

# ¿Heterogeneidad espacial o no-linealidad en los procesos? Análisis en una pequeña cuenca mediterránea

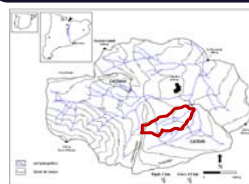
G. Ruiz-Pérez (guruipr@cam.upv.es), C. Medici, J. Latron, P. Llorens, F. Gallart, F. Francés

## INTRODUCCIÓN

Las cuencas mediterráneas están caracterizadas por tener un comportamiento hidrológico no lineal. Simular adecuadamente este comportamiento no-lineal requiere el uso de un modelo hidrológico adecuado. En este sentido, Clark et al., (2011) proponían el uso de múltiples modelos utilizándolos como posibles hipótesis. Demostraron como, en efecto, el conocimiento que se tiene del funcionamiento hidrológico de una cuenca puede aumentar con el uso de diferentes hipótesis. Por todo ello, en este trabajo se plantearon varias hipótesis que podrían reproducir el comportamiento hidrológico no-lineal observado. Concretamente, se implementaron tres modelos hidrológicos: dos modelos agregados denominados LU3 y LU4 (Medici et al., 2008); y uno distribuido denominado TETIS (Francés et al., 2007).

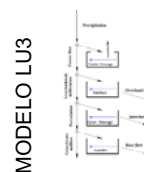
Para determinar cuál era el que mejor reproducía el comportamiento de la cuenca se llevaron a cabo: un análisis de criterios de bondad del ajuste, un análisis de las series residuales, un análisis de sensibilidad y un análisis multi-criterio. Estos análisis trataban de responder a la cuestión: ¿el comportamiento hidrológico no-lineal observado se debe a la variabilidad espacial de la cuenca o es necesario aumentar la complejidad del esquema conceptual del modelo a emplear?

## ÁREA DE ESTUDIO



- Cuenca experimental de Vallcebre
- Área: 0.56 km<sup>2</sup>
- Suelo limo-arcilloso
- Profundidad suelo: 0.15 – 3.0 m
- Estructura en terrazas

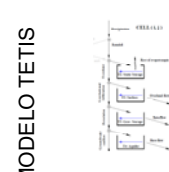
## MODELOS HIDROLÓGICOS



- Modelo agregado
- 7 parámetros a calibrar
- 3 respuestas hidrológicas



- Modelo agregado
- 10 parámetros a calibrar
- 4 respuestas hidrológicas



- Modelo distribuido
- 9 factores correctores
- 3 respuestas hidrológicas

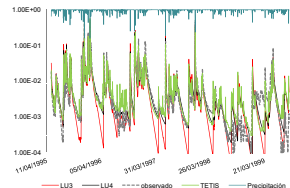
## CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN

### ÍNDICES DE BONDAD DEL AJUSTE

- Índice de Nash-Sutcliffe (E)
- Error en Volumen (%)
- RMSE
- MAE
- RMSE(λ) (caudales pequeños)

$$RMSE(\lambda) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{obs,i}^{\lambda} - Q_{sim,i}^{\lambda})^2}$$

### RESULTADOS CALIBRACIÓN



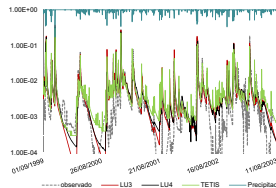
#### PERÍODO HÚMEDO: 11/05/1995 - 31/08/1999

Modelo	Nash	Error en volumen
LU3	0.810	14.33%
LU4	0.871	8.96%
TETIS	0.822	10.11%

#### PERÍODO SECO: 01/09/2003 - 31/08/2008

Modelo	Nash	Error en volumen
LU3	0.501	2.39%
LU4	0.601	-11.33%
TETIS	0.670	-16.72%

### RESULTADOS VALIDACIÓN



#### PERÍODO 1: 01/09/1999 - 31/08/2003

Modelo	Nash	Error en volumen
LU3	0.782	27.40%
LU4	0.826	21.70%
TETIS	0.812	21.55%

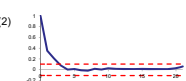
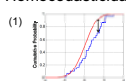
#### PERÍODO 2: 01/09/2008 - 31/12/2009

Modelo	Nash	Error en volumen
LU3	0.335	54.78%
LU4	0.537	35.32%
TETIS	0.623	32.40%

## ANÁLISIS SERIES RESIDUALES

Resultado óptimo: Ruido blanco

- Media cero
- Distribución normal → Test Kolmogorov-Smirnov (1)
- No autocorrelación
- No correlación cruzada con el input
- Homocedasticidad



Más información: Ancho banda (90%)

- Percentil 5%
- Percentil 95%

			Calibración	Validación
MEDIA	MEDIA	LU3	6.94E-04	-2.48E-03
		LU4	7.59E-04	-1.48E-03
		TETIS	6.60E-04	-1.42E-03
NORMALIDAD	D <sub>KS</sub>	LU3	0.287	0.384
		LU4	0.294	0.388
		TETIS	0.274	0.284
AUTOCORRELACIÓN	LAG (days)	LU3	6	5
		LU4	6	5
		TETIS	6	3
CORRELACIÓN CRUZADA	LAG (days)	LU3	3	4
		LU4	3	4
		TETIS	3	3
PERCENTILES	ANCHO	LU3	0.0139	0.0128
		LU4	0.0123	0.0073
		TETIS	0.0131	0.0017

## ANÁLISIS SENSIBILIDAD

### OBJETIVO

- Conocer importancia de la respuesta hidrológica añadida y del mecanismo no-lineal → sólo LU4

### FUNCIONES OBJETIVO

- E: Índice de Nash-Sutcliffe → Caudales altos
- RMSE(λ) → Caudales bajos

### METODOLOGÍA (GLUE)

- Generación 10,000 sets de parámetros
- Evaluación funciones objetivos para cada set
- Criterio de separación: *behavioural* y *non-behavioural*
- Funciones de distribución empírica para cada uno
- Comparación *behavioural* y *non-behavioural*

### RESULTADOS

#### Caudales altos:

- Capacidad de infiltración
- Máx. Alm. Estático
- Cap. Percolación
- Cap. Percolación acuífero lento
- Tpo residencia en el tanque gravitacional

#### Caudales bajos:

- Cap. Percolación
- Cap. Percolación acuífero lento
- Tpo residencia del acuífero lento
- Tpo residencia del acuífero rápido

➔ Necesarias las dos respuestas en el acuífero

## ANÁLISIS MULTI-OBJETIVO

### OBJETIVOS

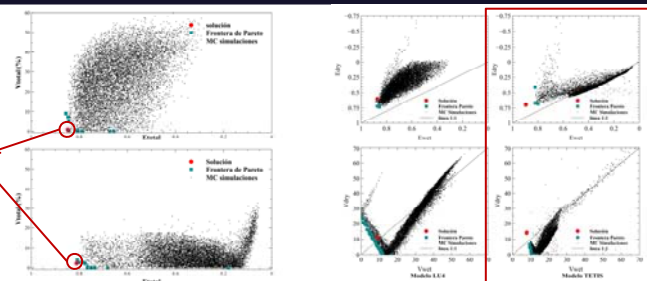
- Resultado de calibración incluido en la frontera de Pareto
- Capacidad para reproducir igualmente bien periodos secos y húmedos con un mismo conjunto de parámetros

### FUNCIONES OBJETIVO

- E<sub>TOTAL</sub>: Índice de Nash-Sutcliffe para todo el periodo de calibración
- V<sub>TOTAL</sub>: Error en volumen para todo el periodo de calibración
- E<sub>DRY/WET</sub>: Índice de Nash-Sutcliffe para el periodo seco/húmedo
- V<sub>DRY/WET</sub>: Error en volumen para el periodo seco/húmedo

### RESULTADOS

Los resultados de calibración están dentro de la frontera de Pareto



Mejor ajuste a la recta 1:1

## CONCLUSIONES

Índices de bondad del ajuste:

- El modelo LU3 obtiene los peores resultados
- El modelo LU4 y el modelo TETIS, resultados muy similares
- El modelo TETIS resultados ligeramente mejores

Análisis de los residuos:

- Difícil extraer una conclusión clara
- El modelo TETIS resultados ligeramente mejores

Análisis de sensibilidad:

- Necesarias las dos respuestas para el acuífero: lenta y rápida
- Mecanismo no-lineal: menos importante que los tiempos de residencia

Análisis multi-objetivo:

- Modelo TETIS mayor capacidad para reproducir tiempo seco y húmedo con mismo conjunto de parámetros

La variabilidad espacial y, en concreto, la estructura en terrazas juega un papel clave en el funcionamiento hidrológico de la cuenca que con los modelos agregados es imposible modelizar sin aumentar la complejidad del esquema conceptual incluyendo respuestas adicionales y mecanismos no-lineales difíciles de justificar.

## REFERENCIAS

- Clark, M. P., D. Kavetski, and F. Fenicia (2011). Pursuing the method of multiple working hypotheses for hydrological modeling. *Water Resour. Res.* 47, W09301.
- Francés, F., Vélez, J. I., Vélez, J. J., 2007. Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology*, 332: 226-240.
- Medici, C., Buttinelli, A., Bernal S., Vázquez E., Sabater F., Vélez J. I., Francés F., 2008. Modelling the non-linear hydrological behavior of a small Mediterranean forested catchment. *Hydrol. Process.* 22: 3614-3628.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad a través del proyecto ECOTETIS (CGL2011-28776-C02-01). Se ha podido realizar también gracias a los proyectos Montes (Consolider-Ingenio Montes CSD2008-00040) y ResPHiMed (CGL2010-18374) financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Las Cuentas de Investigación de Vallcebre funcionan gracias al convenio RESEL entre el CSIC y la DGCONA. La contribución de Chiara Medici ha sido posible gracias al programa post-doctoral VALIH+ financiado por la Generalitat Valenciana, APOSTD; y la de Jérôme Latron gracias a un contrato de investigador del CSIC en el marco del programa Ramón y Cajal financiado por Ministerio de Ciencia e Innovación.