

Títol del treball:

**AVALUACIÓ DE LA CONNECTIVITAT FLUVIAL A PARTIR DEL BALANÇ HÍDRIC I
LES PROJECCIONS CLIMÀTIQUES A LA CONCA DEL EBRE**

Estudiant: Anna Oriol Surroca

Correu electrònic: annaoriol97@gmail.com

Grau en

Ciències Ambientals

Tutor: Josep Mas Pla

Cotutor*:

Empresa / institució: Universitat de Girona

Vistiplau tutor (i cotutor*):

Nom del tutor: Josep Mas Pla

Nom del cotutor*:

Empresa / Institució: Universitat de Girona

Correu(s) electrònic(s): josep.mas@udg.edu

*si hi ha un cotutor assignat

Data de dipòsit de la memòria a secretaria de coordinació:

RESUM

Davant del problema a escala ecològica de la disponibilitat de recurs hídic i l'efecte del canvi climàtic a la connectivitat en els rius temporals esdevé oportú crear una metodologia per valorar la magnitud dels efectes que se'n poden derivar.

Aquest treball elabora una metodologia que avalua en relació a les projeccions climàtiques futures i el seu efecte sobre el balanç hídic, com afectarà en el futur la connectivitat hidrològica en els rius temporals i sobre els estats aquàtics. Aquests càlculs es realitzaran a la conca de l'Ebre, concretament a les subconques dels rius Segre i Cinca on hi ha tres zones climàtiques diferenciades entre si que patiran respostes diferents en el règim hidrològic.

Partint de les dades hidrològiques del CHE (*Confederación Hidrográfica del Ebro*) i les projeccions climàtiques de la AEMET (*Agència Estatal de Meteorologia*), s'ha desenvolupat el mètode del Tercer Informe del Canvi Climàtic a Catalunya (TICCC), per determinar la relació entre els recursos hídrics i la precipitació en el període actual i en els futurs amb projeccions fins al 2100. Amb aquesta relació s'extrapolaran les dades de cabals disponibles en el futur depenent dels canvis esperats en aquesta relació.

El mètode té un seguit de limitacions i, per tant, vol ser un punt de partida per establir models de variació dels estats aquàtics en relació als balanços hídrics i les projeccions climàtiques.

Al final, aquesta metodologia i els càlculs realitzats, alerten de la problemàtica ja existent de la manca de recurs hídic i de connectivitat ecològica i la necessitat de gestions que es basin en la disponibilitat futura d'aigua preservant els ecosistemes aquàtics que depenen d'aquests règims hídrics.

RESUMEN

Enfrente del problema a escala ecológica de la disponibilidad de recursos hídricos y el efecto del cambio climático a la conectividad en los ríos temporales, es oportuno crear una metodología para valorar la magnitud de los efectos que se pueden derivar de esta realidad.

En trabajo elabora una metodología que evalúa en relación con las proyecciones climáticas futuras y su efecto sobre el balance hídrico, como afectará en el futuro la conectividad hidrográfica en los ríos temporales y su estado acuático. Estos cálculos se realizarán a la cuenca del Ebro, concretamente a las subcuencas de los ríos Segre y Cinca donde hay tres zonas climáticas diferenciadas entre sí, que sufrirán diferentes respuestas en el régimen hidrológico.

Partiendo de los datos hidrográficos de CHE (*Confederación Hidrográfica del Ebro*) y las proyecciones climáticas de la AEMET (*Agencia Estatal de Meteorología*), se ha desarrollado el método del Tercer Informe del Canvi Climàtic a Catalunya (TICCC), para determinar la relación entre recursos hídricos y la precipitación en el periodo actual y en los futuros con proyecciones hasta al 2100. Con esta relación se extrapolan los datos de los caudales disponibles en el futuro dependiendo de los cambios esperados en esta relación.

El método tiene un seguido de limitaciones y, por lo tanto, quiere ser el punto de partida para establecer modelos de variación de los estados acuáticos en relación con los balances hídricos y las proyecciones climáticas.

Al final, esta metodología y los correspondientes cálculos, alertan de la problemática ya existente de la falta de recurso hídricos i de conectividad ecológica y las necesidades de gestión que se basan en la disponibilidad futura de agua preservando los ecosistemas acuáticos que dependen de estos regímenes hídricos.

ABSTRACT

Faced with the problem at an ecological scale of the availability of water resources and the effect of climate change on connectivity in temporary rivers, it is appropriate to create a methodology to assess the magnitude of the effects that can be derived from this reality.

In this work, we elaborate a methodology that evaluates the relation to future climate projections and its effect on the water balance, how hydrographic connectivity in the temporary rivers and aquatic states will affect rivers in the future. These calculations are made on the Ebro basin, specifically to the sub-basins of the Segre and Cinca rivers where there are three differentiated climatic zones, which will suffer different pressures on their hydrological regime due to climate change.

Based on the hydrographic data of CHE (*Confederación Hidrográfica del Ebro*) and the climate projections of AEMET (*Agencia Estatal de Meteorología*), the method of the *Tercer Informe del Canvi Climàtic a Catalunya* (TICCC) has been developed to determine the relationship between water resources and precipitation in the current period and in the future as well with projections up to 2100. With this relationship, extrapolated data of the flows available in the future depend on the expected changes in this relationship.

The method has some of limitations, which are also evaluated and, therefore, wants to be the starting point to establish models of variation of the aquatic states in relation to the water balances and the climatic projections.

Finally, this methodology and the corresponding calculations warn of the existing problems of lack of water resources and ecological connectivity and the management needs that are based on the future availability of water, preserving the aquatic ecosystems that depend on these water regimes.

ÍNDEX DE CONTINGUTS

RESUM.....	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
1.INTRODUCCIÓ	5
2.OBJECTIU	11
3.METODOLOGIA.....	11
3.1 Obtenció i tractament de les dades i la distribució d'aquestes en el territori i la discretització espacial en subconques	11
3.2 Balanç hídric i valors d'ET real de les subconques	13
3.3 Incorporació de les projeccions climàtiques al balanç hídric.....	15
3.4 Projecció d'aquests resultats a la modificació de l'estat aquàtic d'un riu	15
4.RESULTATS	16
4.1 Estimació de l'evapotranspiració real i dels recursos disponibles R/P pel període 2010-2017.....	16
4.2 Projeccions climàtiques al balanç hídric.....	16
4.3 Conseqüències per a la connectivitat hidrològica i estats aquàtics.....	21
5.DISCUSSIÓ	24
5.1 Ètica i de sostenibilitat	27
6. CONCLUSIONS	27
7.AGRAÏMENTS.....	28
8. REFERÈNCIES	29

1.INTRODUCCIÓ

El canvi climàtic s'ha convertit en un dels grans reptes ambientals de la humanitat des que ha començat el segle XXI. La temperatura global del planeta ja ha augmentat 0,87 °C en relació al període preindustrial degut aquest fenomen global (IPCC, 2014). Les variacions climàtiques fruit de l'activitat antròpica, han contribuït no només a l'esmentat augment de la temperatura del planeta, sinó que a més, ha augmentat la freqüència de fenòmens climàtics extrems (sequera, onades de calor i/o inundacions), el retrocés de l'extinció de glaceres i la pujada del nivell del mar (Beniston et al., 2007) amb les consegüents alteracions a la biota i fenologia ecològica. A la regió Mediterrània, hi haurà un increment de la temperatura superior que la mitjana global, més pronunciat als períodes estivals que els hivernals (Mestre et al., 2015).

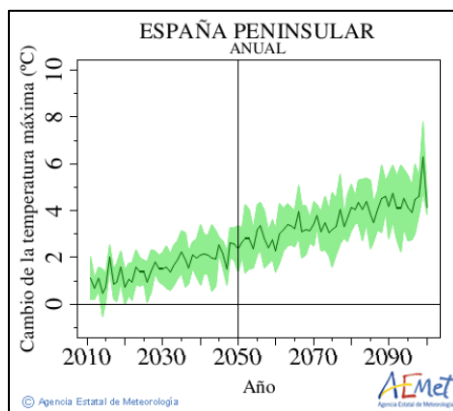


Figura 1.1 Augment de la temperatura esperat en el segle XXI segons AEMET

Els canvis en la precipitació a escala global no estan tan definits com en el cas de la temperatura. Les sèries pluviomètriques a la península Ibèrica no mostren una senyal clara, d'una tendència general significativa. Tanmateix, s'esperen canvis en la precipitació sobretot a l'estiu, on aquesta disminuirà. S'espera alhora, una tendència a l'augment en la freqüència i intensitat de diversos fenòmens externs des de meitat del segle XX (Beniston et al., 2007; IPCC, 2014).

En aquest estudi s'ha utilitzat l'escenari climàtic A1B, considerat un escenari intermedi, ja que no és ni optimista, ni pessimista. Aquest és un escenari plantejat per IPCC, ens indica les característiques climàtiques esperades pel 2100 si les polítiques mitigadores del canvi climàtic es donessin cap a un creixement econòmic ràpid, un creixement demogràfic que assoleixi la quota màxima aproximadament el 2050, i s'introduïssin noves tecnologies més eficients. En aquest escenari A1B, també es contemplaria la utilització equilibrada de la crema de combustibles i noves tecnologies per obtenir energia. Això comportaria un augment de la temperatura global del planeta de 2,8 °C.

En el marc de la costa Mediterrània els efectes d'aquests canvis en l'àmbit de la hidrologia, ens presenta un escenari on disminuirà de forma progressiva el cabal mitjà dels rius (resposta ja observada en alguns rius mediterranis). També hi haurà canvis importants dels règims fluvials a causa de descens de flux d'aigua provinent del desglaç a les zones d'alta muntanya a la primavera, una intensificació de la reducció o esgotament dels cabals a l'estiu, amb el consegüent augment de la temporalitat del curs dels rius, i a l'hivern, fluxos més irregulars d'aigua (García-Ruiz et al., 2011).

Els usos del sòl, presenten i presentaran una evolució diferent segons les condicions de cada zona, i té una complexitat determinar com serà en el futur. A la zona pirinenca, des de mitjans del segle XIX, s'està perdent població i estan desapareixent els camps de conreu i zones de pastura, contribuint a un augment, que es preveu que seguirà en els pròxims anys, de la cobertura arbòria. Aquesta és deguda a la colonització vegetal. Això contribueix, juntament amb el desplaçament de la vegetació subalpina cap a altituds més altes a causa del canvi global, al descens de la capacitat de produir escorrentia i la disminució de la connectivitat entre rius. L'aparició de més massa forestal afavoreix la intercepció de la pluja i la infiltració.

A la depressió central de l'Ebre, en canvi, és una zona susceptible de patir desertificació. Els efectes del canvi global, l'augment de temperatura, alteració de la precipitació, augment del risc d'incendi i de la torrencialitat, fa ser cada cop més una zona vulnerable a la desertificació que es defineix com la degradació de les terres. Per tant, la reducció o pèrdua de la productivitat biològica i la complexitat de les terres agrícoles o forestals a favor de zones àrides; la deterioració de les propietats físiques, químiques, biològiques o econòmiques; o pèrdua de llarga durada de la vegetació natural (Sáenz-Romero, 2016).

Els impactes del canvi climàtic respecte els recursos hídrics no depenen exclusivament del cicle hidrològic condicionat pels usos del sòl, la temperatura i la precipitació, també depèn del sistema de recursos hídrics disponibles i la forma d'administrar-los.

Els recursos hídrics disponibles provenen del balanç entre la precipitació i l'evapotranspiració, l'excedent del primer juntament amb les reserves dels aqüífers, permeten l'escorrentia superficial i la disponibilitat d'aquest recurs. L'aigua existent a la naturalesa és constant, dins el cicle de l'aigua on aquesta canvia d'estat constantment (a forma sòlida, líquida i gasosa). Per tant, el factor climàtic es determinant per aquest cicle i el canvi global efecte els recursos disponibles. Els impactes sobre aquests recursos es manifesten alterant no només la quantitat, sinó que també la qualitat i la distribució de cabal al llarg del temps (Menció et al., 2010).

Els recursos hídrics es defineixen com el volum d'aigua capaç de satisfer les necessitats hídriques en quantitat i qualitat, en un temps i espai determinat condicionats per l'explotació, l'estructura temporal de la demanda, el sistema de recursos hídrics disponibles (superficial i subterrànies) i les regles de gestió del sistema (Iglesias, 2005).

En termes generals, a la península Ibèrica, els recursos hídrics es generen en els mesos més freds i/o amb major temperatura sempre que, les temperatures no siguin excessivament altes. A l'estiu, doncs, és quan hi ha les temperatures més elevades i per tant també quan l'evapotranspiració és major, per tant una gran part de l'aigua que pot ser retinguda pel sòl, és utilitzada per les plantes. Deixant un sòl més aviat sec o poc saturat d'aigua i per tant desfavorint la circulació d'escorrentia superficial. En els mesos freds, passa el contrari, l'evapotranspiració és més baixa i el sòl es pot saturar més fàcilment d'aigua afavorint un augment del cabal en els rius. El decreixement de la precipitació ha comportat un ascens en l'índex d'evapotranspiració a la majoria de conques peninsulars i de l'oest del mediterrani (García-Ruiz et al., 2011).

En aquest estudi, es vol centrar en l'efecte del canvi climàtic en el règim hidrològic dels rius temporals. Aquests rius són aquells on es produeix una irrupció recurrent del cabal o que s'assequen completament. En el món, un 30% dels rius són temporals (Datry et al., 2014). La majoria d'aquests rius, al Mediterrani, s'assequen a l'estiu i recuperen el cabal en els períodes de tardor, alhora reben grans pressions antròpiques com l'alteració dels règims de cabal,

modificacions a les lleres i dels canals, l'excés de nutrients i l'arribada d'espècies invasores (Gallart et al., 2015). Les prediccions del canvi climàtic han assenyalat que la regió mediterrània patirà forts dèficits del cabal dels rius, de manera que augmentarà la vulnerabilitat dels rius temporals i dels que ara són perennes, que podrien esdevenir temporals.

La presència cada cop major d'aquests rius temporals, tenen un rol important a les corresponents comunitats ecològiques. En aquest tipus de rius, no es pot determinar el bon estat ecològic amb la quantitat de cabal. L'estructura i composició de les comunitats biològiques, depenen de les condicions hidrològiques. Quan aquestes condicions hidrològiques canvien els mesohàbitats, l'estructura i la composició de la comunitat ecològiques també ho fan. Els estats aquàtics es defineixen com el conjunt de mesohàbitats aquàtics que es presenten en un tram de riu en un moment determinat, depenent de les condicions hidrològiques segons el project Life TRivers, els estats ecològics dels rius temporals es classifiquen en 6 categories (Figura 1.2) (Gallart et al., 2015; www.lifetivers.eu):

- **Hiperreic:** Condicions de cabals grans d'aigua amb inundacions poc freqüents. Provoca un moviment important de la llera i llit del riu que deriva de la càrrega de fons i de la fauna. Les inundacions són una pertorbació dels mesohàbitats forta però curta als rius temporals. Tot i això, té efectes rellevants per la salut fluvial. En els rius més secs de zones de sequeres, les inundacions poden representar el període de més productivitat biològica, gràcies a les aportacions de nutrients provinents dels sediments i els residus de la plana al·luvial.
- **Eurreic:** El volum d'aigua és suficient per permetre la vida de tots els hàbitats aquàtics i hi ha una alta connectivitat entre rius i rierols que permeten la influència constant entre diferents hàbitats. Aquest és l'estat habitual dels rius permanents que reben afluents temporals al llarg del seu recorregut i dona lloc a basses i gorgs amb condicions de microhàbitats molt canviants.
- **Oligorreic:** La connectivitat entre basses és suficient, tot i que l'aigua en superfície és escassa. En aquest tipus de rius comencen aparèixer ambients lenticulars (cossos d'aigua tancats sense renovació d'aigua, sense fluir).
- **Arreic:** En aquest cas ja no hi ha flux d'aigua, o aquest és molt proper a zero. Però hi ha presència de basses d'aigua a la llera del riu. En el cas que hi hagi aigua subterrània que alimenti les basses, pot ser que es conservi l'estat fisicoquímic durant un temps. En el cas contrari, si la llera és impermeable, les basses d'aigua són més vulnerables a les pèrdues de qualitat. Si aquest estat s'allarga en el temps, aquestes basses pateixen el risc de desaparèixer per causa de l'evaporació i la qualitat de l'aigua pot deteriorar-se ràpidament.
- **Hiporreic:** La llera del riu és seca, no hi ha aigua superficial. Però l'aigua subterrània pot permetre que hi hagi prou humitat per permetre la vida amb escassetat d'aigua d'alguns individus. Només es pot veure fauna terrestre a la superfície de la llera, tanmateix, això també es pot considerar com un mesohàbitat aquàtic, ja que aquesta serveix de refugi per a moltes espècies.
- **Edàfic:** La llera està seca i no hi ha flux subterrani d'aigua. És prou sec perquè no hi hagi vida activa tot i que poden aparèixer en algunes zones fauna aquàtica que resisteix algun temps en el substrat sec i aparèixer de nou fauna terrestre. La saturació del sòl és similar a la de les zones circumdants. Si l'estat edàfic perdura al llarg del temps, plantes terrestres poden colonitzar la llera del riu.

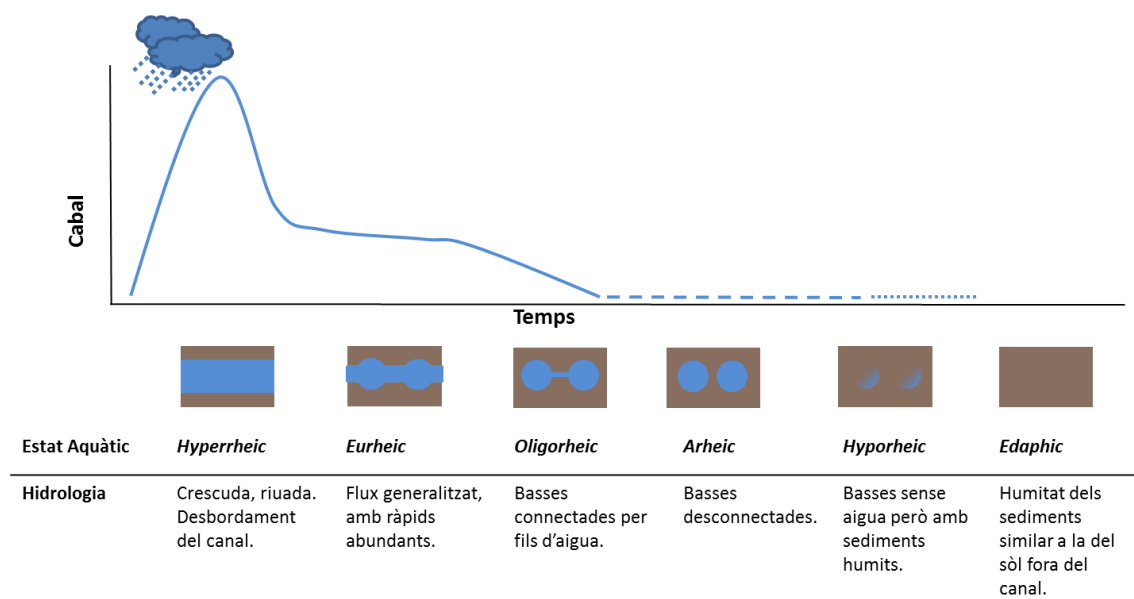


Figura 1.2 Estrats aquàtics segons el projecte life TRivers.
Font: projecte Life TRivers.

Per tant, en aquest estudi es vol mesurar en aquest estudi com l'efecte del canvi climàtic fa variar el balanç hídric i canvia la distribució de cada estat aquàtic al llarg de l'any, és a dir, l'alteració de la quantitat de dies a l'any que hi ha de cadascun d'aquests estats. Aquesta alteració vindrà marcada sobretot per la reducció de cabal conseqüència de l'augment de la temperatura i la baixada de la precipitació que alteraran el nombre de dies on la connectivitat dels rius sigui més baixa o zero en relació al període actual.

Els estats ecològics són, segons la Directiva Marc de l'Aigua (Directiva 2000/60/CE), la clau o un dels paràmetres importants per a avaluar les condicions d'un riu i/o massa d'aigua. En els rius temporals la mesura d'aquests termes, però, varien ja que, s'han de tenir en compte mesohàbitats que en els rius on sempre hi ha flux d'aigua no es donen. La biota pot ser diferent en el moment que el riu estigui connectat en relació a moment que ja no ho estigui, dificultant la correcta caracterització de l'estat ecològic del riu o massa d'aigua i del que representa respecte a l'avaluació de la gestió hidrològica segons la Directiva Marc de l'Aigua.

La conca de l'Ebre és la conca hidrogràfica més gran d'Espanya (85.660 km²) i representa un 17% de la superfície total del país (Confederación hidrogràfica del Ebro, 2015). El riu Ebre té una longitud de 910 km i transcorre en sentit NO-SE des de les muntanyes de Cantàbria fins a la desembocadura al Mediterrani on forma un delta. Al nord-est de la conca, procedent dels Pirineus, hi ha les conques del Segre i del Cinca on es realitza aquest estudi (Figura 1.3).

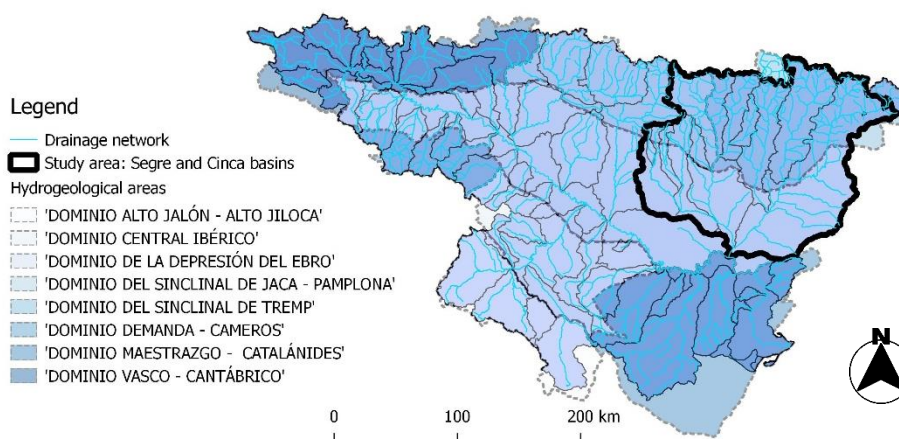


Figura 1.3 Localització de la conca Segre-Cinca en relació als dominis de l'Ebre.
Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de CHE.

L'efecte del canvi climàtic sobre les diferents àrees ecològiques es mesurarà a aquesta conca. En aquest cas, aquesta conca, s'ha dividit en 5 per tal d'avaluar els efectes del canvi climàtic en l'estat ecològic dels rius en les diferents zones climàtiques i per cada conca, que té unes característiques diferents, del Segre, la Noguera Ribagorçana, la Noguera Pallaresa i el baix i l'alt Cinca. Diferenciats aquests últims per les desiguals condicions entre ambdós sectors (Figura 1.4a).

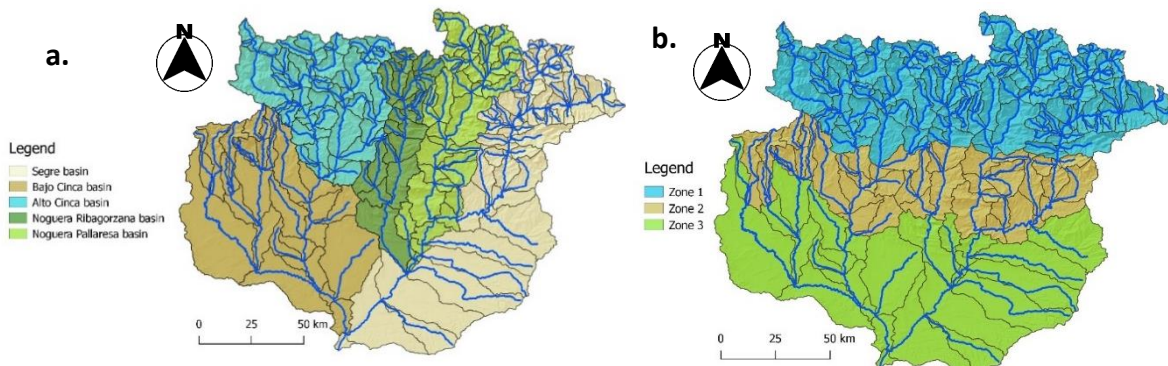


Figura 1.4. Mapa de **a.** subconques i **b.** zones climàtiques de la conca Segre-Cinca.
Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de CHE.

Dins de la conca Segre-Cinca hi ha diferenciades tres zones amb climes diferents (Figura 1.4b): A la part nord, hi ha la serralada dels Pirineus (zona 1). Aquesta serralada presenta segons l'Atlas Climàtic de l'AEMET (2000) i el Pla Hidrològic de la CHE (2015), un clima fred de muntanya. Es troba a la zona més elevada de la conca Segre-Cinca està per sobre dels 1.000 m. En aquesta zona els hiverns són molt freds i a l'estiu les temperatures són suaus i no acostumen a superar els 22 °C de mitjana. És el cas de Torla i Fanlo, dues estacions meteorològiques de la zona 1 (Figura 1.5a i 1.5b) on la mitjana anual de temperatura acostuma a ser inferior als 10 °C. Presenta precipitacions abundants en els al llarg de l'any, menys importants a l'estiu. En augmentar l'altitud és més freqüent la precipitació en forma de neu, sobretot quan les temperatures són baixes (hivern).

Cap al sud hi ha una zona menys muntanyosa, el Prepirineu (zona 2). Presenta un terreny encara elevat amb formacions calcàries enfront de les formacions granítiques i metamòrfiques del Pirineu (ICGC, 2016). Aquesta zona amb menys altitud, presenta clima mediterrani continentalitat subhúmit (Chazarra et al., 2000). Precipitació principalment a la primavera i tardor degut a l'afluència de borrasques atlàntiques en aquests períodes. La temperatura és extrema i oscil·len en facilitat entre els 25 i -10 °C. Com a exemple, a la figura 1.5c, hi ha l'hidrograma de Peramola, municipi de Lleida amb aquestes característiques on es veu en relació a les estacions del Pirineu una precipitació menys abundant.

Per últim, a la depressió central de l'Ebre (zona 3), la precipitació és més escassa que en el Prepirineu i els períodes més secs són a l'estiu on s'acostumen a produir les precipitacions de forma més torrencial i menys freqüentment. En aquests mesos a més a més, les temperatures poden superar amb facilitat els 22 °C en contraposició, de nou, a les baixes temperatures que s'hi presenten en períodes hivernals, on les temperatures baixen entre els 6 i -3 °C. En l'hidrograma de Monzón (Figura 1.5d) es pot observar aquesta poca precipitació en els períodes estivals i hivernals i la gran variació de la temperatura al llarg de l'any. A més, en relació als altres hidrogrames la relació entre la temperatura i la precipitació fa notar la vulnerabilitat de la zona a la desertització (Sáenz-Romero, 2016). Aquest clima se'l denomina Mediterrani continentalitzat sec, i és causat per la poca influència que té del Mediterrani (AEMET, 2000).

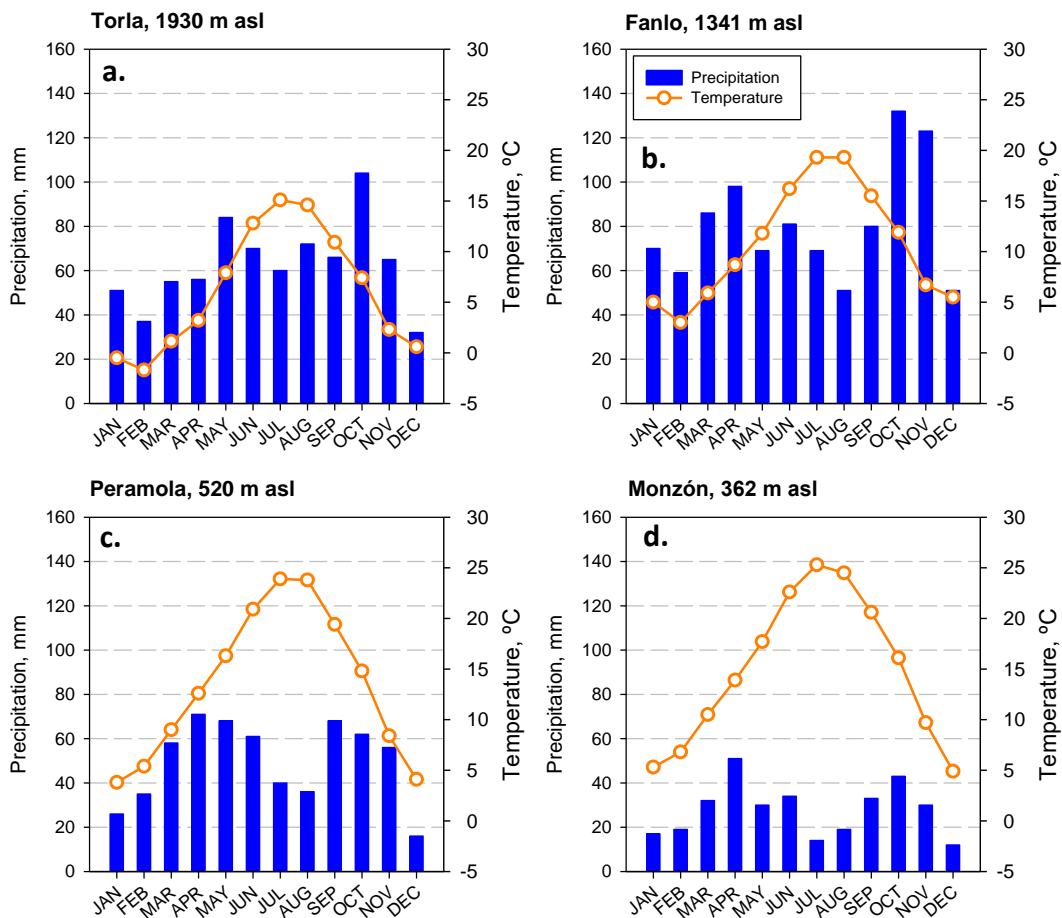


Figura 1.5. Hidrogrames de les diferents zones de l'àrea d'estudi **a.** Torla (zona 1), **b.** Fanlo (zona 1), **c.** Peramola (zona 2), **d.** Monzón (zona 3).

2.OBJECTIU

L'objecte de l'estudi és identificar a partir del balanç hídric quines conques són les més vulnerables a una discontinuïtat del règim hídric a les conques dels rius Segre i Cinca i preveure com canviarà la connectivitat fluvial incorporant els efectes del canvi climàtic en el balanç. Un cop determinats els canvis que hi pot haver, es pretén avaluar com es modifiquen els estats aquàtics dels rius amb un cabal no regulat.

Aquest estudi permet extrapolar la metodologia del balanç hídric per a determinar la disponibilitat de recurs hídric proposada pel TICCC (Mas-Pla et al., 2016) a l'estudi de la vulnerabilitat de cabals del riu i la variabilitat que suposa pels ecosistemes depenent del règim hidrològic.

3.METODOLOGIA

La metodologia emprada per fer balanços hídrics tant actuals com corresponents a les projeccions climàtiques consta de tres etapes;

1. Obtenció i tractament de les dades i la distribució d'aquestes en el territori i la discretització espacial en subconques;
2. Estimació de l'evapotranspiració real segons els tipus de cobertura vegetal com a pas previ pel càlcul del balanç hídric a cada subconca
3. Incorporació de les projeccions climàtiques al balanç hídric
4. Projecció d'aquests resultats a la modificació de l'estat aquàtic d'un riu.

3.1 Obtenció i tractament de les dades i la distribució d'aquestes en el territori i la discretització espacial en subconques

S'han utilitzat les subconques determinades per la CHE (*Confederación Hidrogràfica del Ebro*, 2014), ja que d'aquesta manera hi ha una concordança entre les conques utilitzades en el treball i les divisions administratives vigents (figura 1.4a). Les dades de precipitació i temperatura que s'han utilitzat per fer el balanç hídric s'han extret de CHE i del Servei Meteorològic de Catalunya (Barrera-Escoda i Cunillera, 2011). Les dades dels cabals mensuals s'han obtingut de la primera font esmentada. Les estacions meteorològiques i d'aforament utilitzades estan distribuïdes per la conca del Segre-Cinca com es mostra a la figura 3.1.

D'aquestes subconques s'han utilitzats els valors de les estacions d'aforament dels rius de cada conca. En el cas de no haver-n'hi s'han utilitzat valors de les subconques més properes. Amb aquestes dades s'han calculat mitjanes mensuals dels cabals.

Per altra banda, també s'han fixat tres zones climàtiques tenint en compte els patrons climàtics del Segre-Cinca (figura 1.4b). Aquests tres sectors corresponen al Pirineu, Prepirineu i la

depressió central de la conca de l'Ebre. Les zones diferenciades s'utilitzaran posteriorment per a determinar la influència del canvi climàtic segons les projeccions fins al 2100.

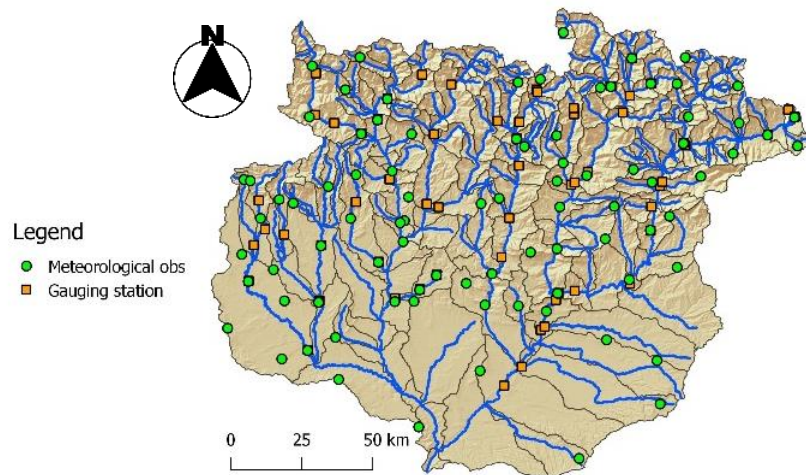


Figura 3.1. Distribució de les estacions d'aforament i meteorològiques. Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de CHE.

El tractament d'aquestes dades s'ha realitzat amb el programari d'Excel. Posteriorment s'ha cartografiat amb el programa QGis utilitzant les dades obtingudes i informació geoespacial com la xarxa fluvial o les subconques entre altres, extreta de la CHE. El QGis és un sistema d'informació geogràfic lliure i gratuït, dissenyat per treballar amb dades referenciades mitjançant coordenades especials o geogràfiques, que et permet fer operacions a partir de variables regionalitzades.

Els mapes de cobertura del sòl de Catalunya i Aragó extretes de SIOSE2005 (*Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España*, 2015) s'utilitzen per al càlcul de l'evapotranspiració real (ET_r). Per a facilitar el càlcul s'han classificat els usos del sòl en 7 categories que es veuen representades en el territori a la figura 3.2. En els mapes utilitzats no hi consten les dades d'Andorra perquè no s'han pogut obtenir la cartografia dels usos del sòl.

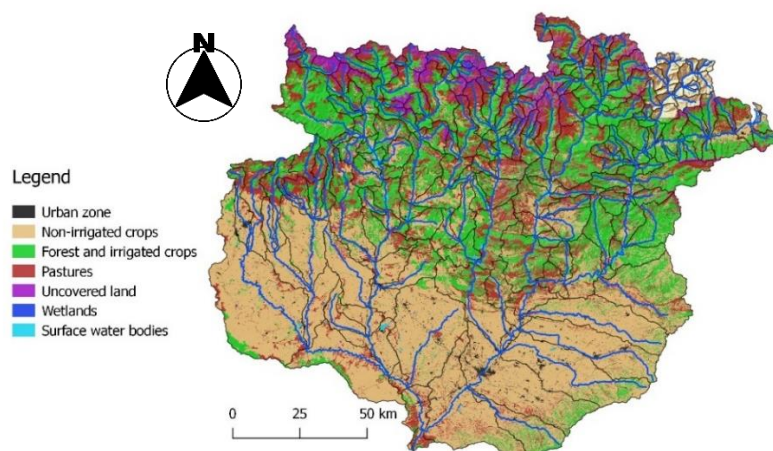


Figura 3.2. Mapa dels usos del sòl de la conca Segre-Cinca. Font: Elaboració pròpia a partir de les dades SIOSE2005.

3.2 Balanç hídric i valors d'ET real de les subconques

El balanç hídric permet determinar la disponibilitat d'aigua anual a una conca a partir de l'equilibri entre els diferents components del cicle hidrològic (Mas-Pla et al., 2016; Mencio et al., 2010). Aquest mètode s'utilitza per estimar com les alteracions de cada component del balanç efecte a l'estat hidrològic de cada conca. L'equació del balanç hídric és:

$$P = ET_r + ES + \Delta S + I, \quad (1)$$

on P és la precipitació i principal entrada de recursos a les subconques. ET és l'evapotranspiració (entre la qual distingim la potencial o de referència, ETP , i la real, ET_r), l'escolament superficial (ES), la variació d'aigua acumulada al sòl (ΔS) i la infiltració cap al nivell freàtic (I). El balanç no té en compte els fluxos d'aigua subterrània que ja hi ha al sòl.

Amb aquesta equació es poden establir els recursos (R), que determinen els estats aquàtics segons les condicions hidrològiques. Es defineixen com la diferència entre la precipitació i l'evapotranspiració real, per tant:

$$R = ES + \Delta S + I = P - ET_r, \quad (2)$$

S'utilitza el mètode de Zhang *et al.* (2001) per calcular l'evapotranspiració real anual (ET_r) en relació a la coberta vegetal, la precipitació i l'evapotranspiració potencial anual (ETP).

$$\frac{ET_r}{P} = \frac{1 + w \frac{ETP}{P}}{1 + w \frac{ETP}{P} + \left(\frac{ETP}{P}\right)^{-1}}, \quad (3)$$

on w representa el coeficient d'aigua disponible per la vegetació. Aquest coeficient pren valors del 0 al 2 sent el 2, zones amb molta vegetació i per tant zones on les plantes absorbeixen una gran quantitat d'aigua en relació a la precipitació, de la mateixa manera que els valors de 0,5 són associats a zones de prats. A les zones urbanes el valor de w disminueix perquè la taxa d'evaporació del sòl es limita a l'aigua abans de fer la transpiració, és a dir, representa l'aigua emmagatzemada al sòl que es pot evaporar. Els valors de w pels diferents usos del sòl en aquest cas figuren a la taula 3.1.

Taula 3.1. Valor del coeficient w (Zhang *et al.*, 2001) pels diferents usos del sòl utilitzats.

Ús del sòl	Coefficient w
Zones urbanes	0,1
Conreu de secà	0,75
Bosc	1,75
Prats	1
Sòl nu	0
Pantans, torberes i salines	0,2
Aigües superficials	0,15

La proporció de recursos disponibles en relació a la precipitació es pot definir com,

$$\frac{R}{P} = 1 - \frac{ET_r}{P}, \quad (4)$$

Rockstrom i Falkenmark (2006) van descriure el balanç hídric distingint dues tipologies d'aigua; la verda i la blava. La primera és l'aigua "invisible", evaporada en forma de vapor cap a l'atmosfera i pot ser utilitzada per les plantes per fer la transpiració (creixement de la biomassa) o en cas contrari, pot ser aigua no productiva que es perd. Per altra banda, l'aigua blava és l'aigua visible que flueix pels sistemes fluvials i està en els aqüífers. Així doncs, és l'aigua que els humans podem utilitzar com a recurs. Tot i així ambdues aigües són essencials pel desenvolupament ecològic dels rius i alhora, essencial per la societat. En termes generals, aproximadament el 60% de l'aigua que precipita és aigua verda, el 40% restant és aigua blava.

Amb l'equació 4 doncs, es determina a les conques estudiades quina relació hi ha entre la quantitat de precipitació que es queda en el sistema fluvial i quina part és utilitzada pel medi, és a dir, quina aigua és blava i quina és verda. En aquest context pren sentit el paràmetre w , ja que depenen dels usos del sòl, hi haurà més o menys activitat en el medi natural. A més, la disminució en qualsevol de les dos tipologies d'aigua pot tenir impactes en els estats aquàtics i la seva vulnerabilitat.

Per aplicar l'equació de Zhang et al., 2001 a cada subconca, cal estimar els valors de la temperatura i precipitació mensual mitjana realitzant els càlculs a escala anual de la mitjana dels valors anuals de cada observatori. Si en alguna d'aquestes hi ha més d'una estació meteorològica, es fa una mitjana dels valors anuals obtinguts. Pel cas contrari, que no hi hagués cap estació s'interpolen les dades de les estacions més properes. Amb aquestes dades es calcula ETP seguint el mètode de Thornthwaite pel període 2010-2017 aproximadament.

L'equació de Thornthwaite calcula l'evapotranspiració mensual en funció de la temperatura mitjana de cada mes, i una correcció en funció de les hores de sol dels dies i el nombre de dies del mes. Aquest mètode és utilitzat habitualment per calcular ETP d'una conca en l'àmbit de la hidrologia.

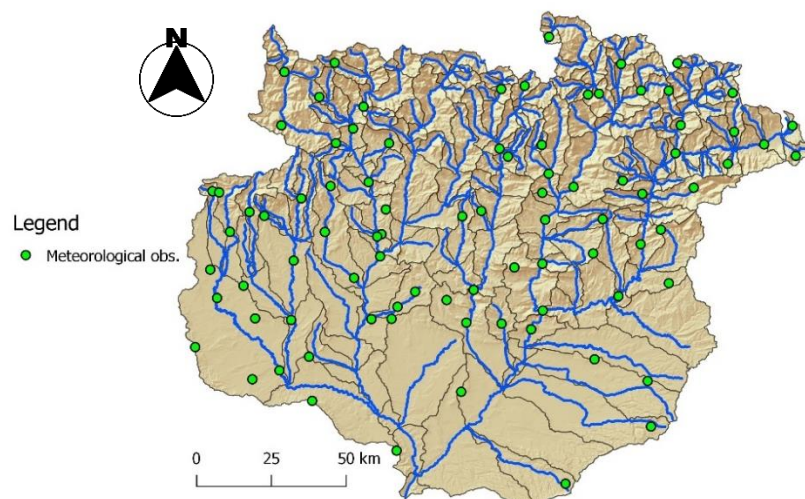


Figura 3.3. Estacions meteorològiques utilitzades del CHE per fer els càlculs del balanç hídric. Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de CHEbro.

3.3 Incorporació de les projeccions climàtiques al balanç hídric

Les projeccions climàtiques utilitzades s'han extret de la base de dades d'AEMET (*Agència Estatal de Meteorologia*) basades en el Global Climate Model ECHAMS (1961-2010). L'escenari escollit en aquest cas és l'A1B, ja que és un escenari intermedi. Aquest projecte consta de projeccions mensuals des del 2001 al 2100. S'han utilitzat projeccions de temperatura mitjana i de precipitació per a cada una de les cel·les en que s'ha discretitzat el territori peninsular i s'han agrupat per les tres zones climàtiques (figura 1.4b) i en intervals de 20 anys. S'ha emparat els valors de la projecció del període de 2000-2018 com a comparativa dels valors actuals per determinar un percentatge d'increment o disminució respecte a aquest període i les projeccions dels altres períodes establerts (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 i 2081-2100). Per realitzar aquestes projeccions no s'ha tingut en compte, el canvi d'usos del sòl, ni els possibles canvis en les pressions antròpiques.

3.4 Projecció d'aquests resultats a la modificació de l'estat aquàtic d'un riu

Un cop obtinguts els recursos respecte a la precipitació (R/P) amb l'equació 4 es traslladen els resultats per determinar les mitjanes de cabal anual. Els estats aquàtics d'un riu es defineixen en funció de la corba de cabal de freqüència dels cabals diaris (*Flow-duration curve*). Això implica que cal disposar de dades i/o observacions de dades de cabal i observacions puntuals que ens indiquen per quins cabals tenim un estat aquàtic o un altre i si pot ser en quina freqüència es dona cadascun. Atès que la corba de freqüència es pot representar per una funció logarítmica-normal definida pel valor mitjà de cabal i de la seva variabilitat (σ), els resultats dels recursos disponibles es poden utilitzar per simular les corbes de freqüència i amb elles la variació de la durada dels estats aquàtics que suposarà el canvi climàtic.

4.RESULTATS

4.1 Estimació de l'evapotranspiració real i dels recursos disponibles R/P pel període 2010-2017

A la conca estudiada, els resultats d'aplicar el mètode de Zhang et al. 2001 per determinar l'evapotranspiració real del període 2010-2017 en funció de la temperatura i els usos del sòl en relació a la precipitació (figura 4.1a).

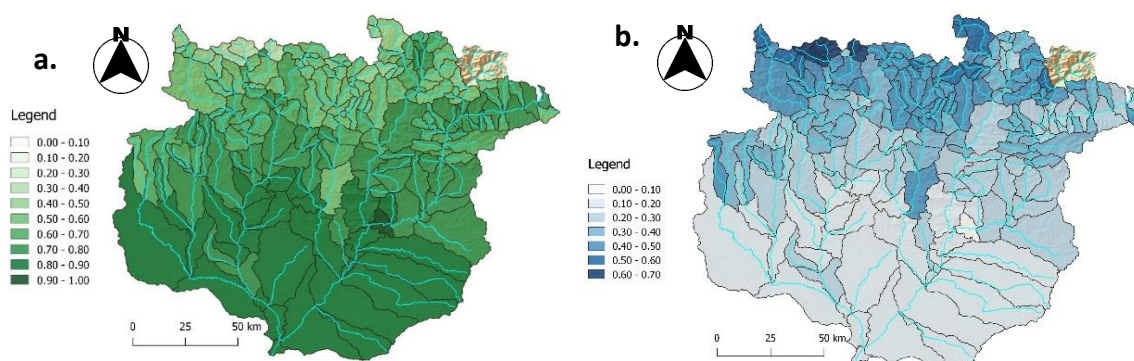


Figura 4.1. Mapa de **a.** valors ETr/P i **b.** la relació R/P a la conca Segre-Cinca en funció de la temperatura i els usos del sòl del període de 2010 a 2017. Font: Elaboració pròpia.

Al llarg de la conca Segre-Cinca, es pot observar una degradació on les parts amb més altitud, a la zona pirinenca, la relació ETr/P pren valors més baixos en relació a la zona de la depressió central de l'Ebre on aquesta relació pren valors més pròxims a 1. Els valors baixos en aquesta representen que una part més gran de la precipitació pot esdevenir part de l'escorrentia en relació a les parts més baixes de la conca on la majoria de la precipitació és utilitzada per la massa forestal. Valors propers a 1 impliquen domini de l'aigua verda que no pot ser utilitzada per l'extracció humana, ni hi ha pràcticament escorrentia. Valors propers a 0, la majoria de l'aigua que precipita, passa a formar part de les masses d'aigua.

En el cas de la figura 4.1b, la relació entre el recurs hídric i l'aigua superficial, la gamma de colors intensos s'inverteix en relació a la figura 4.1a. Per tant els resultats són compatibles, a les zones d'alta muntanya, hi ha principalment valors de la relació R/P més propers a 1 i per tant un volum d'aigua blava més gran en relació a la zona de la depressió central de l'Ebre on la majoria de precipitació és utilitzada per les plantes i hi ha menys escorrentia.

4.2 Projeccions climàtiques al balanç hídric

Partint de la base de les projeccions climàtiques de *Global Climate Model ECHAMS* (1961-2010), on hi ha les projeccions per seccions del canvi en relació el període de referència del 2000 al 2020 de tot l'estat espanyol. Aquestes s'han separat per les diferents zones establertes en la conca Segre-Cinca (Pirineu, Prepirineu i depressió central de l'Ebre). Es presenta un canvi regular

ascendent de la temperatura al llarg dels períodes escollits a les tres zones (taula 4.1). La zona on més augmentarà la temperatura és el Pirineu (zona 1) on la diferència esperada pel període de 2081-2100 és de +3,5 °C. Un augment semblant tindrà la zona 3 (depressió central de l'Ebre) que tot i ser la zona on menys efecte hi haurà en la temperatura, es preveu un augment de 3,1 °C pel mateix període.

Taula 4.1. Diferències esperades degut al canvi climàtic en els diferents rangs temporals respecte al període de referència del 2000-2020. Les zones corresponen a al figura 1.4b.

Períodes	Diferència en la precipitació (%)				Diferència en la Temperatura (°C)			
	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
Zona 1	- 0,335	0,628	- 12,033	- 13,624	0,593	1,522	2,707	3,530
Zona 2	4,378	10,251	- 5,176	- 4,829	0,444	1,356	2,572	3,307
Zona 3	2,830	1,249	- 10,599	-12,833	0,375	1,284	2,436	3,108

Amb el mateix model, s'ha determinat quins seran els canvis que hi haurà en la precipitació de cada lloc. Aquests canvis són més irregulars. En primer lloc, a les zones 2 i 3, es preveu que augmenti lleugerament la precipitació en el primer període respecte a l'estat climàtic actual, una diferència percentual de 4,378 i 2,830, a la zona pirinenca de la conca, en canvi, s'espera una disminució de 0,335%. En el següent període també es preveu una precipitació semblant a l'actual a la zona 1 i 3, mentre que a la zona del Prepirineu hi haurà un notable increment de la precipitació de 10,251%. Entre els anys 2061 i 2080, s'espera la davallada més gran de la precipitació, tant en aquesta zona com en les altres dues. En la primera, una davallada del 12,661% respecte al període anterior (2041-2060) i essent del 15,427 i 11,848% en les zones 2 i 3, respectivament.

En l'últim període, la disminució de la precipitació no és tan destacable respecte aquests períodes però, tanmateix són les més baixes en relació a la precipitació del període de referència. Aquesta informació està resumida a la taula 4.1.

A partir de la taula 4.1 es calcula la ETP i el quocient ETr/P per les diferents etapes futures utilitzant les regressions obtingudes a partir de les condicions actuals (Figura 4.2). S'han utilitzat totes les estacions meteorològiques disponibles esmentades en la figura 3.3 per establir la relació entre la temperatura i l'evapotranspiració potencial. En augmentar la temperatura, també augmentarà ETP en el funció de l'equació ($ETP = 34,992 + 22,431 T + 0,556 T^2$; $r^2=0,998$), per tant, els resultat estan ben ajustats (Figura 4.2a). Per altra banda, s'utilitza la relació entre els quocients ETP/P i ETr/P del període més actual de cada subconca considerant els usos del sòl, que segueixen una relació logarítmica amb l'equació $ETr/P = 0,7169 + 0,2124 \ln (ETP/P - 0.2551)$; $r^2=0,953$ per tal de poder determinar ETr/P, suposant que els usos del sòl no varien al llarg de tots els períodes (Figura 3.2b).

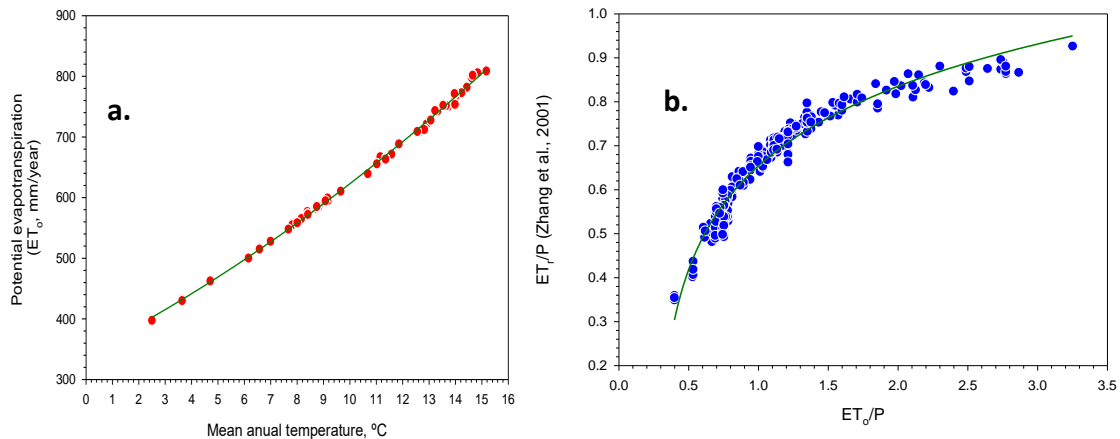


Figura 4.2. Relació entre **a.** Temperatura i ETP a cada subconca seguint l'equació $ETP = 342,992 + 22,431 T + 0,556 T^2$; $r^2 = 0,9982$ i **b.** els quocients ETP/P i ETr/P seguint l'equació $ETr/P = 0,7169 + 0,2124 \ln(ETP/P - 0,2551)$; $r^2 = 0,9536$.

S'han utilitzat les dades extrems d'aplicar les funcions anteriors amb les dades de les projeccions climàtiques (taula 4.1), i emprant la proporció de recursos disponibles en relació a la precipitació amb les dades obtingudes ($R/P = 1 - ETr/P$).

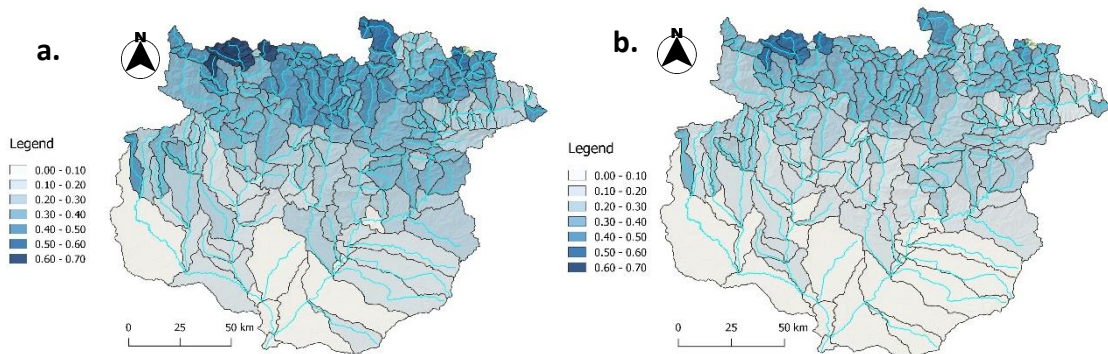


Figura 4.3. Mapes de la relació R/P de **a.** el 2060 i **b.** 2100 a la conca del Segre-Cinca.
Font: Elaboració pròpia.

La disposició geogràfica dels efectes del canvi climàtic en la conca Segre-Cinca es veuen representats a la figura 4.3 i el resum numèric es troba a la taula 4.2. Aquesta taula s'ha fet utilitzant el programari Rstudio per realitzar les mitjanes i la corresponent desviació estàndard per veure la variabilitat de les dades. De forma general, a la zona sud és on hi haurà una disminució més gran d'aquesta relació recursos-precipitació on els valors mitjans passaran de 0,1566 a valors de 0,0687.

A les zones pirinenques i prepirinenques, l'evolució esperada de la quantitat de recursos també és a la baixa. Aquestes zones, però tenen una rellevància més gran, atès que són les zones de recàrrega dels sistemes d'embassaments ubicats en el trams alt i mig d'aquestes conques. La variabilitat a la zona 1 és pel fet que el nombre de subconques és elevat (167). La mida de les subconques és més ajustada degut a la major presència de torrents i rierols. A llarg termini, aquestes conques d'alta muntanya perden recursos hídrics, concretament passen de $0,3880 \pm 0,0956$ a una proporció $0,3083 \pm 0,0789$ reduint d'aquesta forma la proporció d'aigua blava

present en els estats aquàtics. A curt termini 2040, a les zones pirinenques i prepirinenques, hi ha previsió que la mitjana de recursos pugui lleugerament ($0,3932 \pm 0,0891$ i $0,2606 \pm 0,0654$, respectivament). Això pot estar lligat a l'augment de la precipitació esperat per aquest mateix període i una un augment de la temperatura que no efecte suficientment a l'evapotranspiració, per reduir el volum de recursos.

Taula 4.2. Resum numèric de les mitjanes esperades en cada zona de la relació R/P amb la corresponent desviació estàndard (σ). Les zones corresponen a al figura 1.4b.

	n	R/P actual	R/P 2040	R/P 2060	R/P 2100
Zona 1	167	$0,3880 \pm 0,0956$	$0,3932 \pm 0,0891$	$0,3828 \pm 0,0889$	$0,3083 \pm 0,0789$
Zona 2	48	$0,2499 \pm 0,0772$	$0,2606 \pm 0,0654$	$0,2517 \pm 0,0644$	$0,1899 \pm 0,0616$
Zona 3	29	$0,1566 \pm 0,0336$	$0,1347 \pm 0,0506$	$0,1249 \pm 0,0410$	$0,0687 \pm 0,0484$

n= nombre de subconques.

A la figura 4.4, es pot avaluar l'efecte de la davallada de la relació de R/P per cada zona climàtica, destacant la variabilitat de les dades sobretot a la zona 1. En aquesta àrea hi ha un volum major de dades i les condicions d'aquestes subconques són molt dispars entre elles. Hi ha subconques amb més risc de quedar sense recursos a causa de la disminució de la precipitació esperada i l'augment de l'ETr en conseqüència de l'augment de la temperatura i d'altres que aquests canvis no alteraran el funcionament hidrològic de la subconca.

En contraposició a la dispersió de les dades de la zona pirinenca, hi ha la regió més meridional (zona 3) on els recursos en el període actual són baixos i en la projecció s'espera que s'accentuï el dèficit de recursos hídrics. La variabilitat en aquestes subconques és molt inferior que en les conques del Pirineu i per tant, l'efecte es preveu uniforme a la baixa.

La figura 4.4 també mostra que la zona 2, té una gran variància en relació als recursos hídrics per les diferents subconques al llarg de tots els períodes temporals establerts. Tot i aquesta variància dins de les dades de les projeccions, la zona prepirinenca té de mitjana uns canvis menys pronunciats del canvi global, ja que pel període de 2021 al 2040 es preveu fins i tot un augment de la relació R/P. Tanmateix, en relació a les conques pirinenques hi ha menys recursos.

Cal destacar, que els possibles canvis dels usos del sòl no s'han tingut en compte, i és probable que al llarg dels períodes sobre els quals s'han fet la projecció, hi hagi un increment de superfície arbòria (García-Ruiz et al., 2015). Aquest fet, augmentaria el valor del coeficient w i per tant, es reduirien de forma més pronunciada els recursos disponibles.

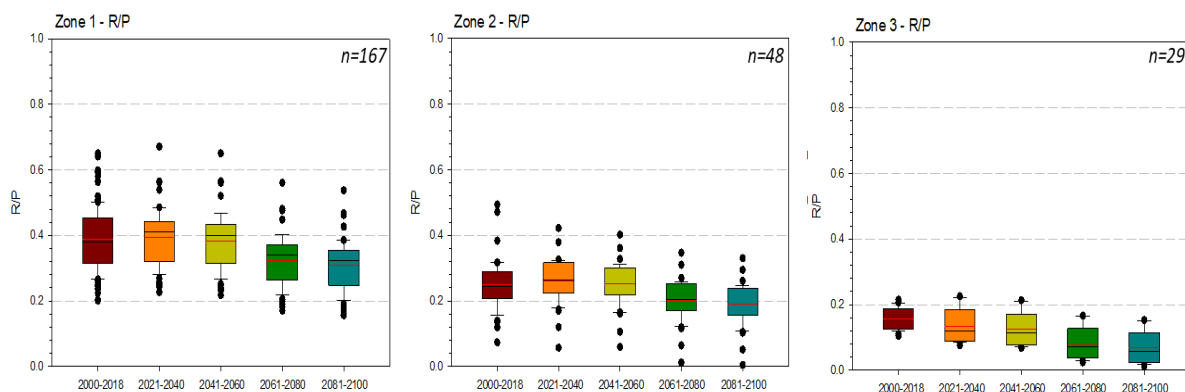


Figura 4.4. Diagrames de caixa de l'evolució de la relació R/P a llarg del segle XXI, per cada zona climàtica de la conca Segre-Cinca. En vermell, la mediana i en negre la mitjana

Aquestes relacions de recursos-precipitació han sorgit de les projeccions climàtiques que si ve hi ha un consens amb l'augment de la temperatura, la variació de la precipitació és més incerta i irregular, ja que es preveuen canvis més importants als mesos d'estiu i canvis menys marcats als mesos freds. Aquestes diferències entre els mesos freds i els càlids no s'han tingut en compte a l'hora de calcular R/P, tot i que les projeccions climàtiques de *Global Climate Model ECHAMS* (1961-2010), han calculat les variacions climàtiques mensualment. S'ha fet així per simplificar els càlculs.

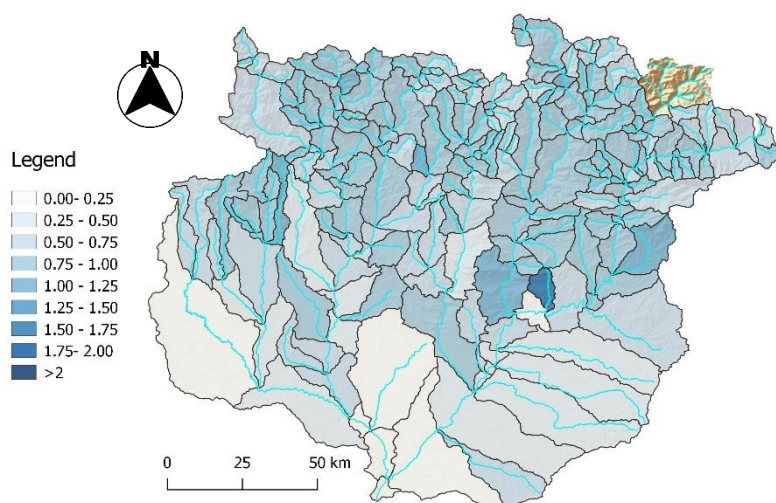


Figura 4.5. Relació dels recursos hídrics (expressats pel quocient R/P) l'horitzó 2100, en relació amb els valors actuals. Font: Elaboració pròpia.

Segons la figura 3.5 la zona 3 serà la zona on els canvis seran més grans durant el transcurs d'aquest segle disminuint de mitjana a totes les conques un 59% de recursos hídrics disponibles. Al Pirineu i Prepirineu variarà un 28,6 i 23,2% respectivament, la quantitat d'aquest recurs.

4.3 Conseqüències per a la connectivitat hidrològica i estats aquàtics

Per tal d'avaluar els efectes de la reducció dels recursos a llarg termini, primer cal establir una relació entre els recursos disponibles esperats i el cabal específic esperat a conseqüència d'aquests canvis. En segon lloc, cal veure els canvis en la corba de durada de flux (flow duration curve) en els rius no regulats de la conca Segre-Cinca i posteriorment com afecten els canvis als estats ecològics descrits per Gallart et al. (2012). Per últim, es plantejarà com a efecte la reducció dels recursos en comparació amb el règim actual.

La relació entre els recursos i el cabal del riu s'ha intentat establir amb els canvis de cabal específic (Q_{esp}), és a dir, el cabal per unitat d'àrea de la subconca ($m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$), dels diferents rius de la conca en relació al quocient dels recursos hídrics i la precipitació actual. Aquestes dues variables tenen una correlació actual basada en la recta:

$$Q_{esp} = 6.9122 \cdot \frac{R}{P} + 0.2509, \quad (5)$$

on només s'han tingut en compte les estacions d'aforament de cabals no regulats, és a dir, d'aigües amunt dels embassaments, les capçades dels rius o sense alteracions antròpiques.

Per tant, coneixent les relacions R/P esperades en cada subconca on hi ha estacions d'aforament, es podria establir una relació entre els valors de R/P i els cabals específics per obtenir en períodes futurs els cabals esperables. En aquest cas, per exemple, si el quocient entre recursos i precipitació disminuís 0,1 a causa del canvi climàtic, representaria un canvi en el cabal específic del riu de $0,014 m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$. No obstant, el valor r^2 de la recta és de 0,6147, mostrant una variabilitat massa gran per considerar que hi ha una relació lineal representativa i aplicable. Per aquesta raó, les dades de la figura 4.6 no permeten discriminar la proporció de cabal respecte la precipitació del valor calculat de R/P en relació al recurs que s'infiltra. En aquest sentit, caldrà considerar altres opcions per a expressar la variació del cabal del riu respecte al quocient R/P.

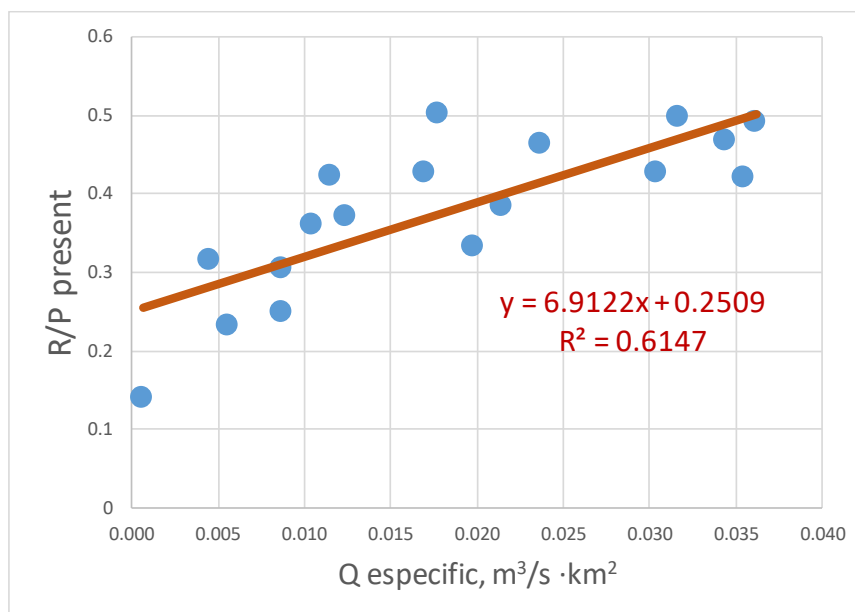


Figura 4.6. Relació entre el valors de R/P actuals a cada estació d'aforament no regulada.

Així, per a l'aplicació de R/P en el càlcul de cabals futurs per determinar els estats aquàtics s'utilitzen les dades del riu Vero a Barbastro (Huesca) a la zona del baix Cinca, d'on es disposen de dades mensuals de cabals des del 1998 fins al 2017 i es tenen els valors del canvi d'estat aquàtic, ja que els cabals dels canvis d'estats aquàtics s'han assimilat als del riu Francolí (Gallart et al., 2015).

Amb les dades d'aquest riu es realitza una corba de durada de flux. Aquesta mostra com es distribueix el cabal durant un període determinat o la freqüència en què es dona cada estat aquàtic. L'eix vertical representa el cabal, l'eix horitzontal expressa el percentatge de freqüència en què el cabal supera el valor donat a l'eix Y. Per tant, per exemple, en la corba de durada de flux pot indicar el nivell de cabal que estarà disponible com a mínim el 50% del temps. Aquesta corba mostra la distribució logarítmica-normal que se simula a partir de dues opcions.

La primera, figura 4.7, suposa la disminució proporcional de cabal mensual que serà igual per cada rang de cabal, d'una manera proporcional a la relació de R/P. Els càlculs de cabal mitjà anual en els períodes futurs es considera que variarà proporcionalment als recursos, per tant, si a la zona 2, s'espera que els valors de R/P és un determinat percentatge respecte a l'etapa actual, el cabal mitjà anual es reduirà en la mateix magnitud. Els valors de la reducció a la zona 2 (on s'ubica l'estació d'aforament del riu Vero), els valors de la relació de R/P ha estat els de 0,711 per la simulació pel 2060 i de 0,468 per la simulació pel 2100. Aquests càlculs han permès obtenir els resultats de la taula 4.3.

Taula 4.3 Valor de la freqüència excedent entre els estats aquàtics.

	Actual (%)	2060 (%)	2100 (%)
Hiporreic-Arreic	93	86	72
Arreic-Oligorreic	82	62	51
Oligorreic-Eurreic	69	52	41
Eurreic-Hiperreic	6	3	1

El resultat, que es pot observar a la figura 4.7 és la corba de durada de flux amb els valors de canvi d'estat aquàtic amb les freqüències actuals senyalats amb línies contínues els nivells d'ocurrència de cadascun d'aquests estrats. Les simulacions del cabal pels anys 2060 i 2100 s'han desplaçat cap a l'esquerra i avall en relació a la que s'ha obtingut amb els cabals mensuals dels últims decennis. Aquest fet ha desplaçat de la mateixa manera els estats aquàtics, ja que pel mateix cabal la freqüència disminueix. Per tant, si actualment hi ha un cabal superior al hiporreic el 93% del temps, aquesta simulació preveu que el 2100, hi hagi un cabal superior a aquest estat, només el 72% del temps. En aquesta primera simulació, l'estat hiperreic en el riu Vero el cabal només seria superior a hiperreic l'1% del temps l'any 2100.

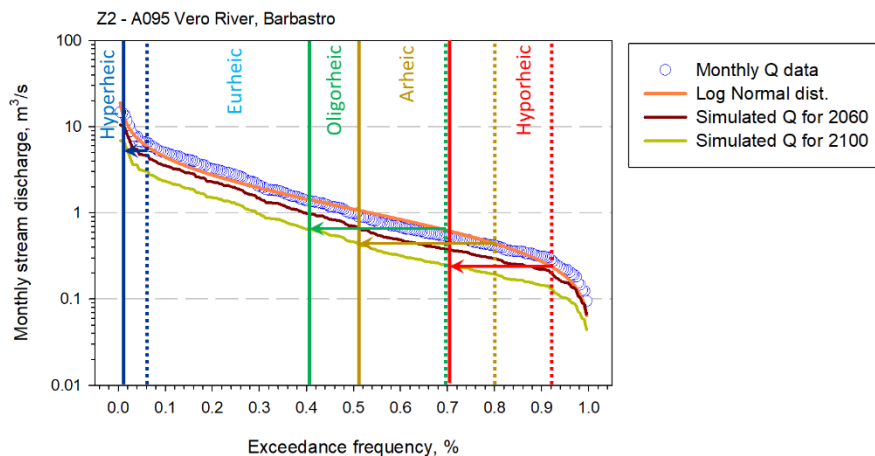


Figura 4.7. Corba de freqüència de cabal amb el desplaçament del cabal mensual i el desplaçament d'aquests canvis en els estrats aquàtics al riu Vero a Barbastro.

En aquesta figura 4.7, la desviació estàndard de la corba (σ) és de 1.087 la que ve donada per les dades obtingudes al llarg del període d'observació a l'estació d'aforament a Barbastro i és la mateixa per les projeccions de cabal dels anys 2060 i 2100.

En la segona opció, la simulació de la corba de variació de flux es calcula suposant que la distribució logarítmica-normal atès que el valor mitjà del cabal es reduirà proporcionalment a la variació de la relació de recursos hídrics disponibles en funció de la precipitació. Es reproduirà la distribució logarítmica-normal amb aquesta dada modificada. El problema recau en estimar la variabilitat de les dades dels cabals mensuals (s'espera degut al canvi climàtic una disminució de la precipitació desigual al llarg de l'any). Per solvatar-ho i atès a aquestes prediccions de variabilitat s'ha optat per utilitzar una desviació estàndard superior a la del període de 1998-2017, s'ha pres el valor arbitrari d'1,5. La disminució de la mitjana del cabal extrapolat de la relació R/P per la zona climàtica del Prepirineu és d'1,108 m³/s actuals a 0,529 m³/s que s'esperen a l'inici del segle XXII.

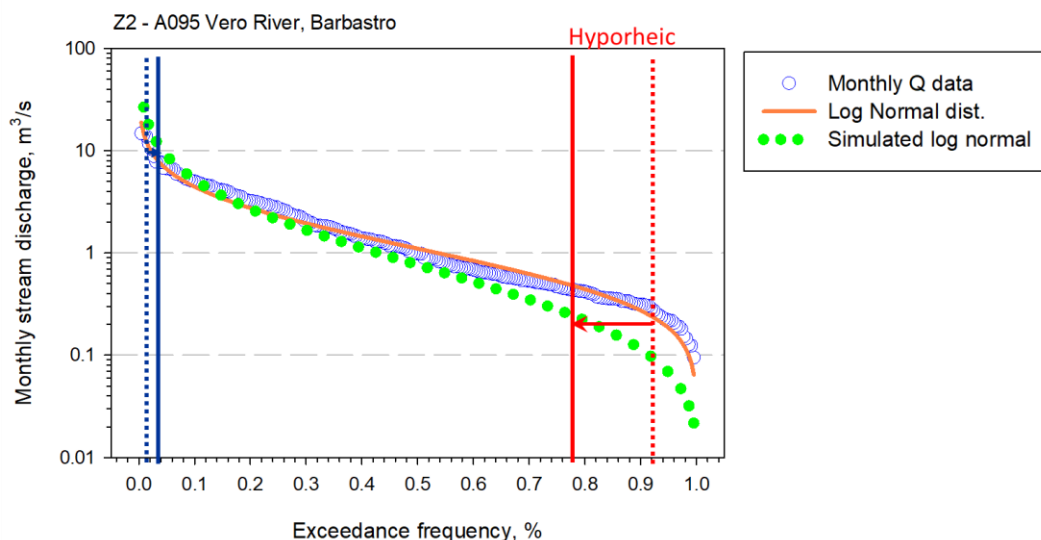


Figura 4.8. Corba de durada de flux amb l'alteració del cabal mensual al riu Vero a Barbastro.

El cabal com s'observa a la figura 4.8, patirà una disminució en percentatge dels estats aquàtics centrals i augmentarà de forma rellevant els estats amb poca connectivitat. De la mateixa manera, en augmentar la desviació estàndard, els períodes hiperreics també augmentaran. Aquesta última diferència respecte a l'anterior projecció (figura 4.7) és d'important rellevància, ja que segons les projeccions climàtiques esmentades amb anterioritat, s'espera un augment dels períodes de sequera i de les precipitacions torrencials.

5.DISCUSSIÓ

Molts estudis parlen dels efectes del canvi global a diferents escales és el cas d'estudis com Gallart et al. (2015) i Mas-Pla et al. (2016). A escala peninsular, hi ha un consens en l'augment de la temperatura de forma uniforme al llarg del temps malgrat que els canvis en la precipitació són menys robustos però a llarg termini, s'espera la reducció de la precipitació (sense concretar de forma rigorosa la forma, freqüència i intensitat d'aquesta).

A partir de les projeccions climàtiques, es presenta un mètode que les combina amb el balanç hídric per determinar el canvi en la freqüència anual dels diferents estats aquàtics d'un riu o a nivell de subconca. Per tant, permet determinar a llarg termini la temporalitat i/o connectivitat esperada en els rius i alhora, el percentatge de dies en què els estats aquàtics amb menys freqüència d'aigua (hiporreics, arreics i edàfics) seran presents.

Aquest càlcul presenta un seguit de suposicions inicials que fan que limiten els càlculs i poden condiciona els resultats esperables. Tanmateix, aquestes suposicions han permès realitzar els càlculs necessaris per fer la metodologia presentada, ja que s'han d'acotar les variàncies de les dades disponibles i simplificar aquests càlculs que consten de moltes variables. La discussió dels resultats obtinguts s'articulen en els següents aspectes:

1. La sèrie climàtica utilitzada en l'estudi, correspon a la realitzada per l'AEMET per l'escenari climàtic A1B basat en les dades utilitzades per fer les projeccions que comencen el 1961 fins al 2000. Tanmateix, hi ha altres estudis climàtics que han realitzat projeccions específiques i que modificarien de forma lleugera els resultats, és el cas dels projectes ESCENA i ENSEMBLES, que utilitzen altres períodes de dades per fer les projeccions i altres dades meteorològiques.

A més, l'escenari utilitzat A1B és un escenari intermedi per tant, les condicions que en deriven de l'augment de la temperatura i el canvi en el règim de precipitació estan condicionats a factors on les polítiques mitigadores del canvi climàtic prosperin però sense la total desaparició de noves emissions de CO₂. Si s'utilitzessin les dades de l'escenari més A on l'economia bàsicament no està influenciada per les polítiques ambientals i s'utilitzen energies fòssils, mentre que qualsevol escenari amb la lletra B es planteja que a escala global hi haurà una economia que apunta a la sostenibilitat. Per tant, els canvis en el cas del primer, parlariem d'uns efectes sobre les conques més intens i alarmant i en el segon cas, l'efecte del canvi climàtic quedaria més mitigat del que mostra l'estudi. Per altra banda, els escenaris amb el número 1 concreten que la població mundial arribarà al seu màxim al 2050, mentre que els escenaris amb el

número 2, no es preveu que comenci el decreixement de la població mundial. També s'haurien pogut utilitzar els escenaris RCP (Representative Concentration Pathway), que tenen en compte únicament l'evolució de les emissions de gasos d'efecte hivernacle.

Per tant, les aporten una visió parcial de la complexitat de les projeccions climàtiques. Per una gestió més acurada, és recomanable utilitzar la metodologia pels diferents escenaris per tal de poder fer una comparativa dels possibles efectes del canvi climàtic en les diferents projeccions.

2. S'ha treballat a escala de balanç hídric anual quan el règim de cabal és estacional i per tant varia al llarg de l'any. S'hauria de repetir la metodologia provada a escala estacional, però les correlacions provades de l'ETP en relació a la variació de la temperatura, varien molt en algunes estacions de l'any i per tant els resultats amb la mateixa metodologia serien menys fiables per algunes estacions.

A la figura 5.1, es pot observar un exemple on en els mesos d'estiu la correlació és significativa i es podrien extrapolar l'evapotranspiració depenen de la temperatura. En canvi al mes de desembre, la variabilitat entre les dades fa molt més difícil establir una funció que permeti establir una relació.

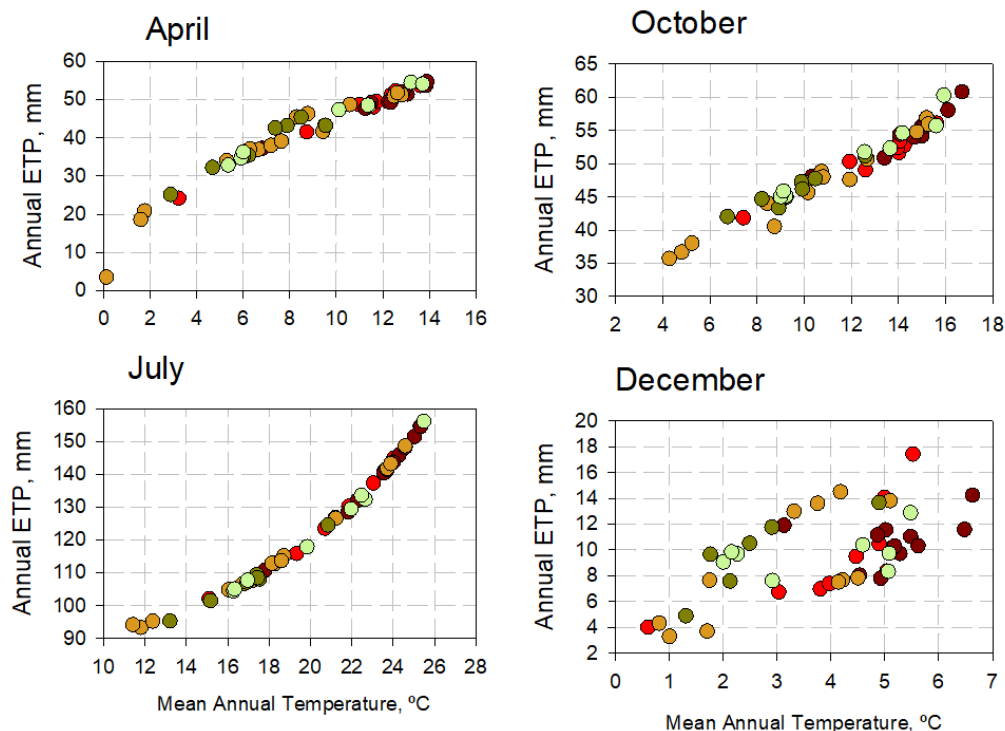


Figura 5.1. Relació de l'evapotranspiració potencial anual i la mitjana dels cabals en els mesos d'abril, juny, octubre i desembre. Els colors dels cercles diferencien les estacions d'aforament per conques hidrogràfiques (no rellevants per explicar aquesta figura).

3. A l'hora de realitzar les projeccions, no s'han alterat els usos del sòl de SIOSE (2005) i, per tant, no s'han tingut en compte en la realització dels balanços hídrics i en aplicar l'equació de Zhang et al. (2001) que en alterar el valor de w s'alterarien els valors de la relació R/P. El valor de l'evapotranspiració en relació a la precipitació augmenta a causa de la disminució d'aquesta i l'augment de la temperatura. A la zona d'estudis, tenint en compte els canvis d'usos del sòl esperats a la zona Pirinenca s'espera un augment de la massa forestal (García-Ruiz et al., 2015) i això donaria un augment de l'evapotranspiració encara major en el cas de les conques estudiades, que es traduiria en una reducció dels recursos hídrics disponibles i un augment de la freqüència d'estats aquàtics amb poca connectivitat.

Per simular el cabal hi ha la problemàtica d'establir la desviació estàndard (σ) a l'utilitzar la distribució logarítmica normal per projectar els escenaris futurs. El valor σ caldria obtenir-lo per diferents mètodes de resultats encara incerts (perquè no s'han explorat en el context d'aquest estudi). Es proposen dues solucions que no s'han utilitzat a causa de la complexitat. Establir el valor de la variabilitat pot determinar la corba logarítmica normal i reflectir l'efecte dels períodes extrems esperats en els períodes futurs. És el cas de les sequeres que s'esperen més abundants a causa del canvi global, cosa que augmentaria la freqüència d'estats amb poca connectivitat (arreic, hiporreic i edàfic). De la mateixa manera que l'estat hiperreic també es pot veure augmentat en relació a les freqüències d'estats aquàtics actuals degut a l'augment de la torrencialitat de la precipitació.

4. La primera opció per calcular sigma en estudis futurs per complementar la metodologia és establir correlacions la vulnerabilitat del cabal actual amb la precipitació actual dels diferents períodes al llarg de l'any.

L'altra opció, consisteix a recórrer a models hídrics com SACRAMENTO (Hunt et al., 1994) o GIS-BALAN (García Vera et al., 2005) per simular amb les diferents condicions climàtiques la variabilitat de cabal que es podria donar per calcular σ .

5. Aquest mètode per determinar la freqüència dels estats aquàtics està ideat per aquelles conques on el cabal no està regulat. En el cas que les conques que es vulguin estudiar fossin regulades, canviarien els paràmetres perquè el cabal disponible no seria resultat d'una dinàmica natural, sinó del model de gestió dels embassaments i de la captació dels recursos hídrics en funció de la demanda dels camps de conreu o ús antròpic.

Això planteja un problema davant dels canvis globals esperats, els camps de conreu necessitaran una quantitat major d'aigua d'altres orígens (Saurí, 2009). Per tant, la demanada d'aigua augmentaria en aquestes conques.

Si es volgués mantenir l'estat oligorreic en les conques regulades, en les quals la quantitat d'aigua és suficient per al desenvolupament de diferents ecosistemes fluvials, podria augmentar la vulnerabilitat davant de períodes de sequera i podria donar-se el cas que no hi hagués recursos hídrics per mantenir aquests estats. En última instància la problemàtica ambiental deguda al canvi climàtic sotmetrà a un estrès major els

sistemes d'emmagatzematge en els embassaments, degut a la torrencialitat de les precipitacions i als períodes de sequera i que augmentarà la manca de recurs.

6. En aquelles conques on no es disposi de dades d'aforament, si es vol emparar la metodologia exposada, caldrà obtenir les dades de la mitjana de cabal i de σ a partir de l'extrapolació de les dades observades de les relacions dels recursos hídrics en conques similars i la precipitació, que permeten determinar la quantitat de recurs hídric, que sense l'activitat humana, es pot considerar la que flueix per la llera del riu.

5.1 Ètica i de sostenibilitat

L'estudi contribueix a una gestió sostenible dels recursos hídrics reconeixent com la connectivitat hídrica i la mancança de la reducció de recursos hídrics pot afectar la qualitat ecològica de determinats trams de riu, essent aquesta qualitat un requeriment per assolir els objectius de la Directiva Marc de l'Aigua.

Aquest estudi aporta una metodologia i resultats que poden aplicar-se als plans hidrològics per preservar l'estat aquàtic de les masses d'aigua superficial, alhora que gestionar els recursos d'aigua disponibles d'una manera sostenible en el futur dins el context dels plans hidrològics de les conques estudiades.

6. CONCLUSIONS

In conclusion, this study presents a methodology that allows combining water balances, climatic projections and aquatic statuses. It predicts fluvial connectivity at sub-scale and it is relevant to preserve ecological values.

In the considered climate projections until 2100, the ratio of water resources in Segre-Cinca basin in relation to the precipitation varied depending on the climatic zone. In the Pyrenees zone, where the decrease in precipitation percentage and temperature increase is the highest, the ratio R/P will decrease a 28,6%, at the Pre-Pyrenees zone, 23,2%, and in Ebre central depression, where the ratio is the lowest, will decrease by 59% in relation to the current period.

The effects of climate change will diminish stream flow for most of the year. But it will not happen in a uniform way, so that the frequency of days without connectivity increase because of the reduction of the precipitation and drought period. However, the frequency of days with an hypereic state will also increase because a major occurrence of extreme precipitation events. Nevertheless, this methodology does not allow calculating a value σ of stream discharge that reflects that changes in the precipitation regime.

The methodology exposed is useful as a base to detect the vulnerability of the temporary rivers to be able to establish a sustainable management. There are some limitations that condition calculations and results. It is needed to continue working to obtain more precise and accurate results in each area of study, in the spatial as well as the temporal scale (monthly estimates)

7.AGRAÏMENTS

En primer lloc, vull agrair al tutor del Treball de Final de Grau , Pep Mas Pla, per ajudar-me i guiar-me en la realització del treball i sobretot per la qualitat humana, el suport i les hores utilitzades per ajudar a la meva formació acadèmica i creixement personal.

Aquest TFG ha estat finançat pel projecte "ODYSSEUS: Between Scylla and Charybdis: managing connectivity for freshwater fish", BiodivERSA3 2015-2016 Call - PCIN-2016-168, a través del WP desenvolupat a la UdG (IP a la UdG: Dr. Emili Garcia-Berthou).

Per últim, agrair el suport incondicional d'aquelles persones que han estat acompanyant-me durant el transcurs del treball, gràcies família i amics.

8. REFERÈNCIES

- Alfredo, I., Estrela, T., & Gallart, F. (2005). 7. Impactos sobre los recursos hídricos. En M. Jose (Ed.), *Evaluación Preliminar de los Impactos en España for Efecto del Cambio Climático* (p. 303-354). Ministerio de Medio Ambiente.
- Barrera-Escoda, A., & Cunillera, J. (2011). *Primer informe sobre la generació d'escenaris climàtics regionalitzats per a Catalunya durant el segle XXI*. Servei meteorològic de Catalunya.
- Beniston, M., Stephenson, D. B., Christensen, O. B., Ferro, C. A. T., Frei, C., Goyette, S., ... Woth, K. (2007). Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. *Climatic Change*, 81(SUPPL. 1), 71-95. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9226-z>
- Chazarra, A., Cunha, S., & Silva, Á. (2000). *Atlas Clima España Hasta 2000*. AEMET.
- Confederación hidrográfica del Ebro. (2015). PLAN HIDROLÓGICO de la parte española de la DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO 2015-2021 MEMORIA. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentacion y Medio ambiente.
- Datry, T., Larned, S. T., & Tockner, K. (2014). Intermittent rivers: A challenge for freshwater ecology. *BioScience*, 64(3), 229-235. <https://doi.org/10.1093/biosci/bit027>
- Francesc Gallart, Jérôme Latron, Pilar Llorens , Núria Cid , Narcís Prat, M. R. (2015). Deliverable 9 : The TREHS manual, (June).
- Gallart, F., Prat, N., Garca-Roger, E. M., Latron, J., Rieradevall, M., Llorens, P., Froebrich, J. (2012). A novel approach to analysing the regimes of temporary streams in relation to their controls on the composition and structure of aquatic biota. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3165-3182. <https://doi.org/10.5194/hess-16-3165-2012>
- García-Ruiz, J. M., López-Moreno, J. I., Lasanta, T., Vicente-Serrano, S. M., González-Sampérez, P., Valero-Garcés, B. L., Gómez-Villar, A. (2015). Los efectos geoecológicos del cambio global en el Pirineo Central español: una revisión a distintas escalas espaciales y temporales. *Pirineos*, 170(0), e012. <https://doi.org/10.3989/pirineos.2015.170005>
- García-ruiz, J. M., López-moreno, J. I., Vicente-serrano, S. M., Lasanta, T., & Beguería, S. (2011). Earth-Science Reviews Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth Science Reviews*, 105(3-4), 121-139. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.01.006>
- García Vera, M. A., Samper, J., & Alvares, D. (2005). Evaluación preliminar de la incidencia del cambio climático en los recursos hídricos de la cuenca del Ebro. *Oficina de Planificación Hidrológica*, 164.
- Hunt, J. D., Johnston, R. A., Abraham, J. E., Rodier, C. J., Garry, G., Putman, S. H., & Barra, T. De. (1994). Comparisons from the Sacramento Model Testbed, 1-15.
- ICGC. (2016). IcgC – Vissir3. Recuperat de <http://www.icc.cat/vissir3/>
- Instituto Nacional. (2015). Geoportal SIOSE. Recuperat de <http://www.siose.es/>
- Mas-Pla, J., Batalla, R. J., Cabello, À., Gallart, F., Llorens, P., Pascual, D., Vergonyós, L. (2005). 7. Impactos sobre los recursos hídricos. En *Evaluación Preliminar de los Impactos en España for Efecto del Cambio Climático* (p. 303-354).

- Mas-Pla, J., Batalla, R. J., Cabello, À., Gallart, F., Pilar Llorens, Pascual, D., Vergonyós, L. (2016). 7. Recursos hidrològics. En *TERCER INFORME SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC A CATALUNYA* (p. 161-287).
- Menció, A., Folch, A., & Mas-Pla, J. (2010). Analyzing hydrological sustainability through water balance. *Environmental Management*, 45(5), 1175-1190. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9461-y>
- Mestre, I., Casado, M. J., & Rodriguez, E. (2015). Tendencias observadas y proyecciones de cambio climático sobre España. *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*, 2, 87-98.
- Morata Gasca, A. (2014). Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR4. *Publicaciones en Línea de la Agencia Estatal de Meteorología. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*, 202.
- Rockstrom, J., & Falkenmark, M. (2006). The New Blue and Green Water Paradigm: Breaking New Ground for Water Resources Planning and Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(3), 129-132. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2006\)132:3\(129\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2006)132:3(129))
- Sáenz-Romero, C. (2016). *Impacto del cambio climático en los procesos de desertificación en España*. (Ministerio de Agricultura alimentación y medio Ambiente, Ed.).
- Saurí, D. (2009). Canvi climàtic i incidències sobre la disponibilitat d'aigua en l'agricultura. En *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya* (p.289-296). Barcelona: Agència Catalana de l'aigua.
- Zaragoza, E., Vielha, G., Miranda, E., & Pamplona, A. (2014). Portal de CHEbro.
- Zhang, L., Dawes, W. R., & Walker, G. (2001). Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale, 37(3), 701-708.