

ESTACIÓN	ARTES	LA COMA LA PIEDRA	JORBA	CASTELLGALI	FIGOLS
MAM(1) (m³/s)	0.045	0.091	0.038	1.630	0.796
MAM(7) (m³/s)	0.049	0.103	0.042	2.194	0.989
MAM(30) (m³/s)	0.086	0.110	0.066	2.563	1.457
MEDIA DE LA SERIE (m³/s)	0.049	0.315	0.414	6.045	5.903

Tabla 1.- MAM 1,7 y 30 días en la cuenca del río Llobregat.

CAUDALES MEDIOS DIARIOS AÑO 2007 (m³/s)						
ESTACIÓN	ARTES	LA COMA LA PIEDRA	JORBA	FIGOLS	CASTELLBEL	CASTELLGALI*
Enero	S/N	S/N	0.0838 <sup>(1)</sup>	0.3329 <sup>(1)</sup>	6.059	S/N
Febrero	S/N	S/N	0.0669 <sup>(1)</sup>	0.3433 <sup>(1)</sup>	6.052	S/N
Marzo	S/N	0.11 <sup>(1)</sup>	0.2304 <sup>(1)</sup>	0.2445 <sup>(1)</sup>	4.367	S/N
Abril	S/N	0.1162 <sup>(1)</sup>	0.102 <sup>(1)</sup>	0.2445 <sup>(1)</sup>	8.324	S/N
Mayo	0.0551 <sup>(1)</sup>	0.24 <sup>(1)</sup>	0.0734 <sup>(1)</sup>	5.7263 <sup>(1)</sup>	5.274	2.1175 <sup>(1)</sup>
Junio	0.0513 <sup>(1)</sup>	0.24 <sup>(1)</sup>	0.0582 <sup>(1)</sup>	1.6968 <sup>(1)</sup>	4.497	1.3456 <sup>(1)</sup>
Julio	0.0267 <sup>(1)</sup>	S/N	0.0423 <sup>(1)</sup>	1.1926 <sup>(1)</sup>	4.510	S/N
Agosto	0.0682 <sup>(1)</sup>	S/N	0.0452 <sup>(1)</sup>	0.9073 <sup>(1)</sup>	5.712	2.6435 <sup>(1)</sup>
Septiembre	0.0426 <sup>(1)</sup>	S/N	0.0442 <sup>(1)</sup>	0.6007 <sup>(1)</sup>	4.338	1.1851 <sup>(1)</sup>
Octubre	0.0796 <sup>(1)</sup>	S/N	0.0476 <sup>(1)</sup>	0.7796 <sup>(1)</sup>	5.005	1.8249 <sup>(1)</sup>
Noviembre	0.0416 <sup>(1)</sup>	S/N	0.041 <sup>(1)</sup>	0.663 <sup>(1)</sup>	4.638	1.4062 <sup>(1)</sup>
Diciembre	0.0539 <sup>(1)</sup>	S/N	0.0418 <sup>(1)</sup>	0.4603 <sup>(1)</sup>	4.539	1.3647 <sup>(1)</sup>
Enero	0.0668 <sup>(1)</sup>	S/N	0.0435 <sup>(1)</sup>	0.5353 <sup>(1)</sup>	4.591	1.4248 <sup>(1)</sup>
Febrero	0.0542 <sup>(1)</sup>	S/N	0.045 <sup>(1)</sup>	0.4479 <sup>(1)</sup>	5.076	1.9118 <sup>(1)</sup>

\* Datos que en encuentran por debajo del MAM (1) (2) Datos Menores al MAM(7) (3) Datos Menores al MAM(30) (4) La estación Castellgali no dispone de ninguna información (5) Datos menores a la MEDIA (6) Datos mayores a la Media

Tabla 2.- Caudales en la cuenca del río Llobregat año 2007.

De las FDC se obtiene el caudal Umbral mediante el cual se aplica el Método Umbral (tabla 3), haciendo un ajuste al número de días seguidos de sequía a través de una distribución de Gumbel, obteniendo periodos de retorno.

Fecha Inicio (MM/YY)	Fecha Final (MM/YY)	Volumen (litros)	Método Umbral		Fecha Caudal Min. (MM/YY)	Caudal Promedio (m³/s)
			Umbral (litros)	Periodo (días)		
11/01/2007	12/01/2007	1114	1728	6	11/01/2007	0.050
12/01/2007	01/02/2007	2188	1728	6	12/01/2007	0.050
01/02/2007	02/02/2007	2188	1728	6	01/02/2007	0.050
02/02/2007	03/02/2007	2188	1728	6	02/02/2007	0.050
03/02/2007	04/02/2007	2188	1728	6	03/02/2007	0.050
04/02/2007	05/02/2007	2188	1728	6	04/02/2007	0.050
05/02/2007	06/02/2007	2188	1728	6	05/02/2007	0.050
06/02/2007	07/02/2007	2188	1728	6	06/02/2007	0.050
07/02/2007	08/02/2007	2188	1728	6	07/02/2007	0.050
08/02/2007	09/02/2007	2188	1728	6	08/02/2007	0.050
09/02/2007	10/02/2007	2188	1728	6	09/02/2007	0.050
10/02/2007	11/02/2007	2188	1728	6	10/02/2007	0.050

Tabla 3.- Primeros 10 eventos Método Umbral Estación Artes.

En las tabla 4 se observan los datos de la matriz de correlación entre temperaturas originales y generadas. Por último se obtienen los índices de palmer (tabla 5).

MATRIZ DE CORRELACIÓN ENTRE LAS TEMPERATURAS GENERADAS Y LAS TEMPERATURAS REALES (ESTACION BADA)												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1995	0.62	0.17	0.24	0.10	0.21	0.19	0.28	-0.18	-0.65	0.27	0.70	0.93
1996	0.15	0.67	0.49	0.43	-0.30	-0.17	0.31	0.41	0.08	0.29	-0.14	-0.81
1997	-0.17	0.44	0.31	0.28	0.01	0.49	0.19	0.27	-0.35	0.04	0.67	-0.16
1998	-0.38	-0.36	0.02	0.41	0.11	0.11	0.27	0.50	0.67	0.14	0.07	-0.21
1999	0.00	0.47	0.38	-0.32	0.01	0.10	-0.38	0.40	-0.21	-0.91	0.26	0.59
2000	0.16	0.33	0.38	0.31	0.33	0.11	0.33	0.31	0.48	-0.39	0.35	-0.29
2001	-0.04	0.31	0.04	0.25	0.43	0.00	-0.33	0.06	-0.25	0.28	0.16	-0.07
Agosto	0.34	-0.05	-0.40	0.02	-0.21	-0.21	0.10	0.09	0.48	0.00	-0.35	0.04
Septiembre	-0.03	-0.05	-0.22	0.02	-0.01	-0.21	0.45	0.04	0.26	0.09	0.27	0.12
Octubre	0.37	0.07	0.00	0.08	0.21	0.10	0.00	0.09	0.48	0.00	-0.26	0.04
Noviembre	0.00	0.09	0.28	0.60	0.00	0.47	0.19	0.19	-0.20	0.07	0.29	0.04
Diciembre	0.01	0.39	-0.21	0.00	0.11	-0.01	0.10	-0.05	-0.72	0.28	0.03	0.05

Tabla 3.- Correlaciones entre meses de las Temperaturas generadas.

Figols (WPLM)												
1995	-0.4	-1.2	-2.2	-2.3	-1.3	-0.9	-1.1	2.7	2.7	0.5	0.3	3.2
1996	6.2	5.0	3.7	4.0	3.8	3.8	4.2	3.9	2.6	3.0	6.5	7.6
1997	8.5	6.5	-99.0	5.2	2.9	4.0	5.5	5.5	3.1	1.0	-0.1	6.0
1998	4.5	3.4	1.3	2.3	2.3	0.8	-0.3	2.7	3.4	1.9	-0.3	-0.7
1999	1.5		0.8	2.5	3.3	3.2	4.2	4.4	5.0	5.3	6.2	3.8
2000	1.5	-0.2	-0.5	-0.7	-1.2	-2.5	-2.7	-3.5	-2.4	-3.1	-3.5	-1.8
2001	-99.0	-2.6	-2.2	-2.0	-3.2	-4.3	-3.8	-3.7	-3.9	-4.2	-4.1	

Tabla 4.- Índices de Palmer Ponderados.

Aplicaciones:

El estudio y comprensión del fenómeno de la sequía en sus distintos escenarios de análisis, es de vital importancia en el manejo del recurso hídrico en una cuenca.

Durante el año de 2007 y parte del 2008 se ha venido desarrollando una "sequía", la cual ha venido afectando gran parte del territorio catalán, que ha declarado el escenario de emergencia en varias cuencas de la región incluida la del río Llobregat. Es evidente que ésta misma tiene repercusiones económicas y político-sociales, con lo que los estudios de este fenómeno se deben encaminar a desarrollar metodologías y métodos de monitoreo y alerta, con el fin de minimizar el impacto ante estos eventos.

Conclusiones y Recomendaciones:

- La cuenca del río Llobregat y mas específicamente en Cataluña se tienen distintos estudios de demandas y ofertas hídricas. De estos estudios podemos recalcar que se tenía cierto optimismo en cuanto a la oferta (construcción de estructuras como presas, mejoramiento de las redes etc..) y cierto desconocimiento en el boom de la inmigración que ha venido sufriendo España y en General Europa lo cual conlleva a un crecimiento poblacional mayor al esperado, es indispensable que se considere el fenómeno de la sequía en los planes de gestión del recurso hídrico, intentando caracterizar los distintos factores que entran en juego.

- De las metodologías expuestas, se evidencian las grandes diferencias en resultados cuantitativos y conceptuales, lo cual conlleva a concluir que de acuerdo al factor que se analice, se pueden obtener diversos escenarios. Los estudios de sequía deben ser integrales y deben intentar incluir diversas metodologías, para poder entender lo mejor posible el comportamiento de este fenómeno. Esta metodología conllevará grandes esfuerzos en distintas áreas por parte de las entidades españolas encargadas, con el ánimo de mejorar la gestión, administración y planificación del recurso hídrico.

Las diferencias en los resultados entre los parámetros de sequía hidrológica y meteorológica radican básicamente en que los escenarios obtenidos por el ACA son el producto de un estudio técnico el cual se enfoca en caracterizar otras variables como la sequía económica o la sequía agronómica.

Referencias Bibliográficas

Palmer W. (1965) "Meteorological Drouht, Research Paper No. 45" Office of Climatology U.S. Weather Bureau, Washington D.C.

Tallanksen L. M., Van Lanen H.A., 2004, Hydrological Drought, Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater, ELSEVIER editions, Amsterdam, The Netherlands.

Raeko P., Szeldl L. (1991), "A Serial Approach to Local Stochastic Weather Models", Ecological Modelling 57 (pag. 27-41), ELSEVIER Science Publishers

Departament de Medi Ambient i Habitatge, "Decretos de sequía, Excepcionalidad y Emergencia No.: 187/2005, 207/2005, 84/2007", Generalitat de Catalunya, Barcelona España.

MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE UNA PEQUEÑA CUENCA MEDITERRÁNEA

C. Medici<sup>1</sup>, A. Butturini<sup>2</sup>, S. Bernal<sup>3</sup>, F. Sabater<sup>2</sup>, J.I. Vélez<sup>4</sup> y F. Francés<sup>1</sup>

1 Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, España  
2 Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona, España  
3 Department of Ecology and Evolutionary Biology, Princeton University, NJ, USA  
4 Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas, Colombia

Medici - [chme1@doctor.upv.es](mailto:chme1@doctor.upv.es)  
Butturini - [abutturini@ub.edu](mailto:abutturini@ub.edu)  
Bernal - [sbernal@Princeton.EDU](mailto:sbernal@Princeton.EDU)  
Sabater - [fsabater@ub.edu](mailto:fsabater@ub.edu)  
Vélez - [jivelezu@unalmed.edu.com](mailto:jivelezu@unalmed.edu.com)  
Francés - [ffrances@hma.upv.es](mailto:ffrances@hma.upv.es)

Introducción

El conocimiento de los procesos hidrológicos es esencial para la gestión de los recursos hídricos tanto desde el punto de vista cuantitativo (crecidas o sequías) como desde el punto de vista cualitativo (contaminación). El funcionamiento hidrológico de las cuencas mediterráneas es aún bastante desconocido a pesar de los diferentes estudios realizados desde hace una veintena de años. El clima mediterráneo está caracterizado por una dinámica estacional muy marcada del régimen de precipitaciones y de la evapotranspiración, que favorece la alternancia durante el año de periodos secos y húmedos. Esto modifica fuertemente el estado hidrológico de la cuenca, de lo que deriva un comportamiento hidrológico complejo y no-lineal (Piñol et al. 1999). Autores, como por ejemplo Bonell (1993), han subrayado anteriormente la escasa eficacia de la transferencia de resultados obtenidos en climas templado-húmedos a otros dominios climáticos como las regiones mediterráneas. A este propósito, la aplicación del modelo INCA (Wade et al., 2002) a una pequeña cuenca mediterránea constituye otro ejemplo de cómo un modelo pensado para cuencas húmedas no logra capturar satisfactoriamente su respuesta hidrológica (Bernal et al., 2004). Esta investigación previa constituye el punto de partida del presente trabajo.

Objetivos

El objetivo de este trabajo es la mejora del modelo perceptual y conceptual (Beven, 2000) del comportamiento hidrológico de la cuenca en cuestión, mediante la identificación de los procesos claves que gobiernan su respuesta.

Materiales y Métodos

El área de estudio, la cuenca de Fuirosos, se encuentra situada en la vertiente norte de la Sierra Litoral Catalana, cerca de Barcelona (España). Fuirosos es una cuenca de aproximadamente 13 Km<sup>2</sup>, que drena un río intermitente. Los materiales que predominan son las rocas plutónicas (granodioritas y leucogranitos) y los materiales metamórficos (esquistos). En la parte baja de la cuenca se encuentra una zona de ribera bien desarrollada. En este estudio se ha tomado en consideración además una subcuenca de Fuirosos llamada Grimola, que drena aproximadamente 4 Km<sup>2</sup>. La subcuenca de Grimola se halla sobre esquistos y leucogranitos y, a diferencia de Fuirosos, no presenta una zona de ribera significativa.

Fuirosos presenta un clima típicamente Mediterráneo, con temperaturas mensuales medias que varían entre 3°C en Enero

y 24°C en Agosto. La precipitación media anual es de 750 mm y la evapotranspiración potencial calculada según Penman es aproximadamente de 975 mm. Analizando la respuesta hidrológica de Fuirosos se pueden identificar los tres periodos típicos de las cuencas Mediterráneas: un periodo seco, durante el cual varios autores (Gallart et al., 2002, Marc et al., 2001) han subrayado la posibilidad que la zona permanentemente saturada se desconecte de la red de drenaje; un periodo de transición, durante el cual se ha observado en cuencas similares la aparición de una zona saturada colgada que drena rápidamente (Burch et al., 1987; Taha et al., 1997 y Beven et al., 2002); y finalmente un periodo húmedo durante el cual es probable que ocurra la recarga a la zona permanentemente saturada (Pilgrim et al., 1998; Ye et al., 1998; Butterworth et al., 1999).

Durante este trabajo, la percepción original de cómo la cuenca de Fuirosos responde a un episodio de lluvia cambió progresivamente, y en consecuencia el respectivo modelo conceptual (Beven, 2000), hasta incluir los procesos más característicos de las regiones Mediterráneas previamente citados (Fig. 1). El resultado final de esta investigación es un modelo conceptual semidistribuido (SD4-R) que incluye 4 respuestas hidrológicas distintas, una evapotranspiración variable según la orientación de la ladera y de la vegetación representativa y una zona de ribera.

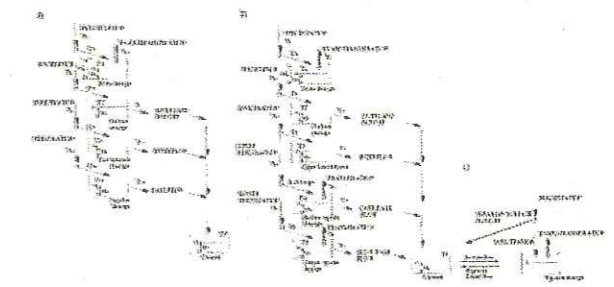


Figura 1.- Evolución del esquema conceptual: a) modelo de tres respuestas hidrológicas; b) esquema conceptual de cuatro respuestas y c) esquema conceptual del tanque de ribera.

Evaluación de Resultados

Los resultados que se presentan se refieren exclusivamente al último modelo desarrollado (SD4-R), siendo el más complejo y el que ha proporcionado los mejores resultados.

En la Fig. 2 se presenta el ajuste gráfico entre el caudal observado y el simulado obtenido con el modelo SD4-R. El

índice de Nash correspondiente es de 0.78 mientras que el error en volumen total es de menos del 5%. El tiempo al pico se simula perfectamente aunque se subestima su magnitud (8.6 m<sup>3</sup>/s contra los casi 11 m<sup>3</sup>/s observados).

Cabe subrayar que la zona de ribera resulta un almacenamiento clave para una representación satisfactoria del periodo de transición, siendo el número de días simulados con un caudal inferior a 0.001 m<sup>3</sup>/s (212) muy cercano al observado (220).

La Fig. 3 además subraya como el modelo SD4-R logra reproducir la relación no-lineal que hay entre la lluvia y la escorrentía, descrita previamente por Butturini et al., (2002).

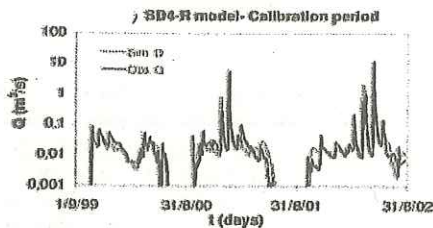


Figura 2.- Hidrograma observado (negro) y simulado (gris), por el modelo SD4-R, de la cuenca Fuirosos. Periodo de calibración: 13/10/99 - 22/08/02

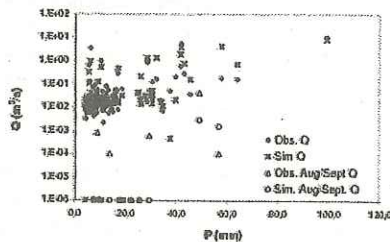


Figura 3.- Diagrama de dispersión lluvia-escorrentía, para eventos de lluvia superiores a 4 mm.

Para evaluar la robustez del modelo se ha llevado a cabo un proceso de validación tanto temporal (Fig. 4) como espacial (en este último caso, considerando la subcuenca de Grimola). Se puede afirmar que, en general, los resultados obtenidos con la validación son del todo coherentes con los obtenidos para la calibración. Cabe destacar un punto importante que la validación espacial pone en evidencia: para la simulación de la respuesta hidrológica de la subcuenca de Grimola (donde no se encuentra una zona de ribera bien desarrollada) no es necesario incluir el tanque que representa la ribera. Esto es un importante indicio que confirmaría la influencia que este almacenamiento puede ejercer en Fuirosos y en general sobre el régimen de caudales de un río intermitente.

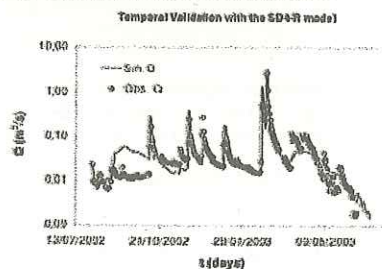


Figura 4.- Hidrograma observado (puntos) y simulado (negro), por el modelo SD4-R, durante el periodo considerado para la validación temporal (01/08/02 - 30/06/03) en Fuirosos.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos con este trabajo apuntan a que los flujos del agua en el suelo, en Fuirosos, son esencialmente distintos en épocas secas y en épocas húmedas y que varios mecanismos son los responsables de este comportamiento altamente no-lineal. Nuestras simulaciones indican que la zona permanentemente saturada se desconecta durante el verano y en general las épocas más secas dejando de contribuir al cauce. Además, de acuerdo con los resultados obtenidos con el modelo SD4-R, la vegetación de la zona de ribera parece ejercer un importante control sobre los caudales más pequeños. La inclusión de dos acuíferos con tasas de contribución diferentes (una muy lenta y la otra relativamente más rápida) ha resultado ser clave para la simulación del comportamiento hidrológico de esta cuenca. En especial la formación de una zona saturada colgada parece ser determinante durante los primeros meses del *wetting-up* de la cuenca. Por otro lado, los resultados apuntan a que solo cuando el nivel de humedad de la cuenca aumenta lo suficiente ocurre la recarga a la zona permanentemente saturada. Estos resultados son coherentes con la información encontrada en la literatura acerca de cuencas mediterráneas y semiáridas, además de haber sido validados tanto espacialmente como temporalmente. La evaluación y cuantificación de tales procesos ha sido la principal contribución de este trabajo, a parte la evidente mejora de la simulación del caudal con respecto al modelo INCA (Bernal et al., 2004). Por último, cabe destacar el valor no solo local de este aporte, dado que la influencia de los diferentes procesos explorados en el presente trabajo puede ser fácilmente extrapolada a otros casos, si no directamente el mismo modelo.

## Referencias

- Beven K. 2000. *Rainfall-Runoff Modelling. The Primer*. John Wiley & Sons, LDT.
- Beven K. 2002. *Runoff Generation in Semi-arid Areas* In L. J. Bull and M. J. Kirkby (Eds), *Dryland Rivers*, J. Wiley & Sons, 57-105.
- Bernal S, Butturini A, Riera J. L., Vázquez E, Sabater F. 2004. Calibration of the INCA model in a Mediterranean forested catchment: the effect of hydrological inter-annual variability in an intermittent stream. *Hydrology and Earth System Sciences* 8(4), 729-741.
- Butterworth J.A., Mugabe F., Simmonds L.P., Hodnett M.G. 1999. Hydrological processes and water resources management in a dryland environment II: Surface redistribution of rainfall within fields. *Hydrology and Earth System Sciences* 3 (3), 333-343.
- Butturini A., Bernal S., Sabater S., Sabater F. 2002. The influence of riparian-hyporheic zone on the hydrological responses in an intermittent stream. *Hydrology and Earth System Sciences* 6(3), 515-526.
- Piñol J, Àvila A, Escaró A. 1999. Water balance in catchments. In F. Rodá et al. (Eds), "Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests", *Ecological Studies*, Vol. 137, Springer-Verlag, 237-282.
- Taha A., Gresillon J. M., Clothier B. E. 1997. Modelling the link between hillslope water movement and stream flow: application to a small Mediterranean forested watershed. *Journal of Hydrology* 203, 11-20.

índice de Nash correspondiente es de 0.78 mientras que el error en volumen total es de menos del 5%. El tiempo al pico se simula perfectamente aunque se subestima su magnitud (8.6 m<sup>3</sup>/s contra los casi 11 m<sup>3</sup>/s observados).

Cabe subrayar que la zona de ribera resulta un almacenamiento clave para una representación satisfactoria del periodo de transición, siendo el número de días simulados con un caudal inferior a 0.001 m<sup>3</sup>/s (212) muy cercano al observado (220).

La Fig. 3 además subraya como el modelo SD4-R logra reproducir la relación no-lineal que hay entre la lluvia y la escorrentía, descrita previamente por Butturini et al., (2002).

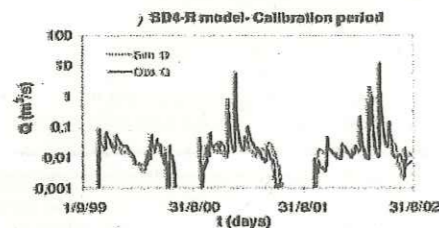


Figura 2.- Hidrograma observado (negro) y simulado (gris), por el modelo SD4-R, de la cuenca Fuirosos. Periodo de calibración: 13/10/99 - 22/08/02

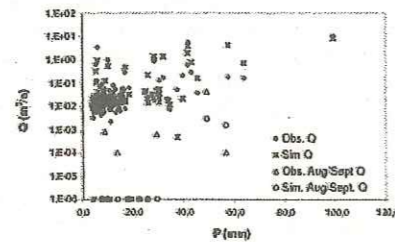


Figura 3.- Diagrama de dispersión lluvia-escorrentía, para eventos de lluvia superiores a 4 mm.

Para evaluar la robustez del modelo se ha llevado a cabo un proceso de validación tanto temporal (Fig. 4) como espacial (en este último caso, considerando la subcuenca de Grimola). Se puede afirmar que, en general, los resultados obtenidos con la validación son del todo coherentes con los obtenidos para la calibración. Cabe destacar un punto importante que la validación espacial pone en evidencia: para la simulación de la respuesta hidrológica de la subcuenca de Grimola (donde no se encuentra una zona de ribera bien desarrollada) no es necesario incluir el tanque que representa la ribera. Esto es un importante indicio que confirmaría la influencia que este almacenamiento puede ejercer en Fuirosos y en general sobre el régimen de caudales de un río intermitente.

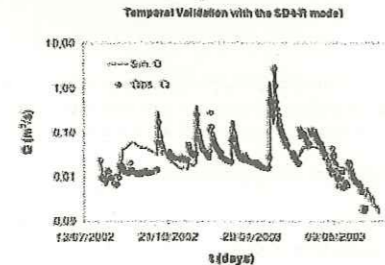


Figura 4.- Hidrograma observado (puntos) y simulado (negro), por el modelo SD4-R, durante el periodo considerado para la validación temporal (01/08/02 - 30/06/03) en Fuirosos.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos con este trabajo apuntan a que los flujos del agua en el suelo, en Fuirosos, son esencialmente distintos en épocas secas y en épocas húmedas y que varios mecanismos son los responsables de este comportamiento altamente no-lineal. Nuestras simulaciones indican que la zona permanentemente saturada se desconecta durante el verano y en general las épocas más secas dejando de contribuir al cauce. Además, de acuerdo con los resultados obtenidos con el modelo SD4-R, la vegetación de la zona de ribera parece ejercer un importante control sobre los caudales más pequeños. La inclusión de dos acuíferos con tasas de contribución diferentes (una muy lenta y la otra relativamente más rápida) ha resultado ser clave para la simulación del comportamiento hidrológico de esta cuenca. En especial la formación de una zona saturada colgada parece ser determinante durante los primeros meses del *wetting-up* de la cuenca. Por otro lado, los resultados apuntan a que solo cuando el nivel de humedad de la cuenca aumenta lo suficiente ocurre la recarga a la zona permanentemente saturada. Estos resultados son coherentes con la información encontrada en la literatura acerca de cuencas mediterráneas y semiáridas, además de haber sido validados tanto espacialmente como temporalmente. La evaluación y cuantificación de tales procesos ha sido la principal contribución de este trabajo, a parte la evidente mejora de la simulación del caudal con respecto al modelo INCA (Bernal et al., 2004). Por último, cabe destacar el valor no solo local de este aporte, dado que la influencia de los diferentes procesos explorados en el presente trabajo puede ser fácilmente extrapolada a otros casos, si no directamente el mismo modelo.

## Referencias

- Beven K. 2000. Rainfall-Runoff Modelling. The Primer. John Wiley & Sons, LDT.
- Beven K. 2002. Runoff Generation in Semi-arid Areas In L. J. Bull and M. J. Kirkby (Eds), Dryland Rivers, J. Wiley & Sons, 57-105.
- Bernal S, Butturini A, Riera J. L, Vázquez E, Sabater F. 2004. Calibration of the INCA model in a Mediterranean forested catchment: the effect of hydrological inter-annual variability in an intermittent stream. *Hydrology and Earth System Sciences* 8(4), 729-741.
- Butterworth J.A., Mugabe F., Simmonds L.P, Hodnett M.G. 1999. Hydrological processes and water resources management in a dryland environment II: Surface redistribution of rainfall within fields. *Hydrology and Earth System Sciences* 3 (3), 333-343.
- Butturini A., Bernal S., Sabater S., Sabater F. 2002. The influence of riparian-hyporheic zone on the hydrological responses in an intermittent stream. *Hydrology and Earth System Sciences* 6(3), 515-526.
- Piñol J, Àvila A, Escarré A. 1999. Water balance in catchments. In F. Rodá et al. (Eds), "Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests", Ecological Studies, Vol. 137, Springer-Verlag, 237-282.
- Taha A., Gresillon J. M., Clothier B. E. 1997. Modelling the link between hillslope water movement and stream flow: application to a small Mediterranean forested watershed. *Journal of Hydrology* 203, 11-20.

## MODELACIÓN HIDROLÓGICA DISTRIBUIDA DE LA CUENCA DE LOS RÍOS SAJA-BESAYA (CANTABRIA) CON EL MODELO TETIS V.7.2, PARA LA ESTIMACIÓN PROBABILÍSTICA DE AVENIDAS OCURRIDAS EN LOS PERÍODOS DE ESTIAJE

Félix Francés, Juan Camilo Múnera

Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, España  
F. Francés: [f frances@hma.upv.es](mailto:f frances@hma.upv.es) J.C. Múnera: [juamues1@doctor.upv.es](mailto:juamues1@doctor.upv.es)

### Introducción

El objetivo de la modelación hidrológica de la cuenca del sistema Saja-Besaya es la obtención de las series de caudales circulantes por el río en el entorno de las áreas urbanas de su cuenca baja, para considerarlos en la dilución de las posibles descargas de sistemas unitarios (DSUs), revistiendo especial importancia en la época de estiaje de la estación estival.

Para ello, es necesario contar con series de caudales en régimen natural con discretización al menos a escala horaria en los puntos de simulación definidos en la tabla 1, cuya localización se indica en la figura 1.

Tabla 1.- Puntos de simulación hidrológica con su superficie según el modelo hidrológico.

Punto	Descripción	Área (Km <sup>2</sup> )
Be1	Besaya, aguas arriba de Corrales	360
Be2	Besaya en Caldas	439
Be3	Besaya, aguas arriba de la confluencia (estación de aforos)	474
Sa1	Saja en curva Rudaguera	461
Sa2	Saja, aguas arriba de la confluencia	481
Sa-Be	Saja, aguas abajo de la confluencia	970

### Materiales y Métodos

El modelo de simulación hidrológica utilizado es el TETIS (Vélez, 2001; Francés et al, 2007) en su versión 7.2. Sus principales características son las de ser un modelo distribuido en el espacio, utilizable a cualquier escala temporal y capaz de simular todos los procesos hidrológicos. Esto hace que el modelo TETIS de la cuenca del Saja-Besaya incluya la variabilidad espacial del ciclo hidrológico, sea el mismo modelo para las escalas horaria y diaria, se tenga un control sobre las componentes del hidrograma (escorrentía directa, interflujo y flujo base) y sea posible la obtención de resultados en cualquier punto de la cuenca. Además, el modelo TETIS, a pesar de ser distribuido, tiene la posibilidad de su calibración automática (Francés et al, 2007).

La información pluviométrica observada en la cuenca se encuentra a escala diaria y sólo existe una estación de aforos mediante escala reglada en el río Besaya, aguas arriba de Torrelavega. Esta estación dispone de mediciones históricas a partir del año hidrológico 70-71, pero que son afectadas por un trasvase desde el río Ebro a partir de octubre de 1982. Por ello, ha sido necesario realizar una calibración del modelo hidrológico a escala diaria, para su extrapolación en funcionamiento horario utilizando tres series de precipitación reconstruidas a escala horaria. Se considera fundamental la simulación continua para poder estimar correctamente el estado de humedad inicial de la cuenca y el flujo base antes de cualquier evento de crecida.

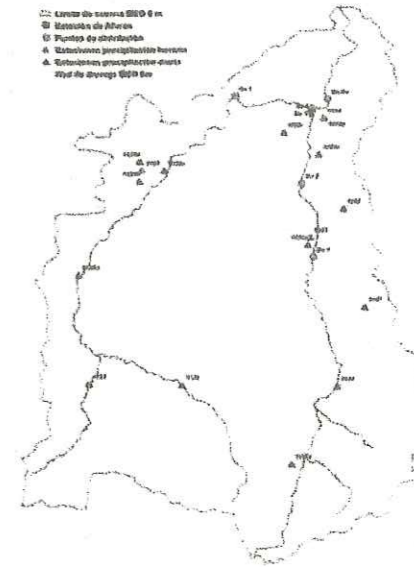


Figura 1.- Localización de estaciones y puntos de interés en la cuenca de los ríos Saja - Besaya.

### Estimación de parámetros espaciales

Un primer paso en la aplicación de un modelo distribuido es la estimación inicial de los parámetros a escala de celda. Para ello se ha partido de toda la información espacial disponible respecto de la topografía, cubierta del suelo, edafología y acuíferos. Aunque existe un Modelo de Elevación Digital de 5 m (MED 5), la precisión del resto de la información espacial ha aconsejado el utilizar una discretización en el modelo hidrológico de 500 m.

### Calibración y validación del modelo

El periodo de calibración comprende los años hidrológicos del 79-80 al 81-82, y el de validación del 70-71 al 78-79. Los caudales diarios se corrigieron para tener en cuenta que la precipitación diaria se mide a las 8 de la mañana y en el periodo de calibración se redujeron dos picos de caudal cuya magnitud no es posible con la lluvia observada. En cuanto a la ETP (evapotranspiración potencial), se han tomado los datos diarios estimados en el aeropuerto de Sondika, y extrapolado a 10 puntos distribuidos en toda la cuenca, con valores mensuales estimados en otros estudios.

Las variables a calibrar en el modelo TETIS son los Factores Correctores (FC) de los parámetros de celda, el coeficiente  $\beta$  de incremento de la precipitación con la altura y el estado inicial de los almacenamientos. El FC de la escorrentía directa se ha fijado en 1, calibrando la propagación mediante el FC de los cauces, y en 0 el correspondiente a las pérdidas subterráneas (todo el flujo base se conecta a la red de cauces).