



# Metodología basada en generadores meteorológicos estocásticos para la estimación de avenidas extremas en escenarios de cambio global

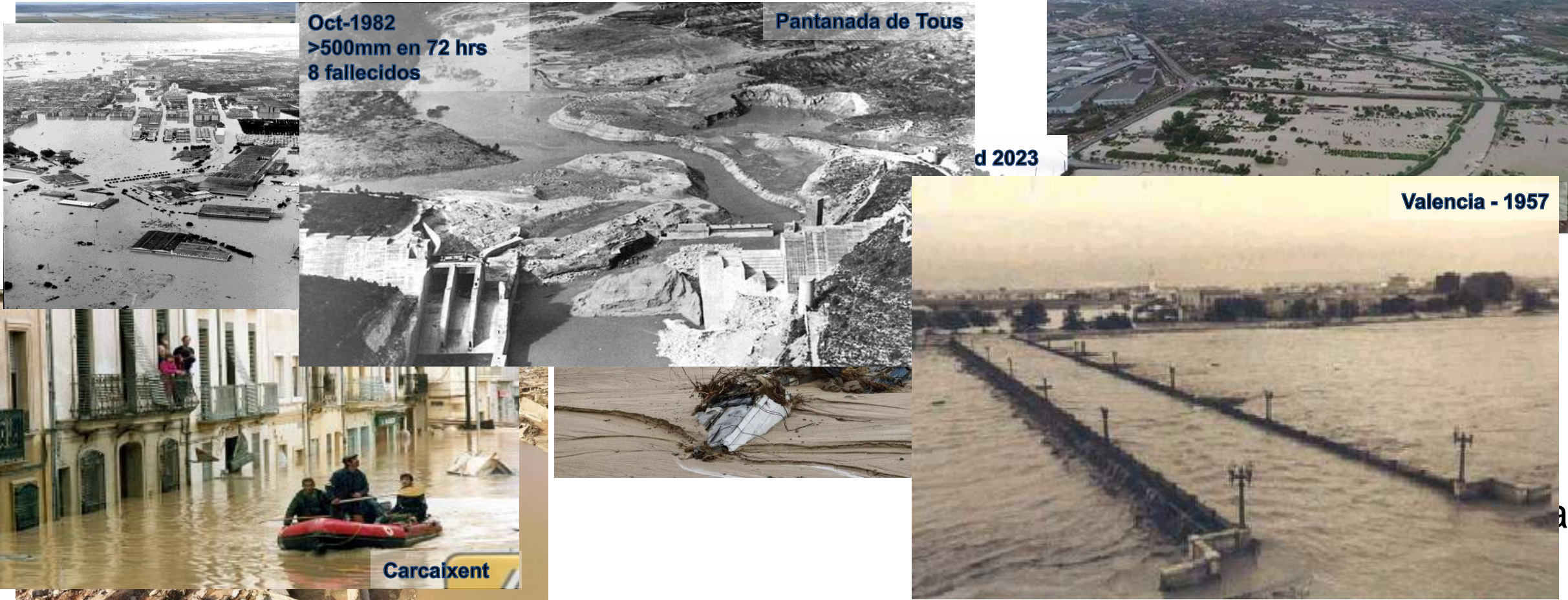
Carles Beneyto, José Ángel Aranda y Félix Francés

*Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental (GIMHA)*

*Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA)*

*Universitat Politècnica de València*

## □ Larga historia de inundaciones devastadoras



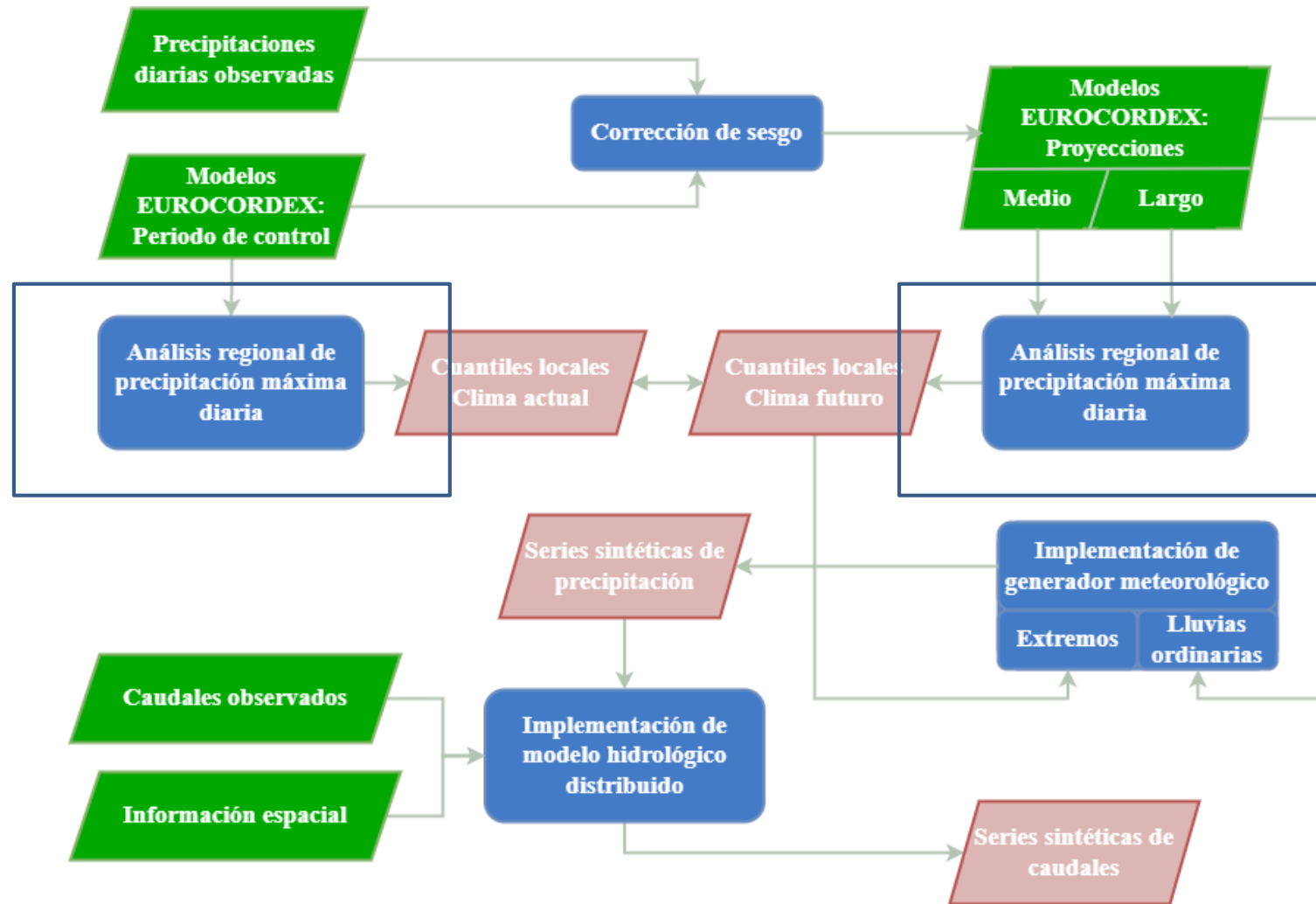
- Importancia del estudio de avenidas extremas
  - Diseño de infraestructuras hidráulicas (**Normativa de Seguridad de Presas, 2023**)
  - Elaboración de mapas de inundación (**Directiva 2007/60 CE**)

**Desarrollar una metodología basada en generadores meteorológicos estocásticos (**Generador meteorológico + modelo hidrológico distribuido + integración de información**) para la estimación de avenidas extremas (raras) en escenarios de cambio global**

- Tradicionalmente:
  - Ajuste de  $Q_{obs}$  a función de distribución
  - Tormenta de diseño
- Generación sintética de precipitación (+ modelo hidrológico):
  - Procesos estocásticos
    - ❖ Tormentas aisladas
    - ❖ Transposición de tormentas
  - Estado inicial**
  - ❖ Procesos puntuales de clúster generalizado de N-S

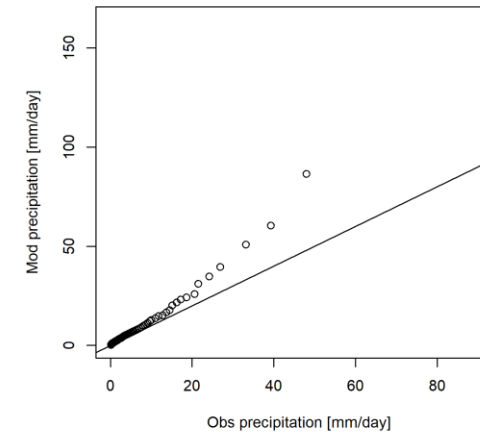
**Escasa longitud de registros tanto pluviométricos como de aforos**

- **Simulación Continua Sintética**
  - Simulación Estocástica + Modelo Hidrológico
    - ✓ Escasa longitud de las observaciones
    - ✓ Distribución espacio-temporal de la tormenta
    - ✓ Estado inicial de la cuenca
- Inconvenientes:
  - Reproducción de extremos en condiciones normales de información disponible
  - Generadores meteorológicos subsidiarios a día de hoy complejos y con altas exigencias de tiempo computacional

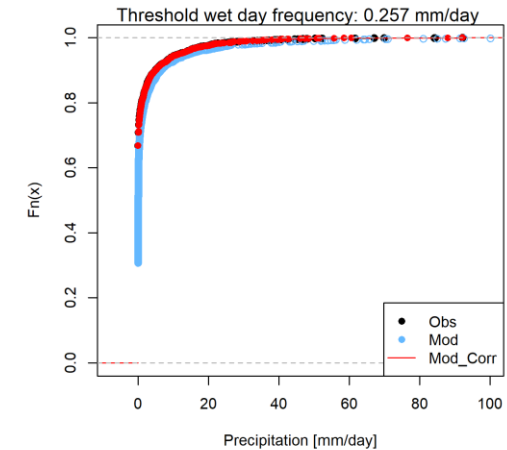


- T y P de los 12 modelos climáticos con el conjunto de datos de Spain02-v5.
- Basada en la transformación estadística no paramétrica de cuantiles empíricos (*Gudmundsson et al., 2012*).
- Implementada por estaciones por separado: diciembre - febrero, marzo - mayo, junio - agosto y septiembre - noviembre
- Frecuencia de días húmedos y la frecuencia de días secos según lo propuesto por Themeßl et al. (2012).

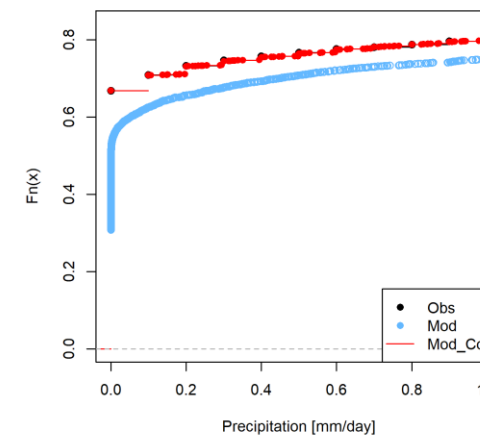
Quantile-quantile plot



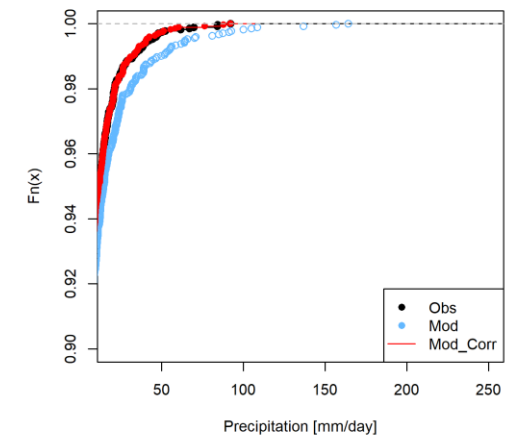
Empirical CDF



Empirical CDF: focus dry part



Empirical CDF: focus wet part



- ❑ **Estimación de los L-momentos**
- ❑ Análisis de homogeneidad (discordancia)
- ❑ Selección de la cdf regional
- ❑ Obtención de los cuantiles locales

$$X_{i,T} = X_{R,T} \cdot \bar{X}_i$$

where  $X_{i,T}$  is the quantile of return period  $T$  at location  $i$ ,

$X_{R,T}$  is the regional quantile of return period  $T$

$\bar{X}_i$  is the mean of the registered data at location  $i$ .

(Hosking & Wallis, 1993, 1997) (Dalrymple, 1960)

$$PWM_{p,r,s} = E\{X^p \cdot F_X(x)^r \cdot [1 - F_X(x)]^s\} \quad \text{Greenwood et al. (1979)}$$

$$\beta_r = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=r+1}^n \frac{(j-1) \cdot (j-2) \cdot \dots \cdot (j-r)}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot \dots \cdot (n-r)} \cdot x_j \quad (\text{Hosking y Wallis, 1997})$$

$$\lambda_1 = \beta_0$$

$$\lambda_2 = 2 \cdot \beta_1 - \beta_0$$

$$\lambda_3 = 6 \cdot \beta_2 - 6 \cdot \beta_1 + \beta_0$$

$$\lambda_4 = 20 \cdot \beta_3 - 30 \cdot \beta_2 + 12 \cdot \beta_1 - \beta_0$$

$$t = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad t_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \quad t_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2}$$

$t$ : L-Coefficient of Variation (L-CV)

$t_3$ : L- Coefficient of Skewness (L-CS)

$t_4$ : L- Coefficient of Kurtosis (L-CC)

## Generador Meteorológico GWEX

- Extended Generalized Pareto Distribution (E-GPD)  
-> cola pesada

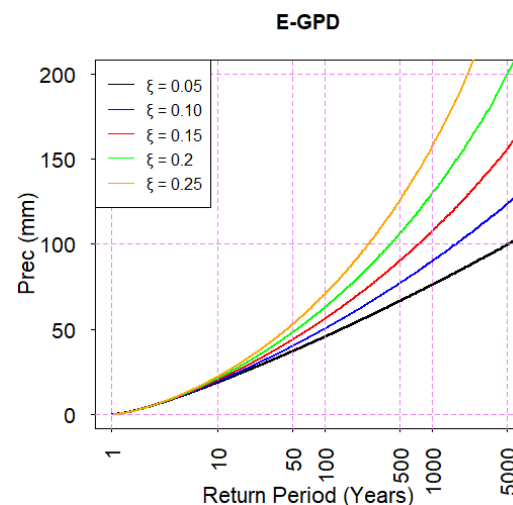
$$F(x; \lambda) = \left[ 1 - \left( 1 + \frac{\xi x}{\sigma} \right)_+^{-1/\xi} \right]^k, x > 0$$

- Estimación de parámetros

$\sigma,$   
 $k,$  } De observaciones

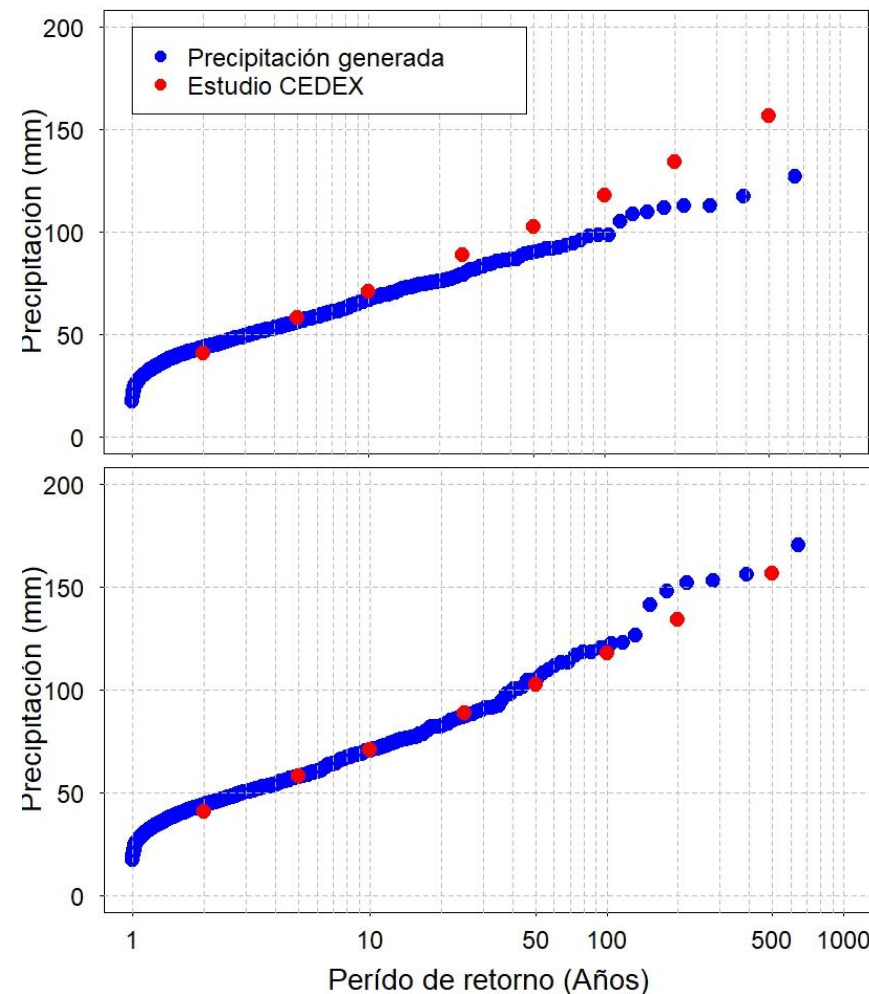
$\xi,$  De estudios mas robustos

- Agregación 3-días



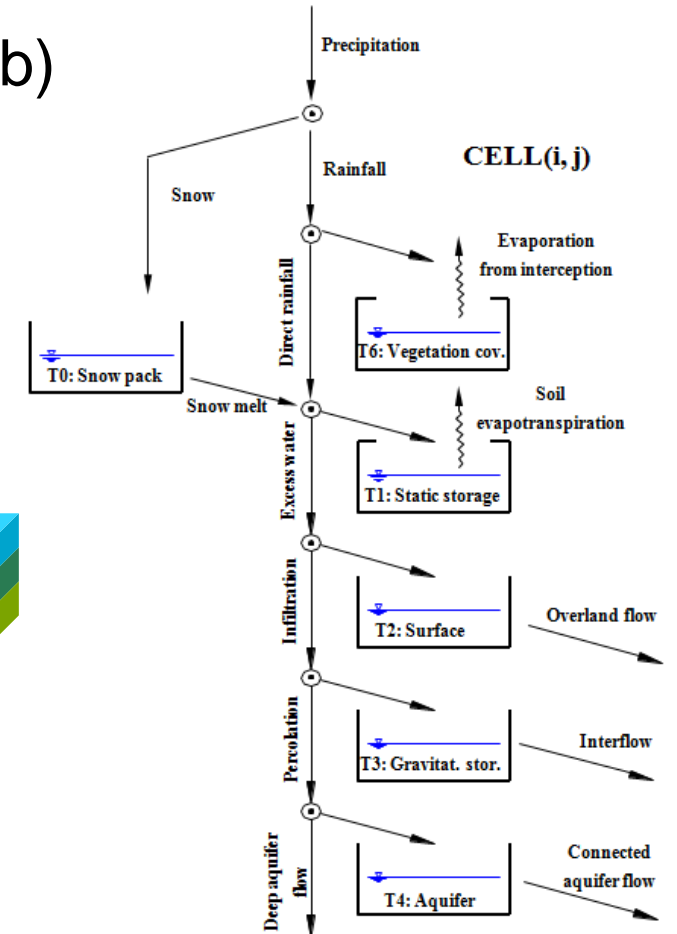
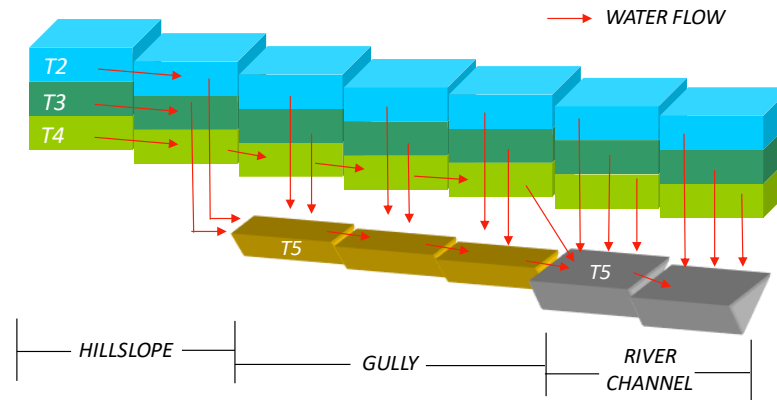
(Beneyto et al, 2020)

(Beneyto et al, 2023a)



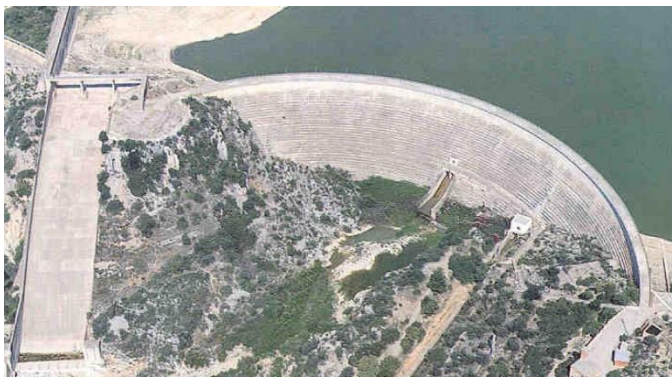
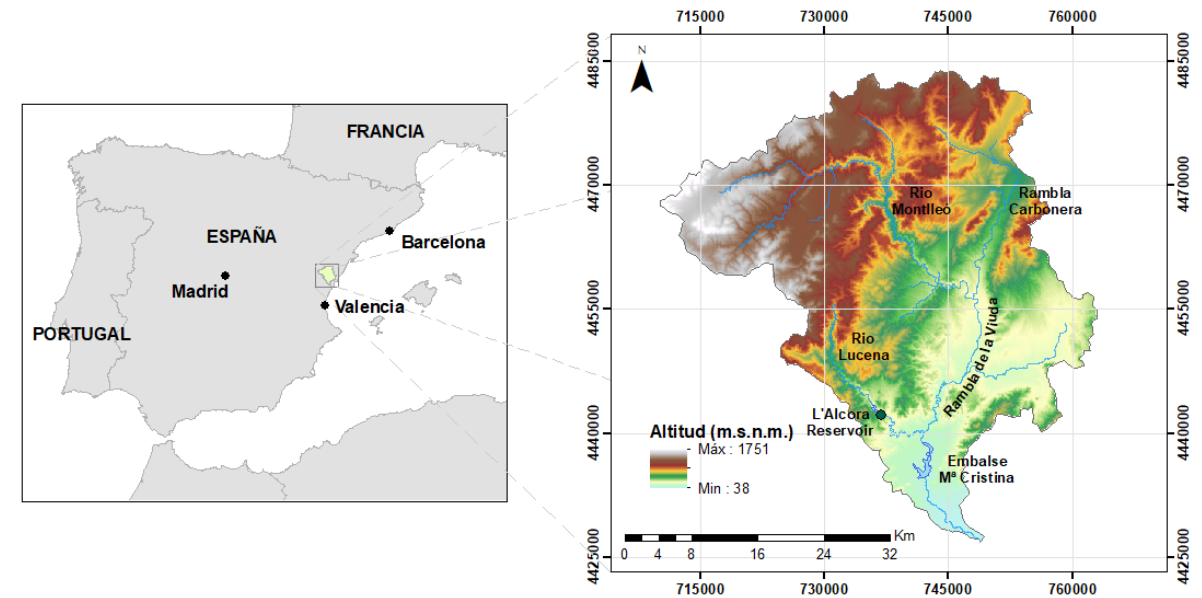


- ❑ Desarrollado por el grupo desde 1994 (versión 9 en la web)
- ❑ Modelo conceptual (estructura de tanques) y parámetros físicamente basados
- ❑ Parsimonioso
- ❑ Modelo Integral
- ❑ Distribuido en el espacio:
- ❑ Incorpora la estructura efectiva de parámetros



Esquema conceptual del modelo TETIS a escala de celda

- ❑ **Rambla de la Viuda:** río efímero
- ❑ Área aproximada: 1,500 km<sup>2</sup>
- ❑ Clima semiárido mediterráneo
- ❑ Alta variabilidad de la precipitación
- ❑ Dos embalses (M<sup>a</sup> Cristina y Alcora)



## □ Información Hidrometeorológica

### ➤ Precipitación

- Rejilla Spain02-v5: 20 pluviómetros + termómetros: 1951-2015 (66 años)

### ➤ Aforos

- SAIH Júcar

	Longitud de las series (años completos)	Periodo	
		Inicio	Final
Mª Cristina (Embalse)	59	1/10/1959	17/12/2018
Alcora (Embalse)	56	1/10/1959	30/09/2015
Vall d'Alba	15	13/05/2004	17/12/2018
Monleon	14	1/11/2005	20/12/2018

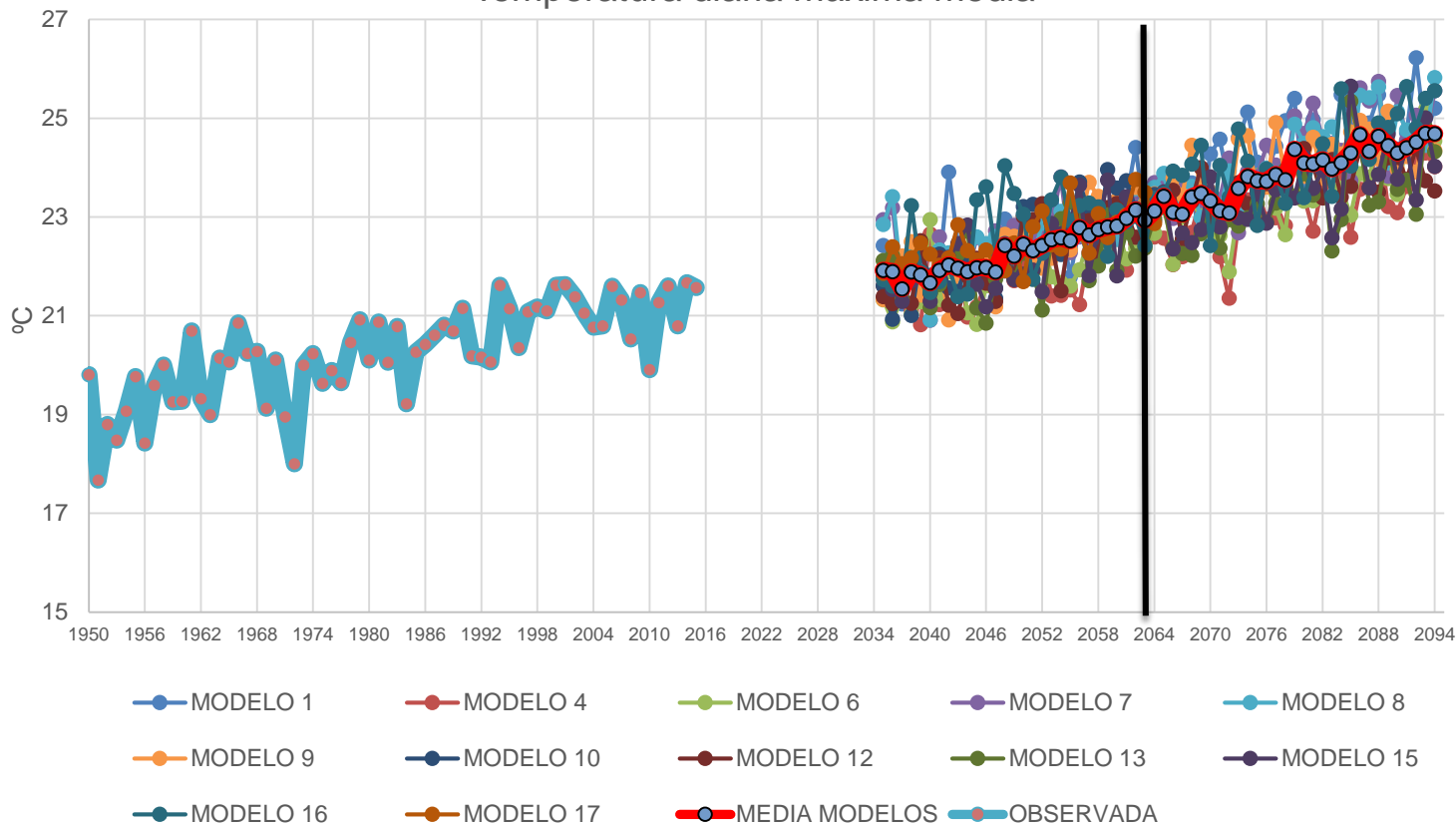
## ➤ Proyecciones Climáticas

- 12 Modelos Proyecto EUROCORDEX
  - Periodo de Control: (1971-2000)
  - Proyección Medio Plazo: (2035-2064)
  - Proyección Largo Plazo: (2065-2094) (RCP 8.5)

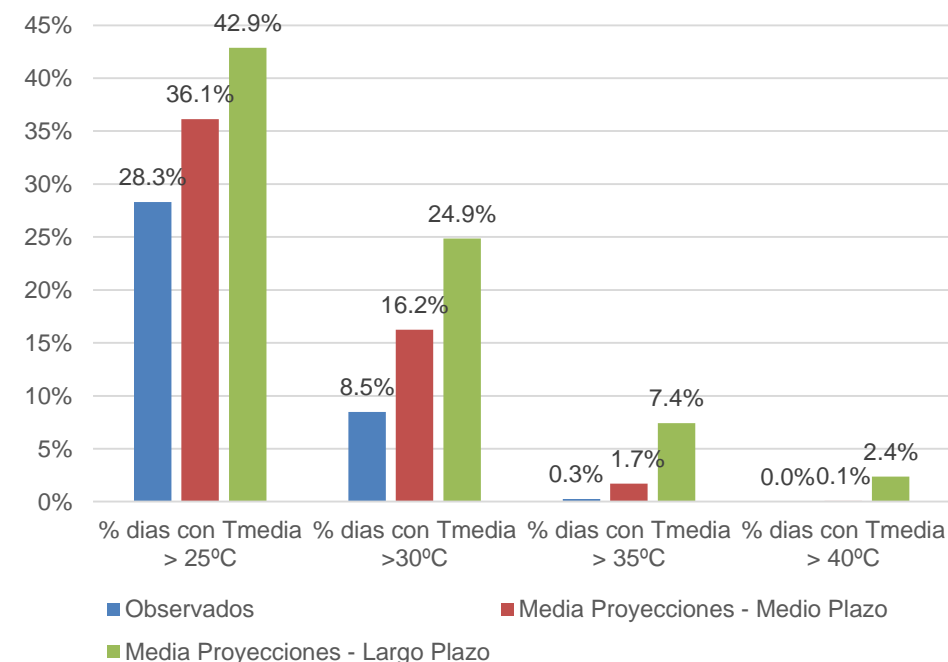
Modelo	GCM	RCM	Instituto
1	MPI-M-MPI-ESM-LR	COSMO-crCLIM-v1-1	CLMcom-ETH
4	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CCLM4-8-17	CLMcom
6	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	RACMO22E	KNMI
7	ICHEC-EC-EARTH	COSMO-crCLIM-v1-1	CLMcom-ETH
8	ICHEC-EC-EARTH	RACMO22E	KNMI
9	IPSL-IPSL-CM5A-MR	RACMO22E	KNMI
10	MOHC-HadGEM2-ES	CCLM4-8-17	CLMcom
12	MOHC-HadGEM2-ES	RACMO22E	KNMI
13	MPI-M-MPI-ESM-LR	CCLM4-8-17	CLMcom
15	MPI-M-MPI-ESM-LR	KNMI-RACMO22E	KNMI
16	MPI-M-MPI-ESM-LR	REMO2009	MPI-CSC
17	NCC-NorESM1-M	COSMO-crCLIM-v1-1	CLMcom-ETH

## Temperatura máxima

Temperatura diaria máxima media

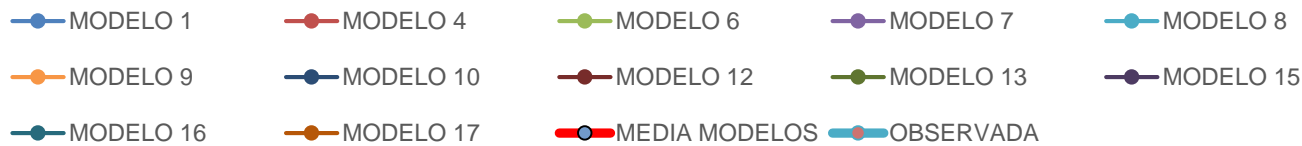
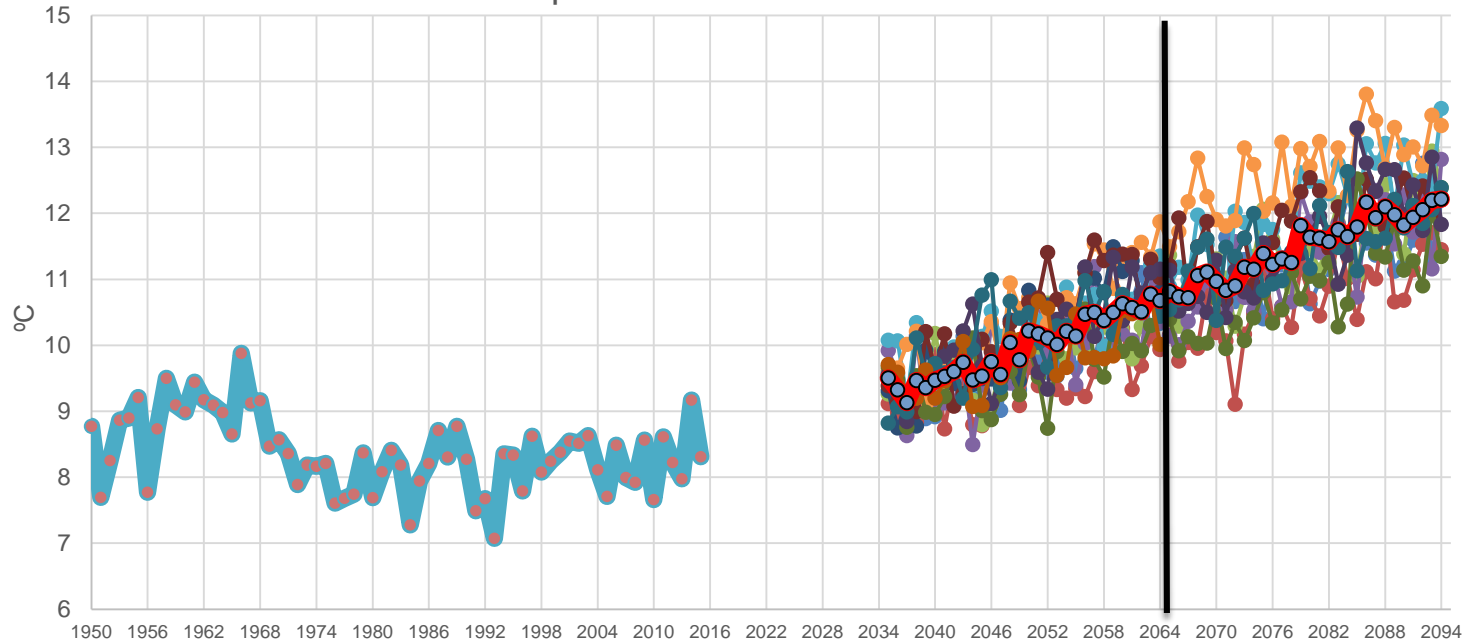


Temperatura máxima

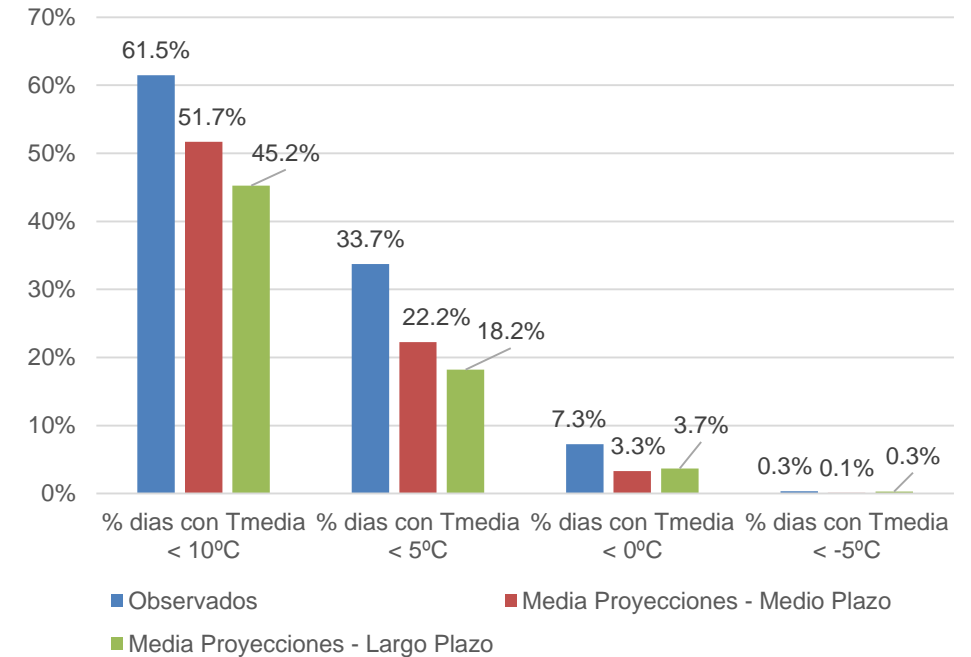


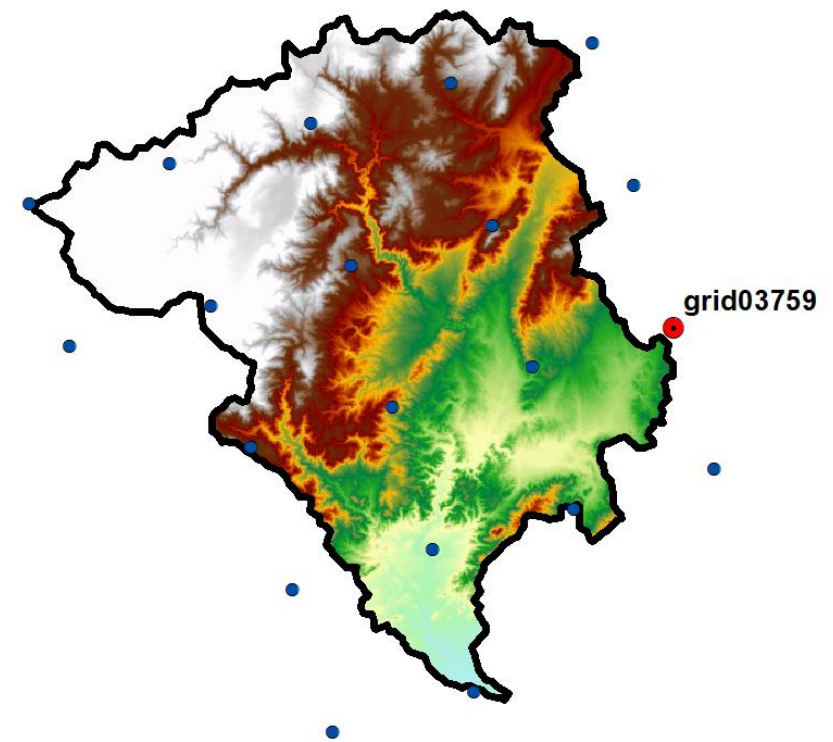
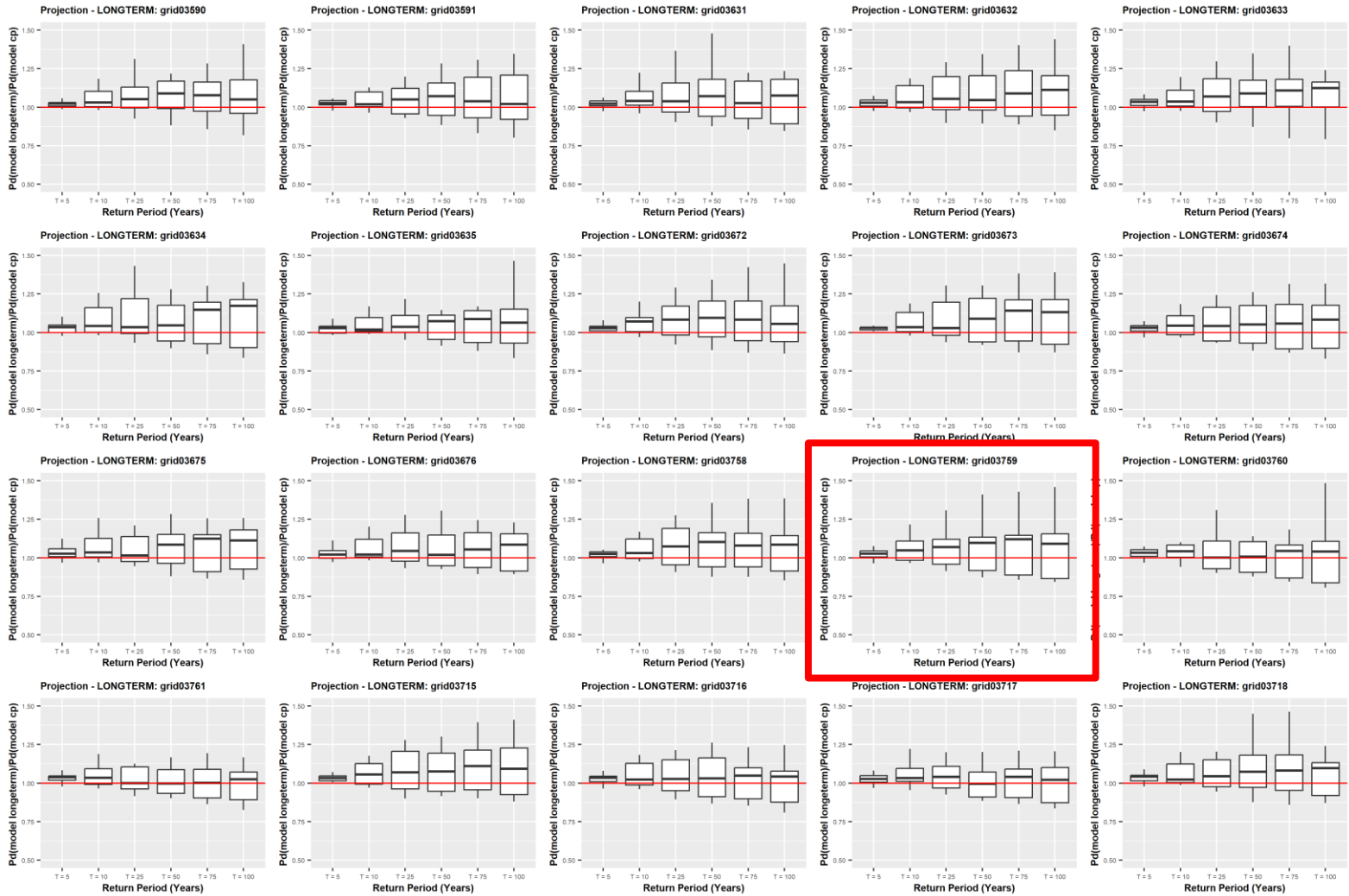
## Temperatura mínima

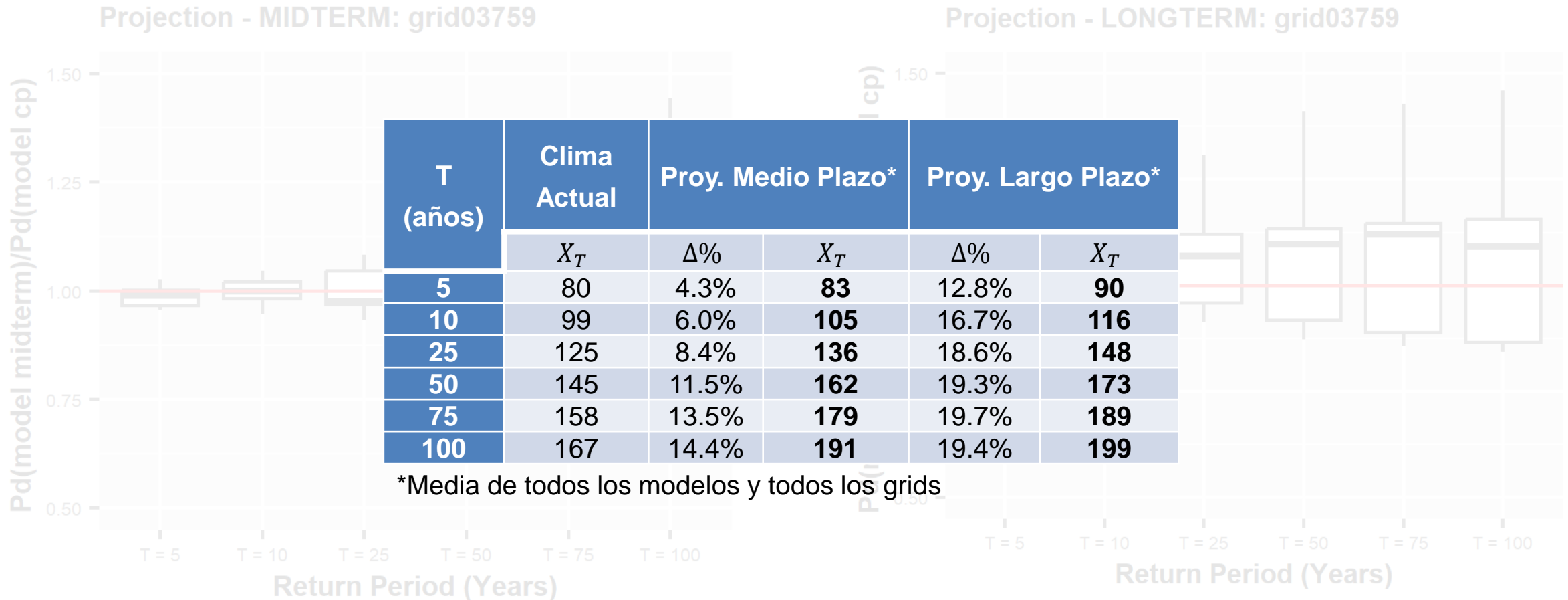
Temperatura diaria mínima media



Temperatura mínima







## María Cristina (1,447 km<sup>2</sup>)

T (años)	OBSERVADOS (m <sup>3</sup> )	PROYECCIONES CLIMATICAS (m <sup>3</sup> )			
		Delta (%)	MEDIO PLAZO	Delta (%)	LARGO PLAZO
5	20	12%	22	8%	21
10	38	12%	43	16%	44
25	68	22%	83	33%	91
50	101	38%	140	54%	155
75	130	48%	192	56%	202
100	147	53%	225	58%	232

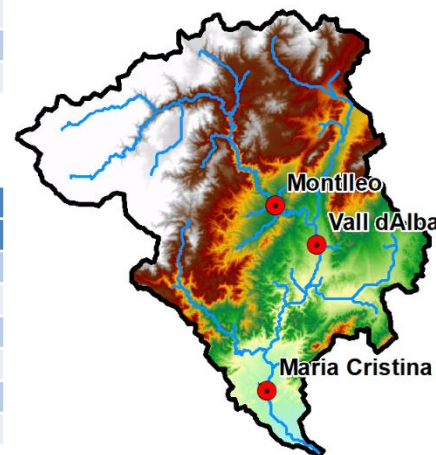
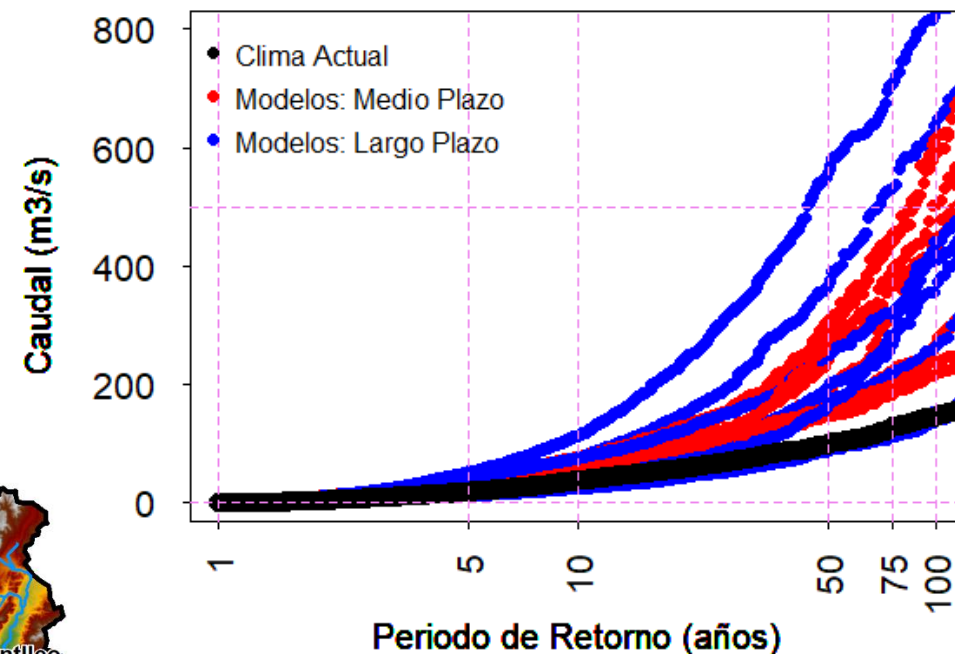
## Vall d'Alba (906 km<sup>2</sup>)

T (años)	OBSERVADOS (m <sup>3</sup> )	PROYECCIONES CLIMATICAS (m <sup>3</sup> )			
		Delta (%)	MEDIO PLAZO	Delta (%)	LARGO PLAZO
5	12	11%	14	10%	13
10	22	13%	24	33%	29
25	39	21%	47	64%	64
50	56	41%	79	88%	105
75	69	49%	103	86%	130
100	80	50%	121	80%	145

## Montlleó (501 km<sup>2</sup>)

T (años)	OBSERVADOS	PROYECCIONES CLIMATICAS (m <sup>3</sup> )			
		Delta (%)	MEDIO PLAZO	Delta (%)	LARGO PLAZO
5	4	3%	4	5%	4
10	6	7%	6	42%	8
25	11	27%	14	111%	23
50	17	57%	27	137%	40
75	21	73%	37	145%	52
100	28	77%	49	130%	64

## Rambla de la Viuda en Maria Cristina





- La alta variabilidad espacio-temporal de las inundaciones hace necesaria la utilización de un Generador Meteorológico en combinación con un modelo hidrológico distribuido frente a tormenta de diseño y modelos agregados
- Se debe incorporar información adicional en la implementación del Generador Meteorológico para una modelación adecuada de cuantiles de baja frecuencia, especialmente cuando los registros de precipitaciones extremas sean escasas
  - Nuestra propuesta es incorporar un análisis regional de precipitación máxima diaria anual en los modelos climáticos para aumentar la cantidad de información
- Esta metodología se ha aplicado en un caso de estudio con clima mediterráneo semiárido y razonablemente extenso, con resultados satisfactorios

- En términos de temperaturas, éstas van a experimentar un incremento notable tanto en las  $T_{\max}$  como en las  $T_{\min}$ , incrementándose también los episodios de olas de calor y reduciéndose los de frío
  - Afección al estado inicial de la cuenca: mayor ETO
- Los cuantiles de precipitación también van a experimentar un incremento importante tanto a medio como a largo plazo
- La metodología estima un incremento sistemático de todos los cuantiles de crecida, que se acentúan a largo plazo y, especialmente, cuando se reduce el tamaño de cuenca. Además, estos incrementos en los cuantiles de crecida son sistemáticamente mayores que su respectivos cuantiles de precipitación



# Gracias por su atención!

Grupo de investigación de modelación hidrológica y ambiental

[lluvia.dihma.upv.es](http://lluvia.dihma.upv.es)

Instituto de ingeniería del agua y medio ambiente

Universitat Politècnica de València

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España a través del proyecto de investigación TETISCHANGE (RTI2018-093717-B-100) y TETISPREDICT (PID2022-141631OB-I00). Los autores desean agradecer el apoyo de la Confederación Hidrográfica del Júcar, AEMET y el grupo de Meteorología de Santander (UNICAN) por facilitar los datos hidrometeorológicos utilizados en este trabajo.

