

Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos en Régimen Natural



Seminario Sectorial del Plan Nacional de
Adaptación al Cambio Climático

TALLER TÉCNICO SOBRE ESCENARIOS
CLIMÁTICOS Y REGIONALIZACIÓN

Javier Álvarez Rodríguez (javier.alvarez@cedex.es)

Luis Miguel Barranco Sanz (luis.m.barranco@cedex.es)

Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX

<http://www.cedex.es/> y <http://hercules.cedex.es/>

Contexto y coordinación institucional

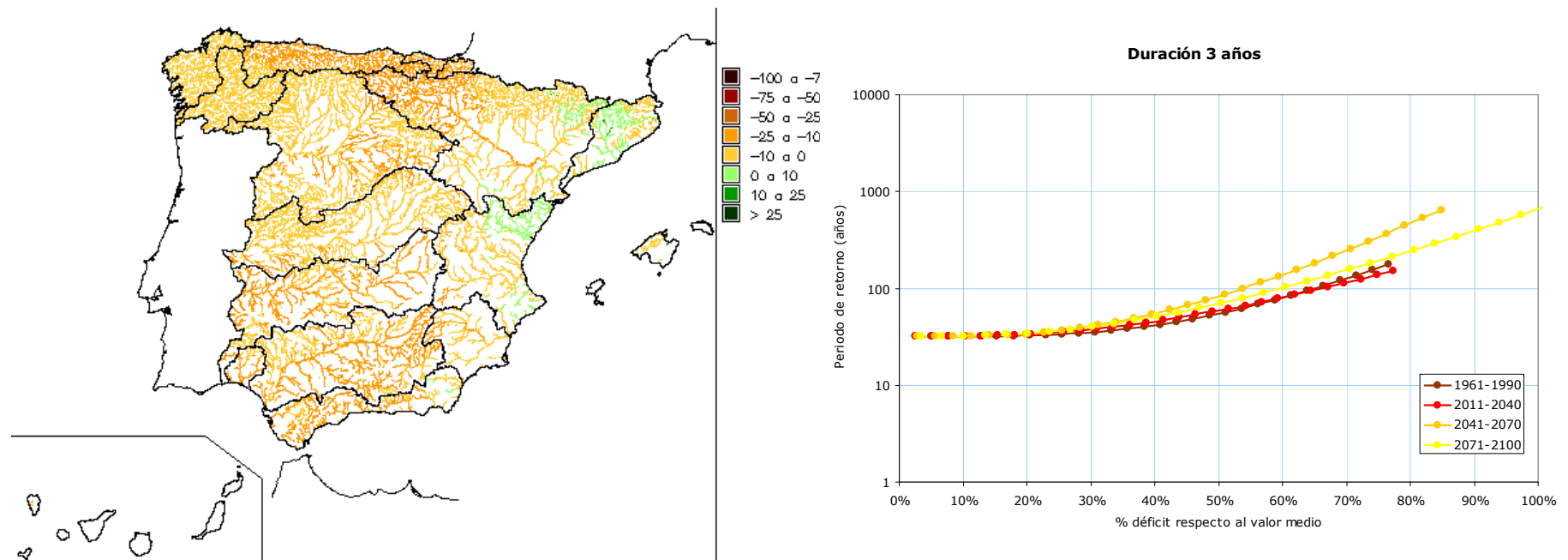
- ❑ Encomienda de Gestión: 23 de abril de 2007 (BOE 11 agosto, 2007) con la que la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino encargó al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) el estudio de los impactos del cambio climático en recursos hídricos y masas de agua
 - En los recursos hídricos
 - En las demandas de agua y estrategias de adaptación
 - En los recursos hídricos disponibles en los sistemas de explotación
 - En el estado ecológico de las masas de agua
- ❑ Coordinación del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino:
 - Subdirección de Planificación y Uso Sostenible del Agua
 - Oficina Española de Cambio Climático
- ❑ Colaboración con AEMET
 - Acceso a proyecciones regionalizadas del TAR
 - Selección de proyecciones regionalizadas

Índice de la presentación

- Evaluación del impacto del cambio climático
 - Disponibilidad de información y objetivo
 - Proyecciones regionalizadas de la AEMET (2008)
 - Impactos en recursos hídricos, sequías y crecidas
 - Metodología
 - RR.HH.
 - Implementación de las proyecciones regionalizadas en el modelo cuasi-distribuido de Témez (SIMPA-MCDT) para estimar variables hidrológicas en régimen natural en cualquier punto de la red hidrográfica. SIMPA: Sistema Integrado para la simulación de procesos precipitación-aportación
 - MAS y parametrización proceso de planificación hidrológica
 - Paso de tiempo mensual y resolución 1 km²
 - Extremos: índices de cambio regionales
- Resultados y conclusiones

Objetivos

- Evaluación del impacto del cambio climático:
 - Recursos hídricos
 - Sequías y crecidas



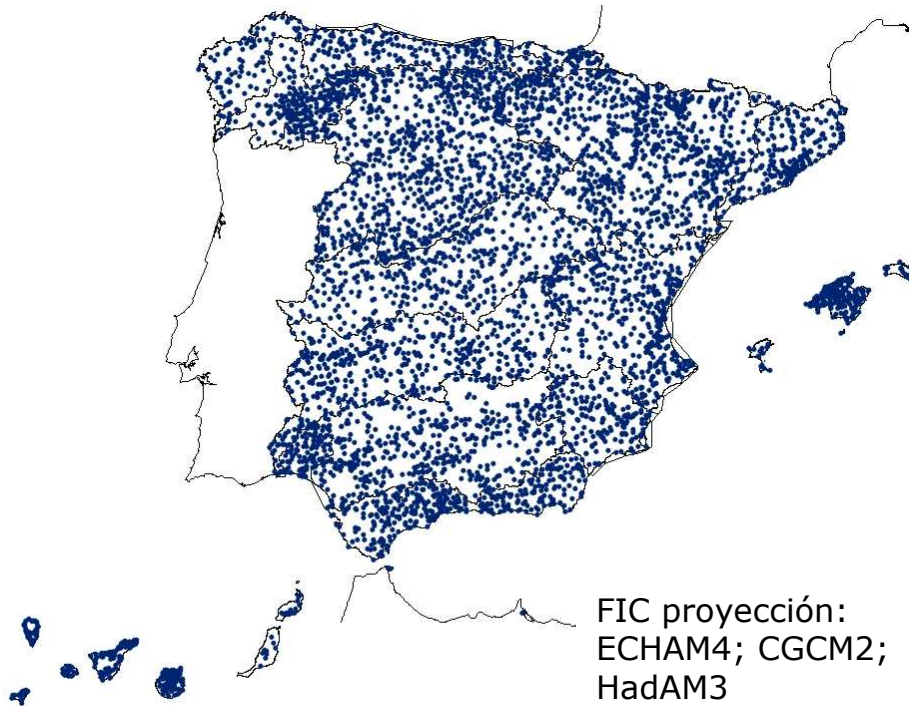
Datos

- Escenarios regionalizados para la evaluación del impacto del cambio climático. AEMET, 2008.
 - Participación
 - Fundación para la investigación del clima, FIC
 - Universidades de Castilla La Mancha y Rovira i Virgili
 - Práctica
 - Selección de proyecciones
- Componentes de las proyecciones regionalizadas:
 - Escenarios de emisión. A2 y B2
 - Modelos de circulación atmosférica, acoplados o no al océano
 - Regionalización
 - Periodos de análisis: 1961-1990; 2011-2040; 2041-2070; y 2071-2100
 - Representan la variabilidad del conjunto de proyecciones
 - Equiprobabilidad

Proyecciones seleccionadas (TAR+regionalización)

Escenarios emisión	GCM	Regionalización	1	2	2	2	Lluvia	Temperatura	Extensión	Escala			
			9	0	0	0							
			6	1	4	7							
			1	1	1	1							
			-	-	-	-							
			1	2	2	2							
			9	0	0	1							
			9	4	7	0							
			0	0	0	0							
A2	CGCM2	Análogos FIC					5579	1854	Península Ibérica e Islas Baleares y Canarias	Estaciones meteorológicas			
B2				√	√	√					√		
A2	ECHAM4												
B2													
A2	HadAM3			√							√		
B2													
A2	HadCM3		SDSM	√	√	√					√	2320	369
B2													
A2	ECHAM4	RCM-RCAO- SMHI y PRUDENCE					Total: 988 celdas; 38x26	34,25° N - 47,25° N & 12,25° W - 6,75° E. Sin datos Baleares Canarias	Resolución celda 0,5°				
B2													
A2	HadCM3	RCM- PROMES. UCM y PRUDENCE	√			√							
B2													

Series de lluvia. FIC y SDSM

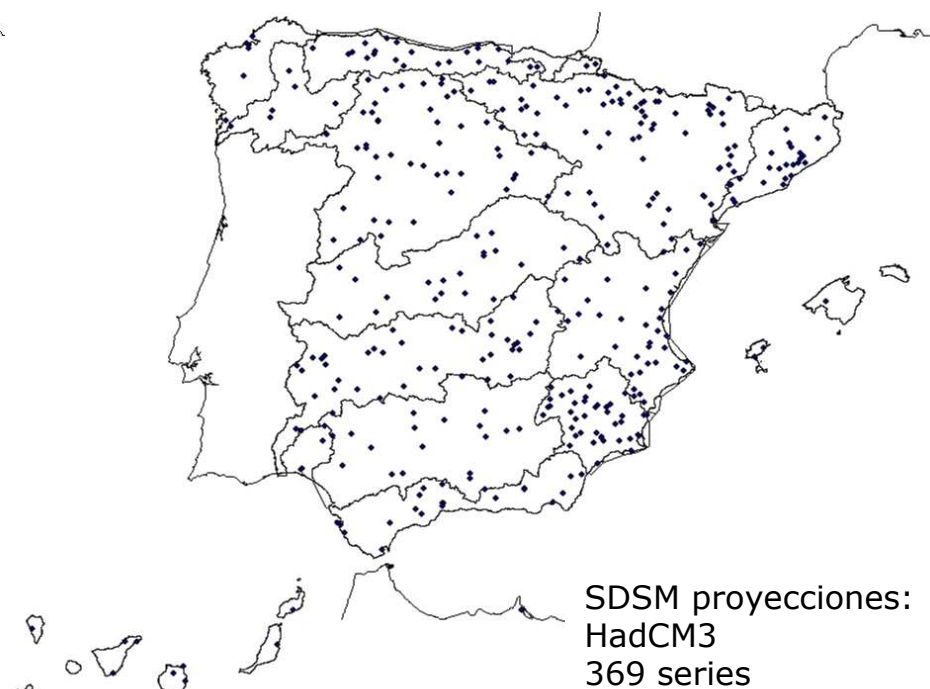
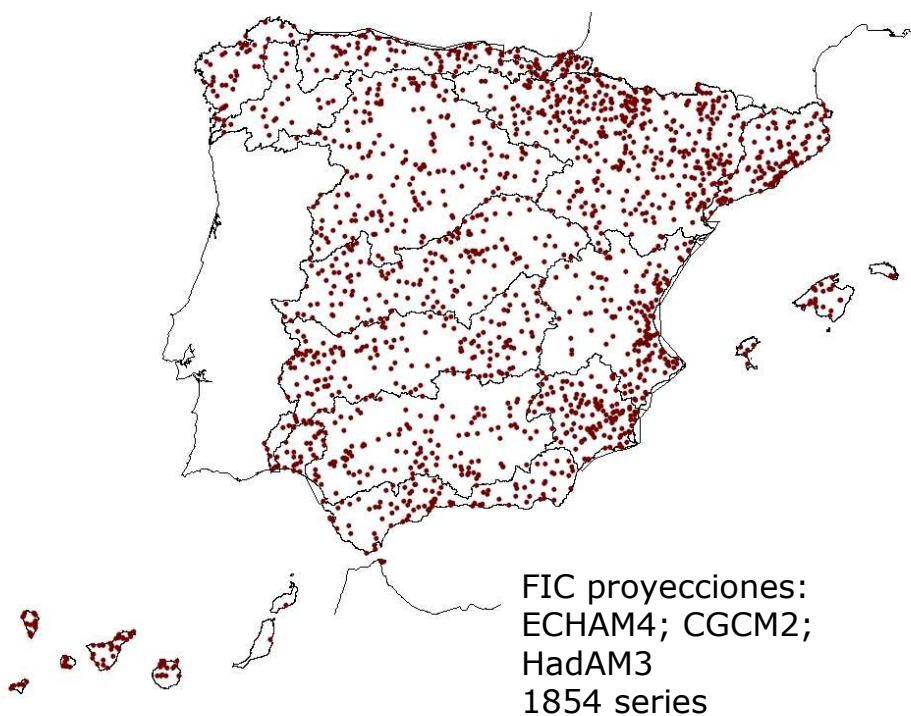


FIC proyección:
ECHAM4; CGCM2;
HadAM3
5579 series

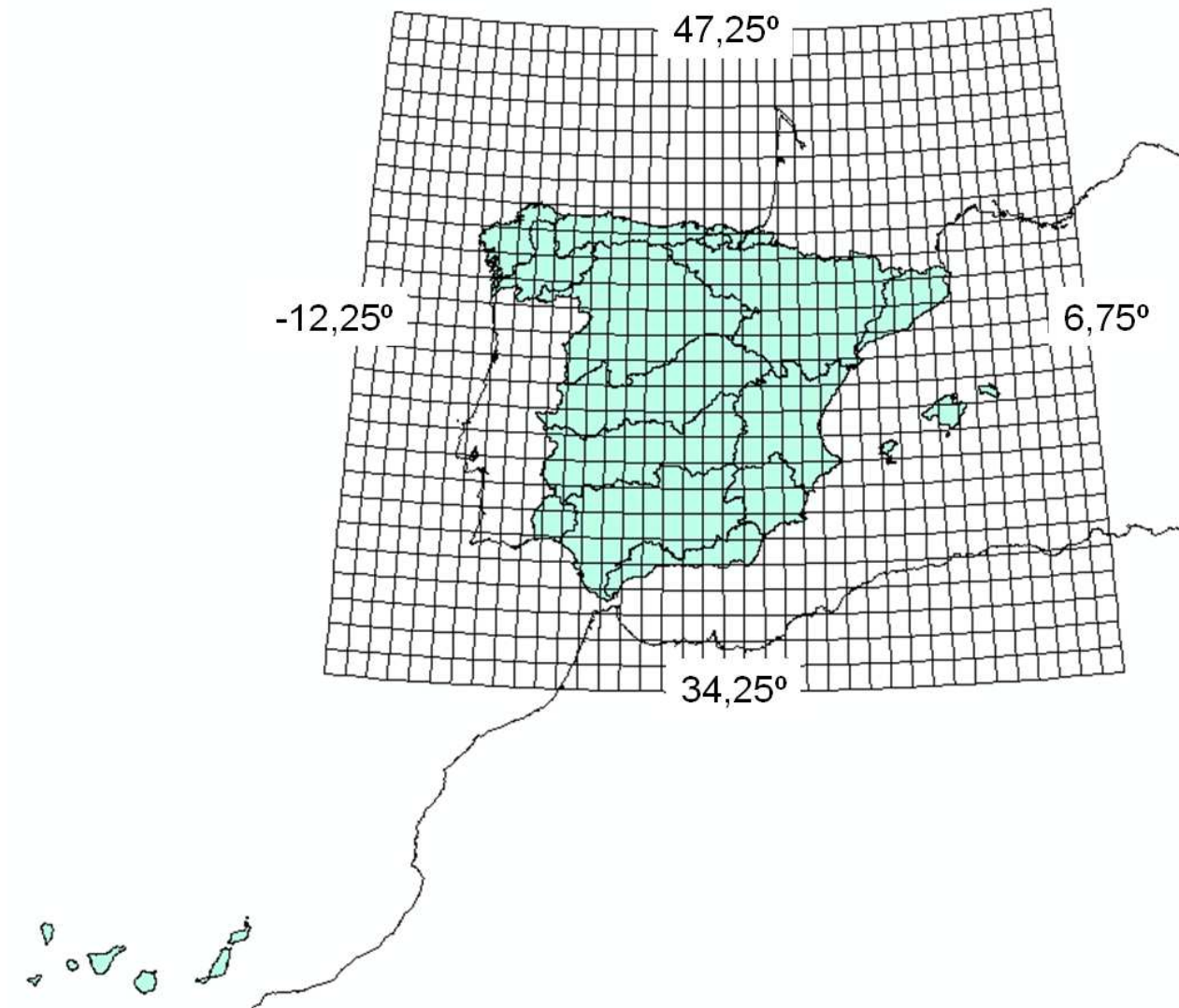


SDSM proyección:
HadCM3
2320 series

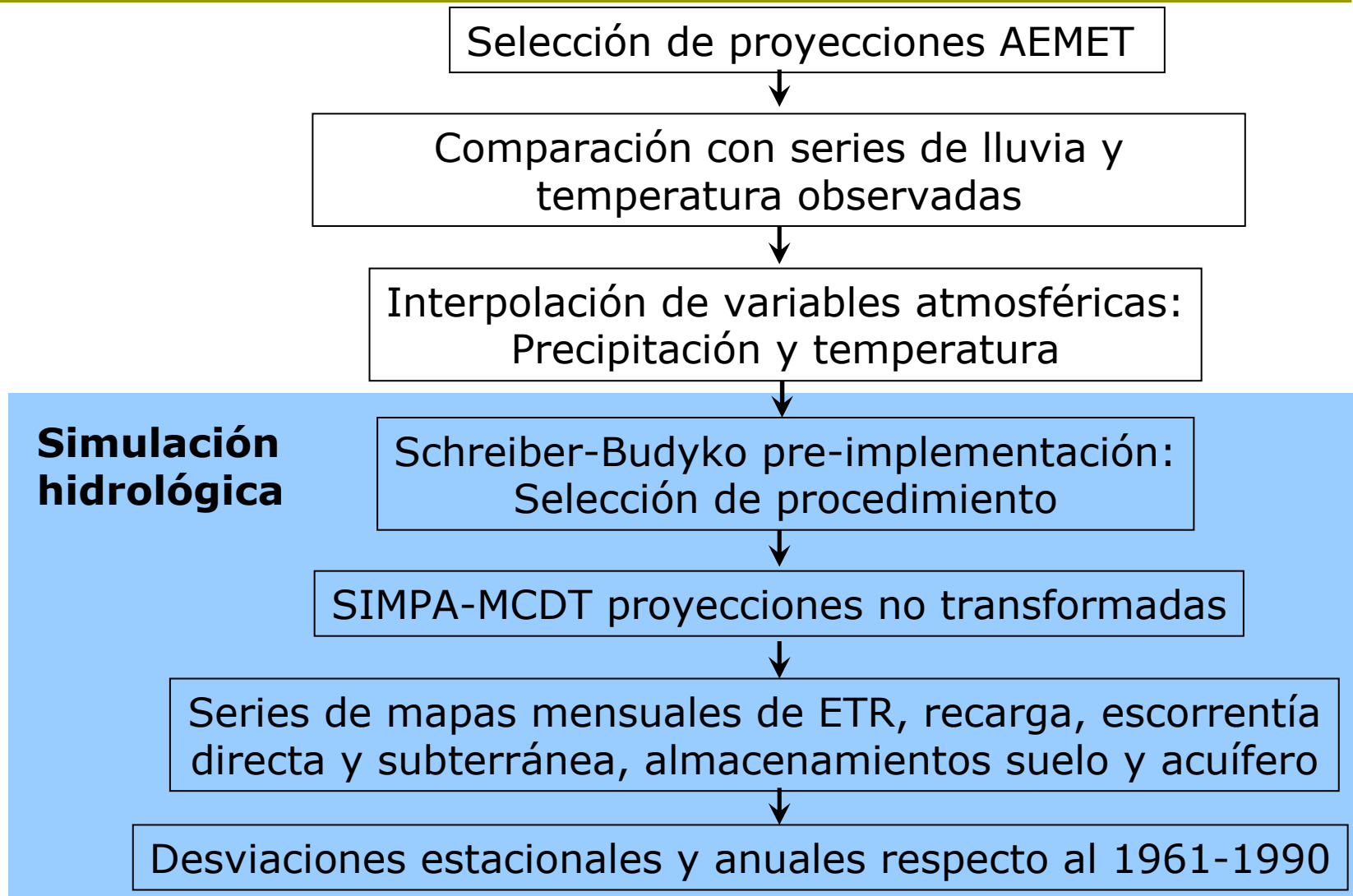
Series de temperatura. FIC y SDSM



Regionalización PRUDENCE



Metodología



SIMPA. Definición

- Sistema integrado para la modelización de procesos precipitación-aportación
 - Implementación de herramientas hidrológicas del CEH-CEDEX
 - Plataforma de trabajo basada en LINUX+GIS-GRASS
- Módulos:
 - Recursos hídricos
 - Eventos
 - Sequía y sistema de indicadores
 - Calidad
 - Herramientas básicas:
 - Análisis de la información espacial
 - Parametrización a partir de datos fisiográficos
 - Despliegue y análisis de series temporales
 - Ajuste de funciones de distribución
 - Completado
 - Estimación de índices: cuantiles, SPI, BFI, ...

Histórico de SIMPA:

- ❑ Evaluaciones de recursos hídricos en España:
 - Cabecera del Guadiana (GRAPES, European Union Project ENV4-CT95-0186)
 - *Libro Blanco del Agua en España* (MARM, 2000) y Plan Hidrológico Nacional (MARM, 2000)
 - Proceso de Planificación Hidrológica e implementación de la Directiva Marco del Agua
 - Cambio Climático
- ❑ Cooperación internacional: evaluación de recursos hídricos en Honduras
- ❑ Crecidas:
 - Elementos de drenaje transversal: Dirección General de Carreteras
 - Evaluación de eventos en Badajoz y Biescas
- ❑ Caracterización de sequías y SIEH

Interfaz gráfica SIMPA

The image shows the SIMPA 4.2 graphical user interface. It features a menu bar with options: Proyecto, Ver, Análisis, Simulación, Utilidades, and Ayuda. The main header includes the logos of the Spanish Government and CEDEX, along with the text 'SIMPA 4.2. SISTEMA INTEGRADO DE MODELACIÓN PRECIPITACIÓN-APORTACIÓN' and 'CEDEX - CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS'.

A central window titled 'ACERCA DE...' displays a landscape image of a mountain valley with a river and snow patches. To the right of the image, there is descriptive text about the program's development and usage.

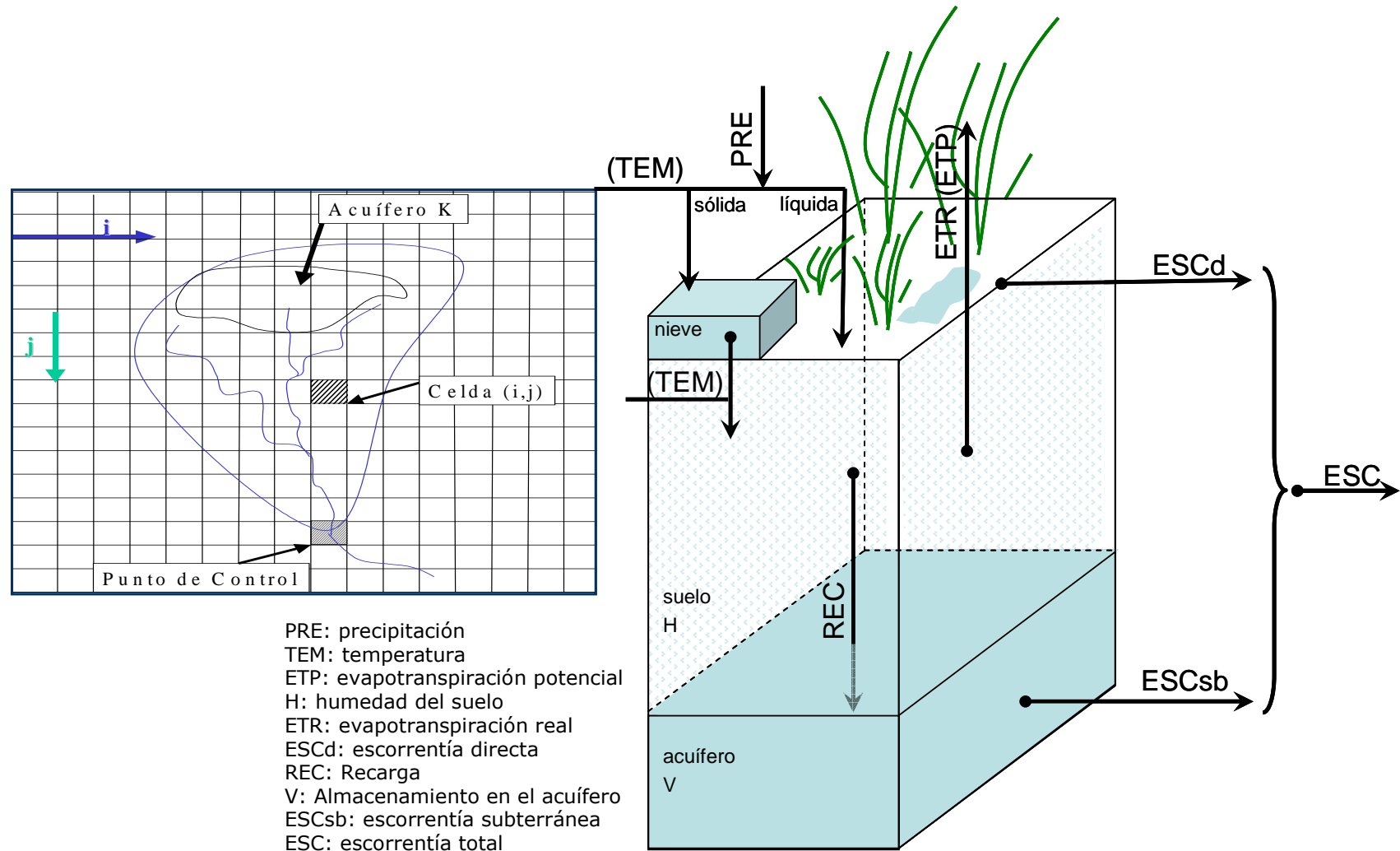
The main configuration panel is divided into several sections:

- Project Information:**
 - Proyecto: VELILLOSJA
 - Región: region50.reg
 - Máscara: cvelillos50.mask
 - Location: VELILLOS
 - Mapset: JALVAREZ
 - Descripción: Curso SIMPA
 - Ruta: /home/datagrass
- LEMA (Lago de Embalse de Matagorda):**
 - Fichero: lemaP2.dat
 - Localización: cvelillos
- EVENTO (Evento de Precipitación):**
 - Fichero: 22100330.e2000
 - Localización: cvelillos
- Periodo hidrológico de visualización:**
 - 1940: [Slider]
 - 2005: [Slider]
- Simulation Parameters:**
 - Simulación recursos: recursos.smr
 - Precipitaciones: llvelillos.dat
 - Direcciones Drenaje: mddren50
 - Temp. máximas: tmxvel.dat
 - Temp. mínimas: tmnvel.dat
 - Temp. medias: temvel.dat
 - Puntos control: pcontrol.dat
 - Matricial de cuencas: cvelillos
 - Caudales medios: q5042Rest.dat
 - Bombos: [Empty field]
 - Piezometría: [Empty field]
 - Piezómetros control: [Empty field]
 - Ud. hidrogeológicas: cvelillos
 - Nº puntos interpolación: 6
- Simulation Quality and Output:**
 - Simulación calidad: calidad
 - Paso de cálculo: 5
 - Direcciones Drenaje: mde50dr
 - Cargas directas P: lemaP2.dat
 - Cargas directas N: lemaN2.dat
 - Puntos control: pcontrol.dat
 - Contraste P: [Empty field]
 - Contraste N: [Empty field]
 - Perdida de carga: [Empty field]
 - Matricial de cuencas: cvelillos_p
- Map Settings:**
 - Puntos: Ver
 - Vector: rios_velillos
 - Matricial: pen.bas
 - Color Mapa: bp1.col
- Time Range:**
 - October de 1940 - Septiembre de 2006
 - 1970 - 1979

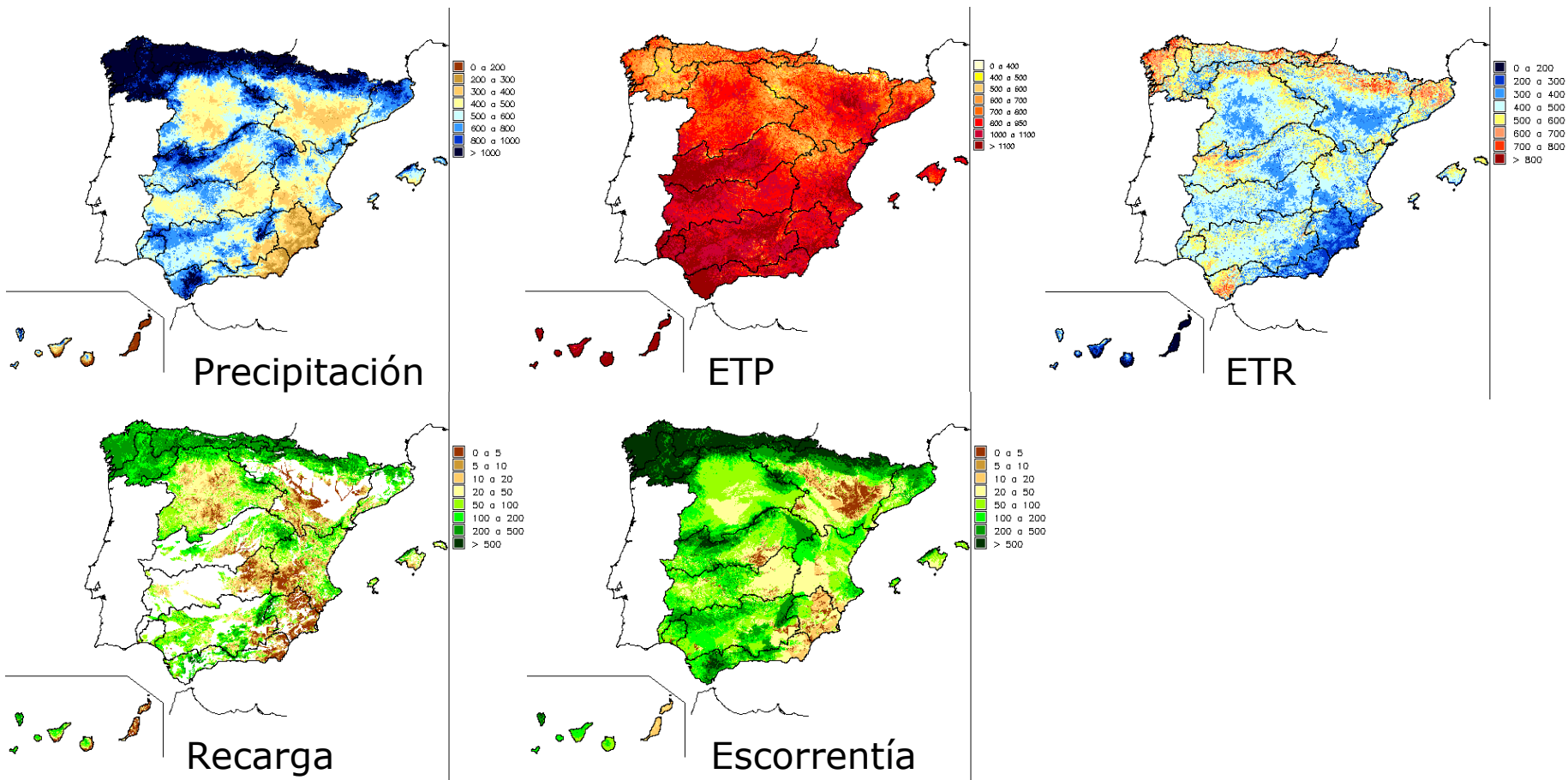
SIMPA-MCDT

- Simula las principales variables hidrológicas mediante dos almacenamientos:
 - Suelo. Modelo distribuido
 - Modelo de balance Thornthwaite-Matter
 - Sobre un umbral de escorrentía
 - Acuífero. Modelo de tanque
- 4 parámetros:
 - Capacidad máxima de almacenamiento en el suelo
 - Capacidad de infiltración máxima
 - Parámetro de excedente del umbral de escorrentía
 - Parámetro de proporcionalidad del modelo de tanque

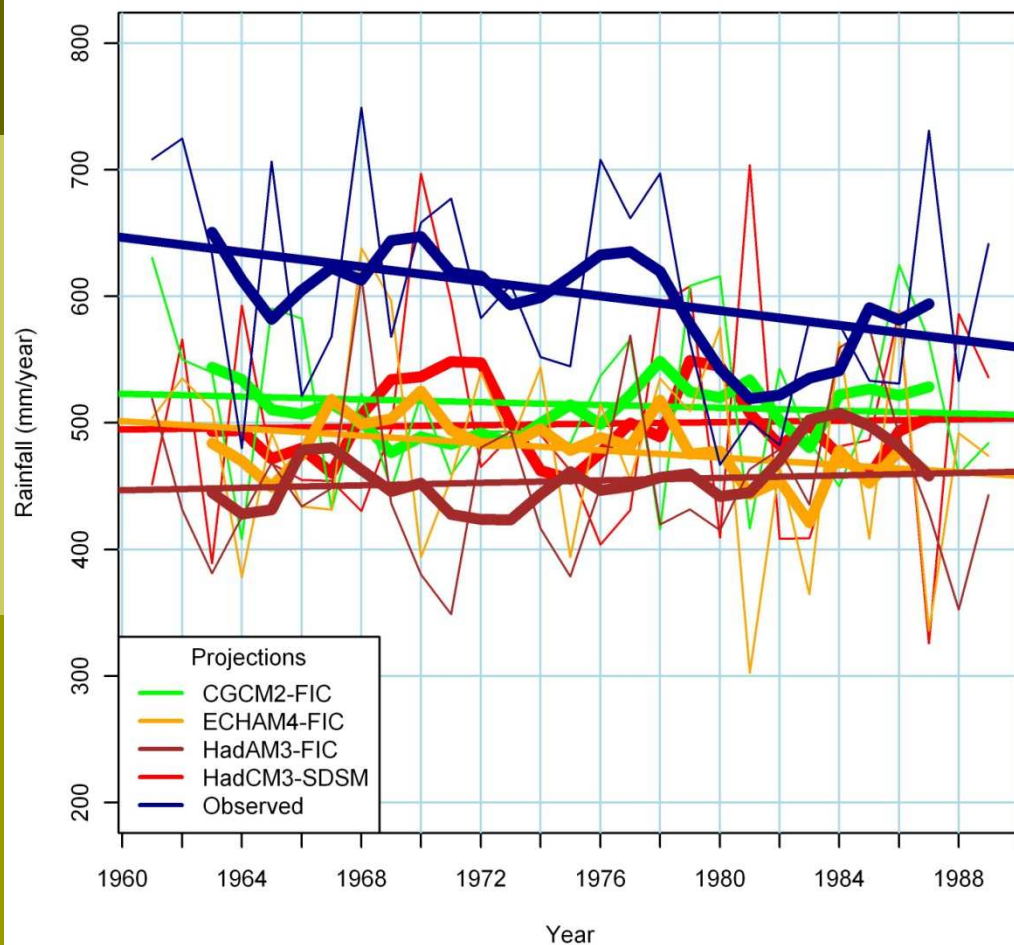
Esquema conceptual SIMPA-MCDT



Principales variables hidrológicas



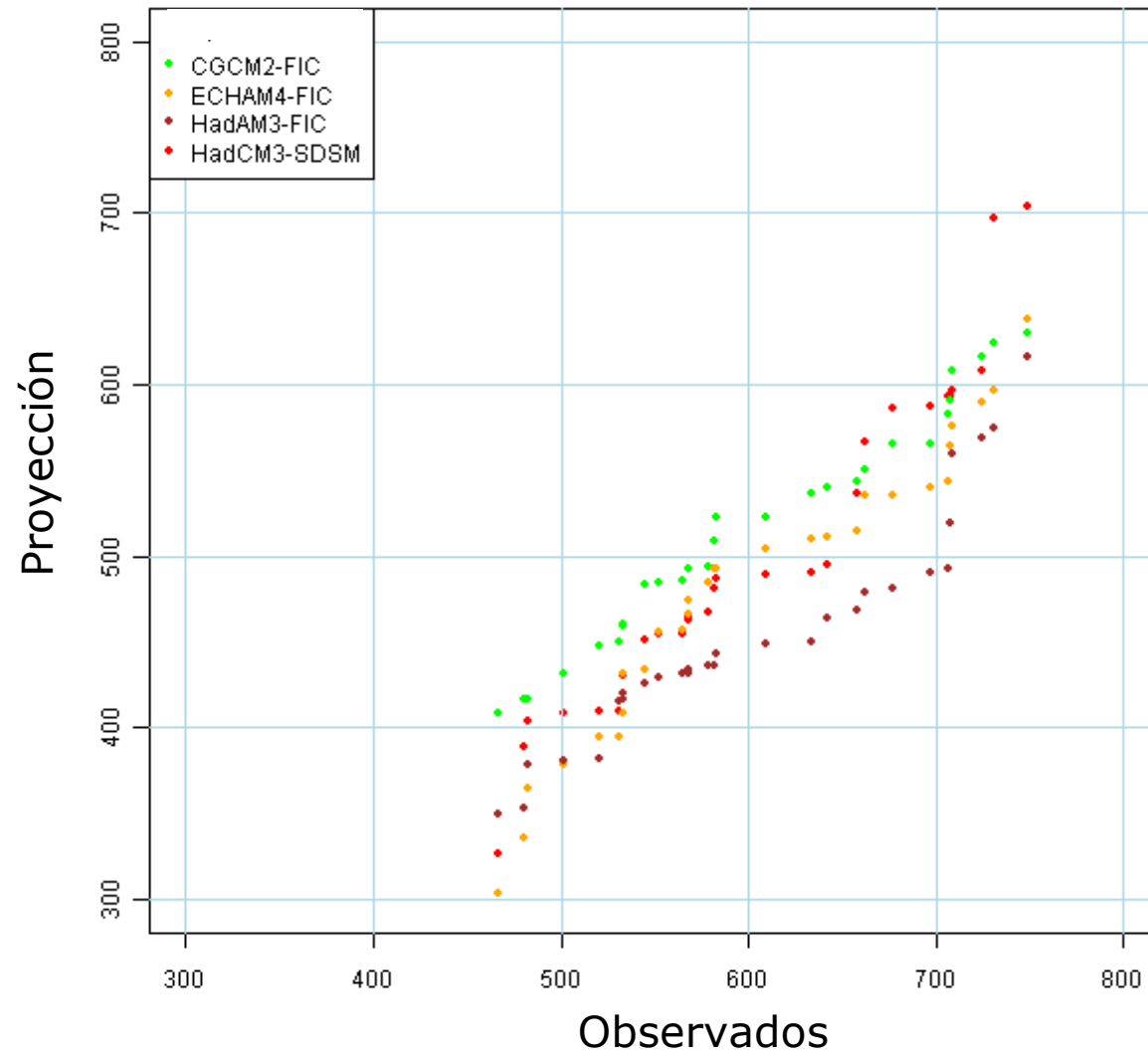
Contraste de llluvias. 1961-1990



622 estaciones

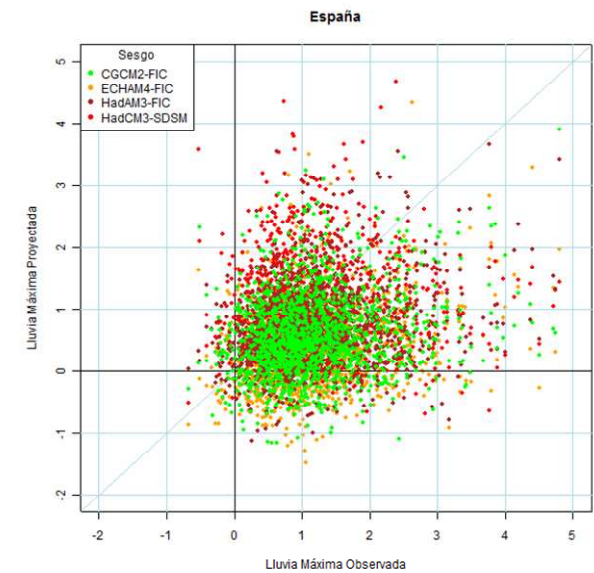
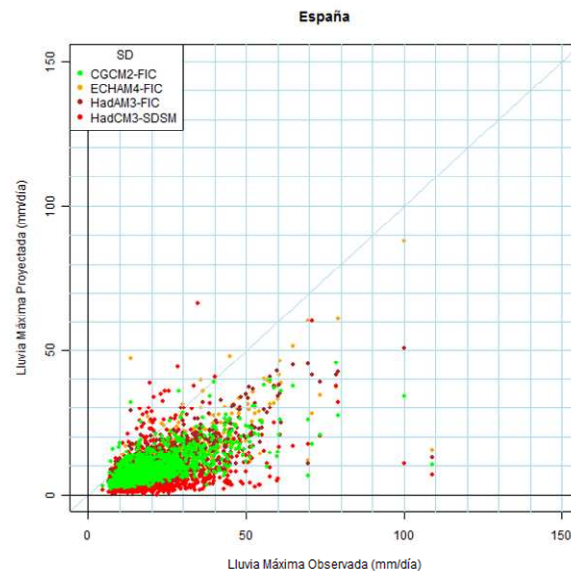
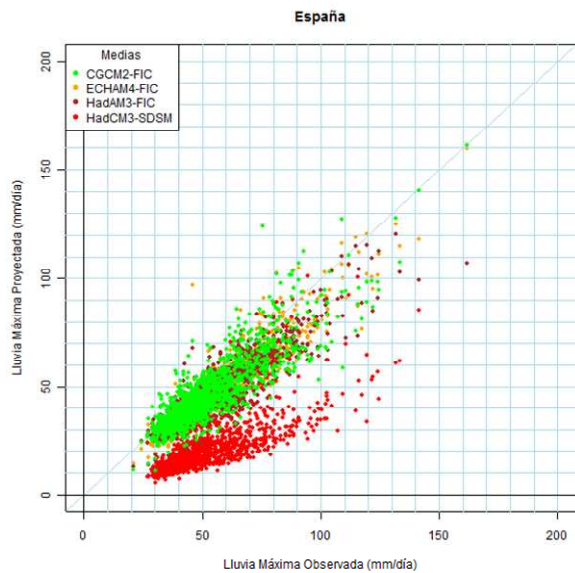
	Observada AEMET	CGCM2-FIC	ECHAM4-FIC	HadAM3-FIC	HadCM3- SDSM
Med	603	515	480	454	499
Desviación estádar y coeficiente de variación	85 0,14	65 0,13	82 0,17	65 0,14	92 0,18
Máximo y mínimo	749 467	630 408	638 303	616 349	704 326
P valor Mann Kendall	0,12	0,69	0,59	0,67	0,87

QQ plot (lluvias). 1961-1990



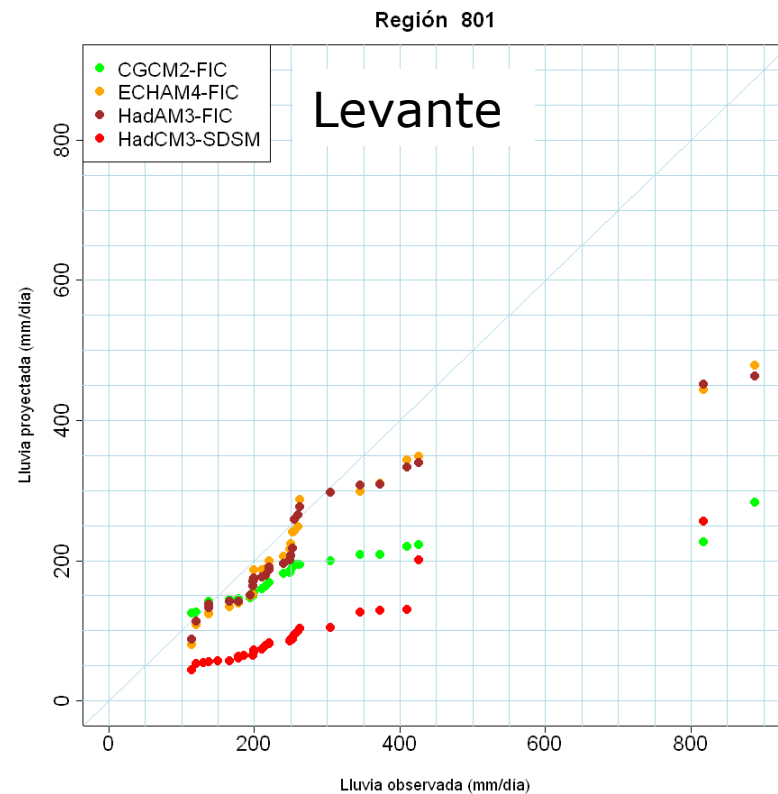
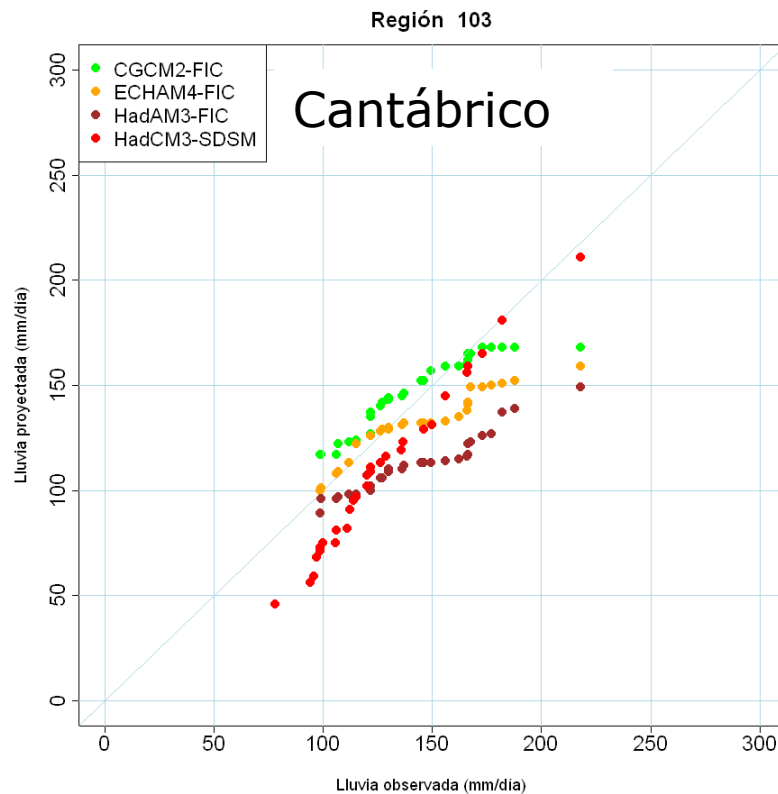
Propiedades estadísticas. Gráficos de dispersión

- Media, desviación estándar y sesgo de las series de máximos anuales
- 5579 (FIC); 2320 (SDSM)
- A2 = B2 (periodo de control)

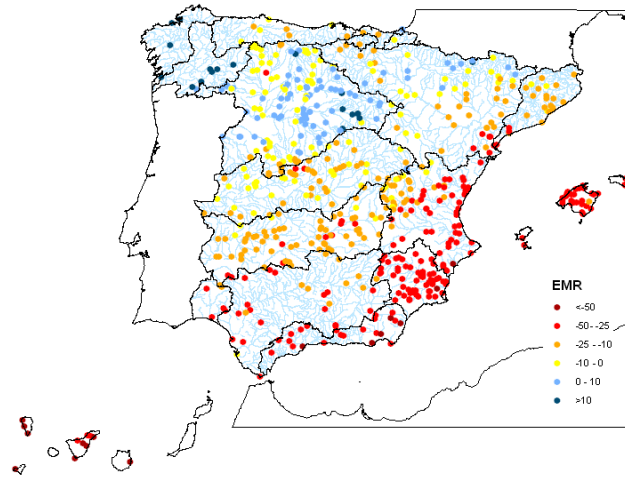


Contraste distribuciones de frecuencia

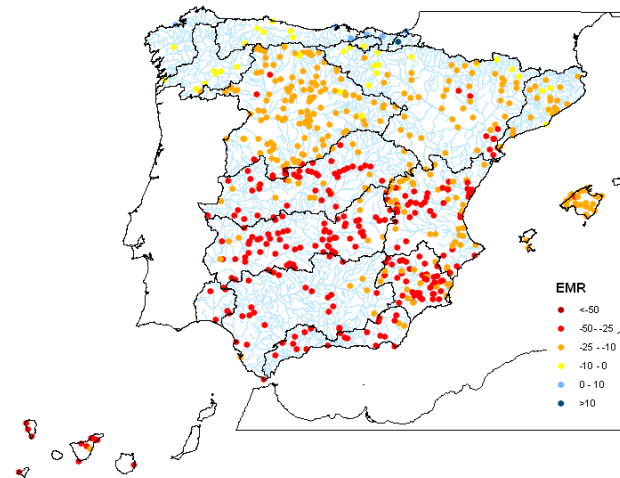
- QQ plot: no hay relación lineal



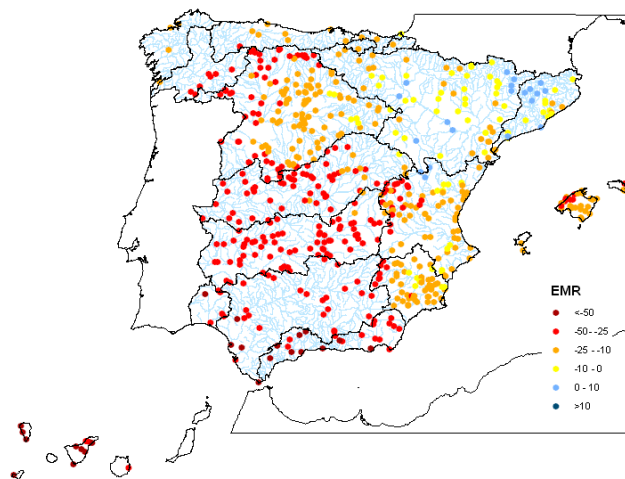
EMR. ¿Comportamiento regional?



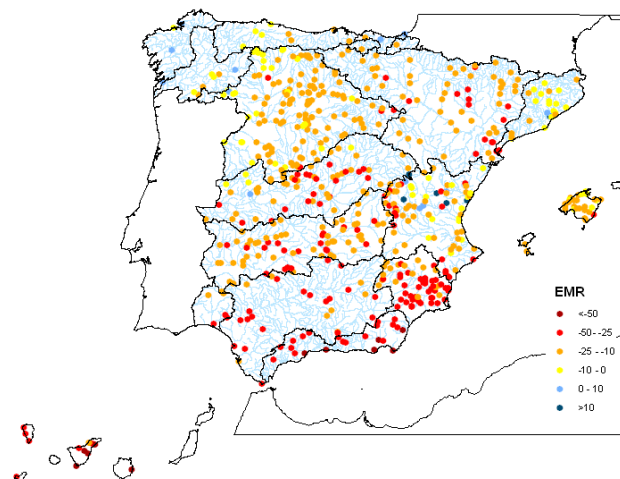
CGCM2-FIC



ECHAM4-FIC



HadAM3-FIC

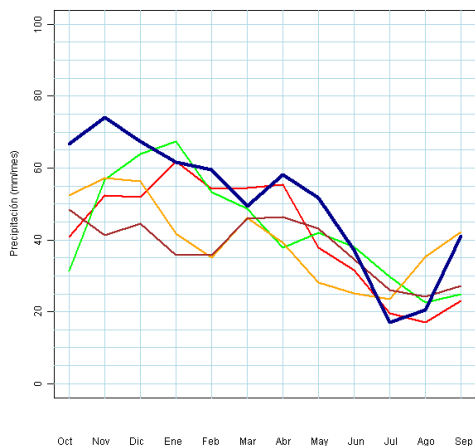


HadCM3-SDSM

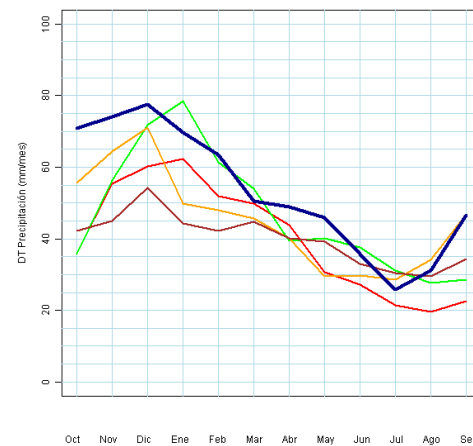
Estacionalidad

- CGCM2-FIC
- ECHAM4-FIC
- HadAM3-FIC
- HadCM3-SDSM
- Observados

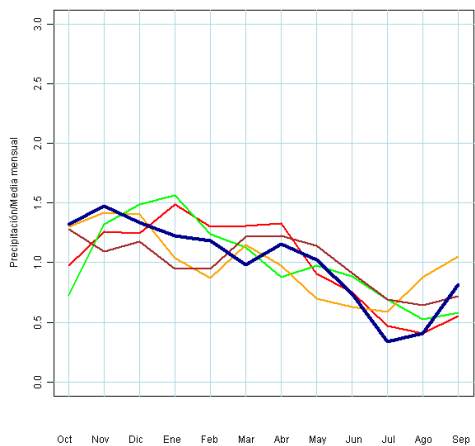
Media mensual



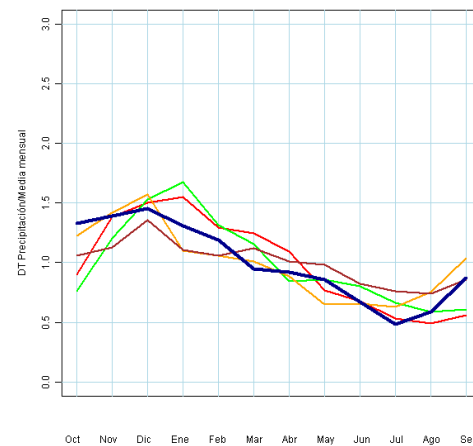
Desviación típica mensual



Media mensual estandarizada

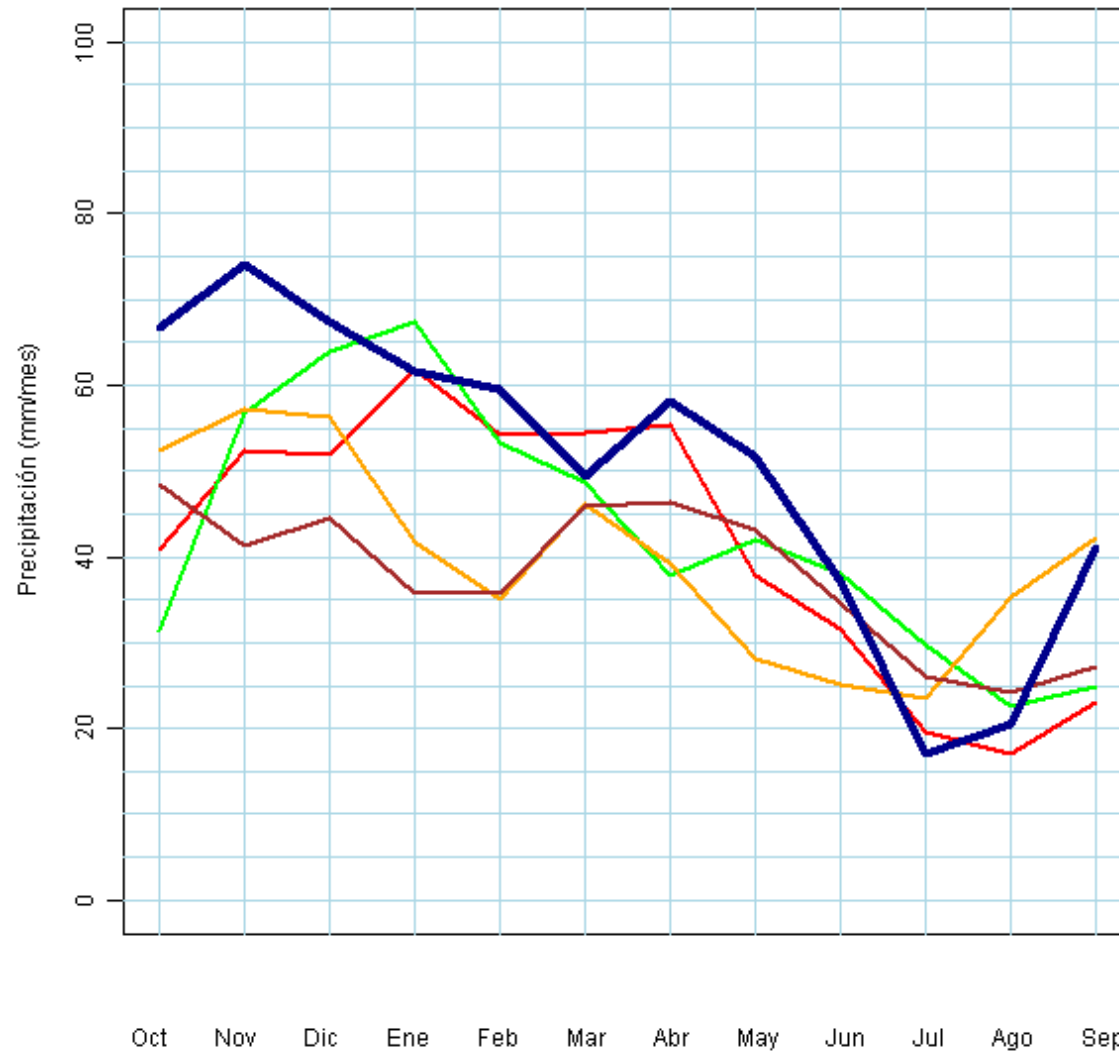


Desviación típica mensual estandarizada

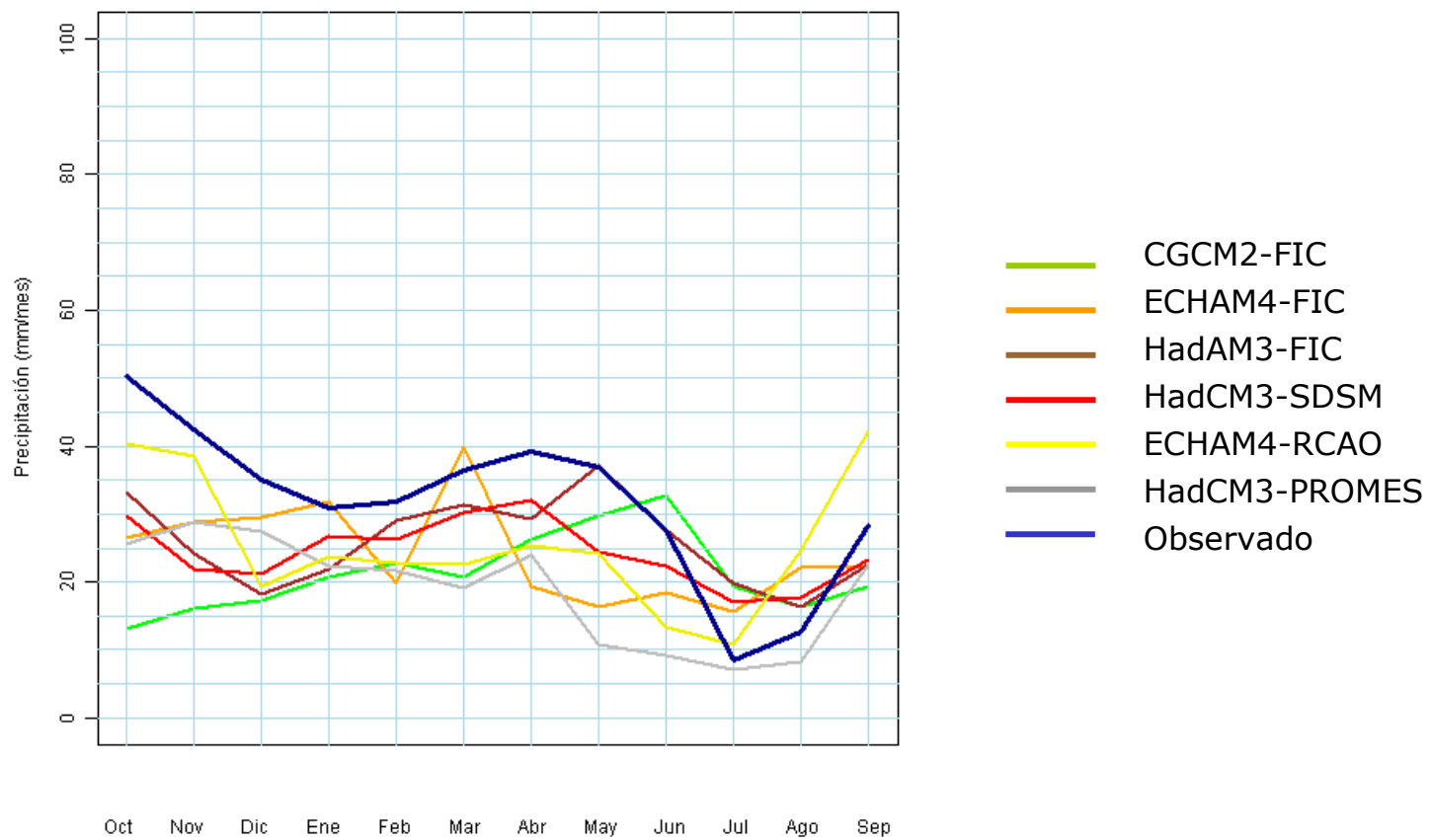


Estacionalidad

- CGCM2-FIC
- ECHAM4-FIC
- HadAM3-FIC
- HadCM3-SDSM
- Observados

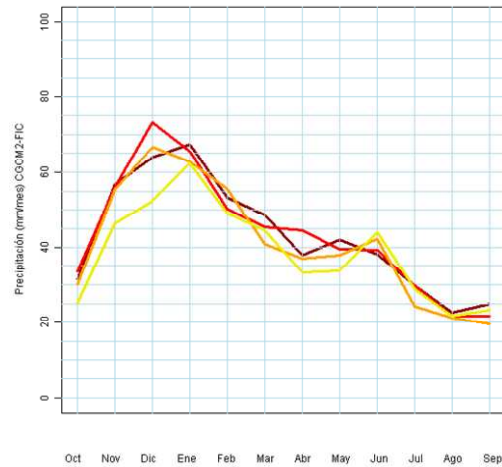


Sureste de la Península

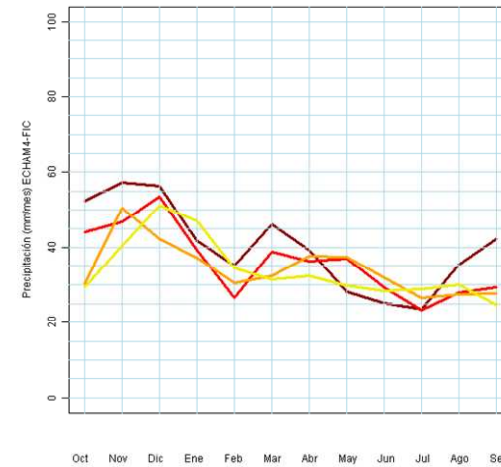


Cambios en la estacionalidad

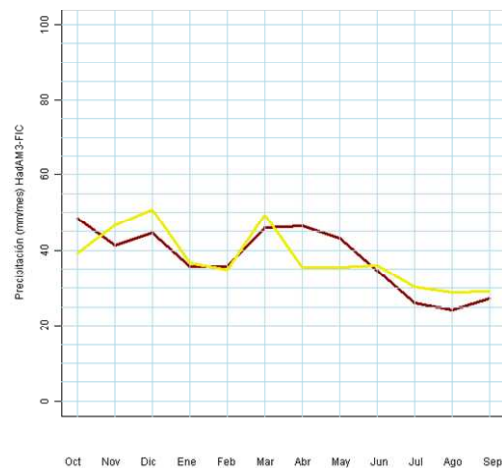
- 1961-1990
- 2011-2040
- 2041-2070
- 2071-2100



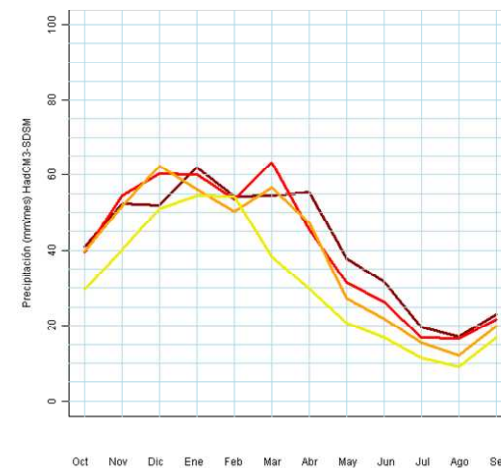
CGCM2-FIC



ECHAM4-FIC



HadAM3-FIC



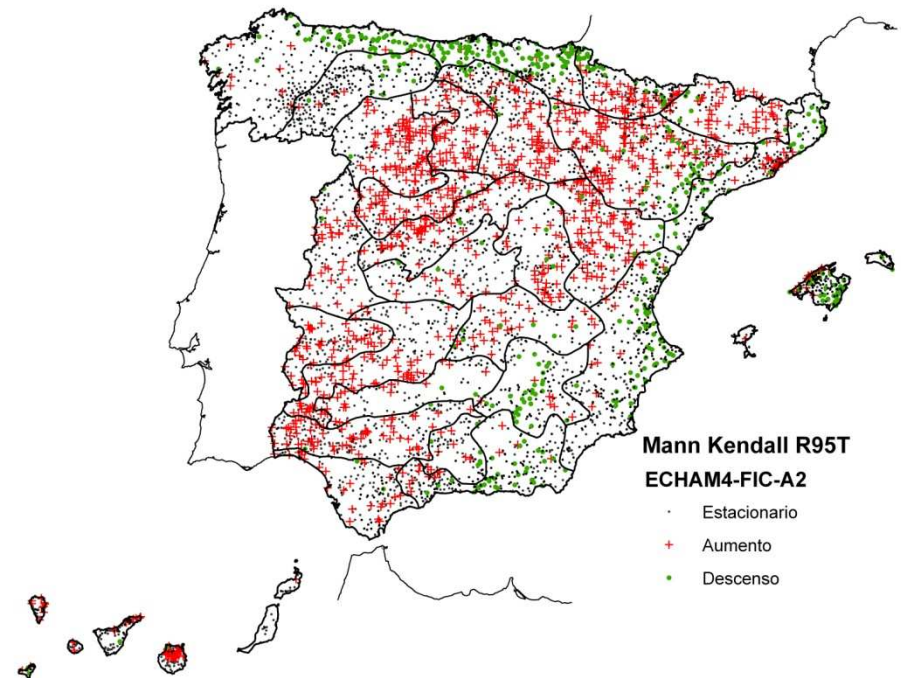
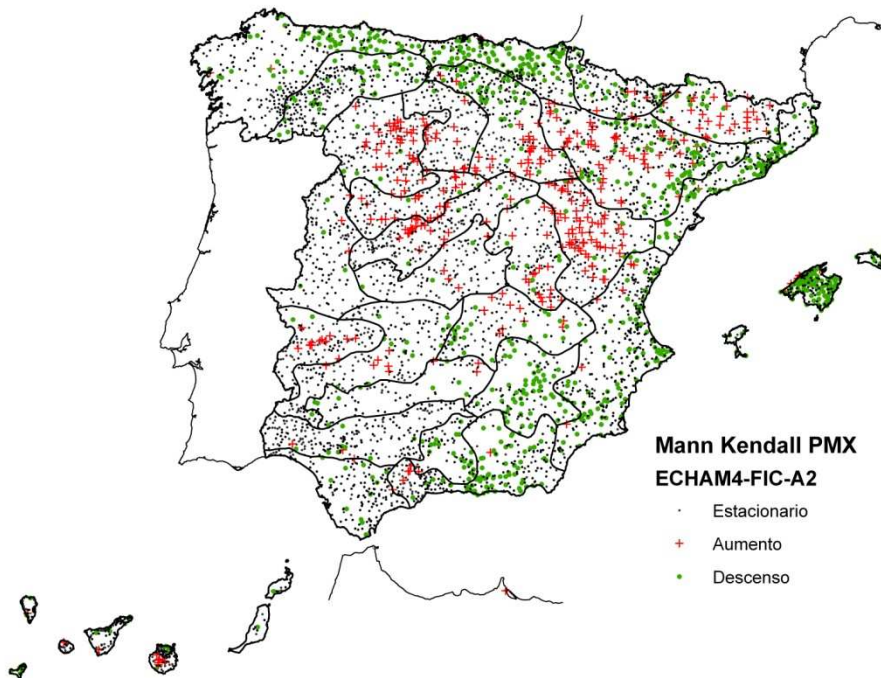
HadCM3-SDSM

Ciclos estacionales de máximos

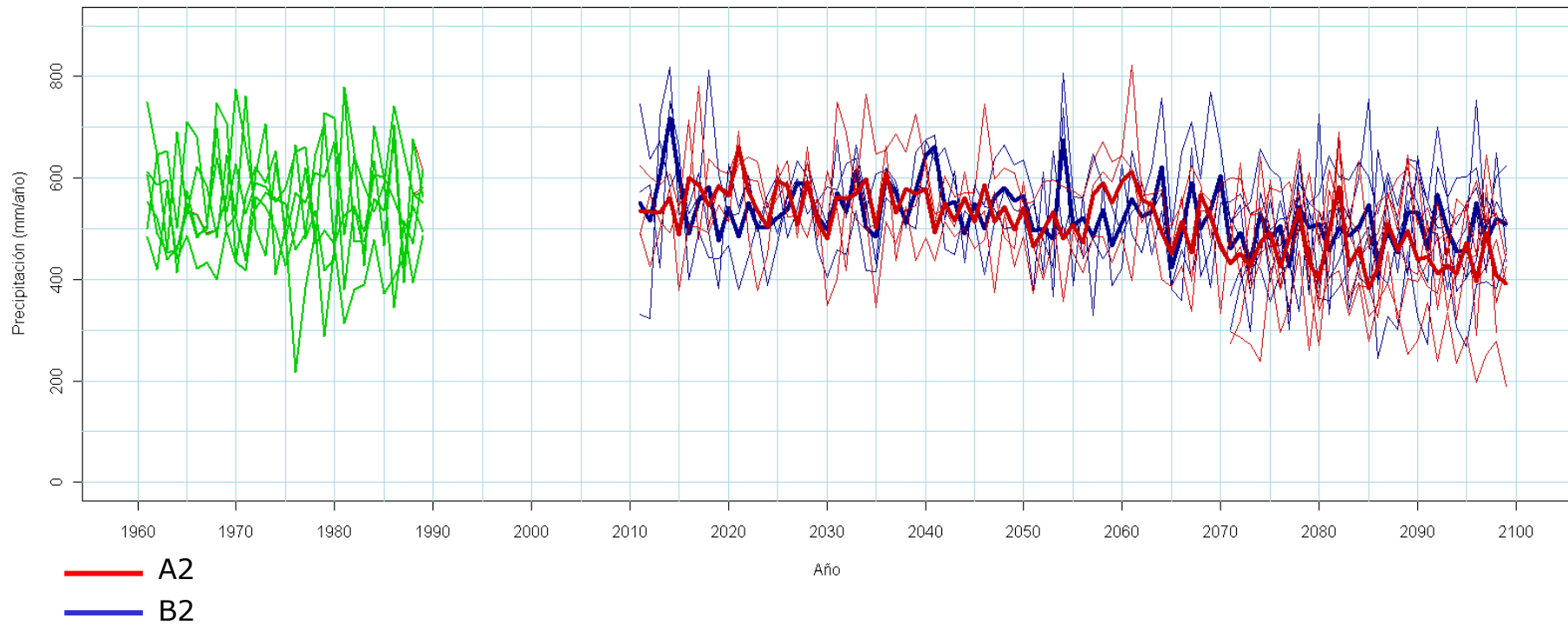
- ❑ Reducido acuerdo entre observados y proyecciones o, incluso entre proyecciones
- ❑ Sin cambios durante el s. XXI



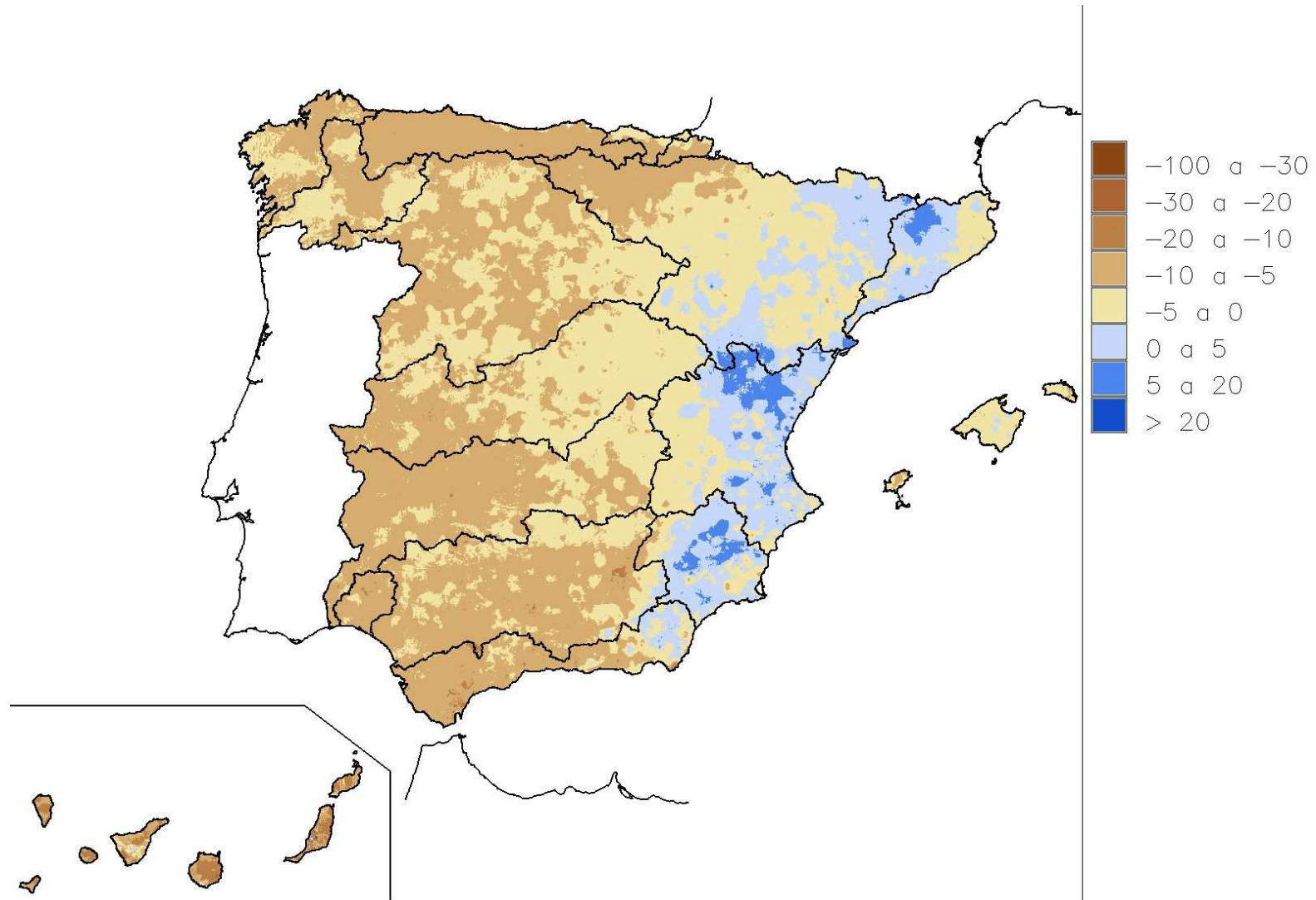
Tendencias en máximos



Series de lluvia en España



Δ precipitación (%) 2011-2040 A2 /periodo de control



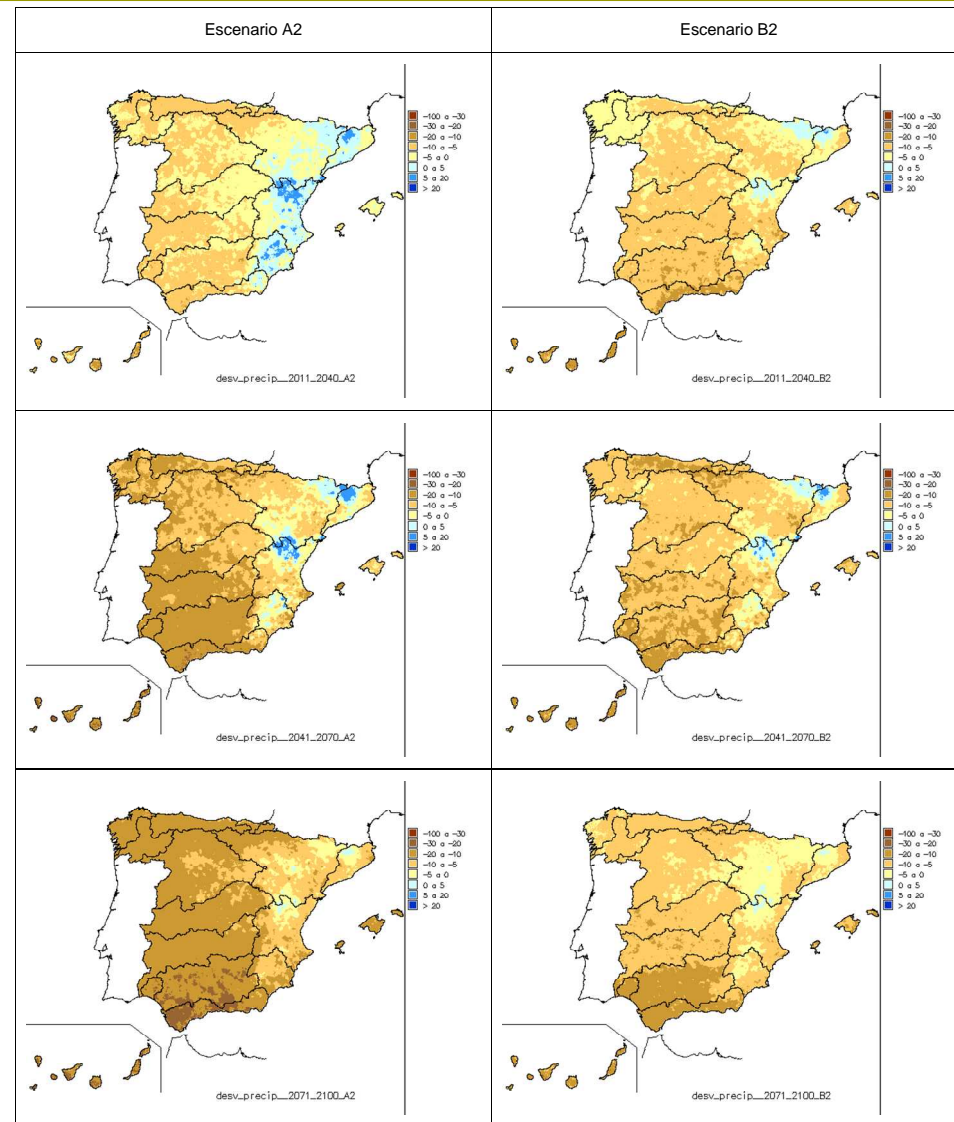
Desviaciones de lluvia

$$D = \frac{Var_{periodo} - Var_{referencia}}{Var_{referencia}} \%$$

2011-2040

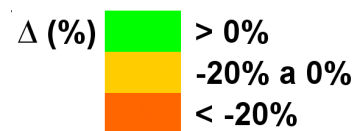
2041-2070

2071-2100



Desviación de lluvia anual

- Tendencia general: disminución
- Excepción: Levante durante 2011-2040 (CGCM2-FIC-A2)
- Proyección pésima: ECHAM4-FIC y ECHAM4-RCAO



		Escenario de Emisiones A2							Escenario de Emisiones B2						
		CA	EA	HA	SA	UA	PA	Med	CB	EB	HB	SB	UB	PB	Med
España	2011-2040	0	-11		-3			-5	-4	-10		-3			-6
	2041-2070	-4	-16		-8			-9	-3	-12		-9			-8
	2071-2100	-11	-18	2	-26	-19	-28	-17	-3	-13	-2	-9	-14	-13	-9

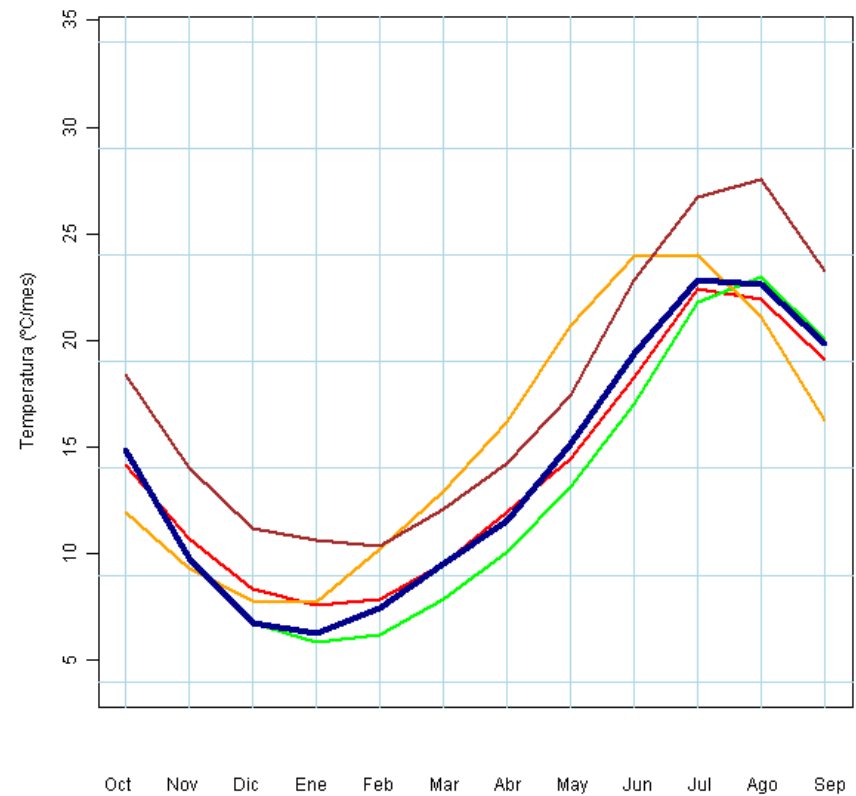
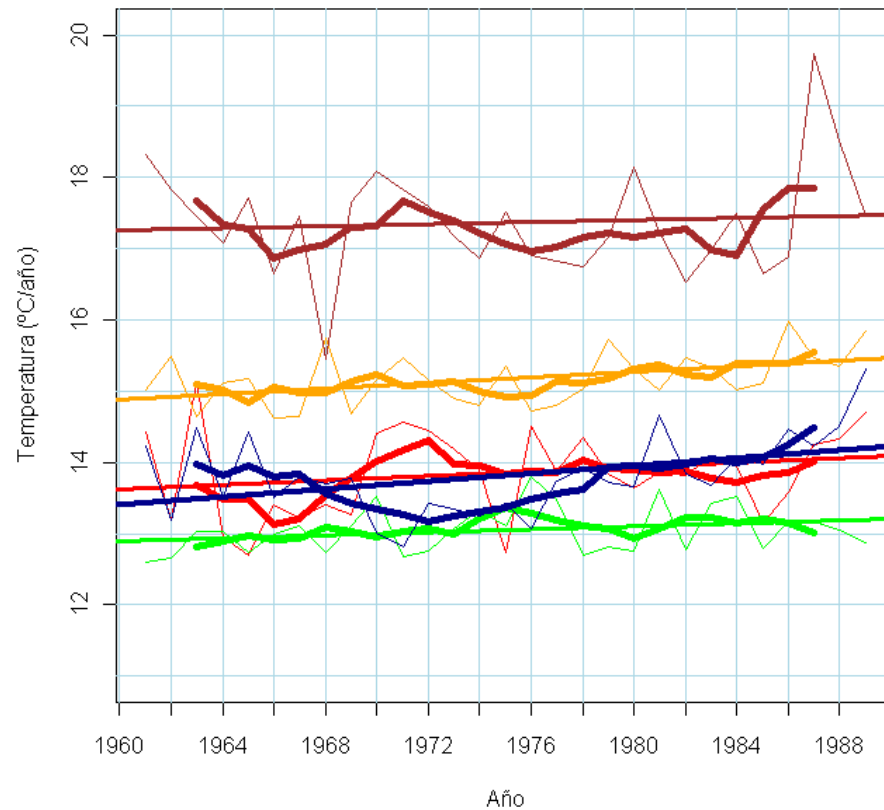
CA y CB: CGCM2-FIC
 EA y EB: ECHAM4-FIC
 HA y HB: HadAM3-FIC
 SA y SB: HadCM3-SDSM
 UA y UB: HadCM3-PROMES
 PA y PB: ECHAM4-RCAO

Evapotranspiración potencial. ETP

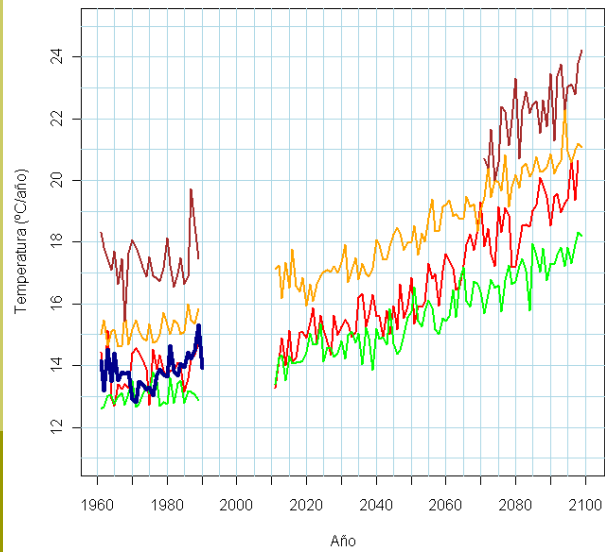
- Metodología de Hargreaves:
 - Temperaturas máxima, mínima y media
 - Radiación solar
 - Coeficientes experimentales
- Corrección 1. Penman Monteith
- Corrección 2. Uso de suelo
- Limitación: parámetros condiciones actuales

Contraste de temperatura

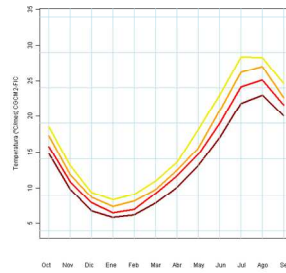
- CGCM2-FIC
- ECHAM4-FIC
- HadAM3-FIC
- HadCM3-SDSM
- Observada



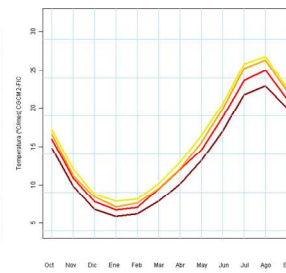
Tendencia y estacionalidad



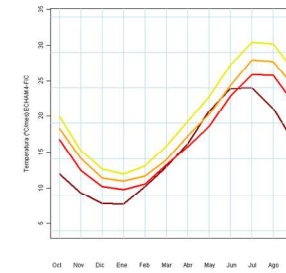
- CGCM2-FIC
- ECHAM4-FIC
- HadAM3-FIC
- HadCM3-SDSM
- Observados



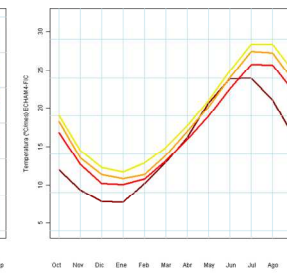
CGCM2-FIC



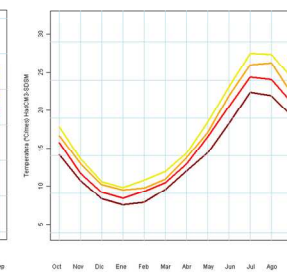
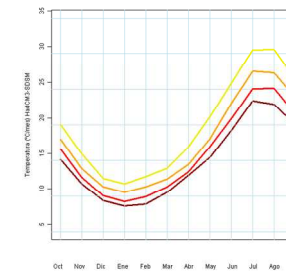
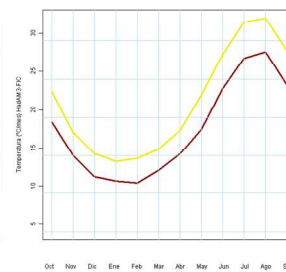
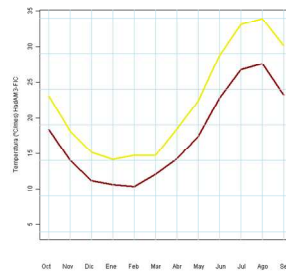
ECHAM4-FIC



HadAM3-FIC

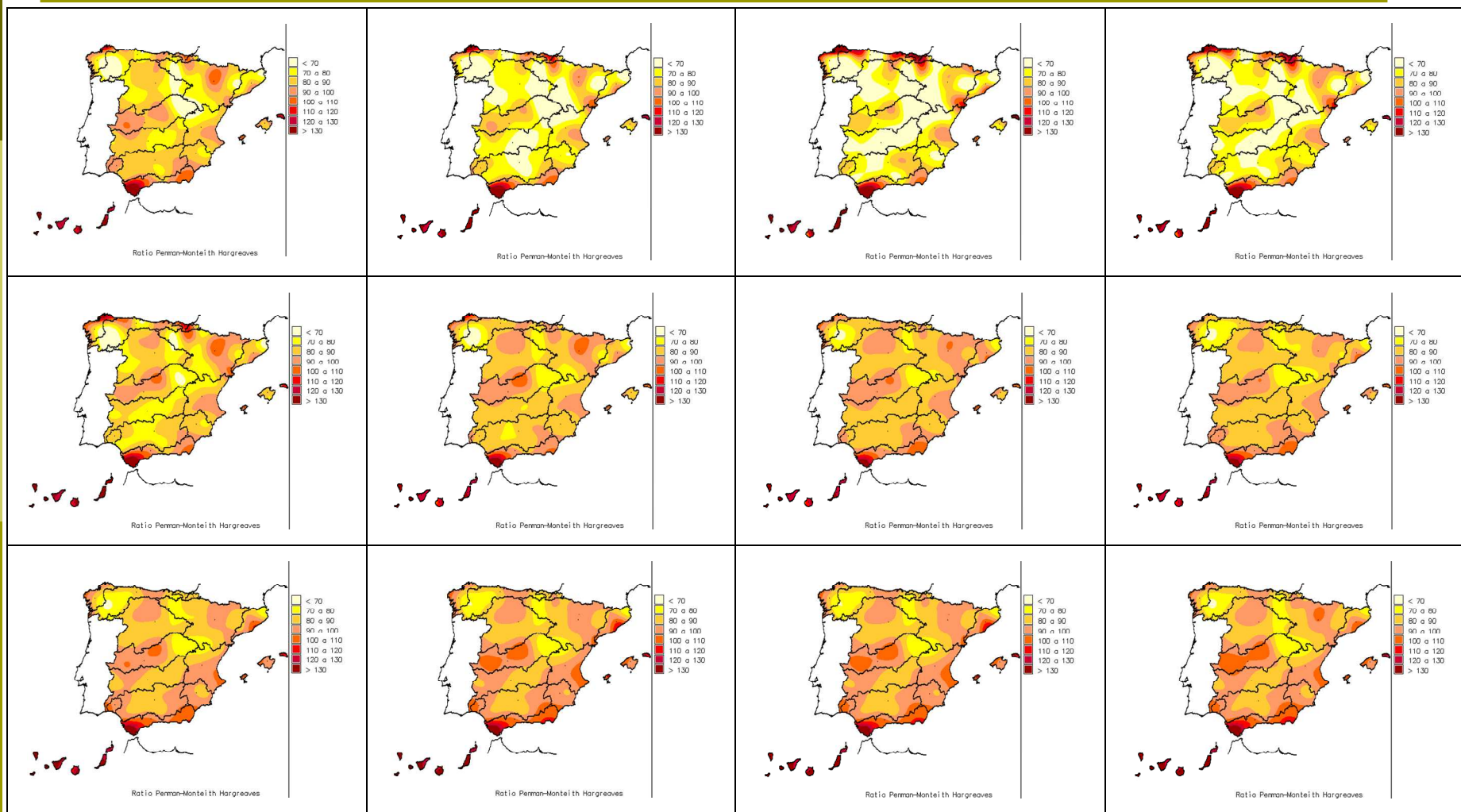


HadCM3-SDSM

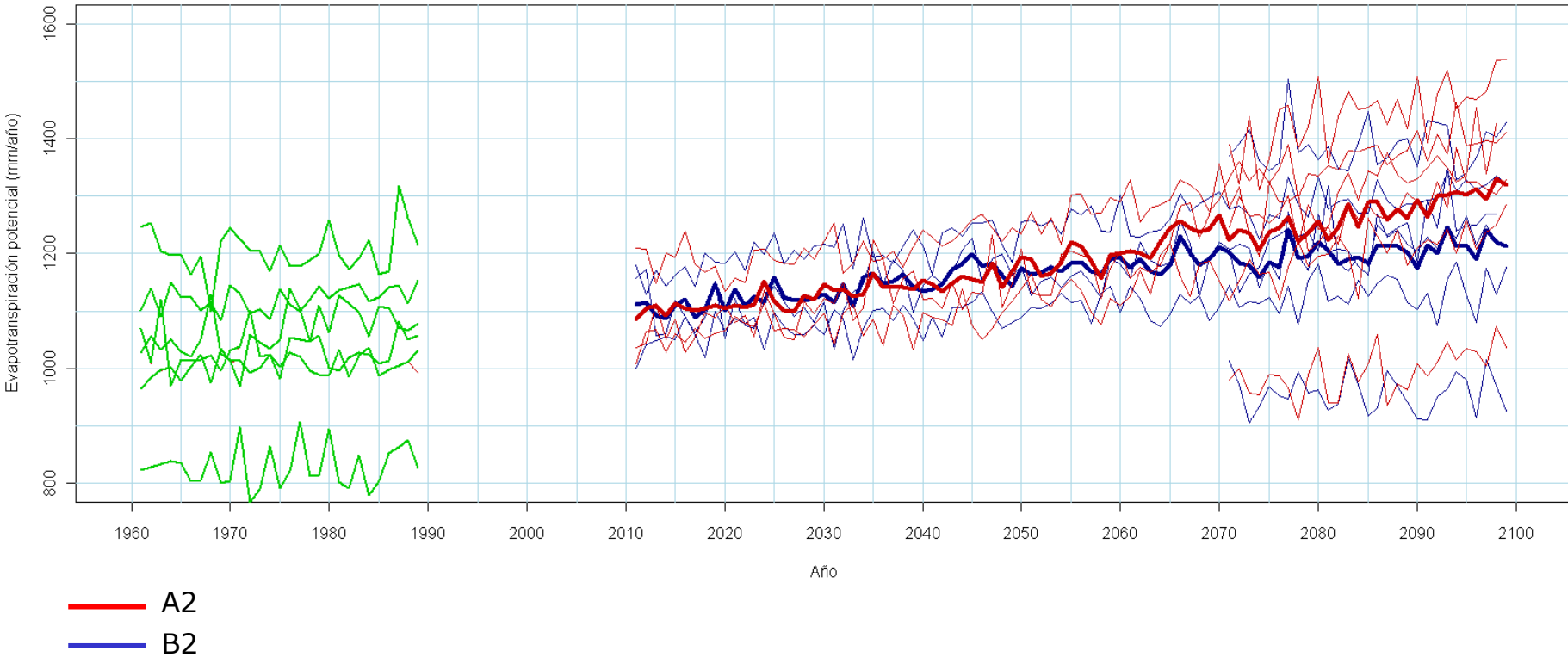


- 1961-1990
- 2011-2040
- 2041-2070
- 2071-2100

Hargreaves y Penman Monteith

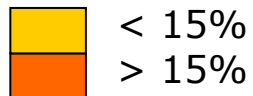


ETP en España



Desviación

- Incrementos de ETP
- Menos pronunciados en B2



		Escenario de Emisiones A2							Escenario de Emisiones B2						
		CA	EA	HA	SA	UA	PA	Med	CB	EB	HB	SB	UB	PB	Med
España	2011-2040	6	6		6			6	6	7		8			7
	2041-2070	12	13		14			13	10	12		14			12
	2071-2100	20	22	19	28	20	20	21	13	16	15	19	15	14	15

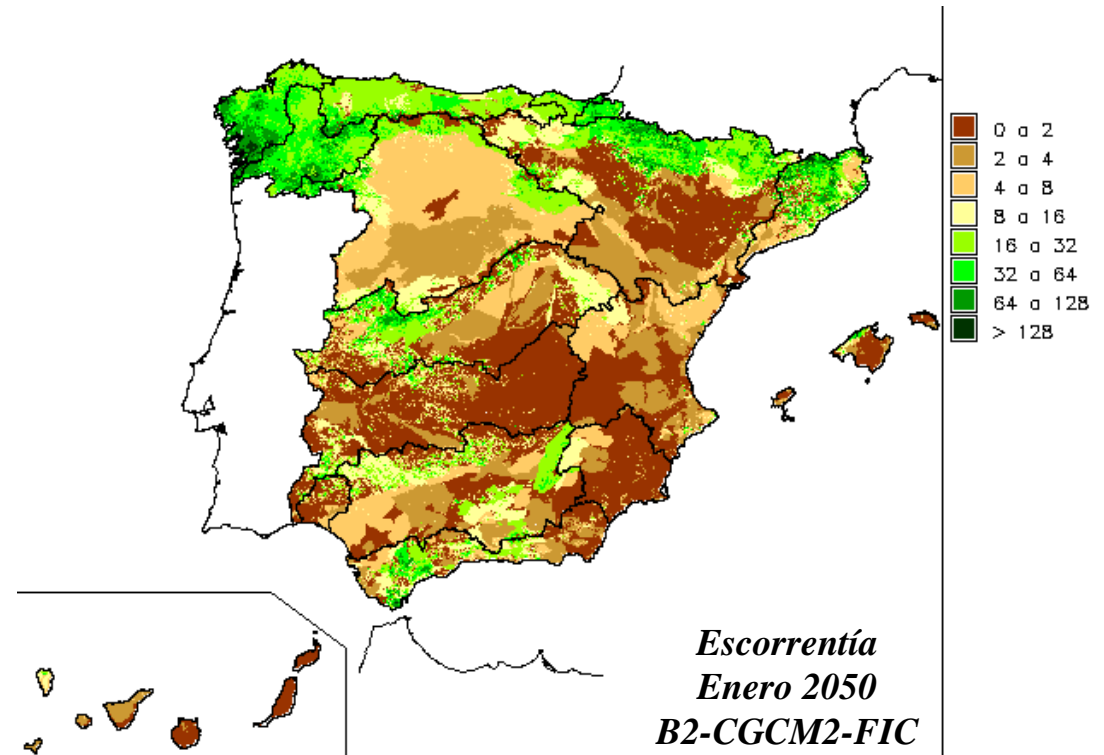
CA y CB: CGCM2-FIC
 EA y EB: ECHAM4-FIC
 HA y HB: HadAM3-FIC
 SA y SB: HadCM3-SDSM
 UA y UB: HadCM3-PROMES
 PA y PB: ECHAM4-RCAO

Simulación hidrológica

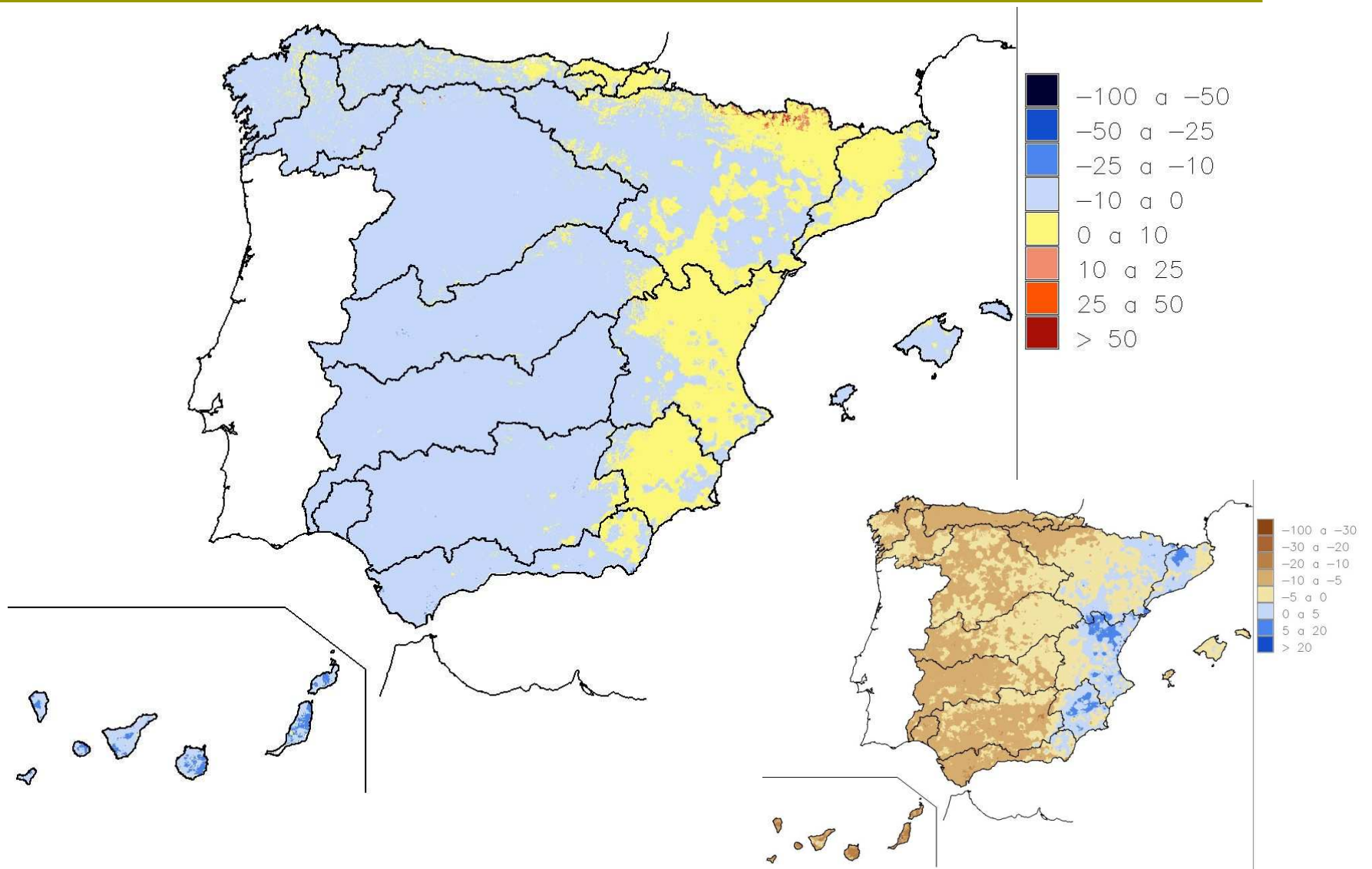
- Parametrización SIMPA08
 - Capacidad máxima de almacenamiento en el suelo función de los usos de suelo, pendiente y textura
 - Máxima capacidad de infiltración, de las litologías
 - Coeficiente de tanque calibrado en función de las ramas de recesión
- Masas de agua subterránea procedentes de la caracterización Directiva Marco

Resultados

- Balance en el suelo
 - hiAAAA_MM
- Evapotranspiración real
 - eiAAAA_MM
- Recarga
 - infilAAAA_MM
- Descarga
 - asbAAAA_MM
- Escorrentía directa
 - aspAAAA_MM
- Escorrentía total
 - aesAAAA_MM
 - acaesAAAA_MM

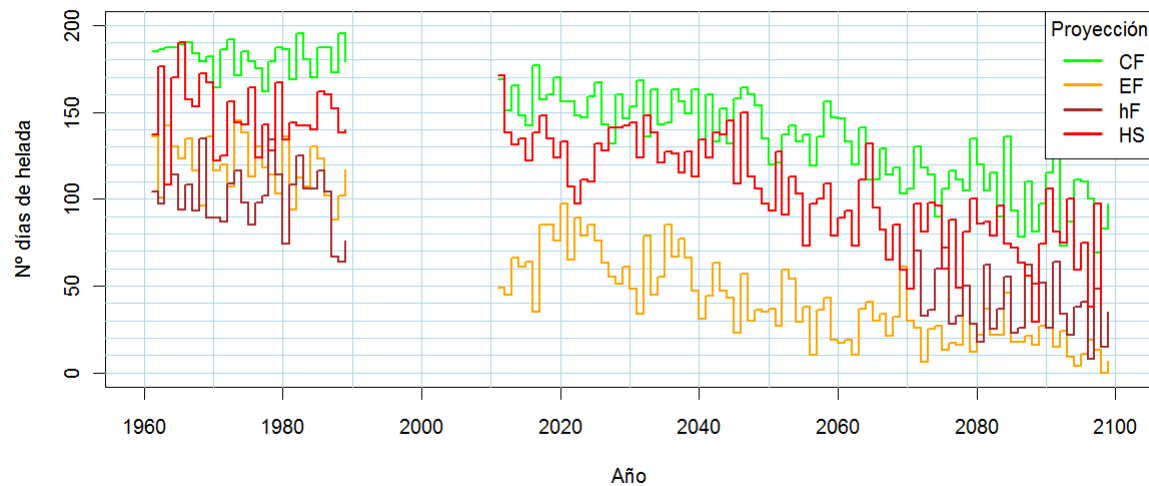


Δ evapotranspiración real (%) 2011-2040 A2 /periodo de control

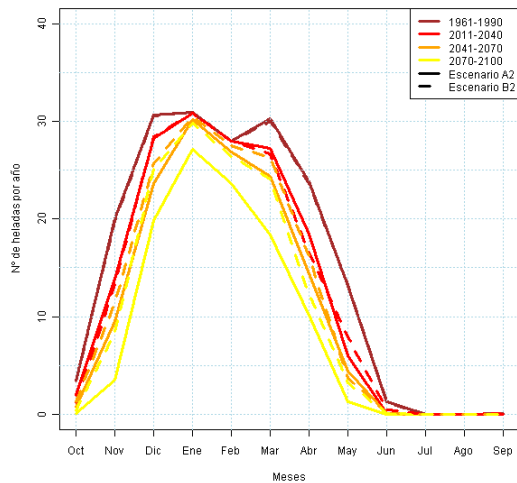


Nieve. Índice nº días de helada

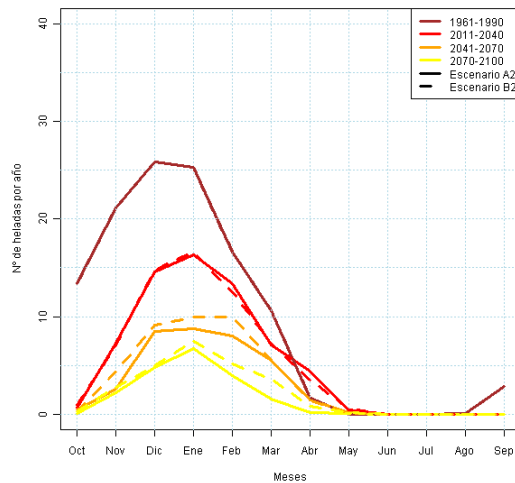
SRES A2. Estación: 09451



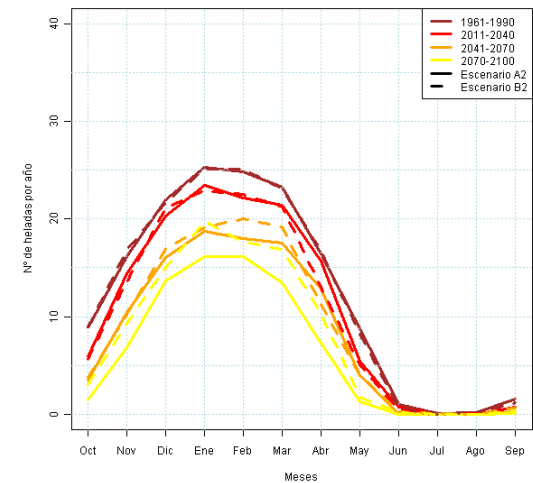
CGCM2-FIC . Estación: 09451



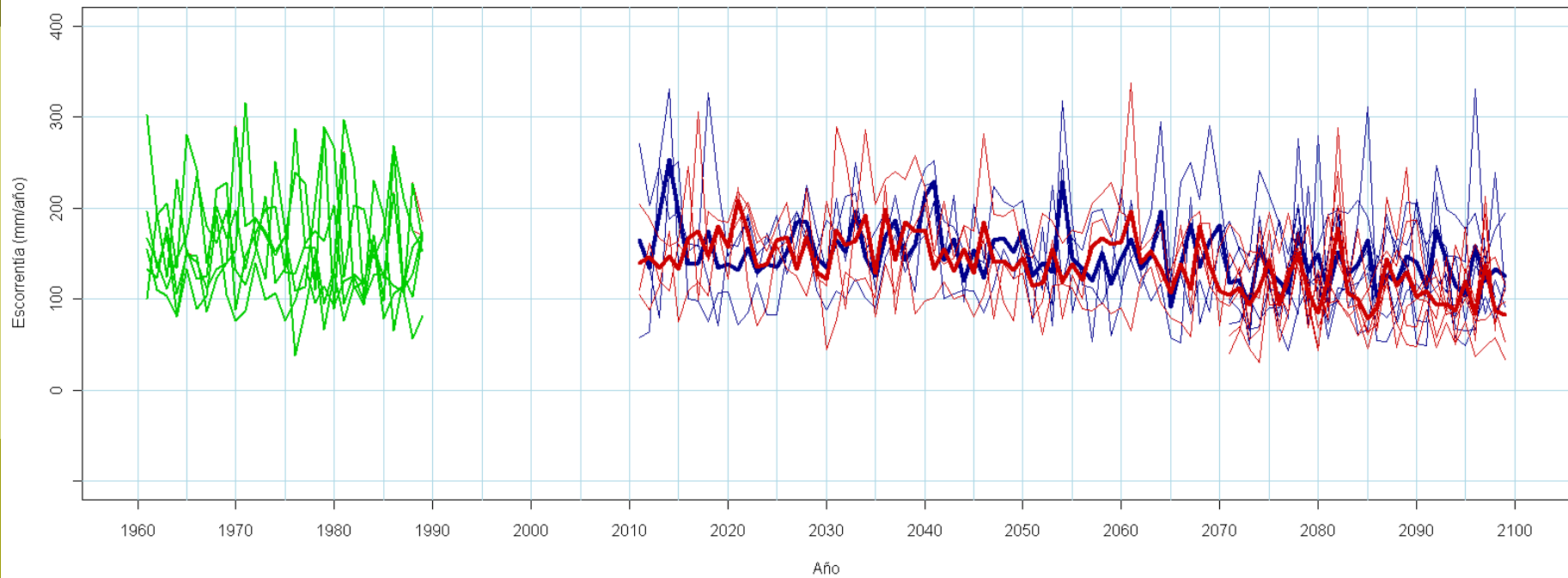
ECHAM4-FIC . Estación: 09451



HadCM3-SDSM . Estación: 09451

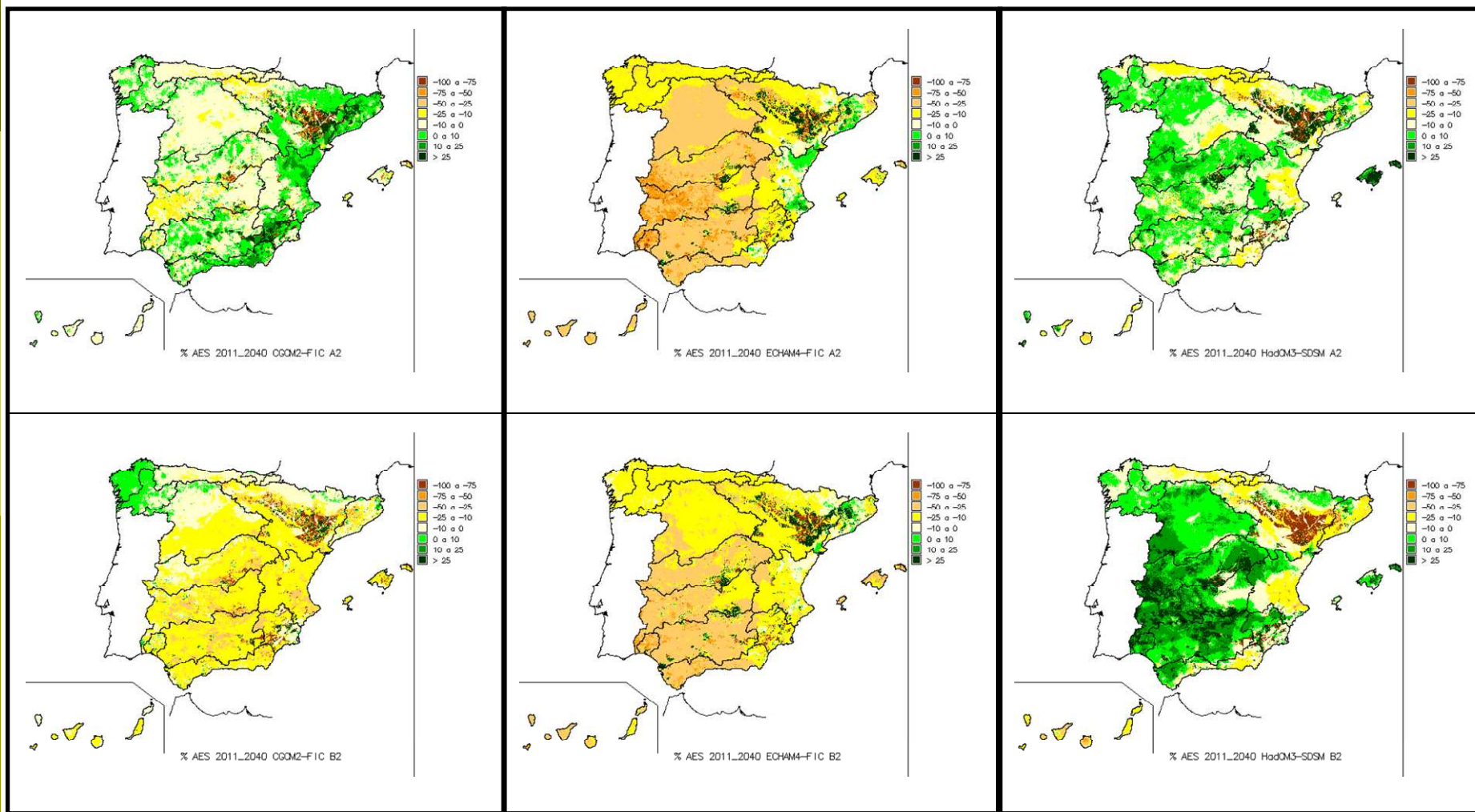


Escorrentía media anual en España



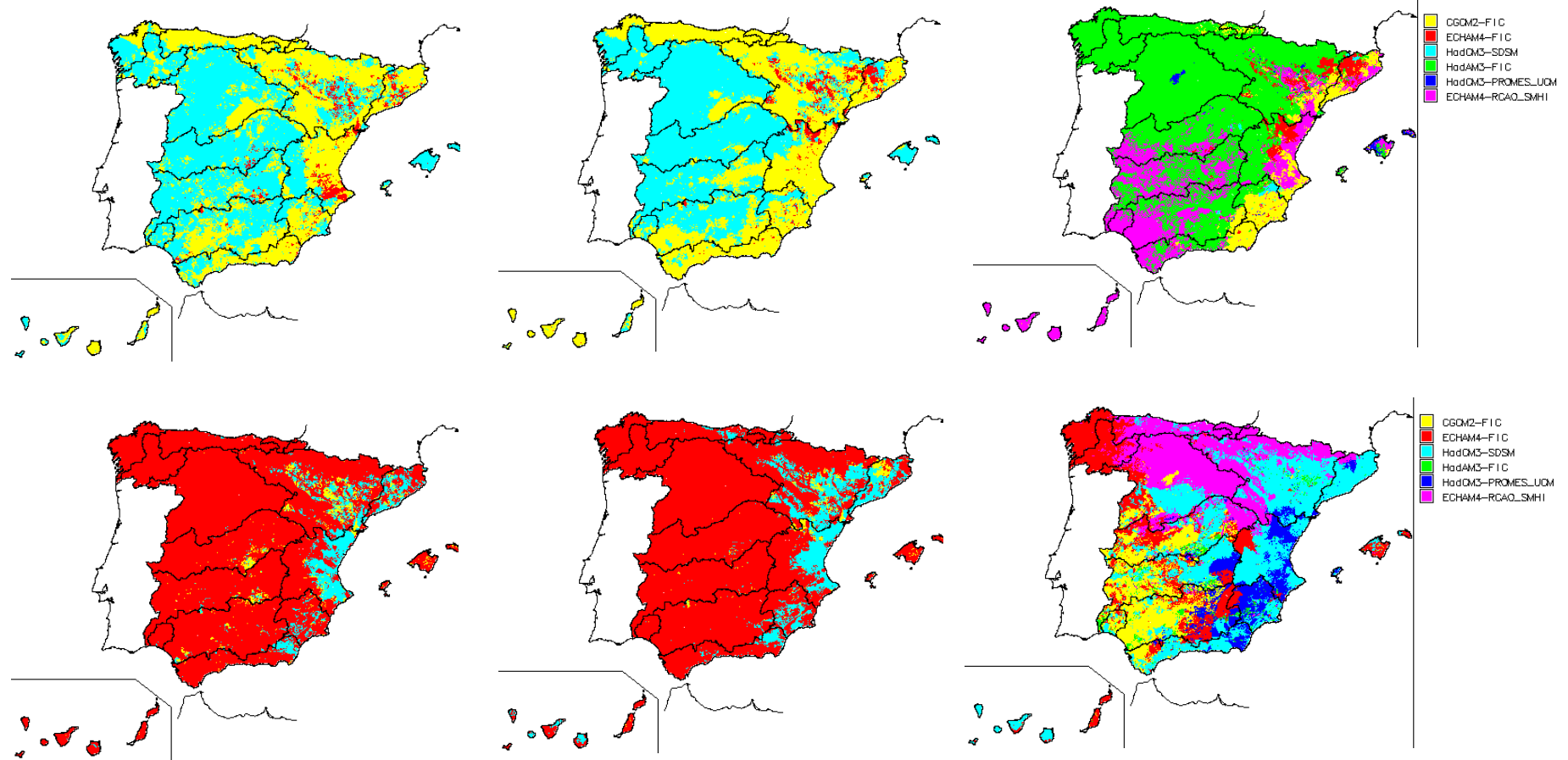
Peores resultados en A2 desde mitad del s. XXI

Desviaciones de escorrentía. 2011-2040



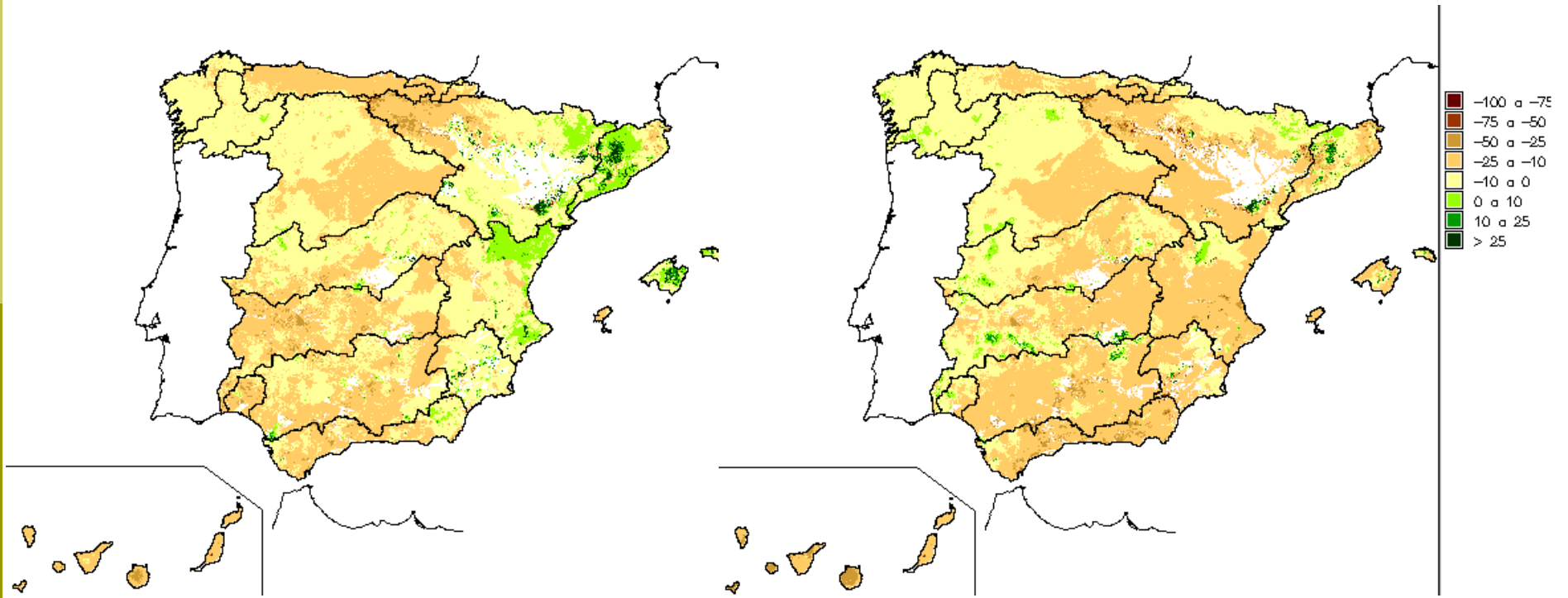
Influencia de la proyección considerada

Proyecciones en máximo y mínimo



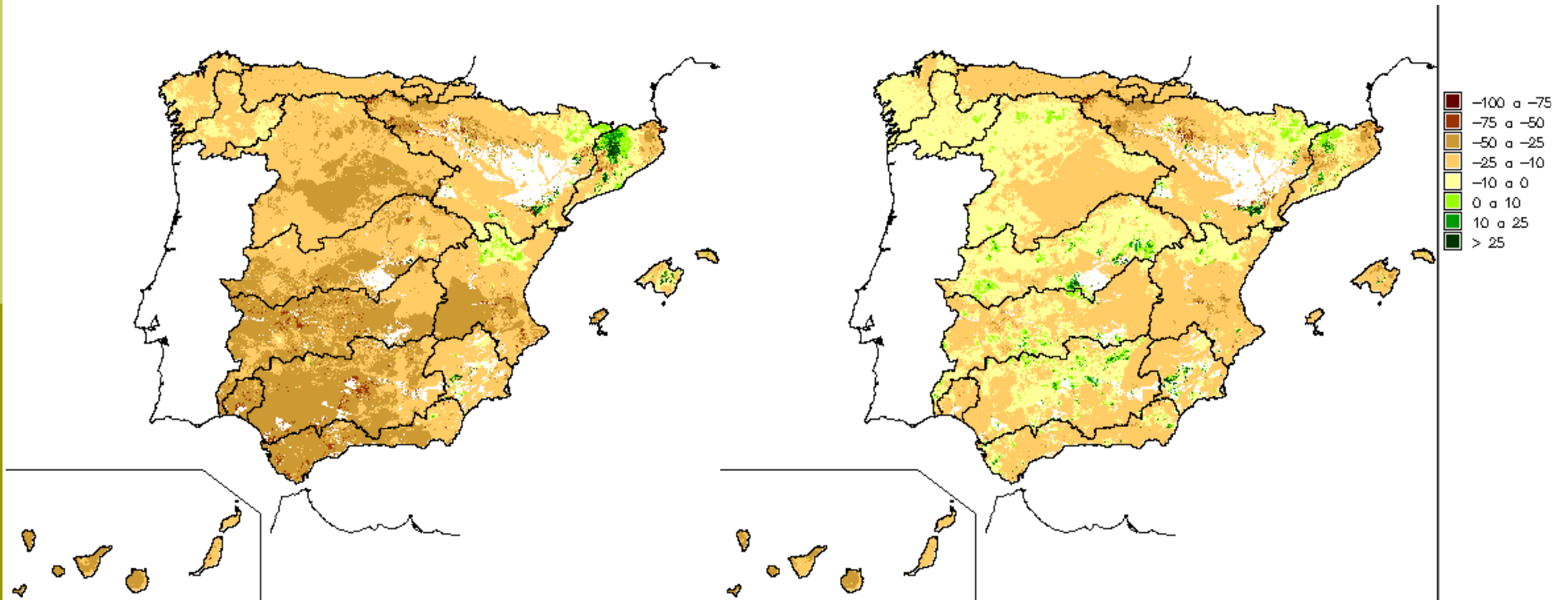
Desviaciones escorrentía (%). 2011-2040

- CGCM2-FIC, ECHAM4-FIC y HadCM3-SDSM
- A2 y B2



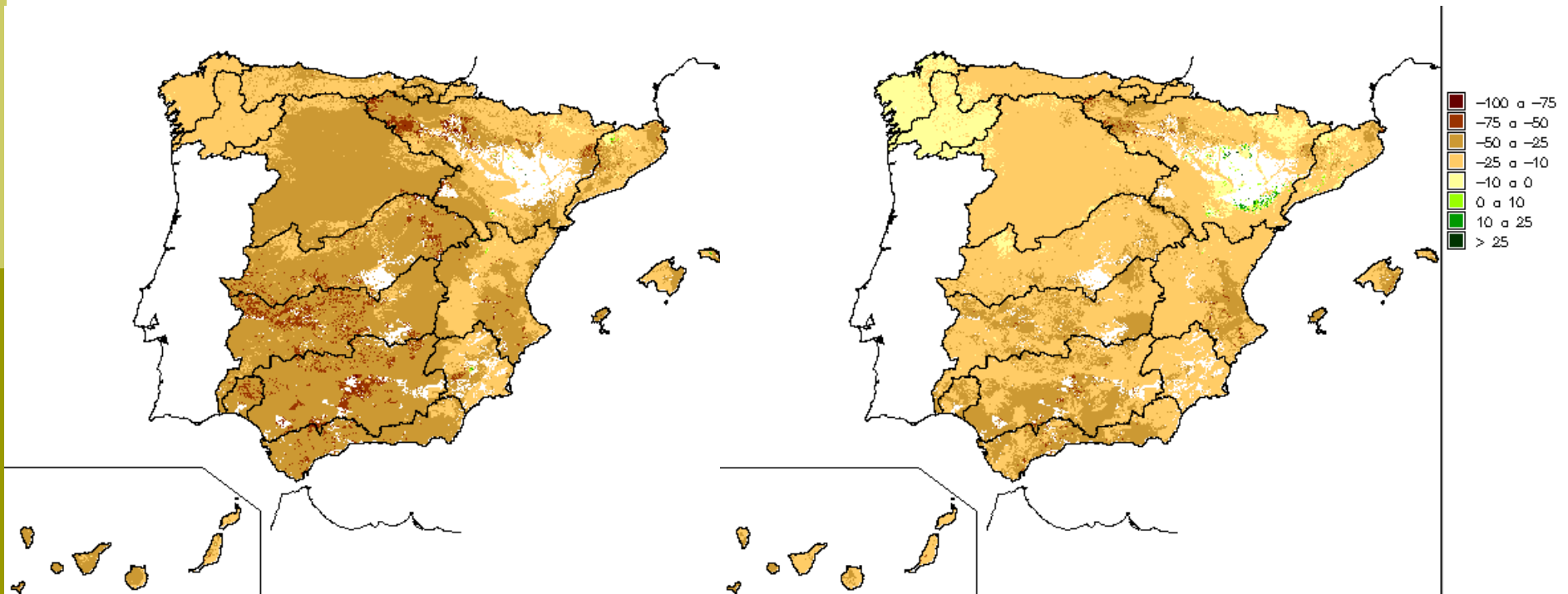
Desviaciones escurrentía (%). 2041-2070

- CGCM2-FIC, ECHAM4-FIC y HadCM3-SDSM
- A2 y B2

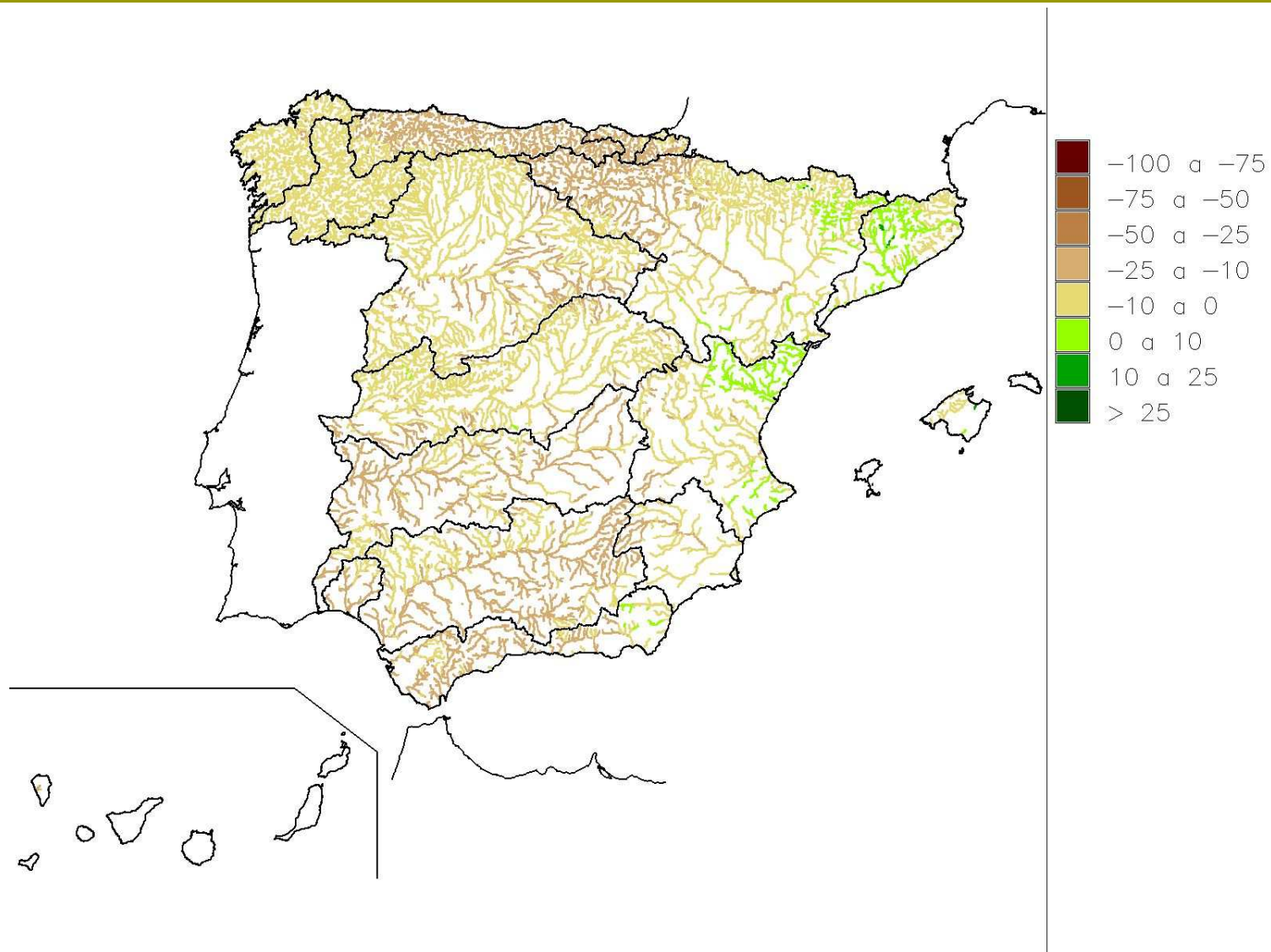


Desviaciones escorrentía (%). 2071-2100

- CGCM2-FIC, ECHAM4-FIC, HadAM3-FIC, HadCM3-SDSM, HadCM3-UCM y ECHAM4-SMHI
- A2 y B2



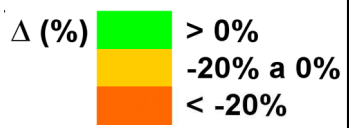
Desviación 2011-2040 aportación



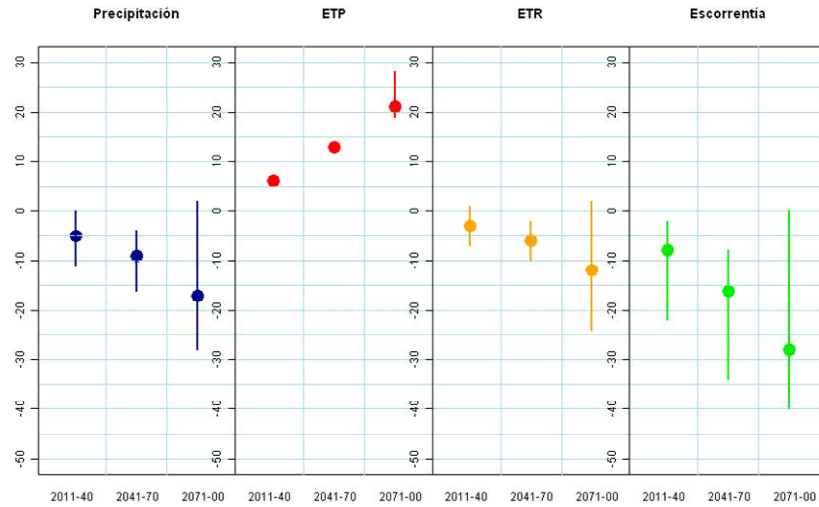
Desviación escorrentía

- ❑ 2011-2040: impacto A2 < B2 en ciertas regiones
- ❑ 2041-2070: impacto A2 > B2 en ciertas regiones
- ❑ 2071-2100. Reducción generalizada
- ❑ Variabilidad de resultados pronunciada:
 - Desviación en lluvia para el último periodo -28% to 2%
 - Se transforma en escorrentía -40% a 0%

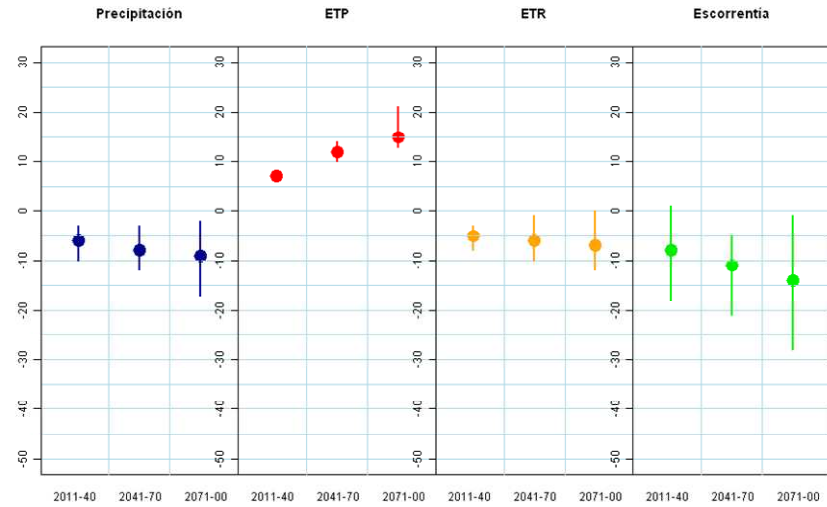
		Escenario A2						Escenario B2								
		Modelo regionalizado I	Modelo regionalizado II	Modelo regionalizado III	Modelo regionalizado IV	Modelo regionalizado V	Modelo regionalizado VI	Δ del promedio	Modelo regionalizado I	Modelo regionalizado II	Modelo regionalizado III	Modelo regionalizado IV	Modelo regionalizado V	Modelo regionalizado VI	Δ del promedio	
España	2011-2040	-3	-22		-2			-8	-6	-18		1				-8
	2041-2070	-9	-34		-8			-16	-5	-21		-8				-11
	2071-2100	-24	-37	0	-34	-28	-40	-28	-7	-28	-8	-1	-18	-22		-14



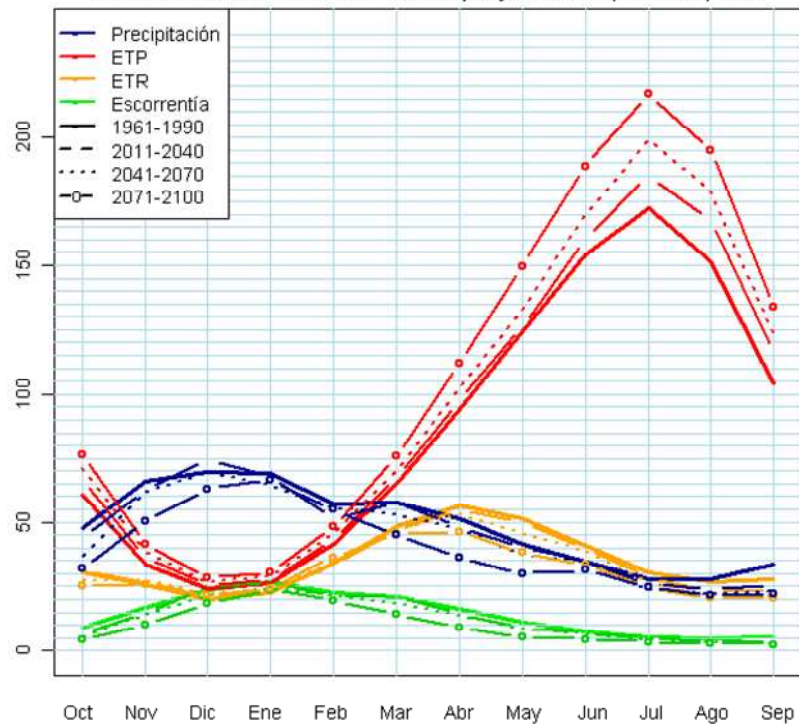
ESPAÑA. Desviaciones anuales de las proyecciones (%). A2.



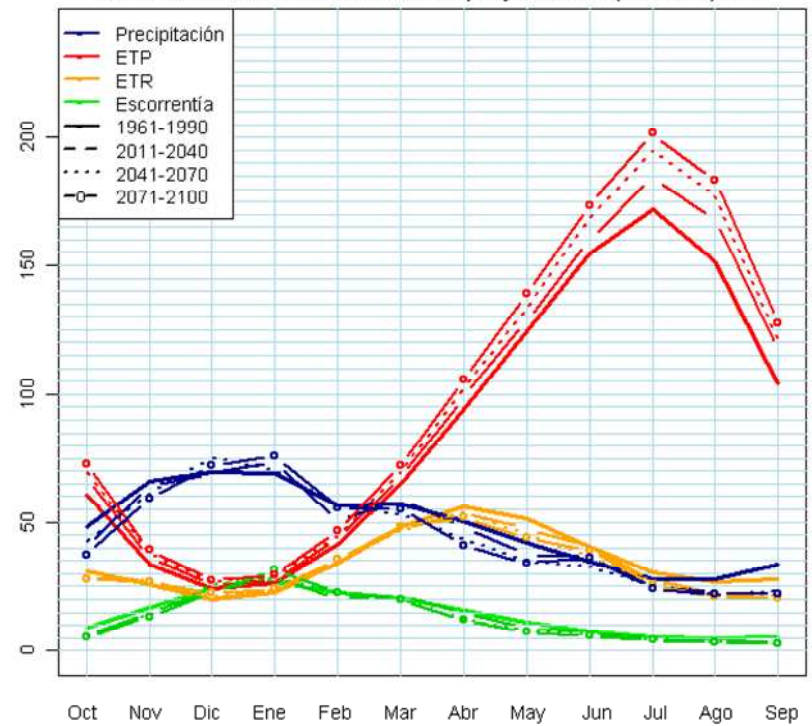
ESPAÑA. Desviaciones anuales de las proyecciones (%). B2.



ESPAÑA. Medias mensuales de las proyecciones (mm/mes). A2.



ESPAÑA. Medias mensuales de las proyecciones (mm/mes). B2.

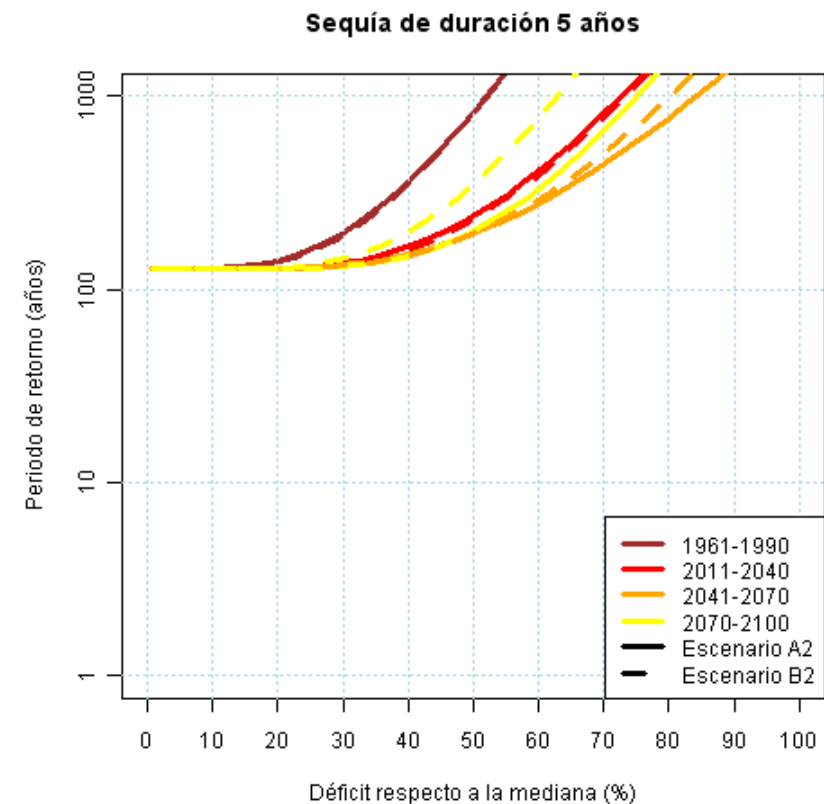
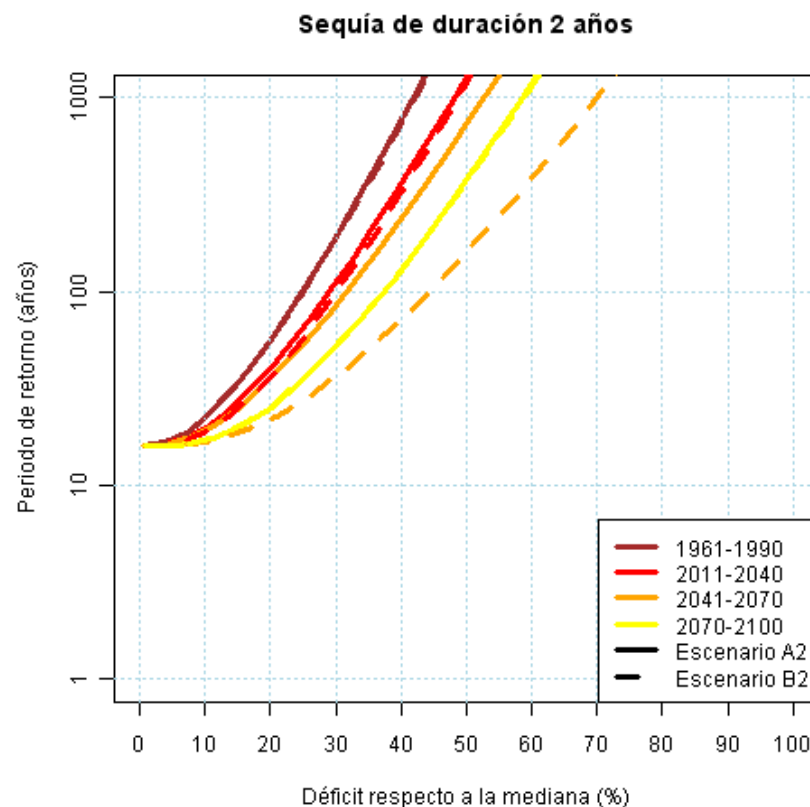


Análisis sequías

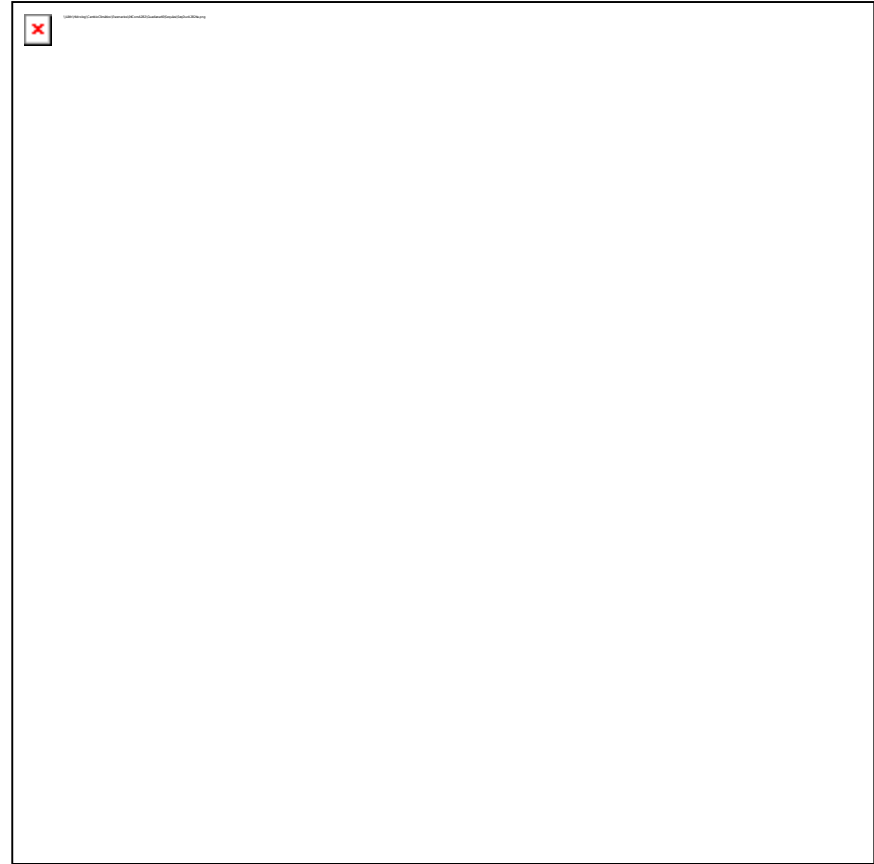
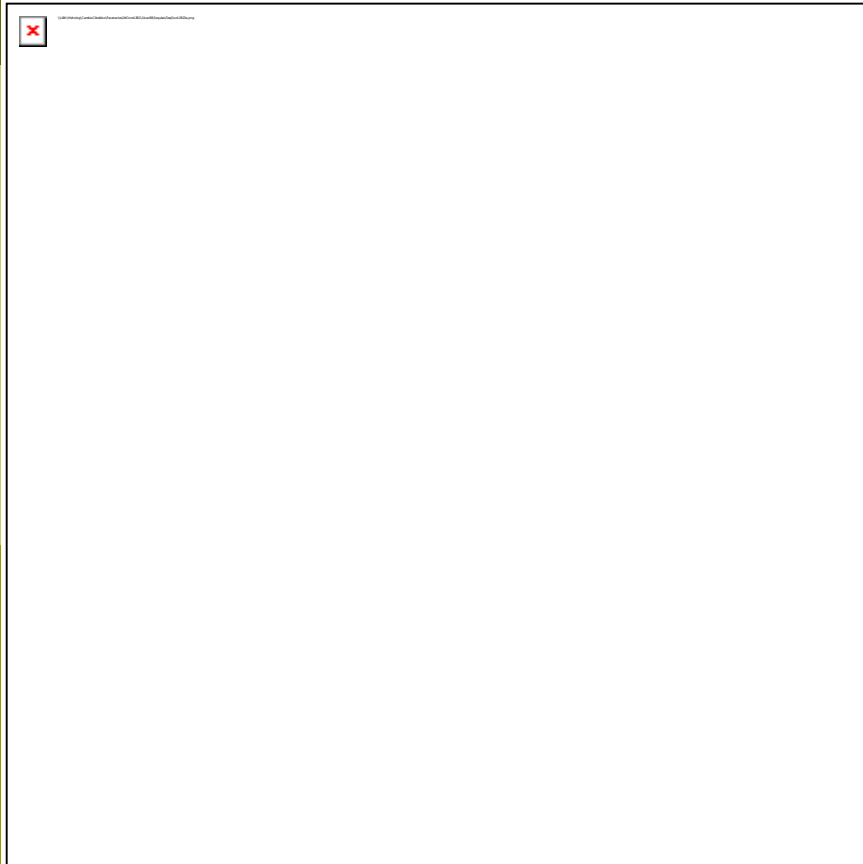
- Series anuales escorrentía
 - Periodos de 30 años
 - Generación de series sintéticas para exploración de eventos y ajuste de distribuciones de duración y déficit
- Distribución duración: geométrica
- Distribución déficit: gamma
- Distribución bivariada: producto de ambas (simplificación)
- Salas (2005) Colorado State

Resultados

- Gráficas Intensidad-Frecuencia para duraciones (años) dadas



Sequías en Júcar y Guadiana



Conclusiones

- Coordinación institucional
 - Proyecciones regionalizadas: AEMET
 - Análisis de impacto en recursos hídricos: CEH-CEDEX
- Incertidumbres. Contraste con datos observados 1961-1990
 - Propiedades series de lluvia (media y dt) infraestimadas
 - Diferentes QQ plots
 - Estacionalmente:
 - húmedo (infraestimación)
 - seco (sobreestimado)
 - Es recomendable manejar un periodo de control más extenso
 - Mejor representación de los estadísticos principales
 - Coincidencia con el proceso de Planificación Hidrológica: desde 1940
 - Mala representación de las propiedades estadísticas de los máximos diarios observados

... conclusiones

- No se han realizado transformaciones en las proyecciones
 - Regionalización ya hecha
 - Relaciones complejas entre variables
 - Varios objetivos: recursos hídricos, sequías y lluvias máximas
 - Validación por medio de Schreiber-Budyko
- Resultados en recursos hídricos:
 - Disminuciones de la lluvia en la mayoría de regiones
 - Ascenso generalizado de ETP
 - Disminución de recursos ligada principalmente a la de lluvia
 - Estacionalidad PRE/ETP reduce el impacto del ascenso de ETP
- ... adicionales
 - Dispersión de resultados entre proyecciones
 - El promedio no varía sustancialmente respecto a estimaciones previas
 - Planificación hidrológica
- No hay tendencia en las series PMX; sí en índices como R95T

Discusión

- ¿Equiprobabilidad en futuras proyecciones?
 - Más o menos probables
 - Actualmente: nº excesivo de proyecciones
 - Cuál es el índice representativo de impacto: hay proyecciones muy pesimistas y poco prácticas, ¿media?
- Alto interés sobre impactos de periodos inmediatos y baja fiabilidad
- Regionalización y sesgo
 - Las transformaciones cambian las propiedades de las series
 - ¿Homogeneizar la corrección del sesgo?
 - RR.HH.: media, variabilidad anuales y estacionales; llluvias máximas: momentos hasta 3er orden, distribución de frecuencias y caracterización de duraciones
- Limitación: parametrización del modelo hidrológico
- Formatos de información: diario y en estaciones



Gracias por su atención