

BASE CIENTÍFICA DEL CAMBIO CLIMÁTICO: IMPACTO REGIONAL EN LA ZONA MEDITERRÁNEA ESPAÑOLA

Doctorat en Medi Ambient – Canvi Climàtic
(Universitat de Girona, 1 de Juliol 2004)

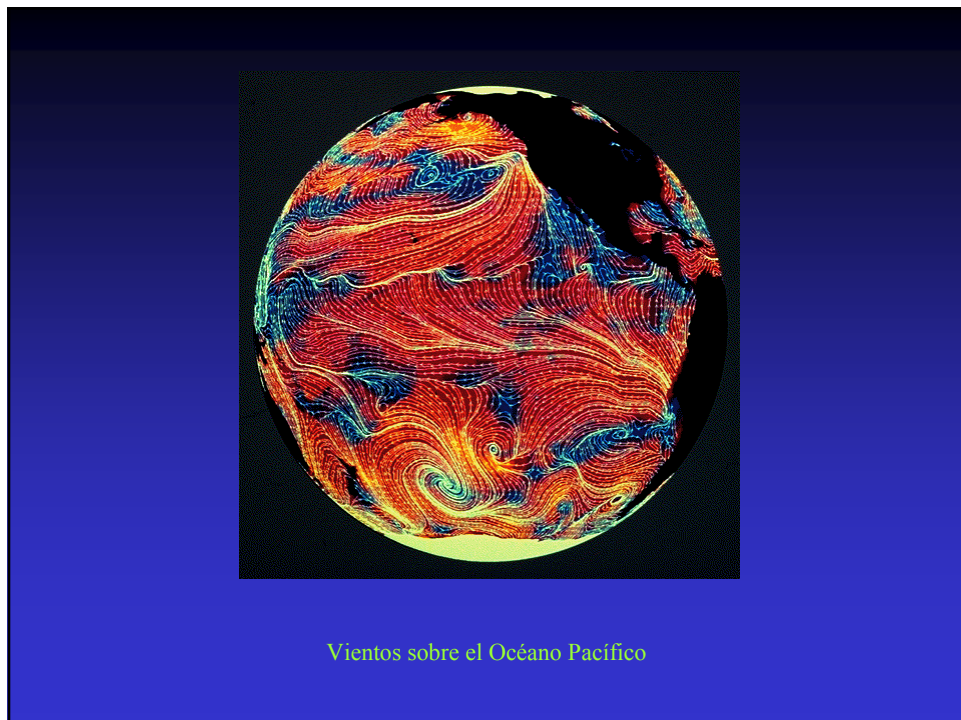
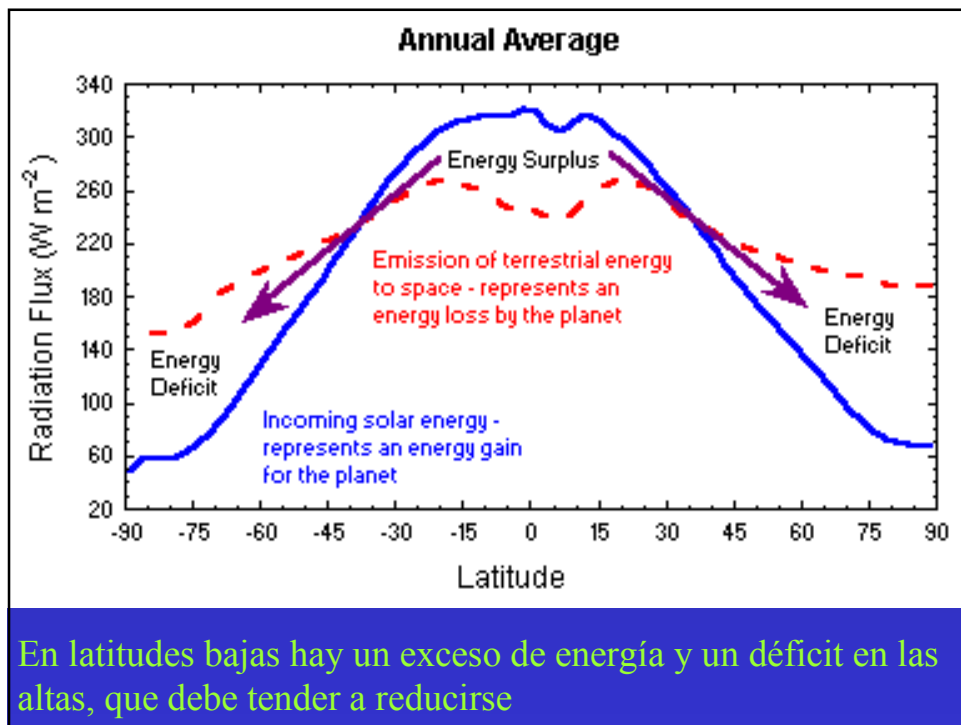
Romu Romero (Sesión 9)



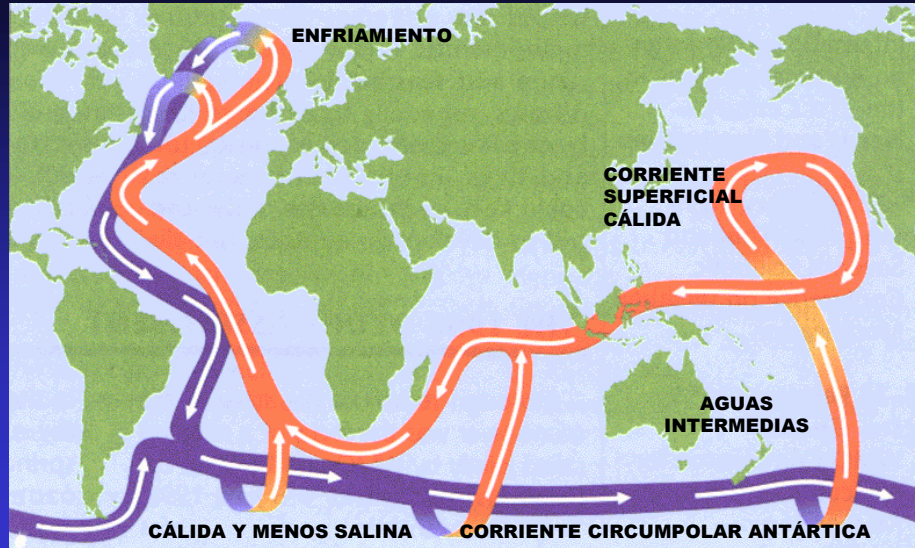
Clima:

Rasgos característicos de las condiciones ambientales
(p.e. temperatura y precipitación)
en intervalos de tiempo ‘largos’

- No sólo valores medios: variabilidad espacial y temporal
- Percepción a través de la atmósfera
- Tratamiento estadístico adecuado de series largas instrumentales de las variables meteorológicas



CIRCULACIÓN OCEÁNICA GLOBAL



Hadley Centre



Son muchas las

Causas que determinan el clima

Cualquier cambio en ellas puede acabar modificando el clima

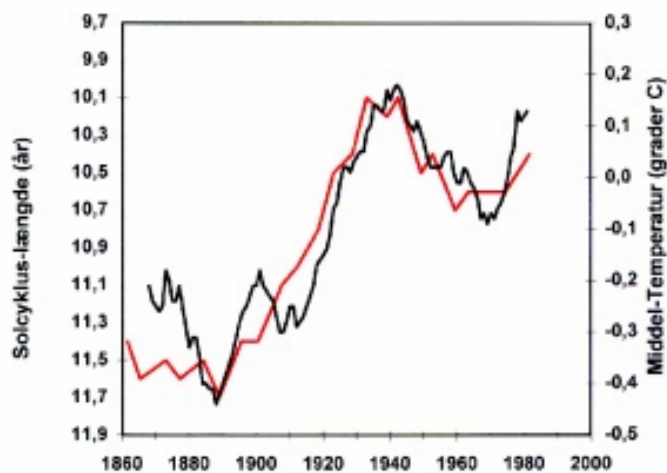
Cualquier cambio en las causas del clima puede acabar modificándolo

- Externas

- Actividad solar, incluidas manchas solares
- Movimiento relativo Tierra-Sol (excentricidad, precesión de los equinoccios, oblicuidad: Milankovitch)
- Impacto meteorito o cometa

- Internas

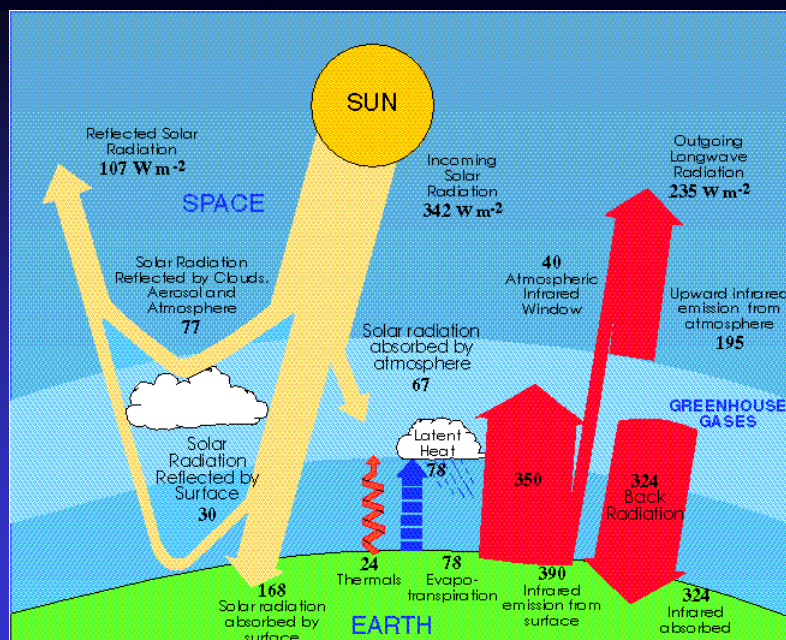
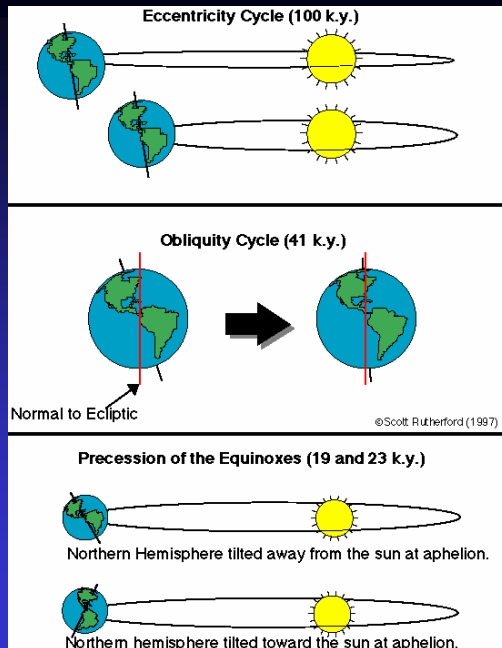
- Efecto invernadero
- Desigual distribución del balance de energía
- Dinámica interna del sistema (vientos, corrientes, realimentaciones, ...)
- Cambio de composición
- Aerosoles
- Nubes



Temperatura
media global

Periodo del
ciclo de
manchas solares

Friis-Christensen, E. y K. Lassen, Science (1991)



EFECTO INVERNADERO

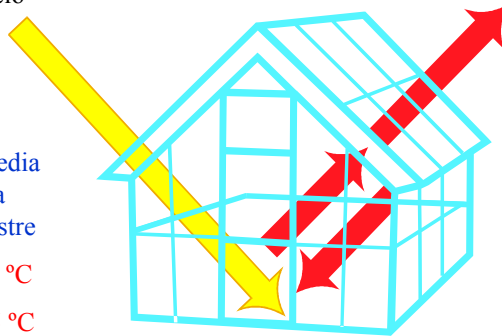
La energía visible procedente del sol pasa a través del cristal y calienta el suelo

La energía calorífica procedente del suelo es parcialmente reflejada por el cristal y parte queda atrapada dentro del invernadero

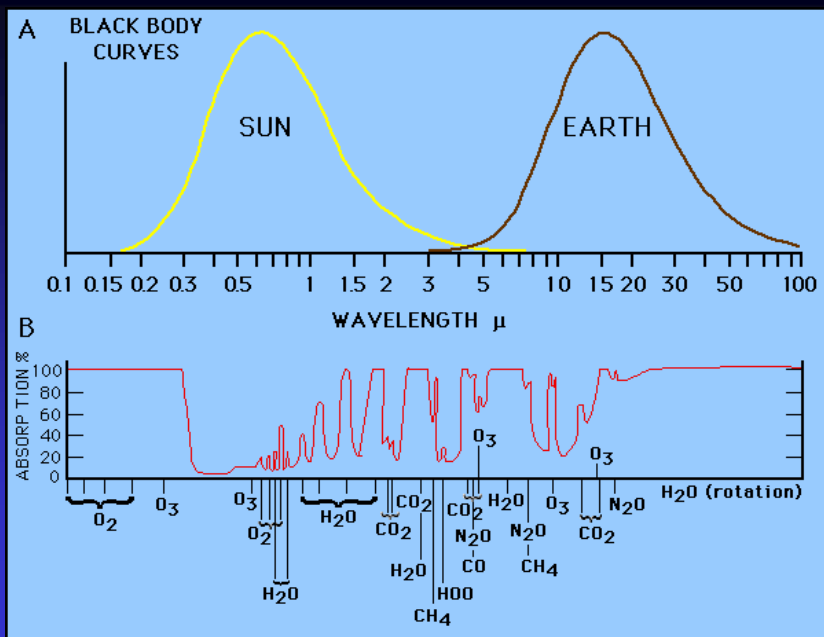
Temperatura media del aire en la superficie terrestre

SIN E. I. = -18 °C

CON E. I. = 15 °C

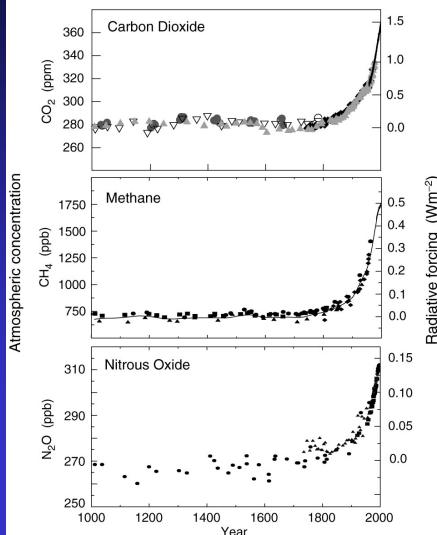


Hadley Centre

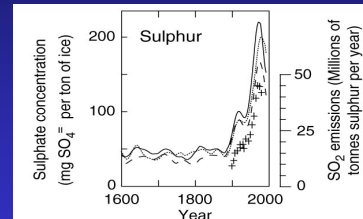


La composición de nuestra atmósfera ha cambiado afectando al balance planetario de energía

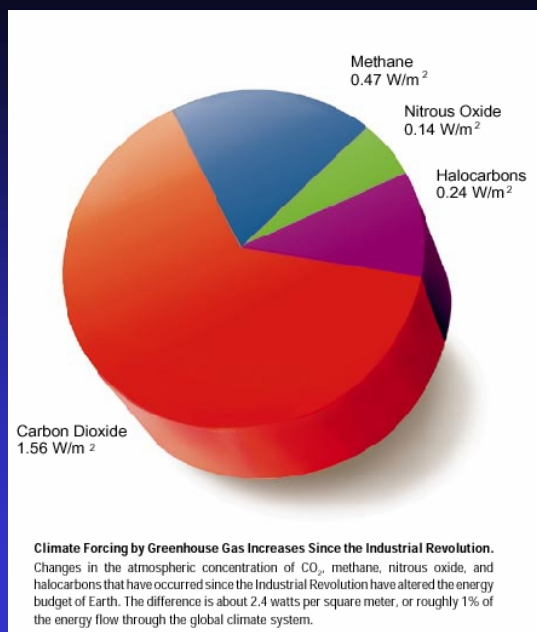
(a) Global atmospheric concentrations of three well mixed greenhouse gases



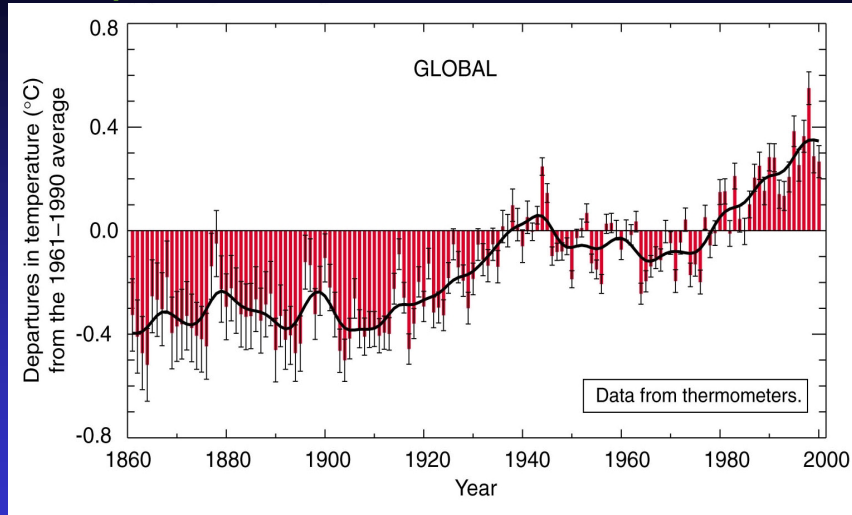
(b) Sulphate aerosols deposited in Greenland ice



Contribución al calentamiento global



Variaciones de la temperatura media del aire en la superficie de la Tierra en los últimos 140 años



En el siglo XX entre 0.4 y 0.8 °C.
Probablemente el calentamiento mas intenso
de los últimos 1000 años en el HN

Hadley Centre



SOME EVIDENCES OF RECENT CLIMATE CHANGE

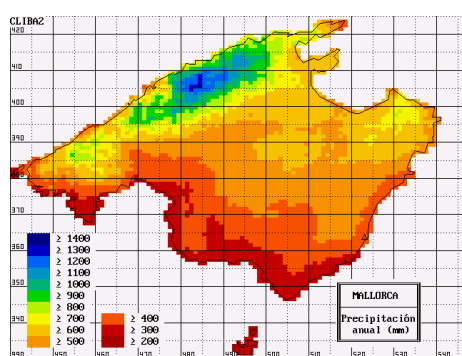
Particularly, the case of the Balearic Islands

Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals

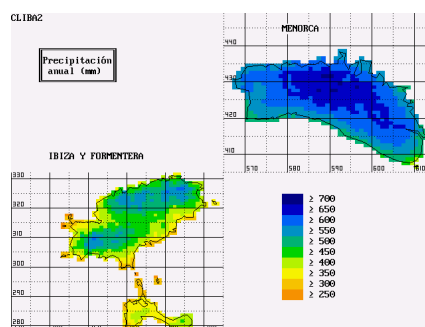
- Precipitació
- Temperatura al nivell de la superfície de la terra
- Temperatura a la troposfera i baixa estratosfera

Dades obtingudes del Centre Meteorològic Territorial en Illes Balears de l'Institut Nacional de Meteorologia

Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Precipitació (I)



Precipitació mitjana anual



Guijarro (1986)
Tesi doctoral

Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Precipitació (II)

El nombre d'estacions pluviomètriques a les Illes Balears s'acosta a 200

Sèries diàries de molt diferenta llargària.

S'ha considerat el període 1951-2000 (50 anys).

El nombre d'estacions que tenen la sèrie diària completa és 21.

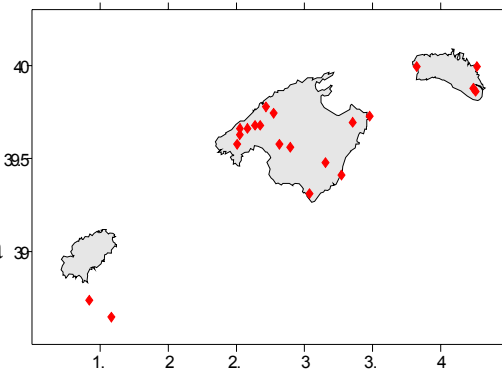
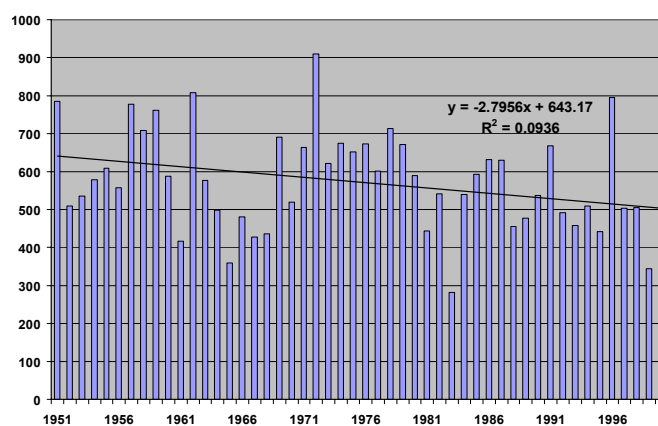


Fig. 1. Localització de les estacions pluviomètriques que tenen la sèrie diària completa en el període 1951-2000

Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Precipitació (III)



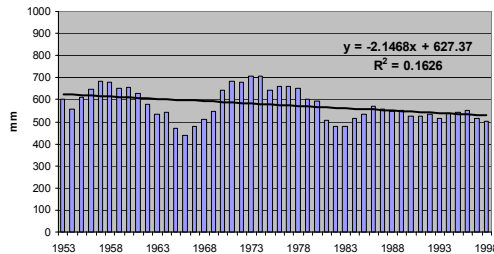
Tendència de la precipitació mitjana anual

9% de la variabilitat

significància estadística >95%

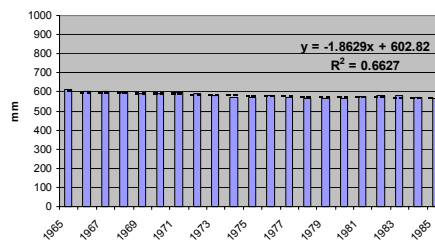
periodicitat de 22 anys?

Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Precipitació (IV)



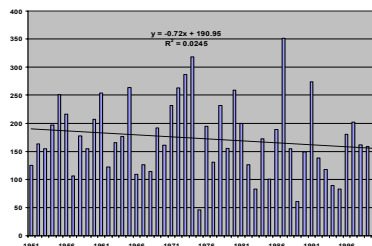
Significància estadística
>99%

Tendència de la precipitació mitjana anual. Mitjana mòbil 5 anys

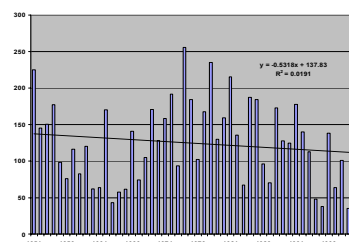


Precipitació mitjana anual.
Mitjana mòbil de 30 anys

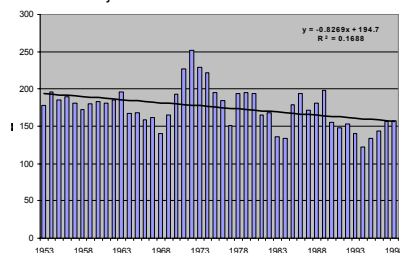
Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Precipitació (V)



Tendència de la precipitació mitjana durant l'hivern

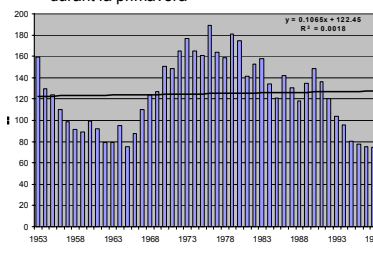


Tendència de la precipitació mitjana durant la primavera



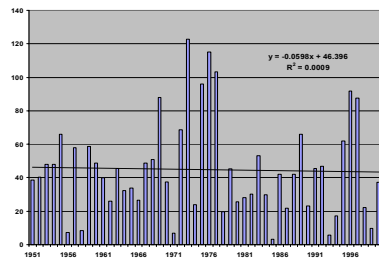
Mitjana mòbil de 5 anys

>95%

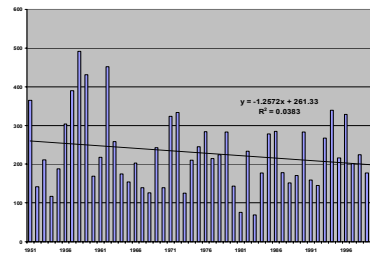


Mitjana mòbil de 5 anys

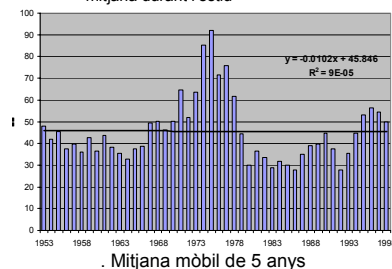
Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Precipitació (VI)



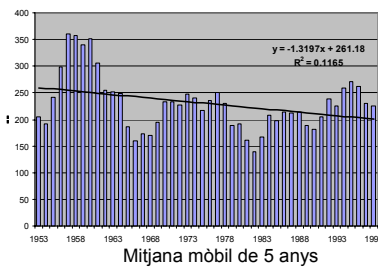
Tendència de la precipitació mitjana durant l'estiu



Tendència de la precipitació mitjana durant la tardor



Mitjana mòbil de 5 anys



Mitjana mòbil de 5 anys

Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Precipitació (VII)

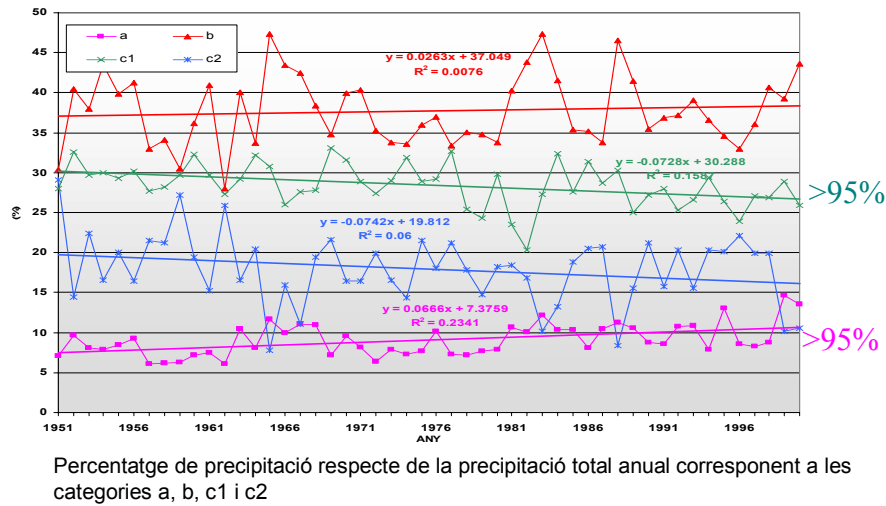
Per cada any i per cada una de les 21 estacions pluviomètriques, s'han separat les precipitacions diàries en 7 categories:

Traça:	0-1	mm
a:	1-4	mm
b:	4-16	mm
c1:	16-32	mm
c2:	32-64	mm
d1:	64-128	mm
d2:	>128	mm

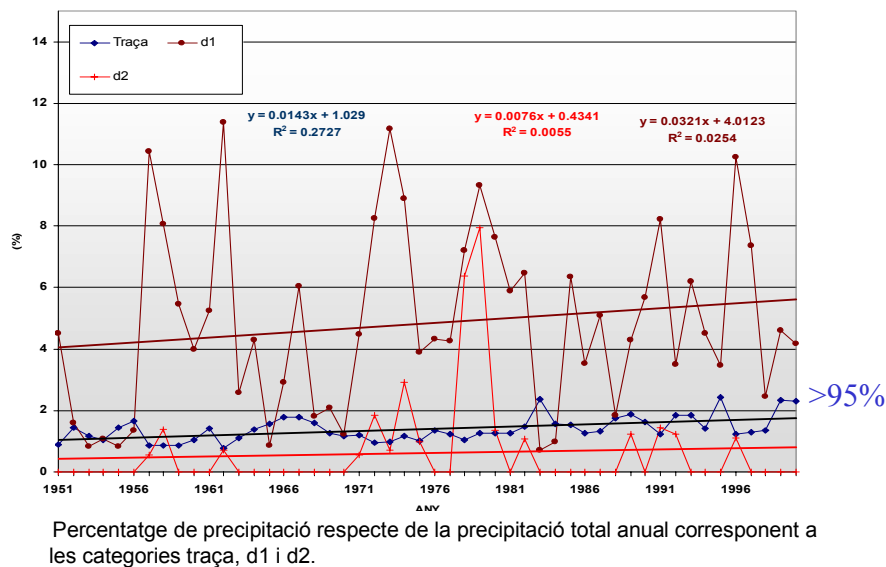
S'han considerat dues variables:

- Percentatge de precipitació respecte de la precipitació total anual
- Nombre anual de dies de precipitació

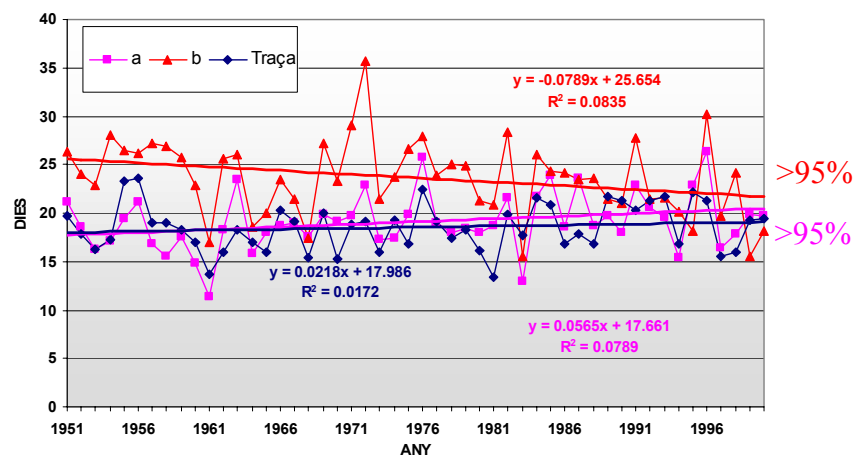
Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Precipitació (VIII)



Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Precipitació (IX)

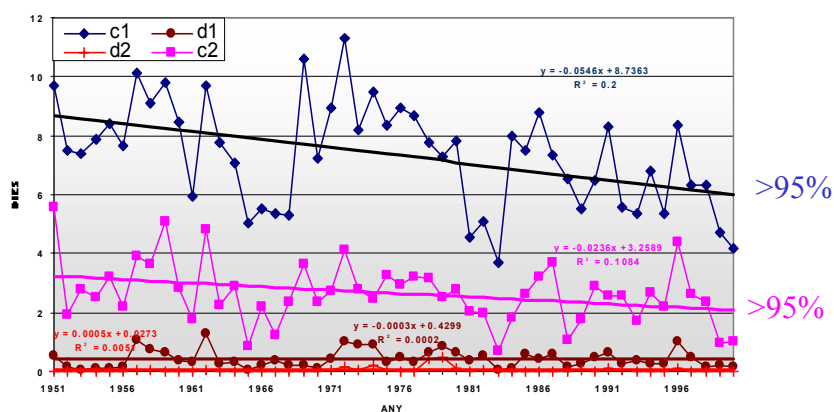


Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Precipitació (X)



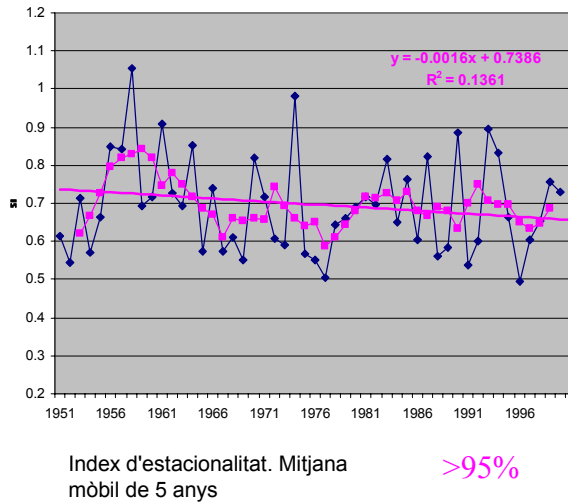
Nombre de dies de precipitació durant l'any corresponents a les categories traça, a i b

Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Precipitació (XI)



Nombre de dies de precipitació durant l'any corresponents a les categories c1, c2, d1 i d2

Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Precipitació (XII)

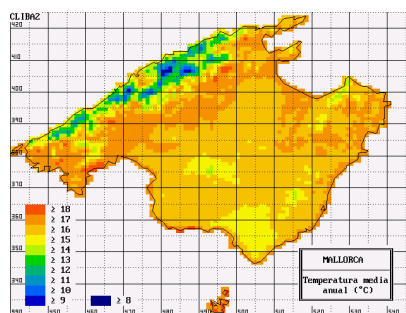


Index d'estacionalitat

$$SI = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^{12} \left| Mi - \frac{R}{12} \right|$$

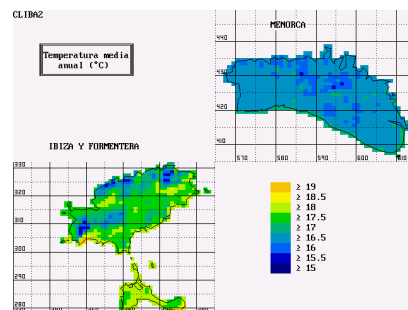
- <0.19 pluja tot l'any
- 0.20-0.39 estació humida
- 0.40-0.59 estació seca curta
- 0.60-0.79 estacional
- 0.80-0.99 estació seca llarga
- 1.00-1.99 precipitació en menys de 3 mesos
- >1.20 precipitació en 1-2 mesos

Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Temperatura superficial (I)

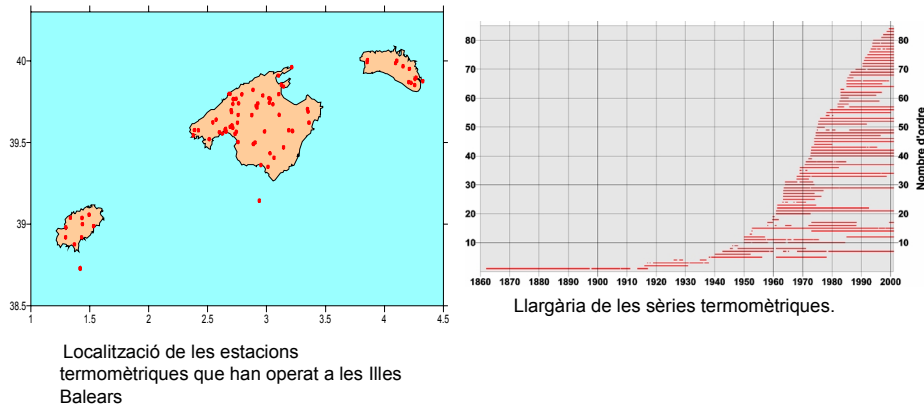


Guijarro (1986)
Tesi doctoral

Temperatura mitjana anual



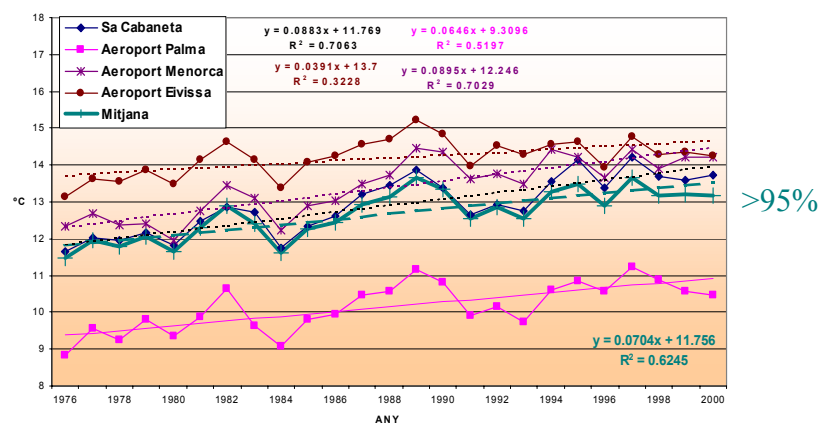
Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Temperatura superficial (II)



S'han considerat les estacions que en un interval de 25 anys (1976-2000) tenen les sèries de temperatura màxima i mínima diàries quasi completes:

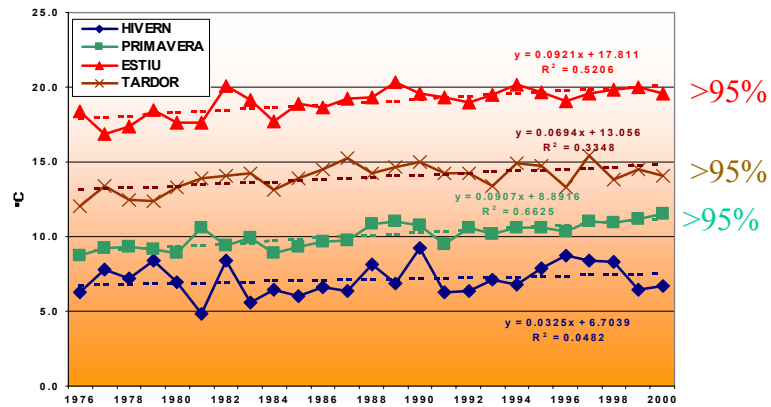
Sa Cabaneta, Aeroport de Palma, Aeroport de Menorca, Aeroport d'Eivissa

Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Temperatura superficial (III)

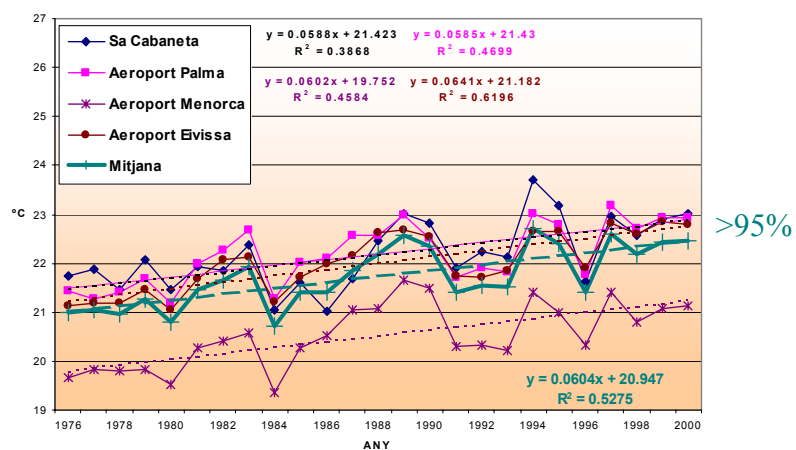


Temperatura mínima mitjana anual

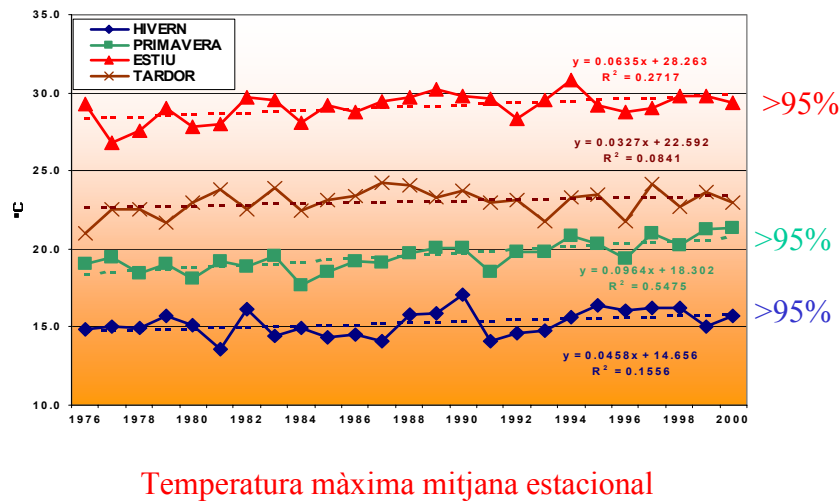
Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Temperatura superficial (IV)



Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Temperatura superficial (V)



Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals: Temperatura superficial (VI)



Conclusions més rellevants (I)

Dades instrumentals:

Precipitació (significància estadística superior al 95%)

- Tendència negativa de la precipitació total anual. Tambè amb les mitjanes mòbils de 5 i 30 anys
- Variabilitat estacional més gran que l'anyal. Tendència negativa a l'hivern i la tardor
- Les precipitacions febles tenen tendència a augmentar la seva contribució a la pluja total anual
- Les pluges fortes tenen tendència a disminuir la seva contribució a la pluja total anual
- Augment dels dies amb precipitació dèbil
- Disminució dels dies de pluges moderades i fortes

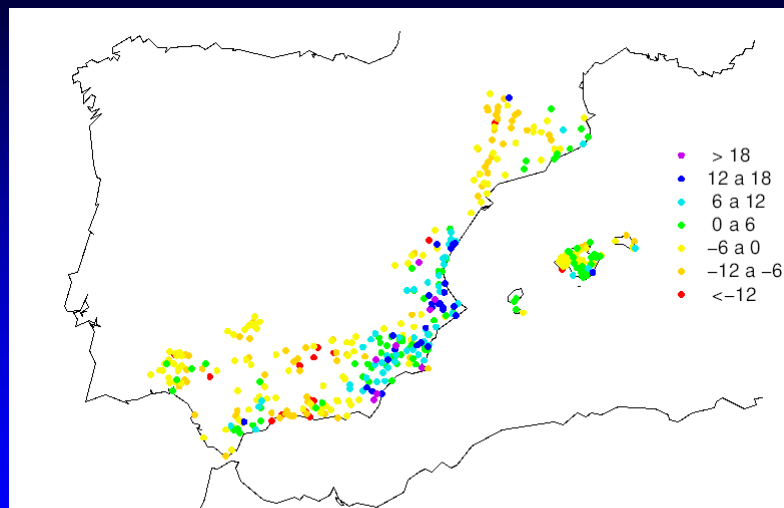
Conclusions més relevants (II)

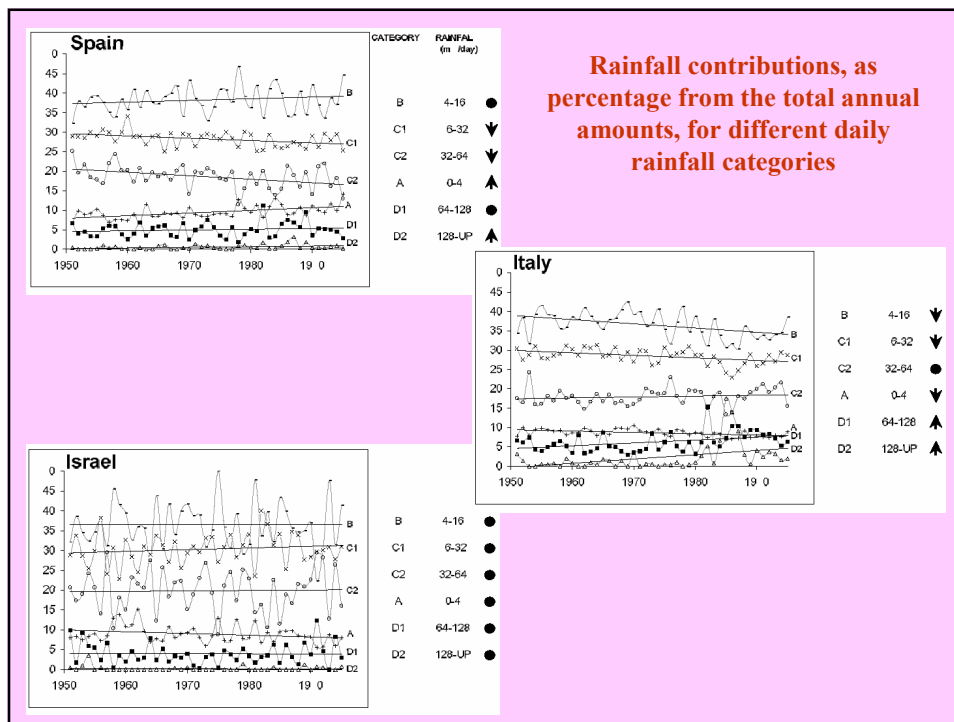
Dades instrumentals:

Temperatura (significància estadística superior a 95%)

- Augment de la temperatura mínima mitjana anual de l'ordre de 7 °C/100 anys
- Augment més important de les temperatures mínimes durant la primavera i l'estiu
- Augment de la temperatura màxima mitjana anual de l'ordre de 6 °C/100 anys
- Augment més important de les temperatures màximes durant la primavera i l'estiu, menys important durant l'hivern
- A 1500 m, augment a la primavera, disminució durant la tardor

ALGUNAS OBSERVACIONES DEL PASADO RECIENTE (Guijarro J. A. 2002)

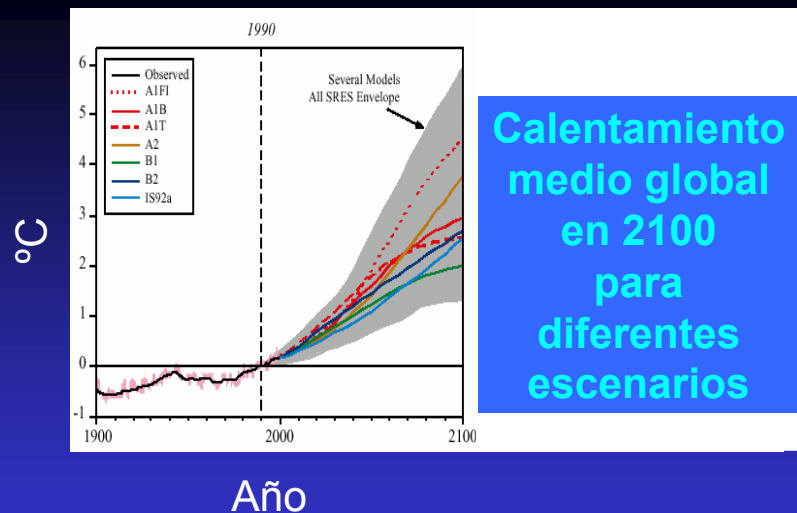




Escenarios de cambio climático global

Escenarios de Emisiones (IPCC)

	<u>2020</u>	<u>2050</u>	<u>2080</u>
<u>Escenario</u>	<i>CO₂</i> <i>ppm</i>	<i>CO₂</i> <i>ppm</i>	<i>CO₂</i> <i>ppm</i>
B1-bajo	421	479	532
B2-medio	429	492	561
A1-medio	448	555	646
A2-alto	440	559	721



Calentamiento entre 2 y 15 veces lo observado en los 100 últimos años y posiblemente en más de 10000 años



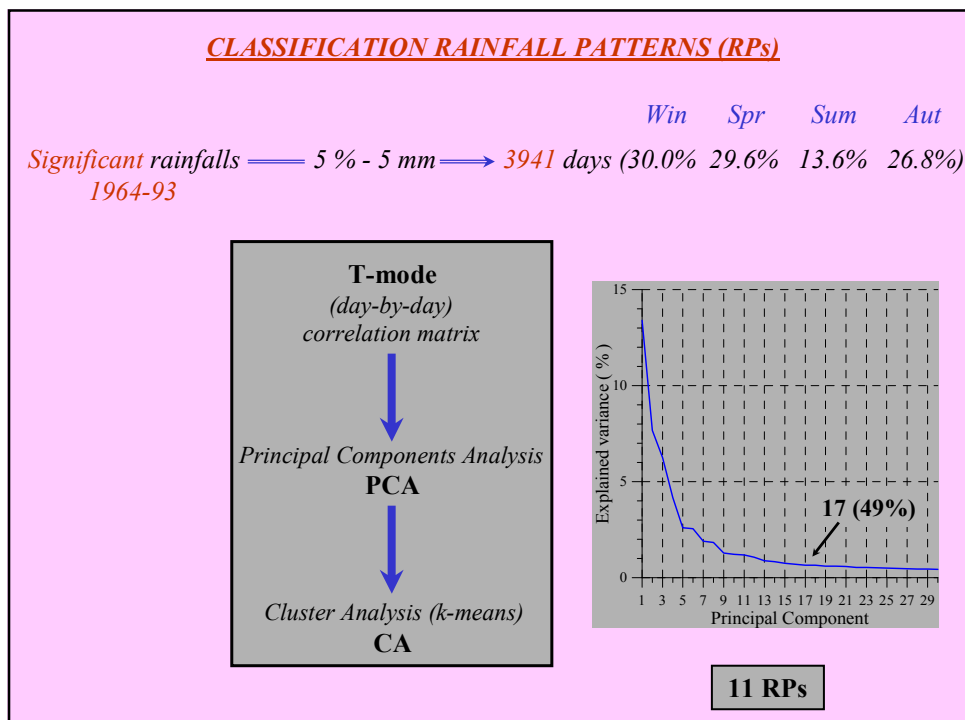
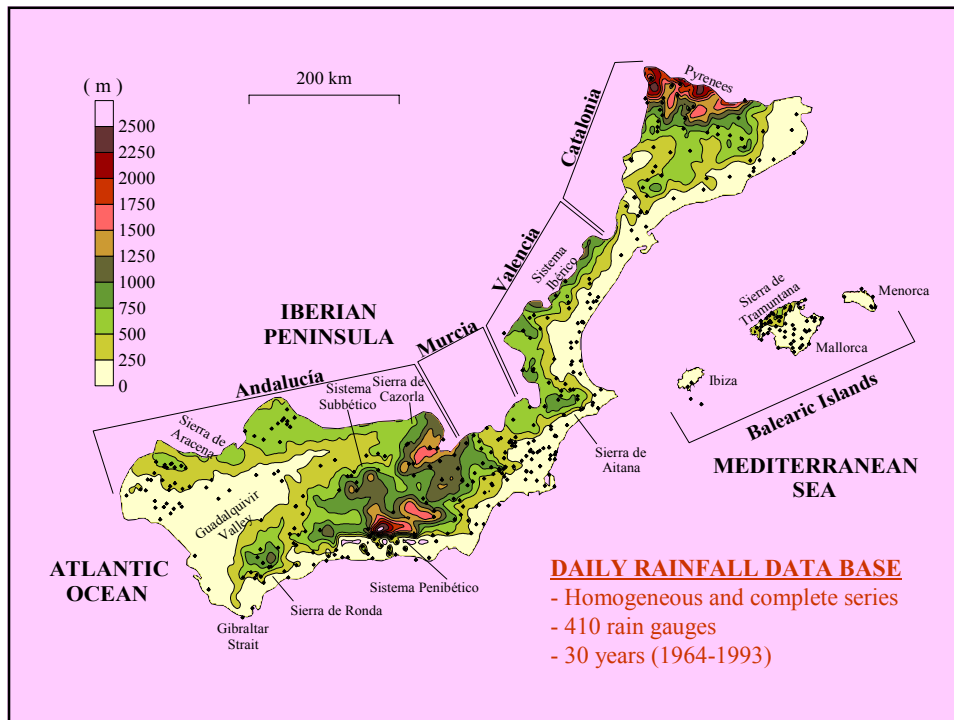
Se hace necesaria una **REGIONALIZACIÓN** de los resultados de los modelos de simulación del clima (“Downscaling”)

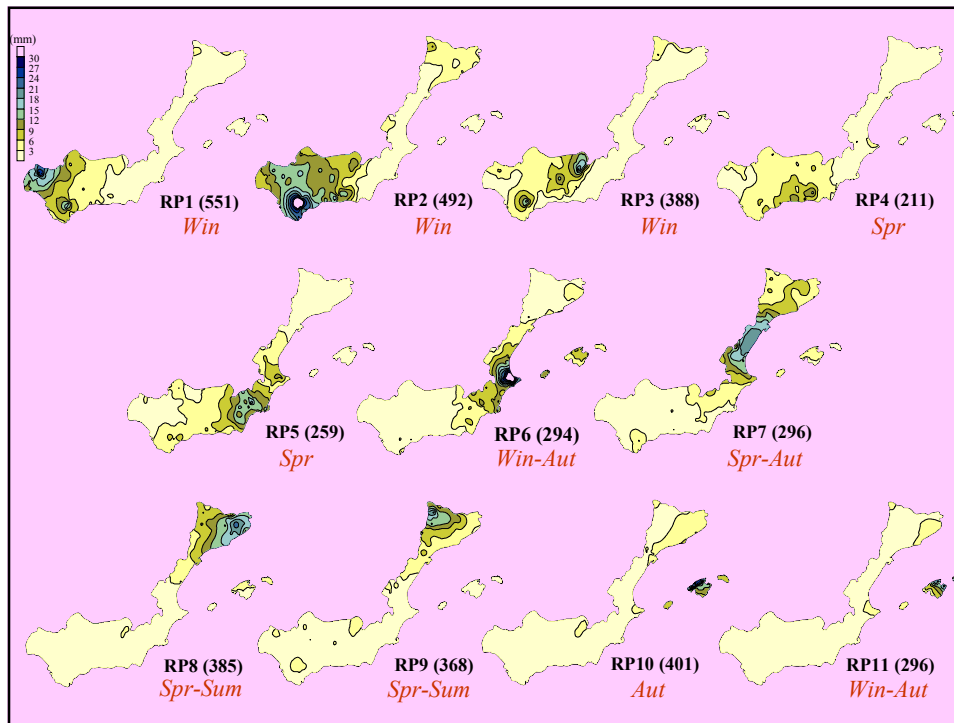
-Downscaling dinámico

-Downscaling estadístico

ATMOSPHERIC CIRCULATION AND PRECIPITATION IN MEDITERRANEAN SPAIN

Trying to find the cause-effect statistical relationship ...



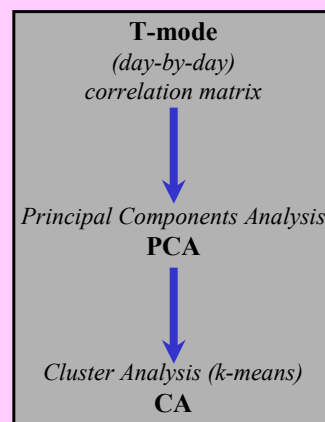
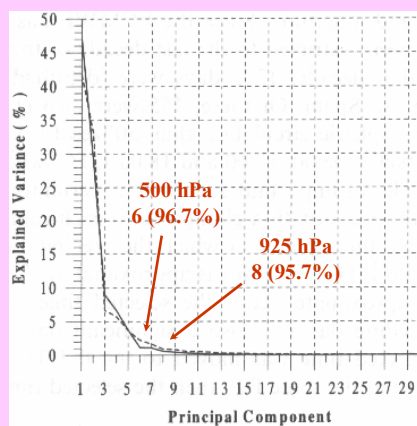


CLASSIFICATION ATMOSPHERIC PATTERNS (APs)

ECMWF analyses on significant days (1984-93) $\Rightarrow$ 1275 days

Geographical window 33.75N-45.75N 11.25W-6.00E $\Rightarrow$ 408 grid points

Classification based on geopotential height at 500 and 925 hPa

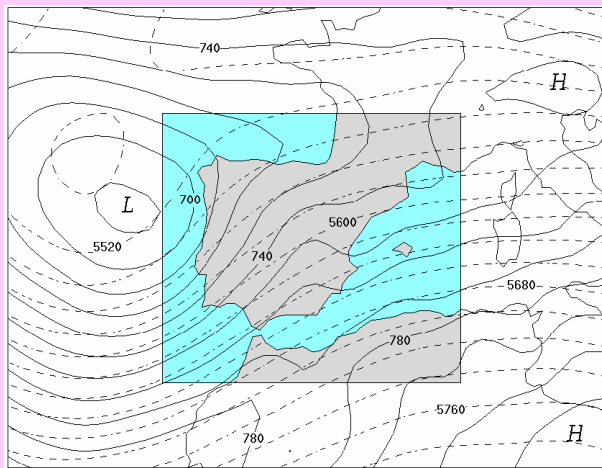


19 APs

Table II. Percentage frequency of the 11 daily RPs within the 19 APs (in bold, percentages greater than 15%) and seasonal distribution of the APs (in bold, percentages greater than 30%)

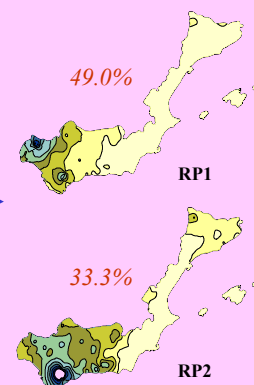
Atmospheric pattern	Number of days	RP1	RP2	RP3	RP4	RP5	RP6	RP7	RPO	RP9	RP10	RP11	Winter	Spring	Summer	Autumn
AP1	51	49.0	33.3	0.0	2.0	0.0	0.0	5.9	5.9	2.0	0.0	1.9	43.1	17.6	5.9	33.4
AP2	71	46.5	23.9	15.5	0.0	1.4	0.0	0.0	2.8	1.4	4.2	4.3	54.9	18.3	1.4	25.4
AP3	84	35.7	36.9	0.0	1.2	4.8	1.2	8.3	8.3	2.4	0.0	1.2	20.2	19.0	6.0	54.8
AP4	105	30.5	36.2	4.8	0.0	0.0	1.0	8.6	2.9	12.4	1.9	1.7	25.7	29.5	3.8	41.0
AP5	58	22.4	25.9	0.0	12.1	15.5	5.2	8.6	0.0	6.9	1.7	1.7	25.9	36.2	0.0	37.9
AP6	78	17.9	15.4	5.1	7.7	21.8	9.0	17.9	3.8	0.0	0.0	1.4	29.5	33.3	9.0	28.2
AP7	100	13.0	9.0	25.0	4.0	3.0	2.0	2.0	14.0	25.0	2.0	1.0	22.0	35.0	8.0	35.0
AP8	76	2.6	13.2	15.8	1.3	3.9	0.0	10.5	23.7	21.1	6.6	1.3	7.9	42.1	23.7	26.3
AP9	86	2.3	8.1	41.9	3.5	0.0	1.2	2.3	16.3	4.7	10.5	9.2	45.3	29.1	9.3	16.3
AP10	28	3.6	10.7	0.0	0.0	10.7	14.3	14.3	28.6	3.6	7.1	7.1	46.4	10.7	0.0	42.9
AP11	70	1.4	1.4	4.3	2.9	4.3	11.4	11.4	30.0	20.0	7.1	5.8	5.7	30.0	41.4	22.9
AP12	23	0.0	0.0	0.0	8.7	4.3	69.6	0.0	4.3	0.0	8.7	4.4	47.8	17.4	0.0	34.8
AP13	66	1.5	3.0	0.0	3.0	28.8	40.9	12.1	4.5	1.5	4.5	0.2	53.0	19.7	3.0	24.3
AP14	56	3.6	3.6	8.9	3.6	17.9	16.1	21.4	3.6	14.3	5.4	1.6	8.9	35.7	33.9	21.5
AP15	25	4.0	8.0	0.0	16.0	20.0	4.0	24.0	0.0	8.0	8.0	12.5	16.0	32.0	12.0	40.0
AP16	73	4.1	4.1	0.0	9.6	16.4	8.2	6.8	20.5	0.0	17.8	12.5	12.3	28.8	38.4	20.5
AP17	52	0.0	3.8	0.0	5.8	9.6	36.5	0.0	1.9	0.0	19.2	23.2	30.8	23.1	15.4	30.7
AP18	86	2.3	2.3	8.1	0.0	4.7	7.0	2.3	17.4	2.3	24.4	29.2	26.7	41.9	8.1	23.3
AP19	87	0.0	1.1	1.1	4.6	1.1	5.7	1.1	10.3	1.1	37.9	36.0	34.5	40.2	4.6	20.7
Total	1275	13.7	13.6	8.5	3.8	7.8	9.1	7.5	10.9	7.5	9.1	8.3	28.2	29.9	12.1	29.8

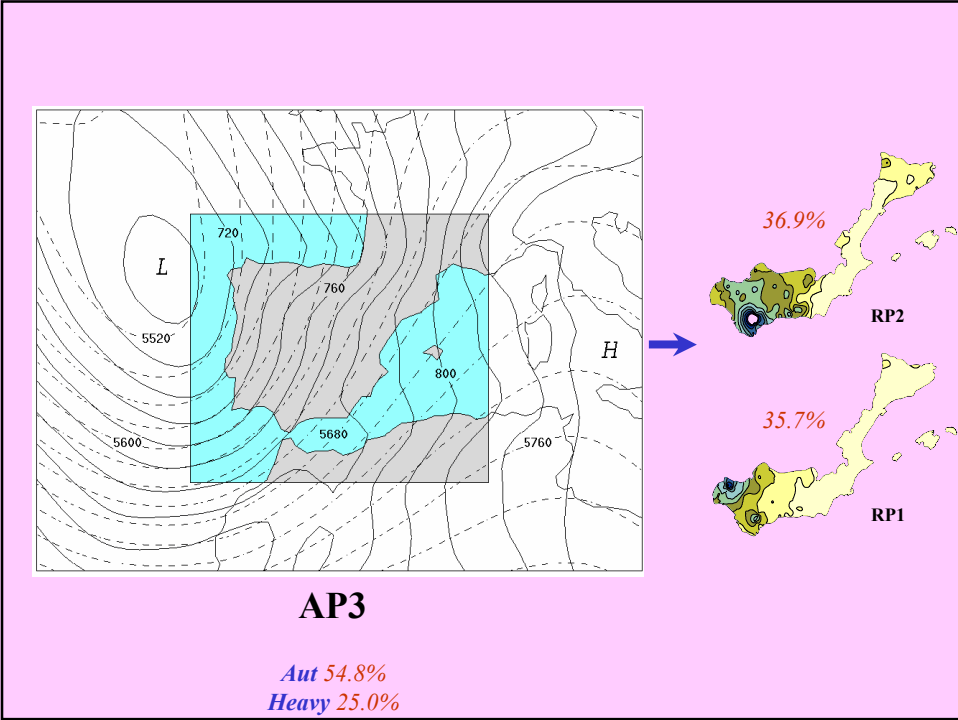
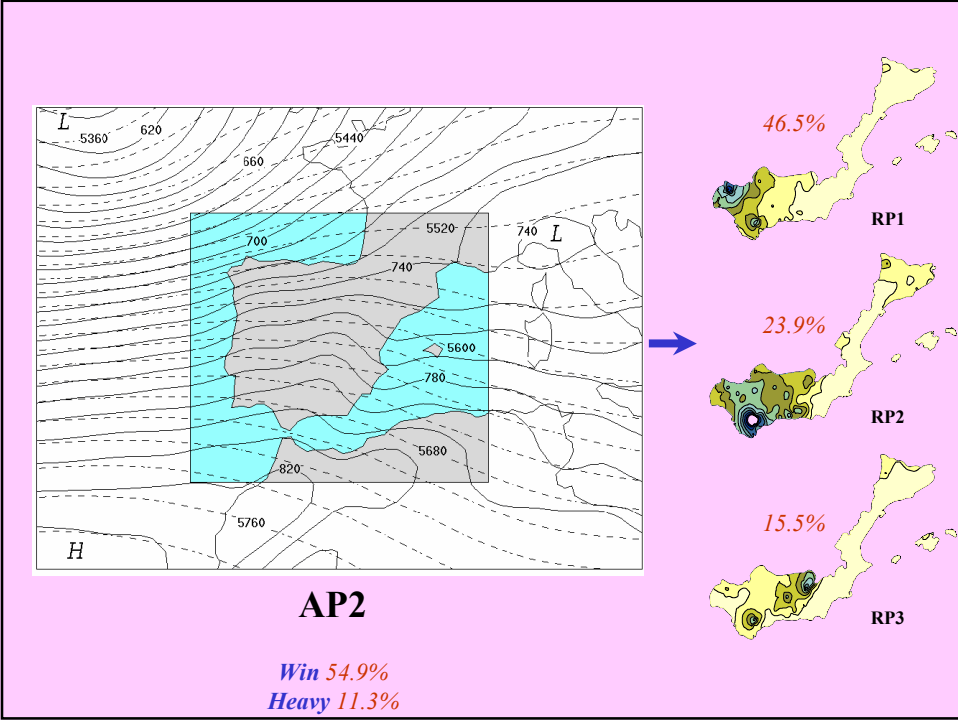
CLEAR
ASSOCIATION

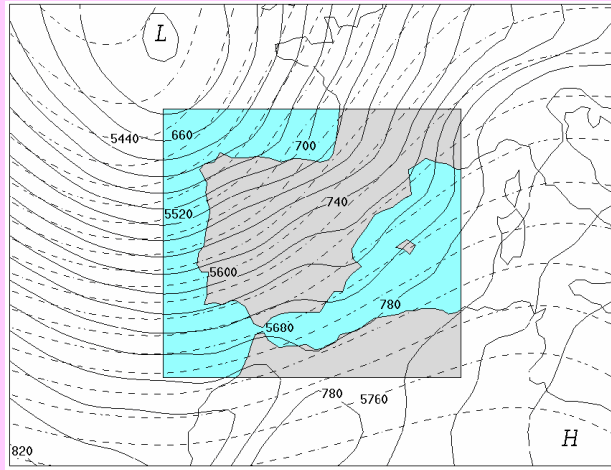


AP1

Win 43.1% - Aut 33.4%
Heavy 15.7%

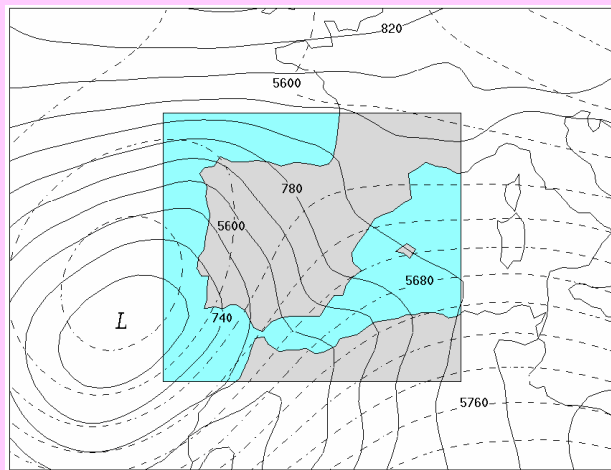
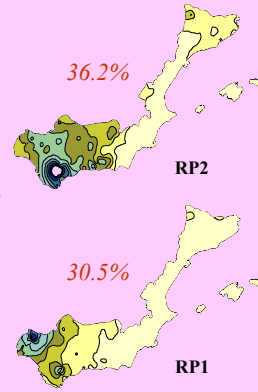






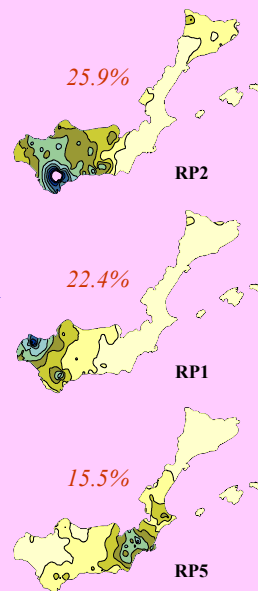
AP4

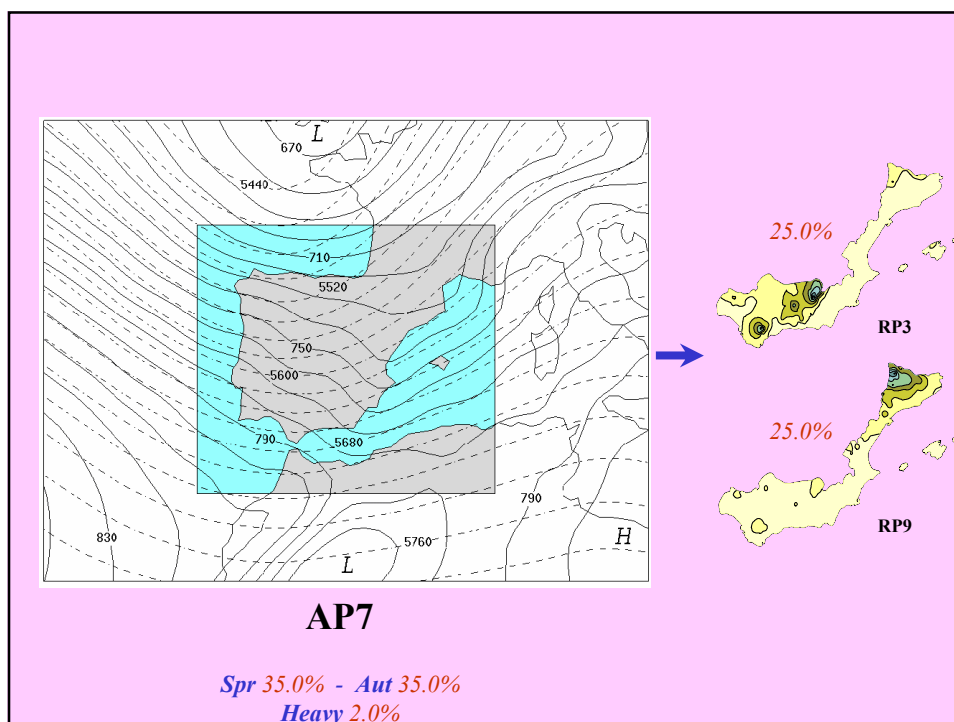
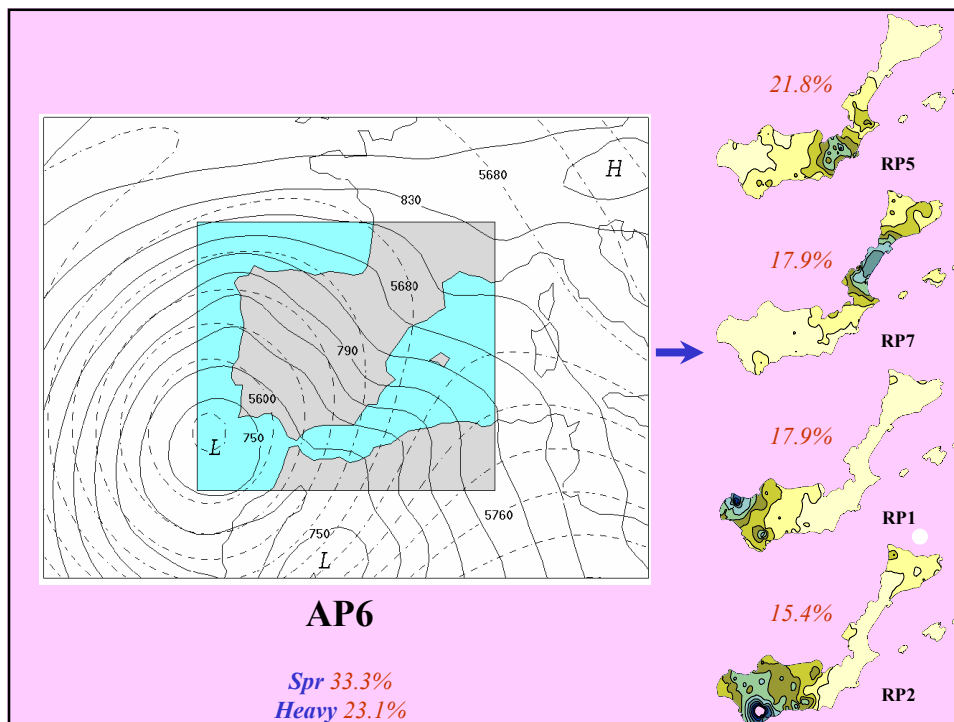
Aut 41.0%
Heavy 15.2%

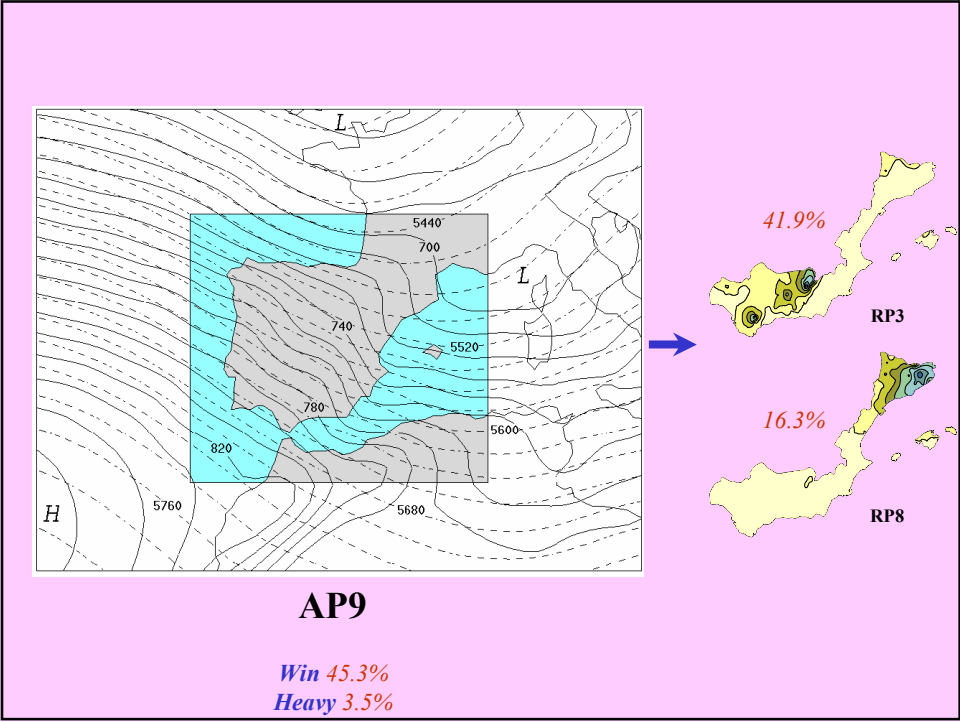
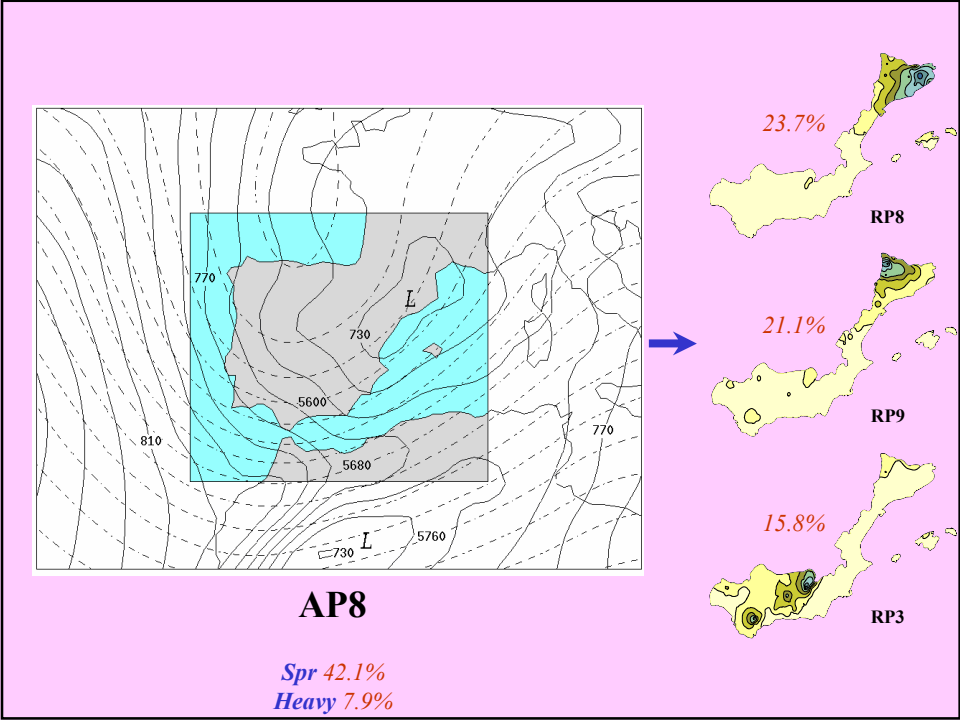


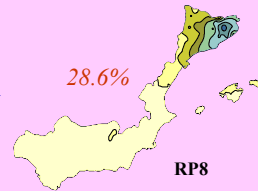
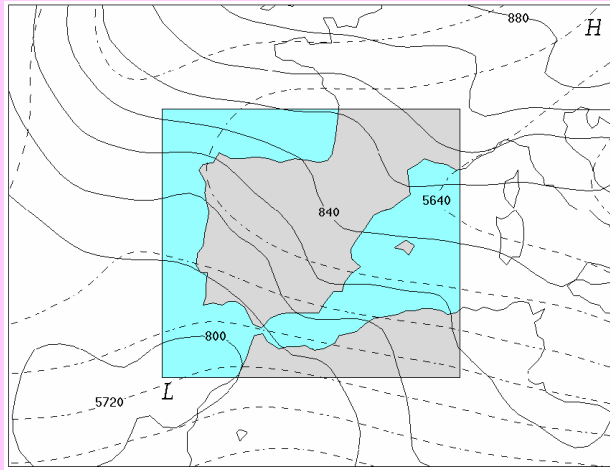
AP5

Aut 37.9% - *Spr* 36.2%
Heavy 17.2%



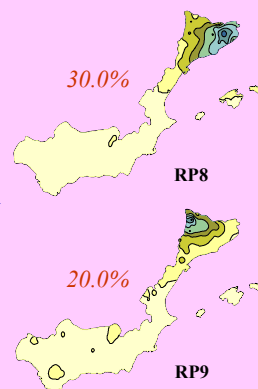
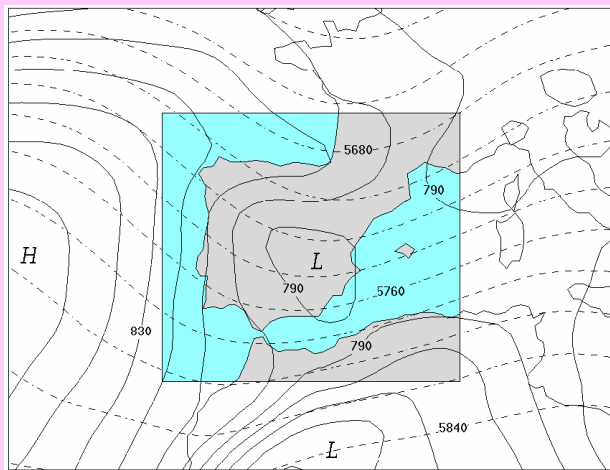






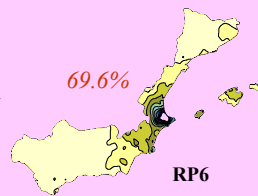
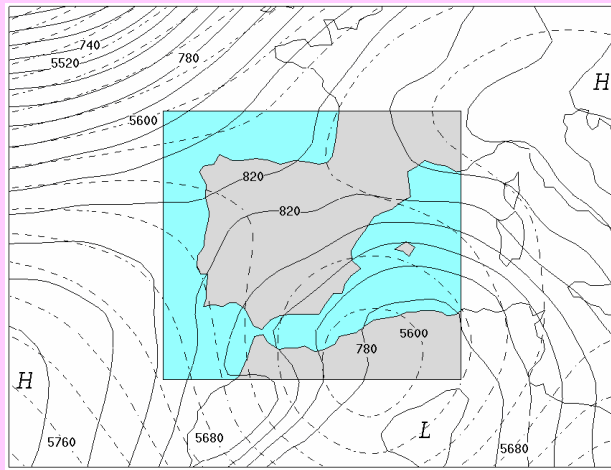
AP10

Win 46.4% - Aut 42.9%
Heavy 10.7%



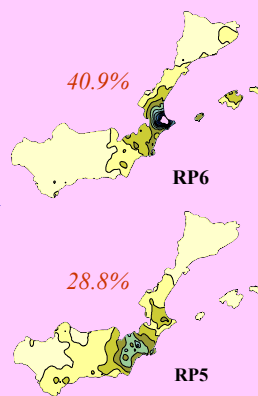
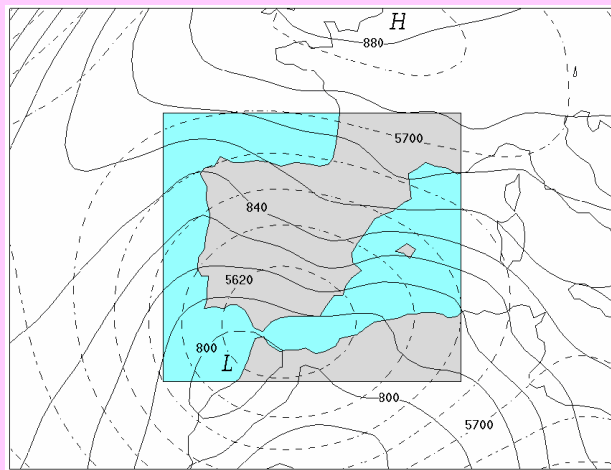
AP11

Sum 41.4% - Spr 30.0%
Heavy 0.0%



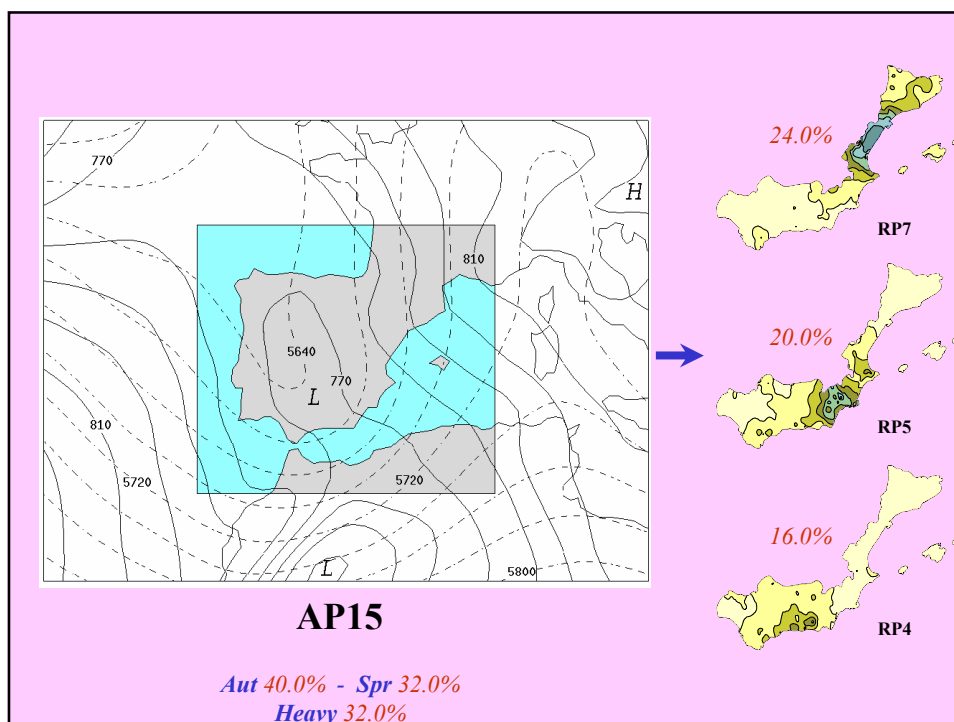
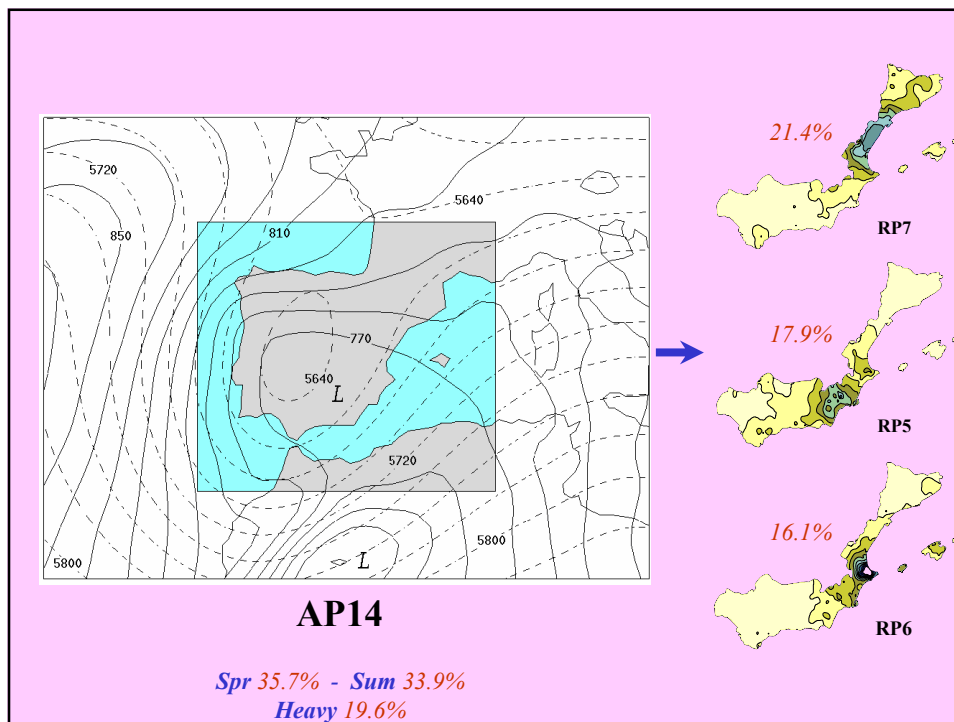
AP12

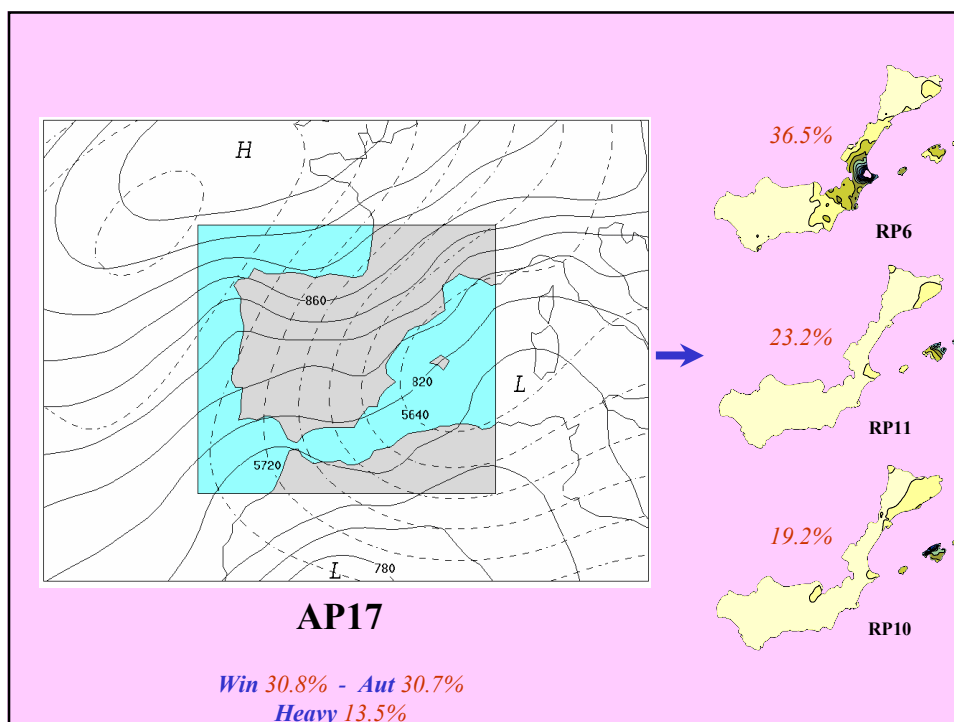
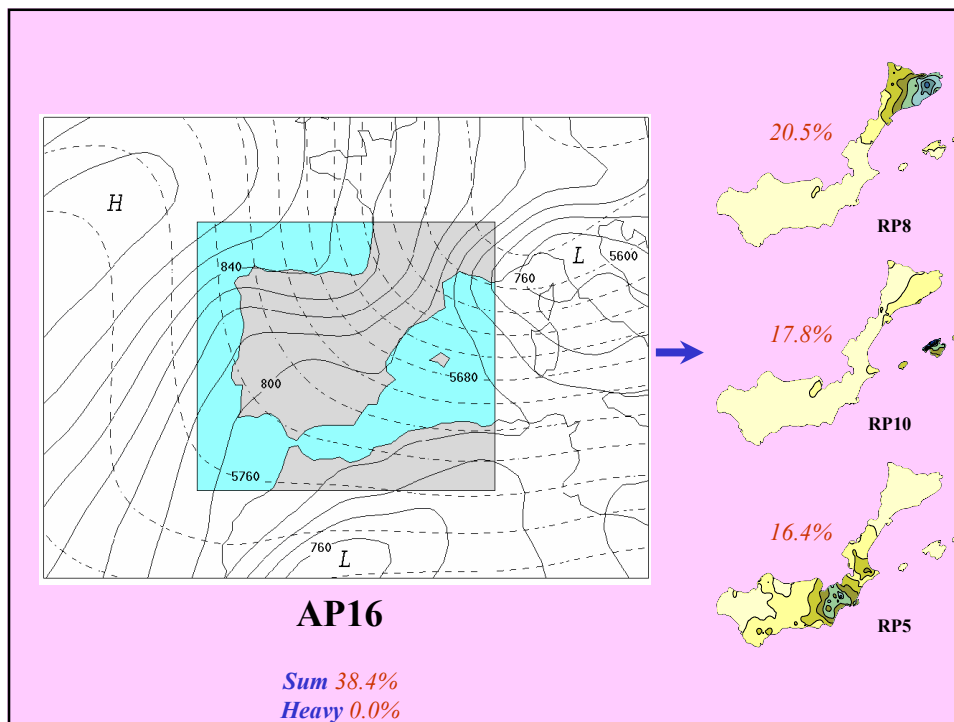
Win 47.8% - Aut 34.8%
Heavy 21.7%

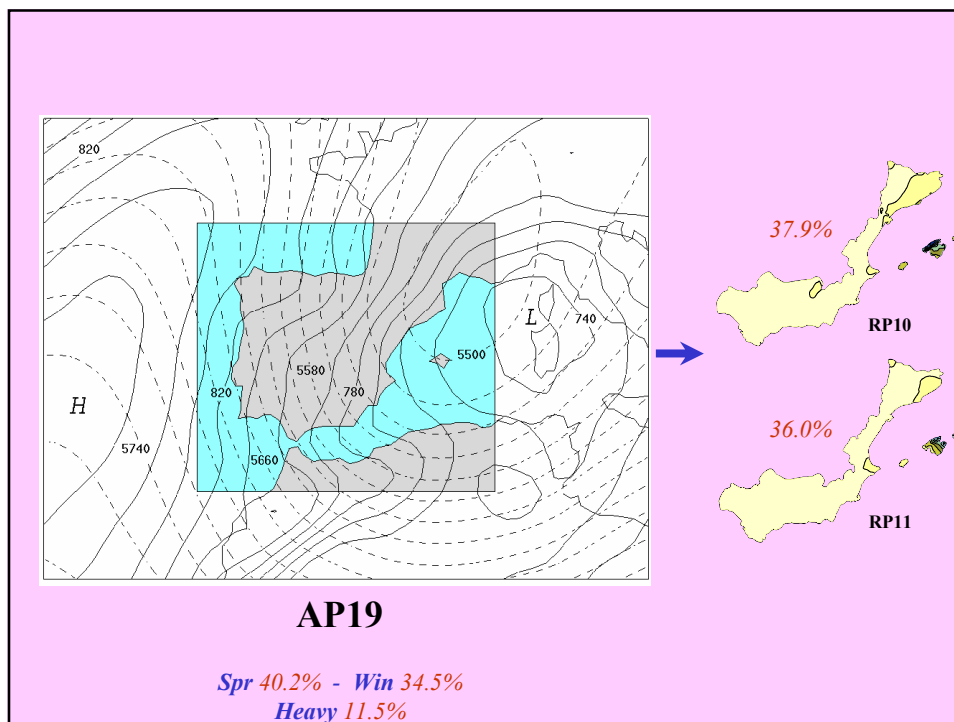
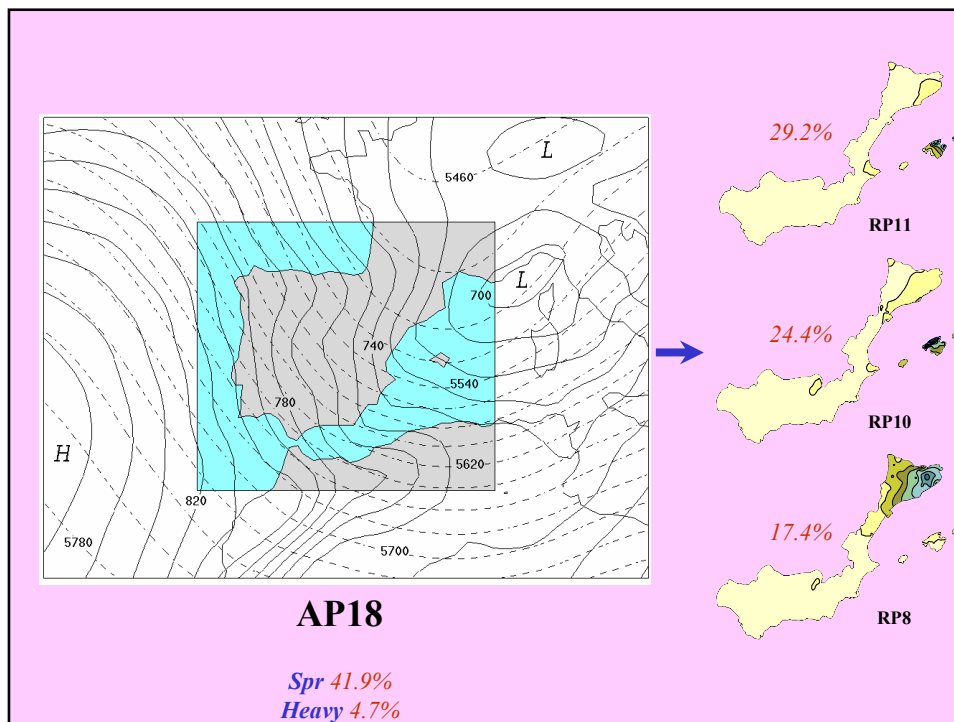


AP13

Win 53.0%
Heavy 37.9%







STATISTICAL DOWNSCALING OF THE RAINFALL IN MEDITERRANEAN SPAIN BY THE LATE 21st CENTURY

Combining an AOGCM with the previous cause-effect links

“DOWNSCALING” EN BASE A LOS RESULTADOS PREVIOS

Simulación del clima futuro con un GCM

Modelo ECHAM-OPYC3 aplicado a 1860-2099

- Modelo T42 ECHAM4: 19 niveles verticales / 2.8° de resolución horizontal
- Modelo OPYC3: 11 niveles verticales / mayor resolución en los trópicos
- 1860-1990: Concentraciones históricas de los gases de E.I.
- Tras 1990: Escenario A (IPCC)

MÉTODO DE
DOWNSCALING

Cambios en la precipitación de la zona mediterránea
a finales del presente siglo ?

ESTRATEGIA

Table II. Percentage frequency of the 11 daily RPs within the 19 APs (in bold, percentages greater than 15%) and seasonal distribution of the APs (in bold, percentages greater than 30%)

Atmospheric pattern	Number of days	RP1	RP2	RP3	RP4	RP5	RP6	RP7	RP8	RP9	RP10	RP11	Winter	Spring	Summer	Autumn
AP1	E C H A M P I O N E S	49.0	33.3	0.0	2.0	0.0	0.0	5.9	5.9	2.0	0.0	1.9	43.1	17.6	5.9	33.4
AP2		46.5	23.9	15.5	0.0	1.4	0.0	0.0	2.8	1.4	4.2	4.3	54.9	18.3	1.4	25.4
AP3		35.7	36.9	0.0	1.2	4.8	1.2	8.3	8.3	2.4	0.0	1.2	20.2	19.0	6.0	54.8
AP4		30.5	36.2	4.8	0.0	0.0	1.0	8.6	2.9	12.4	1.9	1.7	25.7	29.5	3.8	41.0
AP5		22.4	25.9	0.0	12.1	15.5	5.2	8.6	0.0	6.9	1.7	1.7	25.9	36.2	0.0	37.9
AP6		17.9	15.4	5.1	7.7	21.8	9.0	17.9	3.8	0.0	0.0	1.4	29.5	33.3	9.0	28.2
AP7		13.0	9.0	25.0	4.0	3.0	2.0	2.0	14.0	25.0	2.0	1.0	22.0	35.0	8.0	35.0
AP8		2.6	13.2	15.8	1.3	3.9	0.0	10.5	23.7	21.1	6.6	1.3	7.9	42.1	23.7	26.3
AP9		2.3	8.1	41.9	3.5	0.0	1.2	2.3	16.3	4.7	10.5	9.2	45.3	29.1	9.3	16.3
AP10		3.6	10.7	0.0	0.0	10.7	14.3	14.3	28.6	3.6	7.1	7.1	46.4	10.7	0.0	42.9
AP11		1.4	1.4	4.3	2.9	4.3	11.4	11.4	30.0	20.0	7.1	5.8	5.7	30.0	41.4	22.9
AP12		0.0	0.0	0.0	8.7	4.3	69.6	0.0	4.3	0.0	8.7	4.4	47.8	17.4	0.0	34.8
AP13		1.5	3.0	0.0	3.0	28.8	40.9	12.1	4.5	1.5	4.5	0.2	53.0	19.7	3.0	24.3
AP14		3.6	3.6	8.9	3.6	17.9	16.1	21.4	3.6	14.3	5.4	1.6	8.9	35.7	33.9	21.5
AP15		4.0	8.0	0.0	16.0	20.0	4.0	24.0	0.0	8.0	8.0	12.5	12.3	28.8	38.4	20.5
AP16		4.1	4.1	0.0	9.6	16.4	8.2	6.8	20.5	0.0	17.8	12.5	16.0	32.0	12.0	40.0
AP17		0.0	3.8	0.0	5.8	9.6	36.5	0.0	1.9	0.0	19.2	23.2	30.8	23.1	15.4	30.7
AP18		2.3	2.3	8.1	0.0	4.7	7.0	2.3	17.4	2.3	24.4	29.2	26.7	41.9	8.1	23.3
AP19		0.0	1.1	1.1	4.6	1.1	5.7	1.1	10.3	1.1	37.9	36.0	34.5	40.2	4.6	20.7
Total		13.7	13.6	8.5	3.8	7.8	9.1	7.5	10.9	7.5	9.1	8.3	28.2	29.9	12.1	29.8

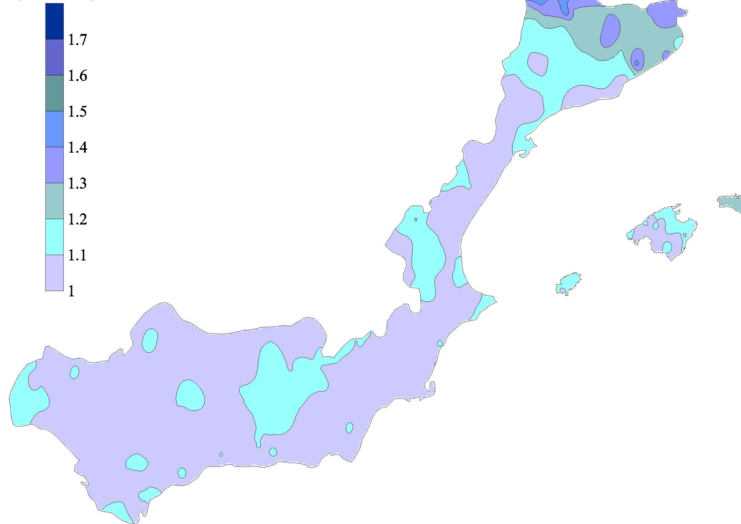
2080 – 2099

11 décadas
móviles

- 1) Mismas relaciones entre APs y RPs
- 2) Similar magnitud de la precipitation para cada RP
- 3) Mismo factor $\phi_i = R_i/S_i$ para la obtención de totales

PRECIPITACIÓN FUTURA

(factor)



ESTRATEGIA (continuación)

Table II. Percentage frequency of the 11 daily RPs within the 19 APs (in bold, percentages greater than 15%) and seasonal distribution of the APs (in bold, percentages greater than 30%)

Atmospheric pattern	Number of days	RP1	RP2	RP3	RP4	RP5	RP6	RP7	RP8	RP9	RP10	RP11	Winter	Spring	Summer	Autumn
AP1	E C H A M P R E S S T	49.0	33.3	0.0	2.0	0.0	0.0	5.9	5.9	2.0	0.0	1.9	43.1	17.6	5.9	33.4
AP2		46.5	23.9	15.5	0.0	1.4	0.0	0.0	2.8	1.4	4.2	4.3	54.9	18.3	1.4	25.4
AP3		35.7	36.9	0.0	1.2	4.8	1.2	8.3	8.3	2.4	0.0	1.2	20.2	19.0	6.0	54.8
AP4		30.5	36.2	4.8	0.0	0.0	1.0	8.6	2.9	12.4	1.9	1.7	25.7	29.5	3.8	41.0
AP5		22.4	25.9	0.0	12.1	15.5	5.2	8.6	0.0	6.9	1.7	1.7	25.9	36.2	0.0	37.9
AP6		17.9	15.4	5.1	7.7	21.8	9.0	17.9	3.8	0.0	0.0	1.4	29.5	33.3	9.0	28.2
AP7		13.0	9.0	25.0	4.0	3.0	2.0	2.0	14.0	25.0	2.0	1.0	22.0	35.0	8.0	35.0
AP8		2.6	13.2	15.8	1.3	3.9	0.0	10.5	23.7	21.1	6.6	1.3	7.9	42.1	23.7	26.3
AP9		2.3	8.1	41.9	3.5	0.0	1.2	2.3	16.3	4.7	10.5	9.2	45.3	29.1	9.3	16.3
AP10		3.6	10.7	0.0	0.0	10.7	14.3	14.3	28.6	3.6	7.1	7.1	46.4	10.7	0.0	42.9
AP11		1.4	1.4	4.3	2.9	4.3	11.4	11.4	30.0	20.0	7.1	5.8	5.7	30.0	41.4	22.9
AP12		0.0	0.0	0.0	8.7	4.3	69.6	0.0	4.3	0.0	8.7	4.4	47.8	17.4	0.0	34.8
AP13		1.5	3.0	0.0	3.0	28.8	40.9	12.1	4.5	1.5	4.5	0.2	53.0	19.7	3.0	24.3
AP14		3.6	3.6	8.9	3.6	17.9	16.1	21.4	3.6	14.3	5.4	1.6	8.9	35.7	33.9	21.5
AP15		4.0	8.0	0.0	16.0	20.0	4.0	24.0	0.0	8.0	8.0	8.0	16.0	32.0	12.0	40.0
AP16		4.1	4.1	0.0	9.6	16.4	8.2	6.8	20.5	0.0	17.8	12.5	12.3	28.8	38.4	20.5
AP17		0.0	3.8	0.0	5.8	9.6	36.5	0.0	1.9	0.0	19.2	23.2	30.8	23.1	15.4	30.7
AP18		2.3	2.3	8.1	0.0	4.7	7.0	2.3	17.4	2.3	24.4	29.2	26.7	41.9	8.1	23.3
AP19		0.0	1.1	1.1	4.6	1.1	5.7	1.1	10.3	1.1	37.9	36.0	34.5	40.2	4.6	20.7
Total		13.7	13.6	8.5	3.8	7.8	9.1	7.5	10.9	7.5	9.1	8.3	28.2	29.9	12.1	29.8

1971 – 1990

11 décadas
móviles

VALIDACIÓN / CALIBRACIÓN DEL MODELO

FUTURO COMPENSADO
121 décadas (MEDIA + VARIABILIDAD)

TÉCNICA DEL ANÁLOGO

