **Marco (II): Plan Nacional Adaptación al CC**

- UNFCCC (1992): Convención de las UN para el CC → compromisos internacionales mitigación/adaptación
- PNACC (2006): marco general de referencia para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático.
- Necesidad de estimar cualitativa y cuantitativamente los cambios que se esperan en el clima durante en siglo XXI, así como las incertidumbres asociadas con ellos
- AEMET es el organismo encargado por el PNACC para coordinar las actividades de generación de proyecciones regionalizadas de cambio climático en España.
- Apoyo a políticas medioambientales (Estatutos AEMET)

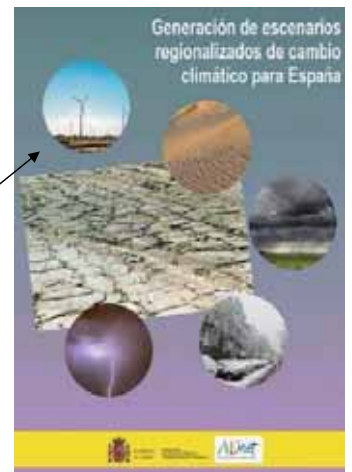
### Identified lines of research (2006)

1. Combination of regional projections obtained with different models and methods.
2. Generation of quality controlled and homogeneous instrumental climate atmospheric and oceanic data bases.
3. Analysis, assessment and validation of the global climate models (AR4-IPCC) in reference observational periods.
4. Dynamical downscaling with Regional Atmosphere Climate Models (RACM)
5. Empirical downscaling with statistical techniques (SDS)
6. Regional Ocean Climate Models (ROCM).

# Primera fase : informe y datos

(con FIC y UCLM)

- Uso de **metodologías ya desarrolladas y las bases de datos actualmente existentes.**
- Resultados de los proyectos del 5º FP EU relacionados con modelización climática, regionalización dinámica y estadística y estimación de extremos: **PRUDENCE, STARDEX.**
- Duración: 1 año (finalizado dic. 2006)
- Informe finalizado en febrero 2006
- Datos numéricos disponibles solicitando usuario y clave desde [www.aemet.es](http://www.aemet.es)
- Actualmente existen más de 200 usuarios.



# Primera fase: informe y datos

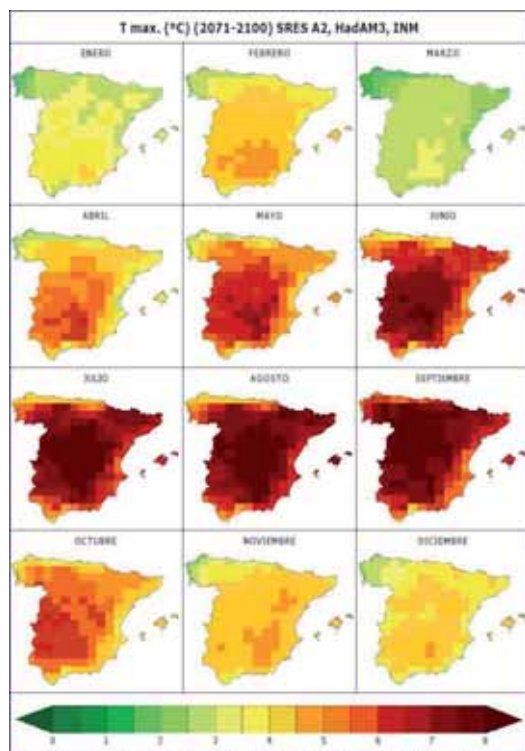
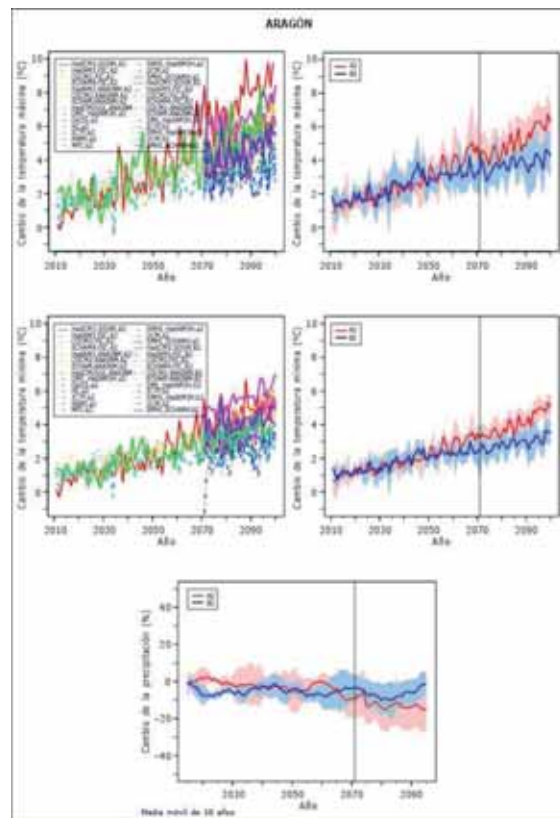


Figura 6.6. Cambio medio mensual de temperatura máxima proyectado para el período 2071-2100 respecto al clima actual (1962-1992) por el modelo global HadAM3 y regularizado con el método de análisis (DAR) para el escenario de emisión A2.



## ¿Qué hemos aprendido de la 1ª fase?

- Insuficiente tratamiento de las incertidumbres
- Insuficiente validación
- Necesidad de integrar toda la información disponible
- Necesidad de interaccionar más con los usuarios
- Necesidad de tener una interfaz de datos más amigable

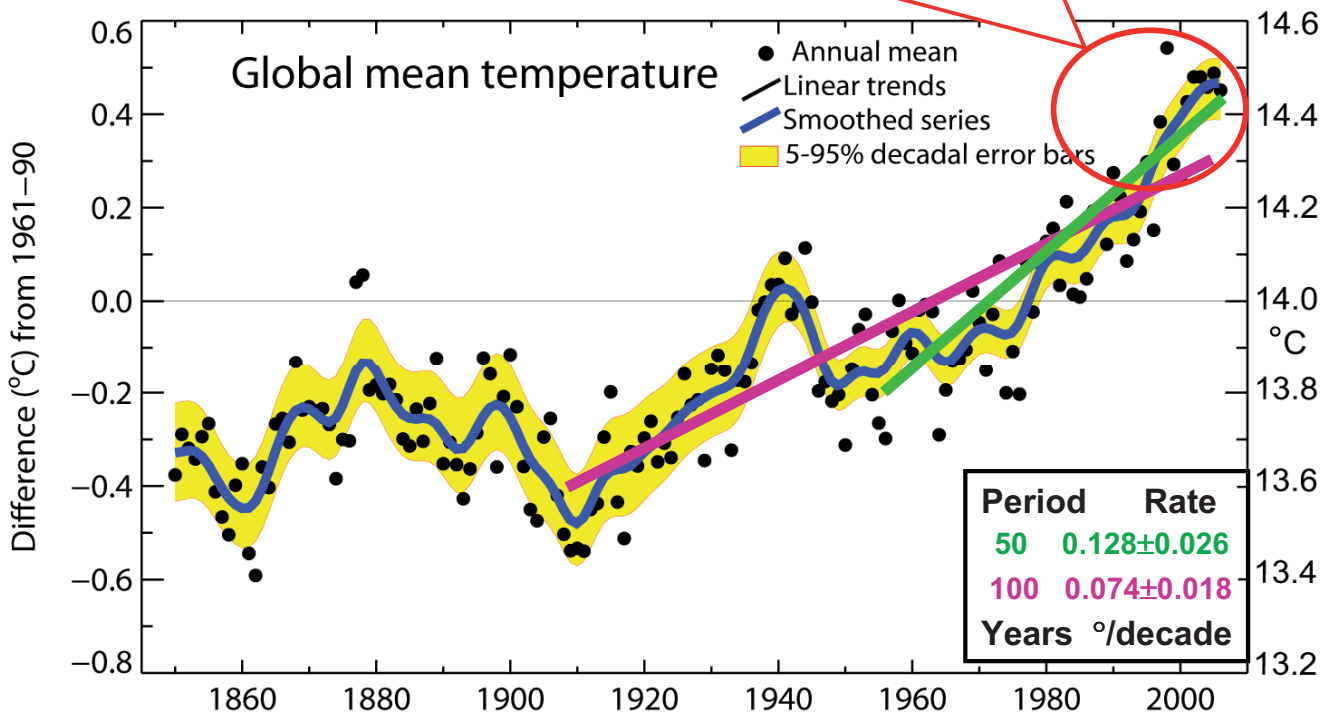


# Indice

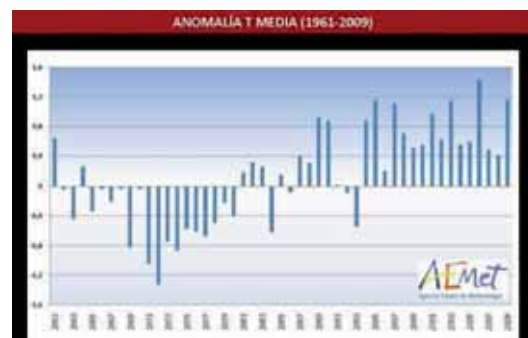
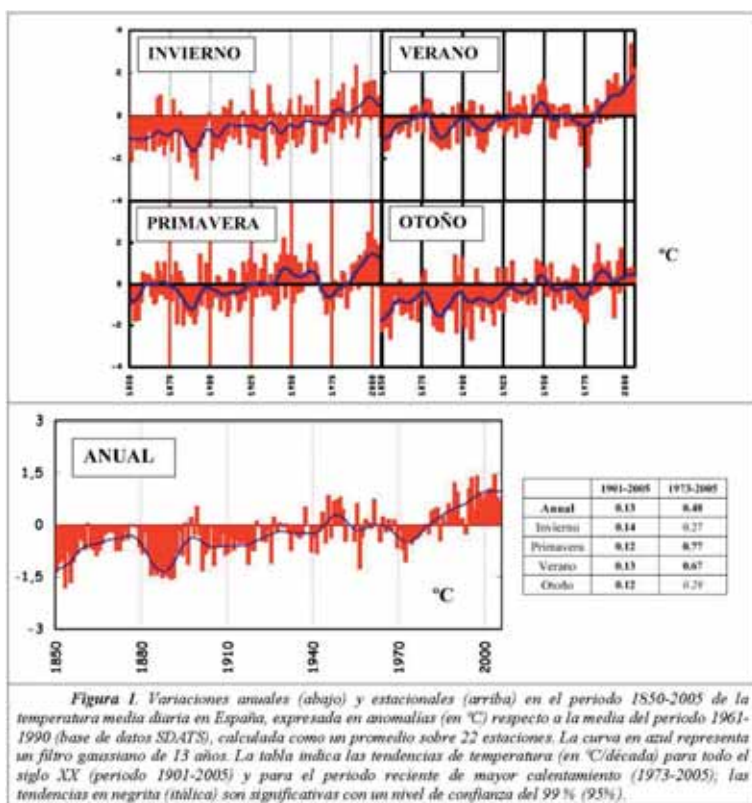
- Introducción y marco
- **Observaciones**
- Proyecciones
- Evaluación de modelos
- Regionalización dinámica
- Regionalización estadística
- Incertidumbres
- Difusión información → Servicios climáticos
- Conclusiones y perspectivas

# Temperaturas globales y calentamiento global

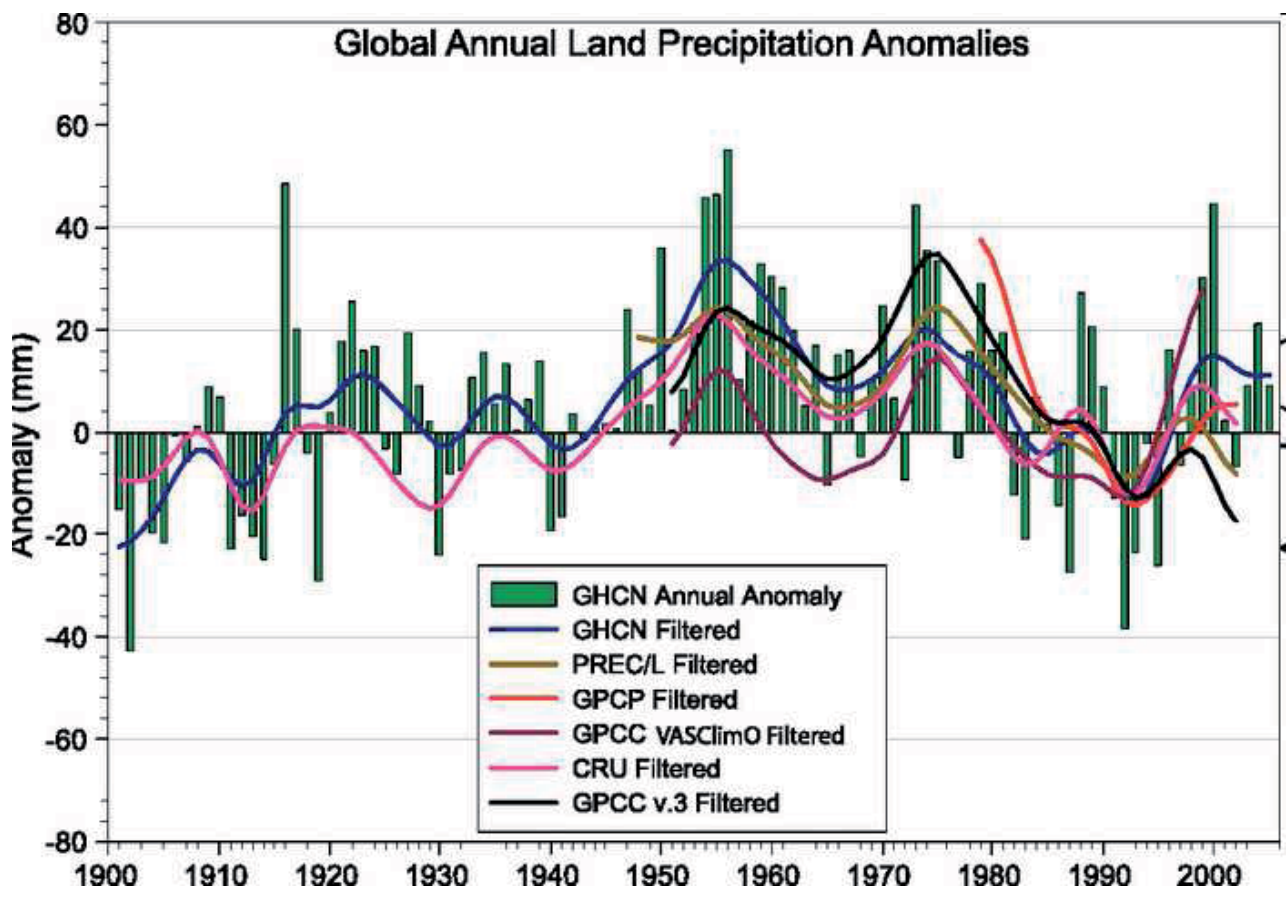
**Los 12 años más cálidos:**  
 1998, 2005, 2003, 2002, 2004, 2006,  
 2001, 1997, 1995, 1999, 1990, 2000



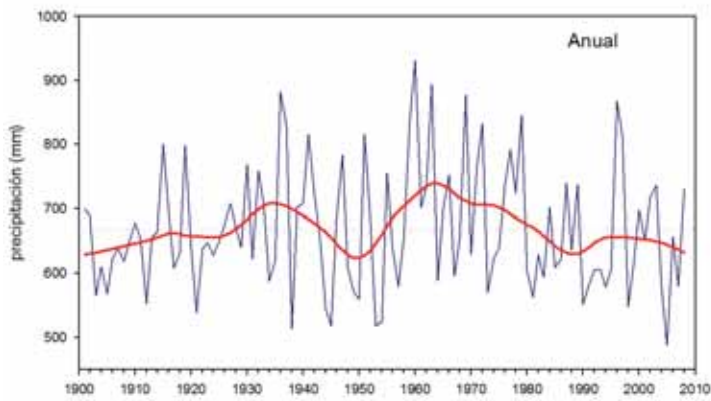
# Observaciones sobre España



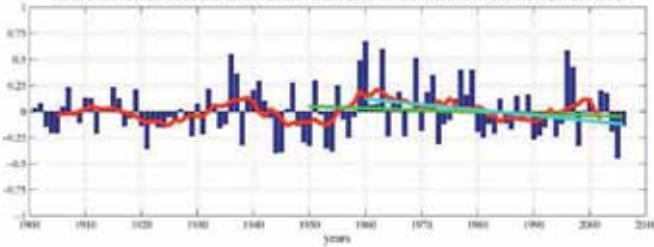
*Figura 1. Variaciones anuales (abajo) y estacionales (arriba) en el periodo 1850-2005 de la temperatura media diaria en España, expresada en anomalías (en °C) respecto a la media del periodo 1961-1990 (base de datos SDATS), calculada como un promedio sobre 22 estaciones. La curva en azul representa un filtro gaussiano de 13 años. La tabla indica las tendencias de temperatura (en °C/década) para todo el siglo XX (periodo 1901-2005) y para el periodo reciente de mayor calentamiento (1973-2005); las tendencias en **negrita (tildada)** son significativas con un nivel de confianza del 99 % (95%).*



Annual mean precipitation averaged over Iberian Peninsula (AEMET)

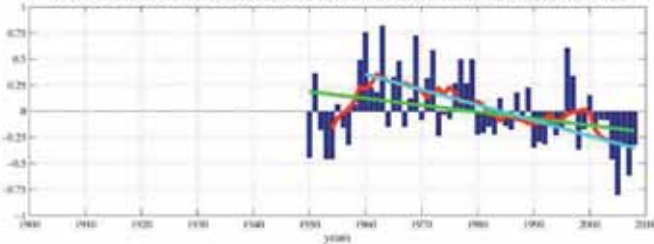


ANNUAL MEAN PRECIPITATION AVERAGED OVER IBERIAN PENINSULA. CRU3



década	media
1900	1.71
1910	1.79
1920	1.61
1930	1.80
1940	1.70
1950	1.70
1960	1.92
1970	1.83
1980	1.67
1990	1.71

ANNUAL MEAN PRECIPITATION AVERAGED OVER IBERIAN PENINSULA. E-OBS



década	media
1950	1.63
1960	2.07
1970	1.93
1980	1.67
1990	1.63
2000-2008	1.44

(CLIVAR-ES, 2010)

# Indice

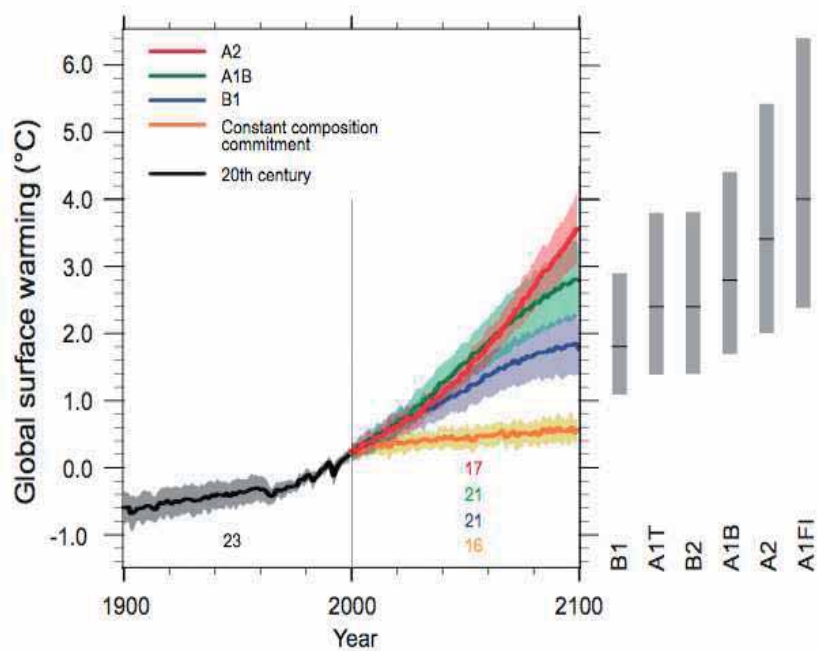
- Introducción y marco
- Observaciones
- **Proyecciones**
- Evaluación de modelos
- Regionalización dinámica
- Regionalización estadística
- Incertidumbres
- Difusión información → Servicios climáticos
- Estudios de impacto/adaptación
- Conclusiones y perspectivas

# Projections of Future Changes in Climate

Best estimate for low scenario (B1) is  $1.8^{\circ}\text{C}$  (*likely range is  $1.1^{\circ}\text{C}$  to  $2.9^{\circ}\text{C}$* ), and for high scenario (A1FI) is  $4.0^{\circ}\text{C}$  (*likely range is  $2.4^{\circ}\text{C}$  to  $6.4^{\circ}\text{C}$* ).

Next two decades:  $0.2^{\circ}/\text{dec}$  approx.

Broadly consistent with span quoted for SRES in TAR, but not directly comparable

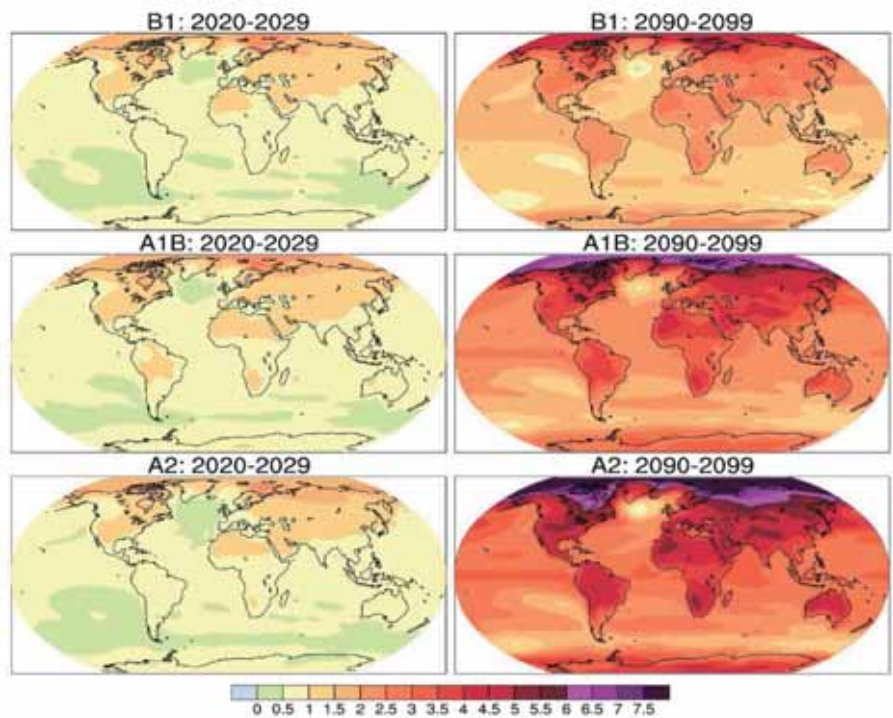


# Projections of Future Changes in Climate

Projected warming in 21st century expected to be

**greatest** over land and at most high northern latitudes

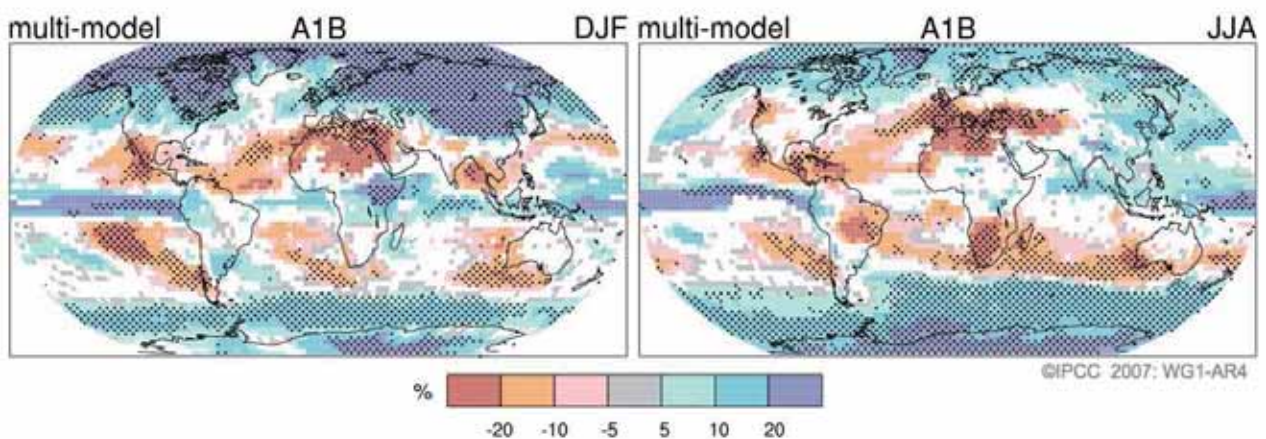
and **least** over the Southern Ocean and parts of the North Atlantic Ocean





# Projections of Future Changes in Climate

## Projected Patterns of Precipitation Changes



Precipitation **increases** *very likely* in high latitudes

**Decreases** *likely* in most subtropical land regions

(stippling → more than 90% of the models agree on the sign of the change)

## ¿De qué proyecciones globales disponemos ahora?

- AR4-IPCC
- ENSEMBLES (Stream1 y Stream2)
  - No todas tienen dato diario
  - Muy pocas pueden utilizarse como CC para RCMs
  - Hay cierta superposición de la información

# CMIP5 → AR5-IPCC



The EC-Earth consortium gathers 19 research institutions from 10 European countries to collaborate in the development of a new Earth System Model. The goal of EC-Earth is to build a fully coupled Atmosphere-Ocean-Land-Biosphere model, usable from seasonal to decadal climate prediction and climate projections. The proposed Earth System Model builds upon the European Centre for Medium Range Weather Forecasting's (ECMWF) world leading modeling technology, and aims to implement the emerging concept of Seamless Prediction.

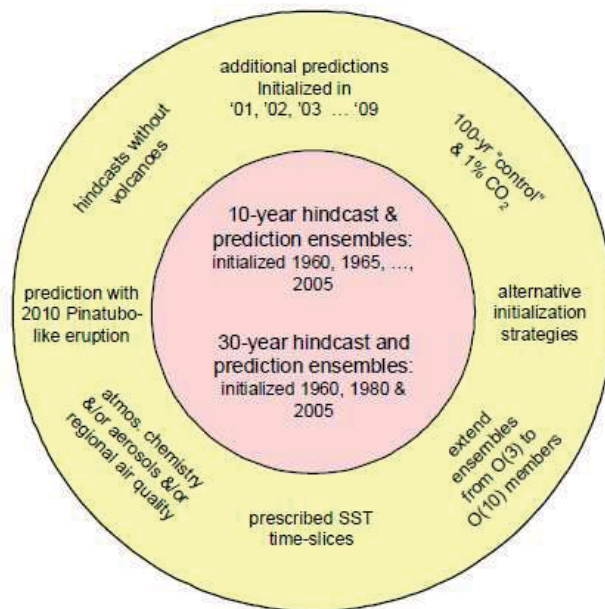


Figure 2. Schematic summary of CMIP5 decadal prediction experiments.

# Indice

- Introducción y marco
- Observaciones
- Proyecciones
- **Evaluación de modelos**
- Regionalización dinámica
- Regionalización estadística
- Incertidumbres
- Difusión información → Servicios climáticos
- Estudios de impacto/adaptación
- Conclusiones y perspectivas

# Evaluación modelos globales

- Evaluación frente obs, reanálisis
- Posibilidad de establecer rankings de mejores/peores modelos
- Posibilidad de pesado cuando se combinan miembros de un ensemble
- ¿Qué métricas, escalas, enfoques? → Complementariedad

¿Qué métricas? (ENSEMBLES, Kjellström et al., 2009):

- Circulación de gran escala y regimenes de tiempo
- Señal mesoscalar de temperatura y precipitación
- PDFs de precipitación y temperatura diaria
- Extremos de temperatura y precipitación
- Tendencias de temperatura
- Ciclo anual de temperatura y precipitación.

Combinación →  $w_{RCM} = \prod_{i=1}^6 f_i^{n_i}$

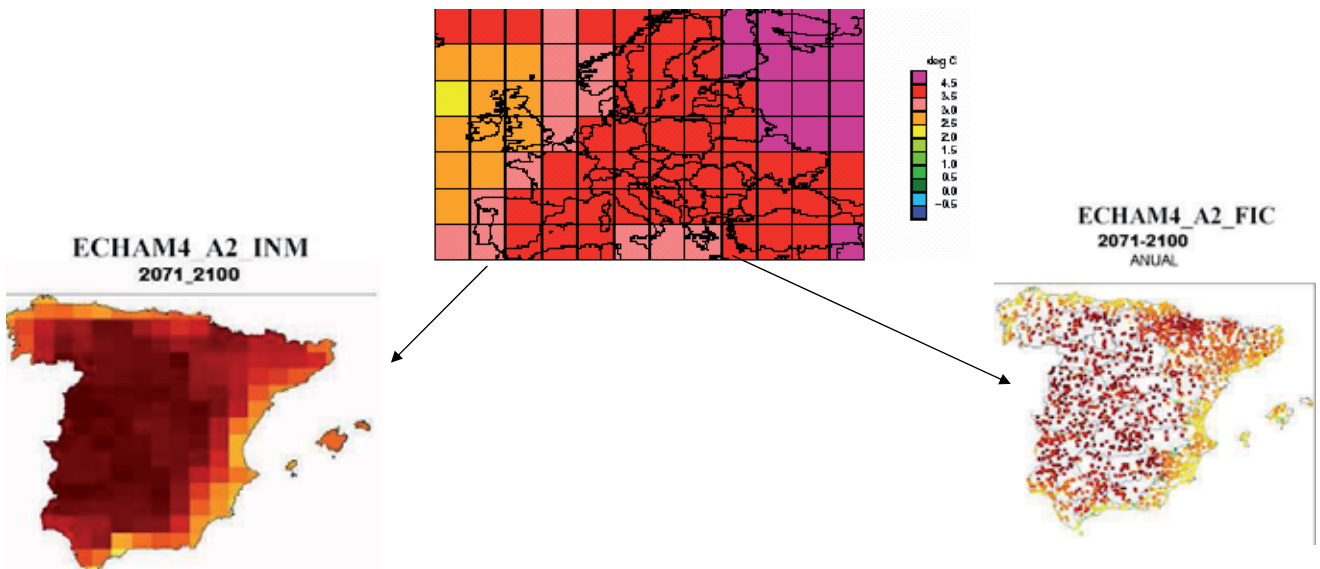


- **Variedad de métricas** que exploren diferentes aspectos de los modelos.
- Una métrica es más poderosa si es relativamente **simple y estadísticamente robusta**
- La **incertidumbre en la observación** debe ser tomada en cuenta al evaluar los modelos utilizando cuando sea posible diferentes fuentes de datos
- Los modelos deberán ser evaluados en **diferentes estados de referencia, diferentes escalas espaciales y temporales** y diferentes tipos de simulaciones.
- Cuando se utiliza una única métrica y un único conjunto de datos → **peligro de sobrestimar la confianza en algunos modelos impidiendo su diversidad y afectando al rango de la incertidumbre.**

PRECIPITACION	CICLO ANUAL			INVIERNO			VERANO			ANUAL		
	EAM	CORR.	$\sigma_M/\sigma_D$	EAM	CORR.	$\sigma_M/\sigma_D$	EAM	CORR.	$\sigma_M/\sigma_D$	EAM	CORR.	$\sigma_M/\sigma_D$
4 MEDIA DE MODELOS	3	5	4	7	8	11	10	11	3	5	12	13
A BCCR-BCM2.0	22	9	19	22	23	17	22	17	23	22	23	14
B CCSM3	14	21	3	6	9	8	15	23	16	6	4	15
C CGCM3.1(T47)	5	10	16	8	13	20	7	8	4	8	16	17
D CGCM3.1(T63)	4	8	11	10	20	21	3	9	11	11	19	18
E CNRM-CM3	18	22	2	21	16	18	19	18	21	20	17	11
F CSIRO-Mk3.0	10	7	15	15	11	3	17	22	6	16	18	1
G ECHAM5/MPI-OM	19	17	22	18	12	10	16	13	14	7	13	2
H ECHO-G	1	1	6	14	18	23	1	3	5	14	20	23
I FGOALS-g1.0	16	6	5	11	19	16	11	4	18	19	10	19
J GFDL-CM2.0	17	11	18	16	4	1	14	6	10	18	6	6
K GFDL-CM2.1	11	12	20	20	10	13	6	14	1	12	14	5
L GISS-AOM	23	20	23	23	22	19	23	19	20	23	22	22
M GISS-EH	8	3	8	12	17	22	13	1	15	9	15	21
N GISS-ER	20	14	14	19	14	2	21	15	22	21	21	3
O INM-CM3.0	12	18	13	17	21	12	9	2	17	4	11	12
P IPSL-CM4	15	19	10	13	15	5	5	12	2	17	9	4
Q MIROC3.2(hires)	9	4	21	3	2	15	20	7	19	13	8	7
R MIROC3.2(medres)	2	2	1	4	5	14	4	10	13	2	5	16
S MRI-CGCM2.3.2	21	23	9	2	3	4	8	16	12	10	2	20
T PCM	7	16	17	5	6	6	12	20	7	1	3	8
U UKMO-HadCM3	6	13	7	9	7	9	2	5	9	3	7	10
V UKMO-HadGEM1	13	15	12	1	1	7	18	21	8	15	1	9

Tabla 2.2.- Clasificación de los 22 modelos listados en el anexo A según un código de colores terciario (verde/rojo representando los mejores/peores modelos) referidos a los estadísticos resumidos en la tabla y descritos en el anexo 2.2. Todos los estadísticos calculados para los modelos están referidos a la observación (CRU). [Los estadísticos representados son: error absoluto medio (EAM), coeficiente de correlación (CORR) y desviación estándar respecto a desviación estándar de las observaciones ( $\sigma_M/\sigma_D$ ).

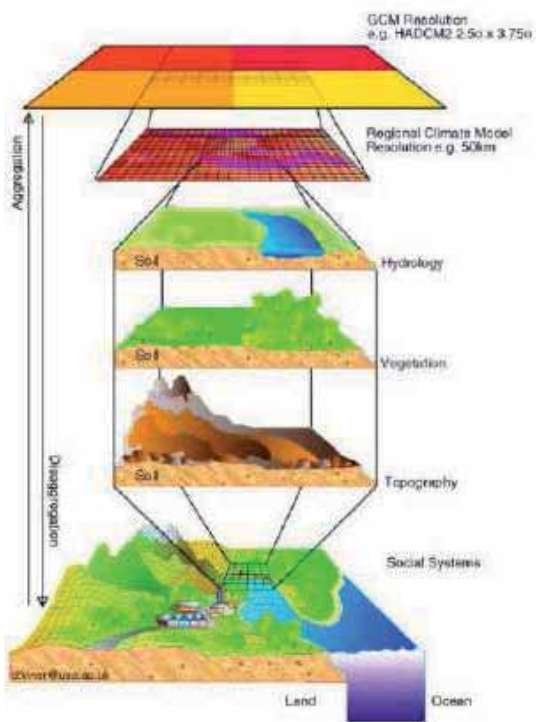
# ¿Qué necesita la comunidad de impactos al cambio climático?



Proyecciones regionalizadas ajustadas a las necesidades específicas de cada sector (variables, resolución espacial/temporal, alcance, etc) con **estimación de incertidumbres**



# ¿Qué es la regionalización? (Top-down approach)



\* Las proyecciones directas de las variables superficiales a partir de los GCMs es difícil a escala subcontinental y a altas resoluciones temporales.

\* Las técnicas de regionalización combinan salidas de GCMs con datos observacionales para mejorar la escala temporal y espacial de las proyecciones de cambio climático.

\* Las técnicas de regionalización se conocen y se han aplicado desde los 70s y 80s en PNT:

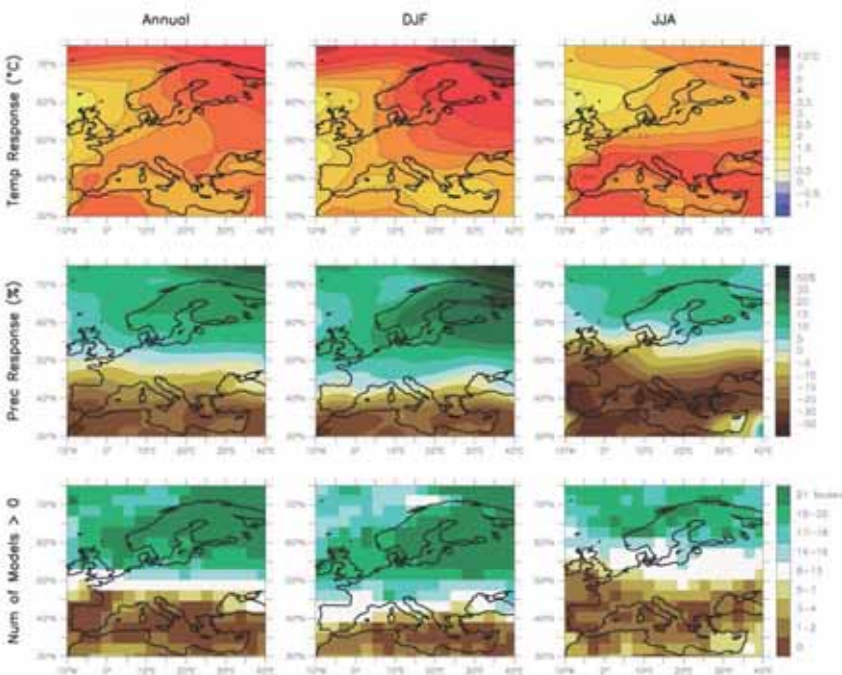
(i) LAMs

(ii) Técnicas de adaptación estadística basadas en regresiones lineales, p.e., MOS, Perfect Prog.

## ¿Por qué es necesaria la regionalización?

- Variables de sup. adaptadas a características locales.
- Estimar extremos: AOGCMs “suavizan”
- Adaptar res. esp/temp a los modelos de impactos

Is it always worthwhile a “top-down” approach?

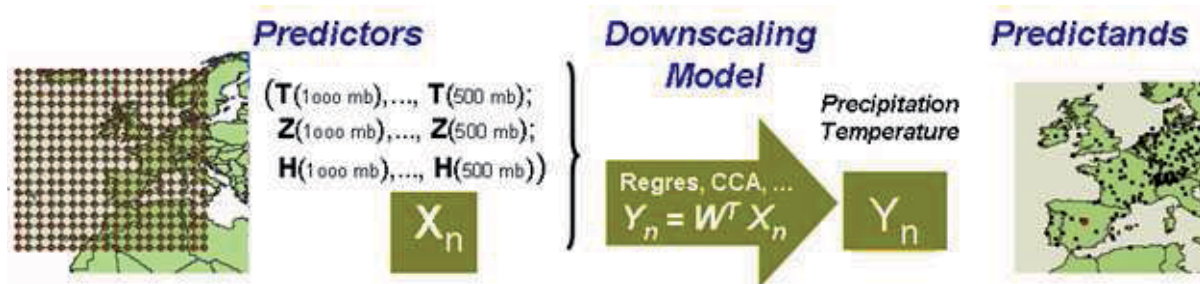


IPCC AR4

# Indice

- Introducción y marco
- Observaciones
- Proyecciones
- Evaluación de modelos
- Regionalización dinámica
- **Regionalización estadística**
- Incertidumbres
- Difusión información → Servicios climáticos
- Estudios de impacto/adaptación
- Conclusiones y perspectivas

# Regionalización estadística



**Step 1:** Select GCM experiment and downscaling technique.

**Step 2:** Select downscaling predictor variable(s).

**Step 3:** Calibrate model using observed/standardized/gridded data.

**Step 4:** Validate model using independent data.

**Step 5:** Force downscaling model with GCM predictor variables.

<http://grupos.unican.es/ai/meteo/downscaling/index.html>

## Técnicas estadísticas de regionalización

Método	Ventajas	Inconvenientes
<b>Tipos de tiempo</b> (p.e., análogos, mapas autoorganizativos, etc)	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Relaciones físicas interpretables con clima superficie</li> <li>* Versátil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Requiere esq. clasificación</li> <li>* Circulación podría insensible a forzamientos climáticos futuros</li> <li>* Puede no capturar variaciones dentro de un mismo tipo en el clima de superficie</li> </ul>
<b>Generadores tiempo</b> (p.e., cadenas Markov, modelos estocásticos, etc)	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Captura variabilidad en un amplio rango de escalas temporales y espaciales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Ajuste arbitrario de parámetros en clima futuro</li> </ul>
<b>Regresión</b> (p.e., regresión lineal, redes neuronales, etc)	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Fácil aplicación</li> <li>* Gran variedad de predictores</li> <li>* Transparencia en relaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Pobre representación de sucesos extremos</li> <li>* Pobre representación de varianza observada</li> </ul>

## **¿Cuándo puede ser aplicable la regionalización estadística?**

- Escalas subrejilla (islas pequeñas, procesos puntuales)
- Entornos complejos/ heterogéneos
- Sucesos extremos
- Predictandos exóticos

## **¿Cuándo no es aplicable la regionalización estadística?**

- Regiones pobres de datos o sin datos
- Relaciones predictor-predictando no-estacionarias (p.e., retroalimentaciones superficie terrestre)
- Enfoques más simples son suficientes
  - Interpolación espacial
  - Análogos espaciales/temporales

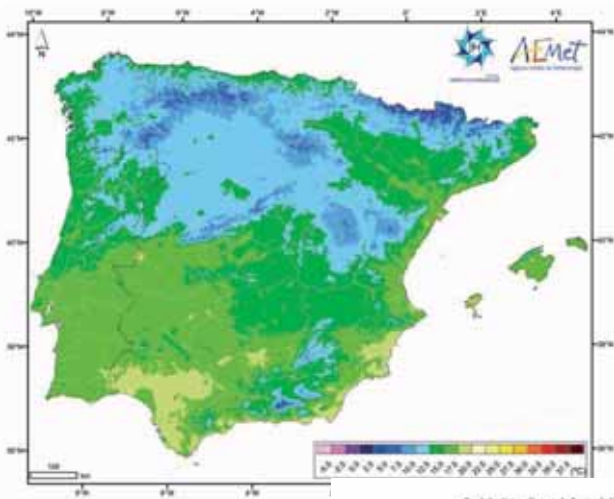
## **Cuestiones relacionadas con regionalización estadística**

- ¿Rejillas o estaciones?
- Si se trabaja con rejillas, ¿qué resolución es la más adecuada: 50km, 20km, 10km, 1km, ...?
- ¿Tiene sentido afinar la resolución espacial excesivamente a la vista de la incertidumbres?

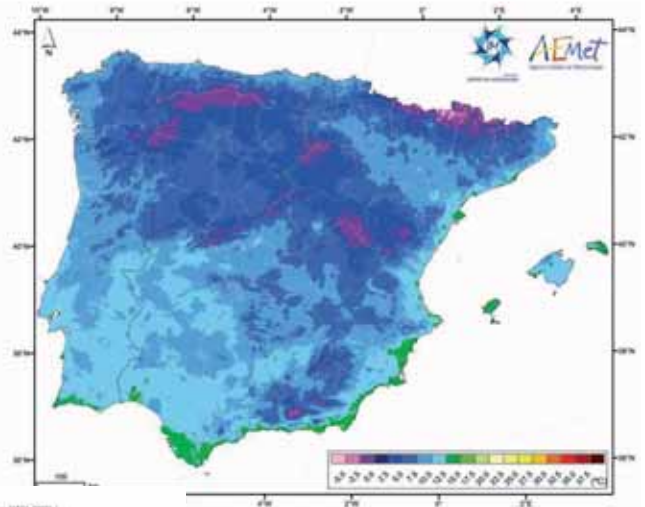
$$1.25 \pm 3^{\circ} C$$



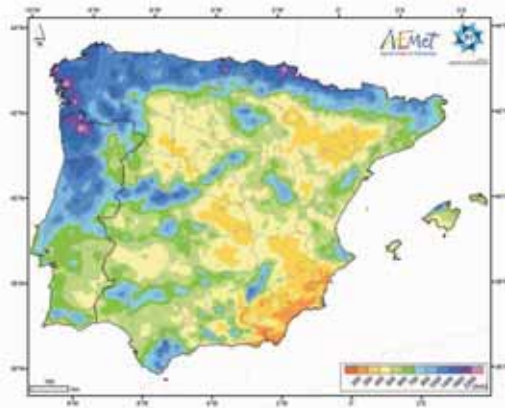
Temperatura media del aire en la Península Ibérica e Islas Baleares (1971-2000) /  
Temperatura media do ar na Península Ibérica e Ilhas Baleares (1971-2000) /  
Mean air temperature in the Iberian Peninsula and the Balearic Islands (1971-2000)



Temperatura media de los mínimos en la Península Ibérica e Islas Baleares (1971-2000) /  
Média da temperatura mínima do ar na Península Ibérica e Ilhas Baleares (1971-2000) /  
Average minimum air temperature in the Iberian Peninsula and the Balearic Islands (1971-2000)



Precipitación media para la Península Ibérica e Islas Baleares (1971-2000) /  
Média da precipitação total na Península Ibérica e Ilhas Baleares (1971-2000) /  
Average total precipitation in the Iberian Peninsula and the Balearic Islands (1971-2000)



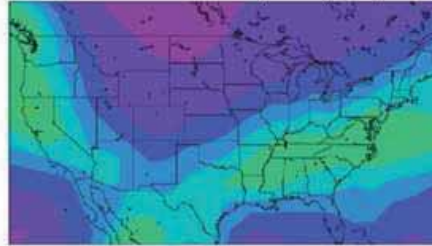
# Indice

- Introducción y marco
- Observaciones
- Proyecciones
- Evaluación de modelos
- **Regionalización dinámica**
- Regionalización estadística
- Incertidumbres
- Difusión información → Servicios climáticos
- Estudios de impacto/adaptación
- Conclusiones y perspectivas

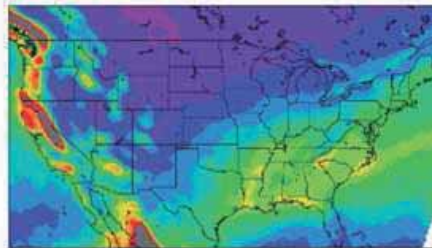
# Regionalización dinámica

**Downscaling integrates global and regional models**

Global climate model (GCM) outputs



Regional climate and weather models



**Table 1: Summary of the advantages and disadvantages of the direct use of regional climate model output to construct scenarios of extremes (Goodess *et al.*, 2003). 4 = advantage, 8 = disadvantage, ? = advantage/disadvantage of the method is uncertain.**

4	Provides physically-consistent multi-variate information
4	Higher spatial resolution than GCMs should reduce some biases (e.g., more intense extremes)
8	Relatively short (e.g., 30 year) runs make it difficult to assess multi-decadal natural variability
8	Runs may not be available for time periods of interest (e.g., 2020s)
8	Relatively few simulations/ensembles available
8	Affected by biases in the underlying GCM
?	Added value of higher spatial resolution needs to be demonstrated

**Table 2: Summary of the advantages and disadvantages of statistical downscaling for the construction of scenarios of extremes (Goodess *et al.*, 2003). 4 = advantage, 8 = disadvantage, ? = advantage/disadvantage of the method is uncertain.**

4	Provides station/point values of extremes
4	Less computer intensive than dynamical downscaling
4	Can be applied to GCM and/or RCM output
8	Assumes that predictor/predictand relationships will be unchanged in the future (the stationarity issue)
8	Requires long/reliable observed data series
8	Affected by biases in the underlying GCM
?	May be possible to 'correct' predictors for systematic model biases
?	Scenarios may indicate changes which differ substantially in magnitude, and even in direction, from those based directly on model output
?	Ideally, downscaling methods should reflect the underlying physical mechanisms and processes, but statistical downscaling is unlikely, for example, to treat convective rainfall events in a physically realistic way
?	Sensitive to specific methodology, choice of predictor variables, etc.

## **¿Cuándo puede ser aplicable la regionalización dinámica?**

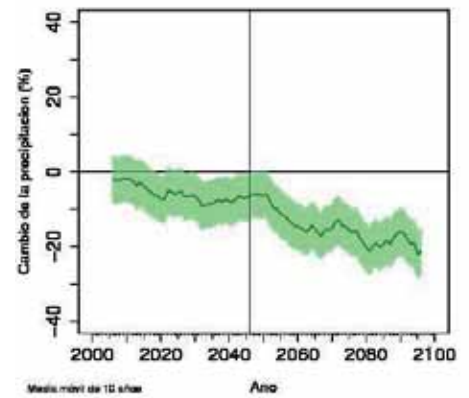
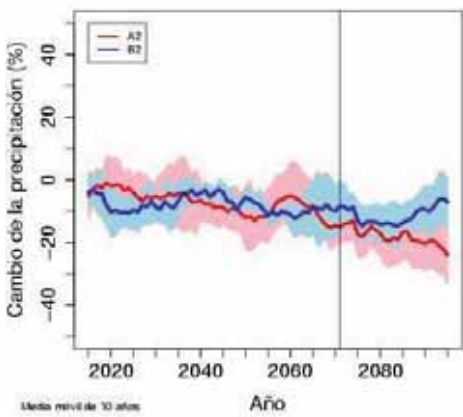
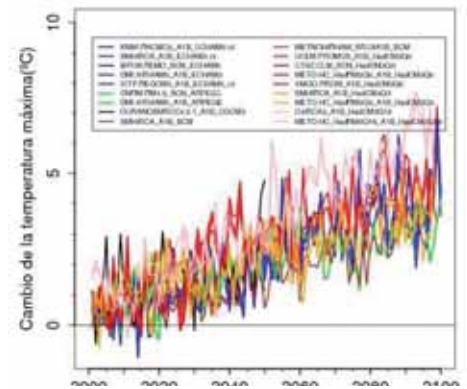
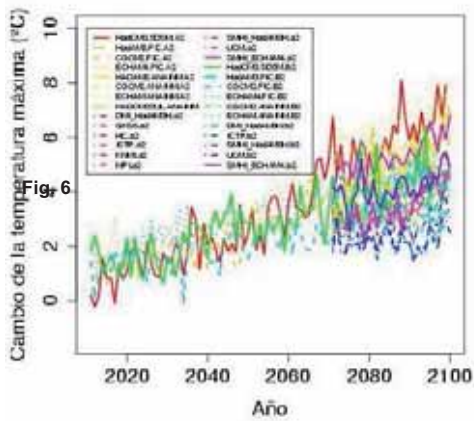
- Cuando se requiere una representación físicamente consistente de todas las variables

## Desventajas de la regionalización dinámica

- Gran volumen de cálculo
- Precisa de cc proporcionadas por AOGCMs que no siempre están disponibles
- Más difícil exploración de las incertidumbres

Escenarios 1ª fase (A2 y B2) -TAR

ENSEMBLES, Escenario A1B



# Indice

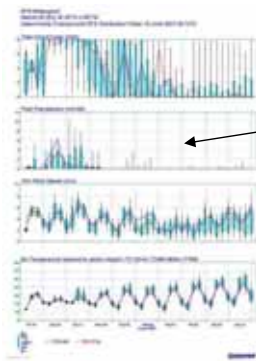
- Introducción y marco
- Observaciones
- Proyecciones
- Evaluación de modelos
- Regionalización dinámica
- Regionalización estadística
- **Incertidumbres**
- Difusión información → Servicios climáticos
- Conclusiones y perspectivas



# Uncertainties in climate change projections

**UNCERTAINTY  
DOESN'T MEAN  
TOTAL LACK OF  
KNOWLEDGE!!**

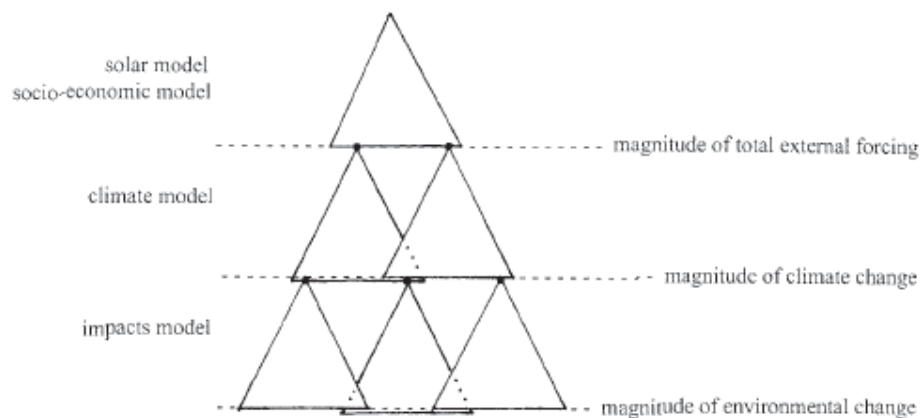
- Natural forcing (sun, volcanoes) ←
- GHG emissions ←
- GHG concentrations
- AOGCM differences ←
- Internal variability (IC dependency)
- Downscaling techniques ←
- Tipping points



- The uncertainty studies are something relatively new in atmospheric sciences. Only recently uncertainty (probabilistic approach) was introduced in our forecasts/projections
- Dealing with lack of knowledge and uncertainties → a task for risk management

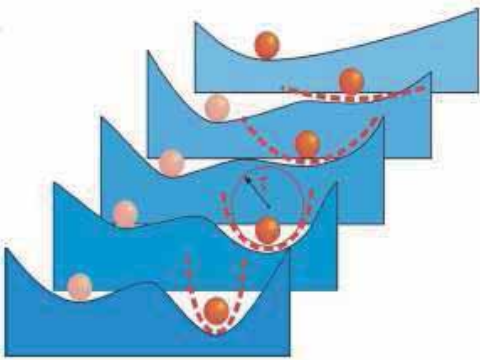
# Cascade of uncertainties

*Timothy D. Mitchell and Mike Hulme*



**Figure 4** The magnitude of external radiative forcing is uncertain and so is presented as a range of possibilities in the top triangle. Two of these possibilities are selected as the starting points from which is presented the uncertainty concerning the magnitude of the climatic response. Thus we find that the cascade of uncertainties ultimately presents us with a wide variety of possible environmental futures at the base of the lowest triangles

A

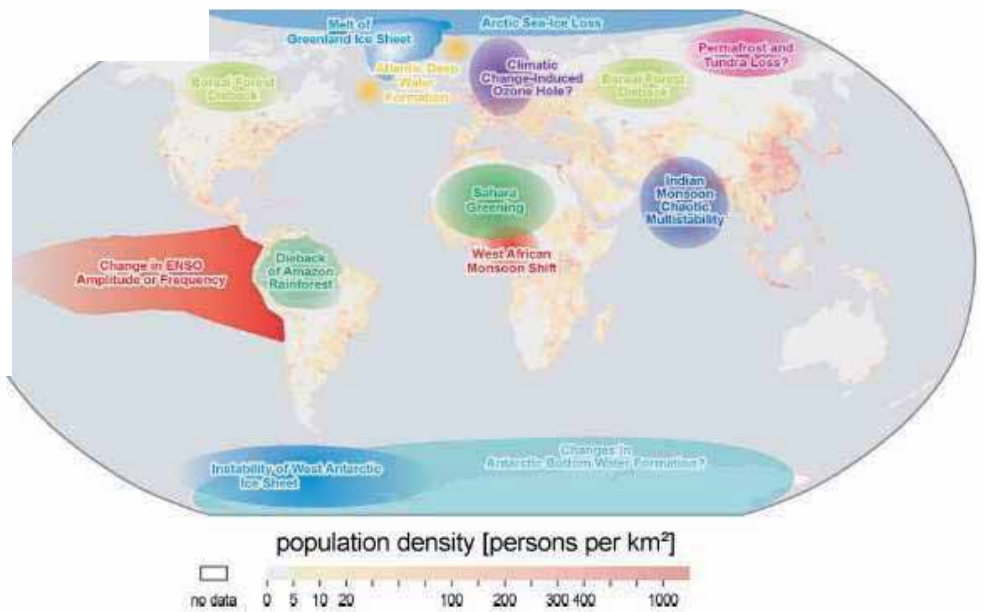


# “Tipping points”

sobrepasables este siglo

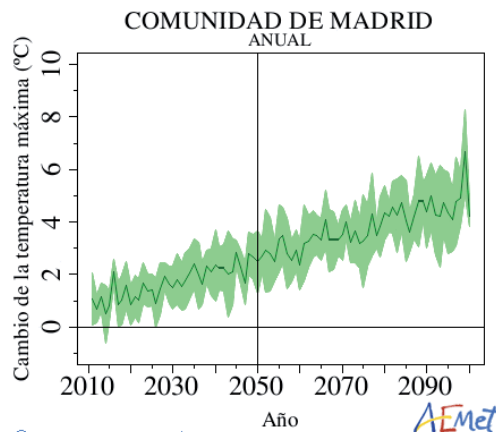
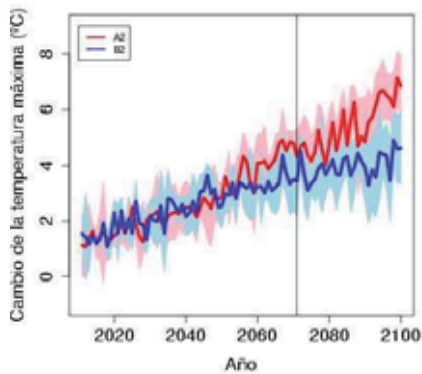
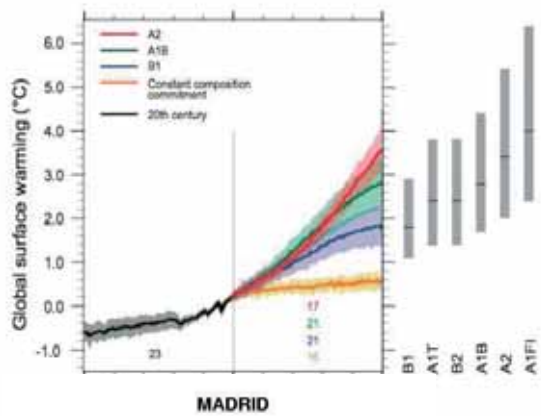
Small changes can produce big long term effects

Ex.: forced convection!!



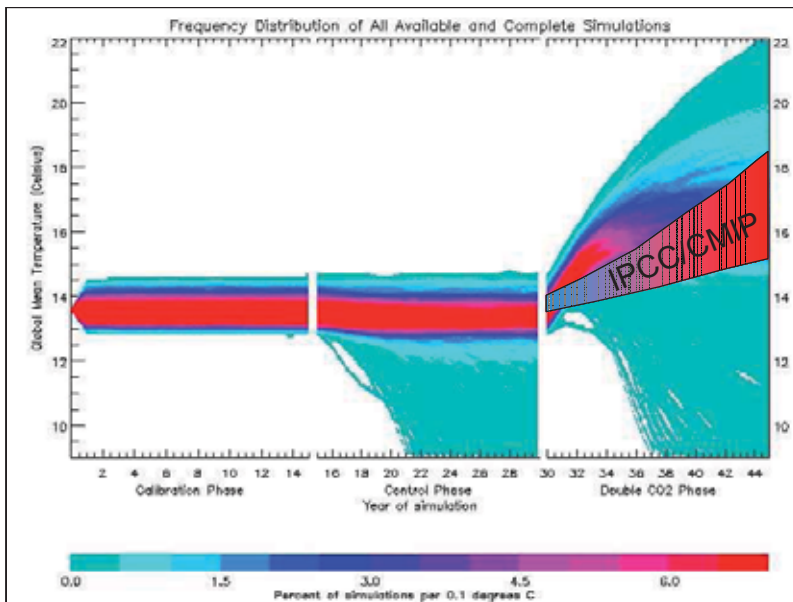
(Lenton et al., 2008)

# Incertidumbres



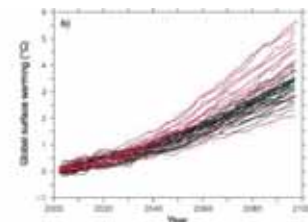
¿Exploramos suficientemente las incertidumbres? No → Ensemble de oportunidad!!

El IPCC NO explora suficientemente las incertidumbres!! → mega-ensembles



Frequency distribution of global mean temperature response to doubled CO<sub>2</sub> produced by CP.net, compared with the IPCC (2001) range.

Source: Staniforth et al. (2005)

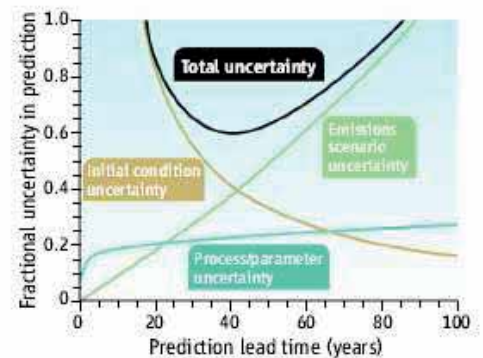


IPCC AR4 Fig. 10.20

Models with CO<sub>2</sub>-only: black lines

Models with CO<sub>2</sub> plus carbon cycle: colored lines

Adding carbon cycle feedback produces greater uncertainty for larger warming; unclear as to size and nature of carbon cycle feedback



(Cox & Stephenson, 2007)

# Indice

- Introducción y marco
- Observaciones
- Proyecciones
- Evaluación de modelos
- Regionalización dinámica
- Regionalización estadística
- Incertidumbres
- **Difusión información → Servicios climáticos**
- Estudios de impacto/adaptación
- Conclusiones y perspectivas

## Difusión de la información al exterior

- 2 vías:

- Servidor dedicado de datos →  
→ Input para comunidad de  
impactos/adaptación



- Información gráfica →



# Conclusiones y perspectivas (I)

- Es necesario trabajar en diferentes líneas complementarias para generar escenarios regionalizados de cc (evaluación, series largas observacionales, océano, etc)
- Es necesario integrar toda la información disponible: AOGCMs, obs, regionalizaciones
- Es necesario presentar información numérica + gráfica
- El futuro GFCS de OMM es el marco natural en el que se integrarán los escenarios regionalizados de cc
- Cada usuario requiere un tipo/formato de información distinto. Considerar la experiencia de la 1ª fase



## Conclusiones y perspectivas (II)

- Necesidad de información integrada y probabilística sobre la evolución futura del clima, independientemente del origen de la información
- Perspectivas de rápida evolución →
  - Aprobación GFCS por OMM
  - Desarrollo e implementación GFCS
  - Posicionamiento de EUMETNET
  - Desarrollo y/o ampliación de CISCLIMA