

# UTILIZACIÓN DE ALGUNOS AFOROS DE GASTO EN CUENCAS NO AFORADAS

Claudia Rojas Serna<sup>1</sup>, Claude Michel<sup>2</sup>, Charles Perrin<sup>2</sup> y Vazken Andréassian<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica  
Av. San Rafael Atlixco No. 186, Col. Vicentina, C.P. 09340, México, D.F. México, Teléfono: (+52) 55 5804 4600, ext. 1010.

<sup>2</sup>Irstea, Hydrosystems and Bioprocesses Research Unit (HBAN)

Antony, France, Fax: +33 1 40 96 61 99

E-mail: crojas@xanum.uam.mx, charles.perrin@irstea.fr, vazken.andreassian@irstea.fr

## Introducción

Este artículo trata sobre una alternativa al enfoque clásico de regionalización utilizado para abordar el problema de las cuencas no aforadas con modelos lluvia-escorrentamiento. Elegimos una nueva orientación, más práctica, que consiste en aprovechar al máximo algunas mediciones de gasto. De hecho, no es poco realista obtener tales mediciones enviando una brigada de trabajo para realizar aforos al lugar donde se necesita una predicción hidrológica. En este trabajo, buscamos identificar los parámetros de un modelo diario de lluvia-escorrentamiento global, GR4J, y buscamos una estrategia para calibrar sus parámetros usando algunas mediciones de gasto, que se combinan con un conocimiento *a priori* de los parámetros. Los resultados muestran que este enfoque es mucho más eficiente que los estudios clásicos de regionalización, tan pronto como se pueden hacer unas treinta mediciones, al azar, durante un período de tres a cinco años.

La investigación está organizada de la siguiente manera: (a) se presenta el modelo GR4J que se aplicará en una cuenca no regulada; (b) se describen los datos que se han utilizado en esta investigación para obtener algún conocimiento estadístico de los parámetros del modelo GR4J y para probar los métodos desarrollados para las cuencas no aforadas; (c) se presenta el método adecuado cuando hay muy pocas mediciones disponibles; y (d) se dan los resultados y una conclusión.

## Objetivo

El objetivo principal es identificar los parámetros de un modelo diario lluvia-escorrentamiento global, GR4J, en una cuenca no aforada, y buscar una estrategia para calibrar sus parámetros usando algunas mediciones de gasto.

## Modelo GR4J

El modelo GR4J, que utilizaremos a lo largo de este documento, se describe en detalle por Edijatno et al. (1999) y Perrin et al. (2003) y remitimos a los lectores al último artículo para una descripción completa del modelo. El modelo GR4J tiene cuatro parámetros para ser calibrados. Está compuesto por: un proceso de capacidad de retención del suelo (parámetro X1 en mm), una función de transferencia que combina el almacenamiento del cauce (parámetro X2 en mm) y un hidrograma unitario (parámetro X3 en días), y una función de ganancia-pérdida (parámetro X4 en mm). Para que la calibración sea más eficiente, ésta se lleva a cabo con valores transformados de estos parámetros, de modo que los parámetros transformados, denotados  $x_i$ , pertenecen al intervalo [-10,10]. En la Tabla 1 se muestran la media y la desviación estándar de los parámetros transformados para una muestra de 1111 cuencas.

Como primera aproximación al uso del modelo GR4J en cuencas no aforadas, tratamos de explicar los parámetros transformados utilizando tres características de la cuenca: el área de captación (A, km<sup>2</sup>), la evapotranspiración potencial diaria promedio (E, mm) y la probabilidad de precipitación diaria más grande que 0.1 mm (P). Las relaciones explicativas encontradas son:

$$x_1 = 6.3 + 0.001 \log(A) + 0.05 \log(E) + 0.11 \log(P) \quad [1]$$

$$x_2 = 5.3 - 0.1 \log(A) - 0.07 \log(E) + 0.5 \log(P) \quad [2]$$

$$x_3 = -8.7 + 0.4 \log(A) + 0.4 \log(E) + 0.5 \log(P) \quad [3]$$

$$x_4 = 1.2 - 0.07 \log(A) + 0.03 \log(E) + 1.3 \log(P) \quad [4]$$

**Tabla 1.-** Primeros dos momentos de los parámetros transformados del modelo GR4J para una muestra de 1111 cuencas.

Parámetro	Media	Desviación estándar
X1	6.2	1.1
X2	3.9	1.5
X3	-6.1	3.7
X4	-0.1	1.7

## Base de datos

Para probar nuestra metodología para determinar los parámetros del modelo GR4J en una cuenca no aforada, utilizamos una gran muestra de cuencas que abarca cinco continentes, reunidas para este trabajo y está compuesta por 1111 cuencas, con áreas de 0.1 a 50600 km<sup>2</sup>, ubicadas en: los Estados Unidos de América (500 cuencas), Francia (305 cuencas), México (260 cuencas), Australia (32 cuencas), Costa de Marfil (10 cuencas) y Brasil (4 cuencas).

## Metodología desarrollada

Nuestra metodología combina el conocimiento *a priori* y la información aportada por unas pocas mediciones de gasto tomadas al azar durante un período de tiempo determinado. Esto está incorporado en el criterio de calibración C dado como:

$$C = \alpha \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \left( \frac{x_i - x_i^0}{\sigma_i} \right)^2 + (1 - \alpha) \frac{\sum_{j=1}^N \left( \sqrt{Q_j^{obs}} - \sqrt{Q_j^{calc}} \right)^2}{\sum_{j=1}^N Q_j^{obs}} \quad [5]$$

donde los parámetros  $x_i$  se eligen para minimizar C,  $\sigma_i$  es la desviación estándar del parámetro i en las ecuaciones del proceso de calibración,  $x_i^0$  es el conjunto de parámetros *a priori*,  $Q_j^{obs}$  representa un gasto diario medido en la salida de la cuenca y  $Q_j^{calc}$  representa el gasto calculado por el modelo utilizando el conjunto de parámetros  $x_i$ . El parámetro  $\alpha$  se determina como una función de N, el número de mediciones diarias, para dar a la metodología su máxima eficiencia. El mínimo cuadrado de los errores se calcula con las raíces cuadradas de los valores de salida para evitar dar a algunos valores grandes un rol predominante que podría reducir el valor de las otras mediciones.

La eficiencia del modelo para calcular los gastos en una cuenca no aforada se mide con la función de Nash-Sutcliffe, dentro del intervalo [100,100].

## Resultados

Los resultados muestran que con sólo 30 aforos diarios, podemos obtener la misma eficacia estadística que con el modelo menos eficiente reportado en la literatura, pero calibrado con una serie de gastos de varios años. Estos primeros resultados son alentadores.

## Conclusiones

Los primeros resultados presentados en este documento muestran el valor de la metodología desarrollada. En lugar de medir parámetros complejos del suelo, parece más rentable enfocar nuestros esfuerzos en adquirir algunas mediciones directas de la variable de interés, la descarga en la salida de una cuenca. El presente artículo informa sobre la etapa inicial de esta estrategia, cuando se adquieren las primeras mediciones. Continuamos nuestro trabajo, con el objetivo de aumentar el beneficio que se puede esperar de unas pocas mediciones de gasto, y presentaremos más mejoras en el futuro.

## Referencias

**Edijatno, Nascimento, N. O., Yang, X., Makhlof, Z. & Michel, C.** (1999) "GR3J a daily watershed model with three free parameters". *Hydrol. Sci. J.* 44(2), 263–277.

**Chahinian, N., Mathevet, T., Habets, F. & Andréassian, V. (2005)** *The MOPEX 2004 French database: main hydrological and morphological characteristics. In: Large Sample Basin Experiments for Hydrological Model Parameterization: Results of the Model Parameter Experiment–MOPEX* (ed. by V. Andreassian, A. Hall, N. Chahinian & J. Schaake), 29–40. IAHS Publ. 307. IAHS Press, Wallingford, UK (this issue).

**Lee, H., McIntyre, N., Wheeler, H. & Young, A.** (2005) "Selection of conceptual models for regionalisation of the rainfall– runoff relationship". *J. Hydrol.* 312, 125–147.

**Merz, R. & Blöschl, G. (2004)** "Regionalisation of catchment model parameters". *J. Hydrol.* 287, 95–123.

**Parajka, J., Merz, R. & Blöschl, G. (2005)** "A comparison of regionalisation methods for catchment model parameters". *Hydrol. Earth System Sci.* 9(3), 157–171.

**Perrin, C., Michel, C. & Andréassian, V.** (2003) Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *J. Hydrol.* 279(1–4), 275–289.

**Rojas Serna C., Michel, C., Perrin, C. & Andréassian, V.** (2006) Ungauged catchments: how to make the most of a few streamflow measurements? *Large Sample Basin Experiments for Hydrological Model Parameterization: Results of the Model Parameter Experiment–MOPEX*. IAHS Publ. 307.