

## Resum

---

En l'última dècada, un tema que s'ha col·locat en l'avantguarda de la Hidrologia és la necessitat de no continuar assumint la hipòtesi de l'estacionaritat en l'estudi de les components del cicle hidrològic. Això davant les evidències en la intensificació de les activitats humanes, els forçaments de la variabilitat climàtica natural i el canvi climàtic. De fet, en la comunitat científica hi ha consens quant al fet que la hipòtesi de l'estacionaritat en el cicle hidrològic es troba compromesa. Així, davant el col·lapse d'aquesta hipòtesi, que ha sigut la pedra angular en l'anàlisi de freqüència de les crescudes, diversos investigadors s'han pronunciat en el sentit de la necessitat urgent de proposar idees i mètodes alternatius adequats per a enfrontar la tasca del disseny hidrològic en un context de canvis d'origen climàtic i antropogènic. És per això – davant el canvi de paradigma de no continuar assumint un món estacionari – que aquest treball té com a objectiu tractar de contribuir a l'estudi de l'anàlisi de freqüència de les crescudes sota condicions de no-estacionaritat. Amb aquesta finalitat, hem fet intervenir els efectes de la variabilitat climàtica i de canvis induïts per l'home a través dels embassaments. El nostre interès s'enfoca particularment en l'aplicació als règims de crescudes en rius de l'Espanya peninsular.

L'estudi comença amb una revisió bibliogràfica de dos temes: la influència dels fenòmens de macroescala en les variables hidrològiques i l'estat actual de l'anàlisi de freqüència de les crescudes. Posteriorment, es presenta la descripció de la zona d'estudi i una anàlisi exploratòria de la informació, on s'identifiquen els tipus de règims de crescudes dominants en les estacions d'aforament de l'estudi i s'introdueix un índex d'embassament proposat per a identificar l'impacte dels embassaments en aquells llocs amb el règim alterat. L'anàlisi va mostrar l'important pes que exerceixen les precipitacions hivernals en els règims de crescudes en un important percentatge de les estacions d'aforament, que ens permeten albirar el potencial dels patrons de variabilitat de baixa freqüència (que estan associats a aquestes precipitacions) com a covariables en el modelatge estadístic de les crescudes.

En la segona part d'aquesta tesi, es comprova la hipòtesi de l'estacionaritat en els règims de crescudes a diferents escales de temps a través de diversos test estadístics. Es va observar que les sèries temporals de crescudes presenten importants desviacions del supòsit d'estacionaritat. Així mateix, en aquesta anàlisi es va identificar l'important paper que els patrons de variabilitat de baixa freqüència i els embassaments juguen per a explicar els canvis observats en els moments estadístics de les sèries de crescudes (mitjana i variància).

En la tercera part, s'estudia la teleconnexió entre el règim de crescudes i els patrons de variabilitat de baixa freqüència, des de dos enfocaments: anàlisi de correlació i anàlisi d'ondeta. Els resultats obtinguts van mostrar que la variabilitat interanual dels règims de crescudes a l'Espanya peninsular està fortament influenciada pels patrons de baixa freqüència de l'AO, la NAO i la MO, mentre que una menor influència és la que es va observar en els resultats obtinguts amb la WeMO la qual va exhibir exercir una certa influència, fonamentalment amb estacions d'aforament en la capçalera de la confederació de l'Ebre i la regió nord. En l'àmbit de les freqüències es va poder corroborar també que les variacions climàtiques modulen de manera significativa l'evolució de les fluctuacions en els règims de crescudes, sent en períodes interanuals en els quals es distingeix que les sèries covarien en la mateixa freqüència en el temps. L'anterior va demostrar que la intensitat de les fluctuacions en els règims de crescudes pot explicar-se pels canvis en els patrons de variabilitat. Quant a l'extensió espacial en la influència dels patrons de baixa freqüència, va ser evident que la sensibilitat en la resposta dels rius va presentar una alta variabilitat en l'espai, la qual cosa reflecteix els efectes de la complexa

orografia i les característiques morfològiques de cada conca. Es va observar també que l'efecte pertorbador dels embassaments dificulta poder establir una relació entre el clima i les crescudes, com es va poder observar en aquells llocs que experimenten un alt grau de regulació. En general, la major influència dels patrons de baixa freqüència en els règims de crescudes es va identificar en les regions central i nord, disminuït està cap a la regió Mediterrània. Pel que fa a l'avaluació de la influència del fenomen ENSO en els règims de crescudes a l'Espanya peninsular, els nostres resultats no permeten establir-hi una influència significativa, no obstant això, es pot identificar que la influència estaria vinculada a la intensitat dels esdeveniments.

El modelatge del règim de crescudes sota condicions de no-estacionarietat va ser abordat a partir de les sèries temporals de cabals màxims mitjans diaris anuals i de cabals màxims mitjans diaris per damunt d'un llindar en 20 casos d'estudi. Els models implementats van ser bàsicament de dos tipus: models amb incorporació de tendències temporals i models amb incorporació de covariables externes (en el nostre cas, els índexs de les variables macroclimàtiques i l'índex d'embassament). La implementació dels models amb incorporació de tendències temporals en el modelatge de les crescudes anuals, va exhibir la clara presència de la no-estacionarietat en els règims de crescudes a l'Espanya peninsular. D'altra banda, en el modelatge dels esdeveniments de crescudes per damunt d'un llindar es va observar que la taxa d'ocurrència dels esdeveniments constitueix un procés no homogeni de Poisson, que mostra que la taxa d'ocurrència presenta una forta dependència del temps. Les aproximacions de models no estacionaris amb la incorporació de forçaments externs com a covariables explicatives, van revelar la factibilitat dels índexs de les variables macroclimàtiques i l'índex d'embassament en l'adequada caracterització de les no estacionàries en el modelatge dels règims de les crescudes anuals, així com de la taxa d'ocurrència de les crescudes per damunt d'un llindar. A més, va resultar evident la millora en la descripció més adequada de la variabilitat interanual del règim de crescudes amb la incorporació de covariables externes, respecte dels resultats amb la incorporació de tendències temporals. Un punt a destacar és l'ús dels splines cúbics, on la incorporació de termes de suavització ens va permetre modelitzar les no-linealitats en la dependència dels paràmetres de les distribucions paramètriques respecte de les covariables; no obstant això, és important observar que aquests models que van proporcionar un millor ajust i flexibilitat van tendir a sobreparametritzar-se i són altament sensibles als canvis en l'evolució de les variables de predicció.

Els resultats de l'anàlisi de freqüències amb els models sota condicions no estacionàries van mostrar que per a les crescudes màximes anuals amb una probabilitat anual d'excedència de 0,01 (corresponent al quantil per a un període de retorn de 100 anys sota condicions estacionàries), les variacions que s'obtenen són dramàtiques, es presenten amplis períodes en què els valors del quantil de crescuda són superiors als calculats sota condicions estacionàries. Aquests resultats en la pràctica hidrològica tenen efectes de gran importància, ja que posen en evidència que les simplificacions que hem estat assumint en l'estudi de la freqüència de les crescudes ens poden portar a assumir un risc major de l'establert en el disseny d'obres hidràuliques. La qual cosa, sens dubte, ens porta a plantejar la necessitat d'emprar més àrduament models alternatius a l'anàlisi de freqüències clàssic, que ens permeten assumir la dinàmica de la naturalesa. Finalment, és important esmentar que assumir un món no estacionari suposa una redefinició dels conceptes de període de retorn i risc, que en modelatge estacionari tenen sentit, però que en modelatge no estacionari –on la probabilitat canvia any rere any– perden sentit.

**Paraules clau:** anàlisi de freqüència de crescudes / Espanya peninsular / estacionarietat / patrons de variabilitat climàtica de baixa freqüència / índex d'embassament / GAMLSS.