



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estimación de crecidas en escenarios de cambio climático utilizando generadores meteorológicos

Carles Beneyto, José Ángel Aranda y Félix Francés
Grupo de Investigación en Modelación Hidrológica y Ambiental (GIMHA)
<http://lluvia.dihma.upv.es/>



iiama

Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente



- Presentar una metodología para la estimación de crecidas extremas basada en un **generador meteorológico (WG) multi-site** y diario y un **modelo hidrológico distribuido** en escenarios de **cambio climático**
- Hipótesis de estacionaridad en bloques de 30 años

Beneyto, C., Aranda, J.Á., Francés, F., 2024. **On the Use of Weather Generators for the Estimation of Low-Frequency Floods under a Changing Climate.** *Water* 2024, Vol. 16, Page 1059 16, 1059. <https://doi.org/10.3390/W16071059>



water 

Article

On the Use of Weather Generators for the Estimation of Low-Frequency Floods under a Changing Climate

Carles Beneyto , José Ángel Aranda  and Félix Francés 

Research Institute of Water and Environmental Engineering (IIAMA), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, E-46102 Valencia, Spain; carbet@upv.edu.es (C.B.); frances@upv.es (FF)
* Correspondence: jaranda@upv.es; Tel.: +34-963-877-000 (ext. 76152)

Abstract: The present work presents a methodology based on the use of stochastic weather generators (WGs) for the estimation of high-return-period floods under climate change scenarios. Applying the proposed methodology in a case study, Rambla de la Vidua (Spain), satisfactory results were obtained through the regionalization of the bias-corrected EUROCORDEX climate projections and the integration of this information into the parameterization of the WG. The generated synthetic data series fed a fully distributed hydrological model to obtain the future flood quantiles. The results obtained show a clear increase in the precipitation extreme quantiles for the two analyzed projections. Although slightly reducing the annual amount of precipitation, variations between 4.3% for a return period of 5 years in the mid-term projection and 19.7% for a return period of 100 years in the long-term projection have been observed. In terms of temperatures, the results point to clear increases in the maximum and minimum temperatures for both projections (up to 3.6 °C), these increases being greater for the long-term projection, where the heat waves intensify significantly in both magnitude and frequency. Finally, although rivers may present, in general, with lower flows during the year, flood quantiles experience an increase of 53–58% for high return periods, which reach values of up to 145% when we move to smaller catchments. All this combined translates into substantial shifts in the river flow regimes, increasing the frequency and magnitude of extreme flood events.

Keywords: weather generator; climate change; quantile; regional extreme precipitation study

 **check for updates**

Citation: Beneyto, C.; Aranda, J.Á.; Francés, F. On the Use of Weather Generators for the Estimation of Low-Frequency Floods under a Changing Climate. *Water* **2024**, *16*, 1059. <https://doi.org/10.3390/w16071059>

Academic Editor: Pavel Gressman

Received: 14 March 2024
Revised: 29 March 2024
Accepted: 4 April 2024
Published: 6 April 2024

 **Copyright:** © 2024 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

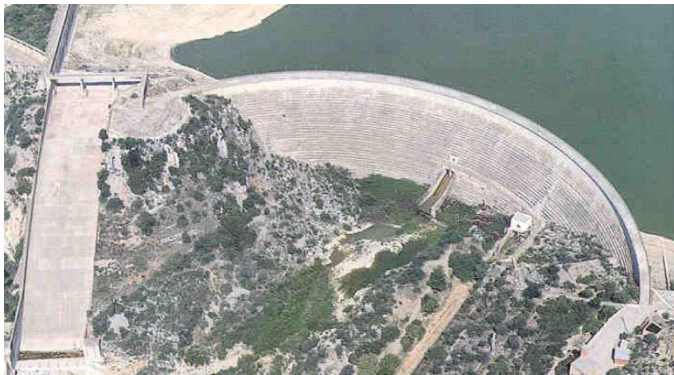
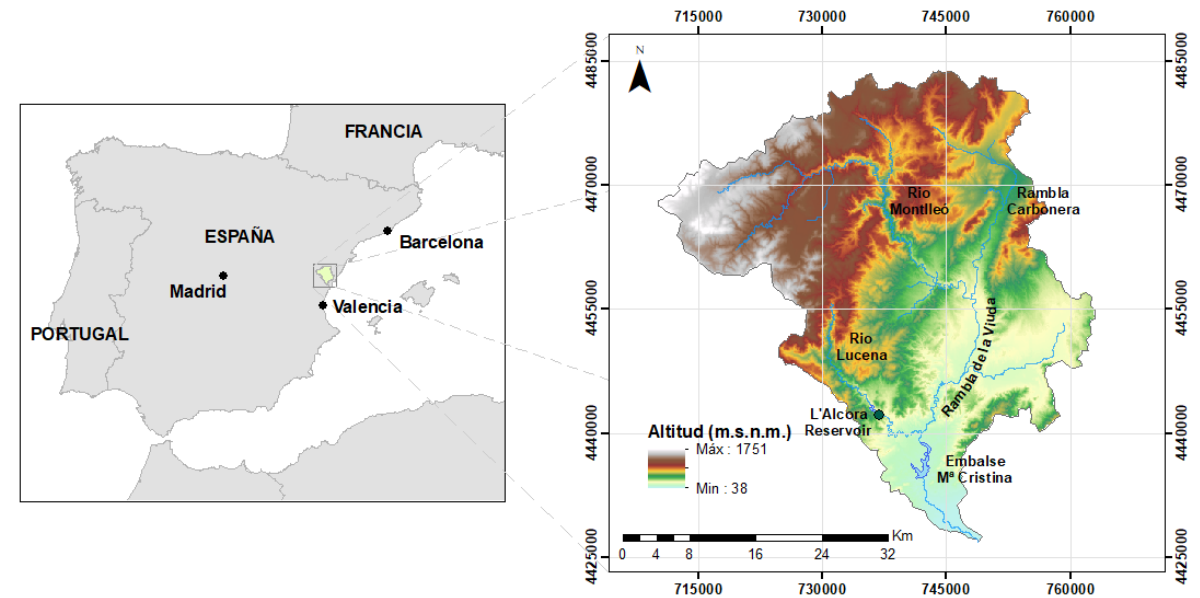
Ensuring the accurate estimation of high-return-period flood quantiles is paramount for appropriately dimensioning infrastructure and establishing effective flood warning systems [1,2]. Despite the emergence of novel methodologies for estimating these quantiles in recent years, the prevailing estimates still harbor **substantial uncertainties**. The limited temporal length of available time series data and the sparse deployment of rain gauges and monitoring stations stand out as primary sources of uncertainty, presenting formidable challenges within Flood Frequency Analysis (FFA). This challenge is particularly accentuated in arid and semi-arid regions [3], which are often poorly monitored.

Rapid advancements in computing capabilities have paved the way for the widespread adoption of Synthetic Continuous Simulation (SCS) within the scientific community: a hybrid methodology blending statistical and deterministic techniques for FFA studies. Leveraging a stochastic weather generator (WG) in tandem with a hydrological model (HM), SCS facilitates the generation of synthetic data series spanning a wide range of hydrometeorological variables. However, to ensure the robust performance of WGs, it is necessary to feed them with adequate input information, particularly when modeling extreme events [4]. Nevertheless, the duration of current observational records, typically limited to around 100 years at most, proves insufficient for optimal WG performance. Consequently, addressing this data deficiency necessitates the incorporation of additional flood information [5,6]. This may encompass non-systematic data sources, including

Water **2024**, *16*, 1059. <https://doi.org/10.3390/w16071059> <https://www.mdpi.com/journal/water>

Caso de estudio: Rambla de la Viuda

- ❑ Rio efímero
- ❑ 1,500 km²
- ❑ Clima semiárido mediterráneo
- ❑ Alta variabilidad de la precipitación
- ❑ Dos embalses (M^a Cristina y Alcora)



❑ Distribuido en el espacio:

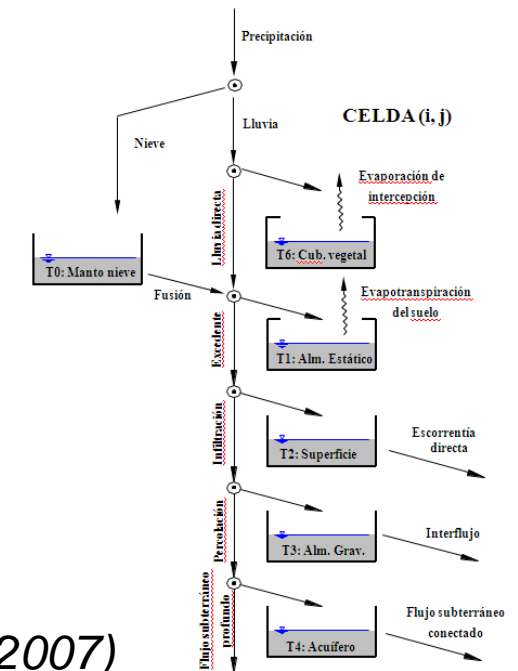
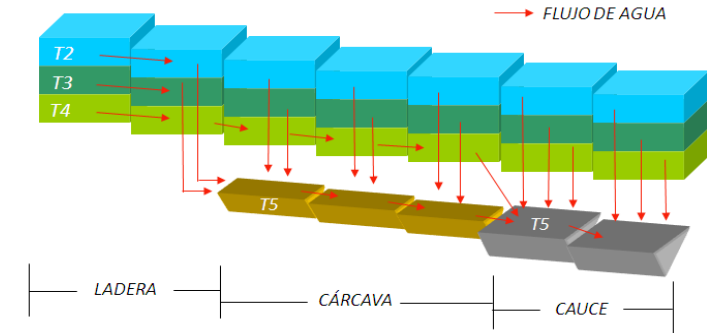
- Reproduce la **variabilidad espacial** del ciclo hidrológico
- Utiliza toda la información espacial disponible
- Ofreciendo resultados en cualquier punto

❑ Modelo Integral: adecuada caracterización del estado inicial

- recursos hídricos, inundaciones

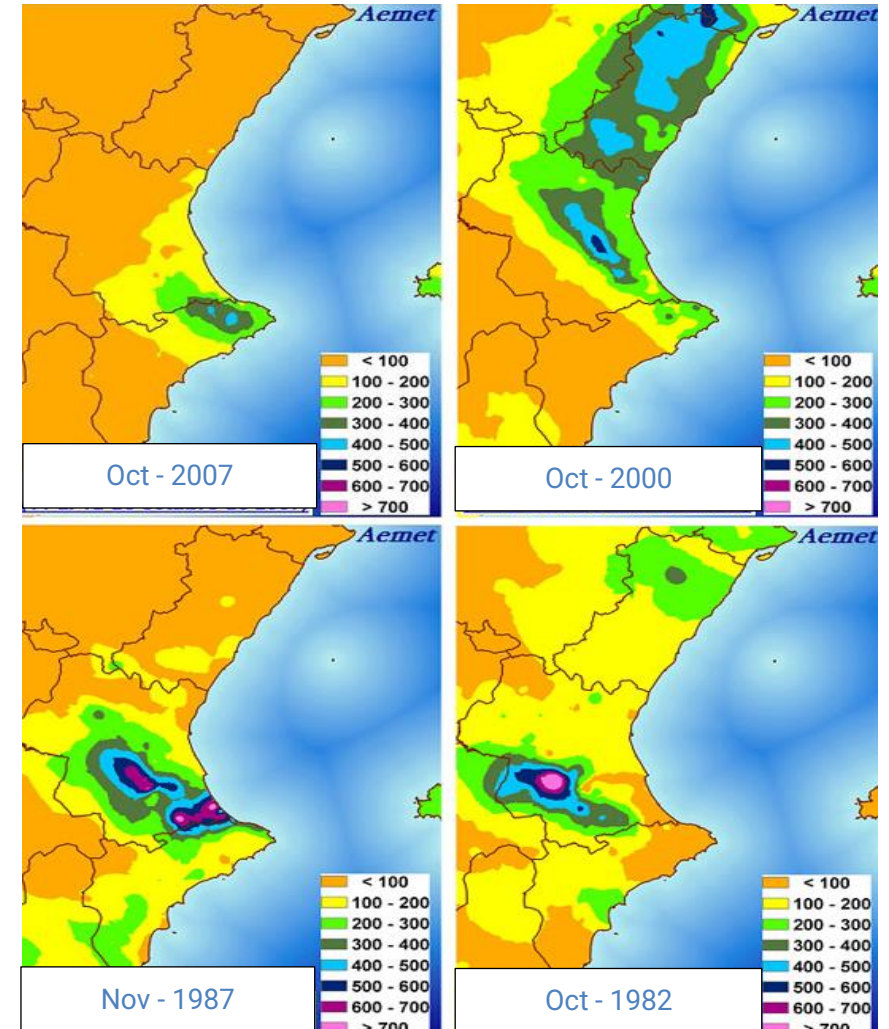
❑ Facilidad de calibración:

- Parsimonioso
- Posibilidad de calibración automática



(Francés et al., 2007)

- ❑ Características particulares del régimen de precipitaciones extremas del este peninsular:
 - Sistemas convectivos de mesoescala con **alta variabilidad espacio – temporal**
 - En otoño (SON)
 - Eventos cada 5-10 años en promedio
 - Por encima de los 100 mm y hasta 900 mm en 24 horas
 - Duración entre 2 y 3 días

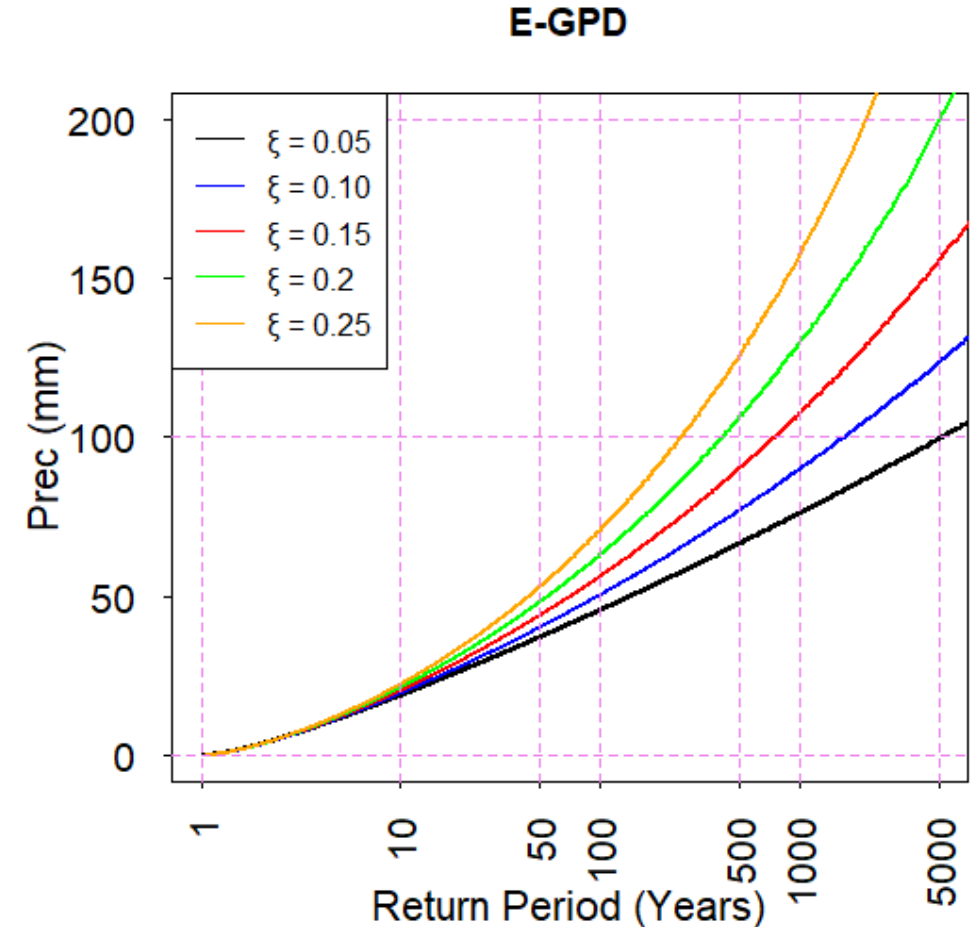


- ❑ Diario y multi-site
- ❑ Generación de temperatura condicionada con la precipitación
- ❑ Agregación 3-días
 - A diaria -> Método de los Fragmentos
- ❑ Extended Generalized Pareto Distribution (E-GPD) -> cola pesada:

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

- ❑ Tres parámetros [σ , κ , ξ]

(Evin et al., 2018)



Observados históricos

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

- Aforos ROEA y SAIH Júcar

	Longitud de las series	Periodo	
	(años completos)	Inicio	Final
M ^a 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 EUROCORDEX (RCP 8.5)
 - Periodo de Control: (1971-2000)
 - Medio Plazo: (2035-2064)
 - Largo Plazo: (2065-2094)

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

□ $\Delta x = 200\text{m}$, corrección del desfase temporal y pérdidas por transmisión

□ **Calibración:**

M^a Cristina (2003-2004)

NS = 0.930

□ **Validación temporal:**

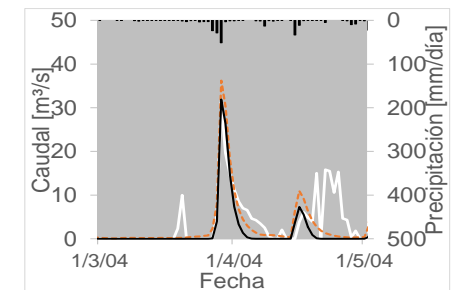
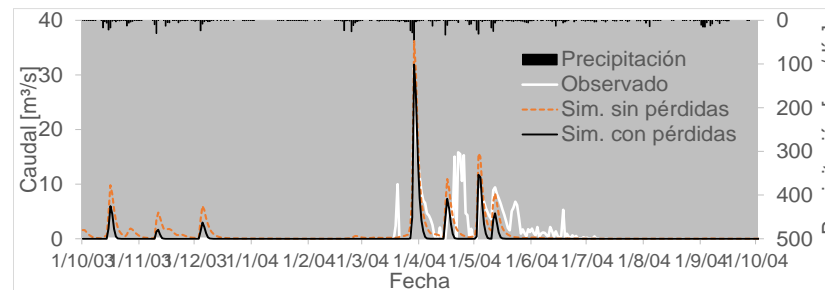
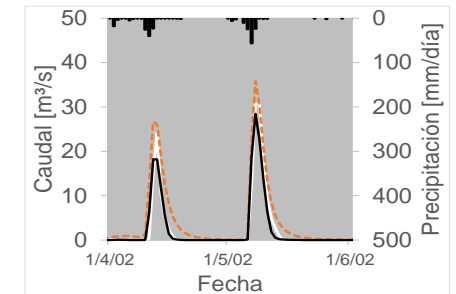
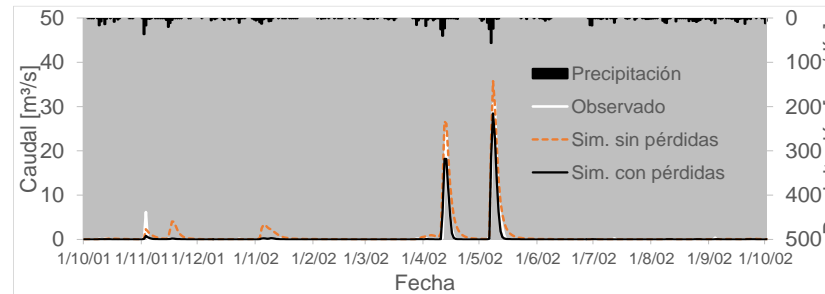
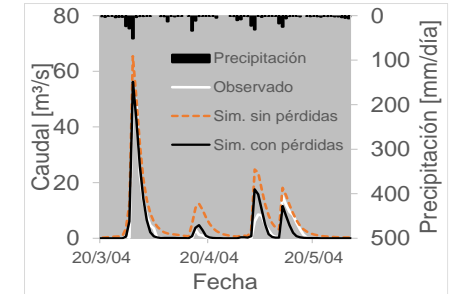
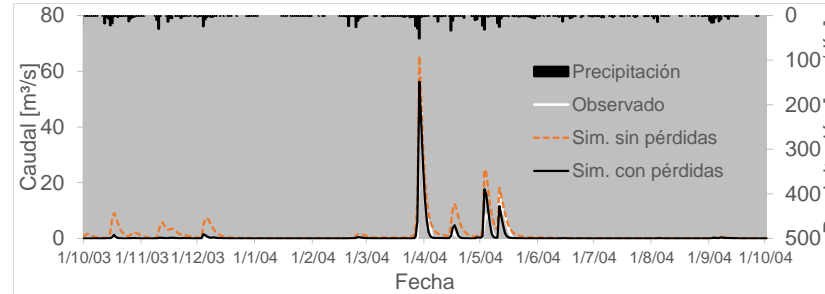
M^a Cristina (2000-2001)

NS = 0.928

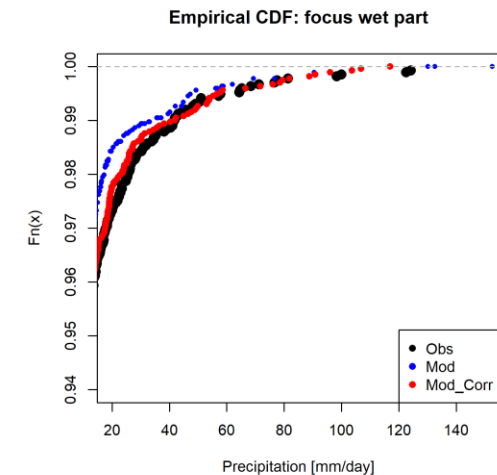
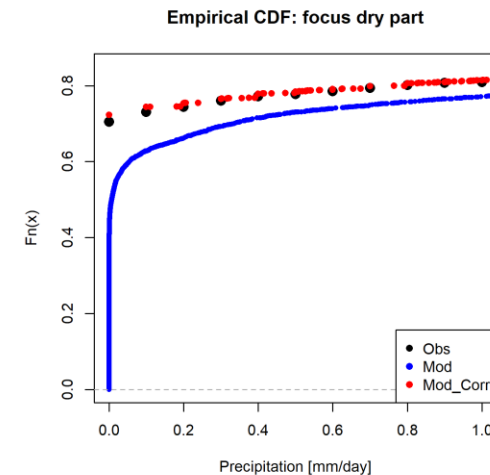
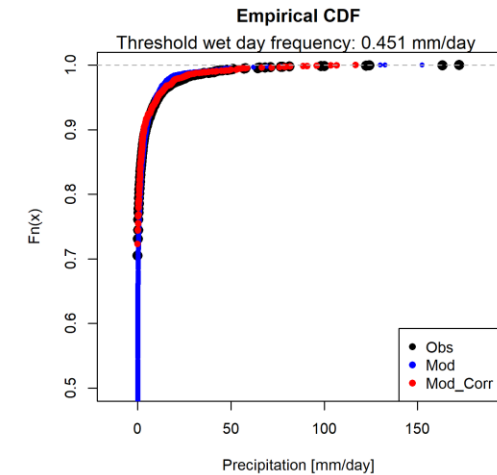
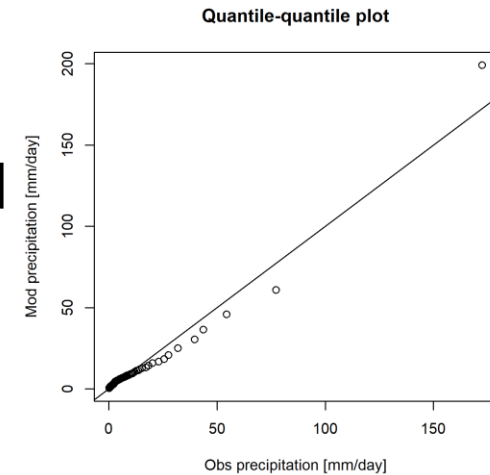
□ **Validación espacial:**

Vall d'Alba (2003-2004)

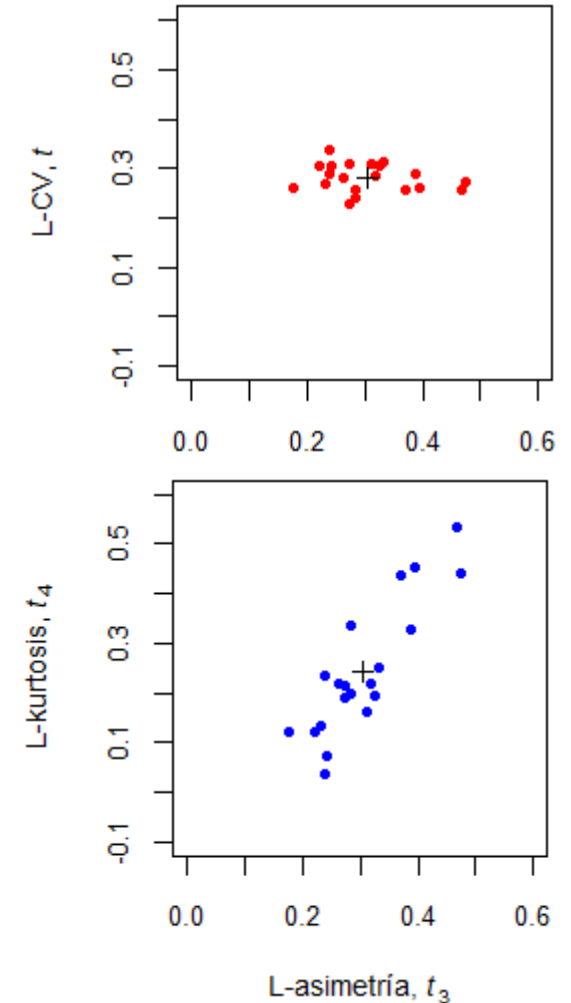
NS = 0.428



- ❑ T y P de los 12 modelos climáticos con el conjunto de datos de Spain02-v5
- ❑ Implementada por estaciones y para cada grid
- ❑ **Frecuencia días secos** según lo propuesto por Themeßl et al. (2012)
 - **Siempre**
- ❑ Transformación estadística no paramétrica de cuantiles empíricos (Gudmundsson et al., 2012)
 - **¿Con deltas es necesaria?**



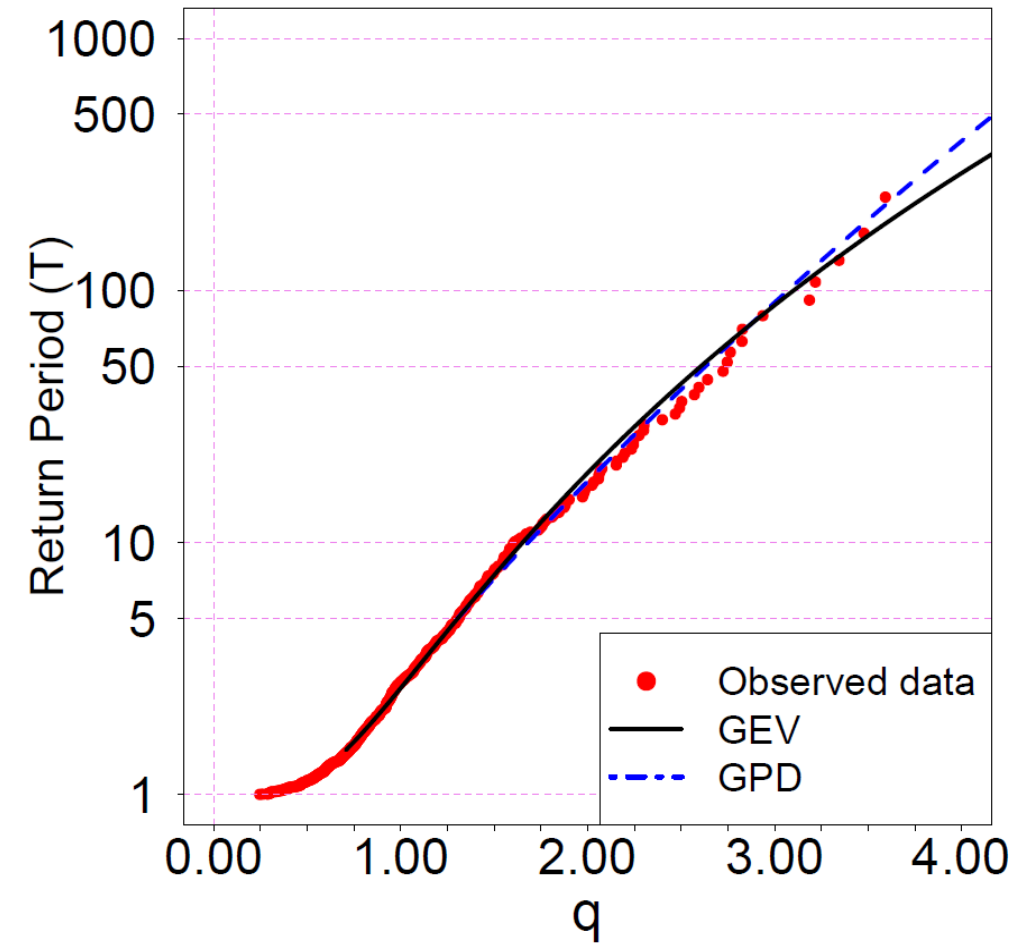
- Para cada escenario de clima:
 - Estimación de los L-momentos
 - Análisis de homogeneidad (discordancia)



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

Modelo 12 medio plazo

- Para cada escenario de clima:
 - Estimación de los L-momentos
 - Análisis de homogeneidad (discordancia)
 - Selección de la cdf regional => GDP

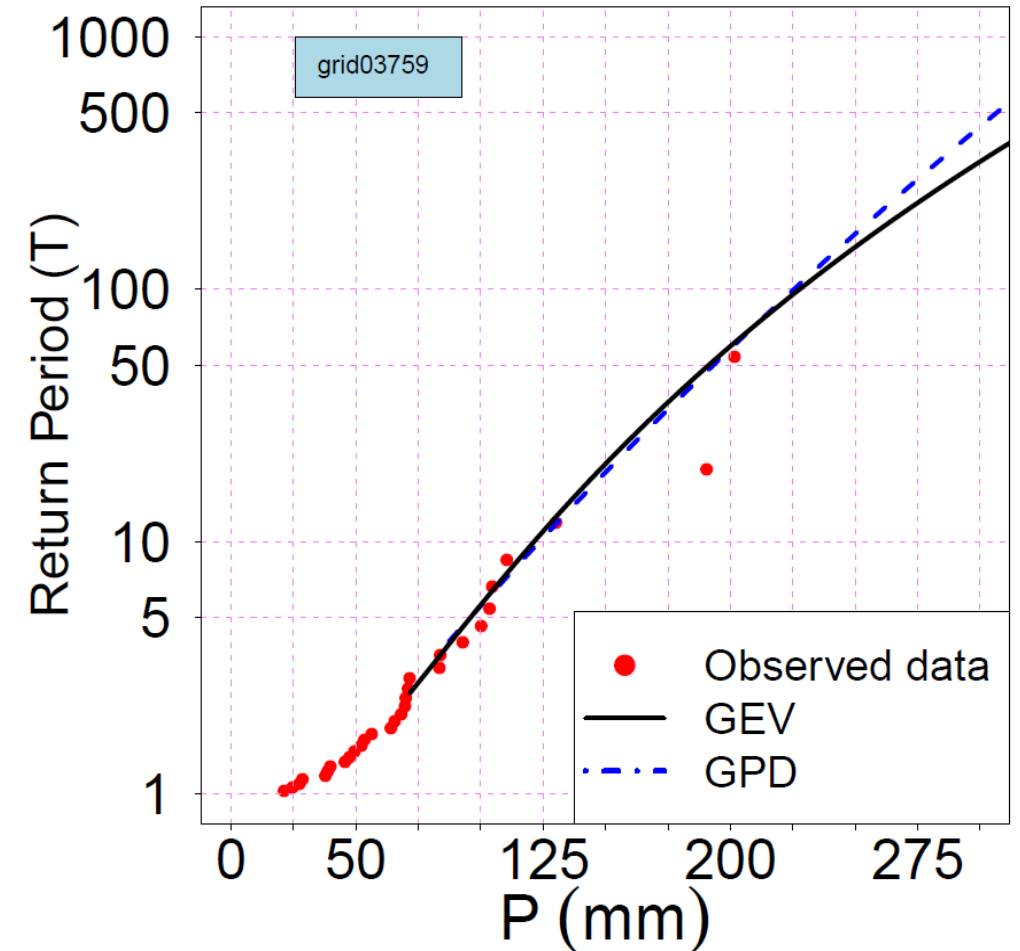


(Hosking & Wallis, 1993, 1997) (Dalrymple, 1960)

Modelo 12 medio plazo

- Para cada escenario de clima:
 - Estimación de los L-momentos
 - Análisis de homogeneidad (discordancia)
 - Selección de la cdf regional => GDP
 - Obtención de los cuantiles locales

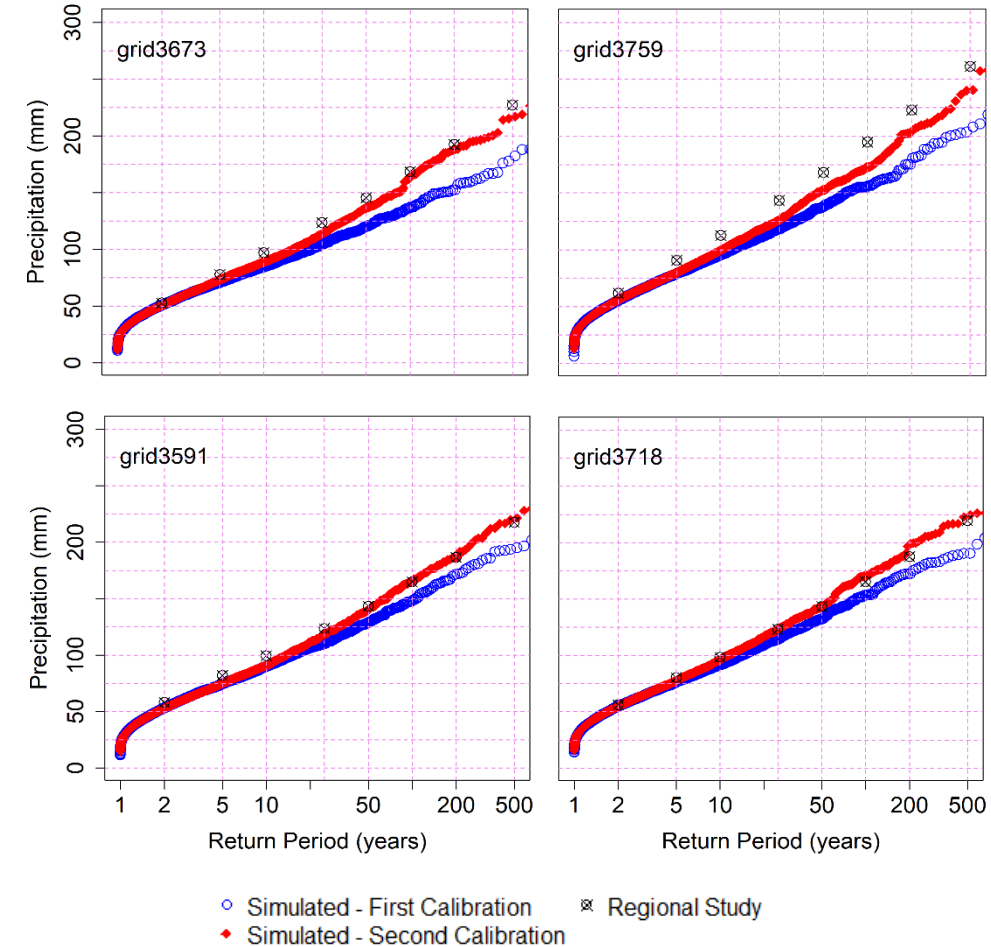
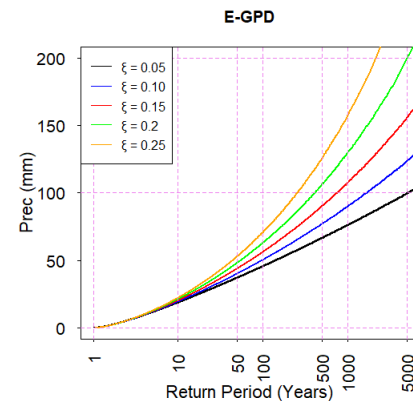
$$X_{i,T} = X_{R,T} \cdot \bar{X}_i$$



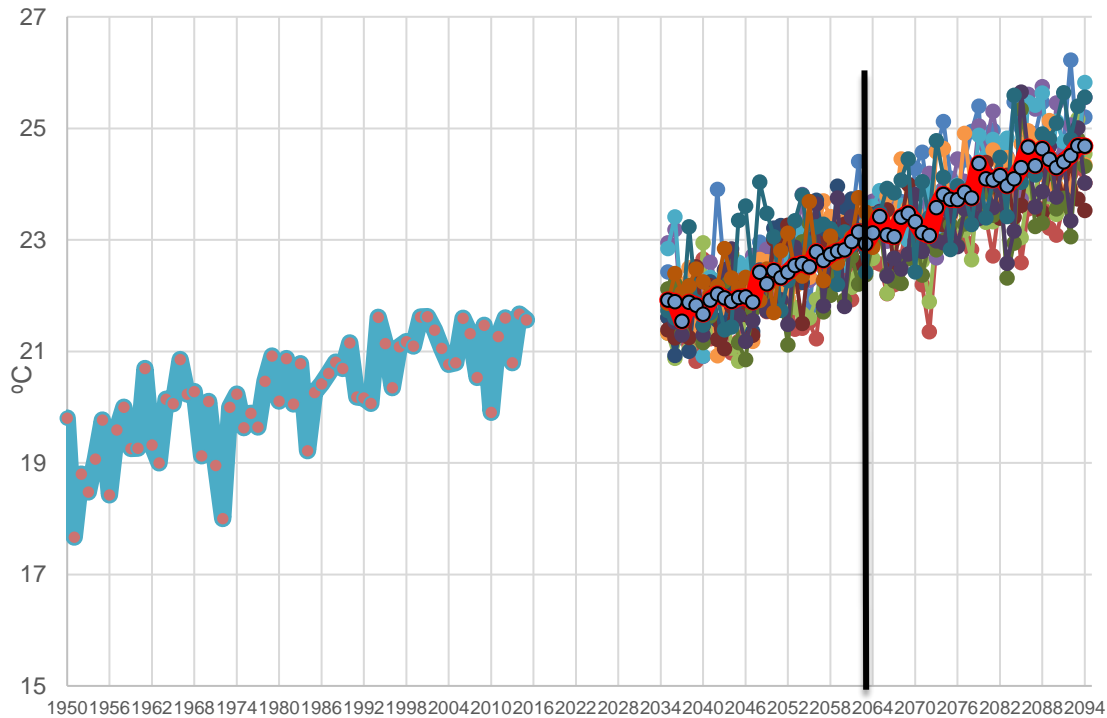
(Hosking & Wallis, 1993, 1997) (Dalrymple, 1960)

Modelo 12 medio plazo

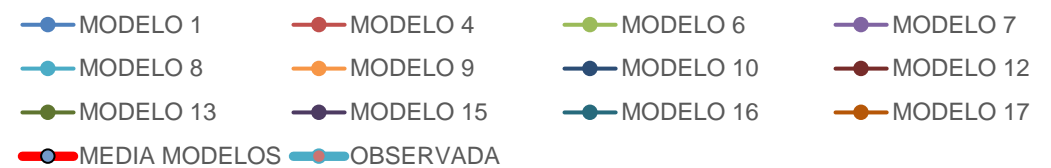
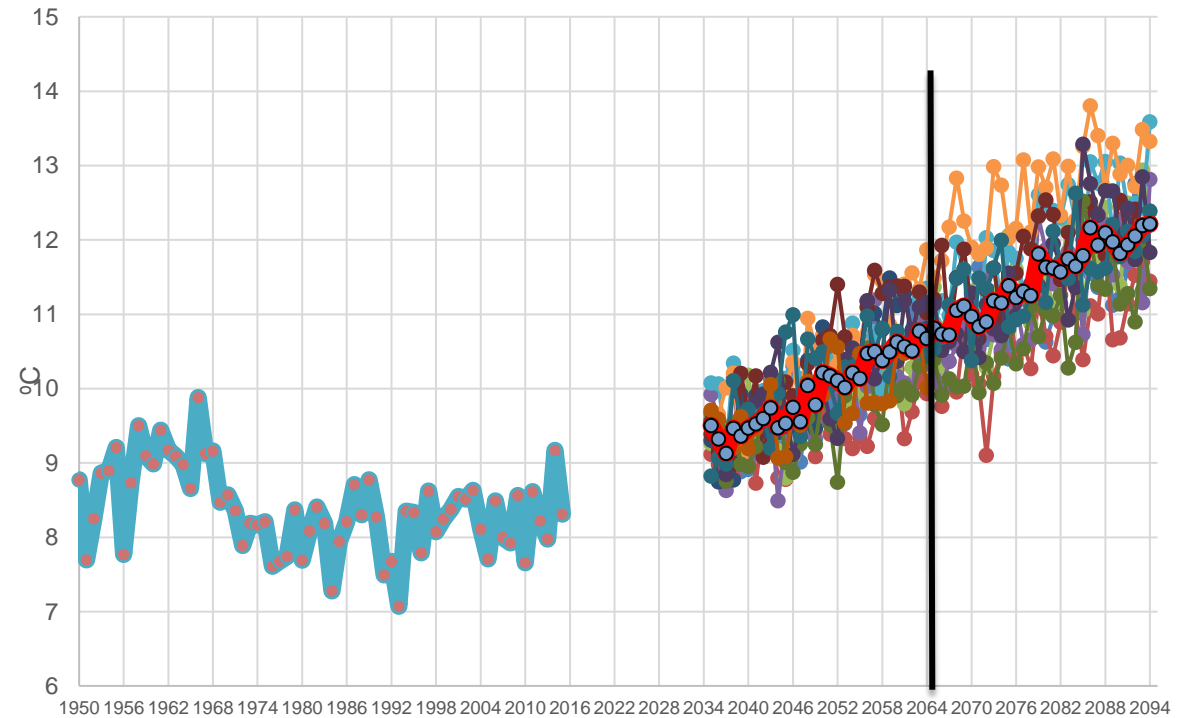
- ❑ Para cada escenario de clima
- ❑ Primera calibración => datos de precipitación
- ❑ Segunda calibración => Ajuste del parámetro de forma ξ asumiendo 2 poblaciones:
 - Meses de otoño (SON) => A calibrar (prueba y error) con **cuantil de 100 años**
 - Resto de meses



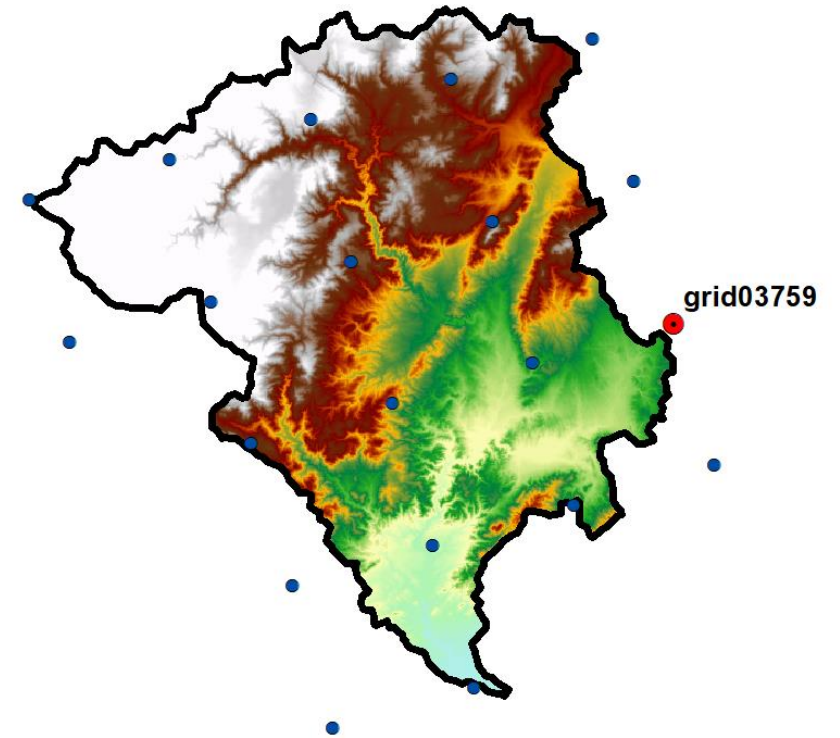
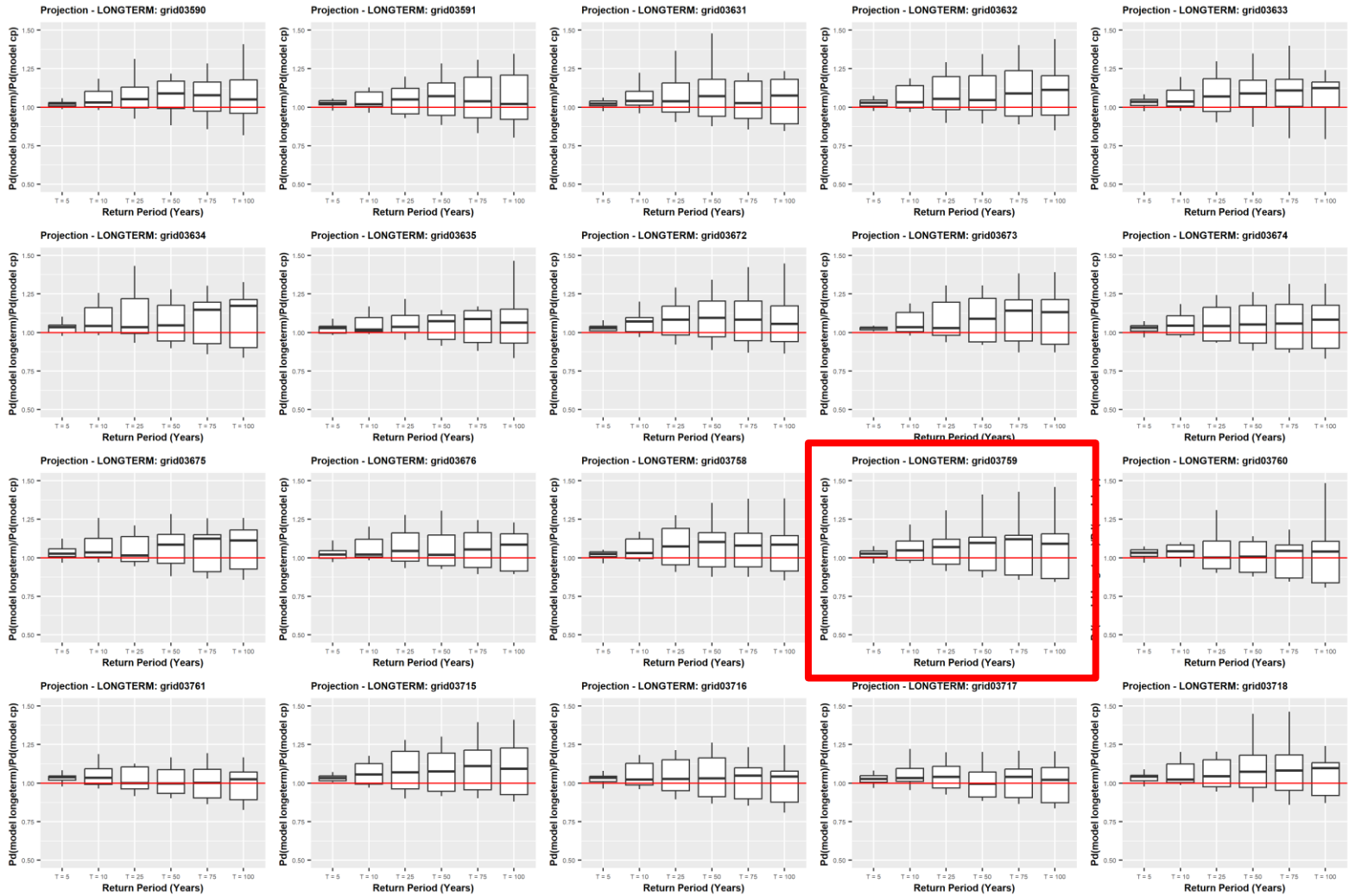
Temperatura máxima



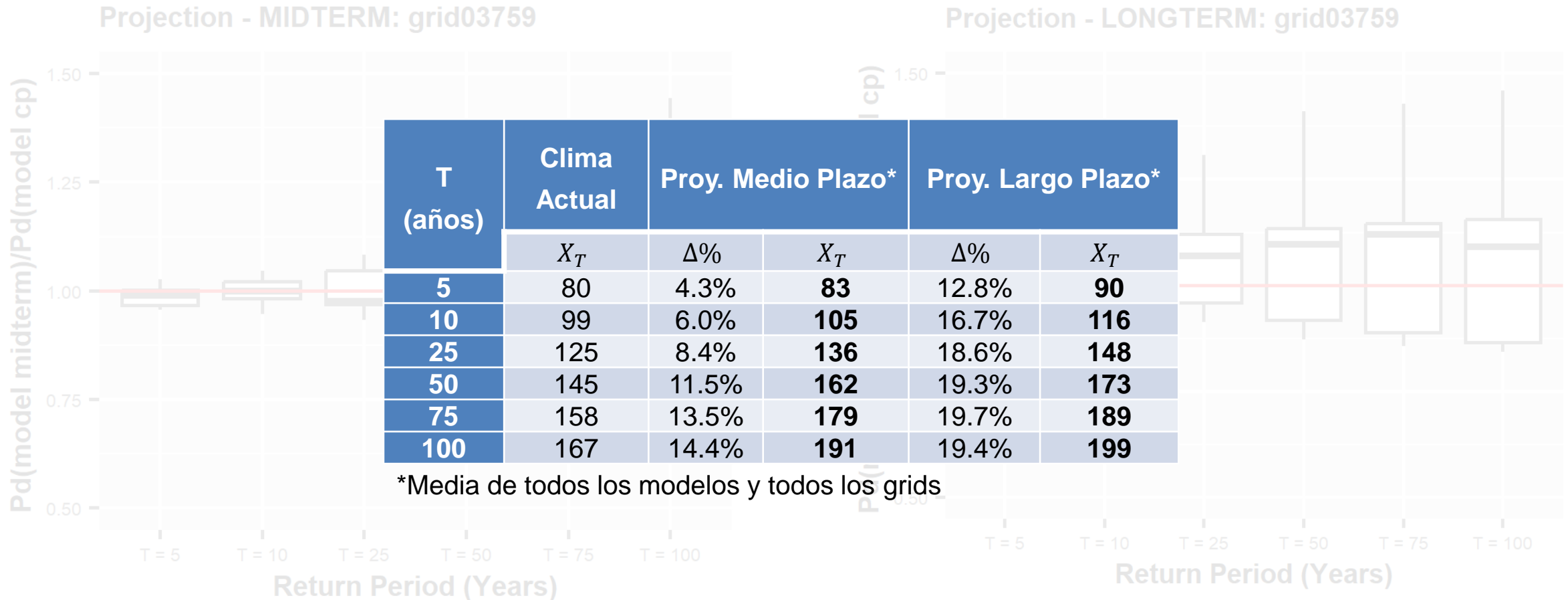
Temperatura mínima



Resultados WG: Pd máx anual



Resultados WG: Pd máx anual



Resultados WG+TETIS: Qd max anual

María Cristina (1,447 km²)

T (años)	OBSERVADOS (m ³)	PROYECCIONES CLIMATICAS (m ³)			
		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

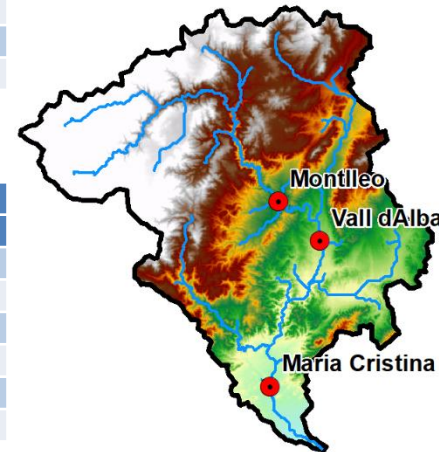
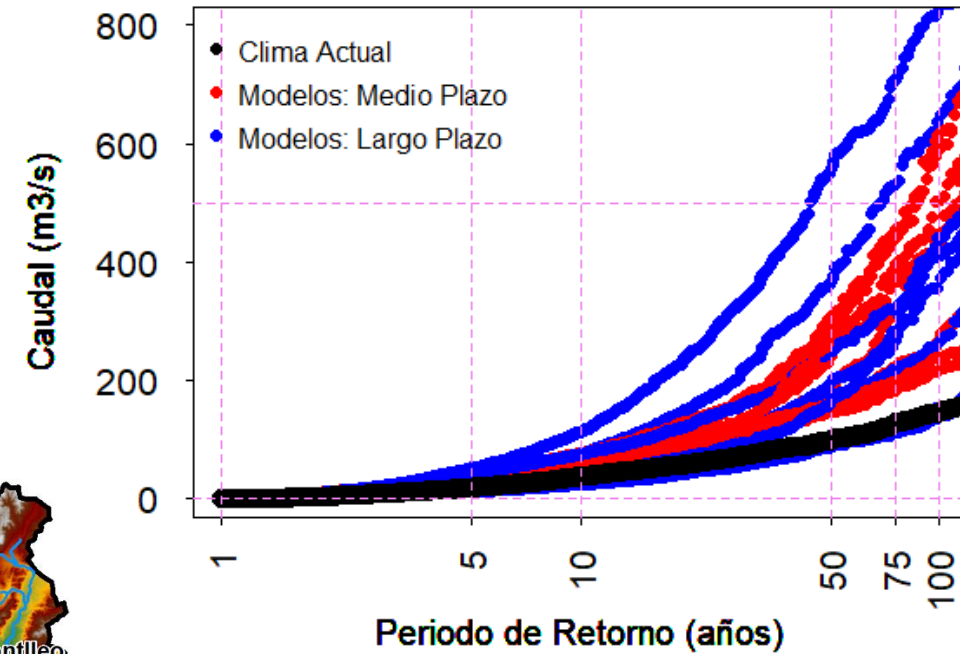
Vall d'Alba (906 km²)

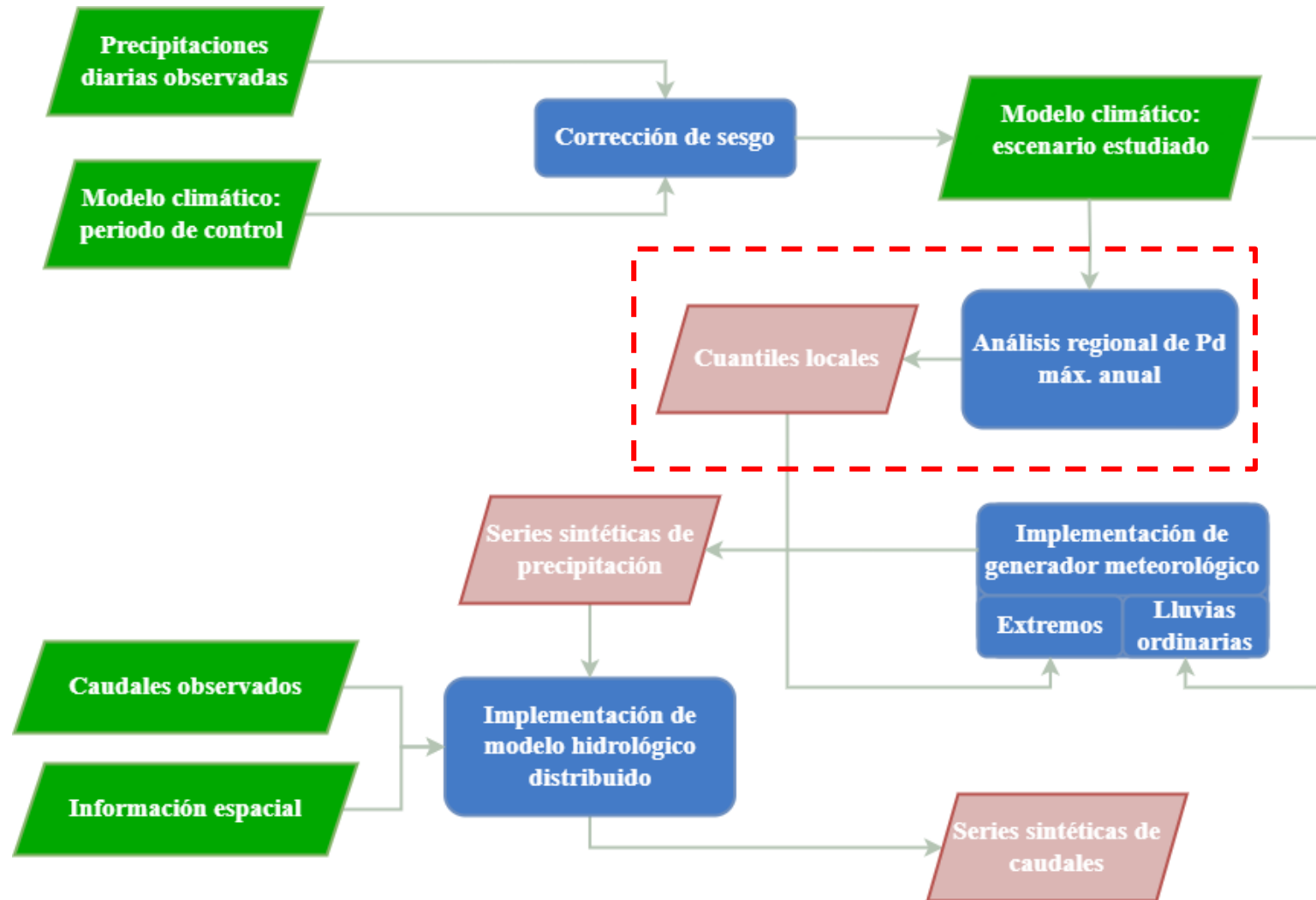
T (años)	OBSERVADOS (m ³)	PROYECCIONES CLIMATICAS (m ³)			
		Delta (%)	MEDIO PLAZO	Delta (%)	LARGO PLAZO
5	12	11%	14	10%	13
10	22	13%	24	33%	29
25	39	21%	47	64%	64
50	56	41%	79	88%	105
75	69	49%	103	86%	130
100	80	50%	121	80%	145

Montlleó (501 km²)

T (años)	OBSERVADOS	PROYECCIONES CLIMATICAS (m ³)			
		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





- ❑ Existe una alta **variabilidad** espacio-temporal del ciclo hidrológico
- ❑ La **extremalidad** cambiará en el futuro
- ❑ Hay que incluir T_{\max} y T_{\min} para estimar el incremento en la **ET₀** y su afección en el estado humedad inicial de la cuenca
- ❑ Si las repercusiones sociales y económicas exigen utilizar metodologías de la máxima fiabilidad
- ❑ Si son importantes de los crecidas de baja frecuencia
=> Metodología propuesta es una buena solución
- ❑ Esta metodología se ha aplicado en un caso de estudio con resultados excelentes y es razonablemente **generalizable**



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Prof. Félix Francés (ffrances@upv.edu.es)

**Grupo de Investigación en Modelación
Hidrológica y Ambiental (GIMHA)**
<http://lluvia.dihma.upv.es/>

