

CAMBIO CLIMÁTICO REGIONAL: MÉTODOS DE DOWNSCALING

IMEDEA Seminar Series
(Esporles, March 2007)

Romu Romero



Climate Change is Global



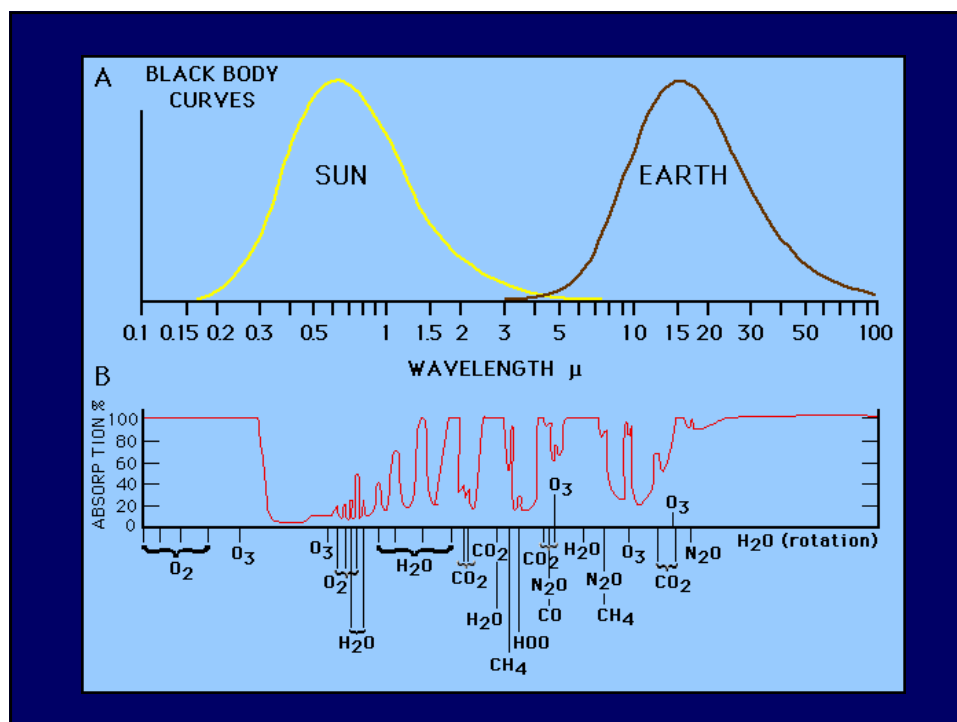
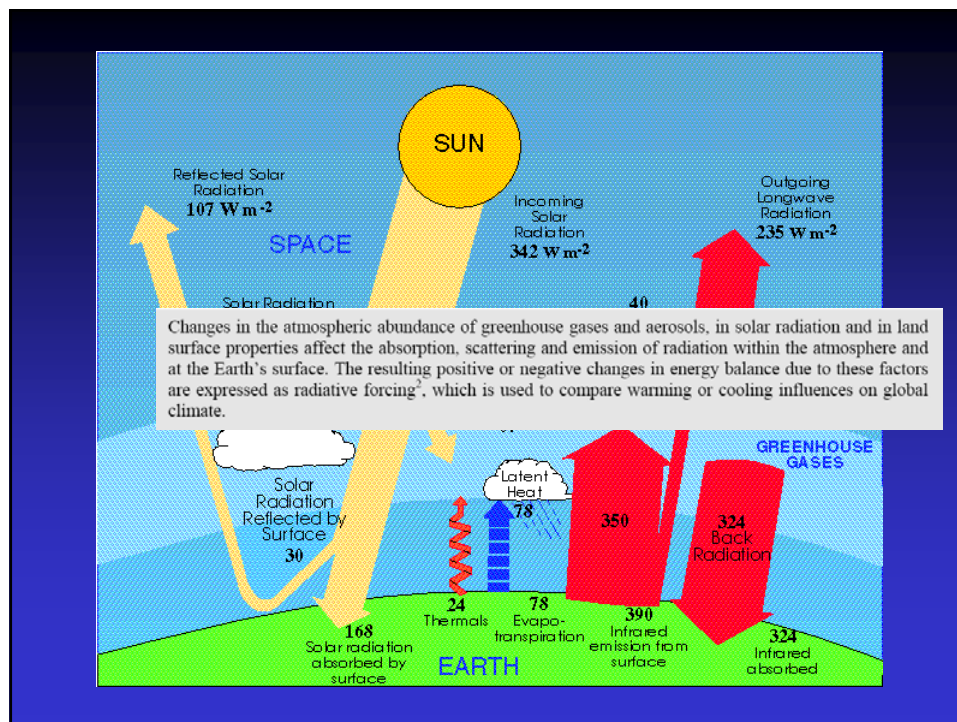
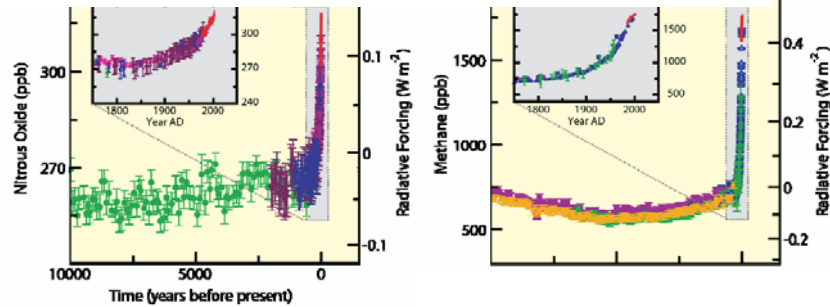


FIGURE SPM-1.

Atmospheric concentrations of carbon dioxide, methane and nitrous oxide over the last 10,000 years (large panels) and since 1750 (inset panels). Measurements are shown from ice cores (symbols with different colours for different studies) and atmospheric samples (lines). The corresponding radiative forcings are shown on the right hand axes of the large panels. {Figure 6.4}

Current atmospheric concentrations of carbon dioxide and methane far exceed pre-industrial values determined from ice cores spanning the last 650,000 years. The increases in these greenhouse gases since 1750 (see Figure SPM-1) are due primarily to emissions from fossil fuel use, agriculture, and land-use changes. {2.3, 6.4, 7.3}



RADIATIVE FORCING COMPONENTS

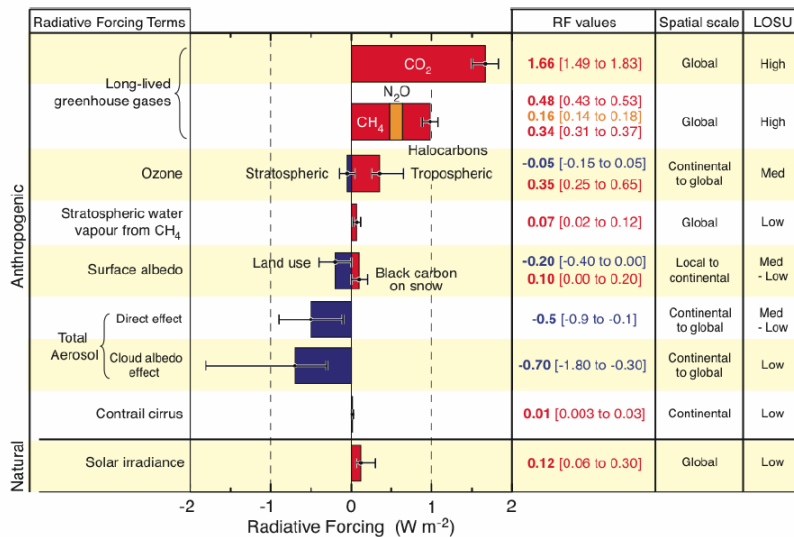


FIGURE SPM- (CO₂), methane typical geograph (LOSU). Volcan their episodic nature. {2.9, Figure 2.20}

Globally averaged warming effect of human activities since 1750 (1.6 Wm⁻²), at least 5 times larger than that of solar output changes

for carbon dioxide , together with the tific understanding i this figure due to

CHANGES IN TEMPERATURE, SEA LEVEL AND NORTHERN HEMISPHERE SNOW COVER

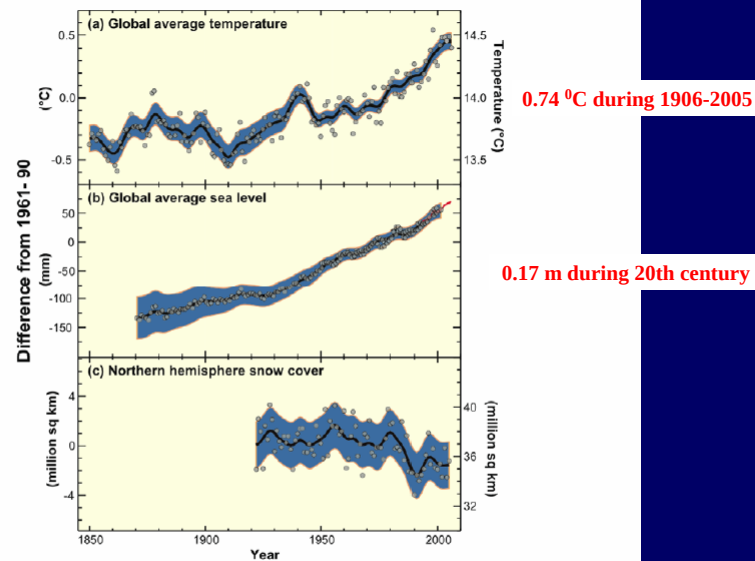


FIGURE SPM-3. Observed changes in (a) global average surface temperature; (b) global average sea level rise from tide gauge (blue) and satellite (red) data and (c) Northern Hemisphere snow cover for March-April. All changes are relative to corresponding averages for the period 1961-1990. Smoothed curves and shaded areas represent decadal averaged values and their assessed uncertainty intervals, while circles show yearly values. {Question 3.1, Figure 1, Figure 4.2 and Figure 5.13}

Warming of the climate system is unequivocal, as is now evident from increases in global average air and ocean temperatures, melting of snow and ice, and rising sea level (see Figure SPM-3). {3.2, 4.2, 5.5}

Numerous changes in climate have been observed at the scales of continents or ocean basins. These include wind patterns, precipitation, ocean salinity, sea ice, ice sheets, and aspects of extreme weather. {3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 5.2}

It is *very likely* that anthropogenic greenhouse gas increases caused most of the observed increase in globally averaged temperatures since the mid-20th century. Discernible human influences now extend to other aspects of climate, including continental-average temperatures, atmospheric circulation patterns, and some types of extremes (see Figure SPM-4 and Table SPM-1). {9.4, 9.5}

Table SPM-1. Recent trends, assessment of human influence on the trend, and projections for extreme weather and climate events for which there is an observed late 20th century trend. {Tables 3.7, 3.8, 9.4, Sections 3.8, 5.5, 9.7, 11.2-11.9}

Phenomenon ^a and direction of trend	Likelihood that trend occurred in late 20th century (typically post 1960)	Likelihood of discernible human influence on observed trend	Likelihood of continuation of trend based on projections for 21st century using SRES scenarios.
Warmer/fewer cold days/nights over most land areas.	<i>Very likely^b</i>	<i>Likely^d</i>	<i>Virtually certain^d</i>
Warmer/more hot days/nights over most land areas.	<i>Very likely^c</i>	<i>Likely (nights)^d</i>	<i>Virtually certain^d</i>
Warm spells / heat waves. Frequency increases over most land areas.	<i>Likely</i>	<i>More likely than not</i>	<i>Very likely</i>
Heavy precipitation events. Frequency (or proportion of total rainfall from heavy falls) increases over most areas.	<i>Likely</i>	<i>More likely than not</i>	<i>Very likely</i>
Area affected by droughts increases.	<i>Likely in many regions since 1970s</i>	<i>More likely than not</i>	<i>Likely</i>
Number of intense tropical cyclones increases.	<i>Likely, since 1970</i>	<i>More likely than not</i>	<i>Likely</i>
Increased incidence of extreme high sea level (excludes tsunamis).	<i>Likely</i>	<i>More likely than not</i>	<i>Likely</i>

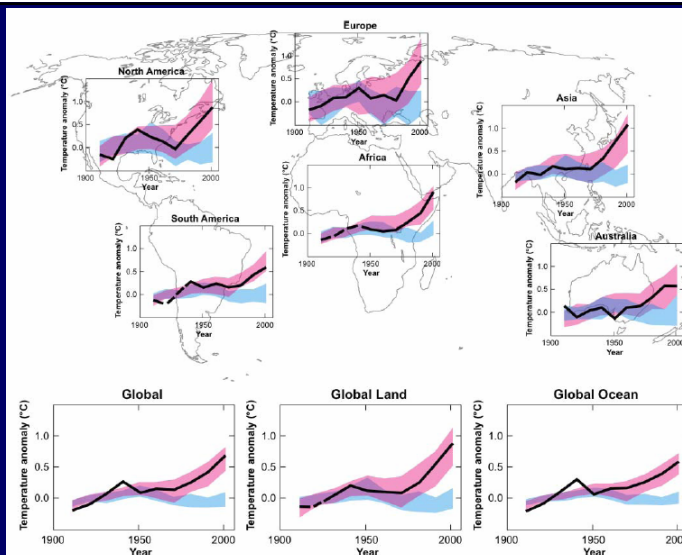
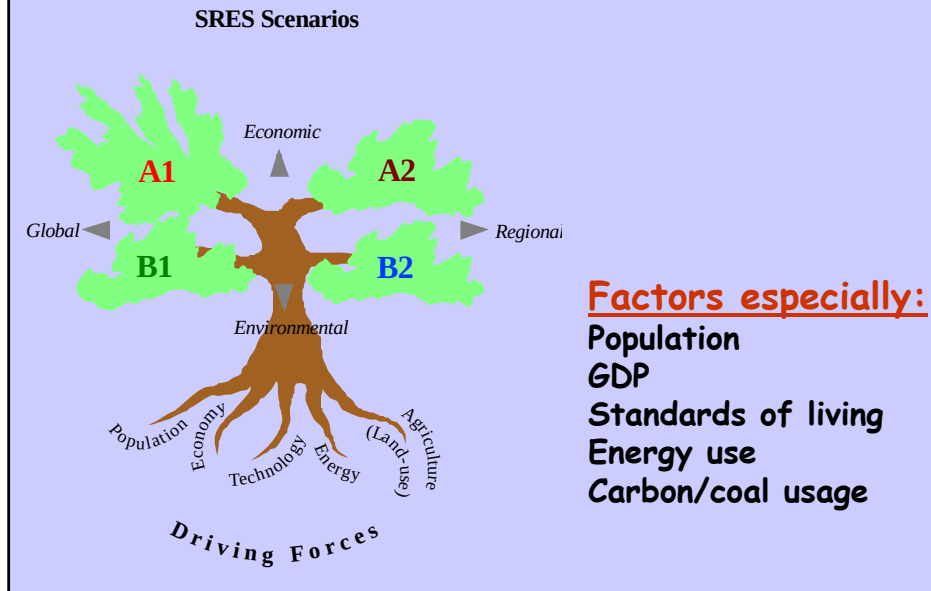


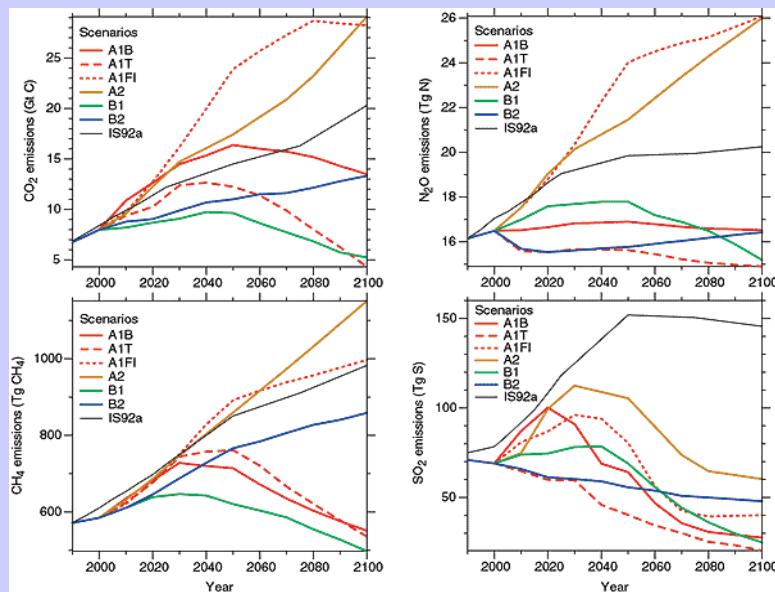
FIGURE SPM-4. Changes in continental- and global-scale decadal surface air temperature for 1906–2005, relative to the corresponding average for the 1901–1950 period, compared with model simulations. Black lines indicate observed changes and are dashed where spatial coverage is less than 50%. Blue bands show the 5–95% range for 19 simulations from 5 climate models using only natural forcings, and red bands show the 5–95% range for 58 model simulations from 14 climate models using both natural and anthropogenic forcings. The changes shown are unadjusted model output in regions where observations are available. {FAQ 9.2, Figure 1}

Schematic Illustration of SRES Scenarios



Expected greenhouse effect concentration gases

A1B, A1T and A1FI are variations of main A1 SRES: fossil intensive (A1FI), non-fossil energy sources (A1T), or a balance across all sources (A1B)



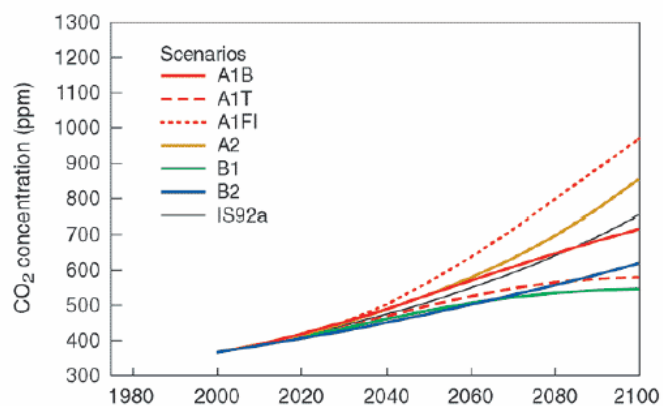


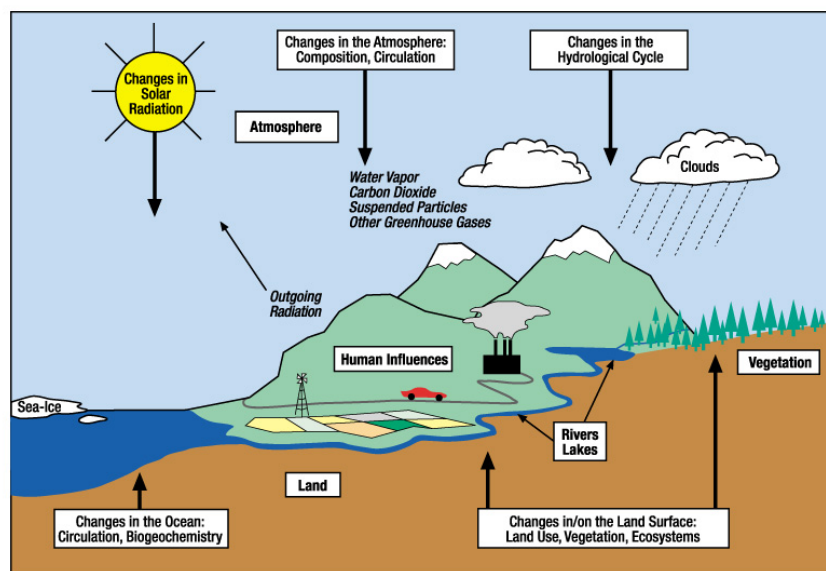
Figura 6.3. La concentració de CO₂ a l'atmosfera, com a resultat de les emissions presentades en la figura anterior. Noteu que malgrat en alguns escenaris les emissions comencen a disminuir cap a mitjan de segle, la concentració segueix augmentant, atès que l'escala de temps característica per assolir un nou equilibri en la concentració de CO₂ és d'uns 200 anys. [Figura extreta de Houghton *et al.*, 2001]

Which tool ? Climate Simulation Models (AOGCM)

NOMBRE DEL MODELO	CENTRO (País)	RESOLUCIÓN ATMOSFÉRICA	RESOLUCIÓN OCEÁNICA	ESCENARIOS SRES SIMULADOS
CCSR/NIES 2	CCSR/NIES (Japón)	5.6 × 5.6 (20)	2.8 × 2.8 (17)	A1,A1FI,A1T,A2,B1,B2
CGCM 1,2	CCC (Canadá)	3.7 × 3.7 (10)	1.8 × 1.8 (29)	A2,B2
CSIRO-Mk2	CSIRO (Australia)	5.6 × 3.2 (9)	5.6 × 3.2 (21)	A1,A2,B1,B2
ECHAM4/OPYC3	MPIM (Alemania)	2.8 × 2.8 (18)	2.8 × 2.8 (11)	A2,B2
GFDL R30 c	GFDL (EEUU)	2.25 × 3.75 (14)	1.875 × 2.25 (18)	A2,B2
HadCM3	UKMO (Reino Unido)	2.5 × 3.75 (19)	1.25 × 1.25 (20)	A1,A1FI,A2,B1,B2

Tabla 1. Características de los AOGCM, y escenarios de emisiones SRES simulados por éstos, cuyos resultados se pueden obtener del DDC-IPCC: http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/dkrz/dkrz_index.html. El tamaño horizontal de las celdillas atmosféricas y oceánicas se expresa en grados de latitud-longitud, y entre paréntesis se indica el número de niveles en la vertical.

The Climate System and Influences



AOGCM PROJECTIONS OF SURFACE TEMPERATURES

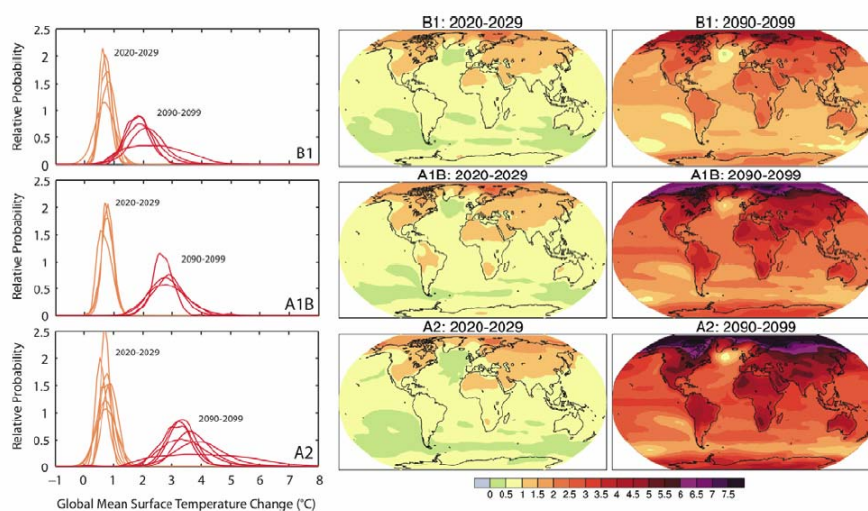
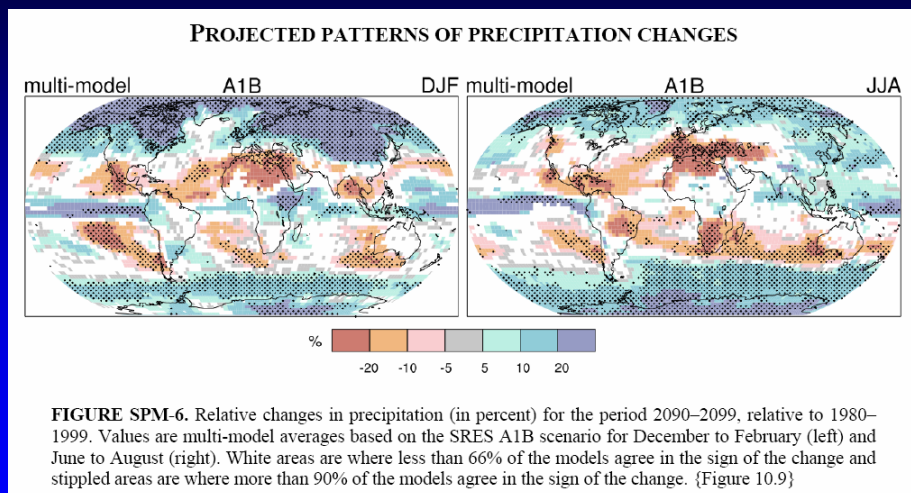


FIGURE SPM-5. Projected global average temperature changes for the early and late 21st century relative to the period 1980–1999. The central and right panels show the AOGCM multi-model average projections for the B1 (top), A1B (middle) and A2 (bottom) SRES scenarios averaged over decades 2020–2029 (center) and 2090–2099 (right). The left panel shows corresponding uncertainties as the relative probabilities of estimated global average warming from several different studies for the same periods. {Figures 10.8 and 10.28}



Climate Change is Global, but ...



Climate Change Impacts are Local



Regional Nature of Climate Change

Impacts

- **Water Resources**
- **Ecosystem Vulnerability**
- **Agriculture**
- **Coastal Systems**
- **Human Health**
- **Energy**

Primary Drivers

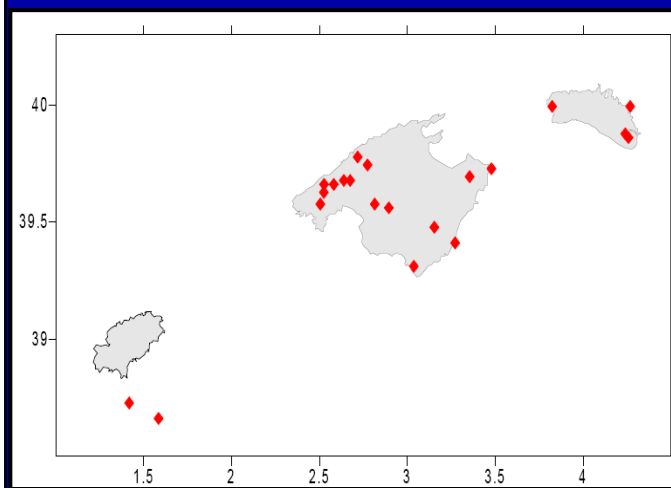
**Precipitation, Winds,
and Temperature**

Tendències Climàtiques observades a les Illes Balears

PRECIPITACIÓ

Estacions pluviomètriques

S'han seleccionat les estacions de les Illes Balears amb mesures de precipitació diària disponibles des de l'any 1951 fins al 2004. Només 21 estacions compleixen aquest requisit a les Illes

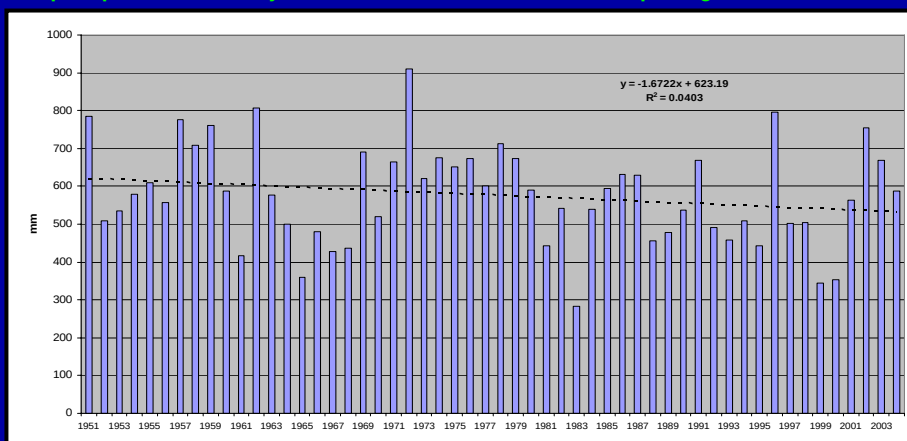


21 estacions

0061 SÓLLER
 0178 CALVIA
 0217 LA CAMPANETA
 0220 SON NET
 0240 ESPORLES
 0244 SON PACS
 0260 BUNYOLA RAIXA
 0282 XORRIGO
 0379 SES SALINES SA VALL
 0434 FAR DE PORTO COLOM
 0520 ARTÀ
 0569 FAR DE CAPDEPERA
 0606 FELANITX
 0648 ORIENT (SON BERNADES)
 0670 ALGAIDA I (FARMÀCIA)
 0801 SANT LLUÍS
 0802 MAÓ LLUCMASSANES
 0818 MAÓ FAR DE FAVARITX
 0851 CIUTADELLA F. PORT
 0982 LA SAVINA
 0999 FAR DE FORMENTERA

Precipitació mitjana anual

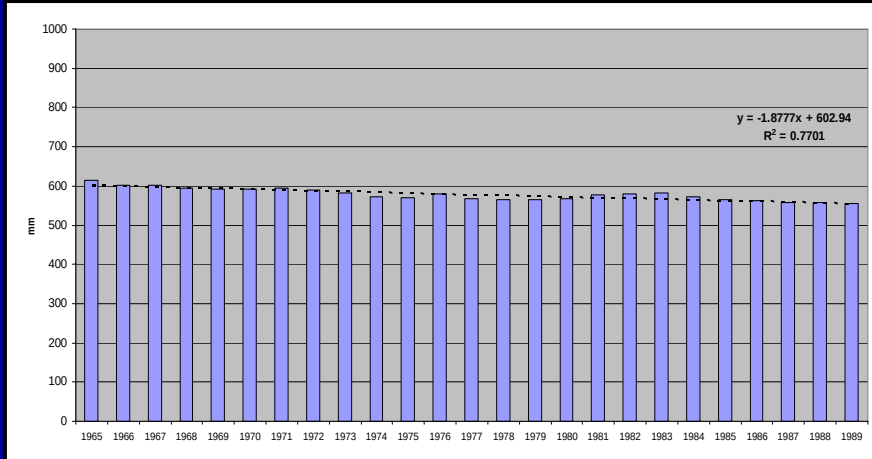
- Per cada una de les estacions pluviomètriques es calcula la precipitació total anual
- La precipitació anual mitjana a les Illes Balears s'obté com a promig de les 21 estacions



Tot i les oscil·lacions de període 16-18 anys i la variabilitat interanual que presenta la sèrie, l'ajust lineal mostra com la precipitació mitjana anual a les Illes ha disminuït a un ritme mig de 167 mm en 100 anys, el que significa una pèrdua d'un 29% de la precipitació mitjana anual en 100 anys.

Precipitació mitjana 30 anys

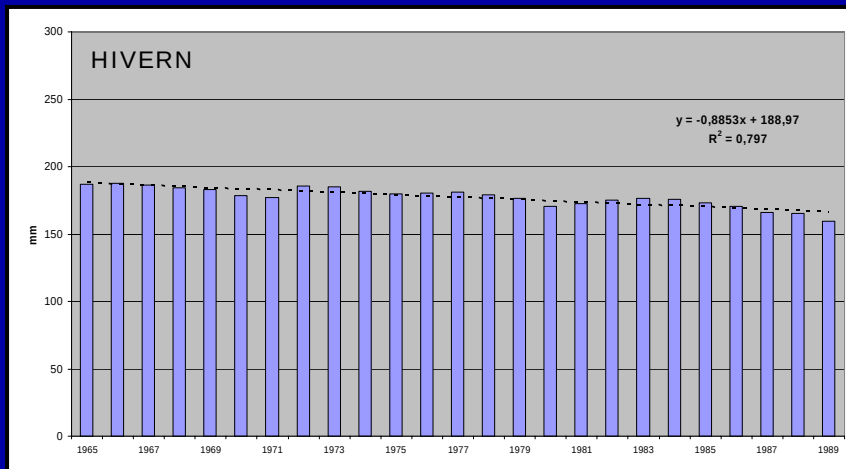
- Per a eliminar l'efecte d'anys concrets sobre el càlcul de la tendència, s'utilitzen mitjanes sobre temps més llargs que 1 any, com per exemple 30 anys
- La precipitació anual mitjanada sobre 30 anys s'assigna a l'any central del període



En aquest cas, s'obté una reducció de la precipitació mitjana anual a les Illes equivalent a un ritme mig de pèrdua de 188 mm en 100 anys.

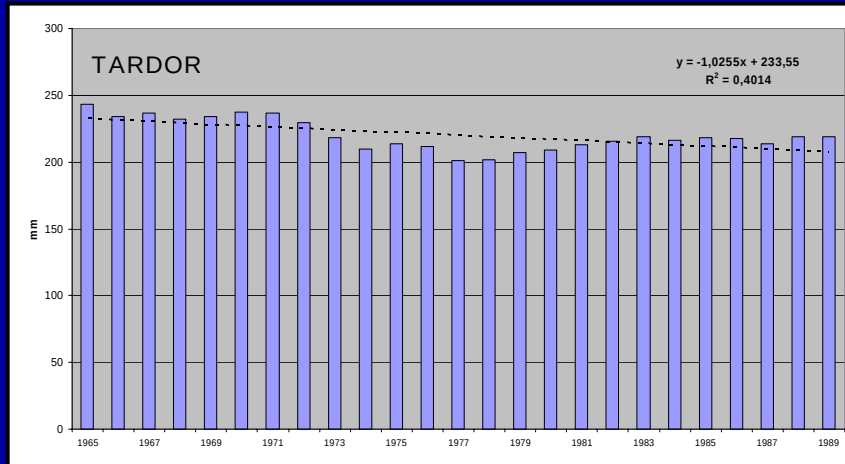
Precipitació mitjana estacional

- Per a estudiar l'evolució de les precipitacions a cada estació de l'any, calculam la mitjana estacional de la precipitació entre les 21 estacions pluviomètriques Balears considerades
- De nou, s'utilitza la mitjana sobre 30 anys per obtenir resultats més representatius
- Les estacions que mostren canvis més significatius en la precipitació són l'hivern i la tardor



Per a l'hivern, s'obté una reducció de la precipitació mitjana de 88 mm en 100 anys.

Precipitació mitjana estacional



Tot i utilitzar la mitjana de 30 anys, per a la tardor encara s'observen oscil·lacions importants a la sèrie. La tendència lineal mostra una reducció de la precipitació mitjana de 103 mm en 100 anys.

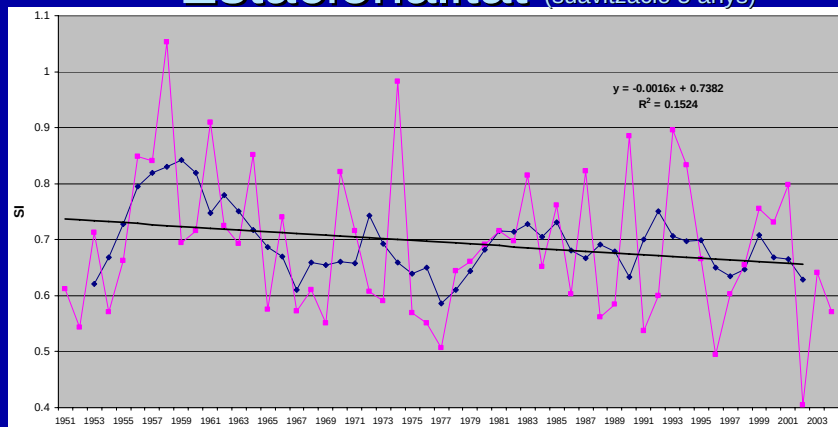
Número de dies amb precipitació

• La precipitació mitjana diària a les Balears s'obté com a mitjana de les 21 estacions disponibles. Llavors, es computen el número de dies per any en que ha plogut dins uns marges de precipitació:

	Categoria (mm)	Mitjana (dies/any)	Tendència (dies/100 anys)
Dèbils	< 1	18.70	+3.45
Moderades	1 – 2	19.30	+6.65
	2 – 4	23.72	-5.34
Fortes	4 – 8	7.41	-3.69
	8 – 16	2.67	-1.73
Molt fortes	16 – 32	0.44	+0.13
	> 32	0.04	+0.05

• El número de dies amb precipitacions dèbils o molt fortes ha augmentat, mentre els dies amb precipitacions moderades i fortes són ara menys freqüents

Estacionalitat (suavització 5 anys)



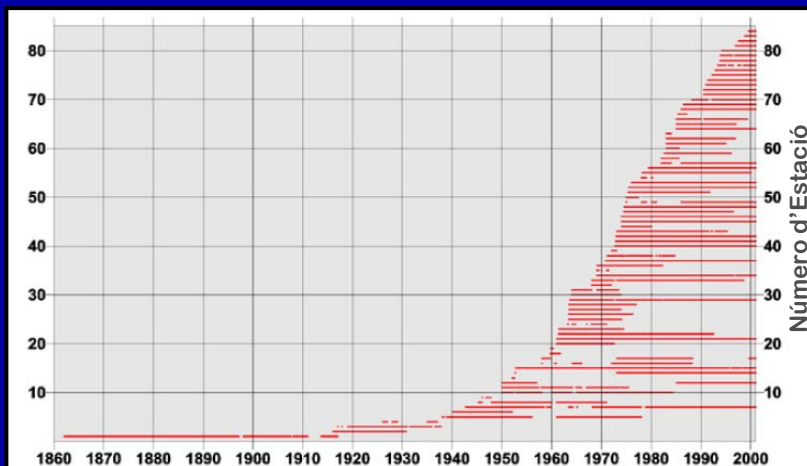
-0.16/100 anys (99%).
Interval de confiança al 95%: -0.27,-0.05

Valor índex	Règim pluviomètric
<0.19	pluja distribuïda durant tot l'any
0.20-0.39	estació humida ben marcada
0.40-0.59	estació seca curta
0.60-0.79	Estacional
0.80-0.99	estació seca llarga
1.00-1.99	precipitació en menys de 3 mesos
>1.20	precipitació en 1-2 mesos

TEMPERATURA

Estacions termomètriques

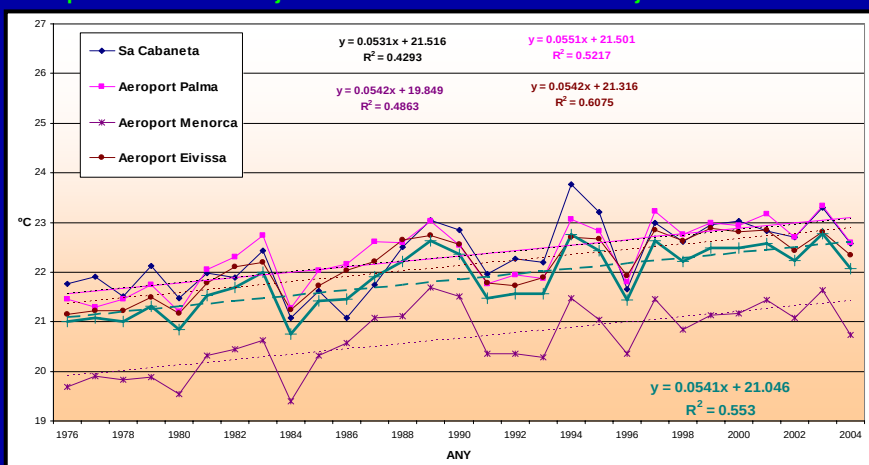
S'han seleccionat les estacions de les Illes Balears amb registres de temperatura diària màxima i mínima disponibles des de l'any 1976 fins al 2004. Només 4 estacions compleixen aquest requisit a les Illes: Palma Aeroport, Menorca Aeroport, Eivissa Aeroport i Sa Cabaneta.



La sèrie més antiga (Lluc) conté dades del segle XIX però es discontinuà als anys 1910.

Temperatura màxima mitjana anual

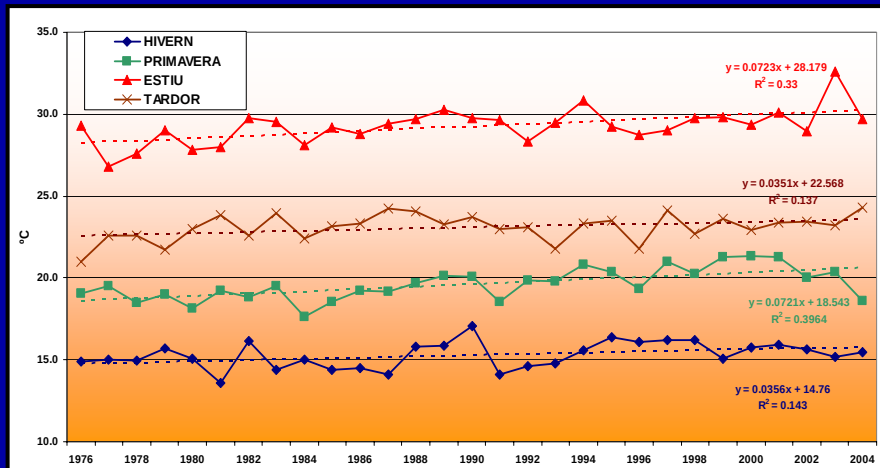
- Per cada una de les estacions termomètriques es calcula la màxima diària mitjana anual
- La temperatura màxima mitjana anual a les Balears s'obté amitjanant les 4 estacions



Tot i la variabilitat interanual que presenta la sèrie, l'ajust lineal mostra un increment de les temperatures màximes a un ritme mig de 5°C en 100 anys, amb l'increment més accentuat a l'Aeroport de Palma, on s'obté un escalfament mig de 5.5°C en 100 anys.

Temperatura màxima mitjana estacional

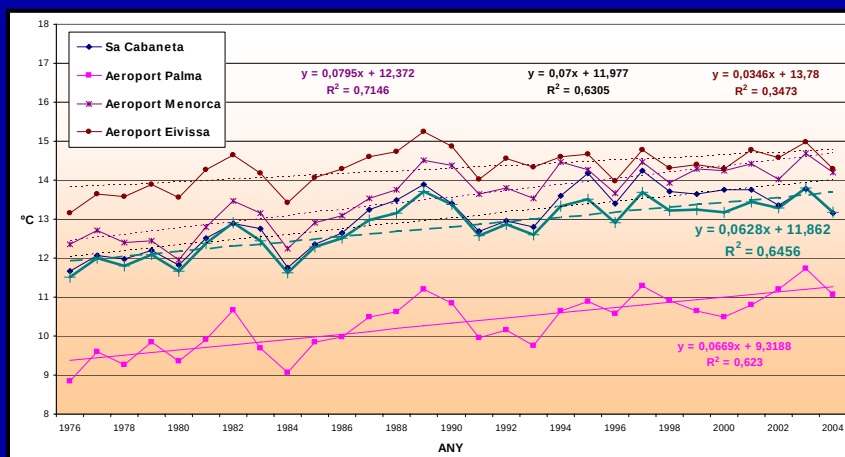
- Per a estudiar l'evolució de la temperatura màxima per estació de l'any, calculem la mitjana estacional de les màximes enregistrades a les 4 estacions termomètriques Balears



Les tendències per estació mostren que durant l'estiu i la primavera les temperatures màximes han augmentat a un ritme mig de més de 7°C en 100 anys. El ritme d'escalfament obtingut per a l'hivern i la tardor és de 3.5°C.

Temperatura mínima mitjana anual

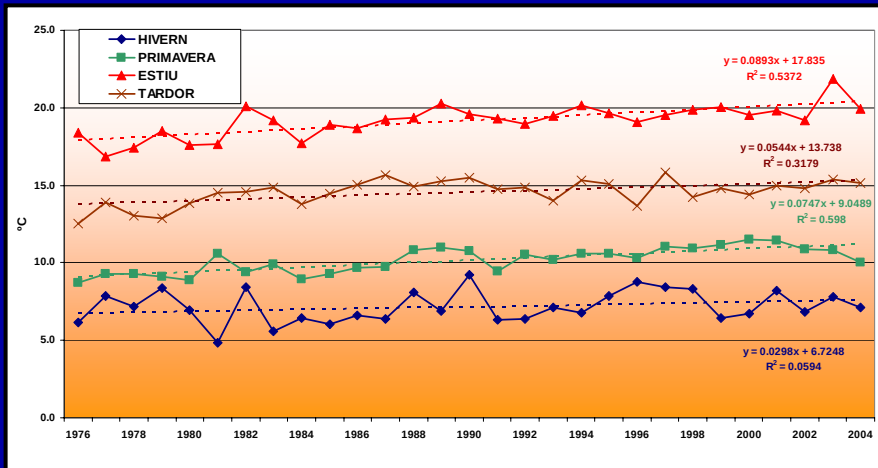
- Per cada una de les estacions termomètriques es calcula la mínima diària mitjana anual
- La temperatura màxima mitjana anual a les Balears s'obté amitjanant les 4 estacions termomètriques disponibles



Tot i la variabilitat interanual que presenta la sèrie, l'ajust lineal mostra un increment de les temperatures mínimes a un ritme mig de 6°C en 100 anys, amb un increment més accentuat a l'Aeroport de Menorca, on s'obté un escalfament mig de 8°C en 100 anys.

Temperatura mínima mitjana estacional

• Per a estudiar l'evolució de la temperatura mínima per estació de l'any, calculem la mitjana estacional de les mínimes enregistrades a les 4 estacions termomètriques Balears



De la mateixa manera que amb les màximes, les estacions que mostren major augment de les temperatures mínimes són l'estiu i la primavera, amb 9 i 7°C d'augment mig en 100 anys.

The Problem of Scale

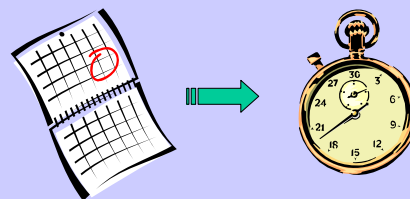
• *Spatial Scales of Importance*

- Global
- Regional
- State/Province
- Watershed
- Municipality/Metropolitan



• *Temporal Scales of Importance*

- Long-term climate
- Annual
- Seasonal
- Monthly
- Daily

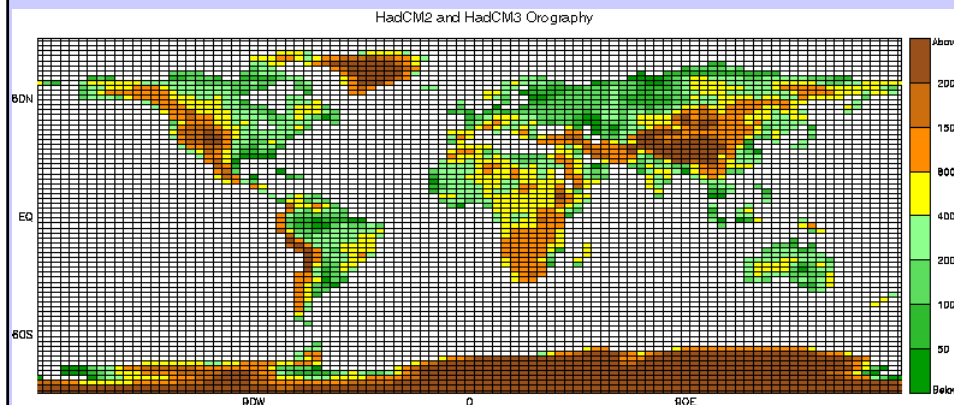


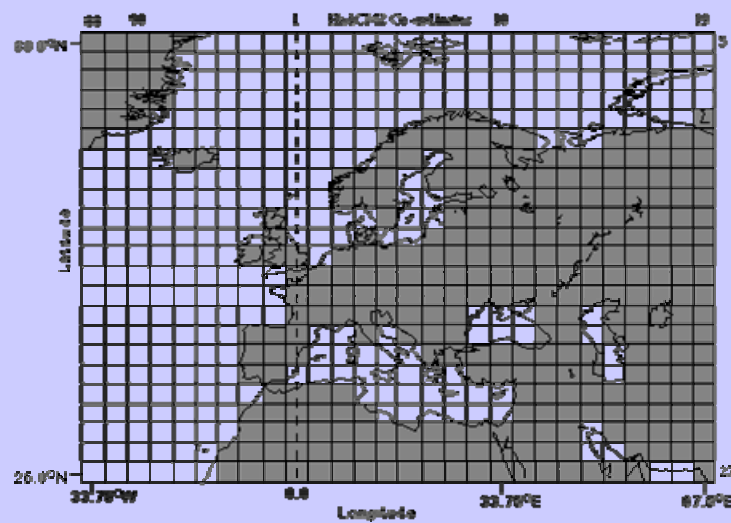
However ...

Local climate is strongly influenced by local features such as mountains, sea-land transition and surface characteristics, which are not well represented in global models because of their coarse resolution.

An example: HadCM3 model

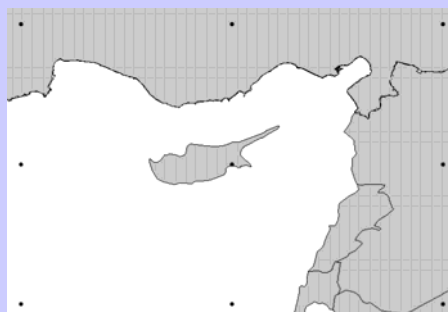
HadCM3 model is the last Hadley centre's coupled ocean-atmosphere GCM with a horizontal resolution of 2.5×3.75 degrees and 19 vertical levels, equivalent to a spatial resolution of 278×417 km in the equator, and a 278 km $\times$ 295 km in the mid latitudes ($\sim 45^\circ$).





Land-sea HadCM3 mask for Europe

Mediterranean islands in the HadCM3 model



What is Downscaling?

- **Downscaling:**
 - **Direct** prediction of surface variables from GCMs is difficult at sub-continental scales and at high temporal resolutions
 - Downscaling tools combine various output from GCMs with observational data to **improve** spatial and temporal accuracy of climate change scenarios
- **Types:**
 - **Statistical** Downscaling
 - **Dynamical** Downscaling
 - **Hybrid** Statistical/Dynamical Downscaling

Dynamical Downscaling Assumptions/Methods

- **GCM** output at large aggregate scales is useful for providing boundary conditions for nested models. These nested, higher-resolution models are called **RCM**, and include complex physical parameterizations
- Nesting is usually one-way with no feedback from mesoscale to GCM scale
- Transient run simulations can be accomplished, but are cumbersome

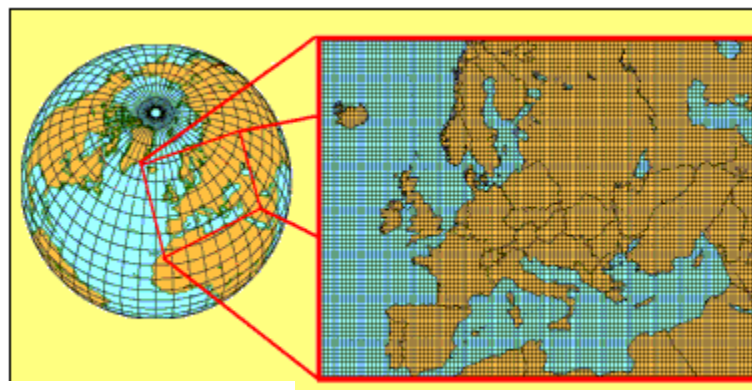
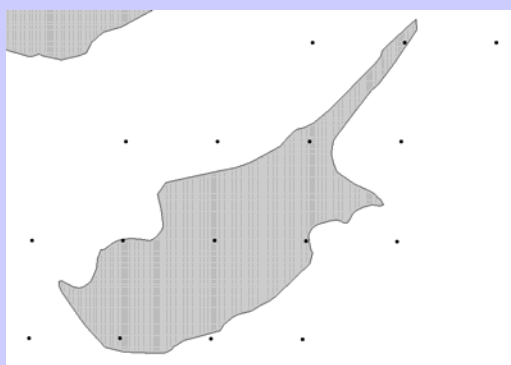


Figura 9. Ejemplo del dominio de aplicación de un RCM sobre Europa con una rejilla de 50 km. La técnica de anidamiento ("nesting") consiste en proporcionar al RCM información de la evolución de las variables atmosféricas en los puntos del contorno del dominio. Dicha información se obtiene previamente de la simulación con un AOGCM que utiliza una rejilla con resolución más baja (celdillas con mayor tamaño)

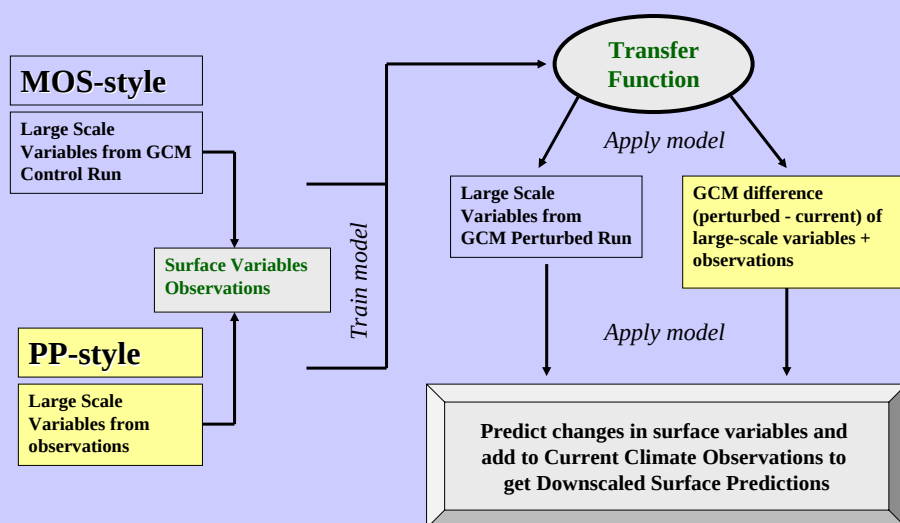
Mediterranean islands in the HadRM3 (~ 50 km) model



Statistical Downscaling Assumptions and Observations

- Surface parameters are not well-modeled by GCMs.
- High resolution spatial and temporal scales are not well-represented by GCM grid cell output
- Large-scale parameters are well-modeled by GCMs
- Strong physical relationships exist between large-scale forcing parameters and high spatial/temporal resolution surface variables.

Statistical Downscaling Methodologies



Transfer Function Options

- **Multiple Linear Regressions**
 - works well for continuous variables such as temperature
 - simple and relatively easy to interpret
- **Neural Networks**
 - capable of simulating non-linear and unknown functional relationships
 - black box in terms of interpretation
- **Classification and Regression Trees**
 - different types of weather patterns are separated
 - models are generated within weather patterns
 - good for non-continuous variables such as precipitation

Precipitation Downscaling: A Challenge

- **Precipitation events are**
 - Discontinuous with skewed distributions
 - Spatially and temporally non-homogeneous
 - Difficult to model with traditional approaches (precipitation generation depends on many spatial and temporal scales)

Modelos regionales	Anidamiento en HadAM3H			Anidamiento en ECHAM4		
	Control	A2	B2	Control	A2	B2
CNRM	x	x	x			
DMI	x	x	x	x	x	x
ETH	x	x				
GKSS	x	x				
HC	x	x				
ICTP	x	x	x			
KNMI	x	x				
MPI	x	x				
SMHI	x	x	x	x	x	x
UCM	x	x	x			

Tabla II- Proyecciones regionalizadas basadas en modelos regionales del clima procedentes del proyecto PRUDENCE. Las simulaciones realizadas por cada modelo regional se identifican por el centro o instituto donde se ha desarrollado.

Métodos empíricos	Modelos globales				
	ECHAM4	HadCM3	HadAM3H	CGCM2	HadCM2SUL
Analog(FIC)	A2, B2		A2,B2	A2,B2	
Analog(INM)	A2, B2		A2	A2,B2	IS92a
SDSM		A2,B2			

Tabla I- Proyecciones regionalizadas con métodos estadísticos disponibles. Los datos diarios de las proyecciones se refieren al periodo 2011-2100 y el periodo de control al periodo 1961-1990 y a las variables: precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima. Los métodos Analog(FIC) y SDSM presentan los resultados en las estaciones, mientras que el método Analog(INM) presenta los resultados en una rejilla regular de 50 km.

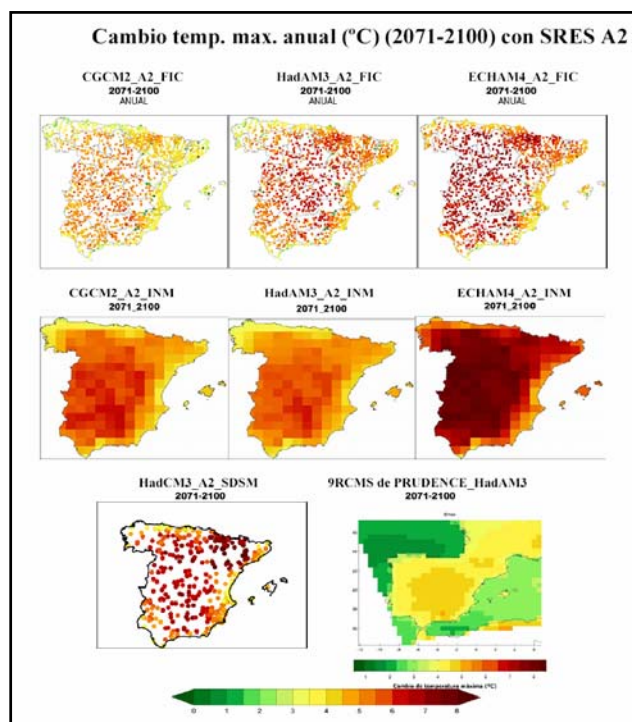


Fig. 1.- Comparación del cambio de temperatura máxima anual para el período (2070-2100) respecto al período de control (1961-90) proporcionado por las proyecciones regionalizadas utilizando diferentes modelos globales (HadCM3, HadAM3H, HadCM2SUL, CGCM2, ECHAM4-OPYC), el escenario de emisión A2 del SRES-IPCC y diferentes técnicas de regionalización estadísticas (Anal_FIC, Anal_INM, SDSM) y dinámicas (promedio de los 9 RCMs de PRUDENCE).

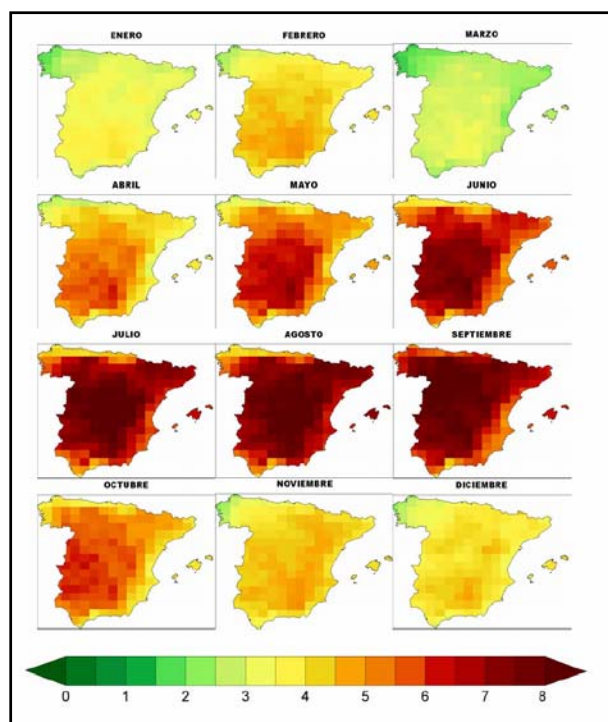


Fig.2.- Cambio medio mensual proyectado para el periodo (2071-2100) respecto al clima actual (1961-1990) por el modelo global HadAM3H y regionalizado con el método de análogos (INM) para la temperatura máxima y el escenario de emisión A2.

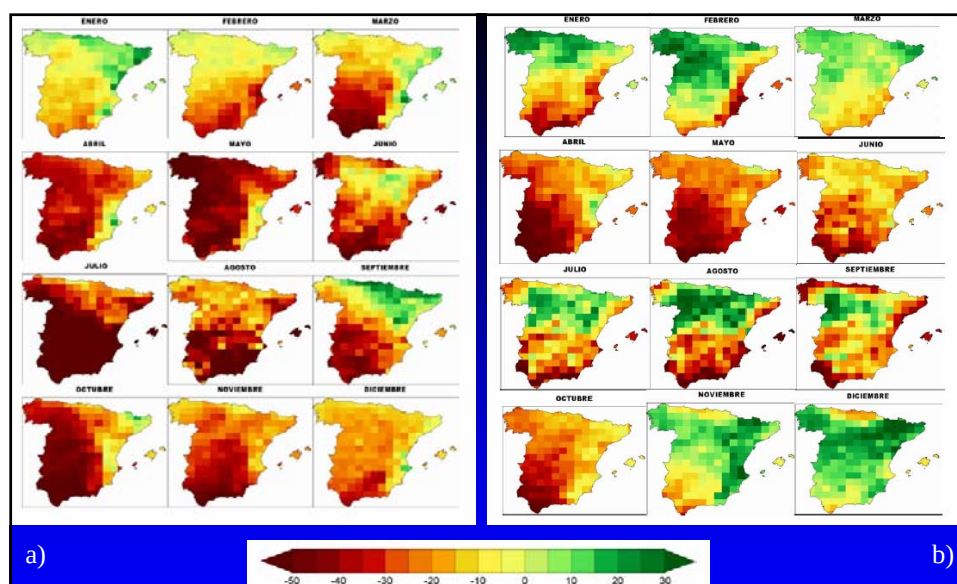
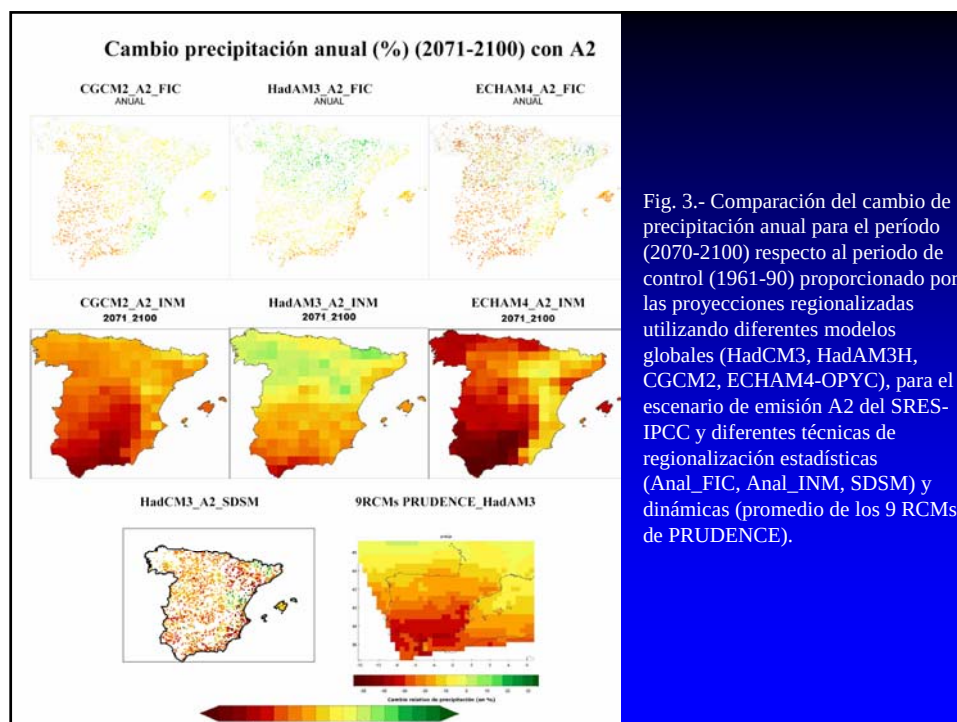


Fig.4.- Cambio de distribución mensual de precipitación (%) para el período (2071-2100) respecto al período de referencia (1961-1990) para los modelos globales CGCM2 (a) y HadAM3H (b), regionalizados ambos con el método de análogos (INM) con el escenario de emisión A2.

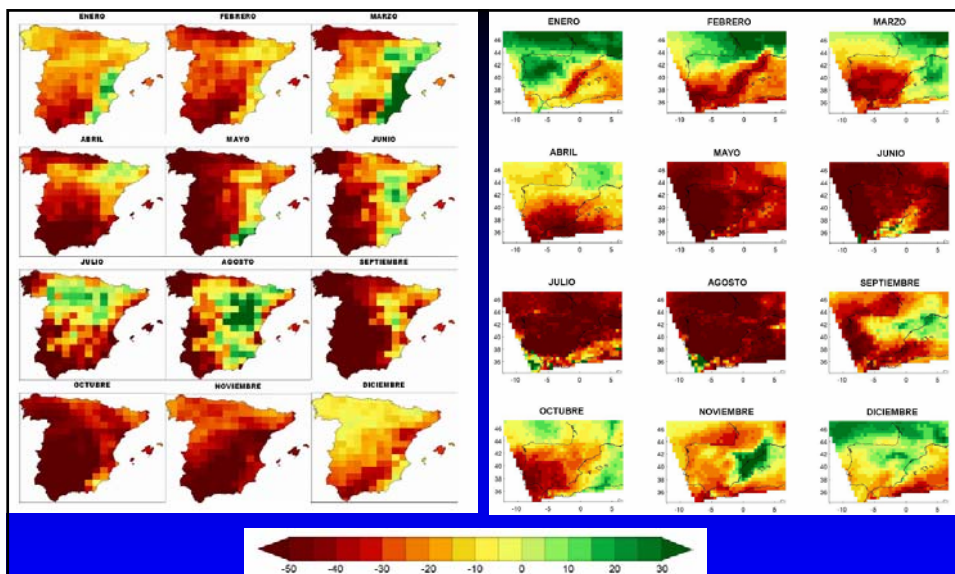
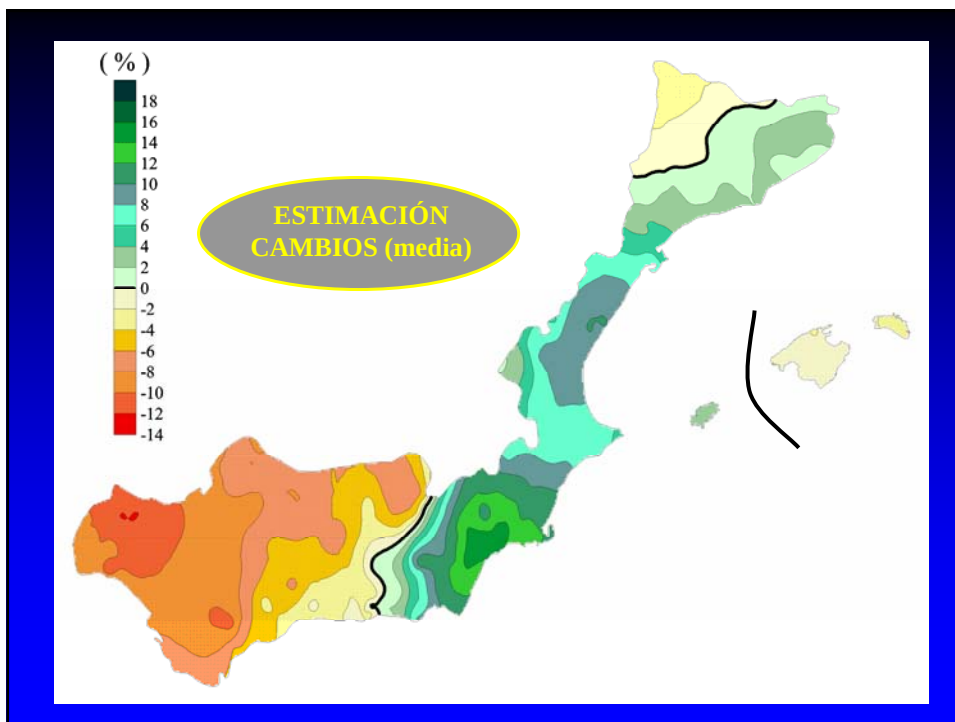
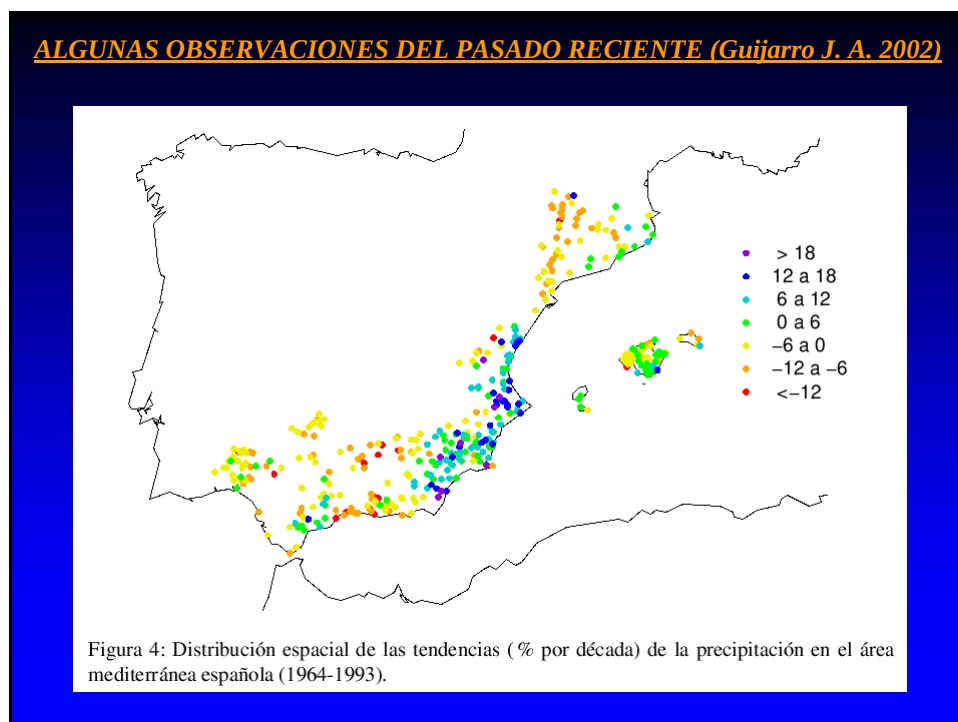
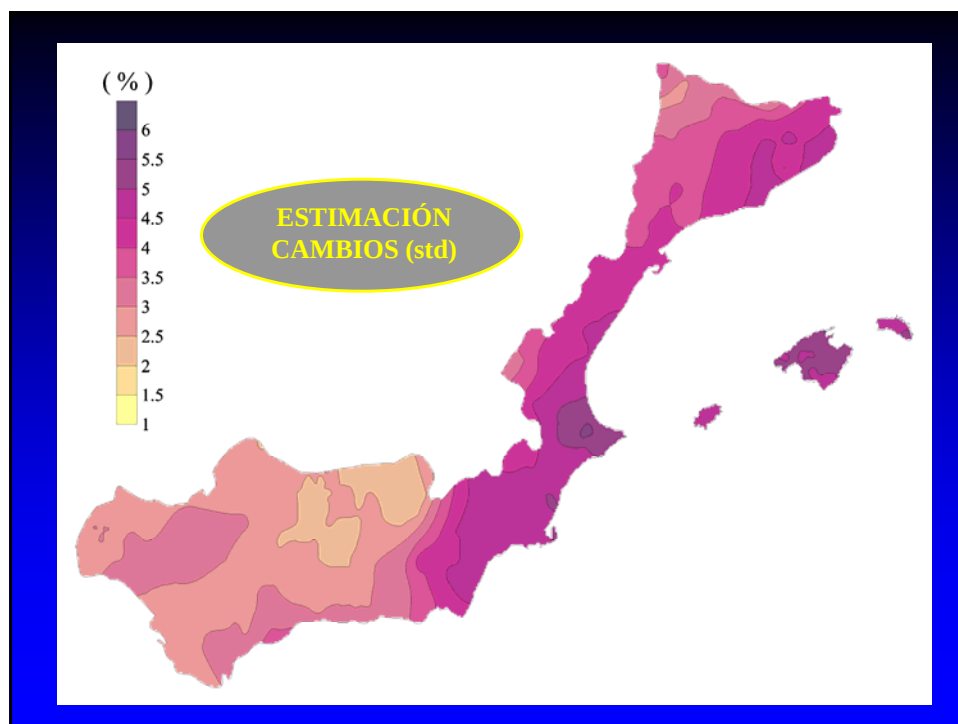


Fig.5.- Igual que fig.4, pero para el modelo ECHAM4-OPYC.

Fig.6.- Igual que fig. 4, pero para el promedio de los 10 modelos regionales de clima de PRUDENCE (incluido el modelo ARPEGE de resolución variable del CNRM).





**Muchas gracias
por vuestra atención !!!**

