

Efecte del tipus d'embassament en el règim de cabals mínims a la conca del riu Ebre

Marc Garrigó Atxer
Treball dirigit per Albert Folch^a i Lluís Quer^b
2013

^a Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

^b Departament de Matemàtiques. Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)

Resum

En el marc dels cabals ambientals o “ecològics”, el coneixement de la regulació del règim de cabals mínims o baixos per part de les infraestructures hidràuliques pren especial importància. En aquest treball, es contrasta la hipòtesi de que la regulació del règim fluvial per part dels embassaments de regadiu i per part dels embassaments destinats a la producció d'energia hidroelèctrica produeix una alteració diferent en el règim de cabals mínims. Per fer-ho, es realitza l'anàlisi comparatiu del grau d'assoliment històric dels cabals mínims ecològics, determinats en el nou Pla de Conca de l'Ebre 2010-15, en 30 trams fluvials representatius de l'efecte d'aquests tipus d'embassaments. Els resultats obtinguts indiquen que la tipologia d'ús dels embassaments és determinant en la regulació dels cabals mínims. Els embassaments de reg produeixen una major alteració del règim de cabals mínims i presenten una diferent distribució i una major variabilitat intraanual en aquesta alteració que els embassaments hidroelèctrics.

Paraules clau: *cabals ambientals, cabals de manteniment, cabals ecològics, embassaments hidroelèctrics, embassaments de regadiu*

Resumen

En el marco de los caudales ambientales o “ecológicos”, el conocimiento de la regulación del régimen de caudales mínimos o bajos por parte de las infraestructuras hidráulicas toma especial importancia. En éste trabajo, se contrasta la hipótesis de que la regulación del régimen fluvial por parte de los embalses de regadío y por parte de los embalses destinados a la producción de energía hidroeléctrica produce una alteración distinta en el régimen de caudales mínimos. Para ello, se realiza el análisis comparativo del grado de alcance histórico de los caudales mínimos ecológicos, determinados en el nuevo Plan de Cuenca del Ebro 2010-15, en 30 tramos fluviales representativos del efecto de éstos tipos de embalses. Los resultados obtenidos indican que la tipología de uso de los embalses es determinante en la regulación de los caudales mínimos. Los embalses de riego producen una mayor alteración del régimen de caudales mínimos y presentan una diferente distribución y una mayor variabilidad intraanual en dicha alteración que los embalses hidroeléctricos.

Palabras clave: *caudales ambientales, caudales de mantenimiento, caudales ecológicos, embalses hidroeléctricos, embalses de regadío*

Abstract

In the framework of environmental flows or “ecological” flows, the study of the regulation of low flow regime by hydraulic infrastructures acquires particular importance. In this paper, we test the hypothesis that hydroelectric dams and irrigation dams produce different alteration in the low flow regime. For this, we analyze the historical degree of accomplishment of the low ecological flows, which are determined by the new Ebro Basin Plan 2010-15, in 30 river stretches which are representatives of the effects of this kind of dams. The results show that typology of water use of dams turns out to be a decisive factor in the low flow regulation. Irrigation dams produce higher alteration in the low flow regime and have a different distribution and higher variability of this alteration within the year than hydroelectric dams.

Keywords: *environmental flow, maintenance flow, ecological flow, hydroelectric dams, irrigation dams*

1. Introducció

L'aigua és un bé tan preuat que la nostra civilització s'ha basat històricament en augmentar la seva disponibilitat, construint preses, dipòsits, canals i transvasaments que han modificat el règim de cabals que de forma natural transcorria pels rius. Avui en dia aquesta modificació és tan intensa, que uns dos terços de les aigües que flueixen per les lleres fluvials al món es troben regulades per més de 400.000 grans preses i més de 800.000 preses petites (Mc Cully 1996).

A Espanya, l'inventari publicat l'any 2006 per part del Ministeri de Medi Ambient i Obres Públiques, en motiu de la celebració del XXII Congrés Internacional de Grans Preses a Barcelona, assenyalava l'existència de 1.188 grans preses en explotació, que en l'actualitat ja són més de 1.200, amb una capacitat aproximada de 56.000 hm³.

Aquestes estructures es construeixen com a protecció enfront de les avingudes, per a produir energia hidroelèctrica o per assegurar aigua amb finalitats agrícoles, industrials o domèstiques, però la seva presència en els rius ha transformat l'estructura i funcionament dels ecosistemes fluvials i dels entorns que hi són més estretament relacionats, com assenyalen nombrosos treballs publicats al respecte (Petts 1986, Yeager 1994, Ligon *et al* 1995, Standford *et al* 1996, Poff *et al* 1995).

En aquest sentit, el desenvolupament de noves eines d'anàlisi i la realització d'estudis experimentals sobre l'impacte que s'exerceix als entorns fluvials, a partir dels principis que relacionen els règims hidrològics amb els ecosistemes aquàtics (recollits per Poff *et al* en "el paradigma del règim natural" 1997), ha suposat que l'estudi del règim fluvial experimenti en els últims anys una forta evolució en els seus conceptes i mètodes. La conceptualització teòrica dels cabals de manteniment o ambientals ha comportat un reconeixement a la importància de l'estudi del règim de cabals mínims, estimulants el coneixement de les seves característiques i afeccions, tradicionalment poc considerades en

la literatura si les comparem, per exemple, amb la recerca realitzada en l'àmbit dels cabals màxims o avingudes (Smakhtin 2000).

De manera més o menys paral·lela, els cabals ambientals han anat adquirint una importància creixent en la planificació hidrològica, com es demostra en les diferents normatives publicades al llarg dels últims anys a Espanya. Des de la Llei 29/1985 d'Aigües fins a avui en dia, s'observa una clara evolució dels cabals ambientals en la seva definició, el seu paper en el compliment dels objectius generals de planificació i el seu protagonisme en el balanç de recursos. Tot i la forta discussió encara existent en aquest àmbit, la Directiva Marc de l'Aigua ha ajudat a aclarir i desenvolupar el concepte d'estat ecològic de les aigües, aportant criteris tècnics per a determinar el paper que ha de complir el règim hidrològic respecte les seves funcions ambientals.

Aquesta evolució queda reflectida en l'elaboració dels nous Plans Hidrològics de Conca, en que s'estableix un règim normatiu de cabals ambientals, anomenats "ecològics", que hauria de representar el règim de cabals necessari per al bon estat de l'ecosistema fluvial i dels sistemes naturals que hi són relacionats, i que inclouen l'establiment d'un règim de cabals mínims d'obligat compliment.

En aquest context, l'estudi de l'afectació del règim de cabals mínims per part de les infraestructures hidràuliques pren especial importància. La finalitat d'aquest treball és la de contrastar la hipòtesi que, a la conca de l'Ebre, la regulació del règim fluvial per part dels embassaments destinats a regadiu i per part dels embassaments destinats a la producció d'energia hidroelèctrica, produeix una afectació diferent en el règim de cabals mínims, tant en la seva magnitud com en la seva distribució al llarg de l'any hidrològic. S'utilitzen com a referència els règims de cabals mínims ecològics determinats per part de la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre (CHE) en el recentment aprovat Pla de Conca de l'Ebre 2010-15.

2. Metodologia

2.1 Selecció de dades

Es desenvolupa un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG) a partir de la informació disponible a través del web de la CHE (www.chebro.es), i s'exploren els registres de cabal mig diari existents a la xarxa foromètrica de la conca. D'aquesta manera, es seleccionen 30 estacions d'aforament que disposen d'un registre mínim d'aproximadament 20 anys de dades des de la posta operativa de l'embassament i que, degut a la seva

localització, es poden considerar representatives de la regulació produïda per embassaments hidroelèctrics (8 estacions), de regadiu (12 estacions), o per aquells que combinen ambdós tipus d'ús o mixts (10 estacions)(Taula 1). Aquests punts d'aforament es situen a una distància euclidiana igual o menor a 10 km aigües avall de l'embassament i sense la presència d'afluents o canals de derivació entre la presa i l'estació (Fig. 1).

Taula 1: Estacions seleccionades i rang de dades de cabal mig diari analitzat.

Nº	Codi (CHE)	Ús de l'embassament	Sèrie temporal representativa	Nº de dades (anys)	Nº	Codi (CHE)	Ús de l'embassament	Sèrie temporal representativa	Nº de dades (anys)
1	9131	Hidroelèctric	1962-1997	35	16	9128	Mixt	1949-1971	30
2	9116	Hidroelèctric	1961-1997	36	17	9106	Mixt	1947-2010	63
3	9018	Hidroelèctric	1974-2010	36	18	9250	Mixt	1988-2010	22
4	9144	Hidroelèctric	1966-1992	26	19	9099	Reg	1973-2010	37
5	9145	Hidroelèctric	1970-1990	20	20	9101	Reg	1959-2010	51
6	9267	Hidroelèctric	1989-2008	19	21	9105	Reg	1948-2010	62
7	9271	Hidroelèctric	1991-2010	19	22	9059	Reg	1944-2010	66
8	9252	Hidroelèctric	1989-2010	21	23	9162	Reg	1962-1988	26
9	9012	Mixt	1927-1988	61	24	9201	Reg	1977-1999	22
10	9034	Mixt	1960-2010	50	25	9109	Reg	1969-2010	41
11	9039	Mixt	1963-2010	47	26	9118	Reg	1946-2010	64
12	9076	Mixt	1959-2010	51	27	9124	Reg	1949-2010	61
13	9083	Mixt	1959-2010	51	28	9125	Reg	1964-2010	46
14	9084	Mixt	1976-2010	34	29	9190	Reg	1978-2010	32
15	9097	Mixt	1961-1981	20	30	9238	Reg	1987-2010	23

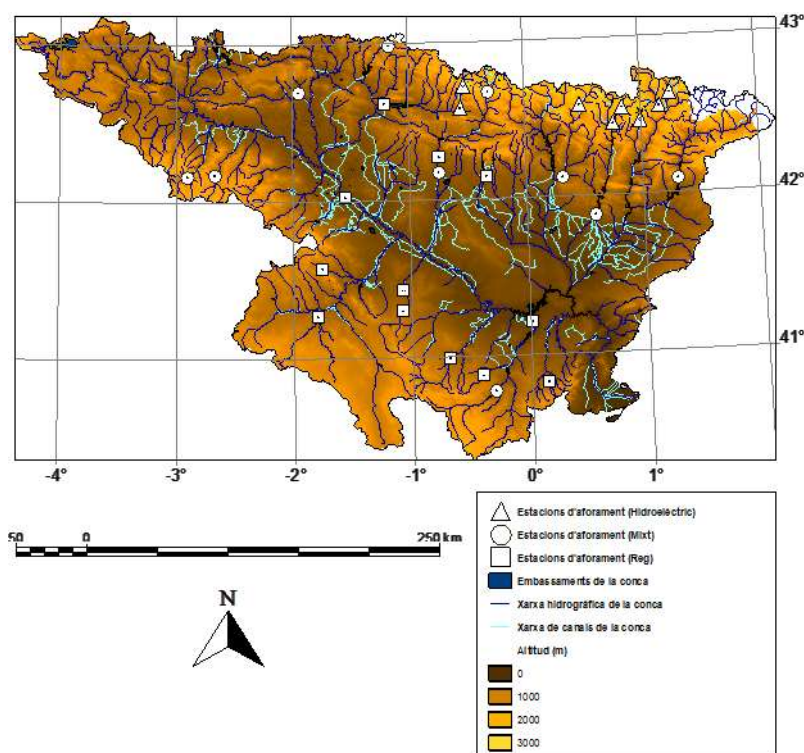


Fig. 1: Localització de la zona d'estudi i dels punts d'aforament representatius de la regulació dels tipus d'embassaments estudiats.

2.2 Anàlisi de dades

2.2.1 Anàlisi descriptiu

Per a cadascuna de les estacions seleccionades, es descriu el règim hidrològic posterior a la construcció de l'embassament, mitjançant el càlcul dels cabals mitjans anuals, els cabals mitjans mensuals, les seves corresponents variabilitats intraanuals i intramensuals, i a partir de la distribució intraanual dels percentils corresponents al cabal mig diari. Alhora, es representen els seus hidrogrames, a fi de valorar possibles canvis històrics en el règim hidrològic no atribuïbles a l'efecte de la variable d'estudi considerada, l'ús de l'embassament, descartant les dades corresponents. S'utilitza com a suport una aplicació informàtica per a la reordenació de les dades a una escala mensual, facilitant el càlcul d'aquests estadístics.

A partir d'aquí, es calculen els percentils mensuals en que es situarien els valors del cabal mínim ecològic mensual proposats en el Pla de conca de l'Ebre per a cada punt d'estudi. Això permet determinar el seu grau d'assoliment per a cada mes. S'obté la mitjana anual d'aquests percentils, i la seva desviació s'utilitza com a indicador de la variabilitat intraanual de l'alteració que presenta aquest règim de cabals.

D'aquesta manera s'obté, en primer lloc, una descripció del règim fluvial com a conseqüència de la regulació produïda per part de l'embassament i, en segon lloc, una caracterització del grau d'afectació del règim de cabals mínims ecològics (percentils mensuals, percentil anual i variabilitat intraanual) per a cada tram fluvial estudiat.

2.2.2 Anàlisi per grups

S'agrupen els resultats obtinguts en la caracterització del grau d'afectació del règim de cabals mínims en els tres grups d'estudi (Hidroelèctric, Reg i Mixt) i es valora la significació estadística de les diferències obtingudes en les seves mitjanes intragrupals. Es realitzen contrastos de normalitat i homoscedasticitat a les dades obtingudes, a fi

de seleccionar el test més adequat per a la comparació de les seves mitjanes. S'utilitzen els tests no paramètrics de Mann-Whitney (2 variables) i Kruskal Wallis (3 variables), amb un nivell de significació estadística del 5%. D'aquesta manera, es contrasten les mitjanes dels percentils mensuals, percentils anuals i desviacions intraanuals entre els tres grups (Hidroelèctric-Reg, Hidroelèctric-Mixt, Reg-Mixt, Hidroelèctric -Mixt-Reg). Per als percentils mensuals es descarten les comparacions un a un entre els dos grups principals i el grup Mixt, degut als resultats que s'obtenen per al percentil anual, els quals confirmarien el seu comportament entremig.

Donada la diferent localització dels elements entre grups (veure Fig. 1), intrínseca a l'ús dels embassaments (els hidroelèctrics es situen a les parts altes de la conca i els de reg a les parts mitges-baixes, amb una localització entremitja per als mixts), es valora la possible interferència d'aquesta variable de confusió en els resultats. Si bé les variables associades a la localització són considerades en la pròpia determinació dels cabals ecològics, poden modificar el tipus de regulació de l'embassament de manera interdependent amb l'ús de l'aigua embassada, de manera que és convenient avaluar-ne la influència.

En aquest sentit, es realitza un contrast anàleg als realitzats anteriorment però en funció d'una altra variable d'agrupació, la pluviometria. Mitjançant l'anàlisi *cluster* s'agrupen els trams regulats per embassaments de regadiu en base a la pluviometria mitjana anual (Reg amb pluviometria<500mm/any i Reg amb pluviometria>500mm/any) i es valora la significació de la diferència entre les seves mitjanes per al percentil anual i per als percentils mensuals. D'aquesta manera, és possible valorar fins a quin punt aquesta variable de confusió associada a l'heterogeneïtat de la conca, pot ser determinant en els resultats obtinguts en la comparativa feta en funció del tipus d'embassament.

3. Resultats i discussió

S'obtenen unes mitjanes intragrups per als percentils anuals del cabal mínim ecològic que corresponen al percentil 6.04 per al grup Hidroelèctric, 31.54 per al grup Reg i 15.32 per al grup Mixt. El contrast estadístic indica diferències significatives entre les mitjanes del grup Hidroelèctric i el grup Reg (p -valor=0.005) i entre els tres grups alhora (p -valor=0.028). El contrast realitzat un a un entre els dos grups principals d'estudi i el grup Mixt, resulta en la no significació de les diferències (p -valor=0.573 entre Mixt-Hidroelèctric, p -valor=0.107 entre Mixt-Reg)(Taula 2).

Taula 2: Resultats del contrast estadístic per a les mitjanes del percentil anual.

Grup	n	Mitjana Percentil anual QEco	p-valor
Hidroelèctric	8	6.04	0,005
Reg	12	31.54	
Hidroelèctric	8	6.04	0,573
Mixt	10	15.32	
Reg	12	31.54	0,107
Mixt	10	15.32	
Hidroelèctric	8	6.04	0.028
Reg	12	31.54	
Mixt	10	15.32	

Per a la desviació intraanual, s'obté un valor de 5.28 unitats per al grup Hidroelèctric, 12.64 per al grup Reg i 5.69 per al grup Mixt. Les diferències també resulten significatives entre el grup Hidroelèctric i el grup Reg (p -valor=0.039), i, pràcticament, entre tots tres grups alhora (p -valor=0.052, molt proper al nivell de significació). El contrast realitzat entre el grup Hidroelèctric amb el grup Mixt i entre el grup Reg amb el grup Mixt resulta en la no significació de les diferències obtingudes (p -valor=0.762 i p -valor=0.050 respectivament), si bé per aquest darrer contrast també s'hi podrien considerar (Taula 3).

Taula 3: Resultats del contrast estadístic per a les mitjanes de la desviació intraanual

Grup	n	Mitjana Desviació intraanual QEco	p-valor
Hidroelèctric	8	5.28	0.039
Reg	12	12.64	
Hidroelèctric	8	5.28	0.762
Mixt	10	5.69	
Reg	12	12.64	0.050
Mixt	10	5.69	
Hidroelèctric	8	5.28	0.052
Reg	12	12.64	
Mixt	10	5.69	

El fet que les comparacions un a un, realitzades entre cadascun dels dos grups principals i el grup Mixt, resultin clarament en la no significació de les diferències observades (exceptuant el cas de la variabilitat intraanual entre el grup Reg i Mixt, en el que el p -valor coincideix amb el nivell de significació de 0.05) i que, en canvi, si ho resultin quan es comparen tots tres grups alhora, sembla confirmar l'assumpció que el grau d'afectació resulta intermedi per al grup Mixt. Donat que els embassaments categoritzats com a mixts combinen l'ús hidroelèctric i de regadiu, les diferències observades entre els embassaments que es destinen exclusivament a un d'aquests dos usos han de ser majors que les observades entre tots tres grups, i aquestes encara han de resultar majors que les observades en comparar un dels grups principals i el grup Mixt. En cas contrari, ens trobaríem en que potser no fora la variable d'agrupació utilitzada, l'ús de l'embassament, la que condiciona el diferent grau d'afectació que s'ha detectat en els diferents grups de sèries hidrològiques estudiades.

D'aquesta manera, els resultats indiquen una diferència significativa en la magnitud anual i en la variabilitat intraanual del grau d'alteració del règim de cabals mínims entre els embassaments de reg i els embassaments hidroelèctrics, amb una confiança estadística del 95%. En tots dos casos, els valors són majors per als embassaments de reg.

Pel que fa als resultats mitjans dels percentils mensuals corresponents al cabal mínim ecològic, el grup Hidroelèctric presenta un màxim a la tardor (Octubre, percentil 9.11) i un mínim a la primavera (Abril, percentil 3.35). El grup Reg presenta el seu màxim també a la tardor (Octubre, percentil 43.35) i un mínim a l'estiu (Juliol, percentil 17.45). El grup Mixt, per la seva banda, presenta el màxim a l'hivern (Gener, percentil 19.67) i el mínim a l'estiu (Agost, percentil 8.49). Mostra un comportament al llarg de l'any que, efectivament, es pot qualificar d'entremig (Taula 4 i Fig.2).

Així doncs, en els embassaments hidroelèctrics el grau d'afectació del règim de cabals augmenta tant quan s'esperarien grans cabals (a la tardor, corresponent a l'època de pluges i, en menor grau, a la segona meitat de la primavera, corresponent als desgels) com quan s'esperarien menors (durant l'estiatge)(Fig.2). Aquest fet pot ser degut a una combinació de factors: la necessitat d'acumular reserves d'aigua en els períodes de major abundància (durant la pròpia primavera i la tardor) justificaria l'afectació del règim de cabals mínims en els períodes més cabalosos, mentre que les pròpies condicions dels estiatges, caracteritzats per la seva variabilitat interanual, podrien justificar l'afectació quan el règim de cabals mínims presenta valors més baixos.

En els embassaments de reg, el grau d'afectació augmenta també durant la tardor com a conseqüència de la necessitat d'acumular reserves però disminueix clarament durant l'estiu (Fig.2). El fet que els cabals mínims augmentin de manera tan notable a l'època d'estiatge ha de ser degut a l'efecte del retorn de l'aigua de reg que es produeixen en aquest període (Batalla *et al* 2004). Aquests retorns d'aigua al riu es produeixen principalment per escorrentia superficial i subsuperficial de les parcel·les sotmeses a regadiu (a més a més de pèrdues operacionals en els sistemes de distribució). Tenint en compte que aquests retorns poden representar una font de contaminació difusa, degut a l'ús de fertilitzants i pesticides i als processos d'evapoconcentració dels sòlids dissolts produït en les aigües que tornen al riu, és clar que aquest augment quantitatiu dels cabals durant l'estiu pot anar associat a una disminució de la qualitat de les aigües.

Els contrastos de les mitjanes d'aquests percentils mensuals, mostren diferències significatives entre el grup Hidroelèctric i el grup Reg per a tots els mesos de l'any, menys al Juliol (p-valor=0.181) , l'Agost (p-valor=0.305) i el Març, si bé, altra vegada, per aquest darrer més les diferències pràcticament es podrien considerar significatives (p-valor=0.057). Si s'inclou el grup Mixt en la comparativa, els resultats són similars, amb diferències significatives entre els tres grups durant tot l'any menys per als mesos de Juliol (p-valor=0.055), Agost (p-valor=0.098), Març (p-valor=0.150) i, en aquest cas, Febrer (p-valor=0.071). Els contrastos per al Juliol i el Febrer mostren també un valor de probabilitat molt proper al nivell de significació. Els p-valors obtinguts en aquesta comparació conjunta indiquen una major similitud (un p-valor major) entre tots tres grups que no pas entre els grups Reg i Hidroelèctric, en el mateix sentit que els resultats obtinguts en la comparativa anual i d'acord amb la posició entremitja del grup Mixt (Taula 4).

D'aquesta manera, els resultats mensuals evidencien que la magnitud de l'alteració del règim de cabals mínims ecològics és major en el grup Reg per a tots els mesos de l'any, si bé la diferència amb el grup Hidroelèctric disminueix notablement a l'estiu, fins al punt que, en aquest període, la diferència no és significativa. El grau d'alteració resulta màxim en tots dos grups a la tardor, disminuint paulatinament a partir de la segona meitat d'aquesta estació i al llarg de l'hivern, fins arribar a la primavera. En aquesta època, aquest patró s'inverteix per al grup Hidroelèctric, amb un lleuger augment, i s'accentua bruscament per al grup Reg, amb un notable descens de l'afectació (Fig. 2).

Taula 4: Resultats del contrast estadístic per a les mitjanes dels percentils mensuals.

Grup		Mitjana percentil mensual QEco											
		Oct.	Nov.	Des.	Gener	Feb.	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.
Hidroelèctric		9.11	5.36	4.43	4.24	4.86	5.16	3.35	4.56	5.40	7.49	9.70	8.83
Reg		43.35	41.41	39.76	38.73	35.97	31.81	29.96	28.62	21.53	17.45	18.95	30.98
Mixt		18.38	19.38	19.64	19.67	17.30	17.18	15.14	13.72	11.58	8.78	8.49	14.68
p-valor	Hidroelèctric Reg	0.003	0.005	0.003	0.012	0.025	0.057	0.010	0.002	0.012	0.181	0.305	0.025
	Hidroelèctric Reg	0.013	0.023	0.013	0.045	0.071	0.150	0.031	0.008	0.019	0.055	0.098	0.034
	Mixt												

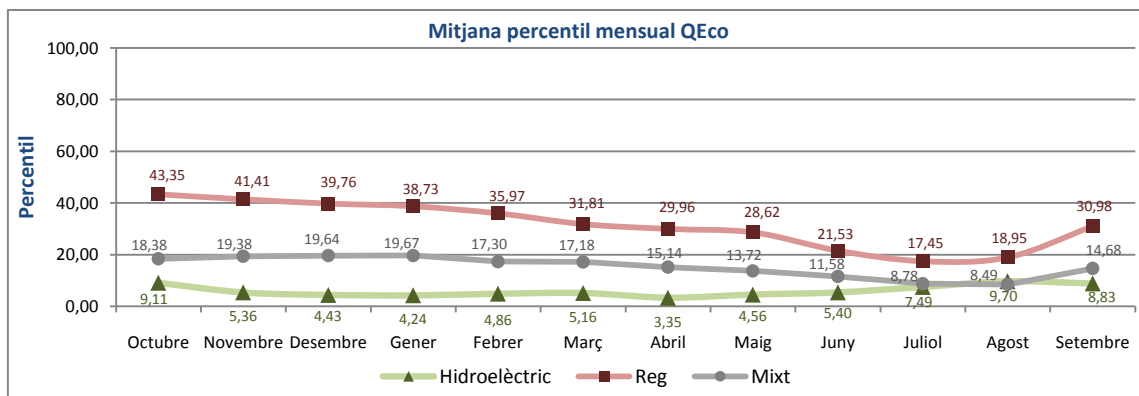


Fig. 2: Representació gràfica de la distribució intraanual dels percentils mensuals

Pel que fa als resultats del contrast dels percentils anuals i mensuals realitzats en funció de la pluviometria per al grup de reg, s'obté, en tots els casos, la no significació de les diferències entre les seves mitjanes (Taula 5). El fet de no detectar diferències significatives en l'afectació del règim de cabals mínims entre embassaments amb un mateix ús però amb un

règim pluviomètric clarament diferenciat i, en canvi, detectar-les en base a l'ús de l'embassament, conjuntament amb els resultats intermedis obtinguts per al grup mixt, reafirmen la importància de la nostra variable d'estudi en els resultats obtinguts en la comparació del grau d'alteració del règim de cabals mínims.

Taula 5: Resultats del contrast estadístic en funció de la pluviometria mitja anual per al grup Reg.

Grup (Reg)	n	Mitjana Percentil anual QEco	Mitjana Desvest intraanual QEco	Mitjana Percentil mensual QEco											
				Oct.	Nov.	Des.	Gener	Feb.	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.
Pluvio anual <500mm	5	30.54	11.83	6.80	5.80	5.60	5.80	6.00	6.30	6.40	6.80	6.80	7.40	6.80	7.20
Pluvio anual >500mm	7	32.25	13.23	6.29	7.00	7.14	7.00	6.86	6.64	6.57	6.29	6.29	5.86	6.29	6.00
p-valor		1.000	0.876	0.876	0.639	0.530	0.639	0.755	0.876	1.000	0.876	0.876	0.530	0.876	0.639

4. Conclusions

Els resultats d'aquest treball mostren l'existència d'una diferència substancial en el grau d'alteració del règim de cabals mínims entre els trams condicionats per un embassament hidroelèctric i els trams condicionats per un embassament de regadiu, tant en la seva magnitud com en la seva variabilitat al llarg de l'any hidrològic.

En aquest sentit s'extreuen les següents conclusions:

1. La regulació produïda pels embassaments de reg produeix una major alteració del règim de cabals mínims que la regulació

produïda pels embassaments hidroelèctrics, i una major variabilitat intraanual de la mateixa.

2. En els trams regulats per al reg, l'alteració es màxima a la tardor, disminueix lleugerament durant l'hivern i, de forma brusca, a partir de la primavera, presentant el mínim grau d'alteració als mesos d'estiu, a partir dels quals torna a augmentar. Aquesta disminució del grau d'alteració dels cabals mínims a l'estiu ha de ser conseqüència dels retorns d'aigua de reg que es produeixen en aquest període. Per tant, poden ser associats a una disminució de la qualitat de les aigües.

3. L'alteració del règim de cabals mínims en els trams regulats per la producció d'energia hidroelèctrica és màxima a la tardor, disminueix lleugerament durant l'hivern i augmenta a partir de la primavera, assolint el seu màxim a l'estiu.

4. D'aquesta manera, l'alteració del règim de cabals mínims és major en els trams regulats per al regadiu que en els regulats per a la producció d'energia hidroelèctrica per tots els mesos de l'any excepte a l'estiu, en que les diferències no són substancials. Aquest fet és degut principalment a la notable disminució de l'alteració que es produeix en aquesta època en els trams regulats per al reg.

Ahora, també s'ha obtingut una informació que pot ser valuosa en el marc d'aplicació del règim de cabals ecològics previstos en el Pla de Conca de l'Ebre corresponent al període 2010-15. En aquest sentit:

1. De mitjana, els trams regulats per a la producció d'energia hidroelèctrica complirien històricament la normativa actualment proposada (cabals mínims ecològics assolits el 90% del temps) per a tots els mesos de l'any. El màxim compliment de la norma es produiria a la primavera, assolint-se aproximadament el 96% del temps, i el mínim es produiria a l'estiu i a la tardor, assolint-se el 90% del temps. Cal tenir en compte però que no tots els trams condicionats per embassaments hidroelèctrics estudiats complirien la normativa. A nivell mensual existeixen trams en que els cabals mínims s'assoleixen el 100% del temps (màxim compliment, a la primavera) i trams en que només s'assolirien el 66% del temps (màxim incompliment, a l'estiu). A nivell anual, aquests valors oscil·len entre el 99 del temps (màxim compliment) i el 86% del temps (màxim incompliment).

2. De mitjana, els trams regulats per a l'abastament per regadiu no complirien històricament la normativa actualment

proposada cap mes de l'any. El màxim incompliment de la norma es produiria a la tardor, en que els cabals mínims s'assolirien aproximadament el 56% del temps, i el mínim incompliment es produiria a l'estiu, assolint-se el 82% del temps. Tot i això, cal tenir present que no tots els trams estudiats incomplirien la normativa. A nivell mensual existeixen trams en que els cabals mínims s'assoleixen el 100% del temps (màxim compliment, a l'estiu) i trams en que només s'assolirien el 26% del temps (màxim incompliment, a la tardor). A nivell anual, aquests valors oscil·len entre el 99% del temps (màxim compliment) i el 43% del temps (màxim incompliment).

Finalment, cal destacar que, un cop s'ha constatat l'existència de diferències substancials en la regulació dels cabals mínims en funció de l'ús dels embassaments, un aspecte que pot ser interessant d'abordar és la quantificació estadística d'aquestes diferències, així com aprofundir en la relació dels patrons detectats en l'alteració dels cabals mínims amb altres variables que poden ser determinants la gestió dels embassaments. Aquestes variables inclouen des d'aspectes directament lligats amb la pròpia infraestructura, com podrien ser les diferents capacitats d'emmagatzematge i/o d'intensitat d'ús, fins a variables alienes al seu funcionament però que poden condicionar el seu model de gestió com a conseqüència de modificar les aportacions existents en cada moment. En aquest sentit, cal tenir en compte la influència del canvi climàtic en la variabilitat de les aportacions. Davant un escenari que preveu canvis en les magnituds i en la distribució pluviomètrica i tèrmica a la conca, la variabilitat climàtica interanual pren especial importància en l'anàlisi de sèries temporals hidrològiques. També seria interessant realitzar estudis similars en altres conques hidrogràfiques d'influència mediterrània, a fi de poder caracteritzar la relació del règim natural mediterrani amb l'ús dels embassaments i l'alteració del règim de cabals mínims.

5. Referències

Llibres

MCCULLY P. (1996). *Silenced Rivers. The Ecology and Politics of Large Dams*. London: Ed. Zed Books.

PETTS G. (1986). *Impounded Rivers. Perspectives for Ecological Management*. Chichester: Ed. J. Wiley & Sons.

YEAGER B.L. (1994). *Impacts of Reservoirs on the Aquatic Environment of Regulated Rivers*. Norris, Tennessee: Ed. Tennessee Valley Authority, Water Resources, Aquatic Biology Department.

Articles

BATALLA R. J., GÓMEZ C. M., KONDOLF G.M. (2004). "Reservoir-induced hydrological changes in the Ebro River basin (NE Spain)". *Journal of Hydrology*, 290: p. 117 - 136.

LIGON F.K., DIETRICH W.E., TRUSH W.J. (1995). "Downstream ecological effects of dams, a geomorphic perspective". *BioScience*, 45: p.183 - 192.

POFF N.L., ALLAN.J.D. (1995). "Functional organization of stream fish assemblages in relation to hydrological variability". *Ecology* 76: p. 606 - 627.

POFF, N.L., ALLAN, J.D., BAIN, M.B., KARR, J.R. PRESTEGAARD, K.L., RICHTER, B.D., SPARKS, R.E. AND STROMBERG, J.C. (1997). "The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration". *BioScience*, 47: p.769 - 784.

SMAKHTIN, V.U (2000). "Low flow hidrology: a review". *Journal of Hydrology*, 240: p. 147 - 186.

STANFORD J.A., WARD J.V., LISS W.J., FRISSELL C.A., WILLIAMS R.N., LICHATOWICH J.A., COUTANT C.C. (1996). "A general protocol for restoration of regulated rivers". *Regulated Rivers: Research & Management*, 12: p. 391 - 414.

Webs

CONFEDERACIÓ HIDROGRÀFICA DE L'EBRE (2012-13), Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient: www.chebro.es