

Estimació de cabals òptims i mínims per a l'ús del ràfting a l'Alt Tajo

■ **LUIS RUIZ JIMÉNEZ**

Llicenciat en Educació Física i Esports

■ **DIEGO GARCÍA DE JALÓN**

Doctor Enginyer de Monts.
Escola d'Enginyers de Monts.
Universitat Politècnica de Madrid

■ **Paraules clau**

Piragüisme, Ràfting, Cabals mínims, IFIM simulació hidràulica, Potencial de ràfting, Cabals recreatius

Resum

La creixent demanda d'usos recreatius en els rius i de forma especial de les activitats nàutiques, tant competitives com de turisme actiu, exigeix una resposta raonada pel que fa a les necessitats de cabals circulants pels rius. Les Confederacions Hidrogràfiques, com a gestores del recurs "aigua", han de coordinar les diferents demandes de l'ús d'aquest recurs tenint en compte unes exigències raonades dels diferents usuaris. En aquest treball presentem per primera vegada a Espanya una metodologia adaptada a les necessitats d'aquest tipus d'usos recreatius.

■ Abstract

The growing demand for the recreative use of rivers and specially water sports, be they competition or active tourism, calls for a reasoned reply geared to the necessities of river waterways. The Hydrographical Confederations, as managers of the recourse "water" ought to co-ordinate the different demands for the use of this recourse from a base of reasonable requests of the different users. In this work we present for the first time in Spain a methodology adapted to the necessities of this type of recreative uses. This methodology is based in the estimation of some dimensions of use that evaluate the capacities of the flow of the rivers, applying an informatic programme that allows us to calculate the optimal and minimal flows for recreative use by simulation of the 2 hydraulic conditions of the course under the supposed different circulating flows of the same.

■ Key words

Canoeing, Rafting, Minimum flows, IFIM Hydraulic simulation, Rafting potential, Recreative flows

Aquesta metodologia es basa en l'estimació d'uns paràmetres d'ús que avaluen les capacitats de les lleres dels rius, aplicant un programa informàtic que ens permet de calcular cabals òptims i mínims per a l'ús recreatiu, per simulació de les condicions hidràuliques del llit fluvial en el supòsit de diferents cabals circulant per la llera.

Introducció

El riu Tajo, aigües avall de la seva confluència amb el riu Gallo es transforma en una important artèria fluvial pel que fa a la quantitat de cabal que porta circulant per la llera, i alhora, conserva un pendent pronunciat, cosa que el converteix en un excel·lent riu per a la pràctica del piragüisme i el ràfting.

La creixent importància de la navegació recreativa per rius és una demanda de la societat actual. Whittaker i col·laboradors (1993) han estudiat el significat que tenen aquestes activitats i com se'n valoren els diferents aspectes. En un país on els recursos hidràulics són escassos i la competència per l'ús de l'aigua és gran, cal justificar la sol·licitud de cabals circulant pels rius per a un ús recreatiu. La gran experiència sobre aquests problemes als Estats Units i el seu encaix legal han estat considerats per Shelby i col·laboradors (1991).

Amb l'anàlisi de les corbes obtingudes amb aquest mètode, s'aporta una via de coneixement sobre com és el cabal adequat per a les diferents possibilitats d'ús recreatiu, tal com reflecteixen els treballs al riu la Dolores realitzats per Shelby i Whittaker (1995).

La descripció dels paràmetres analitzats, relacionats amb diferents usos, ens facilitaria una escala d'ús que va des de cabal inacceptable i mínim acceptable a òptim; a aquesta conclusió van arribar Shelby i col·laboradors (1996), en l'estudi realitzat sobre els efectes dels cabals sobre els excursionistes al Parc Nacional de Zion, Utah.

Els cabals per a la pesca i la conservació de les espècies han rebut una atenció considerable, i els procediments per a determinar-ne els cabals mínims es troben, en general, ben establerts i sempre són reconeguts als USA. Per regla general, els cabals mínims per als peixos i la conservació de les espècies sovint són suficients per a la pràctica del piragüisme d'esbarjo, encara que els mètodes per a determinar-ne els cabals apropiats no han estat ben establerts (Shelby and Jackson 1991).

A les àrees on els cabals poden ser controlats per preses, els estudis de simulació ens donen un valor molt aproximat de les relacions entre cabals i aprofitament recreatiu; això és palès en alguns estudis realitzats al riu Colorado a l'alçada del Grand Canyon (Shelby i Brown, 1992). Aquest mètode de simulació ens facilita la possibilitat d'assignar diferents cabals controlats des de la presa i alternar-lo segons les necessitats requerides, com ho van demostrar al riu Umpqua a Oregon, Shelby, Whittaker i J. Roppe (1998).

Metodologia

Per a aquesta anàlisi ha estat emprada la mateixa metodologia que la utilitzada en l'estimació dels cabals ecològics, mitjançant la simulació de l'hàbitat físic, amb

l'única diferència d'utilitzar els requeriments mínims i òptims de la navegació en "ràfting", en lloc de les exigències d'hàbitat dels peixos que viuen a les seves aigües. Aquests requeriments els hem expressat també en forma de "corbes de preferència" del ràfting, tal com s'exposa a la *figura 1*. Només hem emprat els requeriments respecte a la velocitat de l'aigua i al calat, perquè el substrat del fons entenem que és indiferent per a aquesta navegació. De manera anàloga, a l'Hàbitat Potencial Útil hem definit el concepte de "Potencial de Ràfting" com la suma dels productes de la superfície de cada cel·la de càlcul, pel corresponent coeficient de conformitat. Cada cabal circulant pel llit determina les condicions de velocitat i calat de cada cel·la que, alhora, fixen el valor del seu coeficient de conformitat tenint en compte les corbes de preferència del ràfting.

Amb aquesta metodologia es disposa d'una eina de treball que permet d'abordar qualsevol problema relacionat amb un curs d'aigua, tot plantejant un conjunt de variables i la forma en què es veuen afectades pels usos que es donen a les aigües.

En aquest estudi ens basarem en el mètode IFIM-PHABSIM, amb algunes modificacions, perquè és el que integra el major nombre de dades alhora: hidrològiques, geomorfològiques i biològiques; es completa amb allò que fa referència a la caracterització del riu i específicament als requisits d'hàbitat dels usos recreatius.

El mètode IFIM, (Instream Flow Incremental Methodology; PHABSIM, Physical Habitat Simulation) Bovee (1978), es fonamenta en la caracterització de l'hàbitat per tal de veure, a través d'unes corbes que representen la conducta de la fauna aquàtica, quin ús fa d'aquest hàbitat una espècie o un conjunt d'espècies. Fleckinger tracta de portar a terme la caracterització del curs d'aigua mitjançant un estudi de les profunditats i les velocitats d'un tram, de tal manera que determina el cabal mínim com a aquell que permet una adequada repartició en el tram de les diferents zones d'aigües calmes i de corrent.

Aquesta metodologia tracta de conèixer com és l'estructura real de la llera del riu (que podria assemblar-se al canal d'un curs artificial d'aigua), per poder estudiar, un cop conegut el cabal que en cada moment hi circula, una variable o conjunt de variables del corrent.

Per fer-ho, es porta a terme una caracterització de la llera com a estructura independent del règim de cabals. Un cop coneguda aquesta, es pot fer un estudi de simulació hidràulica, per veure com es modifica el sistema de variables que intervenen sobre el riu com a ecosistema, element del paisatge o en la seva capacitat recreativa.

En el nostre cas hem seleccionat un tram de riu per aplicar aquesta metodologia, localitzat aigües avall de la Central Elèctrica d'Azañón (Guadalajara), les coordenades UTM del qual són 30t 0538499 i 4506340.

Simulació hidràulica

El programa d'ordinador que hem utilitzat és el **RIVER-2D**, desenvolupat per Peter Steffler (1998), a la Universitat d'Alberta, Canadà; aquest programa permet la simulació hidràulica tot seleccionant els cabals que resultin més apropiats per a cada cas. El **RIVER-2D** és un programa que incorpora la metodologia IFIM a un model hidràulic de simulació en dues dimensions. Aquesta simulació es basa en els principis de conservació de la massa i dels moments, i en una sèrie de lleis físiques que relacionen les forces de control i de resistències amb les propietats dels fluids en moviment. La solució de les equacions que governen el moviment, s'assoleix mitjançant una anàlisi d'elements finits discreta, que redueix a un nombre finit d'equacions un nombre finit de punts de la xarxa espaciotemporal. D'aquesta manera, l'àlgebra es redueix a l'aritmètica, que pot ser traduïda a codi d'ordinador. Les condicions de contorn amb què s'ajusta el model hidràulic del **RIVER-2D** es basen en l'alçada i el cabal en la secció d'entrada i de l'alçada d'aigua a la secció de sortida o d'aigües avall. De forma especial, cal obtenir una relació entre el cabal circulant (per unitat d'amplada) i l'alçada

de l'aigua a la sortida del tram, que normalment s'obté empíricament tot aforant a diferents nivells d'aigua. En el nostre cas hem ajustat equació:

$$q = b \cdot d^{1,6666}$$

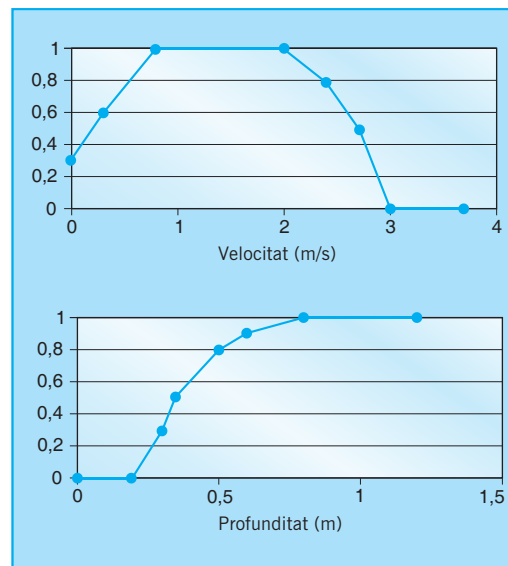
on q és el cabal per unitat d'amplada (m^2/s), b és una constant que ajustem segons les dades de riba i punts amb cota de la superfície de l'aigua, i " d " és l'alçada de l'aigua en un punt de la secció.

El coeficient de rugositat emprat es fixa per les característiques granulomètriques i morfològiques de la llera, i en el model **RIVER-2D** s'avalua mitjançant el coeficient de la "alçada límit de rugositat efectiva" (k_s), atès que tendeix a mantenir-se constant en un espectre més ampli de profunditats.

Resultats

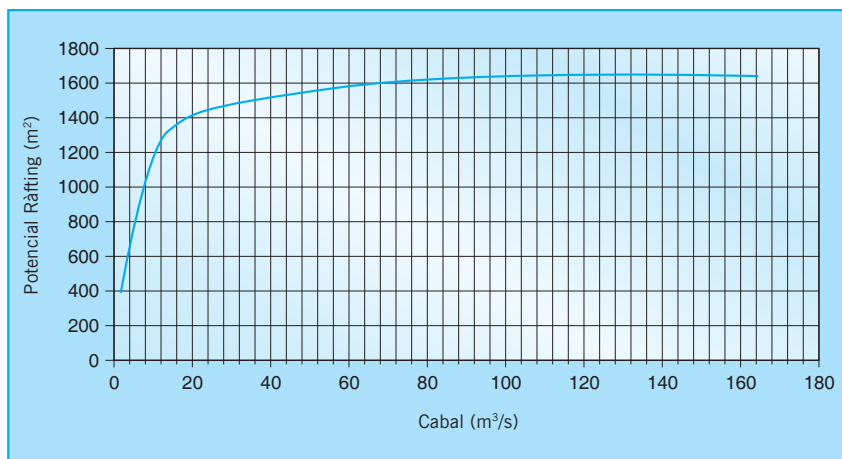
Simulant diferents valors de cabal circulant pel tram del riu Tajo, s'obtenen diferents valors del Potencial de Ràfting a cada punt del tram i, doncs, diferents distribucions del Potencial de Ràfting en el riu. Per tal de poder comparar les condicions globals, per a cada cabal circulant, podem sumar el Potencial de Ràfting de

■ FIGURA 1.
Corbes de preferència proposades per a l'activitat de ràfting per a velocitat de l'aigua i profunditat.



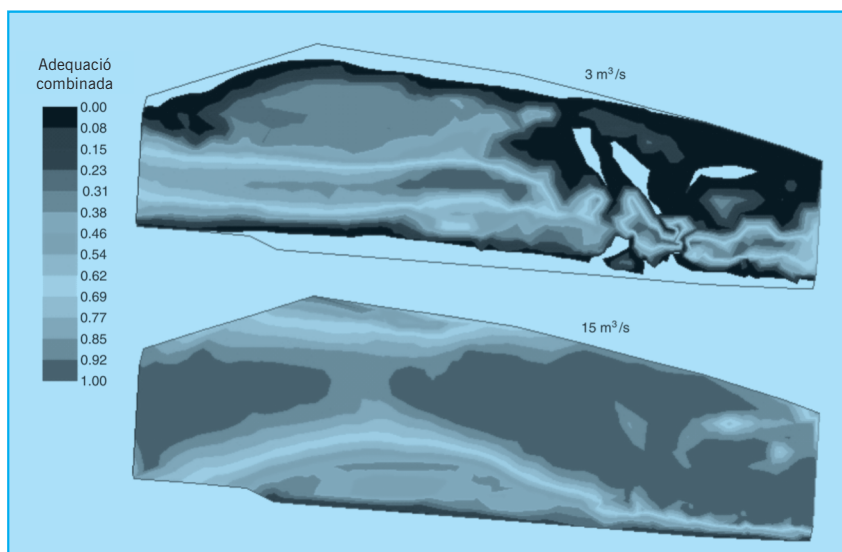
■ FIGURA 2.

Variació del Potencial de Ràfting global amb el cabal circulant pel tram de l'Alt Tajo estudiat.



■ FIGURA 3.

Mapa de distribució del Potencial de Ràfting combinat (velocitat i profunditat) al llarg del tram de riu Tajo estudiat, tenint en compte dos valors de cabal circulant.



tots els punts. Així obtenim valors del Potencial de Ràfting Global per a cada cabal circulant, el conjunt dels quals ens defineix una corba que s'exposa a la figura 2.

En aquesta corba es representen simulacions de cabal circulant entre 1 m³/s i 165 m³/s. Podem observar que hi ha un canvi marcat de pendent de la corba cap als 15 m³/s, cosa que indica que per a valors superiors de cabal circulant pel llit, la potencialitat del ràfting no experimenta augments significatius. Mentre que, amb valors inferiors, les

disminucions d'aquest potencial són més dràstiques.

El significat del Potencial de ràfting amb diferents cabals, afecta diferentment segons els punts del tram fluvial. Com a exemple, a la figura 3 s'exposa un mapa de la llera on s'assenyala la distribució del Potencial de Ràfting, amb dos cabals extrems 3 i 15 m³/s. Observeu que, encara que el riu admeti el descens en ràfting a cabals baixos, perquè tingui un potencial atractiu per als esports d'aventura, el riu ha de mantenir una franja contínua amb característiques òptimes de ràfting (>0,9) i prou am-

pla per al pas de l'embarcació folgadament (>8 metres). A la figura veiem com amb 15 m³/s tenim una banda ampla de riu (més de 25 metres) amb condicions òptimes per al ràfting (colors vermellorsos), mentre que amb 5 m³/s aquesta banda és més estreta (8 metres) i queda interrompuda diverses vegades a la meitat del tram amb un fragment de qualitat inferior.

També ens interessa d'identificar els punts problemàtics quan el cabal circulant és escàs, així com els cabals mínims necessaris per navegar sense realitzar aturades per manca de calat. A la figura 4 es representen els mapes de distribució del potencial de ràfting tenint en compte només el criteri de calat, generats a partir de cabals circulants petits: 1, 3 i 6 m³/s. En aquesta figura podem observar que per a un cabal d'1 m³/s la profunditat és inviable en tres punts, i deixa la banda vermella interrompuda. A més a més, la banda esmentada és molt estreta per la constricció d'illes laterals (blanc). Amb 2 m³/s les obstruccions es redueixen a dues i amb 6 m³/s només n'hi queda una.

Conclusions

Hem vist que aquesta metodologia de simulació de l'entorn fluvial aporta als gestors, guies i palista, tant si són experts com principiants, una valoració objectiva de les condicions de navegabilitat del riu en moment real i la variació originada per les fluctuacions de cabal.

Hi ha una considerable flexibilitat en el disseny i aplicació de l'IFIM. L'ús efectiu de l'IFIM és una eina per avaluar i quantificar els valors recreatius i requereix un bon coneixement del procés de càlcul de l'IFIM, el concepte del Potencial d'ús recreatiu, i dels requeriments d'esbarjo i els seus efectes dependents del cabal circulant.

Aquest mètode està basat en les hipòtesis següents: a) profunditat i velocitat són les dues característiques més importants per determinar la qualitat del valor recreatiu; b) és possible determinar mínima, màxima i òptima profunditat combinant-les amb la velocitat i relacionant-les amb les activitats recreatives, i c) el potencial re-

creatiu o d'ús es troba expressat en termes ponderats de la superfície del riu, dotada amb una certa velocitat i determinada profunditat.

L'avantatge d'aquest model és repetible i quantificable i podem examinar zones conflictives o dubtoses amb relativa facilitat.

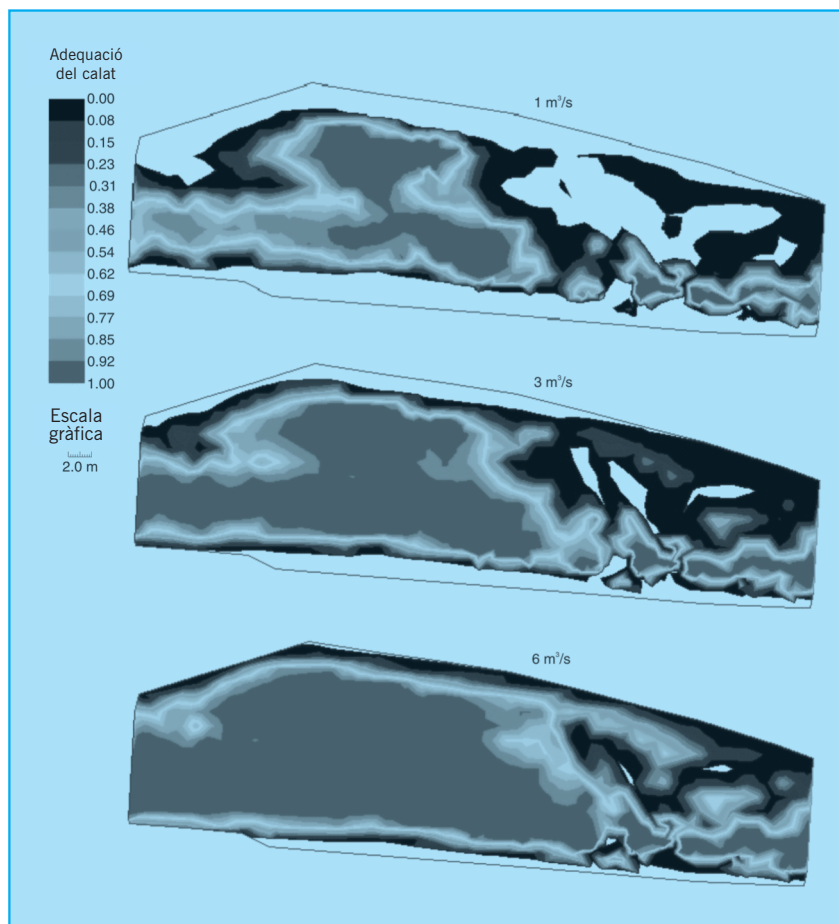
Per acabar, podem concloure que en el tram estudiat el ràfting té un valor superior amb cabals creixents (almenys fins a 165 m³/s), i l'activitat de ràfting comença a ser atractiva i emocionant a partir dels 15 m³/s amb cabals circulants. Tanmateix, cabals superiors a 15 m³/s no produeixen augments significatius del Potencial de Ràfting. Els cabals mínims per poder navegar sense interrupcions ni aturades comencen a partir de 6 m³/s.

Bibliografia

- Bovee, K. D. (1982). *A Guide to Stream Habitat Analysis using the Instream Flow Incremental Methodology*. Instr. Flow Inf. Paper 12. USDI Fish and Wildl. Serv. Washington, 248 p.
- Corbett, R. (1990). *A method for determining minimum Instream flow for recreational boating*. SAIC Special Report 1-239-91-01. McLean, V. A. (1991). *Science Applications International Corporation*.
- Shelby, B. i Vaske, J. (1991). Using normative data to develop evaluative standards for resource management: A comment on t.
- Shelby, B.; Brown, T. i Taylor, J. (1992). *Stream flow and Recreation*. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Fort Colin, Colorado 80526. General Technical Reporter RM-209 Revised. 26 p.
- Shelby, B.; Whittaker, D. i Roppe, J. (1998). *Controlled Flow Studies for Recreation: A case Study on Oregon's North Umpqua River*. Rivers V6 N4, 259-268.
- Shelby, B. i Jackson, W. (1991). *Determining Minimum Boating Flows from Hydrologic Data River* (2), vol. 2, 161-167.
- Shelby, B.; Brown, T. i Baumgartner, R. (1992). Effects of Stream flows on River Trip on the Colorado River in Grand Canyon, Arizona. *Rivers V3* (3) (juliol), 191-201.

FIGURA 4.

Mapes de distribució del Potencial de Ràfting, tenint en compte només el paràmetre profunditat, en el tram estudiat aigües avall de la Presa de la minicentral d'Azañón (provincia de Guadalajara). C/ UTM 30T 0538499 I 4506340.



- Shelby, B. i Whittaker, D. (1995). Flows and Recreation Quality on the Dolores River: Integrating Overall and Specific Evaluations. *River V5* (2), 121-132.
- Shelby, B.; Whittaker, D. y Hansen, W. (1997). Stream flow Effects on Hiking in Zion National Park, Utah. *River Volume 6* (2) (abril), 80-93.
- Steffler, P. (1998). *River 2D_Bed*. Universidad de Alberta.
- Thomas, C. B.; Jonathan, G.; Taylor i Shelby, B. (1992). Assessing the effects of streamflow on recreation: A literature review. *Water Resources Bulletin* (6), vol. 27, (desembre) 1991.
- Whittaker, D.; Shelby, B.; Jackson, W. i Beschta, R. (1993). *Instream Flows for Re-*

- creations: A Handbook on Concepts and Research Methods*. U.S. Department of Interior National Park Service Rivers and Trails conservation Program. Cooperative Park Studies Unit Oregon State University. National Park Service Water resources Division, 103 p.
- Whittaker, D. i Shelby, B. (2000). Managed Flow Regimes and Resources Values: Traditional versus Alternatives Strategies. *Rivers V7* (3), 233-244.
- Williams, K. (1991). *Application of Instream flow quantifications to recreational river: a case study of the Cache La Poudre River, Colorado*. Fort Collins, CO: Colorado State University, Master's Thesis.