

Millora de les dades d'observacions de cabals de les conques fluvials d'Andorra

Equip de treball

Marta Domènech Investigadora d'Andorra Recerca + Innovació
Ramon J. Batalla Universitat de Lleida
Oriol Travesset Coordinador de l'eix Sostenibilitat d'Andorra Recerca + Innovació
Damià Veritat Universitat de Lleida



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resum

El context de canvi global fa encara més imprescindible disposar de dades hidrològiques de qualitat per estudiar, modelitzar i gestionar els esdeveniments propers tant vinculats a cabals alts (p. ex., avingudes) com als baixos (p. ex., períodes de sequera).

Pel sector de la recerca, les dades de cabals i les sèries hidrològiques són bàsiques per desenvolupar qualsevol estudi relacionat amb l'aigua (p. ex., models de predicció de cabals, estudis de sequera, estudis de recurs energètic, seguiments ecohidrològics del riu, etc.). En aquest sentit, aquest document presenta un resum de l'estat actual de les infraestructures d'observacions automàtiques de cabals al país i recull un seguit de propostes de millores a realitzar en els propers anys. Concretament, la Secció 2 compila i resumeix la xarxa actual de mesures d'alçada d'aigua i obtenció de cabals a Andorra. En la Secció 3 es proposen una sèrie de millores encarades principalment a la millora de l'estimació dels cabals baixos i en l'homogeneïtzació de la recollida de dades i l'obtenció de les corbes de tarat. Posteriorment, la Secció 4 presenta breument una de les aplicacions de l'ús de dades observades històriques de cabals, el Butlletí de seguiment dels cabals d'Andorra. Per últim, com a conclusions, la Secció 5 fa un recull de les propostes de millora identificades i en proposa una prioritització.

Aquest document s'ha redactat amb el suport del Grup de Recerca de Dinàmica Fluvial (RIUS) de la Universitat de Lleida (UdL), en concret amb el Dr. Batalla i el Dr. Vericat. En la seva elaboració s'ha mantingut contactes amb la *Confederación Hidrográfica del Ebro* (CHE) i l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA).

Sumari

1.	Introducció	5
1.1	Antecedents	5
1.2	Objectius	6
2.	Infraestructura de recollida de dades d'alçada d'aigua i cabal	7
2.1	Descripció de les estacions de recollida de dades	7
2.1.1	Estacions de Protecció Civil d'Andorra	8
2.1.2	Estacions d'aforament de la CHE	9
2.1.3	Estació d'aforament del Govern d'Andorra.....	10
2.1.4	Estació d'aforament Pont de Casadet.....	10
2.1.5	Estació d'aforament de la CHE a la Seu d'Urgell	11
2.1.6	Altres mesures de cabal	11
2.2	Dades de cabal.....	12
2.2.1	Metodologia d'obtenció dels cabals a partir de l'alçada d'aigua.....	12
3.	Proposta de millores en la infraestructura de recollida de dades.....	13
3.1	Avaluació de la ubicació de les estacions i millores proposades.....	13
3.1.1	Xarxa d'estacions d'alçada d'aigua de Protecció Civil.....	13
3.1.2	La xarxa d'estacions de la CHE.....	16
3.1.3	Estació d'aforament de Borda Sabaté del Govern d'Andorra	16
3.1.4	Estació d'aforament de PEUSA	17
3.2	Avaluació del funcionament i ubicació del sensor d'alçada	17
3.3	Valoració de les corbes de tarat (alçada d'aigua-cabal).....	18
3.3.1	Corbes de tarat híbrides	18
3.4	Revisió de la topografia modelitzada	19
4.	Butlletí de seguiment dels cabals d'Andorra	21
5.	Conclusions	22

1. Introducció

Andorra, igual que la resta de conques dels Pirineus, s'enfronta a una sèrie de reptes motivats per l'augment de les temperatures i dels períodes de sequera, així com probablement a un augment del episodis climàtics extrems. Alhora, el país té ja més de 80.000 habitants i una pressió turística remarcada, esdevenint una de les conques pirinenques amb més pressió antròpica. Aquest context fa que es consideri imprescindible disposar de dades hidrològiques vàlides per estudiar i modelitzar els diferents escenaris hidrològics futurs, i per donar suport a les inversions destinades a l'adaptació al canvi climàtic, així com la possible regulació dels cabals ambientals en el context de transició energètica.

AR+I ha finalitzat recentment la seva participació al projecte transfronterer PIRAGUA¹ del programa POCTEFA, centrat en la caracterització del cicle hidrològic als Pirineus per millorar la capacitat d'adaptació dels territoris al canvi climàtic. Actualment, AR+I està treballant en l'anàlisi d'escenaris de sequeres en context de canvi climàtic i la seva afectació als cabals. En paral·lel, recentment s'ha iniciat un estudi en col·laboració amb el Departament de Medi Ambient i Sostenibilitat sobre l'adaptació dels cabals ambientals al context de canvi global.

1.1 Antecedents

Un dels principals pilars per la recerca en matèria de recurs hídic i hidrologia és la disposició de dades observades i modelitzades de cabal. És per això que durant els anys 2020-2021 AR+I ha iniciat una recerca i un estudi de les dades de cabal disponibles a Andorra per a poder utilitzar-les per les seves modelitzacions. En aquesta recerca exploratòria, AR+I ha detectat fortes incongruències en les sèries de dades de les estacions d'aforament d'Andorra i una mancança en la disponibilitat de dades acurades sobre cabals baixos, necessàries per a l'estudi de períodes de sequera, i dels cabals ambientals i estructuradors del riu.

Seguint aquesta línia, AR+I amb el suport de Protecció Civil, el Departament de Medi Ambient i Sostenibilitat i el Grup de Recerca de Dinàmica Fluvial (RIUS) de la Universitat de Lleida, vol impulsar una sèrie de millores. Aquest document descriu l'estat de la infraestructura actual de recollida de dades hidrològiques i defineix un full de ruta preliminar amb l'objectiu de millorar la xarxa d'observacions de cabals d'Andorra.

¹ Més detall al web del projecte <https://www.opcc-ctp.org/es/piragua>

1.2 Objectius

Millorar les dades de cabals existents a Andorra i definir la infraestructura i el tipus de dades futures a fi de disposar d'una xarxa de dades d'alçada d'aigua i de cabals harmonitzada que permetin maximitzar els resultats dels esforços de l'administració per l'interès comú. Els objectius específics es detallen a continuació:

1. Revisió i futura planificació de les estacions de recollida de dades d'alçada d'aigua i cabals de la xarxa de Protecció Civil, i del protocol de dades recollides:
 - a. Valorar la possibilitat de reubicar algunes de les estacions actuals i/o ampliar la xarxa.
 - b. Treballar una proposta de metodologia homogeneïtzada per l'obtenció de cabals de les diferents estacions d'aforament.
 - c. Valoració de la necessitat de fer aforaments amb regularitat per calibrar i validar models però també per establir i detectar desajustos a les corbes de tarat (alçada d'aigua-cabal).
 - d. Valoració de la possibilitat de crear corbes de tarat (alçada d'aigua-cabal) híbrides per millorar l'estimació dels cabals baixos.
 - e. Revisió de la topografia utilitzada en els models hidràulics de corbes de tarat.
 - f. Avaluar el funcionament i ubicació del sensor radar d'alçades d'aigua per conèixer-ne la precisió, especialment en les mesures de cabals baixos.
2. Proposta de millora d'estacions que requereixen un 'mínim' de feina comparat amb noves instal·lacions (p. ex., les estacions andorranes de la CHE).
3. Inici de converses amb la CHE per millorar i mantenir les estacions d'aforament hidrològic del *Sistema Automático de Información Hidrológica* (SAIH²) en territori andorrà.
4. Elaboració regular de butlletins de cabals d'Andorra, en col·laboració amb Protecció Civil i el Departament de Medi Ambient i Sostenibilitat.

² Més detall al web <http://www.saihebro.com/saihebro/>

2. Infraestructura de recollida de dades d'alçada d'aigua i cabal

Actualment es disposa de diverses estacions de recollida de dades relacionades amb els cabals d'Andorra. Tot seguit, en la Taula 1 es detallen les estacions actuals amb la seva informació disponible associada.

Estació	Codi	Propietat	Variables	Data inici	Sensor	Llera fixa
SAIH Valira Borda Sabaté	A403	CHE	Calat, cabal	20/05/2009	Radar	Si
SAIH Valira del Nord	A402	CHE	Calat, cabal	01/10/2002	Boia	No
SAIH Valira d'Orient	A401	CHE	Calat	01/01/1998	Boia	Si
Borda Sabaté Govern		Govern	Calat, cabal	?	Radar	Si
Riu Madriu (Pont Pla)		Protecció Civil	Calat, cabal	01/01/2019	Radar	No
Riu de Pal (Pont dels Agrels)		Protecció Civil	Calat, cabal	01/01/2019	Radar	No
Riu d'Arinsal		Protecció Civil	Calat, cabal	01/01/2019	Radar	No
Pont del Tarter		Protecció Civil	Calat, cabal	01/01/2019	Radar	No
Pont de les mines		Protecció Civil	Calat, cabal	01/01/2019	Radar	No
Pont d'Ós de Civís		Protecció Civil	Calat, cabal	01/01/2019	Radar	No
Pont de la Bartra		Protecció Civil	Calat, cabal	01/01/2019	Radar	No
Pont de l'aiguerola (Rigoder)		Protecció Civil	Calat, cabal	01/01/2019	Radar	No
Prada Casadet		PEUSA	Calat, cabal	01/01/2019	Radar	Si

Taula 1. Estacions de mesura de calat i/o cabal a la conca del Valira a Andorra (llera fixa fa referència a secció artificial)

2.1 Descripció de les estacions de recollida de dades

Les estacions es troben repartides per tot el territori (veure Figura 1), essent les històriques de la CHE les situades més al fons de vall i representant les sortides de les principals subconques del Valira: Valira del Nord (SAIH Valira del Nord al Pont dels Escalls), Valira d'Orient (SAIH Valira d'Orient), i Gran Valira (SAIH Valira Borda Sabaté). Mentre que les estacions de Protecció Civil s'han situat repartides per controlar el risc d'avinguda dels principals rius d'Andorra que afecten vies de comunicació, poblacions, i, en general, als bens i serveis del país.

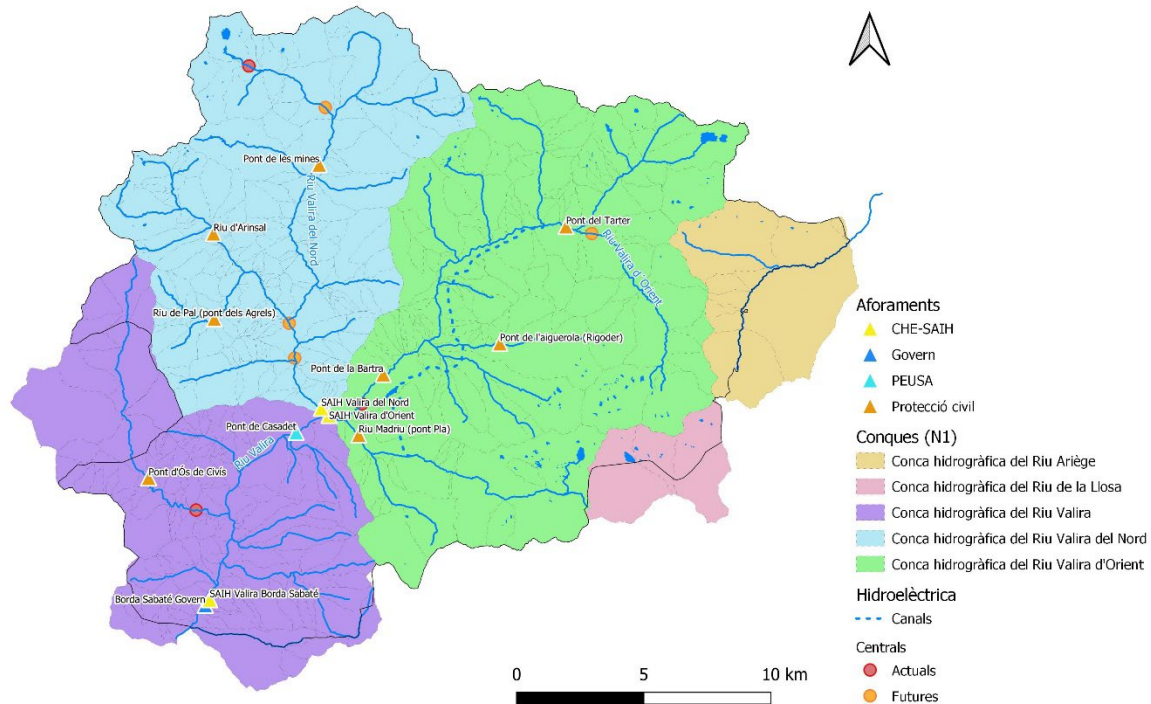


Figura 1. Ubicació de les estacions de mesura de calat i/o cabal a la conca del Valira a Andorra

2.1.1 Estacions de Protecció Civil d'Andorra

Des de l'any 2019 es disposa de vuit estacions propietat de Protecció Civil gestionades per l'empresa andorrana Bioma S.L.U.³ amb la col·laboració puntual de l'empresa andorrana SUPORT, Enginyers Consultors S.A.⁴. Aquestes estacions tenen com a funció principal seguir els cabals extrems a l'alça, és a dir, detectar l'emergència relacionada amb les inundacions a Andorra. Les seccions dels trams de riu on la llera és natural (llera mòbil, no formigonada) són menys estables des del punt de vista topogràfic i per tant hidràulic. El fet de ser de llera mòbil fa que sigui necessària una actualització més regular de les corbes de tarat i un tractament molt acurat de les dades per obtenir el cabal a partir del calat. En el moment de posada en funcionament (any 2019), s'ha realitzat per cadascuna d'elles una corba de tarat amb el mètode de corbes sintètiques (aixecament topogràfic d'un tram de 100 m, i càlcul parells calat i cabal amb modelització 2D) per part de Bioma S.L.U. i de SUPORT Enginyers

³ Més detall al web <http://www.bioma.ad/>

⁴ Més detall al web <http://www.suportenginyers.com/>

Consultors S.A. Tal com es mostra en la Figura 2, la mesura de l'alçada d'aigua es realitza mitjançant un sensor radar⁵.

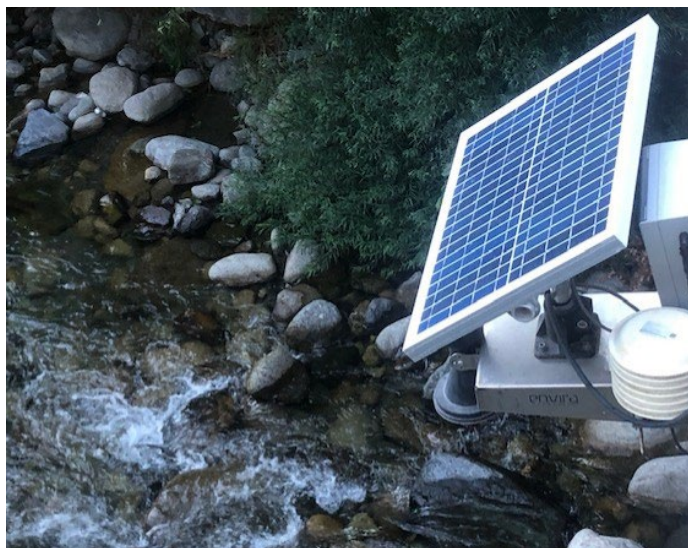


Figura 2. Estació de mesura d'alçada d'aigua de Protecció Civil (Pont de la Bartra)

2.1.2 Estacions d'aforament de la CHE

Existeixen tres estacions d'aforament de la CHE en territori andorrà i integrades al SAIH. Aquestes estacions d'aforament són les que disposen de majors sèries històriques i són SAIH Valira Borda Sabaté (A403), SAIH Valira del Nord al pont dels Escalls (A402) i SAIH Valira d'Orient (A401). La CHE ha confirmat que des del 2016 no en pot garantir la fiabilitat de les dades degut al desconeixement del manteniment que se'n fa. Segons converses mantingudes amb el Departament de Medi Ambient i Sostenibilitat del Govern d'Andorra, s'ha esbrinat que el manteniment i actualització de les corbes de tarat d'aquestes estacions és responsabilitat d'aquest, i és el propi departament qui ha de fer arribar la informació corresponent a la CHE. En aquesta mateixa línia, les corbes de tarat són proporcionades a la CHE des d'Andorra.

Recentment, AR+I ha iniciat converses amb el Govern d'Andorra per tal de treballar amb la CHE el seguiment i validació de les dades de cabals de les seves estacions a Andorra per assegurar-ne la qualitat. Les estacions A402 i A403 disposen de corbes de tarat i, per tant, se'n deriva el cabal. L'estació A401 històricament només proporcionava l'alçada d'aigua. Recentment, i a raó de converses amb Protecció Civil, es coneix l'existència d'una corba de tarat que ha encomanat Protecció Civil a Bioma S.L.U. i SUPORT EC.

⁵ Model VEGAPLUS C 21 <https://www.vega.com/es-es/productos/catalogo-de-productos/medicion-de-nivel/radar/vegapuls-c-21>

2.1.3 Estació d'aforament del Govern d'Andorra

Aquesta està col·locada al costat de l'estació d'aforament de la CHE de Borda Sabaté (A403), a 2 metres de distància. No se'n coneix exactament el seu manteniment però es va fer una corba de tarat l'any 2021 amb el mètode de corbes sintètiques (aixecament topogràfic d'un tram de 100 m, i càlcul parells calat i cabal amb modelització 2D). Es desconeix l'any d'entrada en funcionament d'aquesta estació. Les dades les recull el Departament de Medi Ambient i Sostenibilitat però actualment no són d'ús públic. La secció gaudeix d'un formigonat que hauria de garantir l'estabilitat de la mateixa, no obstant s'hi detecten acumulacions de material provinent d'aigües amunt i, per tant, requereix l'actualització periòdica de les corbes de tarat.

2.1.4 Estació d'aforament Pont de Casadet

Aquesta estació està ubicada al centre d'Andorra la Vella (veure Figura 3) i és propietat de la Productora Energia Urgellenca S.A. (PEUSA⁶), qui manté un conveni de cessió de dades amb Protecció Civil. No se'n coneix exactament el seu manteniment però es va fer una corba de tarat l'any 2019 en el moment de la seva posada en funcionament amb el mètode de corbes sintètiques (aixecament topogràfic d'un tram de 100 m, i càlcul parells calat i cabal amb modelització 2D). La secció està formigonada al punt d'aforament i fins a uns 50 metres aigües amunt, per tant, sembla garantida una certa estabilitat de la mateixa.

⁶ Més detall al web <https://www.peusa.org/>



Figura 3. Estació d'aforament de PEUSA (Pont de Casadet). Font: Protecció Civil

2.1.5 Estació d'aforament de la CHE a la Seu d'Urgell

L'estació A022 Valira-Seu de la CHE està situada fora d'Andorra però dins la conca del riu Valira. Depèn del manteniment que en fa la CHE i, segons converses amb ells, regularment es fan les actualitzacions de les corbes de tarat. Com la resta d'estacions incloses al SAIH Ebro, les dades són públiques. Un dels interessos més destacats d'aquesta estació és que té dades revisades des del 1997 i, per tant, és la sèrie més llarga del riu Valira.

Al comparar-la amb l'estació de Borda Sabaté (A403) situada aigües amunt, s'ha de tenir en compte que entre ambdues hi ha diverses captacions importants. La més significativa és la del rec dels quatre pobles que extreu aproximadament $1,85 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.1.6 Altres mesures de cabal

Existeixen estudis dispersos sobre monitoritzacions de cabals al país, però de curta durada i dirigida a avaluar o controlar els impactes de les mini centrals de producció hidroelèctrica. De forma general, aquestes dades no es consideren útils per poder garantir la qualitat de les dades globals utilitzades en recerca o per estimacions hidrològiques de país. Forces Elèctriques d'Andorra (FEDA) disposa també de dades de mesura de calat i cabal en diferents indrets del país (com Ràmio), però són dades no contrastades, de sèries curtes i sovint manuals, i no és consideren fiables per estimacions hidrològiques de país.

2.2 Dades de cabal

Com s'ha esmentat prèviament, totes les estacions que presenten dades de cabal, les deriven a partir de les corbes de tarat. En els cas de les estacions de Protecció Civil, les corbes s'obtenen en seccions naturals i, per tant, és més difícil estimar de forma acurada els cabals baixos. A més, aquest fet fa que sigui necessari actualitzar més sovint les corbes degut a les modificacions naturals de la secció. Per contra, les seccions de les estacions amb llera fixa són més estables.

Pel moment es desconeix el detall de la metodologia d'obtenció de cabals emprada per la CHE en les seves estacions, així com la data de la darrera actualització de les corbes d'aforament (també dites corbes de tarat o de descàrrega).

En les estacions propietat de Protecció Civil, Govern i PEUSA, la metodologia d'obtenció de cabals aplicada ha estat la mateixa i l'ha dut a terme l'empresa SUPORT, Enginyers Consultors S.A. A continuació se n'aporta el detall.

2.2.1 Metodologia d'obtenció dels cabals a partir de l'alçada d'aigua

La mateixa metodologia s'ha aplicat a les estacions de Protecció Civil, Prada Casadet (propietat de PEUSA) i Borda Sabaté de Govern. La metodologia es basa en l'obtenció de corbes sintètiques, obtingudes a partir de modelitzacions hidràuliques fetes amb HEC RAS a 1D i replicant diverses seccions aigües amunt i avall. Mitjançant aquesta caracterització, es deriva el cabal a partir de mesures indirectes de calat (alçada de làmina d'aigua) a partir de les seccions teòriques modelitzades aigües amunt i avall. Per fer-ho es fa un aixecament topogràfic 50 m per sobre i per sota del punt, i en seccions a cada 5 m, per fer la modelització hidràulica. D'aquesta manera s'obtenen modelitzacions per molts parells (calat, cabal) des de cabals baixos (uns 50 l/s) fins a més alts (cabals corresponents moltes vegades a la màxima capacitat del pont en qüestió). Seguidament es fa la construcció de les corbes d'aforament a la secció d'aforament. Aquestes corbes es construeixen a partir dels parells (calat, cabal) obtinguts a la modelització i per interpolació mitjançant polinomis de grau 6, ajustats per mínims quadrats. Sovint es construeixen dues corbes d'aforament per millorar la precisió per als cabals baixos. Una primera aproximadament entre 0 i 20 m³/s i una segona de cabals superiors a 20 m³/s fins a la màxima capacitat del pont.

3. Proposta de millores en la infraestructura de recollida de dades

Per tal de dur a terme recerca sobre recurs hídric i canvi climàtic, seguiment i modelitzacions de cabal, riuades, recurs hidràulic, i anàlisi i gestió de sequeres, és indispensable disposar de dades de cabal fiables i representatives d'Andorra. És també molt important disposar de sèries hidrològiques i de cabal llargues i consistents.

Per tot plegat, aquesta secció defineix un esquema marc d'aspectes a tenir en compte per millorar l'actual presa de dades de cabals. La fiabilitat de les dades observades es troba afectada per molts factors i variables com el tipus de sensor de mesura d'alçada d'aigua i la seva precisió, el tipus de modelització per obtenir el cabal, la precisió de l'aixecament topogràfic de la secció del riu, el tipus de corbes d'aforament, etc.

A continuació es fa una breu descripció dels principals factors que afecten i que s'haurien de tenir en compte en l'actual xarxa de presa de dades d'alçada d'aigua i de cabal d'Andorra per disposar de dades representatives i fiables, actualment i, especialment, a futur. Aquest apartat respon, en la seva major part, a la petició que el Departament de Protecció Civil ha fet a AR+I per valorar la seva xarxa de mesures i modelitzacions de cabal.

3.1 Avaluació de la ubicació de les estacions i millores proposades

Tot seguit es fa una valoració de les diferents estacions d'aforament i de mesura d'alçada d'aigua actuals. L'objectiu és tenir en compte totes les estacions en territori andorrà i detectar les més importants pel risc d'avingudes i les més representatives del recurs hídric del país. Per tal de millorar l'eficiència en l'ús de recursos, també s'ha donat importància a la identificació d'aquelles que poden ser redundants o no representatives.

3.1.1 Xarxa d'estacions d'alçada d'aigua de Protecció Civil

La xarxa d'estacions de Protecció Civil té com a funció avaluar el risc d'avingudes i fer el seguiment dels episodis de cabals alts. No obstant, i seguint el fil de les converses mantingudes entre Protecció Civil i AR+I, es valora positivament que algunes de les seves estacions puguin també ser útils per estimar cabals baixos. La particularitat comuna de les estacions d'aquesta xarxa, com s'ha dit anteriorment, és que les estacions es troben totes sobre seccions naturals, dificultant la detecció de cabals baixos.

En el context de canvi climàtic, on els episodis de sequeres es preveuen més freqüents, es considera important disposar de dades que permetin fer el seguiment dels cabals baixos. Això permetrà avaluar millor el risc d'aquests episodis i estar més preparats per gestionar-los. Són nombrosos els articles científics i els resultats de projectes que avalen la tendència futura en la disminució dels cabals ens zones de muntanya, especialment als Pirineus⁷. Per tant, es considera que la detecció i el seguiment de cabals baixos podria ser també una variable important pel Departament de Protecció Civil en els propers anys en l'àmbit del seguiment de les sequeres. Per posar un exemple el cabal a l'estació d'aforament SAIH Valira Borda Sabaté aquest mes de juliol⁸ ha estat un 69% més baix que el del període de referència (2010-2020). Alhora, la caracterització de cabals baixos és de primera importància per l'estudi del règim de cabals ambientals i per l'avaluació i seguiment de les funcions ecosistèmiques dels rius.

Tenint en compte les ubicacions de les estacions actuals (veure Figura 1) s'ha valorat que l'única estació propietat de Protecció Civil que podria ser susceptible d'una reubicació és la del Pont de l'aigüerola (Rigoder). Aquesta estació presenta dificultats de presa de dades a l'hivern degut a que l'aigua es gela una part de l'any (veure Figura 4). No obstant, la resta de l'any sembla recollir unes bones dades d'alçada d'aigua, que podrien permetre fer el seguiment dels cabals baixos a l'estiu.

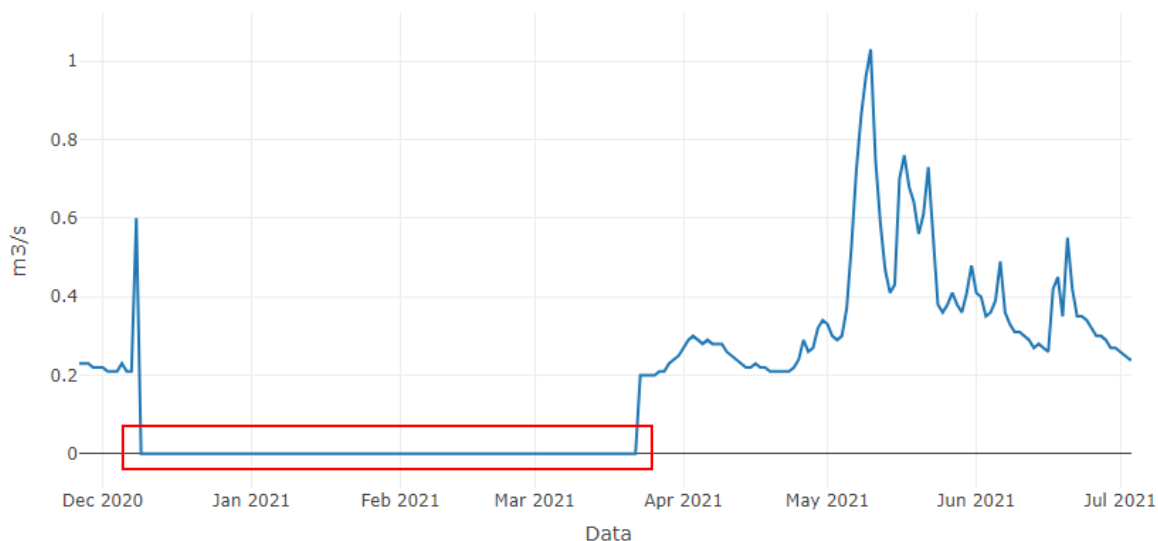


Figura 4. Hidrograma diari (m^3/s) de l'estació Pont de l'aigüerola (Rigoder) de l'any 2021 (en vermell, període on manquen dades). Font de dades: API RestCecoma

⁷ Veure articles del projecte PIRAGUA a <https://www.researchgate.net/project/PIRAGUA>

⁸ A data 26/07/2022

L'estació de Pont de l'aiguerola (Rigoder) es troba propera a zones de captacions de FEDA per la producció hidroelèctrica de la central d'Encamp. En aquest sentit, es considera que els mesos de cabals baixos, compresos entre finals d'estiu i principis de tardor, poden ser especialment interessants de seguir. L'estació es troba en una zona de capçalera on els cabals mitjans ja són baixos de per si, i per tant, durant els mesos d'estiu, i especialment en situacions de sequera, poden ser limitant per les espècies que hi viuen. Concretament, la truita comuna necessita temperatures per sota dels 21,5 °C i més de 7 mg/l d'O₂, valors no sempre garantits en situacions de sequera i trams amb cabals molt baixos. Tenint en compte aquests aspectes, es considera interessant mantenir aquesta estació tot i que la utilitat de les dades observades es limiti principalment a les estacions de primavera, estiu i tardor. També és una estació bona indicadora de cabals alts a la tardor (octubre-novembre) per captar episodis de pluja intensa a les conques més orientals.

3.1.1.1 Proposta de nova estació

Es considera interessant ubicar una nova estació al Riu Valira del Nord a l'alçada del paratge anomenat Serra de l'Honor. En concret, a la zona just després de la confluència del Riu d'Anyós amb el Riu Valira del Nord (veure Figura 5). Aquesta estació s'ubicaria enmig de dos de les centrals d'aigua fluent previstes al Pla Sectorial d'Infraestructures Energètiques d'Andorra⁹ (PSIEA) i permetria complementar les observacions de l'estació de la CHE al Valira del Nord que actualment no està funcionant adequadament.

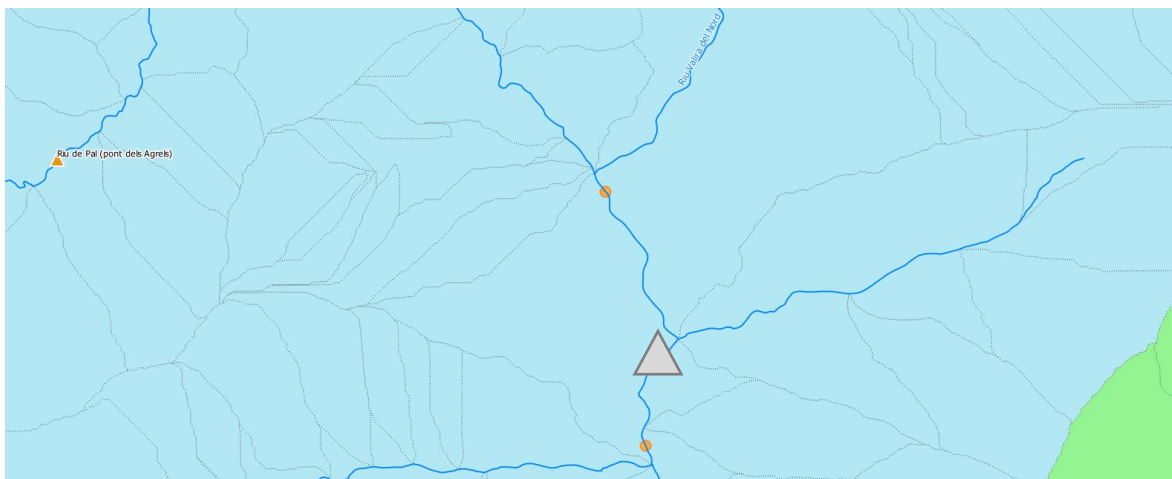


Figura 5. Ubicació preliminar de la nova estació proposada a la Serra de l'Honor, entre les dues estacions hidroelèctriques identificades al PSIEA (punts taronja)

⁹ Consultar el document complet i els annexes a

https://www.bopa.ad/bopa/030030/Pagines/GD20180517_11_23_50.aspx

La ubicació exacta final d'aquesta estació caldria analitzar-la amb major detall i, en cas de ser possible, s'hauria de prioritzar instal·lar-la en un tram de secció fixa.

3.1.2 La xarxa d'estacions de la CHE

La CHE té un departament exclusiu d'experts dedicat íntegrament a la presa de dades de mesures de cabal i a correcció d'aquestes. És en aquest sentit que AR+I considera que la seva expertesa és un benefici per Andorra que val la pena aprofitar. A més, les dades observades es publiquen en temps real de forma oberta a la plataforma SAIH¹⁰ i segueixen un control i validació en base als estàndards internacionals de qualitat.

Per la seva ubicació i experiència de qui les gestiona, les estacions de la CHE (veure Figura 1 i Taula 1) es consideren estratègiques. No es planteja en cap cas la seva reubicació, sinó al contrari, es considera imprescindible mantenir-les i millorar-ne el seu manteniment. Fins on arriba el nostre coneixement, la conservació i control d'aquestes tres estacions es basa en un conveni signat l'any 1989 entre el Govern d'Andorra i el d'Espanya. En els últims anys, sembla que el manteniment no ha estat l'adequat, i per tant, la qualitat de les dades dels darrers anys no està garantida. A partir de converses entre AR+I, la CHE i els assessors de la Universitat de Lleida, la CHE ha mostrat interès en poder garantir la qualitat de les dades de les estacions andorranes proporcionades pel SAIH. Des d'AR+I es creu convenient iniciar converses entre el Govern d'Andorra i la CHE a fi de poder reprendre el manteniment d'aquestes estacions estratègiques no només pel país sinó també per la conca del riu Valira.

Les actuacions a curt termini s'haurien de centrar en revisar el funcionament de les estacions que actualment estan mesurant alçada d'aigua i en deriven el cabal (A402 i A403). D'altra banda, és molt recomanable que l'estació SAIH Valira d'Orient (A401), incorpori el càlcul del cabal addicionalment a l'alçada d'aigua que ja mesura actualment.

3.1.3 Estació d'aforament de Borda Sabaté del Govern d'Andorra

Es considera que aquesta estació és prescindible si s'aconsegueix que l'estació històrica SAIH Valira Borda Sabaté es mantingui degudament per la CHE amb el suport del Govern d'Andorra.

L'actual crisi climàtica fa que les diverses entitats i òrgans transfronterers tinguin la necessitat d'optimització d'infraestructures i de coneixement pel bé comú, i per tant, la gestió compartida es valorada molt positivament per aconseguir millorar l'eficiència i el coneixement d'un riu transfronterer com és el Valira.

¹⁰ Més detall al web <http://www.saihebro.com/saihebro/>

En cas que es decidís prescindir d'aquesta estació, part de la infraestructura de mesura es podria reubicar en una altra zona del país on es detecti la necessitat de seguiment del cabal. Abans de prendre qualsevol mesura en aquest sentit, recomanem fer un petit treball de comparació entre els registres d'alçada d'aigua i dels cabals modelitzats entres les dues estacions complementat amb alguna mesura manual de cabal.

3.1.4 Estació d'aforament de PEUSA

La ubicació d'aquesta estació al Pont de Casadet (veure Figura 1) és molt bona pel que fa a la determinació del recurs hídric de la conca del Valira. També és una ubicació excel·lent pel seguiment dels períodes de cabals alts (avingudes) i de cabals baixos (períodes de sequera).

A més, el Departament de Protecció Civil manté un conveni de col·laboració amb PEUSA fet que permet disposar d'accés a aquestes dades en temps real.

3.2 Avaluació del funcionament i ubicació del sensor d'alçada

Les estacions de Protecció Civil i PEUSA disposen de sensors radar¹¹ per a la mesura de l'alçada de columna d'aigua. La majoria estan situats en ponts que permeten ubicar-se en zones properes al centre de la llera del riu.

És interessant avaluar el funcionament dels sensors radar i la seva ubicació ja que és la primera dada presa (alçada de la columna d'aigua del tram de riu) per acabar estimant el cabal d'aquell tram. Seria interessant revisar la geometria de cada tram de riu per valorar la reubicació del sensor en el cas de que el cabal sigui baix i faci un recorregut diferent que el sensor no detecti. Aquest darrer punt és cabdal per poder detectar valors d'alçada d'aigua en cabals baixos.

La precisió del sensor radar és molt important en especial per a cabals baixos. En cabals baixos la rugositat del terreny i els possibles elements del riu queden més exposats i poden afectar la senyal radar donant errors d'alçada d'aigua. Caldria avaluar quina és la precisió dels radars instal·lats per poder conèixer amb major detall la seva validesa per a l'estimació dels cabals baixos. En aquest sentit, cal remarcar la importància de les mesures directes de cabal per avaluar la bondat de les corbes de tarat, en especial per a cabals baixos. La idea seria protocol·litzar les mesures directes de forma sistemàtica i regular.

¹¹

Model VEGAPLUS C 21 <https://www.vega.com/es-es/productos/catalogo-de-productos/medicion-de-nivel/radar/vegapuls-c-21>

3.3 Valoració de les corbes de tarat (alçada d'aigua-cabal)

Les corbes de tarat permeten transformar l'alçada d'aigua mesurada en cabal, que en definitiva és la dada més utilitzada per gestionar el recurs hídic i els risc hidrològic. Aquestes corbes poden ser realitzades per diverses metodologies i cada una d'elles està encarada a diferents necessitats. Les corbes de tarat (o corbes de descàrrega) s'elaboren a partir de dades directes de cabals i/o exercicis de modelització hidràulica, que a partir de paràmetres externs (geometria de la secció, granulometria dels sediments –rugositat, pendent de la llera) permeten determinar el cabal a partir de l'alçada d'aigua.

Aquests càlculs són més senzills i més simples de dur a terme i mantenir quan la secció d'aforament esta ubicada en una secció regular i cimentada, que no en una secció natural. Per tant, sempre que es pugui serà millor ubicar una estació en una secció artificial.

En la secció presentada a continuació es vol transmetre la necessitat de fer aforaments amb regularitat per calibrar i validar models però també per establir i detectar desajustos a les corbes de tarat (alçada d'aigua-cabal), i en especial, per detectar tant els cabals alts com els més baixos.

3.3.1 Corbes de tarat híbrides

Les corbes de tarat híbrides són corbes de tarat modelitzades (alçada d'aigua-cabal) per als cabals alts però incorporen mesures directes per als cabals baixos. La secció del riu per a cabals baixos sol donar problemes en les modelitzacions, en especial quan es tracta d'estacions d'aforament en seccions naturals. Com ja s'ha esmentat, les estacions de Protecció Civil (veure Figura 1) són poc precises en la predicció de cabals baixos. En aquest sentit, si a mig termini es volen utilitzar per fer seguiment del recurs hídic i la gestió dels períodes de sequera, és indispensable realitzar les corbes de tarat híbrides.

Per fer-ho caldria fer una campanya d'aforaments manuals i generar corbes de tarat híbrides per a cada estació. D'aquesta manera s'avaluaria el nivell d'harmonització entre la modelització i les mesures manuals. Una alternativa, en cas de no disposar de recursos per actualitzar totes les corbes, passaria per iniciar aquests aforaments manuals a les estacions considerades estratègiques.

Es consideren estacions estratègiques aquelles que representen les principals conques d'Andorra. A banda de les de la CHE, representant el riu Valira (A403), el Valira del Nord (A402) i el Valira d'Orient (A401), es considera també estratègic disposar dels cabals baixos en les mateixes conques però en zones de capçalera. En aquest sentit, Pont de les Mines i Pont del Tarter són estratègiques a fi de seguir els cabals en els

períodes de sequera i en especial en els mesos de cabals més baixos que són generalment febrer i setembre. Addicionalment, Pont d'Ós de Civís s'inclou també com estratègica ja que es considera una de les estacions possiblement més afectades pels períodes de sequera en el futur, i per tant important de disposar i poder fer el seguiment de cabals baixos. A continuació, la Taula 2 recull les sis estacions proposades i la seva importància estratègica.

Estació	Codi	Propietat	Importància estratègica
SAIH Valira Borda Sabaté	A403	CHE	Control del cabal sortida de conca
SAIH Valira del Nord	A402	CHE	Control del cabal sortida de la Valira del Nord
SAIH Valira d'Orient	A401	CHE	Control del cabal sortida de la Valira d'Orient
Pont del Tarter		Protecció Civil	Control del cabal de les zones de capçalera de la Valira d'Orient
Pont de les Mines		Protecció Civil	Control del cabal de les zones de capçalera de la Valira del Nord
Pont d'Ós de Civís		Protecció Civil	Control del cabal de la conca més meridional

Taula 2. Estacions de mesura de calat i/o cabal a la conca del Valira a Andorra (llera fixa fa referència a secció artificial)

3.4 Revisió de la topografia modelitzada

L'aixecament topogràfic és bàsic en la modelització hidràulica per obtenir els cabals amb el menor error possible. Aquest aixecament permet conèixer la geometria de la llera i el pendent del riu en tot el tram estudiat, i derivar-ne la resta de variables hidràuliques que permeten estimar el cabal.

Una de les variables més importants per evitar els errors en la modelització és el nombre de punts que s'aixequen en la secció topogràfica. Com més punts agafats en una secció, més fidelment es pot reproduir la seva geometria i per tant la predicció del cabals serà més fiable.

Els aixecaments topogràfics que s'han fet en les estacions de Protecció Civil, PEUSA i Borda Sabaté de Govern s'han fet seguint la mateixa metodologia, descrita i executada per la mateixa empresa (SUPORT Enginyers Consultors S.A.). En concret, s'han dut a terme aixecaments topogràfics específics i modelitzacions de cada tram d'aforament, incloent sempre 50 m aigües amunt i 50 m aigües avall del punt de control per caracteritzar el tram de riu utilitzant la topografia de les seccions transversals cada 5 m que s'han completat mitjançant interpolació fins aconseguir una secció cada metre. De totes maneres volem afegir que la distància dels aixecaments aigües amunt i avall no hauria de ser un valor absolut sinó que hauria de guardar una certa relació amb la geometria de la llera. Variables com la sinuositat del riu, la pendent, la rugositat, etc., determinaran en cada cas la distància entre els aixecaments. Es desconeix el nombre de punts que s'agafen per fer els aixecaments topogràfics en cada una de les seccions que es tenen en compte, que determina finalment la precisió de l'aixecament.

D'altra banda, s'ha de tenir en compte també que la longitud del tram modelitzat no hauria de ser fixe, sinó que s'haurien de tenir en compte variables com l'amplada de riu, la sinuositat de la llera i la pendent aigües amunt en cada estació d'aforament o punt de control.

Com a resum d'aquesta secció, es recomana:

- Adaptar la longitud i el nombre de seccions modelitzades del riu aigües amunt i avall del punt de control (secció principal).
- Valorar la pertinència del nombre de punts d'alçada de terreny mesurats en cada secció, i ampliar-la si s'escau. Enlloc de prendre punts regularment es important que reproduïxin les ruptures de pendent de la secció i els principals elements estructurals (blocs, marges, etc.).

4. Butlletí de seguiment dels cabals d'Andorra

Des d'AR+I es considera interessant iniciar una línia de treball enfocada al seguiment dels cabals del país. Molts dels estudis i línies de treball en zones de muntanya estan cada vegada més encarades als recursos naturals, al canvi climàtic i a la transició energètica. En aquest sentit, AR+I té l'encomana del Departament de Medi Ambient i Sostenibilitat per estudiar els cabals ambientals del país i la seva possible situació en el context de canvi climàtic. AR+I també es consultada freqüentment per mitjans de comunicació, Comuns i empreses privades en matèria d'aigua i canvi climàtic.

Per tot plegat, es considera oportú desenvolupar un butlletí d'indicadors i dades de cabals del país, basats en gràfiques senzilles i intuïtives que permetin mantenir el rigor de les dades i que alhora siguin de fàcil interpretació. Fins al moment, els gràfics i indicadors calculats s'han realitzat amb la sèrie hidrològica de l'estació SAIH Valira Borda Sabaté (A403), que presenta una de les sèries més llargues de cabal (2009-2022) i representa tota la conca del Valira a Andorra.

Per fer més robust aquest seguiment o poder-lo ampliar a altres estacions d'aforament andorranes és important, una vegada més, poder disposar de sèries de cabals fiables i el més llargues possibles. La millora de la xarxa d'estacions andorranes, focus d'aquest informe, serà també un benefici en aquest sentit.

A continuació, la Figura 6 presenta un exemple preliminar d'un dels indicadors que incorporaria un hipotètic Butlletí de cabals d'Andorra.

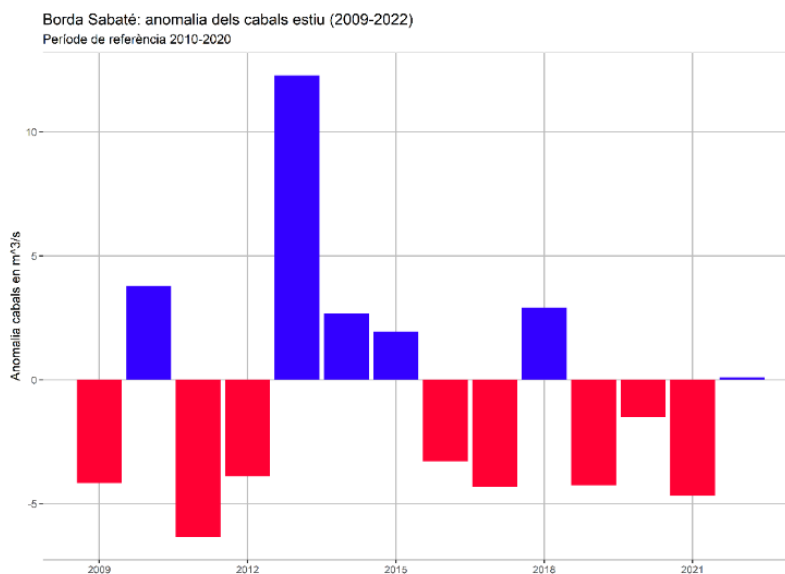


Figura 6. Anomalies de cabals estacionals (estiu) respecte al període hidrològic de referència

5. Conclusions

A continuació es fa un resum de les principals conclusions d'aquest informe.

- La qualitat de les dades de cabal és imprescindible per la gestió del país, tenint en compte que Andorra és una conca de muntanya, fortament antropitzada i emmarcada en un context de canvi climàtic i transició energètica.
- Respecte a l'avaluació de la ubicació de les estacions i millores proposades es recomana:
 - Mantenir les 3 estacions incorporades al SAIH (A401, A402 i A403) i iniciar converses amb la CHE per tal d'aconseguir, conjuntament amb el Departament de Medi Ambient i Sostenibilitat, garantir la qualitat de les dades proporcionades al SAIH. A més, es recomana que l'estació SAIH Valira d'Orient (A401) incorpori el càlcul del cabal a partir de les mesures d'alçada d'aigua.
 - Instal·lar una nova estació (veure Secció 3.1.1.1) dins la xarxa de Protecció Civil a fi de caracteritzar millor la conca del Valira del Nord.
 - Considerar l'estació Borda Sabaté de Govern prescindible sempre que s'asseguri que la CHE faci el seguiment i la validació de les dades de l'estació SAIH Valira Borda Sabaté (A403). Si és així, es recomana la reubicació del sensor en un tram de riu de secció fixa.
- Pel que fa a la revisió dels aixecaments topogràfics per la modelització del cabal es recomana:
 - Estudiar en cada estació la idoneïtat de la longitud modelitzada del riu aigües amunt i avall del punt de control (secció principal), i adaptar-la en cas de considerar-se oportú.
 - Conèixer el nombre de punts aixecats en cada secció transversal del riu per poder valorar l'estimació i la precisió dels cabals a partir de la corba de tarat. Una vegada conegut es podrà valorar la necessitat d'augmentar el nombre de punts mesurats.
- És interessant avaluar el funcionament dels sensors radar i la seva ubicació per obtenir dades d'alçada d'aigua fiables quan els cabals són baixos. Caldria revisar la geometria de cada tram de riu i avaluar la trajectòria de l'aigua en cabals baixos. Això permetrà adaptar la ubicació del sensor en funció de la trajectòria, en cas que es consideri oportú.
- Les corbes de tarat (o d'aforament) haurien de ser híbrides, i no sintètiques modelitzades, si es vol reduir l'error en l'estimació dels cabals a partir de l'alçada d'aigua, especialment per cabals baixos. De manera immediata es recomana la realització d'una campanya d'aforaments a totes les estacions de Protecció Civil a fi de construir noves corbes (híbrides) i obtenir també els cabals baixos; i l'establiment d'un programa permanent de mesures regulars (aforaments) a totes les estacions d'aforament i punts de control que permetin el manteniment

de les corbes de tarat de les estacions, la detecció de canvis en la relació alçada-cabal i la revisió continuada dels hidrogrames generats.