



Regionalización dinámica. Experiencias y resultados de los proyectos PRUDENCE, ENSEMBLES, AMMA, CLARIS-LPB, ESCENA...

Enrique Sánchez Sánchez
Manuel de Castro
Miguel Angel Gaertner
Clemente Gallardo

Grupo MOMAC (Modelización del Medio Ambiente y el Clima)
Facultad de Ciencias del Medio Ambiente y Bioquímica
Universidad de Castilla-La Mancha



Grupo MOMAC (MOdelización para el Medio Ambiente y el Clima, UCLM)



Líneas de investigación

Desarrollo del modelo climático regional (RCM) PROMES (PROnóstico a MESoscala).

Características:

- Modelo numérico de ecuaciones primitivas (conservación de energía, masa, momento)
- Modelo de área limitada: condiciones de contorno de modelo global (GCM) o análisis/reanálisis
- Variables de pronóstico: temperatura, viento, humedad, agua de nube, presión en superficie
- Procesos de escala sub-rejilla: parametrizaciones físicas (procesos nubosos, radiación, turbulencia, interacción suelo-atmósfera)
- Desarrollo actual: acoplamiento a modelo regional de océano + mejoras en parametrizaciones

Grupo MOMAC (MOdelización para el Medio Ambiente y el Clima, UCLM)



Aplicaciones y proyectos de investigación

- Predicción meteorológica: Instituto Meteorológico Regional de Castilla-La Mancha (<http://imetcam.uclm.es>)
- Regionalización dinámica (*dynamical downscaling*) de escenarios de cambio climático.

Participación en numerosos proyectos de intercomparación entre RCMs (europeos y nacionales): PRUDENCE, ENSEMBLES, AMMA, CLARIS-LPB, ESCENA

MODELOS REGIONALES DE CLIMA

1) ¿Qué es un modelo regional de clima (RCM)?

Resuelve las ecuaciones (dynamical downscaling) que describen la atmósfera (movimiento, masa, energía, agua) a una escala de 50km o menos en un área limitada. Los forzamientos externos son el GCM, la superficie y los gases de invernadero. Periodos de hasta 150 años

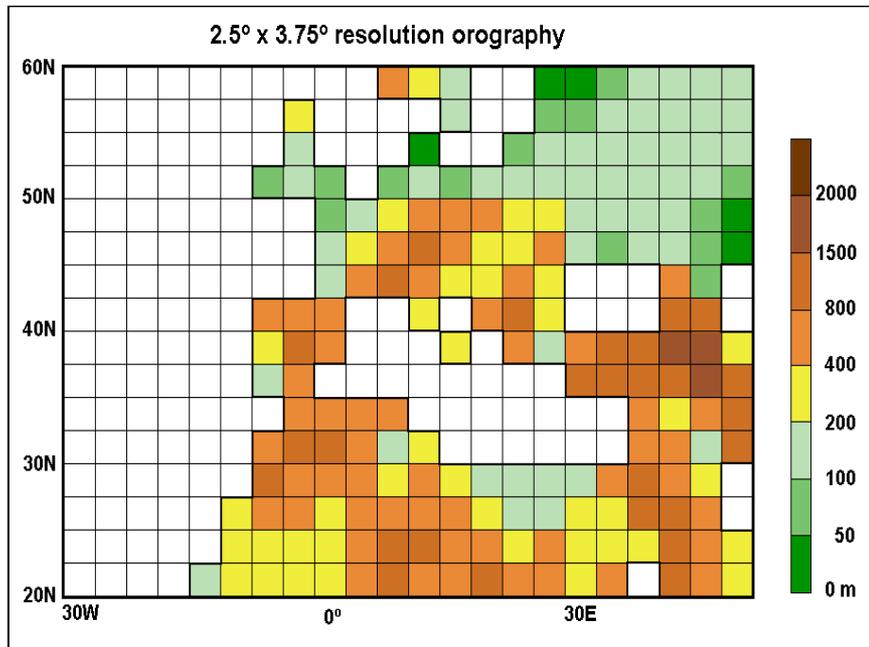
2) ¿Por qué se usan modelos regionales de clima (RCMs)?

Los escenarios de cambio climático de modelos globales de clima (GCMs) tienen una resolución espacial demasiado baja para estudios de impacto a escala regional.

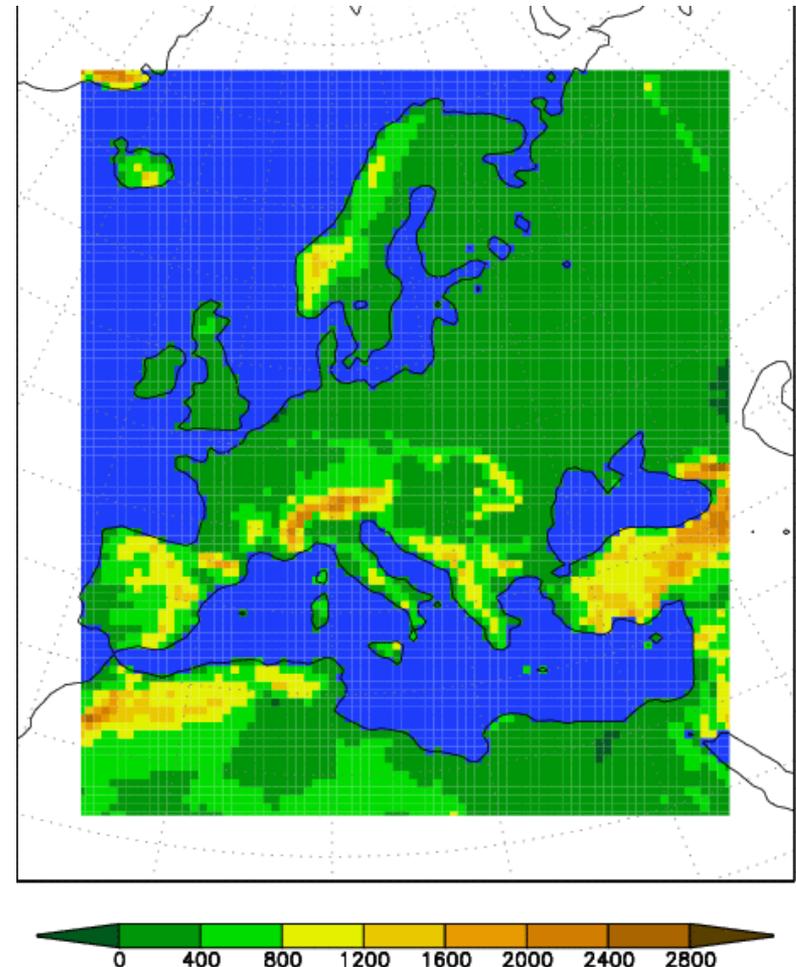
IPCC WGI: C11-AR4 (2007), C9-10 AR5 (2013)

Modelos regionales de clima vs modelos globales de clima

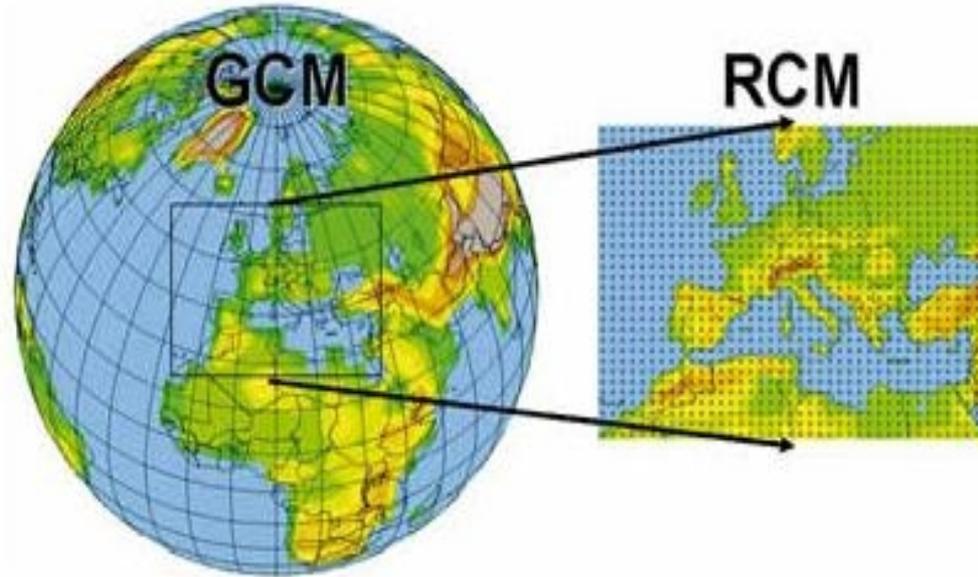
Orografía y línea de costa con celdillas de 300 km (GCM)



Orografía y línea de costa con celdillas de 50 km (RCM)



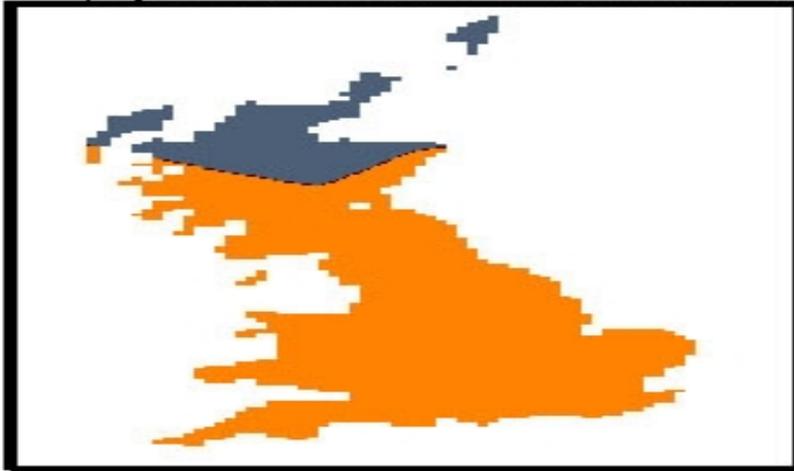
Modelos regionales de clima vs modelos globales de clima



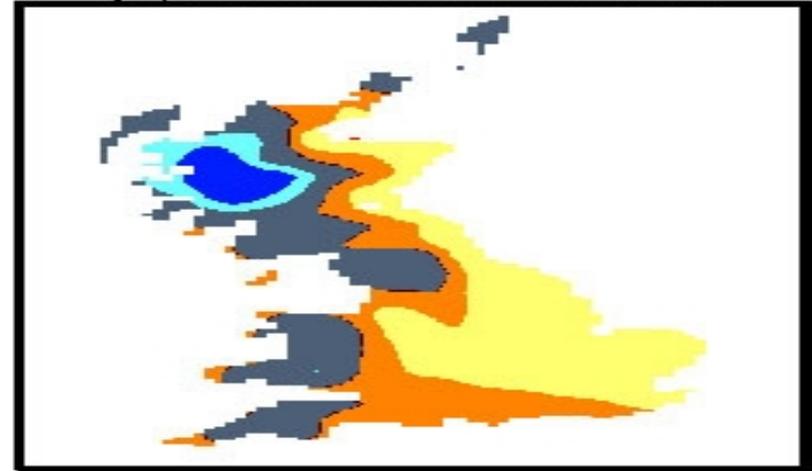
- Modelo de mayor resolución (RCM) anidado en la malla del GCM
- Los contornos del RCM son “alimentados” cada 6h por las variables atmosféricas del GCM en una banda de puntos
- Los parámetros oceánicos se incorporan en escalas más largas. En la superficie sólida el modelo regional es independiente
- Los forzamientos externos (concentraciones de GEI) se introducen
- Dominio interior del RCM libre. Spectral nudging

Modelos regionales de clima vs modelos globales de clima

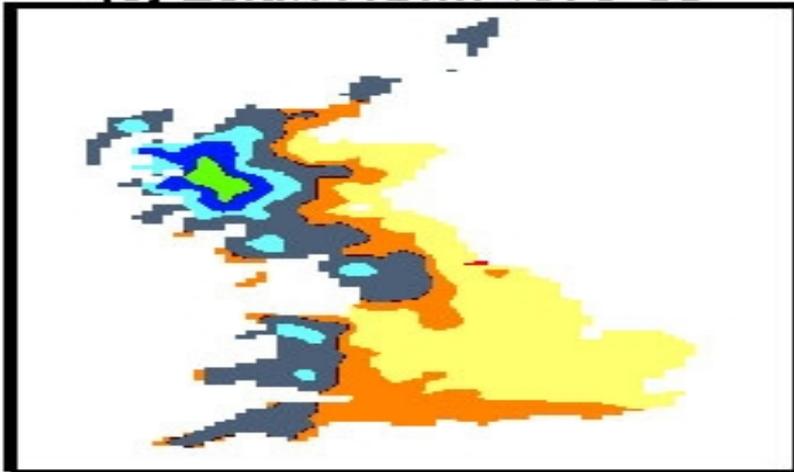
(a) 300km GCM: 1979-83



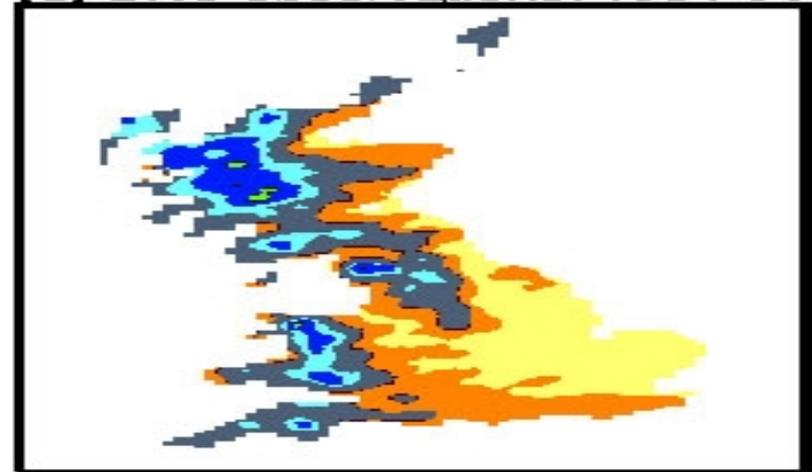
(b) 50km RCM: 1979-83



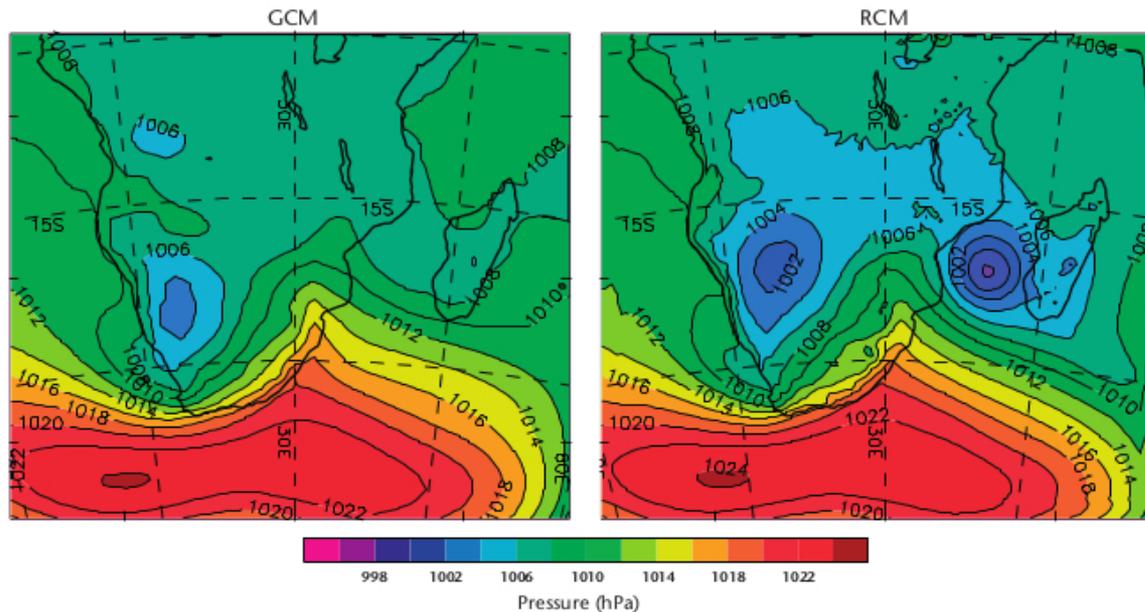
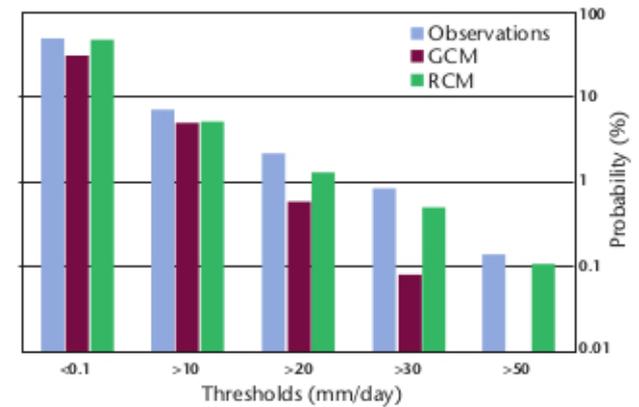
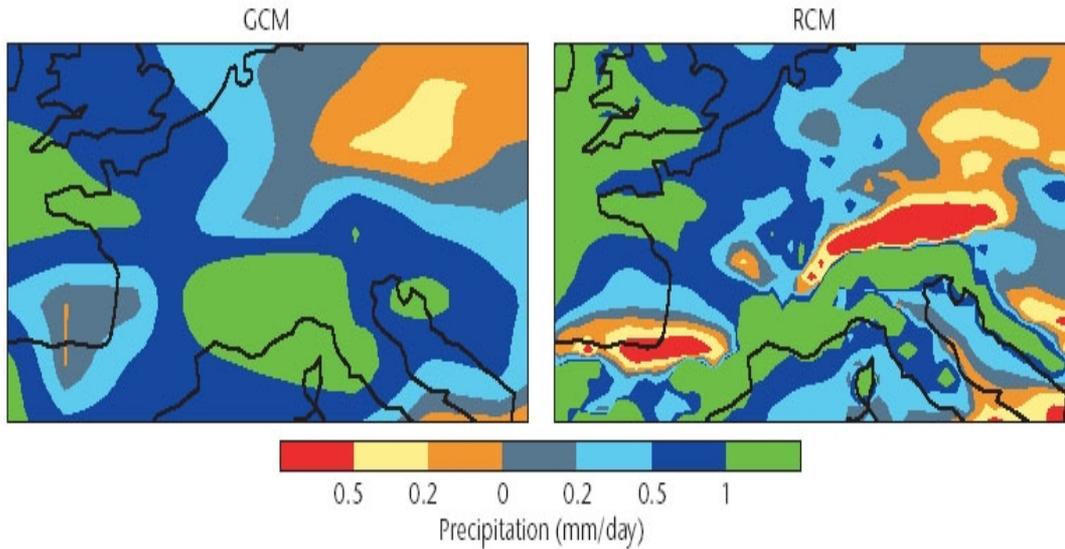
(c) 25km RCM: 1979-83



(d) CRU observations: 1981-90



Modelos regionales de clima vs modelos globales de clima



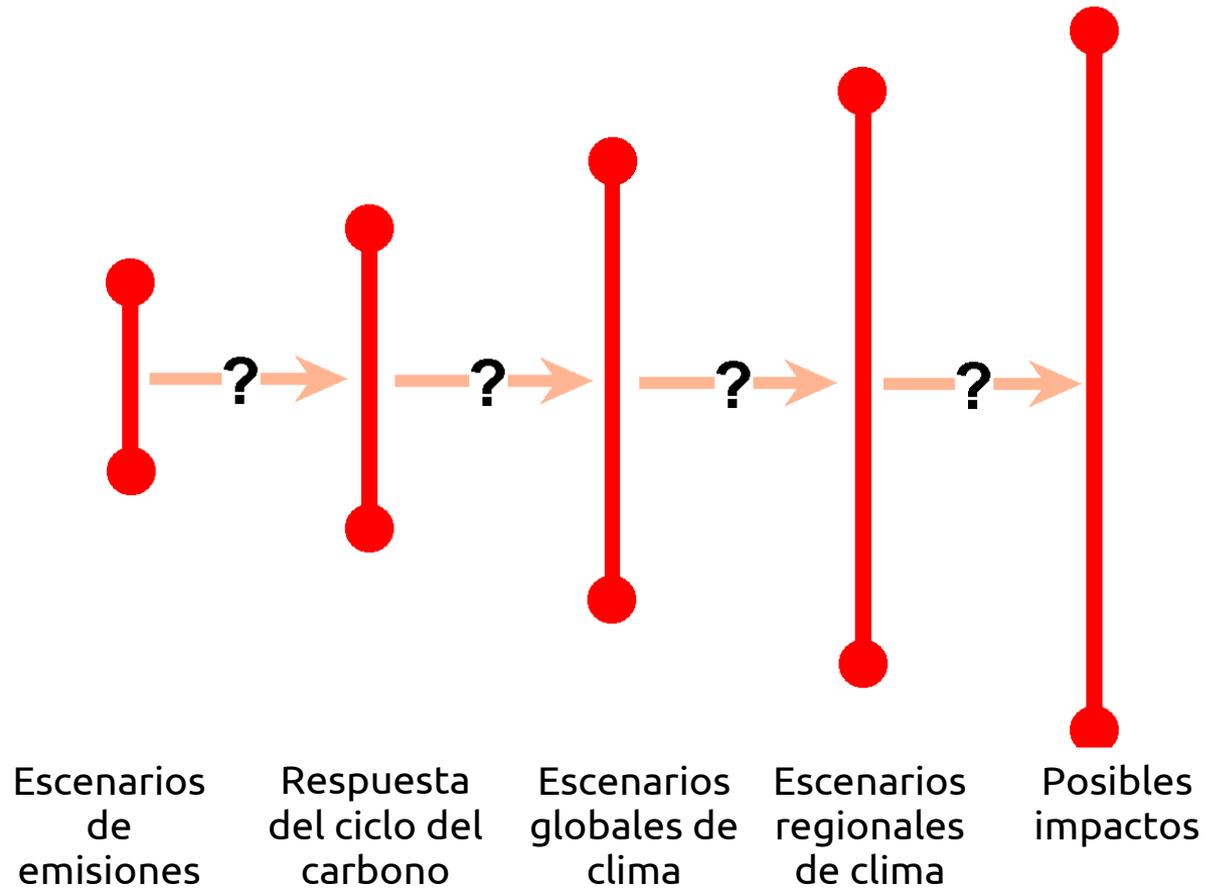
Otros aspectos relevantes en el uso de RCMs

- Regionalización dinámica vs regionalización estadística (próxima sesión)
- Interés de los RCMs: análisis de eventos extremos, procesos con características locales o de gran detalle (orografía, costa, procesos nubosos...)
- Estimar incertidumbres y aspectos robustos. Variabilidad interna vs señal de cambio climático. Ensembles de RCMs.
- Aplicación a estudios de impactos: agricultura, hidrología, recursos energéticos, impactos medioambientales y económicos....
- Metodología: Validación modelos frente a observaciones, estudio de las proyecciones de cambio climático.

Otros aspectos relevantes en el uso de RCMs

- Regionalización dinámica vs regionalización estadística (próxima sesión)
- Interés de los RCMs: análisis de eventos extremos, procesos con características locales o de gran detalle (orografía, costa, procesos nubosos...)
- Estimar incertidumbres y aspectos robustos. Variabilidad interna vs señal de cambio climático. Ensembles de RCMs.
- Aplicación a estudios de impactos: agricultura, hidrología, recursos energéticos, impactos medioambientales y económicos....
- Metodología: Validación modelos frente a observaciones, estudio de las proyecciones de cambio climático.

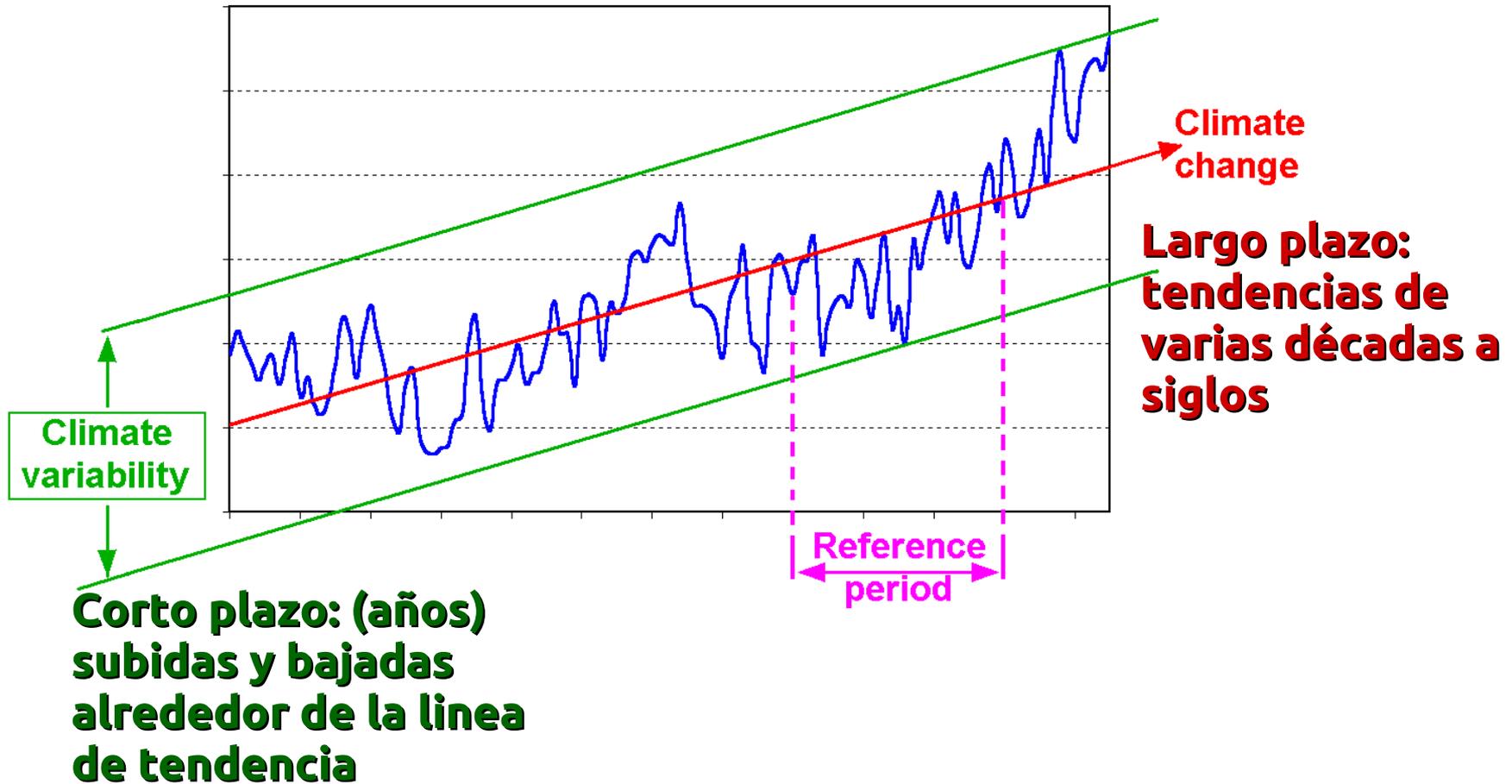
RCMs: fuentes y cascada de incertidumbres



Otros aspectos relevantes en el uso de RCMs

- Regionalización dinámica vs regionalización estadística (próxima sesión)
- Interés de los RCMs: análisis de eventos extremos, procesos con características locales o de gran detalle (orografía, costa, procesos nubosos...)
- Estimar incertidumbres y aspectos robustos. Variabilidad interna vs señal de cambio climático. Ensembles de RCMs.
- Aplicación a estudios de impactos: agricultura, hidrología, recursos energéticos, impactos medioambientales y económicos....
- Metodología: Validación modelos frente a observaciones, estudio de las proyecciones de cambio climático.

Cambio climático y variabilidad natural



Otros aspectos relevantes en el uso de RCMs

- Regionalización dinámica vs regionalización estadística (próxima sesión)
- Interés de los RCMs: análisis de eventos extremos, procesos con características locales o de gran detalle (orografía, costa, procesos nubosos...)
- Estimar incertidumbres y aspectos robustos. Ensembles de RCMs. Variabilidad interna vs señal de cambio climático.
- Aplicación a estudios de impactos: agricultura, hidrología, recursos energéticos, impactos medioambientales y económicos....
- Metodología: Validación modelos frente a observaciones, estudio de las proyecciones de cambio climático.

RCMs: técnicas de simulación por conjuntos (*ensembles*)

¿Cómo podemos estimar la incertidumbre de las proyecciones climáticas futuras?



**TÉCNICAS DE SIMULACIÓN POR
CONJUNTOS (*ENSEMBLES*)**

Menos dispersión



**Menos
incertidumbre**

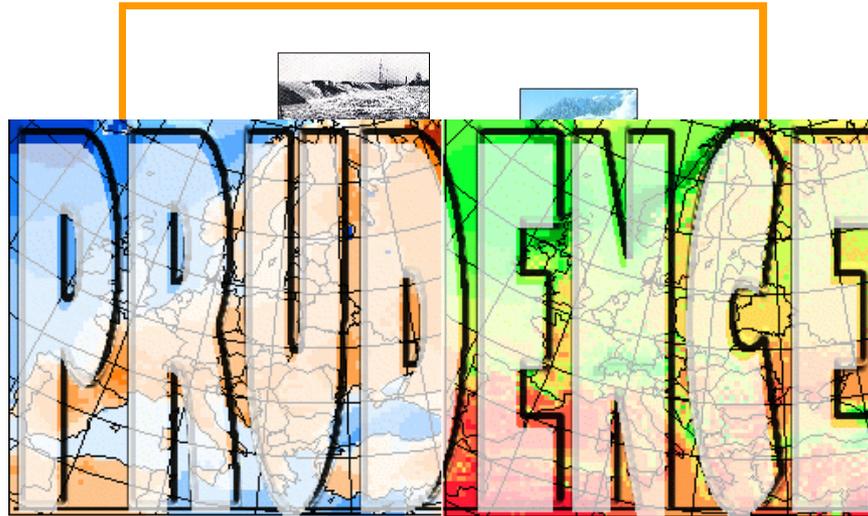
RCMs: técnicas de simulación por conjuntos (*ensembles*)

Metodologías para generar conjuntos de simulaciones

- **Condiciones iniciales:** perturbaciones aleatorias
- **Física perturbada:** valores coeficientes parametrizaciones
- **Multifísica:** diferentes parametrizaciones en procesos físicos (radiación, convección, interacción suelo-atmósfera, turbulencia)
- **Multimodelo:** diferentes modelos regionales (dinámica + física)

Proyectos relevantes con intercomparación de RCMs

<u>Proyecto</u>	<u>Duración</u>	<u>Dominio</u>	<u>RCMs</u>	<u>GCMs</u>	<u>emis</u>	<u>Resolución</u>	<u>periodos</u>
PRUDENCE	2002-2004	europa	9	1	A2-B2	50 km	1961-1990 2071-2100
ENSEMBLES	2004-2009	europa	16	5	A1B	25km	1951-2100
AMMA	2005-2009	Sahel Africa	10	5	A1B	50km	1990-2007 2000-2050
CLARIS-LPB	2008-2012	America Sur	7	3	A1B	50km	1990-2007 1960-2100
ESCENA	2008-2012	Península	4	3	A1B,A2,B1	25km	1990-2007 1950-2050
CORDEX	2012-	17	xxx	xxx	RCP	50km	1990-2010 1950-2050



Full title: Prediction of Regional scenarios and
Uncertainties for Defining European
Climate change risks and Effects

Acronym: PRUDENCE

<http://prudence.dmi.dk/>

**Proyecto europeo
PRUDENCE (2001-2004)**



PRUDENCE: regionalización dinámica (RCMs)

**PRUDENCE: Prediction of Regional scenarios and
Uncertainties for Defining European Climate change and
Effects**

Método principal: **conjunto multi-modelo (9 RCMs)**

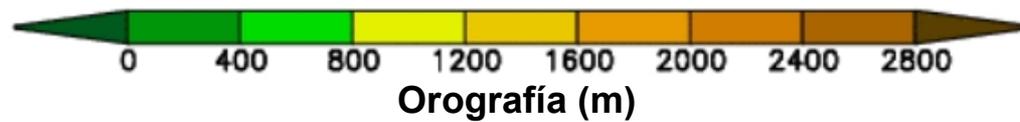
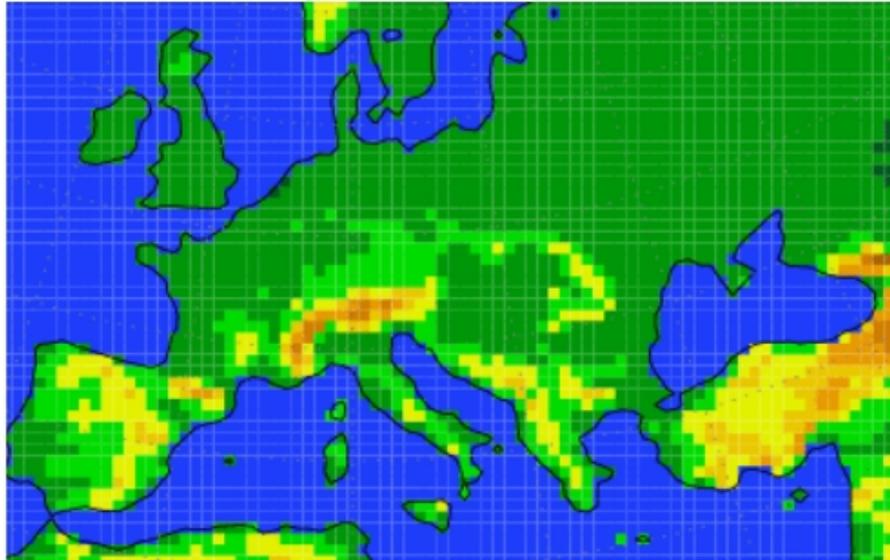
Uso de resultados de RCMs para evaluar impactos y riesgo de extremos climáticos sobre Europa. Grupos específicos de trabajo en ambos aspectos

Importante: evaluación de incertidumbre asociada al uso de modelos regionales



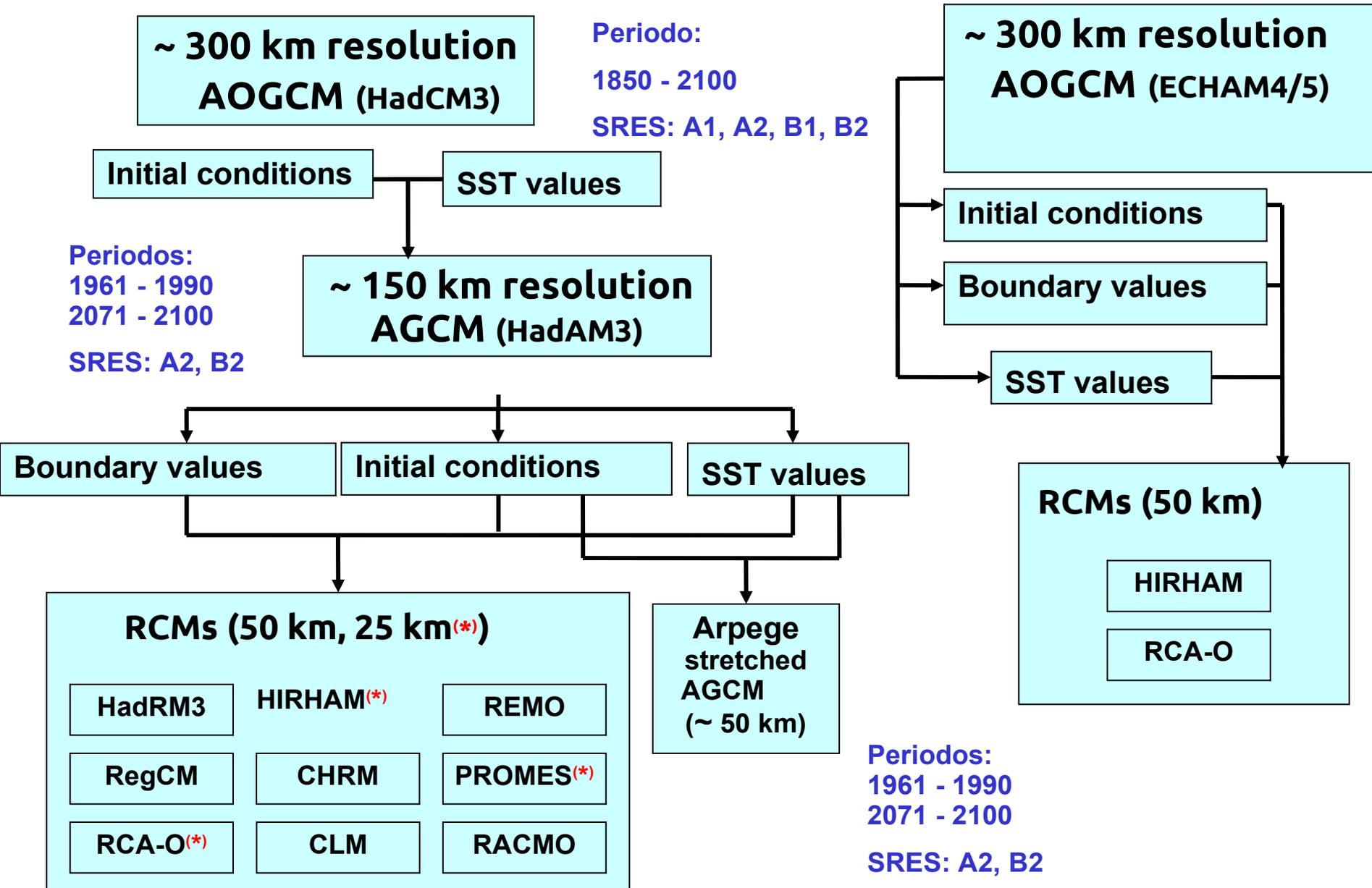
Dominio y orografía de RCMs

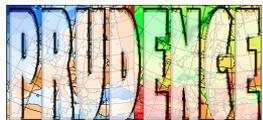
Dominio común de los 9 RCMs (~ 50x50 km)





Configuración experimental





Escenarios de emisiones SRES

SRES A1

Crecimiento

El bienestar material prima sobre la calidad ambiental

Rápido crecimiento económico

Nuevas tecnologías energéticas

SRES A2

Sociedad

Reforzamiento de identidades culturales regionales

Énfasis en valores familiares y tradiciones locales

Alto crecimiento de población

Menos interés por crecimiento económico

SRES B1

Equidad

Menos materialismo

Tecnologías limpias

Interés en la solución de problemas sociales y ambientales

Rápido desarrollo de tecnología y mejora de la equidad

SRES B2

Regional

Atención a soluciones locales y sociales enfocadas a la sostenibilidad económica, social y ambiental



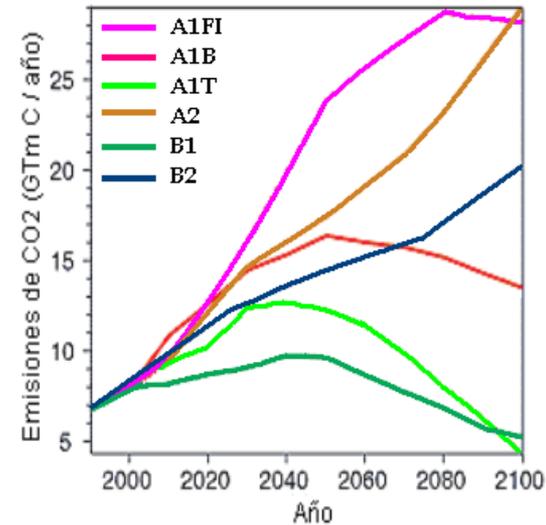
Escenarios de emisiones SRES

2 escenarios de emisión

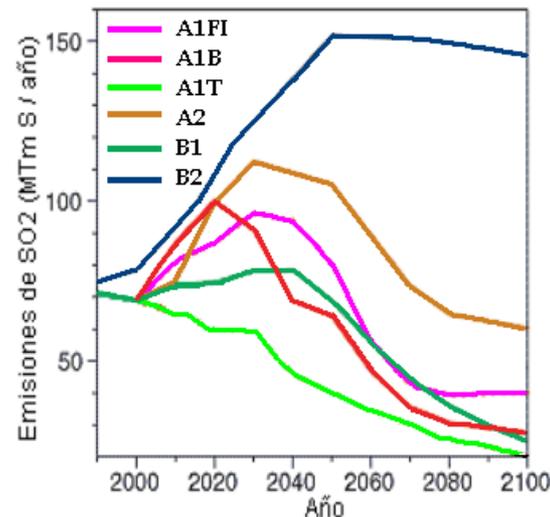
- SRES-A2 () 
- SRES-B2 () 

SRES: Special Report on Emissions Scenarios (IPCC special report, Nakicenovic and Swart, 2000)

Emisiones de CO₂



Emisiones de SO₂



Proyecto PRUDENCE

Ejemplos de líneas de análisis desarrolladas

- 1) Cambios estacionales medios del conjunto de RCMs
- 2) Cambios probabilistas
- 3) Cambios en los extremos sobre el Mediterráneo
- 4) Impactos en la agricultura
- 5) Ciclones tropicales sobre el Mediterraneo?
- 6) Cambios en periodos secos sobre la Península Ibérica
- 7) Cambios en la distribución de frecuencia diaria de precipitación
- 8) Variabilidad olas de calor en centroeuropa

1.a) Comparación con observaciones

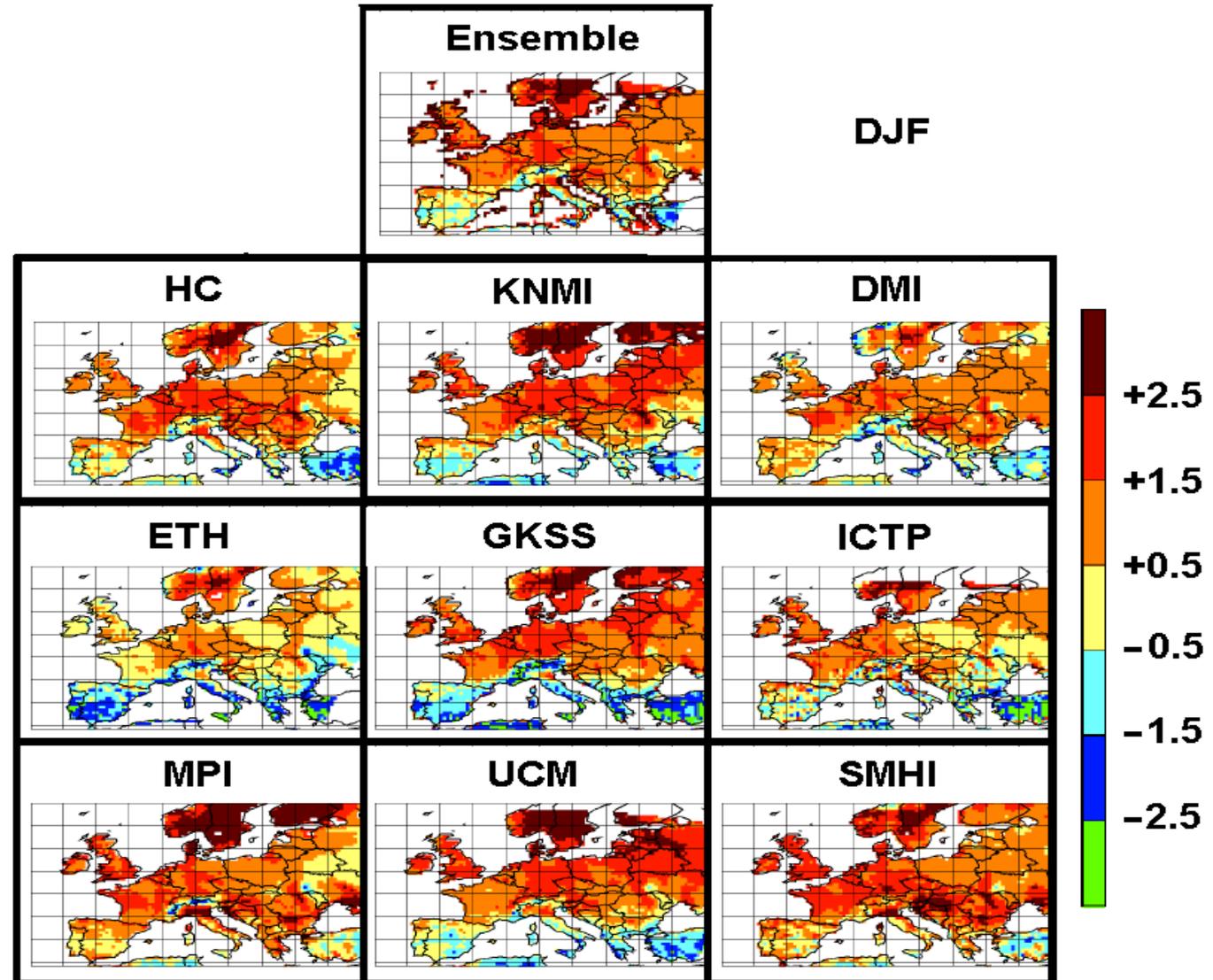
CRU: Base de datos observados

(Climate Research Unit, UEA)

Sesgo de temperatura

RCM – CRU (1961-90)

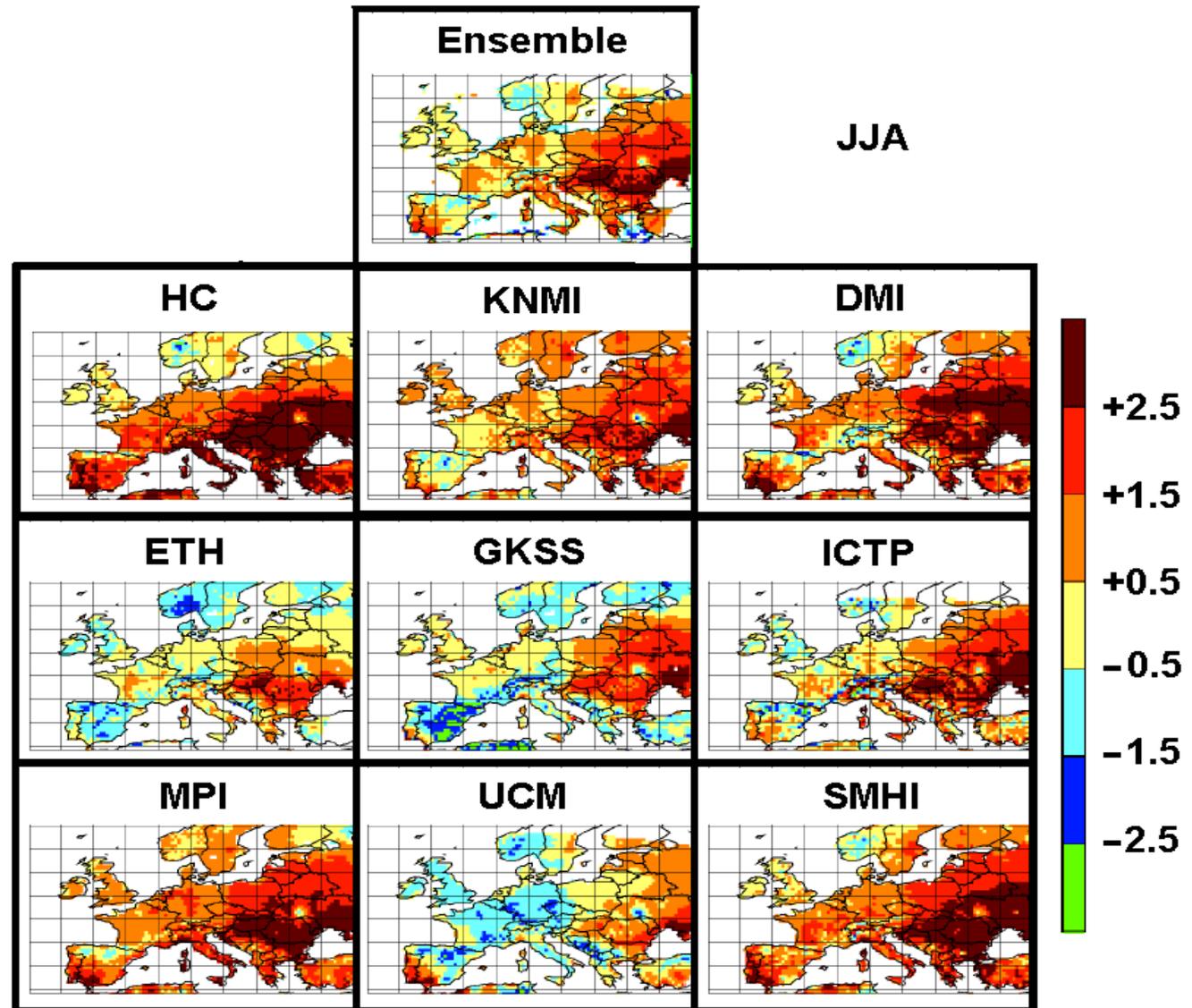
Temperature bias (°C)





1.a) Comparación con observaciones

Temperature bias (°C)



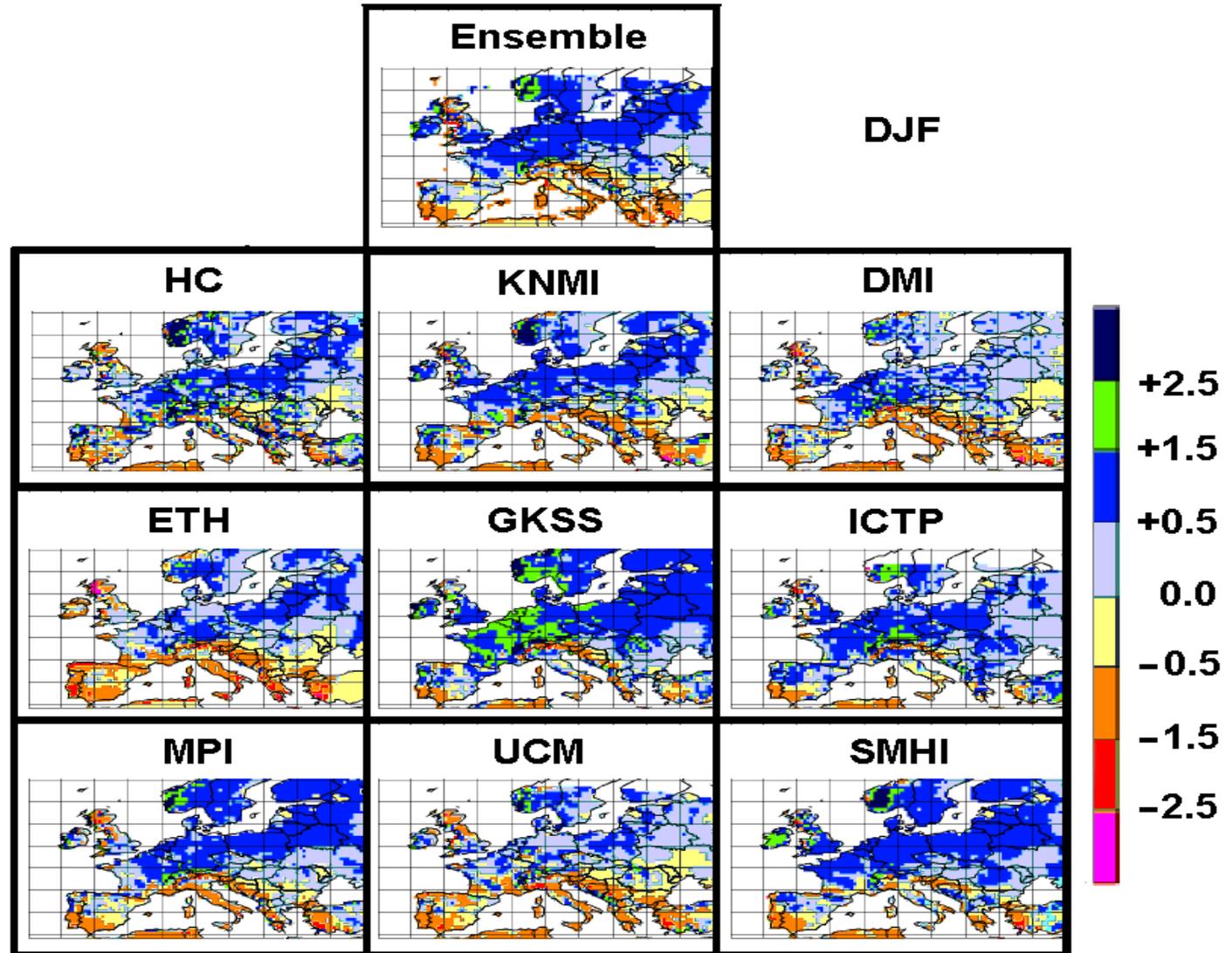
Sesgo de temperatura

RCM – CRU
(1961-90)



1.a) Comparación con observaciones

Precipitation bias (mm/day)



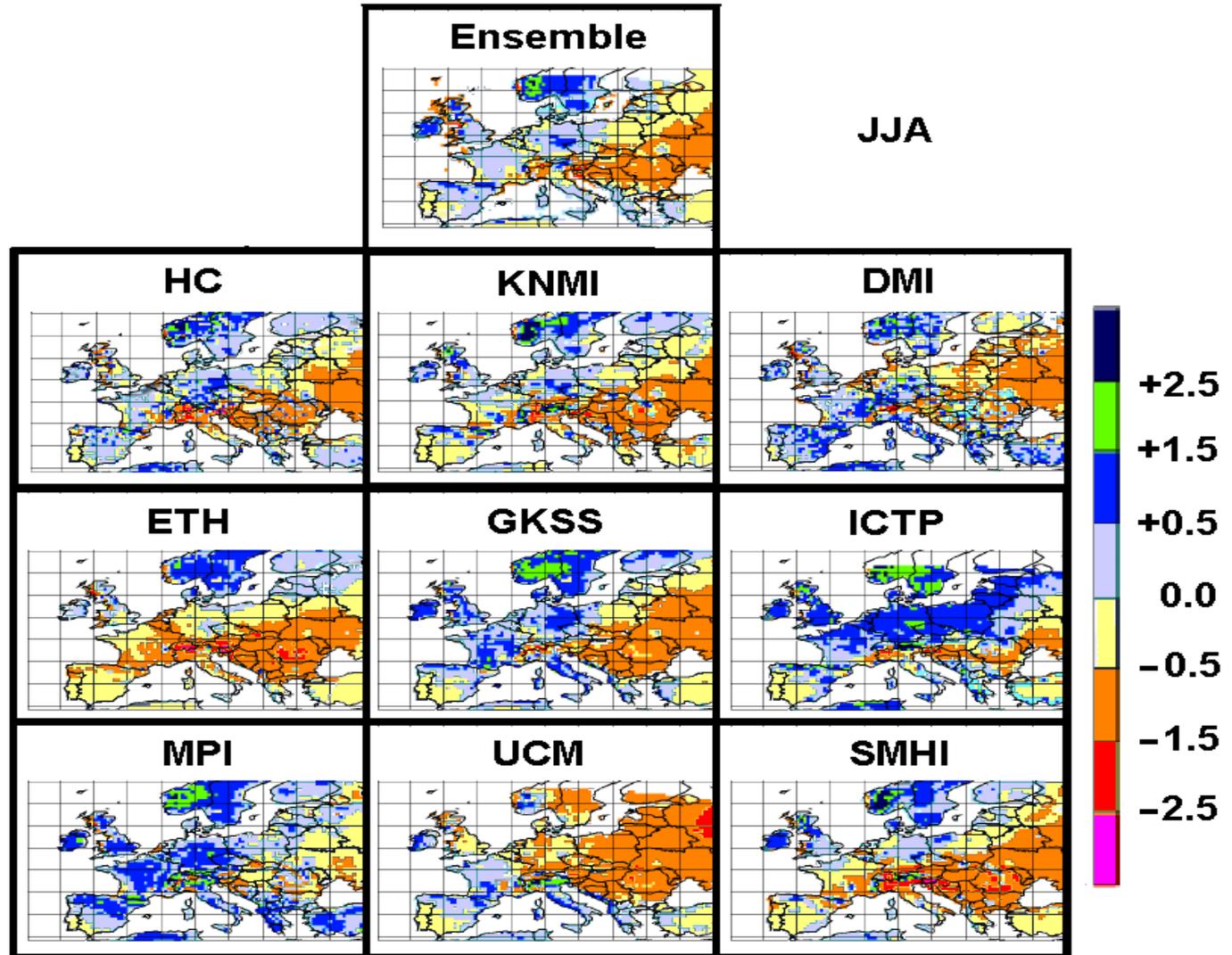
Sesgo de precip.

RCM – CRU
(1961-90)



1.a) Comparación con observaciones

Precipitation bias (mm/day)



Sesgo de precipip.

RCM – CRU
(1961-90)

1.b) Escenarios de cambio climático

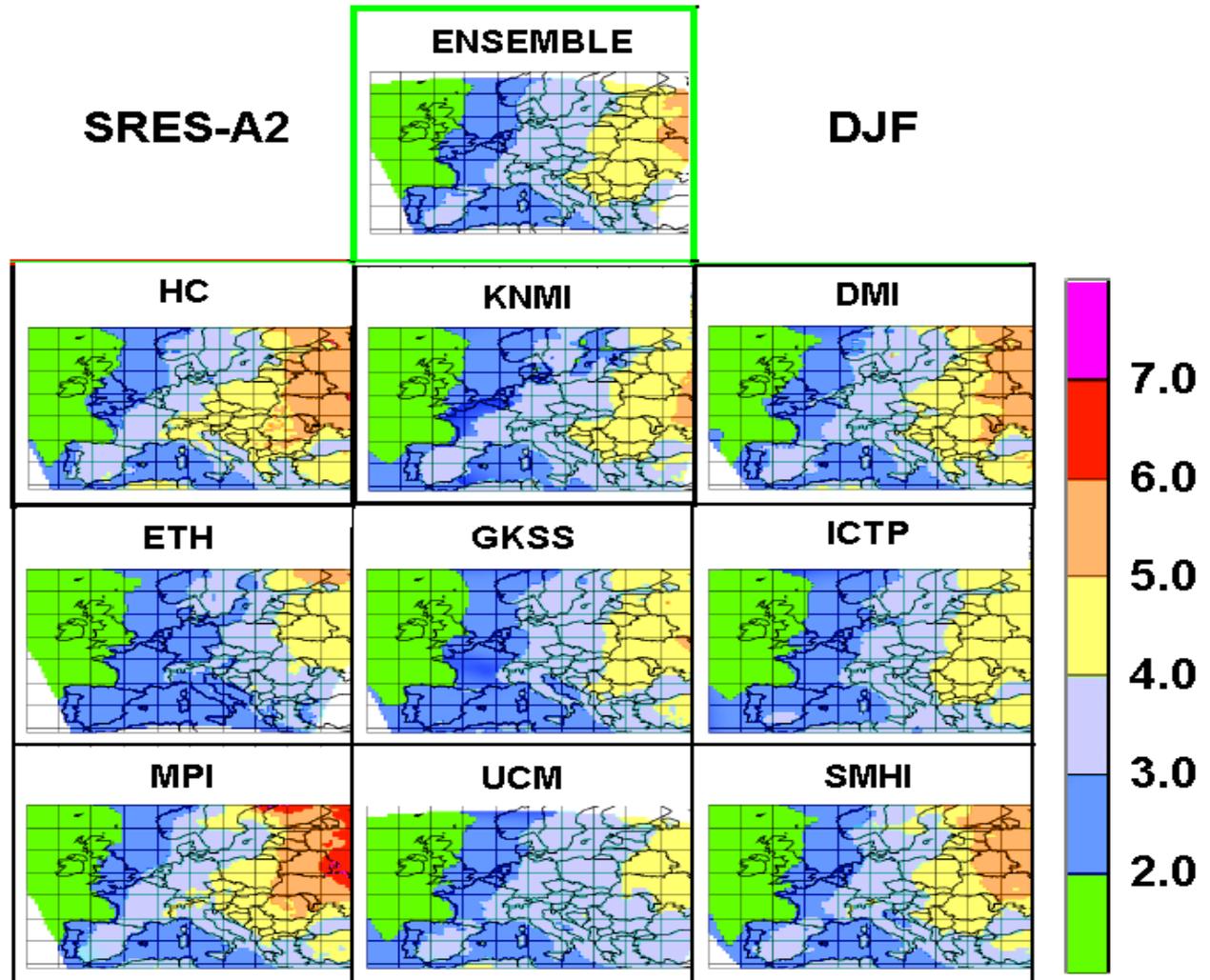
Temperature change (°C)

SRES-A2

ENSEMBLE

DJF

Cambios de temperatura (2071-2100) con respecto a (1961-1990)





1.b) Escenarios de cambio climático

Temperature change (°C)

SRES-A2

ENSEMBLE

JJA

HC

KNMI

DMI

ETH

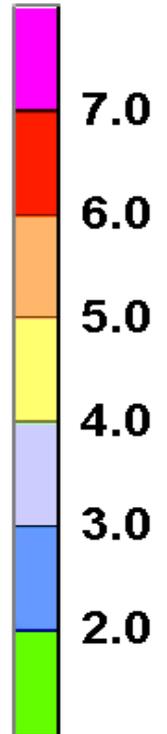
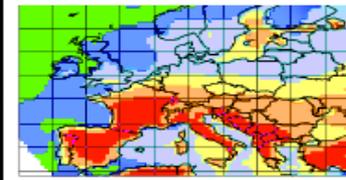
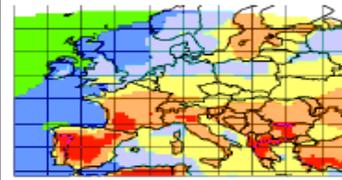
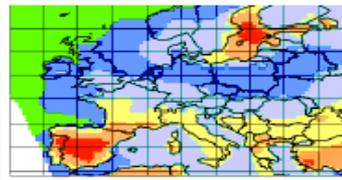
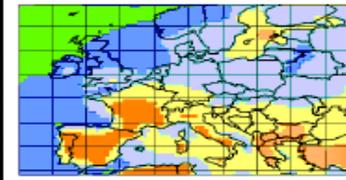
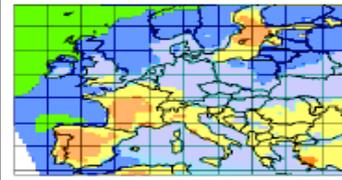
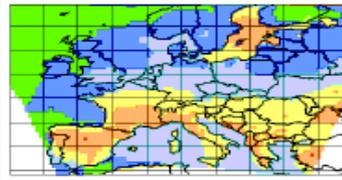
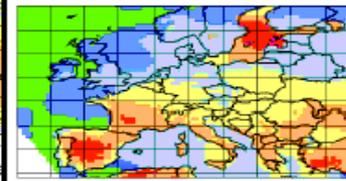
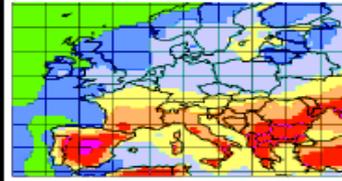
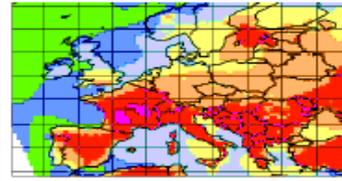
GKSS

ICTP

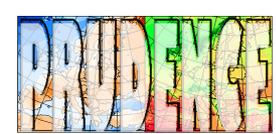
MPI

UCM

SMHI



Cambios de temperatura (2071-2100) con respecto a (1961-1990)



1.b) Escenarios de cambio climático

Precipitation change (%)

SRES-A2

ENSEMBLE

DJF

HC

KNMI

DMI

ETH

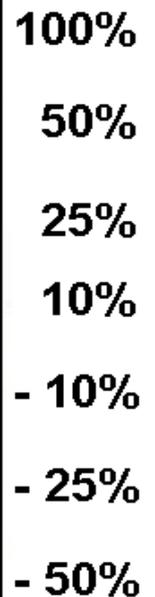
GKSS

ICTP

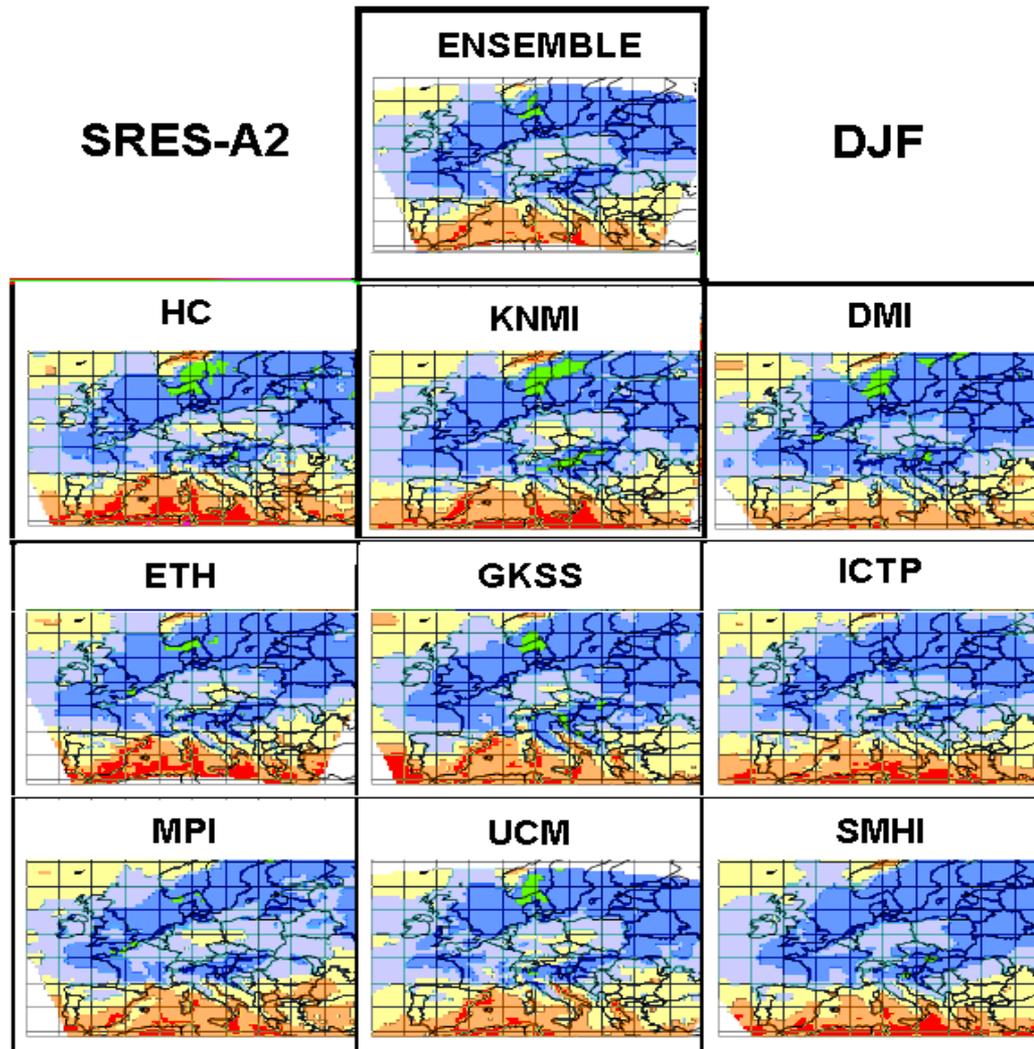
MPI

UCM

SMHI



Cambios de precipitación (2071-2100) con respecto a (1961-1990)



1.b) Escenarios de cambio climático

Precipitation change (%)

SRES-A2

ENSEMBLE

JJA

HC

KNMI

DMI

ETH

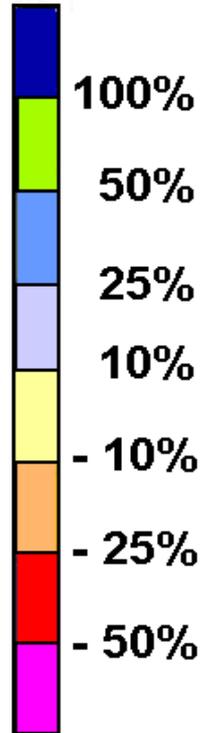
GKSS

ICTP

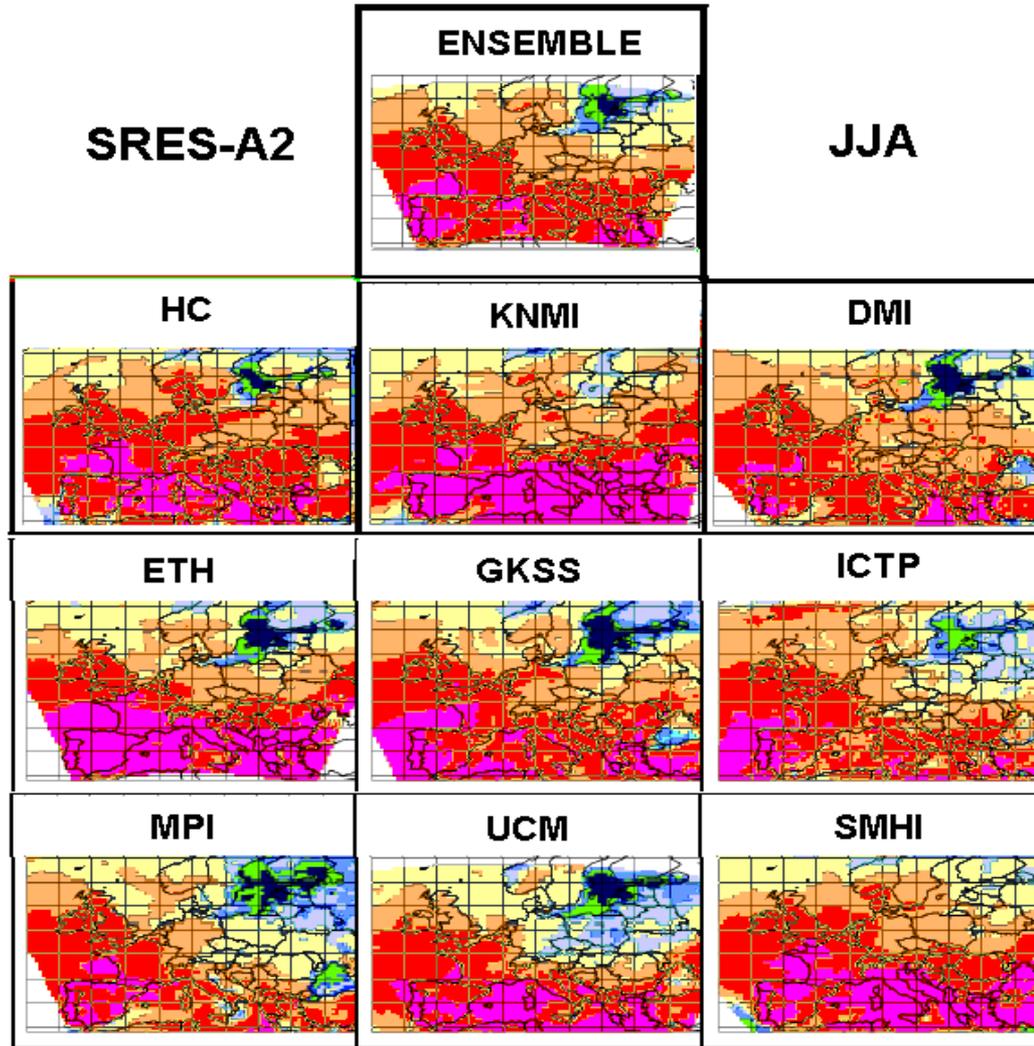
MPI

UCM

SMHI



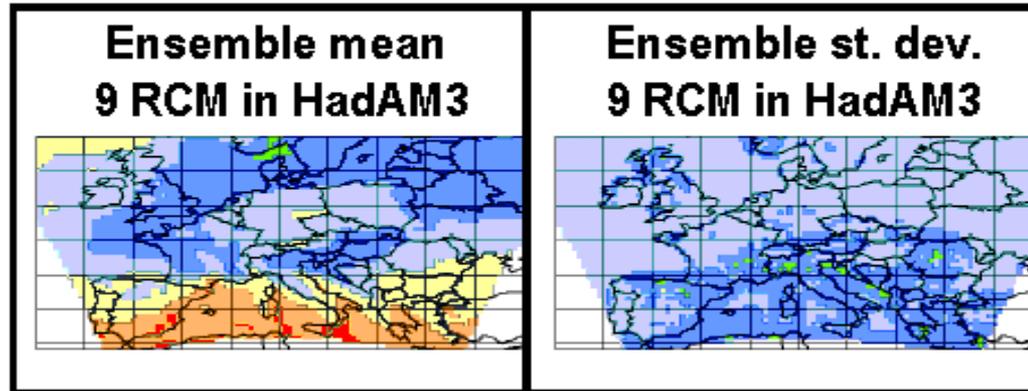
Cambios de precipitación (2071-2100) con respecto a (1961-1990)



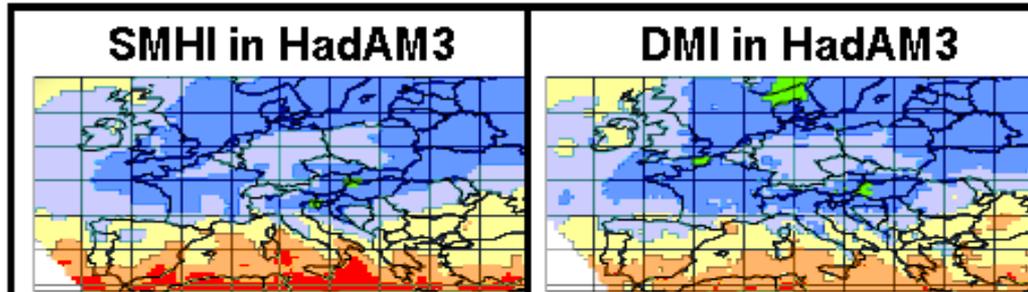


1.b) Escenarios con diferentes GCMs

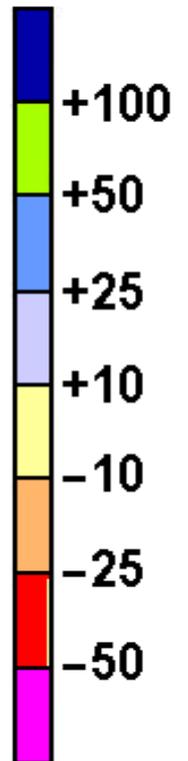
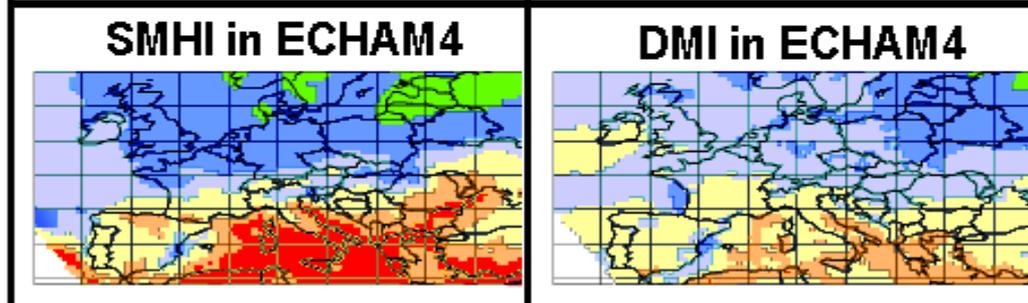
Precipitation change (%) DJF



9 RCMs anidados en el mismo GCM



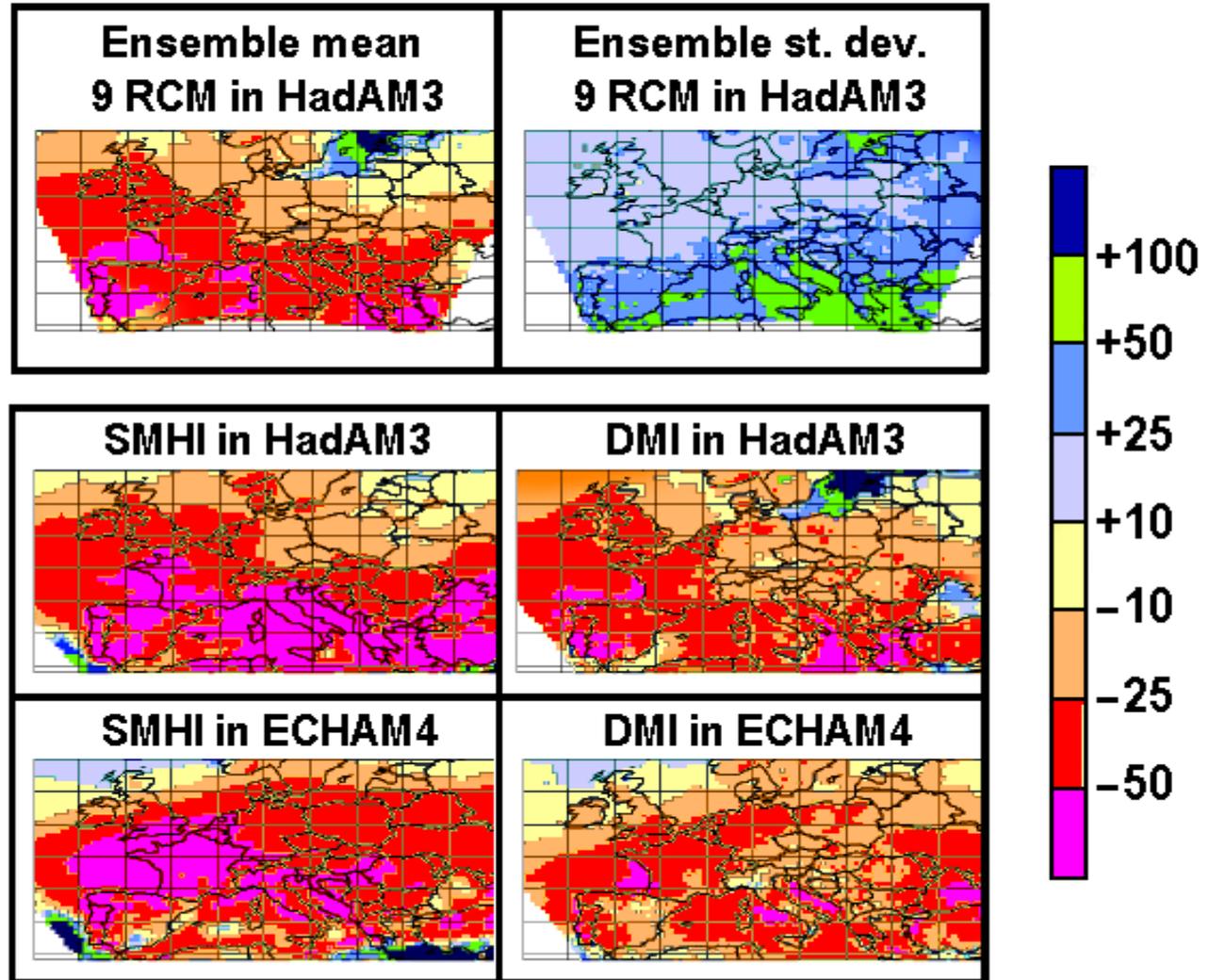
2 RCMs anidados en 2 GCMs diferentes





1.b) Escenarios con diferentes GCMs

Precipitation change (%) JJA



9 RCMs anidados en el mismo GCM

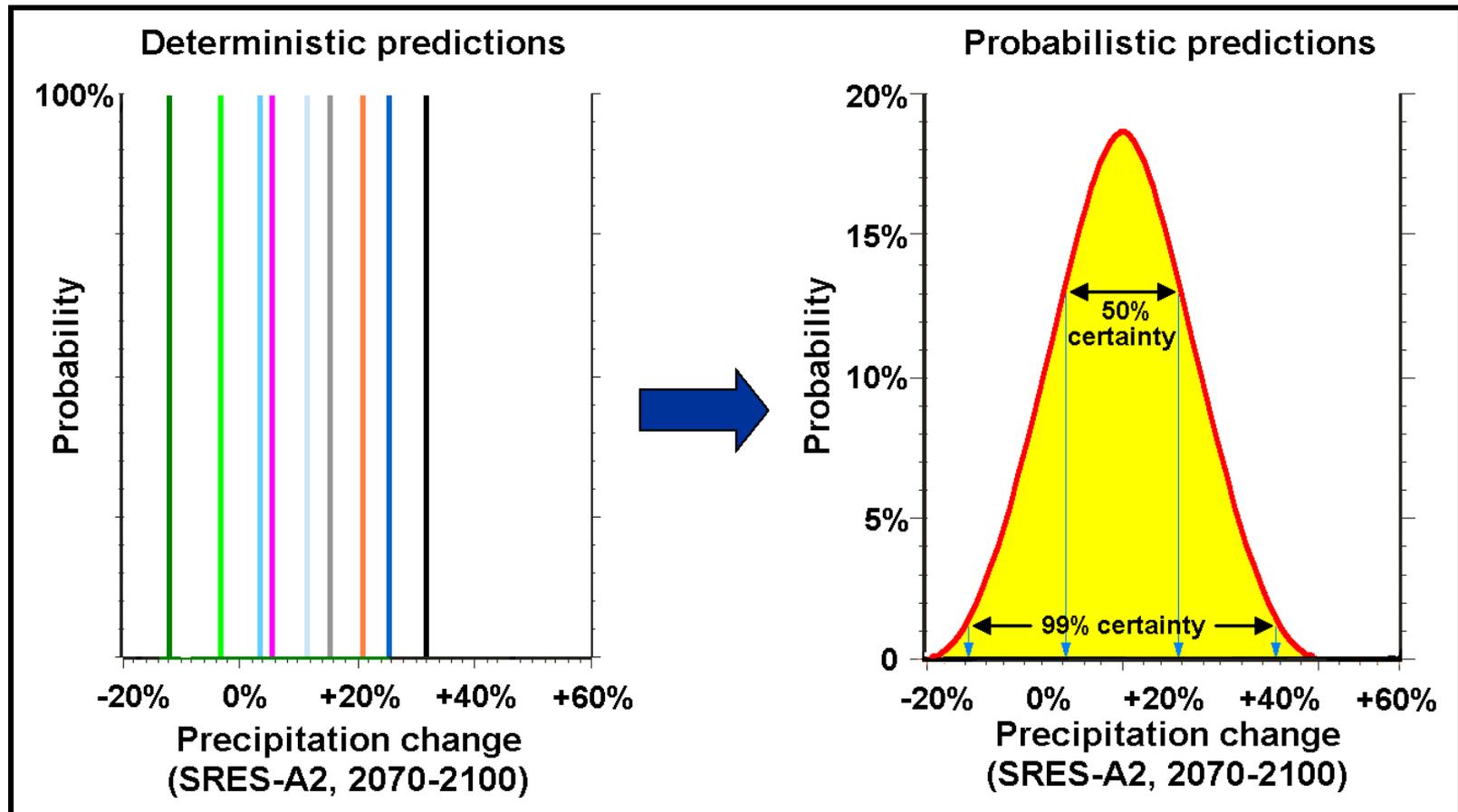
2 RCMs anidados en 2 GCMs diferentes

2) Escenarios probabilistas

**Menos dispersión
entre miembros del
conjunto**



**Menos incertidumbre
en las proyecciones**

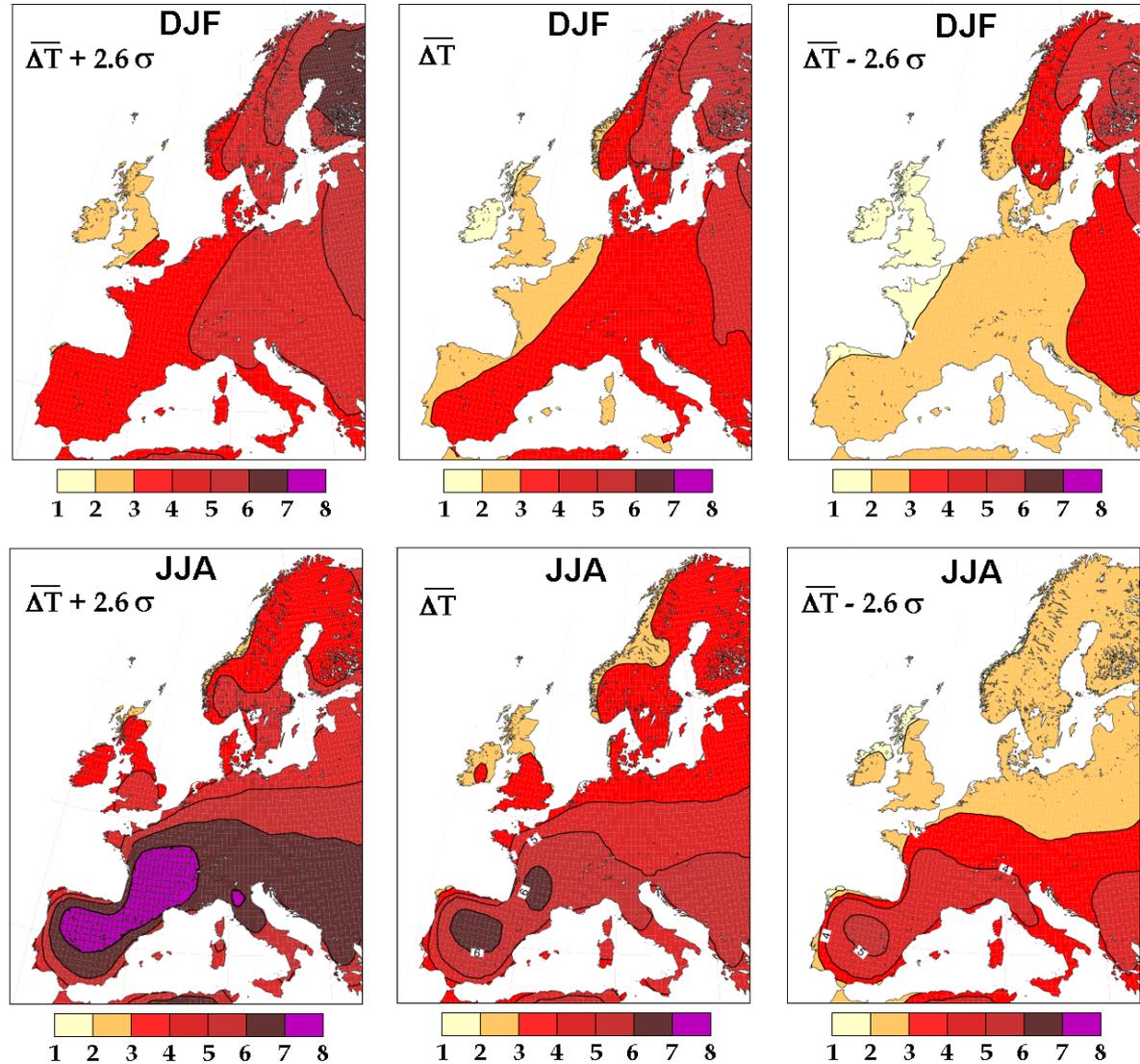




2) Incertidumbre de los cambios

SRES-A2 Seasonal temperature change in °C (2071-2100)

Cambio de temperatura estacional (intervalo de confianza del 99%) a partir de todos los miembros del conjunto multi-modelo (3 GCMs y 9 RCMs)

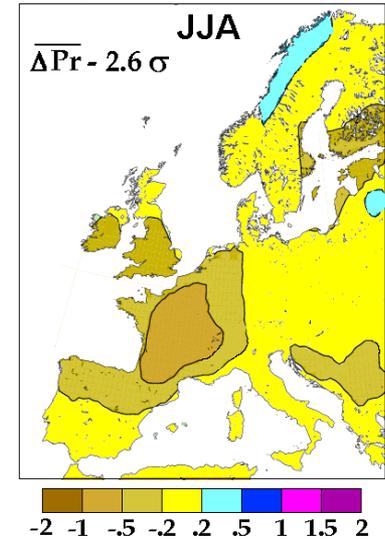
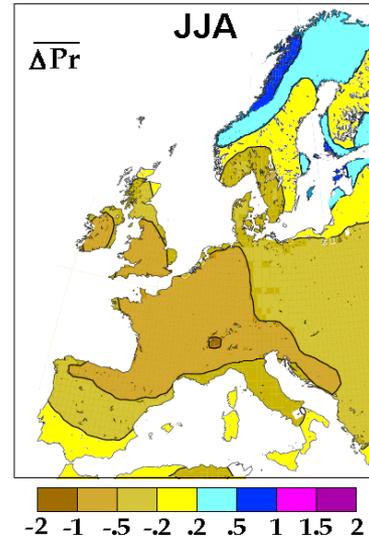
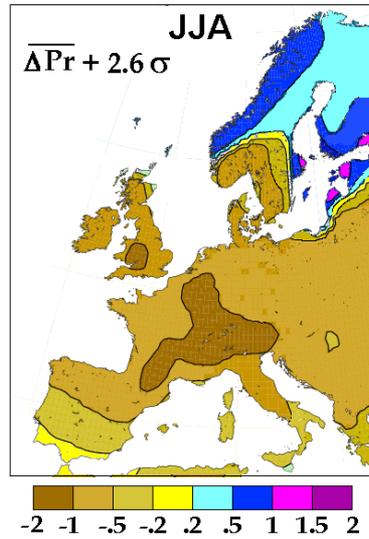
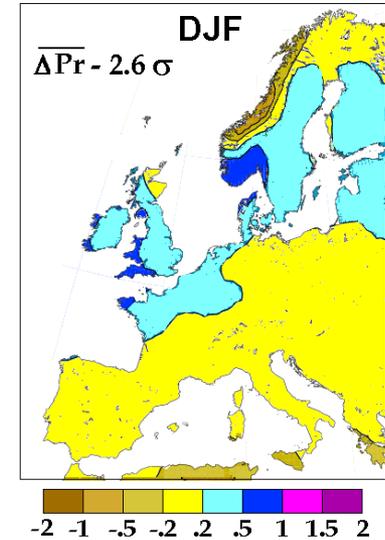
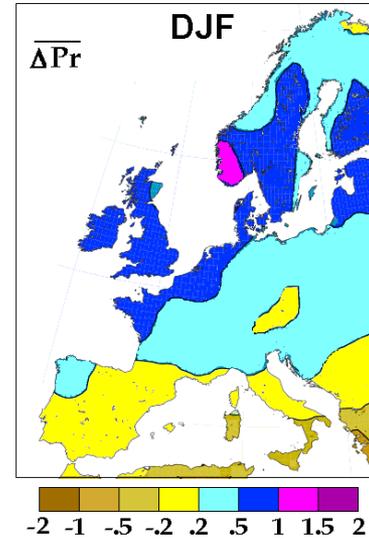
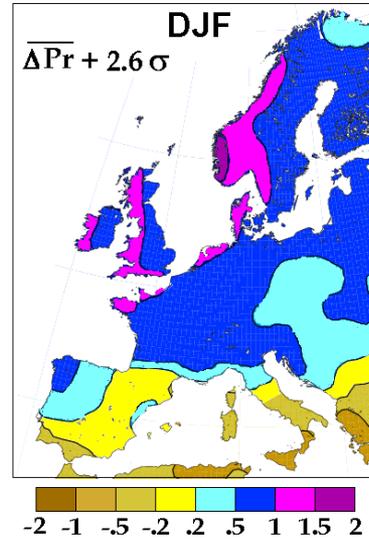




2) Incertidumbre de los cambios

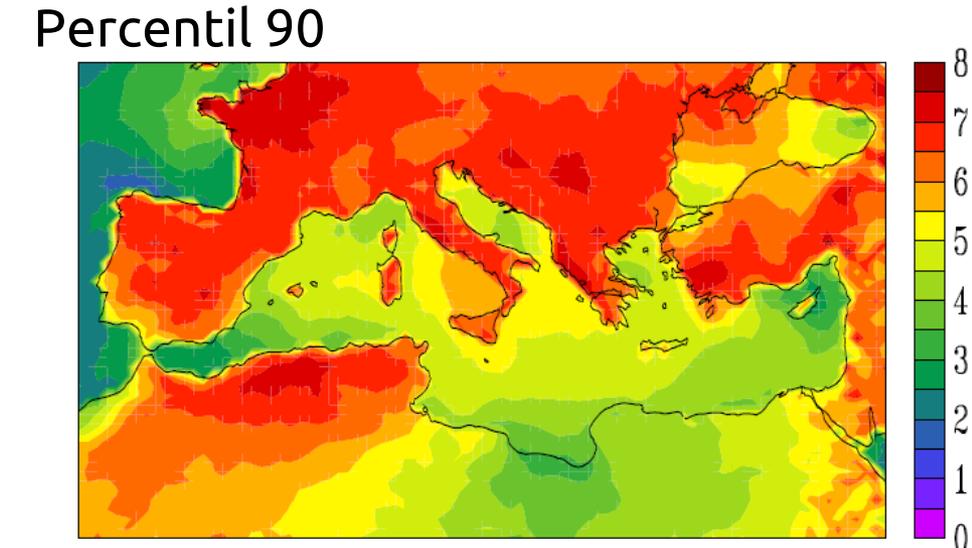
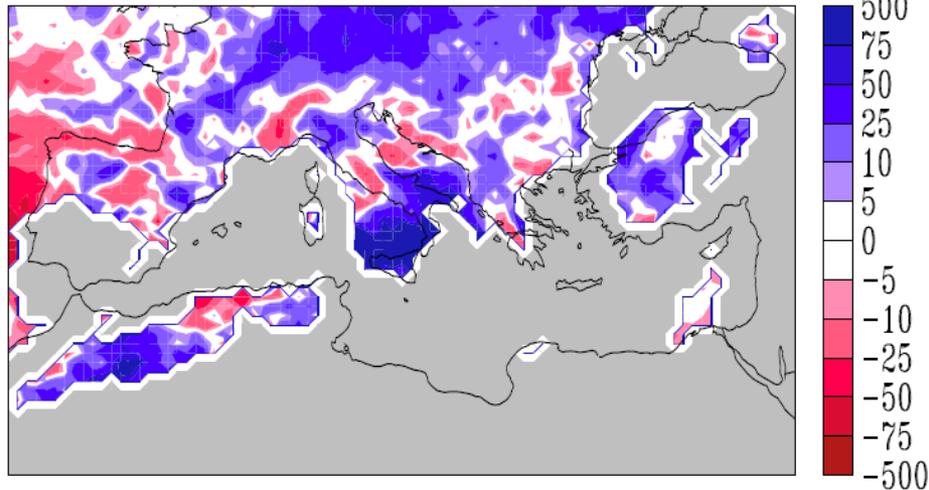
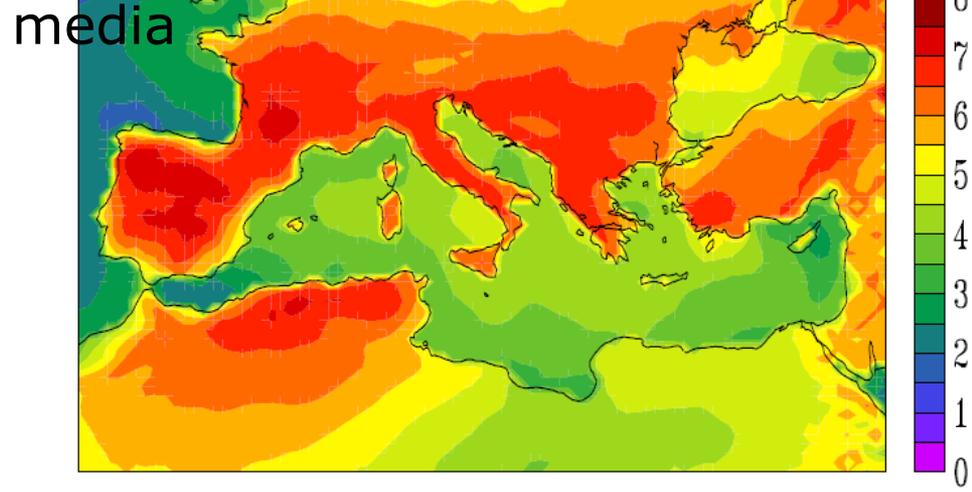
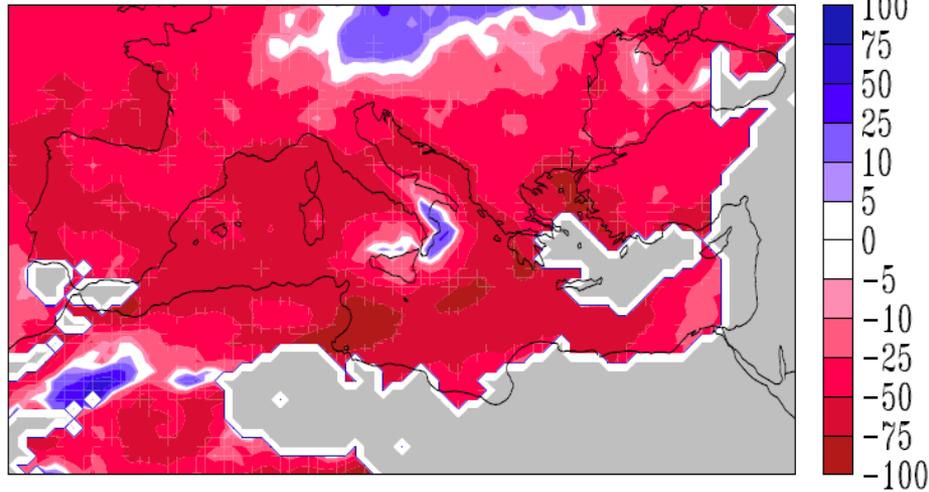
SRES-A2 Seasonal precipitation change in mm/day (2071-2100)

Cambio de precipitación estacional (intervalo de confianza del 99%) a partir de todos los miembros del conjunto multi-modelo (3 GCMs y 9 RCMs)



3) Cambios en extremos climáticos

Cambios en precipitación y temperatura máxima (JJA) (PROMES)

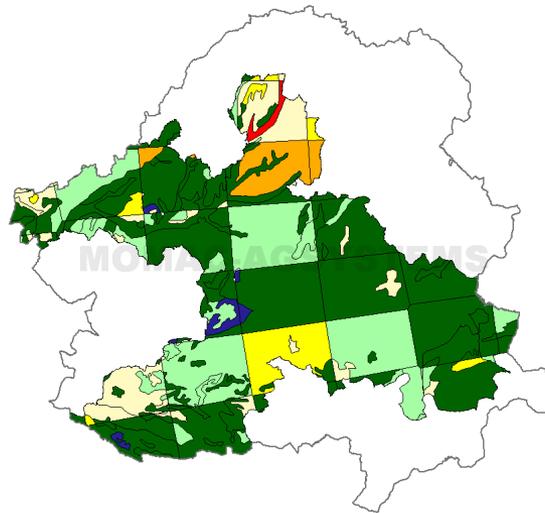
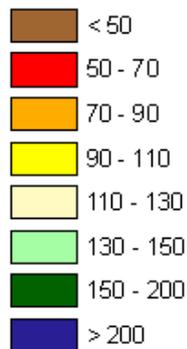


4) Impactos en agricultura

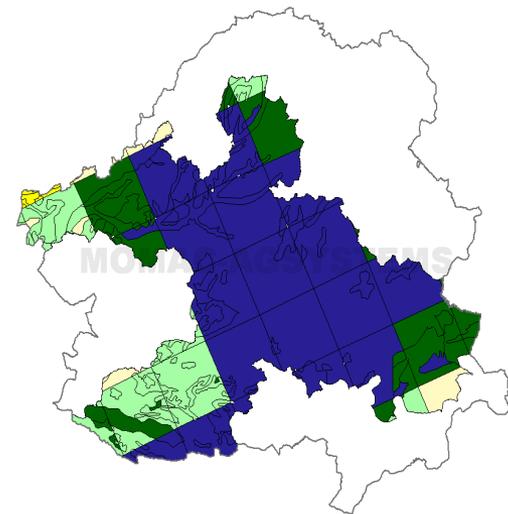
Variación del rendimiento A2/control (%) simulada con datos de PRUDENCE

Trigo de primavera
(secano)

Variación del rendimiento (%)



ARPEGE

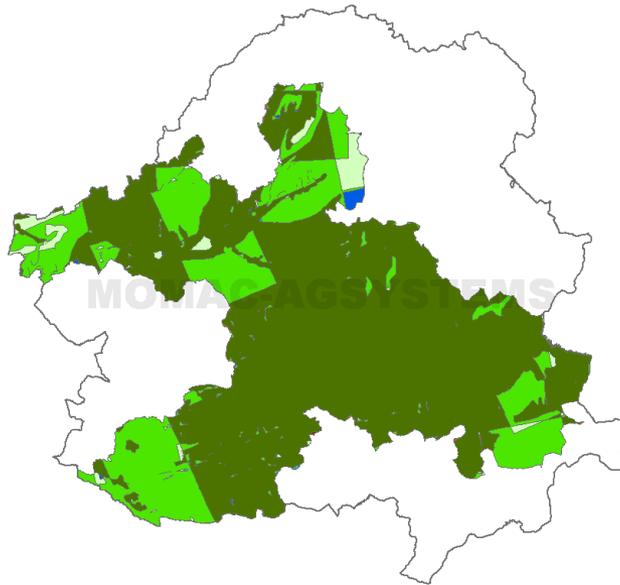


RACMO

4) Impactos en agricultura

Incertidumbre en el signo del impacto: Número de simulaciones que proyectan aumento o no variación de rendimiento del escenario A2 respecto a control

Número de proyecciones de aumento - No variación del rendimiento



Trigo de primavera (secano)

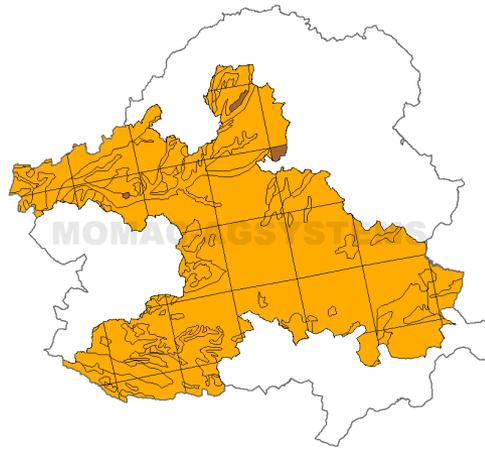
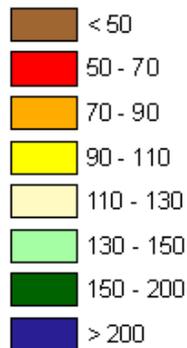
Ruiz-Ramos M y Mínguez MI, AGROCLIMA-SSP v.1.0. Herramienta de Ayuda a la Toma de Decisiones Políticas (Scientific Support to Policies) sobre los Impactos y Adaptaciones al Cambio Climático en los Sistemas Agrícolas de la Zona Centro. UCLM-UPM, España.

4) Impactos en agricultura

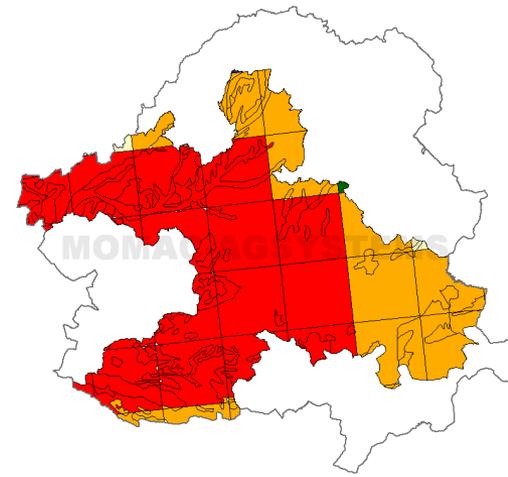
Variación del rendimiento A2/control (%) simulada con datos de PRUDENCE

Maíz (verano)

Variación del rendimiento (



CHRM



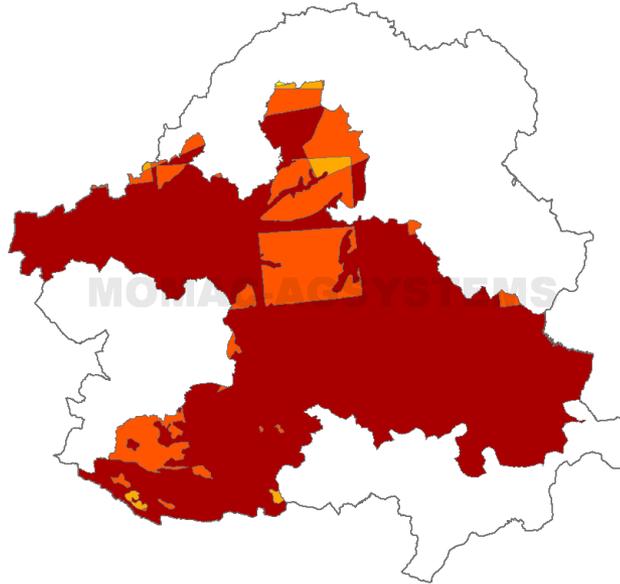
PROMES

Ruiz-Ramos M y Mínguez MI, AGROCLIMA-SSP v.1.0. Herramienta de Ayuda a la Toma de Decisiones Políticas (Scientific Support to Policies) sobre los Impactos y Adaptaciones al Cambio Climático en los Sistemas Agrícolas de la Zona Centro. UCLM-UPM, España.

4) Impactos en agricultura

Incertidumbre en el signo del impacto: Número de simulaciones que proyectan aumento o no variación de rendimiento del escenario A2 respecto a control

Número de proyecciones de aumento - No variación del rendimiento



Maíz (verano)

Ruiz-Ramos M y Mínguez MI, AGROCLIMA-SSP v.1.0. Herramienta de Ayuda a la Toma de Decisiones Políticas (Scientific Support to Policies) sobre los Impactos y Adaptaciones al Cambio Climático en los Sistemas Agrícolas de la Zona Centro. UCLM-UPM, España.

5) Aplicación de conjuntos de RCMs a extremos climáticos

¿Existe riesgo de desarrollo de ciclones tropicales sobre el Mar Mediterráneo bajo condiciones de cambio climático futuro?

Reference

Gaertner et al.: Tropical cyclones over the Mediterranean Sea in climate change simulations. *Geophysical Research Letters*, Vol 34, L14711, doi: 10.1029/2007GL029977, 2007

5) Objetivos del estudio

- Analizar cambios para los ciclones más intensos
- Detectar el posible desarrollo de ciclones tropicales sobre el Mar Mediterráneo en escenarios de cambio climático

Método y datos (conjunto multi-modelo)

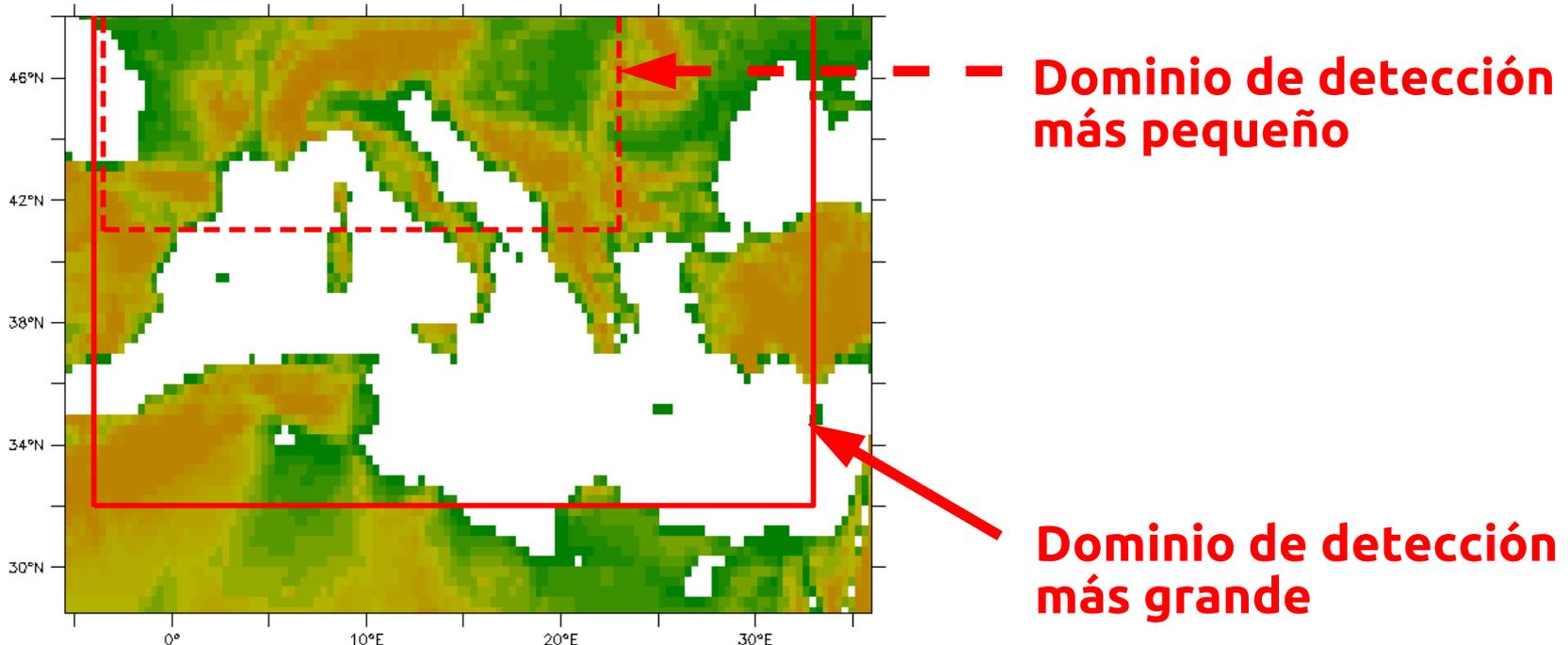
- Conjunto multi-modelo de **9 RCMs** (PRUDENCE)
- Resolución horizontal: 50 – 55 km
- 2 simulaciones de 30 años: control (1961-1990, CTRL) y escenario A2 (2071-2100, SCEN)
- **Análisis centrado en el mes de septiembre**, porque:
 - Temperaturas superficiales del mar están próximas a su valor máximo anual
 - Subsistencia de verano sobre el Mar Mediterráneo se debilita

5) Método y datos

- Método de detección de ciclones:

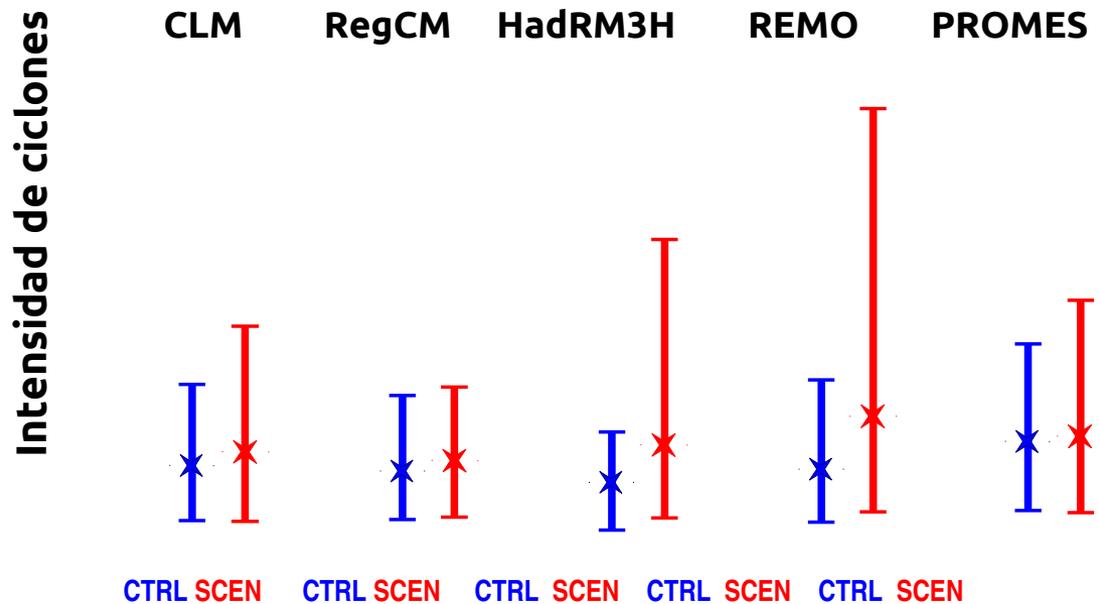
- Método objetivo de detección de ciclones (*Picornell et al., 2001*)

- Radio de 400 km en torno a mínimo de presión a nivel del mar
→ área de detección de ciclones es menor que el dominio de los modelos (se pierden algunos ciclones)



5) Cambio de intensidad de ciclones

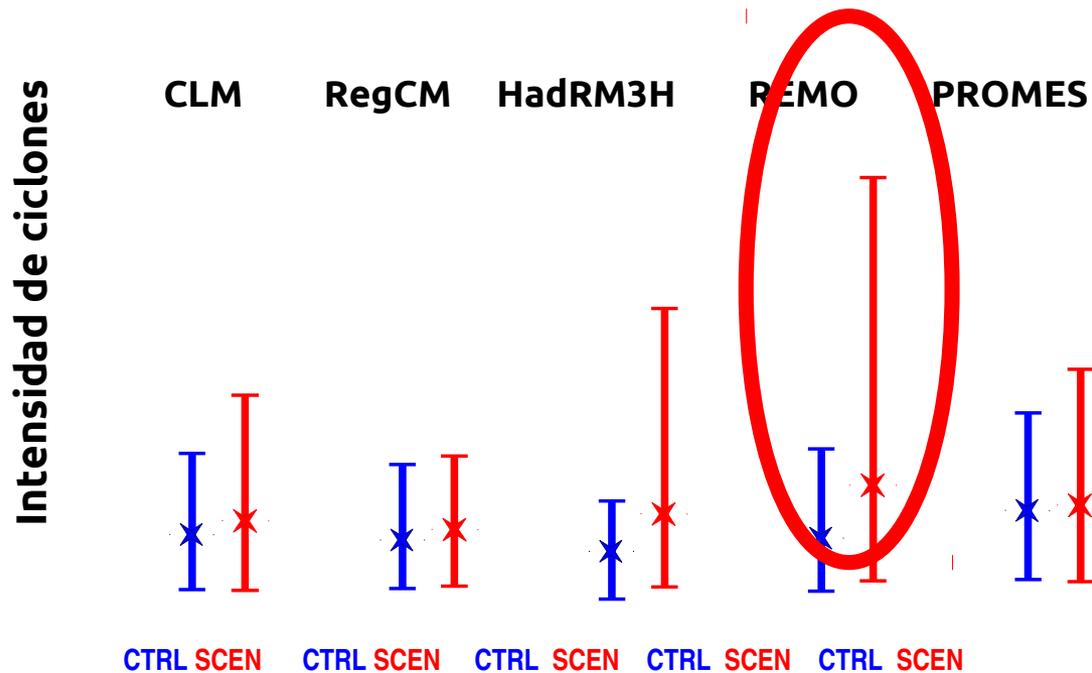
- Análisis centrado en 5 modelos con área de detección grande



Límites de barras: percentiles 5 y 95 de intensidad de ciclones

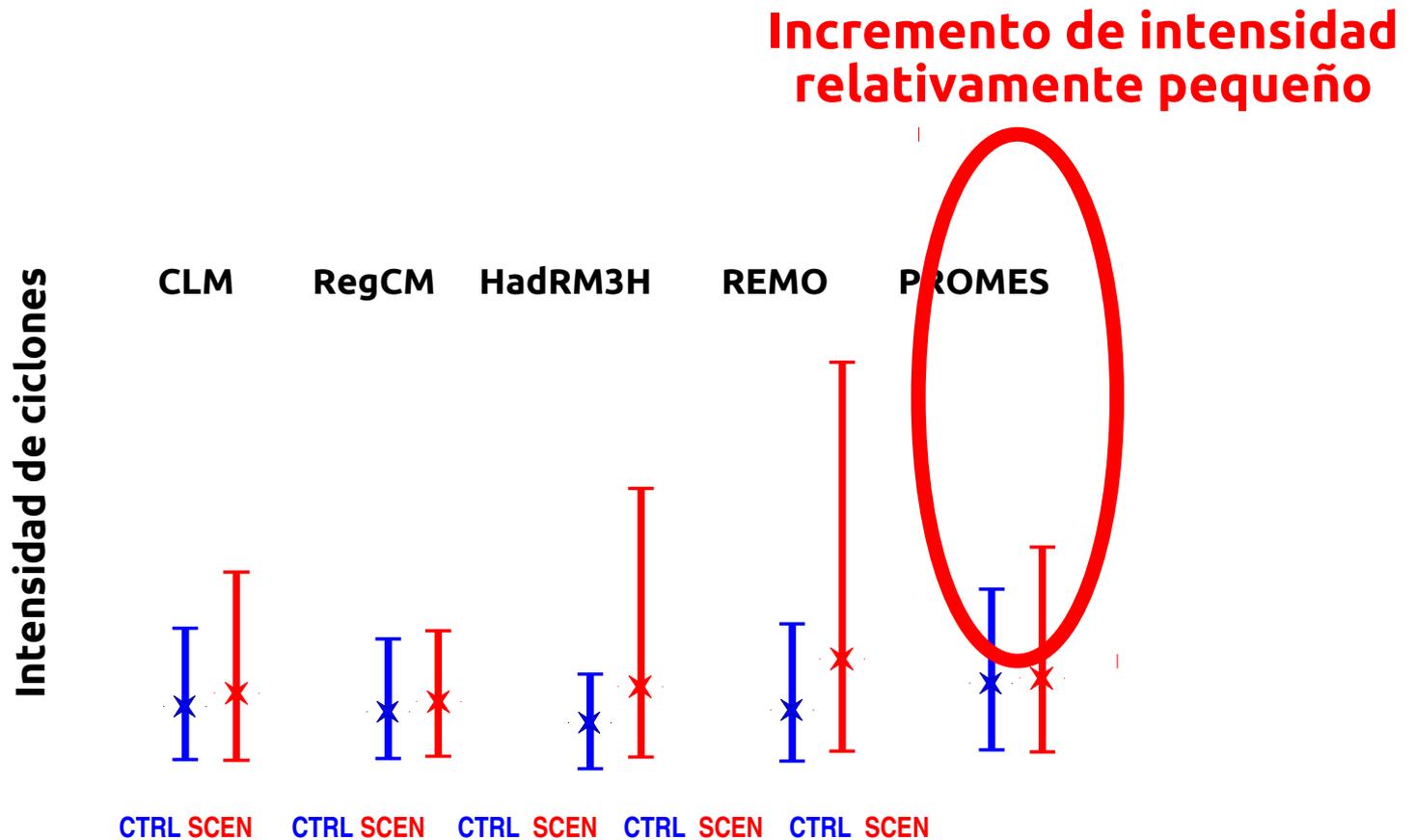
5) Cambio de intensidad de ciclones

Máximo incremento de intensidad



Límites de barras: percentiles 5 y 95 de intensidad de ciclones

5) Cambio de intensidad de ciclones



Límites de barras: percentiles 5 y 95 de intensidad de ciclones

5) Razón para el incremento en los extremos de intensidad de los ciclones?



Estructura vertical – Espacio de fases de ciclones (Hart, 2003)

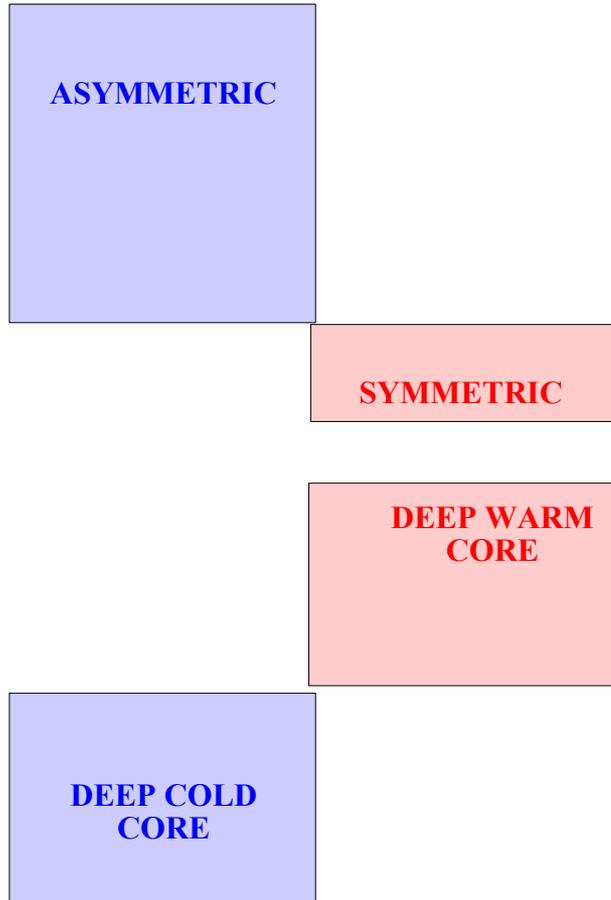
3 PARÁMETROS:

- Simetría térmica (estructura **frontal/no-frontal**)
- Viento térmico – troposfera inferior (núcleo **frío/cálido**)
- Viento térmico – troposfera superior (núcleo **frío/cálido**)

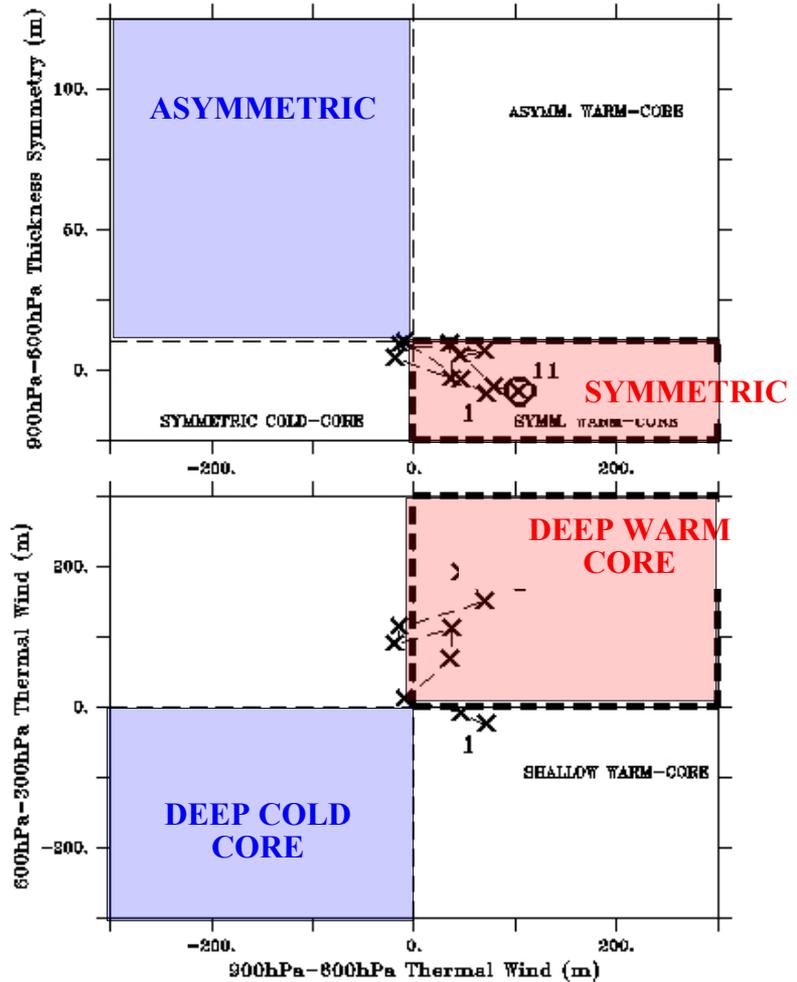
Ciclones tropicales son depresiones con **simetría térmica y **núcleo cálido en toda la troposfera****

5) Estructura vertical – espacio de fases de ciclones

Ciclones más intensos del modelo REMO



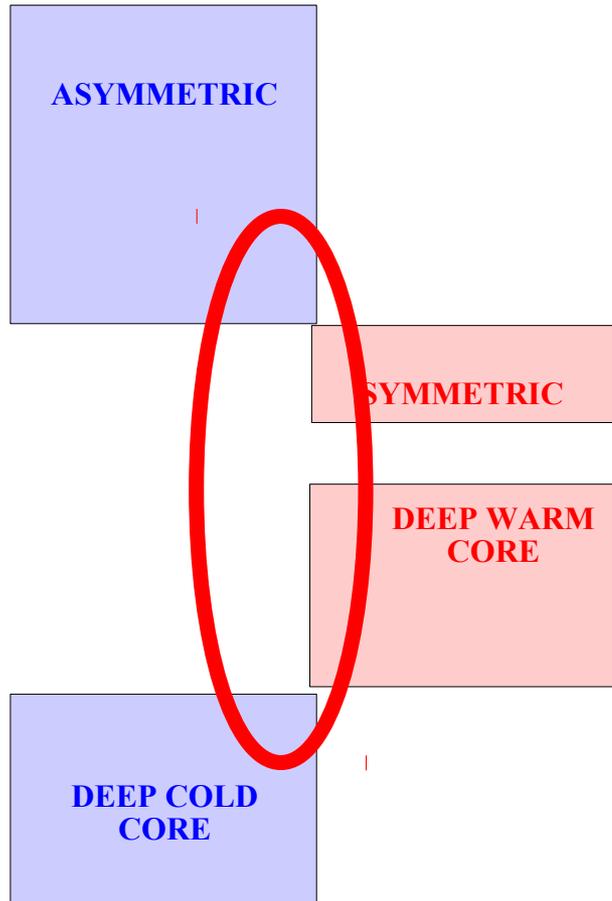
CLIMA PRESENTE



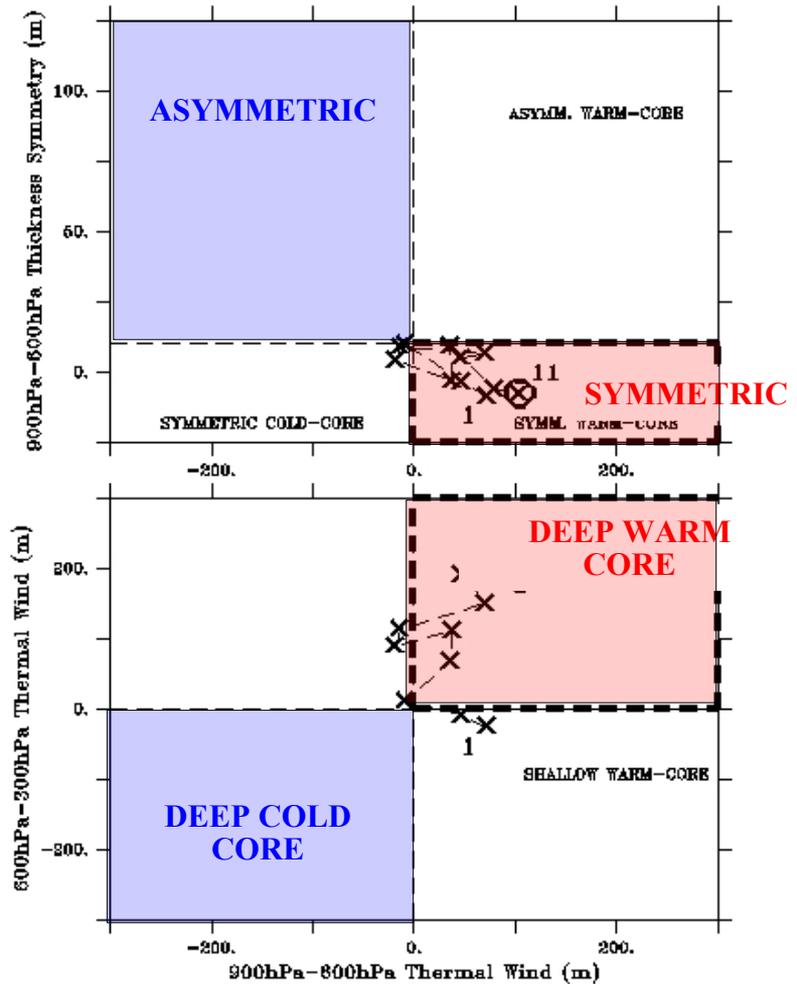
ESCENARIO

5) Estructura vertical – espacio de fases de ciclones

Ciclones más intensos del modelo REMO



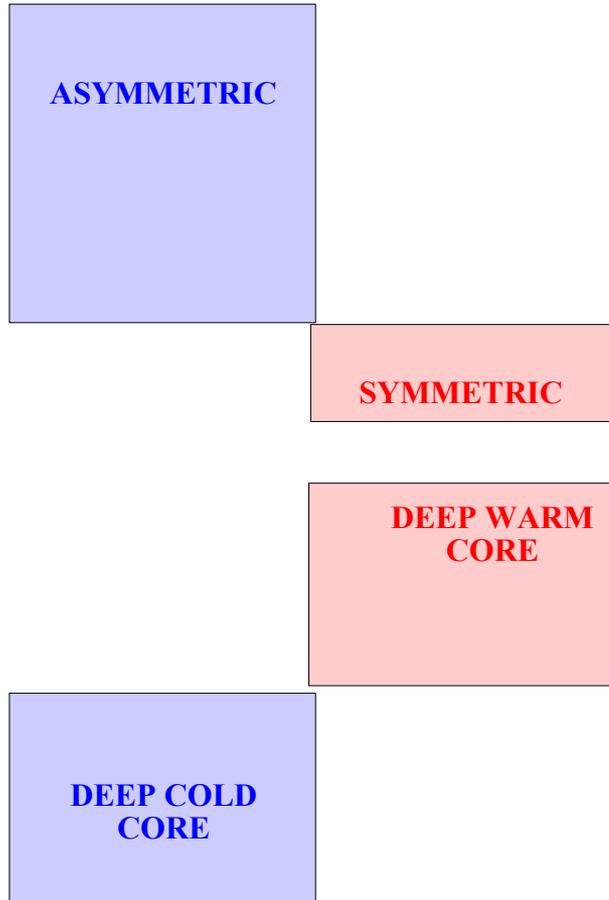
CLIMA PRESENTE



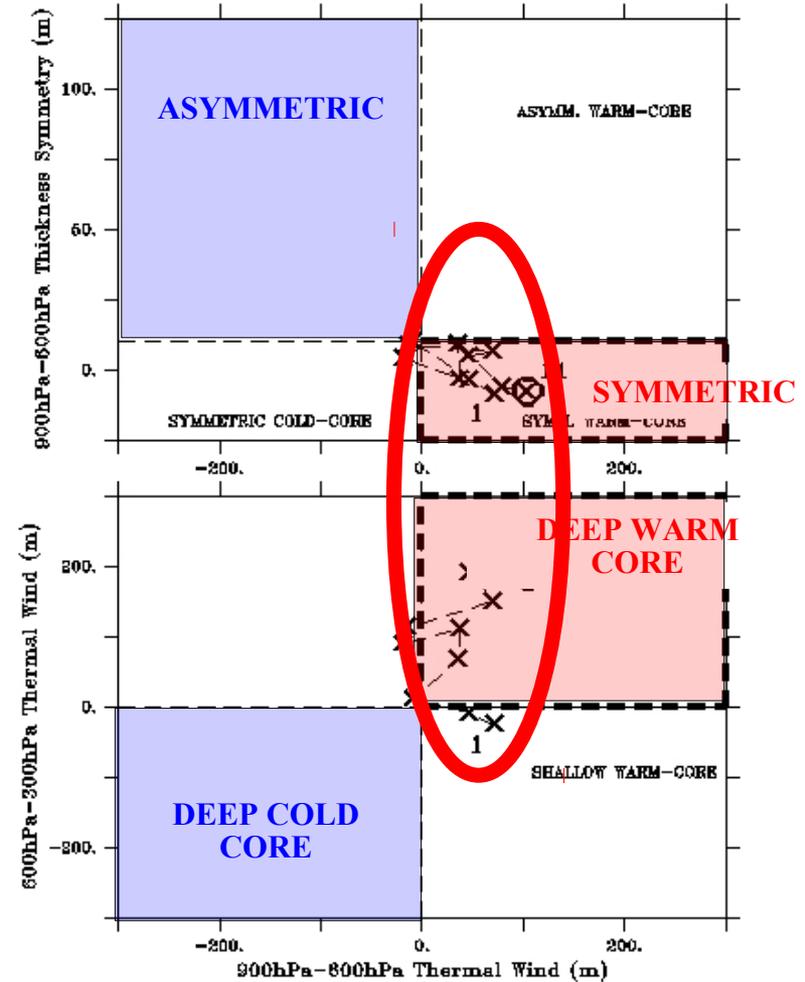
ESCENARIO

5) Estructura vertical – espacio de fases de ciclones

Ciclón más intenso del modelo REMO en escenario A2: **CICLÓN TROPICAL**



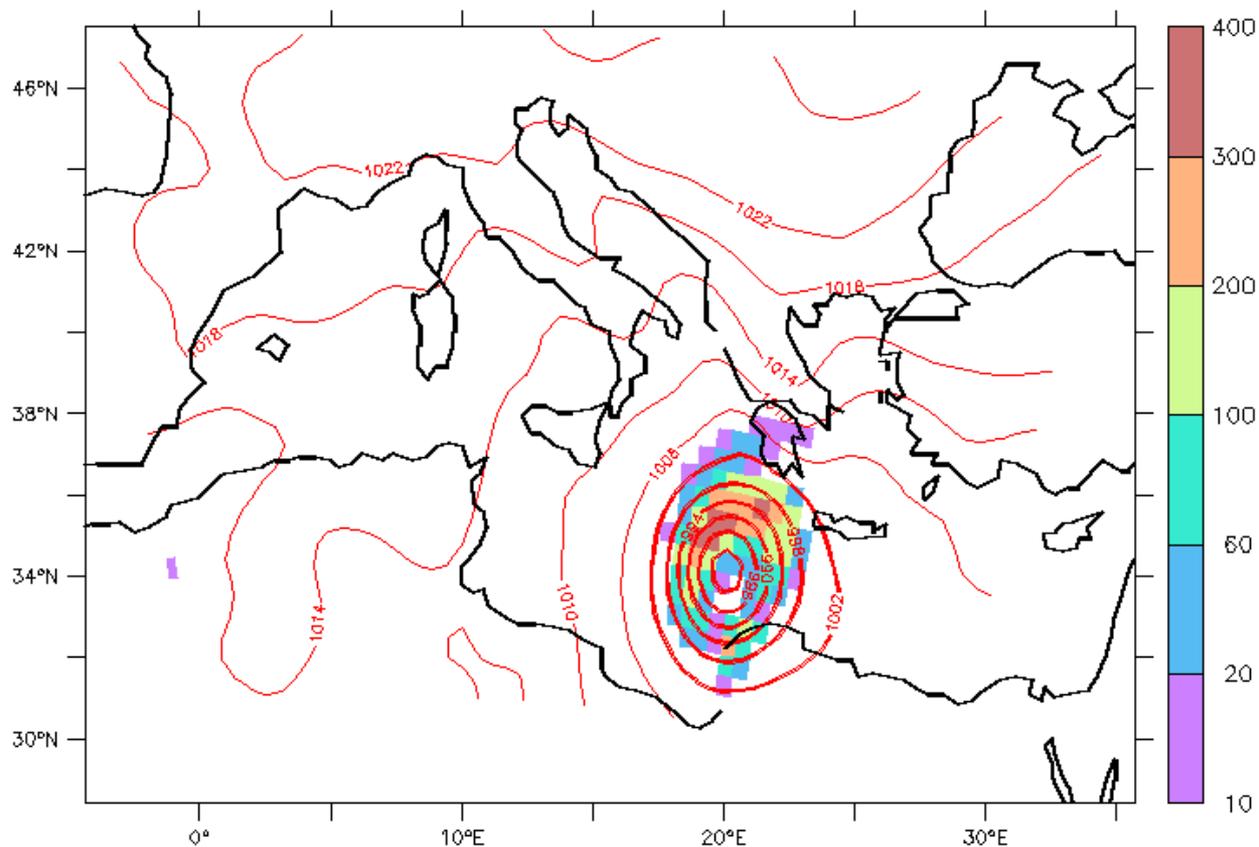
CLIMA PRESENTE



ESCENARIO

5) Centro ciclónico más intenso

MODELO REMO



Presión a nivel del mar (contornos, hPa)
Precipitación de 1 día (sombreado en color, mm)

5) INCERTIDUMBRES POR ANALIZAR

- **Otros escenarios de emisiones y otros GCMs**
- **Otros meses (Agosto, Octubre)**
- **Resolución horizontal de los modelos**
- **Interacción entre temperatura superficial del mar e intensidad de ciclones (uso de RCMs acoplados atmósfera - océano)**
- **Posibles cambios en la variabilidad de las temperaturas superficiales del mar (verano de 2003)?**

5) ¿Por qué hay que tener en cuenta este riesgo?

- Hay un **mecanismo físico** que permite el desarrollo de ciclones tropicales en estas latitudes relativamente altas:

TRANSICIÓN TROPICAL

Bajas baroclínicas aisladas → **Ciclones tropicales**

- Se han observado ciclones parcialmente tropicales sobre el Mar Mediterráneo ("*medicanes*")

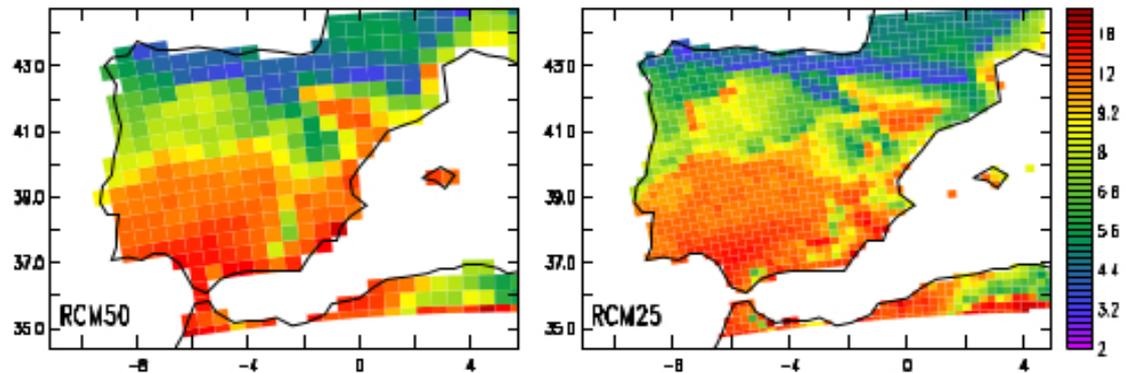
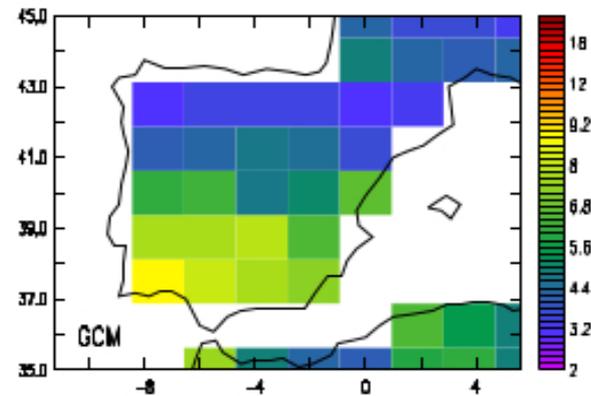
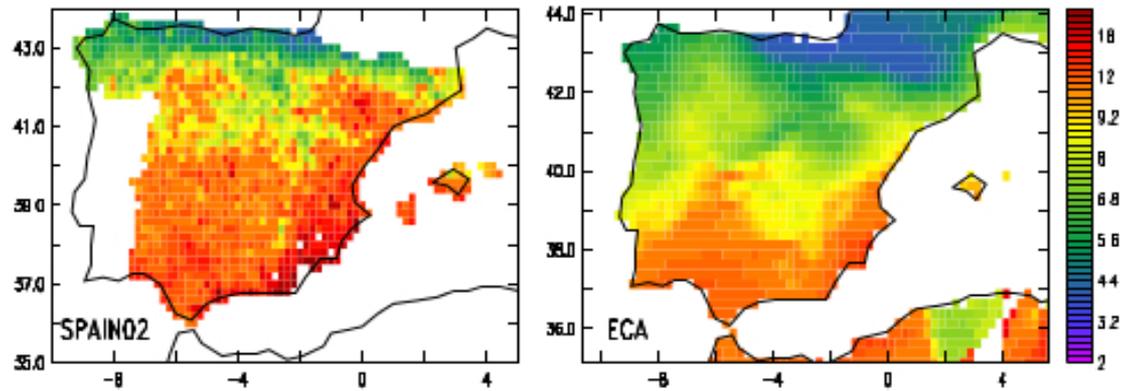
- Huracanes observados pueden desarrollarse en latitudes altas sobre aguas relativamente frías: Huracán Vince (2005), desarrollado cerca de las Islas Madeira (temperatura del mar: 24°C)

5) CONCLUSIONES

- **Se ha detectado un riesgo de desarrollo de ciclones tropicales sobre el Mar Mediterráneo para un escenario de clima futuro**
- **Riesgo incierto: grandes diferencias entre miembros de los conjuntos**
- **Explicación física de extremos de precipitación y viento**
- **Valor añadido de RCMs**
- **Necesidad de usar simulaciones por conjuntos en análisis de extremos**

6) Periodos secos sobre la Península Ibérica

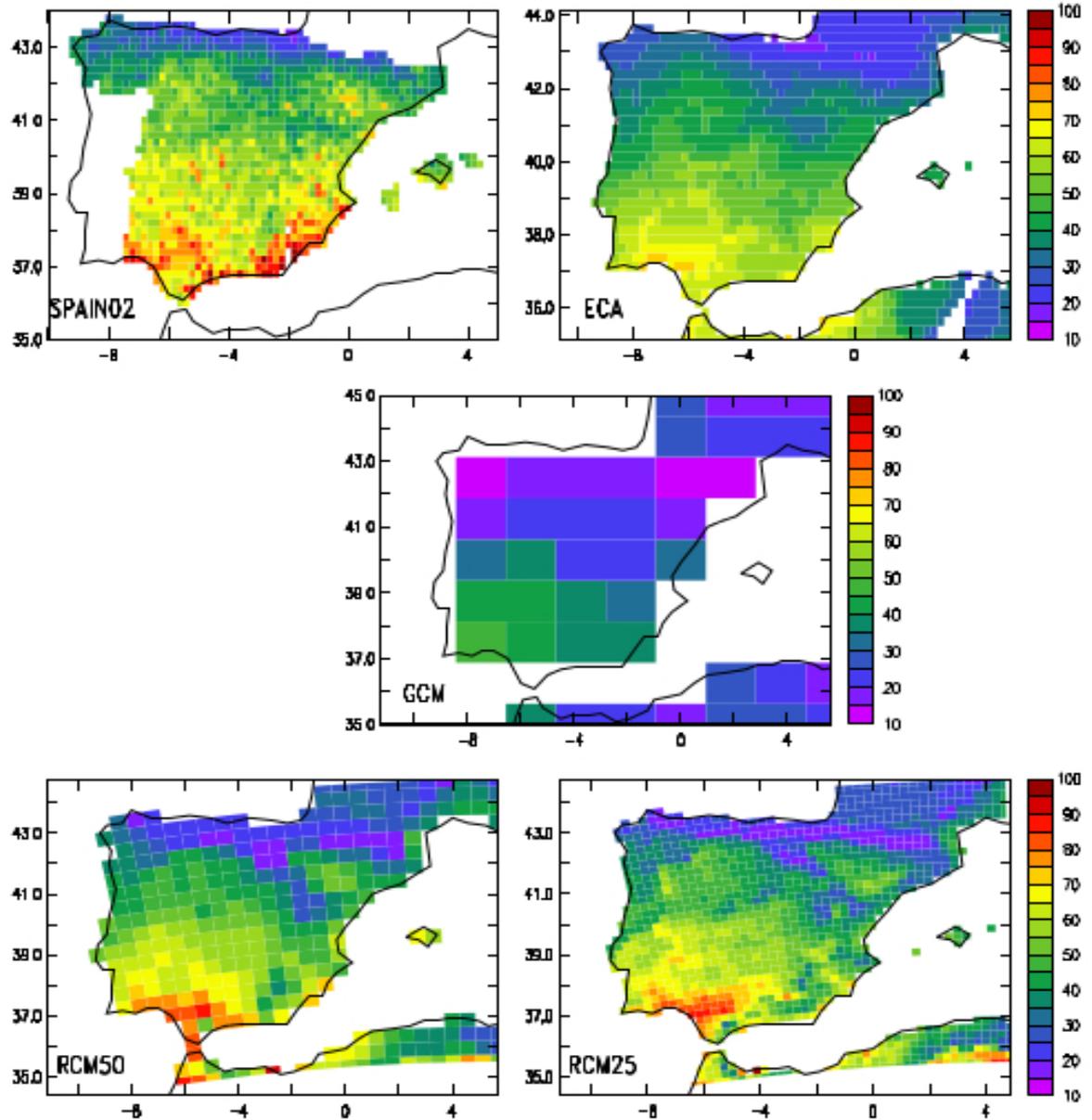
Longitud media
dry spells
(1961-1990)
observaciones,
GCM y RCMs



Sánchez et al. (2011),
Climatic Change

6) Periodos secos sobre la Península Ibérica

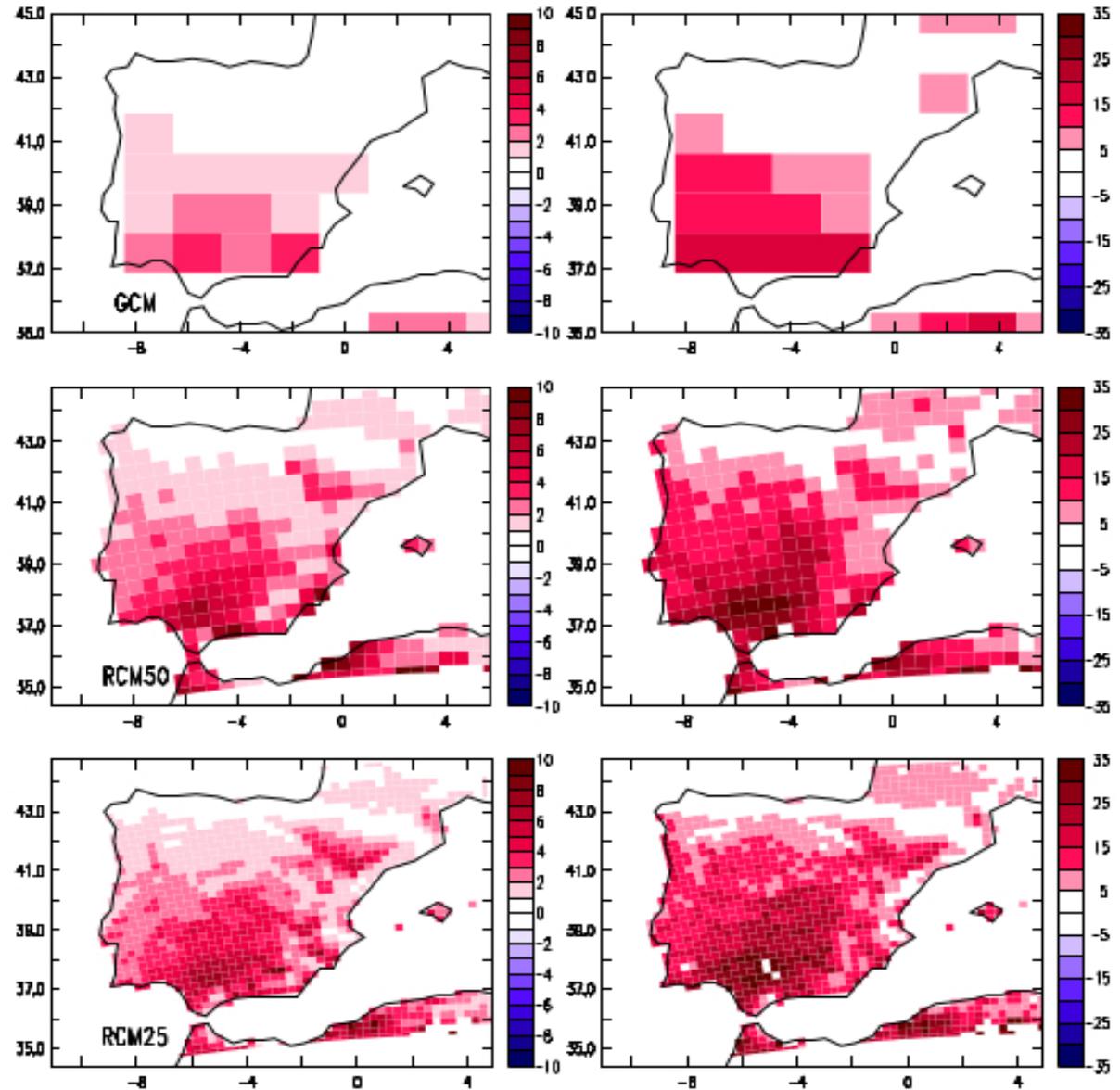
Longitud dry spell
(1961-1990) para
un periodo de
retorno de 2 años:
observaciones,
GCM y RCMs



Sánchez et al. (2011),
Climatic Change

6) Periodos secos sobre la Península Ibérica

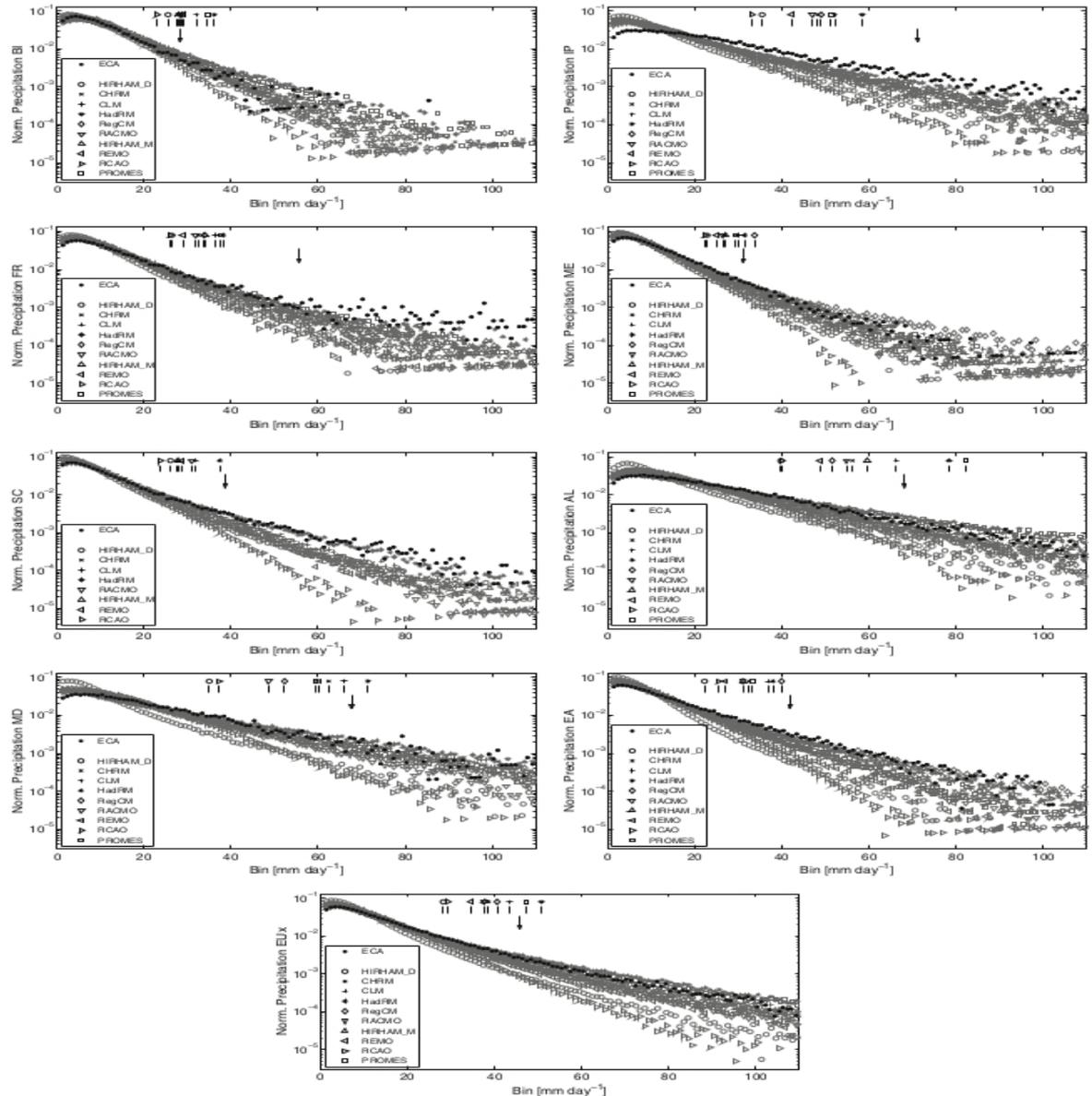
Cambios longitud dry spells media y para un periodo de retorno de 2 años: (2071-2100)-(1961-1990)



Sánchez et al. (2011),
Climatic Change

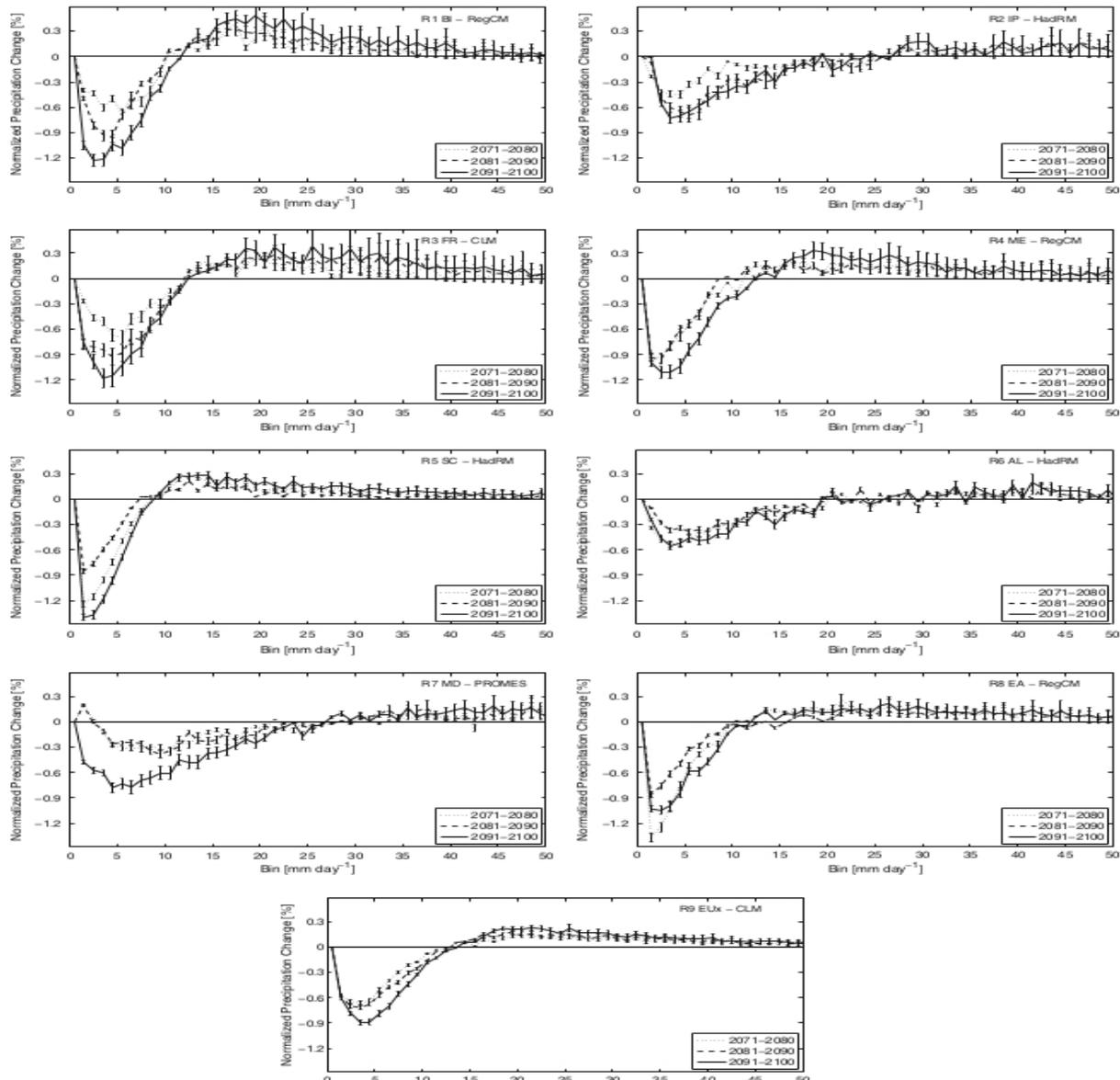
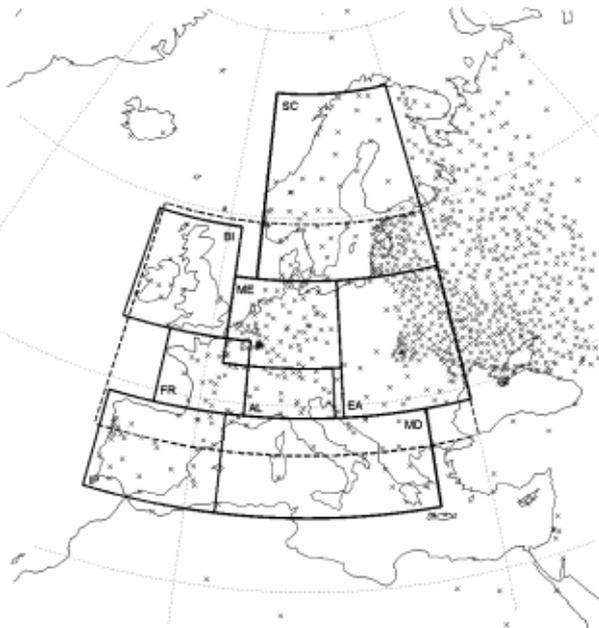
7) Cambios en la PDF de precipitación diaria

PDF of daily precipitation (1961-1990) for ECA observations and 9 RCMs over 8 subregions



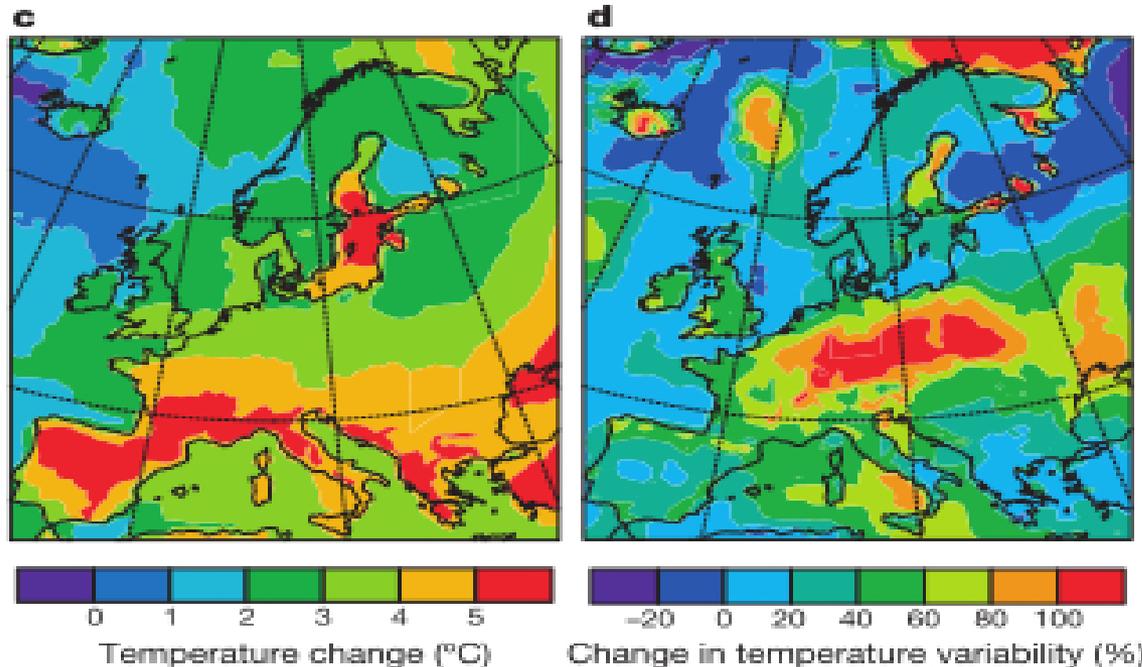
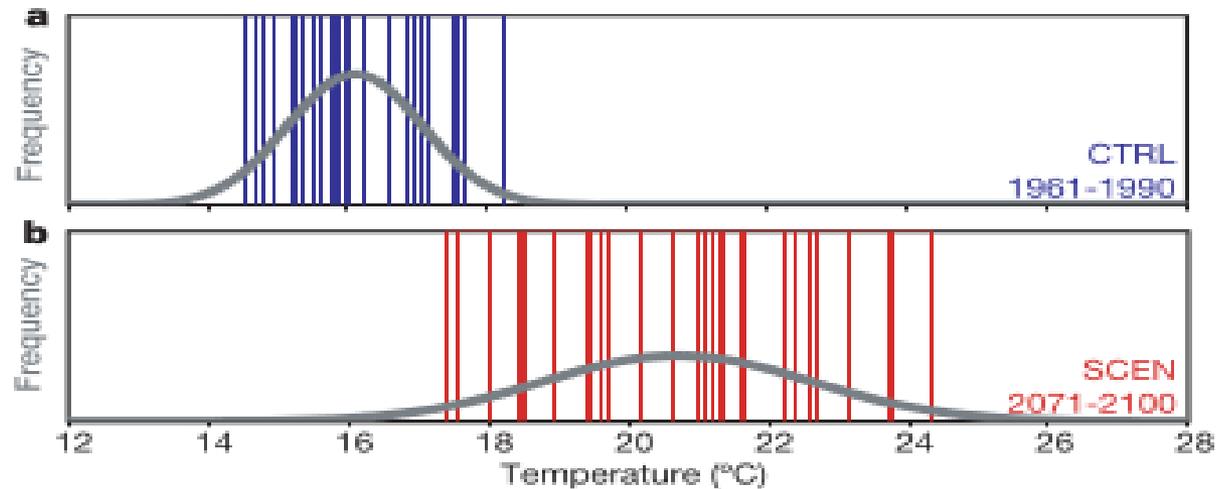
7) Cambios en la PDF de precipitación diaria

Change PDF of daily precipitation (2071-2100)-(1961-1990) for 9 RCMs over 8 subregions



8) Variabilidad olas de calor centroeuropa

Cambios de temperatura (2071-2100) - (1961-1990) para un RCM y un punto situado en Suiza.





Notas finales PRUDENCE

- **Igual peso:** todos los modelos reciben el mismo peso al obtener medias del conjunto e intervalos de incertidumbre
- **Media del conjunto:** generalmente mejor que modelos individuales
- **Mejoras pendientes:** diferentes pesos en función de la calidad del modelo



Proyecto **ENSEMBLES**