

ANÀLISI DE LA CRESCUDA DEL FRANCOLÍ DEL 22 D'OCTUBRE DE 2019

MEMÒRIA

1. OBJECTIU

La crescuda del 22 d'octubre de 2019 va causar grans estralls, especialment a la capçalera del riu Francolí i també als cascs urbans de L'Espluga i Montblanc (fig.1), així com a establiments a prop de la llera. Les afectacions van ser més fortes a la capçalera que les de la crescuda del 10 d'octubre de 1994. Sembla de gran valor enregistrar les informacions que el temps anirà esborrant, com ara nivells assolits per l'aigua, horari de l'avinguda, destrucció d'infraestructures (el pont de Vimbodí, per exemple) i obstrucció d'altres (el pont de L'Espluga o el pont vell de Montblanc).

D'aquí que l'objectiu de la proposta de la UPC a l'ACA del 20 desembre de 2019, origen del contracte menor CTN2000029 signat el 22 de gener amb termini de 4 mesos, ampliat en 2 mesos més degut a l'emergència de la COVID-19, ha estat:

- 1.- Entendre l'episodi del 22 d'octubre de 2019 i deixar-ne constància per al futur, enregistant-ne les dades que ens ha deixat i analitzant amb elles els aspectes hidrològics, hidràulics, fluvials i de risc d'inundació.
- 2.- Més concretament, sembla de gran importància per a la història hidrològica del riu: *a)* estimar el cabal (l'hidrograma), especialment a les poblacions esmentades, *b)* l'anàlisi del paper dels ponts, també els obstruïts o trencats, pel que fa als nivells de la inundació i als estralls, i *c)* comparar la superfície inundada per la crescuda amb les taques d'inundació associades a períodes de retorn segons la planificació de l'ACA.

2. TREBALL DE CAMP

Les sortides de camp per a visitar el riu Francolí van ser els últims dies d'octubre i els dies 6 de novembre de 2019 (principalment L'Espluga), 1 de desembre (Montblanc), 20 de gener de 2020 (la conca alta, amb Ivana Margalef i Joan March de l'ACA), 14 de febrer (conca alta i baixa, amb Joan March) i finalment els dies 20 i 21 de febrer. L'objectiu era primerament apreciar els estralls, més tard veure marques d'inundació i llocs d'interès i finalment fer l'aixecament topogràfic de les marques amb nivell i mira (20 i 21 de febrer).

De les mateixes persones de l'ACA (Ivana Margalef, Joan March) s'han obtingut moltes fotografies i vídeos de l'aiguat. A les visites, hem pogut parlar amb testimonis de molta importància, entre els quals cal destacar la família Creus (granja a la vora del barranc de Viern), la senyora del molí del Salt, els habitants del molí d'en Plaça, del molí de Can Guasch (fig.1), el veí de l'esquerra del riu Sec a prop del gual, el propietari del restaurant

Les Disset Fonts, el *maître* del restaurant El Molí del Mallol, la veïna de Vilaverd i els veïns de Cal Faldilles i Cal Cisquet a La Riba.

A més, per la realització del model digital del terreny, un altre treball de camp han estat les sortides i vols de dron. Els vols de dron, del nº 1 al nº 11 (taula 1), s'han executat per part de SORODRON el dia 12 de març de 2020, i del nº 12 al nº 18 (taula 1) els dies 10 i 13 de març per part de l'equip de la UPC. El següent capítol tracta d'aquesta activitat. Cal assenyalar que els canvis produïts pel temporal Glòria (21-23 de gener de 2020) a la llera del Francolí, respecte a l'octubre de 2019, no han estat gaire importants.

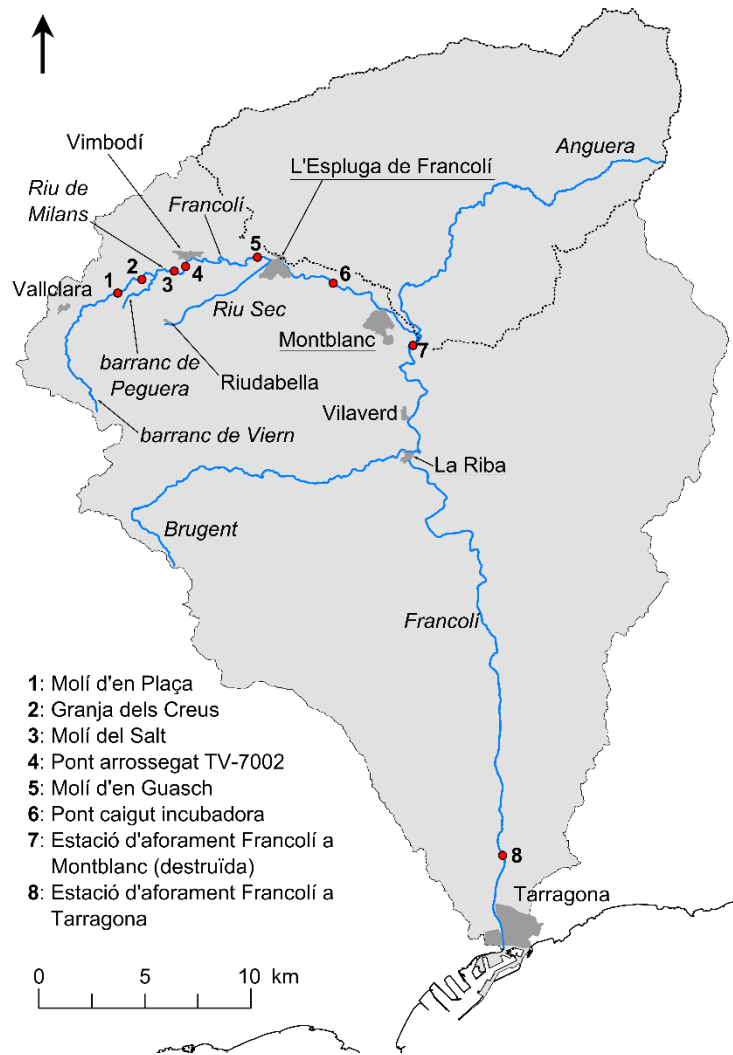


Fig.1. Conca del riu Francolí amb els topònims (poblacions, rius i barrancs) que apareixen en aquesta memòria. La resta de ponts i altres topònims que es citen a la memòria i no apareixen a la figura es troben dins dels nuclis urbans, ja citats al text. La línia discontinua delimita la conca del riu Anguera, que va contribuir molt poc a la crestruda del Francolí aigua avall de Montblanc.

3. MODEL DIGITAL D'ELEVACIONS (ampliació a l'annex 1)

S'ha dut a terme una campanya d'adquisició de dades del terreny amb dron per tal d'obtenir una topografia molt detallada de la zona. Els 11 vols de SORODRON (12 de març) s'han fet mitjançant els drons DJI INSPIRE 2 amb la càmera X5S i el dron DJI Mavic 2 Pro amb la càmera Hasselblad (taula 1). S'han planificat els vols a uns 100 metres d'alçada del terreny, obtenint una mida de píxel al terreny (o Ground Sample Distance, GSD) d'entre 2.2 i 2.35 cm/px amb els drons utilitzats. El vols planificats es resumeixen a la taula 1, on s'hi indica la distància i temps de cada vol, el dron utilitzat i el nombre de fotografies i vídeos: en total 20 vídeos i 2013 fotografies, de les quals 1905 s'han utilitzat per a les reconstruccions 3D del terreny.

Vol	Distància vol (km)	Temps vol (min)	Dron utilitzat	Nº fotografies	Nº vídeos
1	1.3	4	DJI Inspire 2	150	2
2	3	10	DJI Inspire 2	204	-
3	1.4	5	DJI Inspire 2	156	5
4	1.8	6	DJI Inspire 2	134	-
5	5.3	17	DJI Inspire 2	312	-
6	2.3	7	DJI Inspire 2	148	2
7	6.1	18	DJI Mavic 2 Pro	318	3
8	3	10	DJI Inspire 2	165	2
9	3.2	10	DJI Mavic 2 Pro	211	3
10	2	7	DJI Mavic 2 Pro	147	3
11	1	3	DJI Mavic 2 Pro	68	3



Taula 1. Vols de dron per SORODRON programats al riu Francolí des de La Riba fins a Vallclara; a sota imatge DJI Inspire 2 (esquerra) i DJI Mavic 2 Pro (dreta)

El processat fotogramètric consta de diferents etapes (fig.1bis): la primera és l'alineació de les fotografies a partir de les coordenades GPS que el dron registra a cada fotografia. El següent pas és la utilització de punts de control de coordenades conegudes per millorar la georeferenciació del model 3D que es genera. S'han utilitzat 1305 punts de control, 70 dels quals mesurats a camp amb un GPS-RTK, per georeferenciar tot al sistema ETRS89 fus 31N. Una vegada optimitzades les coordenades de les càmeres mitjançant els punts de control del terreny, es genera un núvol de punts 3D densificat, que consta d'uns 400 punts per m². El següent pas és fonamental per obtenir el que es desitja correctament: classificar del núvol de punts per filtrar la vegetació i decidir si es representen les edificacions i els ponts i viaductes.

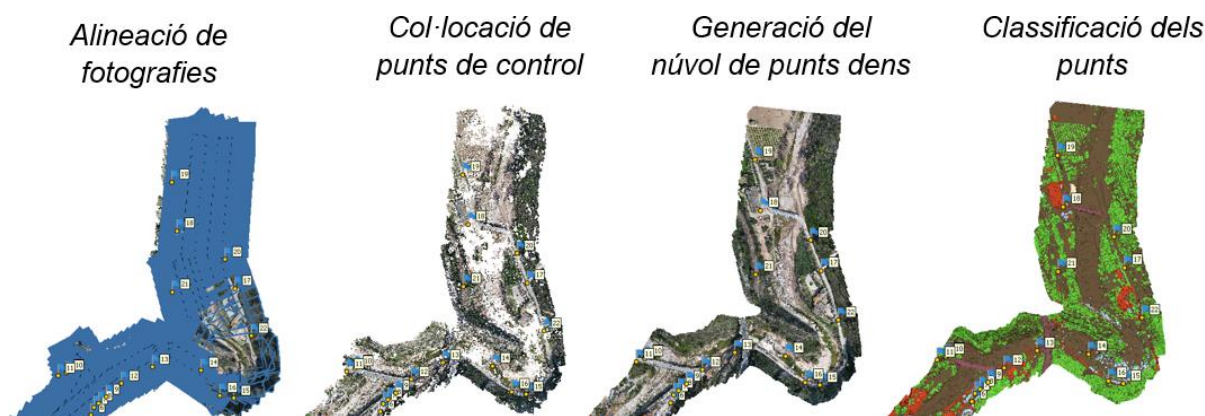


Fig.1bis. Les quatre etapes del processat fotogramètric

S'ha fet el processat de 18 vols de drons, a partir del qual s'han obtingut models digitals d'elevacions a una resolució d'entre 4 i 5 cm/px, i ortofotos entre 2 i 3 cm/px, tal i com es resumeix a la taula 2. També s'han processat fotografies del vol d'avioneta del ICGC posterior a la riuada, obtenint un model digital d'elevacions a 50 cm/px des de Montblanc fins a la desembocadura a mar.

VOLS PROCESSATS	Fotos (nº)	Fotos útils (nº)	Videos (nº)	GCP (nº)	Núvol de punts inicial (nº de punts)	Núvol de punts dens (nº de punts)	Classificat	MDE (cm/px)	Ortofoto (cm/px)
Vol 1	150	150	2	27	185*10 ³	291*10 ⁶	Si	4.3	2.1
Vol 2	204	190	-						
Vol 3	156	142	5						
Vol 4	134	118	-						
Vol 5	312	312	-						
Vol 6	148	133	2						
Vol 7	318	311	3						
Vol 8	165	165	2						
Vol 9	211	201	3						
Vol 10	147	125	3						
Vol 11	68	58	3		26*10 ³	Processat dins del DEM UPC			
Vol 12	372	372	-	38-rtk	158*10 ³	164*10 ⁶	Si	5.8	2.9
Vol 13	291	290	-	99	159*10 ³	165*10 ⁶	Si	5.8	2.9
Vol 14	501	501	-	56	254*10 ³	281*10 ⁶	Si	6.3	3.2
Vol 15	357	357	-	24-rtk	228*10 ³	242*10 ⁶	Si	4.5	2.3
Vol 16 i 17	462	462	-	55	285*10 ³	249*10 ⁶	Si	5.9	2.9
Vol 18	504	470	-	29	198*10 ³	134*10 ⁶	Si	9.9	4.95
DEM DRON UPC	2487	2452	0	301	1.285*10³	1.235*10⁶	Si	10	10
El DEM DRON UPC és un únic DEM amb tots els vols de dron de la UPC ajuntats en un únic DEM de 10 cm/px									
DEM AVIONETA 1	283	26	-	1305	62*10³	157*10⁶	Si	50	WMS
DEM AVIONETA 2	283	41	-	1305	62*10³	137*10⁶	Si	50	WMS
LIDAR ICGC	Descarregat, netejat, filtrat i MDE generat amb punts terra i edificis								

Taula 2. Taula resum dels resultats obtinguts. GCP vol dir punts de control en el terreny WMS vol dir mapes a través d'un servidor web. Les últimes línies es refereixen al vol del ICGC després de la riuada i a la cartografia lídar del ICGC.

A la fig.2 es mostra un exemple del que s'ha obtingut dels vols de dron programats i el corresponent tractament fotogramètric. En aquest ordre, veiem:

- a) el núvol de punts dens, d'uns 400 punts per m², degudament georreferenciat.

- b) el núvol de punts classificat: punts terra (marró), vegetació (verd), aigua (blau), viaductes i edificacions (vermell) i elements temporals i vehicles (blaus i grisos):
- c) els Model Digital d'Elevacions (MDE) d'entre 4 i 5 cm/px, degudament filtrat de vegetació i amb elements rellevants com edificacions, amb i sense viaductes.
- d) la ortofoto a una resolució d'entre 2 i 3 cm/px, permet la cartografia de detall.

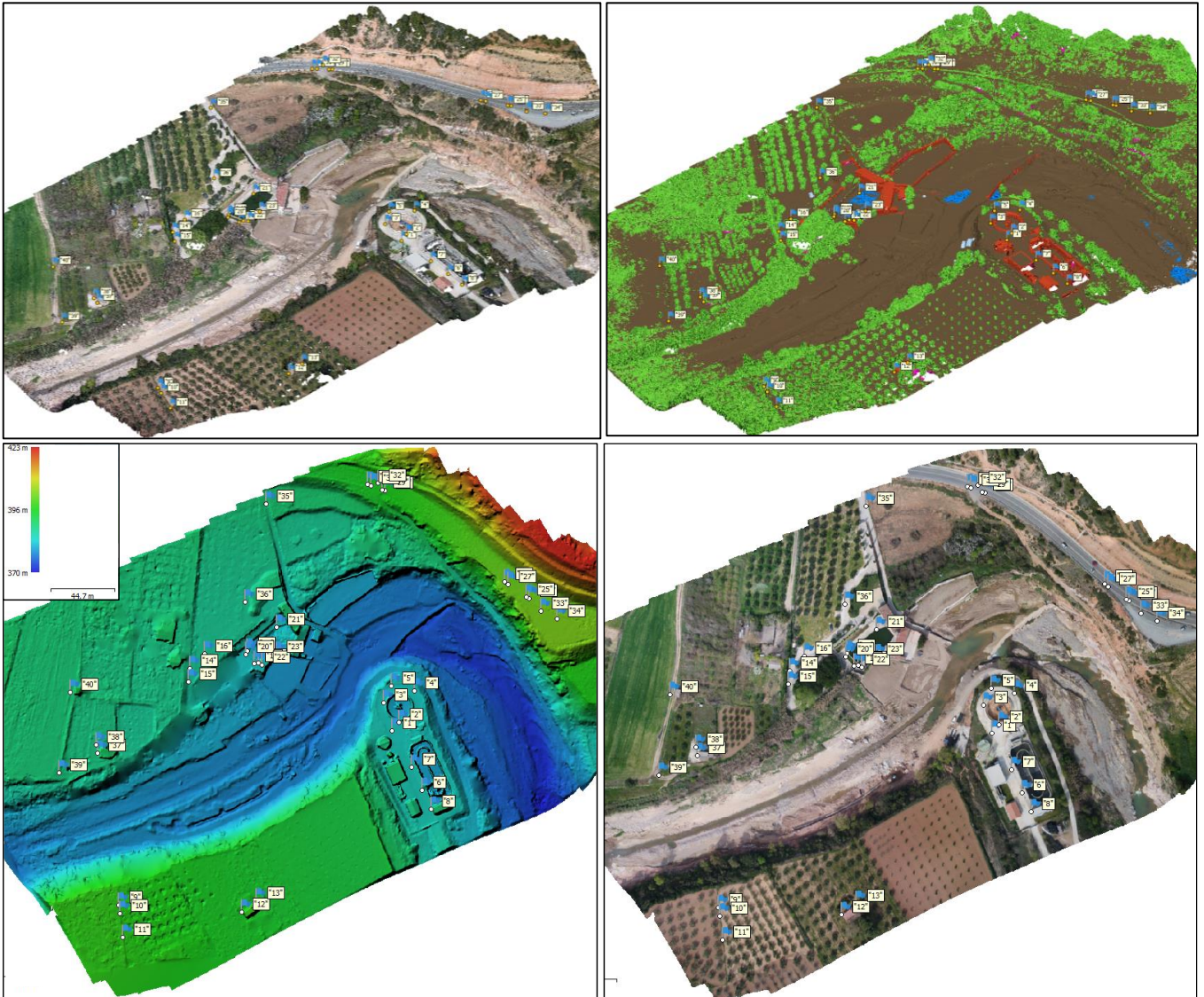


Fig.2. Exemple de les fases de treball fotogramètric. El lloc és el molí dels Frares, aigua avall de L'Espluga.

4. PLUVIOMETRIA (ampliació a l'annex 2)

Durant l'episodi del 22 al 23 d'octubre de 2019 es van registrar acumulacions de pluja importants a tot Catalunya (en una bona part del territori es van superar els 100 mm en 36 hores). Les acumulacions màximes, de gairebé 300 mm, es van produir a l'entorn de la conca del Francolí (fig.3a). A la conca, les acumulacions més altes es van registrar a la part alta de les subconques del Viern, el Peguera i el riu Sec amb intensitats de fins a gairebé 50 mm en 30 minuts al voltant de les 19:00 UTC (21 h oficial) del 22 d'octubre

(fig.3b). Va ser un episodi amb una gran variabilitat espacio-temporal, i a l'entorn de la conca bona part de la pluja va caure en unes poques hores.

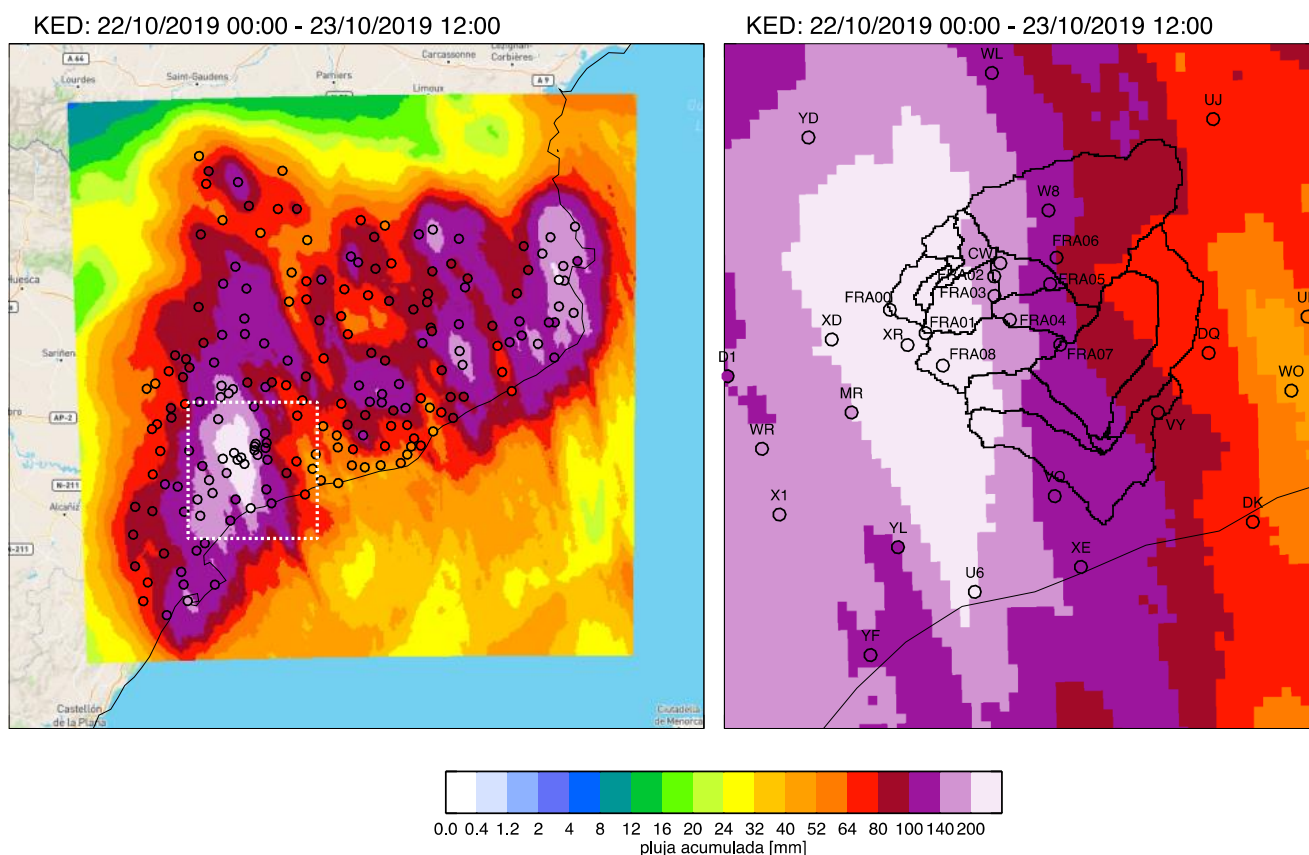


Fig.3. Acumulació de pluja estimada durant l'episodi (des del 22 d'octubre a les 00:00 UTC fins al 23 d'octubre a les 12:00 UTC, l'hora oficial es +2 h era horari d'estiu), a) Catalunya, b) conca del Franco; es dibuixa la línia de costa. Els cercles mostren els valors totals de pluja observada pels pluviòmetres (els codis i acumulacions de la figura b) es troben a la Taula 3).

En aquest tipus d'episodi, la resolució del producte de pluja radar (en aquest cas, d'1 km² i 30 minuts) s'adapta molt bé als requeriments d'un model hidrològic per una conca de la mida del Franco. Tanmateix, les estimacions de pluja radar utilitzades (el producte operatiu generat a partir de les observacions dels 4 radars de la xarxa del Servei Meteorològic de Catalunya) van subestimar les observacions de pluja d'aquest episodi en un factor al voltant del 30%.

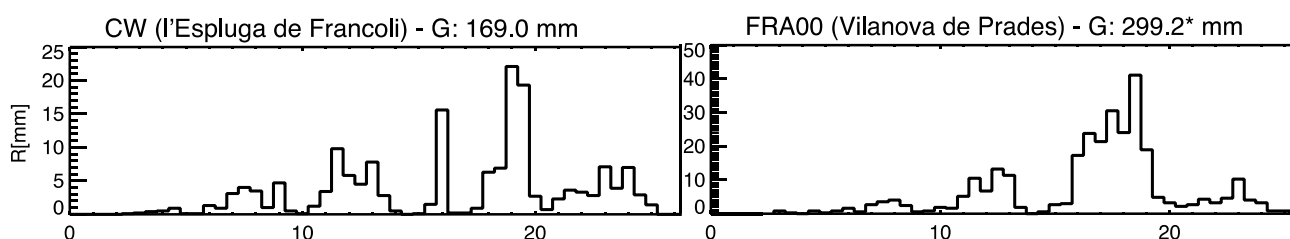
Com a alternativa, s'ha generat un nou producte de pluja amb la mateixa resolució que la pluja radar interpolant les observacions dels pluviòmetres disponibles a Catalunya amb la tècnica de *kriging* amb una deriva externa. L'avantatge principal d'aquest mètode és que es beneficia de les observacions puntuals de la variable d'interès (la pluja mesurada per pluviòmetres) i de la descripció de la variabilitat espacio-temporal del camp de pluja capturada per les observacions dels radars meteorològics.

Les observacions pluviomètriques utilitzades en aquest estudi són les dels 185 pluviòmetres de la Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques (XEMA) del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) i de 9 dels pluviòmetres de la xarxa de Meteoprades

(amb molt bona cobertura a la meitat oest de la conca, on es van produir les acumulacions màximes). En comparació a la XEMA, la xarxa de pluviòmetres de Meteoprades és heterogènia (diferents tipus de sensors) i la qualitat de les seves dades està menys garantida (l'SMC hi aplica un procés de validació).

L'anàlisi de la qualitat de les estimacions de pluja s'ha fet per validació creuada. Les estimacions no mostren biaixos significatius (inferiors al 2% de la pluja acumulada al voltant de la zona d'estudi). A més a més, aquesta anàlisi mostra el benefici d'afegir les observacions de Meteoprades a l'hora d'estimar la pluja a la conca, de manera que tots els indicadors mostren una millora significativa.

Codi	Emplaçament	Acumulació (mm)	Codi	Emplaçament	Acumulació (mm)
CW*	L'Espluga de Francolí	169	XD	Ulldemolins	219
D1	Margalef	136	XE	Tarragona	110
DK	Torredembarra	68	XR	Prades	295
DQ	Vila-rodona	74	YD	les Borges Blanques	167
MR	Pantà de Siurana	181	YF	Mont-roig del Camp	129
U6	Vinyols i els Arcs	201	YL	Riudecanyes	138
UH	El Montmell	54	FRA00*	Vilanova de Prades	299
UJ	Santa Coloma de Queralt	69	FRA01	Tossal de la Baldasana	240
VQ	Constantí	127	FRA02	Les Masies de Poblet	174
VY	Nulles	91	FRA03	La Pena	182
W8	Blancafort	118	FRA04	Rojals	166
WL	Sant Martí de Riucorb	119	FRA05	Montblanc	110
WO	la Bisbal del Penedès	48	FRA06	Guàrdia dels Prats	90
WR	Torroja del Priorat	146	FRA07	La Riba	110
X1	Falset	162	FRA08	Capafonts	232



Taula 3. Codi dels pluviòmetres al voltant de la zona d'estudi (fig.3) i acumulació de pluja mesurada del 22 d'octubre de 2019 a les 00:00 UTC fins el 23 d'octubre de 2019 a les 12:00 UTC. Els pluviòmetres amb codi FRAXX pertanyen a la xarxa de Meteoprades. *es presenten a baix els hidrogrames.

4. ESTIMACIÓ HIDROLÒGICA (ampliació a l'annex 3)

L'estudi de modelització hidrològica té per objecte estimar els hidrogrames de cabal líquid que es varen assolir a la conca del Francolí durant l'episodi del vespre del 22 d'octubre de 2019, en particular en la part més afectada per l'aiguat, que correspon a la part alta del riu Francolí, aigua amunt de La Riba.

Els hidrogrames líquids estimats en aquest estudi s'han obtingut aplicant un model hidrològic on s'ha imposat com a entrada el camp de pluja estimat a l'apartat anterior. Aquesta estimació d'hidrogrames pretén ser un complement que ajudi a entendre com varen ser les crescudes en els diferents torrents i rieres de la conca. El model hidrològic utilitzat en aquest estudi fa la funció d'explicar, a partir de la pluja que es va acumular a la conca, les crescudes que hi van tenir lloc.

Els registres dels dos aforaments que l'ACA disposa en el riu Francolí han servit de referència per ajustar el model hidrològic. L'estació de l'aforament de Montblanc va ser destruïda a l'iniciar-se la crescuda i la informació que aporta és petita. Així, l'hidrograma registrat a l'aforament de Tarragona (EA079, pràcticament a la desembocadura de la conca) és possiblement la informació més fidedigna, i ha estat la principal usada per ajustar el model. Addicionalment, s'ha tingut en compte la informació basada en testimonis i marques de la crescuda, incloent l'hora aproximada en què va tenir lloc el pic de crescuda. Com veurem, aquesta informació ha permès realitzar una estimació dels cabals punta. Aquests cabals i temps de pic també han estat utilitzats per ajustar el model hidrològic, en discussió amb els autors de les estimacions hidràuliques.

El model es basa en la subdivisió de la conca en subconques, de manera que els paràmetres hidrològics, i en particular la pluja, es puguin incorporar integrant la seva variabilitat espacial. A la zona de major interès per l'impacte d'inundació, que correspon a la capçalera del riu Francolí i la Serra de Prades, s'ha fet una subdivisió més acurada i l'àrea de les subconques es troba entre 10 i 30 km². A la resta de la conca, l'àrea de les subconques és superior, de l'ordre de 50-100 km². S'ha treballat amb una resolució temporal de 15 min. Com que la resolució temporal del camp de pluja és de 30 min, s'ha calculat la pluja 15-min replicant la pluja 30-min, és a dir, cada bloc de pluja associat a 30 min s'ha dividit en dos blocs 15-min amb la mateixa intensitat de pluja.

La fig.4 mostra la conca del Francolí amb la subdivisió en subconques i nodes utilitzada en aquest estudi. Els nodes han estat anomenats a partir del nucli de població més proper, excepte el primer node que correspon al punt de confluència entre el torrent de Peguera i el riu de Milans (que ja incorpora el torrent del Viern).

L'ajust dels paràmetres del model s'ha realitzat de manera iterativa, testejant diferents paràmetres i contrastant els resultats amb les referències, principalment l'hidrograma observat a l'aforament de Tarragona. Per tal d'aconseguir uns resultats satisfactoris, ha calgut considerar que alguns trams de llera tenen pèrdues per infiltració. Això ha estat particularment important a la conca del Riu Sec. Tanmateix, ha calgut definir una zonificació sobre la conca, de manera que les subconques associades a cada zona han estat tractades de manera diferenciada pel que fa al seu comportament hidrològic. Aquesta zonificació es mostra mitjançant colors a la fig.4 i els resultats a la taula 4.

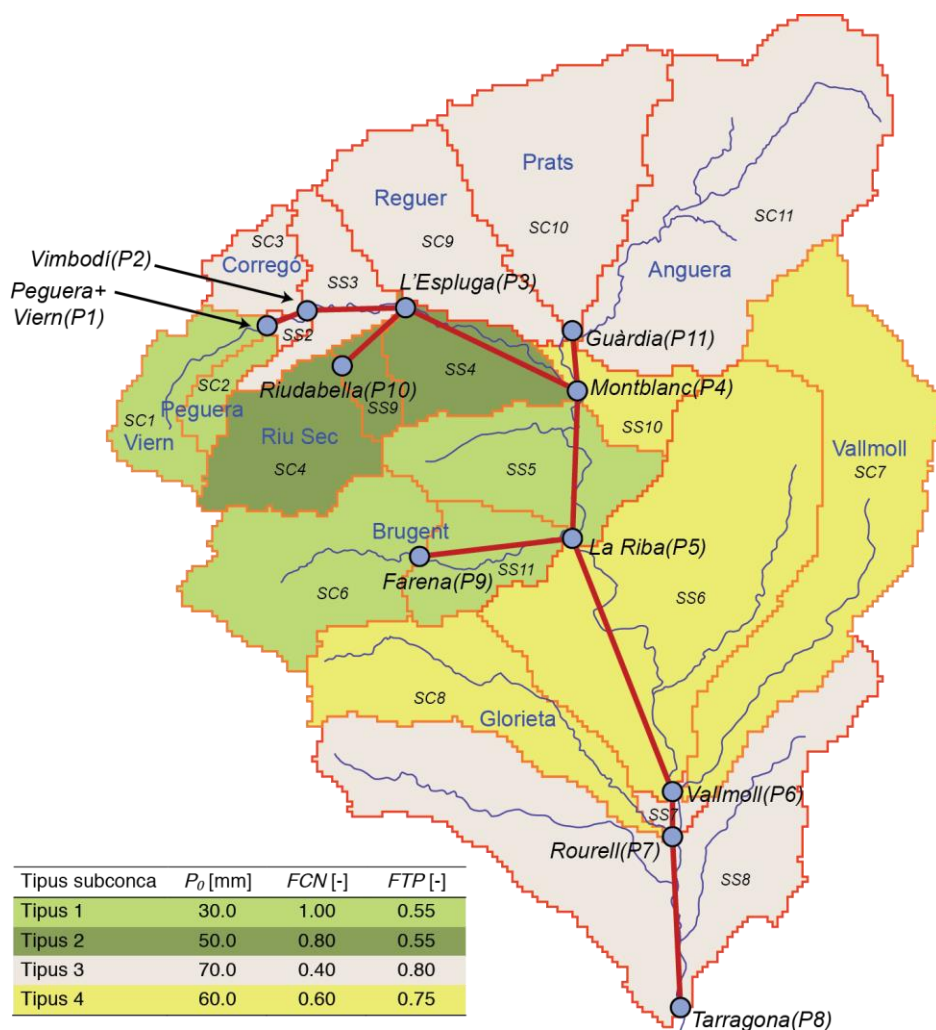


Fig.4. Esquema de divisió en subconques amb els corresponents nodes i trams utilitzats en la configuració del model hidrològic. Els nodes s'han identificat amb el codi P i les subconques amb el codi SC (si inclouen la capçalera) o SS (la resta). Per claredat, els noms del trams no apareixen. Es mostra la zonificació en 4 tipus de subconques amb els paràmetres assignats a cada tipus per l'aplicació del model del SCS (P_0 són les pèrdues inicials, FCN i FTP són factors correctors que s'apliquen sobre CN i T_c originals).

node	elements model	Àrea [km ²]	P_{total} [mm]	Q_{pic} [m ³ /s]	Q_{esp} [m ³ /s/km ²]	Temps pic [UTC]
Milans-Viern (SC1)	SC1	20.6	255	265	12.84	19:30
Peguera (SC2)	SC2	7.0	243	87	12.42	19:30
Peguera+Viern (P1)	SC1+SC2	27.6	252	351	12.73	19:30
Vimbodí-Corregó (SC3)	SC3	12.5	217	32	2.53	20:15
Vimbodí-Milans (P2A)	T(P1)+SS2	29.4	250	352	11.98	19:45
Vimbodí-conf (P2)	SC3+P2A	41.9	240	373	8.90	19:45
L'Espluga-RiuSec (P3B)	T(P10)+SS9	39.0	215	111	2.85	20:15
L'Espluga-Francolí (P3A)	T(P2)+SS3	60.5	226	391	6.45	20:15
L'Espluga-conf (P3)	P3B+P3A	99.5	222	502	5.04	20:15
Montblanc-Anguera (P4B)	T(P11)+SS10	224.8	109	32	0.19	22:00(02:15)
Montblanc-Francolí (P4A)	T(P3)+SS4	123.5	206	544	4.41	20:45

Montblanc-conf (P4)	P4B+P4A	348.3	143	544	1.56	20:45
LaRiba-Brugent (P5B)	T(P9)+SS11	68.5	195	478	6.98	20:15
LaRiba-Francolí (P5A)	T(P4)+SS5	386.7	141	588	1.52	21:15
LaRiba-conf (P5)	P5B+P5A	455.2	150	843	1.85	21:00
Tarragona (P8)	T(P7)+SS8	823.0	132	731	0.89	22:30

Taula 4. Resultats obtinguts en els nodes més interessants. L'hora oficial es 2 h més que UTC (era horari d'estiu). La segona columna pretén clarificar quines subconques entren en el càlcul a cada node. T(P) representa l'hidrograma simulat al node P, propagat fins al següent node aigua avall.

A continuació es mostren els hidrogrames simulats en els nodes de major interès de l'estudi, incloent l'hidrograma observat i simulat al punt final de la conca (Tarragona).

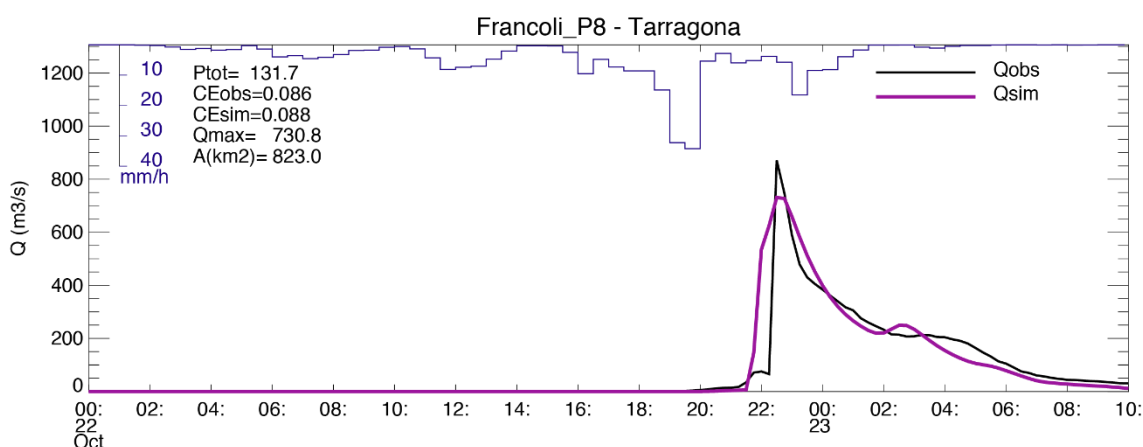


Fig. 5 Resultats de la simulació del model hidrològic al punt de l'aforament de Tarragona (EA079). Ptot: Pluja total de l'episodi [mm], mitjana de la conca aigua amunt [A[km²]]; CEsim: Coeficient d'escorrentiu mitjà per l'hidrograma simulat; CEobs: Coeficient d'escorrentiu mitjà per l'hidrograma observat. Qmax: Cabal pic de l'hidrograma simulat [m³/s].

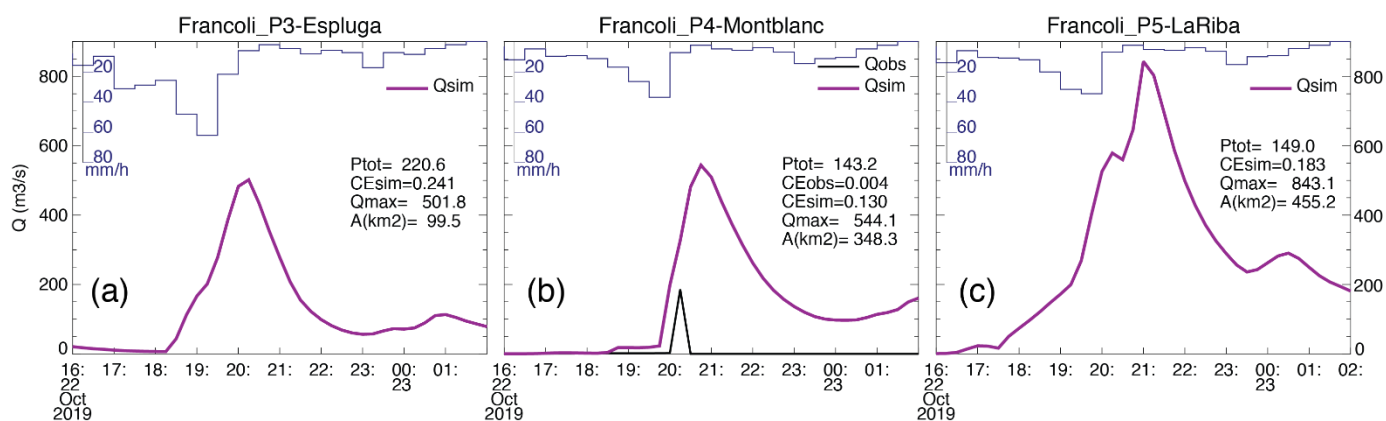


Fig. 6. Resultats de la simulació del model hidrològic als nodes: a) L'Espluga de Francolí, just aigua avall de rebre el Riu Sec; b) Montblanc, just aigua avall de rebre l'Anguera (estació d'aforament EA028); c) La Riba, just aigua avall de rebre el Brugent. La pluja total de l'episodi i els coeficients d'escorrentiu estan calculats des de les 0 hores del dia 22.

6. ANÀLISI DE L'ARROSSEGAMENT DE LA VEGETACIÓ (ampliació a l'annex 4)

A partir de l'ortofoto del vol d'avioneta de l'IGCG, poc després del 22 d'octubre, s'ha pogut delimitar el “terreny arrasat” per la crescuda, treballant a escala 1:1000 i arribant fins a La Riba (fig.7). L'ortofoto inclou la major part dels cursos fluvials de la part alta de la conca del Francolí, excepte dos trams rellevants: el curs alt del barranc de Viern i Peguera (lloc de la màxima pluja, fig.3b) i el curs alt del riu Brugent. Els afluents per l'esquerra, com l'Anguera, no van interessar a l'IGCG (gairebé no van créixer). El terreny arrasat és un continu al llarg de la línia Viern-Milans-Francolí i, en canvi, consisteix només en uns punts dispersos al riu Sec i al Brugent (a la part no volada en tindria més).

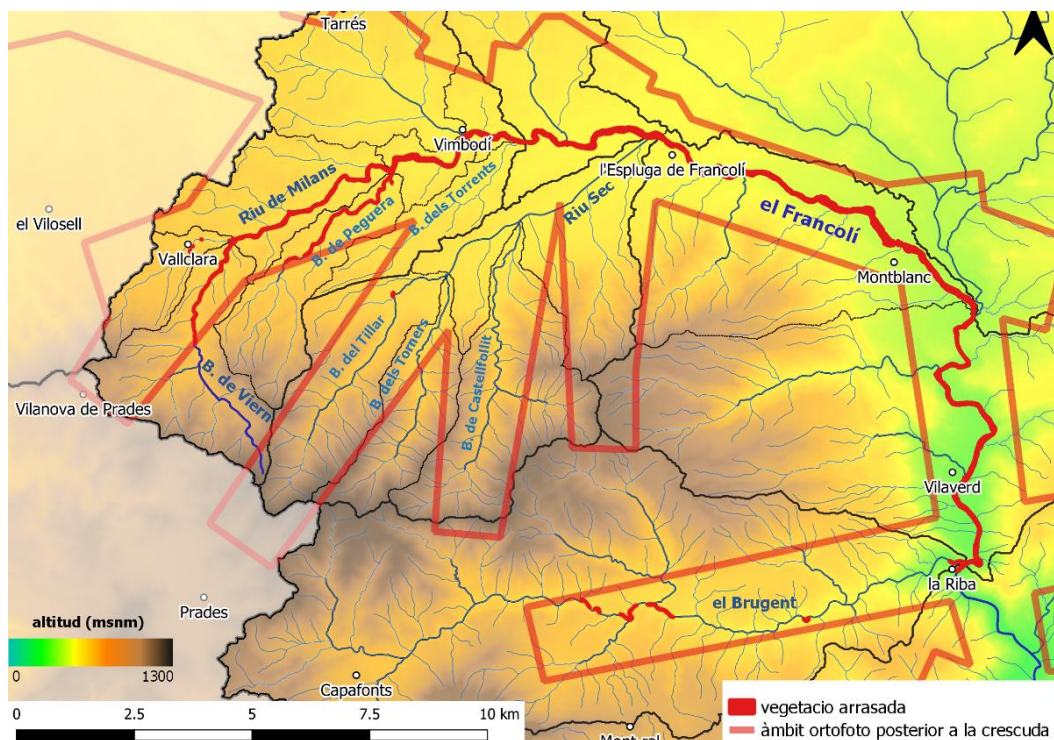


Fig.7. Àrea del vol d'avioneta i àrea arrasada. La toponímia pot no concordar amb altres figures.

Els resultats es donen a la taula 5. Gairebé van quedar arrasades 160 ha, entre conreus i terreny forestal, de les quals a la capçalera (Milans) són més de 40 ha i a l'eix del Francolí gairebé 110 ha, destacant força el tram de L'Espluga a Montblanc (56 ha). En els totals d'hectàrees, entre el bosc i els conreus llenyosos sumen gairebé 76 ha d'arbres. Al matollar, concepte molt genèric, que suma 65.6 ha, també hi pot haver arbres.

riu	conreus (ha)		forestal (ha)		total ha [‡]	n.arbres	vol.fusta(m ³)
	herbacis	llenyosos	bosc ribera [†]	matollars			
Milans	4.9	8.4	20.3	10.5	44.6	14400	4430
Sec	0	0.1	0	0.2	0.4	100	10
Milans/Torrents-L'Espluga	2.8	7.3	5.5	7.2	23.4	5300	1490
L'Espluga-Montblanc	8.6	4.5	15.2	27.7	57.4	12400	4470
Montblanc-La Riba	0.3	1.0	10.8	17.5	32.1	8700	3000
eix riu Francolí	11.7	12.8	31.5	52.4	112.9	26400	8960
riu Brugent	0.0	0.0	2.8	2.5	5.3	1800	660
TOTAL	16.6	21.3	54.6	65.6	163.2	42700	14060

Taula 5. Superfície en hectàrees arrossegada per la crescuda, per trams i distingint l'ús del sòl, nombre d'arbres i volum de fusta. [†]bosc de ribera s'ha d'interpretar més com una designació topogràfica (bosc a la riba del riu) que botànica, doncs s'hi troben molts pins; la categoria bosc no de ribera no s'anota separatament perquè suma unes xifres molt petites, la qual cosa no vol dir que a la capçalera no hi hagi hagut arrossegament d'arbrat de les vessants (pins molt sovint), ans al contrari, el pi és molt freqüent en les masses esbrossades als ponts. [‡]a més de la suma de les categories de la taula, a aquesta columna s'hi afegixen petites quantitats de prats i herbassars (forestal) que no val la pena consignar separatament; per això el total és una mica més gran que la suma de la fila. Els límits dels trams són: l'Espluga significa la confluència Francolí amb el Sec; Montblanc la confluència del Francolí amb l'Anguera i "Milans/Torrents" (que origina el Francolí) es la confluència del Milans amb el barranc dels Torrents situada 1km aigua avall de Vimbodí.

L'estimació del nombre d'arbres arrasats i del volum de fusta (taula 5), es fa amb uns ratis de nombre d'arbres per hectàrea (peus/ha) i de volum de fusta amb escorça per hectàrea, segons la taula 6. Resulten 43,000 arbres arrencats, que representen 14,000 m³ de fusta. En destaca la capçalera (Milans) i el tram de L'Espluga a Montblanc.

	conreus llenyosos	bosc ribera / no ribera	matollars	prats i herbassars
densitat (peus/ha)	220	500 / 1069	125	100
volum fusta amb escorça (m ³ /ha)	2	200 / 85	50	40
font	hipòtesi dades IFEC	hip.dad.IFEC / IFN3	hipòtesi dades IFEC	hipòtesi dades IFEC

Taula 6. Ratis pel càlcul del nombre d'arbres i volum de fusta. Les referències són l'Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya (IFEC), fent hipòtesis a partir de les seves dades, i la 3^a actualització del Inventari Forestal Nacional (IFN3). Els valors del bosc no de ribera són molt fiables ja que s'han obtingut dades de 57 parcel·les forestals de la zona, la resta (sobretot les dades del bosc de ribera) provenen d'hipòtesis. Segons la taula 1, les superfícies de bosc no de ribera i de prats i herbassars (forestal) són molt petites.

La matèria vegetal és força superior al volum de fusta amb escorça (perquè hi ha fullatge, branques, arbustos...). Les hectàrees arrasades de la taula tenen també una traducció en amplària de la petja del pas de la crescuda. La mitjana de l'amplària és gairebé 50 m, amb xifres menors (15-35 m) a la capçalera i xifres més grans (40-90 m) al curs principal del Francolí de Vimbodí a Montblanc.

7. ESTIMACIÓ HIDRÀULICA DELS CABALS

S'han emprat dues metodologies per a estimar els cabals a les diferents zones on s'han mesurat els nivells d'aigua assolits durant l'aiguat d'octubre de 2019. Als trams de capçalera, fora de nuclis urbans, on no hi ha ponts i els llocs de presa de nivells corresponen en la seva majoria a salts i caigudes, s'han fet simulacions hidràuliques amb IBER. Aquests salts sovint tenen una configuració en planta en forma de semi-cercle que fa molt adient la simulació bidimensional. En segon lloc, als nuclis urbans de l'Espluga de Francolí, Montblanc i La Riba, amb alta presència de ponts, sovint de geometria complexa, alguns molt propers entre ells, s'ha fet una modelació unidimensional amb Hec-Ras. Aquest programa té un mòdul específic de ponts que admet la introducció de

tota mena de geometries i permet tenir en compte, tot i que forma simplificada, la seva obturació per vegetació arrossegada. La simplificació que suposa el fet de fer servir una simulació unidimensional es compensa pel fet de poder incloure en les simulacions l'efecte, cabdal, dels ponts (i de la vegetació).

7.1. A LA CAPÇALERA (ampliació a l'annex 5)

La metodologia que s'ha seguit té una marcada component de recerca amb la qual cosa s'aplicaran mètodes diferents en funció de la zona que s'estigui estudiant. En primer lloc es recullen marques dels nivells assolits per l'aigua sobre el terreny. Això es fa a través de topografia GPS-RTK excepte en els llocs on la manca de cobertura fa que els nivells d'aigua sobre arbustos, arbres i altres elements es mesurin de forma relativa respecte el terreny. La topografia de referència per a les simulacions hidràuliques s'ha obtingut gràcies a 7 vols de dron, realitzats els dies 10 i 13 de març de 2020. La metodologia usada per a restituir les imatges preses amb dron és la mateixa que la que es detalla a l'annex 1. A més, es compta amb el model digital del terreny (MDT) de longitud de cel·la 2 m realitzat per l'ICGC. Aquest MDT, anterior a l'aiguat d'octubre de 2019, ens serveix per a analitzar els canvis topogràfics a la llera ocorreguts durant l'episodi.

Per a les simulacions hidràuliques s'ha utilitzat el model bidimensional IBER, amb el que s'han ajustat els cabals circulants a cada zona, permetent així una anàlisi exhaustiva de totes les conques de la capçalera del Francolí (Viern, Peguera i Milans). Els resultats són coherents i permeten de descobrir la gran quantitat d'aigua que va passar durant l'episodi. L'ajust dels cabals ha tingut en compte les diferències topogràfiques causades durant la crescuda. A més a més, la pèrdua de massa forestal durant l'episodi canvia (disminueix) la resistència al flux que presenta el riu. Tots aquests aspectes s'han fet servir per a la l'obtenció d'una forqueta de cabals en cada punt d'interès. Per exemple, per a la determinació del cabal màxim de la forqueta s'ha considerat la topografia post-episodi definida pel model digital del terreny del vol de dron. Les taques d'inundació resultants de les simulacions s'han comparat amb les estimades a partir de les imatges de dron. A aquesta aproximació general cal afegir-hi algun càlcul local per a avaluar el cabal mitjançant equacions bàsiques de la hidràulica (estrenyiments, vessadors).

En resum, en aquest estudi s'han utilitzat formulacions senzilles i bàsiques com l'ús de la fórmula de Manning-Strickler, però també s'han aplicat conceptes de rius d'alta muntanya i de fronts d'ona que són una mica més complexos. Tot això, conjuntament amb modelació hidràulica bidimensional, permet de quantificar els fenòmens que ocorren en episodis com el del 22 d'octubre de 2019.

La zona estudiada és d'alta muntanya amb pendents forts en tots els rius i amb salts d'alçada considerable amb relativa freqüència. Aquests salts són un punt interessant per analitzar el que va succeir ja que representen un control al flux (s'hi produeix calat crític). En aquesta zona de capçalera no hi va haver grans pèrdues d'infraestructures, com sí va passar a partir del terme municipal de Vimbodí. El que fa a aquest estudi interessant és que ha estat necessari descobrir a la zona d'estudi elements geomètrics que revelin

algun fenomen hidràulic: una caiguda, un arbre, un estrenyiment, un canvi de pendent, una gorja. Qualsevol element que destaquí per a la reconstrucció de l'episodi.

En particular, amb l'anàlisi d'un dels trams, es va determinar amb bastant precisió el coeficient de resistència al flux, limitant-ne la incertesa, per exemple, la conveniència o no de fer servir la resistència de pell (granular) com a coeficient de fricció. El coeficient va resultar 0.045-0.050, amb algunes desviacions majors (justificades) en alguns punts.

La producció de cabal a les diferents conques és bastant homogènia excepte a un conca que està formada per argila, on la producció és molt elevada. La producció mitjana es va acostar als $20 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, mentre que la conca en qüestió va assolir $50 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Tot i que aquestes diferències són importants, sembla tenir una explicació basada en les diferents característiques del terreny. Igualment, en aquesta conca es va dedicar un temps a proposar diferents possibilitats per a l'avaluació del cabal. En definitiva, es va demostrar que la producció, tot i ser molt elevada, sembla que és bastant correcta.

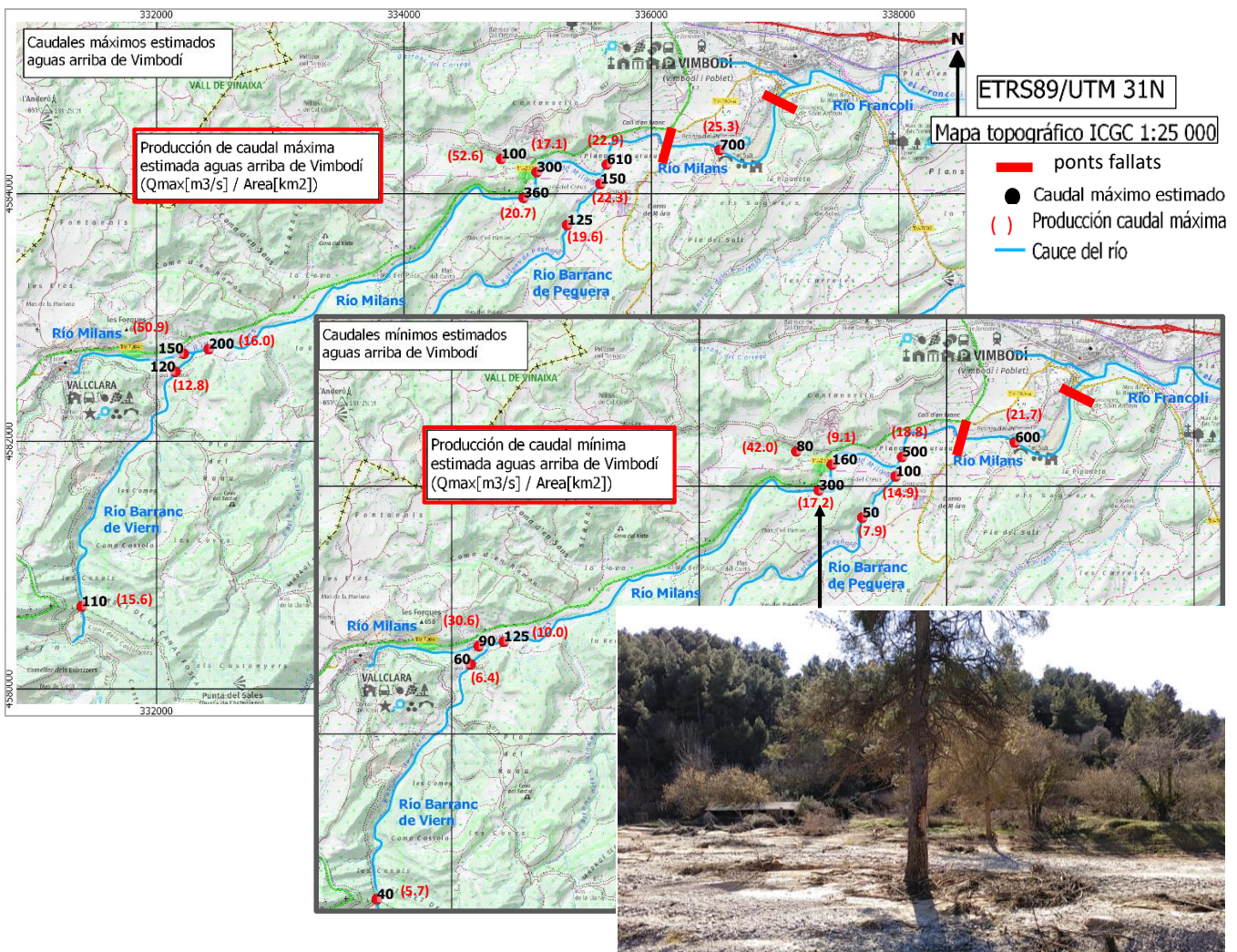


Fig.8. Anotació dels cabals (xifres en negre en m^3/s) sobre el mapa de la capçalera; al mapa de dalt s'anoten els màxims i al mapa de baix (idèntic) els mínims, d'una forqueta d'estimació. En segon lloc, anotació del cabals específics en $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ (xifres en vermell entre parèntesi), al mapa de dalt

els màxims i al de baix els mínims de la forqueta: Foto de l'arbre supervivent al centre del riu, amb ferides a l'escorça, a la granja dels Creus (300-360 m³/s)

Una altra conca similar és la zona alta del riu de Milans a Vallclara, on la producció també és elevada, de l'ordre de 50 m³/s/km². La conca de Vallclara es més rocosa, amb salts de roca a la llera, vessants amb força pendent i abundància de formacions rocalloses.

Com a resum de l'estudi es presenta la fig.8, que incorpora el rang del cabals (màxims i mínims) a cada punt i la producció respectiva. L'annex 5 aglutina tots els càlculs detallats que s'han realitzat per a determinar les forquetes de cabals resumits a la fig.8.

Els cabals es van avaluar al tram del riu de Milans, entre les confluències amb els barrancs de Viern i Peguera, gràcies a unes marques trobades en un arbre (foto fig.8). De l'anàlisi hidràulica es dedueix que el cabal màxim que va poder circular en aquesta zona fou 360 m³/s, que el coeficient de Manning va ser 0.050 i que el cabal que va arrencar els arbres va ser d'uns 115 m³/s, amb calats mitjans d'1.20 m. Finalment, s'ha analitzat el destaponament de l'ull del pont de l'Espluga de Francolí de forma aproximada amb la teoria de fronts d'ona (ídem al trencament pont TV-7002, annex 6).

7.2. A LES POBLACIONS MÉS IMPORTANTS (ampliació a l'annex 6)

Les estimacions de cabal es fan comparant les marques de nivell d'aigua enregistrades al treball topogràfic amb els resultats del model Hec-Ras, elaborat a partir del model digital d'elevacions. S'estudien en aquest ordre els casos de La Riba, Montblanc i L'Espluga, amb tres Hec-Ras. En totes tres poblacions la inundació va estar condicionada pels ponts, l'obstrucció dels quals l'endemà de la crescuda (segons fotos) s'hi introdueix com a correcció de flotants. També s'usen vídeos presos des dels ponts per a ajudar a l'estimació. La pèrdua de càrrega als ponts d'arc de mig punt (n'hi ha un grapat) es tracta de manera especial. El coeficient de rugositat de Manning bàsic (per defecte) es 0.050, però sempre s'explora l'efecte de més i de menys rugositat. Aquest efecte és normalment petit perquè el flux està en general a prop del règim crític.

A La Riba es determina el cabal màxim amb 3 marques d'inundació, tot i que una no resulta creïble finalment. Una complicació de La Riba és la desembocadura per la dreta del riu Brugent, que crea una zona de flux bidimensional (o fins i tot 3D) pel qual s'aprofita l'estudi de la UPC per a la PEF del Francolí (2005). Una altra marca, a la casa a prop del pont de Cal Cisquet, produeix la forqueta de cabals 740-870 m³/s, sent el menor en cas d'interpretar la marca com a energia (aigua en repòs) i sent el major si s'interpreta com a nivell d'aigua circulant. La fig.9a és el gràfic de nivell H (m.s.n.m.) vs cabal Q (m³/s) elaborat amb Hec-Ras i comparat amb la marca, un exemple de molts altres diagrames semblants d'estimació hidràulica del cabal a l'annex 6. És clar que a La Riba l'episodi de 2019 va ser de menys cabal que el del 10 d'octubre de 1994, 25 anys abans.



Fig.9. a) diagrama H-Q per a la determinació del cabal al pont de Cal Cisquet de La Riba; b) foto del flux des de marge esquerra i representació a Hec-Ras del tap per flotants de la cara aigua amunt del pont vell de Montblanc; c) molí de Can Guasch, patí a recer del riu, marca de 1994 (la veritable no és la de la placa) i marca molt més alta de 2019; d) imatge d'un vídeo en el moment d'un llampec del centre de L'Espluga, amb el pont a la dreta; e) el pont d'un sol ull, net l'endemà al matí, excepte els troncs a sobre del tauler.

A Montblanc es determina el cabal amb 4 marques. Una d'elles, a prop del pont del ff.cc., és crucial perquè l'aigua passa sota el pont en règim crític i això permet estimar amb certesa $695 \text{ m}^3/\text{s}$ com a cabal màxim. De l'obstrucció del pont vell s'ha fet una descripció acurada gràcies a fotos de l'endemà i, a més, una foto de la nit del 22 d'octubre mostra el flux predominant per l'estrep esquerre (el raval de Santa Anna, molt afectat per l'episodi). Es determinen dos cabals més, més petits que $695 \text{ m}^3/\text{s}$, però més incerts, gràcies a marques d'edificis inundats al raval de Santa Anna. Les marques a edificis acostumen a ser dobles, una a l'interior i l'altre a l'exterior, que no són mai iguals; depèn de la durada de la inundació i de les vies d'ingrés de l'aigua que una sigui més gran que l'altre. La inundació de Montblanc va abastar una amplada gran i l'endemà es va trobar força sorra, de manera que l'àrea es comporta com un petit embassament.

A L'Espluga i voltants es determina el cabal amb 10 marques que representen 6 seccions del riu. El molí de Can Guasch és un punt de mesura molt bo, perquè es coneix l'energia mitjançant la marca en un racó a recer del flux, i d'altra banda, per testimonis i fotos, el nivell d'aigua de desbordament per sobre d'un mur. Vàrem visitar la secció el 6 de novembre i el 20 de febrer vam fer la topografia de la secció transversal, que va concordar molt bé amb el MDE. Entre les dues dates no era apreciable cap diferència,

tot i haver esdevingut el temporal Glòria entre mig. Boscos i camps de fruiters van ser arrasats i els troncs flotants de les 10 de la nit picaven contra le portes del molí amb estrèpit. En aquest molí el càlcul amb Hec-Ras és ideal i dóna 775 m³/s.

Respecte al riu Sec, ha estat prou clar en les visites que la crescuda no havia desbordat ni inundat zones pròximes, ni tan sols havia fet mal a les motes de terra que l'endeguen. El càlcul amb Hec-Ras dóna 90 m³/s. Altres estimacions s'han fet pel mateix mètode a la Font Major (545 m³/s), al pont principal de L'Espluga (545-650 m³/s), al pont de la Palanca i al molí dels Frares aigua avall. Respecte al pont principal, els llampecs il·luminen l'escena dels vídeos nocturns (fig.9d). Al carrer de la banda esquerra, alineat amb el pont, completament submergit, un cotxe es va aturar i va filmar el pas de la crescuda. Aquesta informació, traduïda a nivell gràcies a un senyal de trànsit, ha estat clau per l'estudi d'aquest pont, a on el cabal es pot estimar entre 545 m³/s, si l'ull del pont es va obturar, i 650 m³/s si hagués estat tota la nit tan net com es veia l'endemà al matí (fig.9e). És més probable que es tapés i es destapés, violentament, única manera d'entendre els altíssims cabals al pont de la Palanca i al molí dels Frares.

A l'annex 6 també s'estudien el gual de Vilaverd, el pont de la Incubadora (perdut) i dos ponts fallats a Vimbodí.

8. SÍNTESI SOBRE LA NATURALESA DE L'AVINGUDA

La crescuda del 22 d'octubre de 2019 es va desencadenar per una pluja d'una intensitat i volum certament extraordinaris, concentrada en la capçalera de la conca del riu Francolí, sense oblidar l'afectació a les rieres de Les Garrigues. Les mitjanes de la precipitació van ser 206 mm als 123 km² aigua amunt de Montblanc (15% de la conca total del Francolí) i endinsant-nos en aquesta àrea, 255 mm als 20.6 km² del riu Viern, autèntic epicentre de tot plegat (només el 2.5% de la conca total) (annex 3). Un observatori (Vilanova de Prades, de la xarxa d'aficionats) va enregistrar 299 mm i un del Servei Meteorològic de Catalunya (Prades) 295 mm. La resta de la conca va contribuir molt poc a l'hidrograma a Tarragona. El gruix de la precipitació va caure de les 18 a les 22 h (hora oficial), especialment de 21 a 22 h, amb màxims d'intensitat en mitja hora de 80 mm/h.

Als documents de la Planificació de l'Espai Fluvial de l'ACA trobem les següents xifres de pluges màximes segons períodes de retorn. Pel quadre superior es va comptar amb 8 observatoris a l'interior de la conca i per l'inferior amb els 8 i 3 més al voltant. De la comparació es pot afirmar que les màximes quantitats observades a la capçalera el 2019 signifiquen un període de retorn de 500 anys o superior.

PLUVIÒMETRE	PRECIPITACIÓ MÀXIMA DIÀRIA (mm)				
	T= 5 anys	T= 10 anys	T= 50 anys	T= 100 anys	T= 500 anys
19- Vimbodí	94.4	115.9	174.0	203.9	288.1
22- Montblanc	81.9	100.6	151.1	177.1	250.2
19 - Vimbodí	92.9	112.6	170.9	204.2	309.3
22 - Montblanc	80.6	97.8	148.4	177.3	268.6

L'avinguda va recórrer el riu com una pujada de nivell sobtada d'uns 15 minuts de durada (annex 6), perquè també va baixar molt ràpid. Viatjava a uns 15 km/h, per bé que de L'Espluga a Montblanc sembla haver anat més ràpid. L'estació d'aforament de Montblanc va mesurar un cabal de 186 m³/s, per última vegada abans de fallar, a les 22:15. A La Riba, el Brugent va pujar fortament a les 21:30 abans de que vingués molt forta "l'onada del Francolí". Diuen que això els va salvar.

L'anàlisi hidrològica diu que el riu Milans (que recull el Viern com a principal afluent) hauria tingut una punta de 351 m³/s a Vimbodí i el Francolí abans de rebre al riu Sec a L'Espluga de 391 m³/s i després de rebre'l de 502 m³/s. A Montblanc la punta seria de 540 m³/s i, atès que l'Anguera dona una punta molt petita, a La Riba abans de rebre el Brugent seria de 588 m³/s. Després de rebre'l la punta seria de 843 m³/s, tot i que la del Brugent seria de 470 m³/s, afortunadament no simultània sinó anterior a la punta del Francolí. Els màxims hidrològics van creixent cap avall. D'aquí fins a Tarragona la crescuda no va rebre aportacions importants d'altres afluents. Aquests valors estan recollits a la taula 7.

Enfront d'aquests cabals hidrològics, els estimats a través de la hidràulica (taula 7) són sovint més grans. A la capçalera són molt més grans, fins i tot el doble, amb xifres força coherents obtingudes per dos grups independents i fent anàlisis diferents. A la resta, si no hi ha l'efecte de fenòmens transitoris, són més semblants, com passa a L'Espluga, Vilaverd i La Riba. Els màxims hidràulics no creixen necessàriament aigua avall. Un transitori originat al pont de L'Espluga és indefugible per explicar el cabal hidràulic al pont de la Palanca i al molí dels Frares i fins i tot a Montblanc. Al molí d'en Guasch també un transitori, o bé els fenòmens propis de la capçalera, poden explicar el cabal tan alt.

punt	T.M.	cabals planif.ACA		cabals hidràulics		hidrològics
		Q500	Q100	màxim	mínim	
Reunió torrents a Vallclara	Vallclara	99	46	200	125	-
Conca Viern	Vimbodí			460 [‡]	380 [‡]	265
Pont TV-7002 L'Espl-Vimbodí			244	123	700 ^{††}	600 ^{††} -640 [†]
Molí de can Guasch	l'Espluga	463	275	775*		391
Gual Riu Sec		370	223	90 [§]		111
Font Major		822	428	545		502
Pont L'Espluga				545-650		
Pont de la Palanca				> 1200**		
Molí dels Frares	831	435	900*		502	
Pont Vell	Montblanc	878	463	610-790		540
Resturant Molí del Mallol				695		
Nau industrial				620		
Gual Vilaverd	Vilaverd	1604	946	660		588
Pont Cz240 La Riba-Vilaverd				500-700 [§]		
Cal Faldilles	La Riba	1968	1050	715		843
Pont Cal Cisquet				740-870		

Notes

[‡] estimat com a suma de Granja dels Creus + torrent esquerra

blau - annex 6, amb Hec-Ras †† estimat al Molí del Salt § s'assembla al cabal Q10
 vermell - annex 5, amb Iber † estimat al pont de la carretera de Riudabella
 * probable influència d'un transitori
 ** influència d'un transitori § s'assembla al cabal Q50

Taula 7. Comparació dels cabals hidrològics i hidràulics d'aquest estudi i del cabals d'alts períodes de retorn de la planificació de l'ACA.

La discrepància entre hidràulica i hidrologia, havent descomptat els transitoris, no és pot dir, realment, sistemàtica amb aquests resultats, però sí sorprenent a la capçalera. Cal explicar-la per la naturalesa del flux carregat amb la vegetació arrossegada i en menor mesura, pensem, amb la càrrega de sediment. A diferència del cas de les riuades del Vallès del 1962, comparables per l'extensió, volum i intensitat de la precipitació, a les quals el sediment podia explicar la discrepància entre l'estimació hidrològica i la hidràulica, mentre el paper de la vegetació era menor, a la capçalera del Francolí el 2019 s'inverteixen els termes: és clar que la vegetació arrossegada és crucial mentre el sediment és, potser, secundari.

El més singular de la crescuda de 2019 és doncs l'arrossegament d'arbres. Per a una explicació intuïtiva del que va passar, presentem el croquis de la fig.10, inspirat en l'annex 4. L'amplària de riu lliure de vegetació es pot avaluar en uns 5 m, sent la vegetació i l'agricultura abundants a banda i banda. Sembla que en molts llocs, especialment a la capçalera, la roca calcària es troba a poca fondària per sota del material al·luvial del riu i les terrasses dels marges. Com si es tractés d'un *bulldozer* (imatge que devem a Carles Ferrer), la crescuda es va endur tot el que hi havia (terra, vegetació, al·luvial) deixant una petja d'uns 50 m d'amplària, a on es freqüent trobar la roca calcària despullada. Aquest fenomen no pot tornar a passar abans no torni a créixer el bosc arrasat, d'aquí a unes dècades. Per exemple, al temporal Glòria (gener 2020) el riu no va portar vegetació. També hi ha notícia d'una esllavissada a la conca del Brugent.

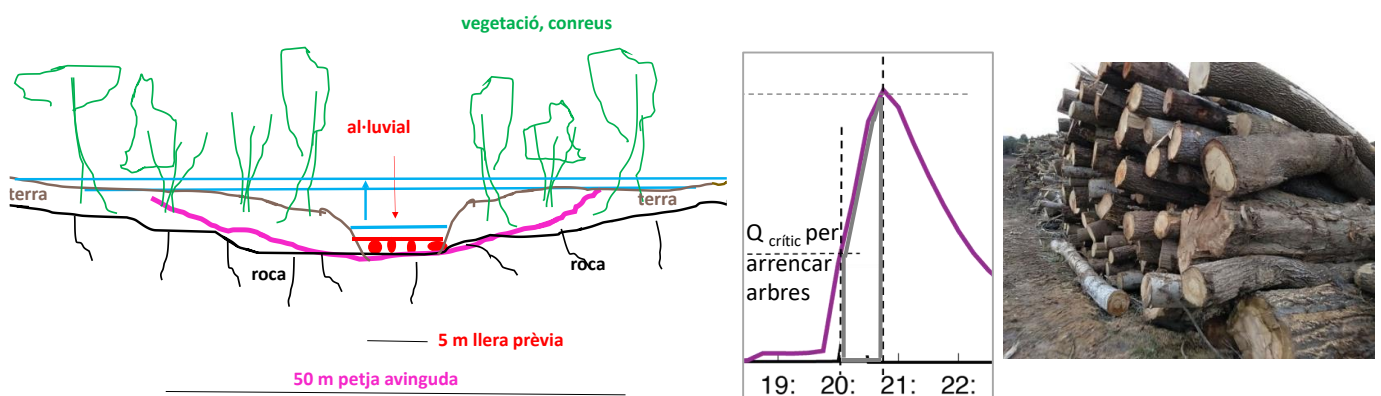


Fig.10. a) croquis explicatiu de l'arrossegament de l'avinguda com a acció de caràcter geomorfològic; b) criteri per a la fase d'avinguda amb arrencament d'arbres; c) exemple de les piles de troncs després de les esbrossades; el diàmetre de les soques va arribar a 1.5 m.

Els arbres són arrencats un cop superat un cabal de llindar o crític, com és 115 m³/s en la capçalera (vegeu annex 5) i continuen sent arrencats, suposant un bosc de ribera i no

de ribera sense límits, fins al cabal punta (fig.10b); aquesta part de l'hidrograma és la responsable de l'arrencament. Prenent l'exemple de la conca fins a Montblanc (fig.10b), el volum d'aigua d'aquesta part de l'hidrograma simulat és 890,000 m³ (annex 3), mentre al mateix temps el volum de fusta és 10,400 m³ (taula 5), la qual cosa significa un 1.2% de presència en volum de fusta en el flux (al Milans resulta un 0.4%, perquè la pujada de l'hidrograma és curiosament més lenta). A més de la fusta de troncs caldria considerar el branquem, les canyes i tota la bardissa. La influència d'aquesta massa en els nivells d'inundació no es pot negligir. Cap la possibilitat, a més, de que els troncs formin preses accidentals en el seu transport, com un fenomen intrínsec, sense topiar amb ponts (devem aquesta idea a Allen Bateman). Pensem que aquests fenòmens han d'explicar les estimacions hidràuliques tan elevades a Vimbodí (taula 7), sense descartar que localment la pluja fos encara superior a 299 mm (a una petita subconca la hidràulica indica un cabal específic 50 m³/s/km², fig.8), o que l'escolament en aquestes condicions ultrapassi alguna hipòtesi de la modelització hidrològica.

La crescuda ha tingut, per aquest motiu, un caràcter que en podríem dir "geomorfològic", en el sentit d'haver obert a la capçalera una llera d'unes dimensions molt més grans que les anteriors. Aquesta acció de denudació violenta d'un sistema de terra i vegetació potser no s'havia conegut d'ençà de segles.

Respecte als cabals de la planificació, són massa baixos a la capçalera, també per comparació amb els hidrològics d'aquest estudi, però són consistents amb els hidrològics a L'Espluga i Montblanc. Sembla clar que la manca substancial d'aportació de la gran conca de l'Anguera, fa que la crescuda sigui a tot estirar de 100 anys a La Riba.

9. SÍNTESE SOBRE L'EFECTE DELS PONTS (ampliació a l'annex 6)

Tots els ponts que interactuen amb l'aigua impliquen una elevació del nivell aigua amunt, anomenada sobreelevació (Δh , fig.11a), equivalent a la pèrdua de càrrega localitzada entre amunt i avall del pont. La magnitud de la sobreelevació depèn de la velocitat de l'aigua i del grau d'obstrucció, és a dir de l'àrea ocupada per les piles i estreps del pont en relació a l'àrea total del flux sense pont. Per tant, quan el pont atrapa flotants (fig.11b) augmenta l'obstrucció i la sobreelevació (l'aigua pot arribar a passar sobre del tauler i deixar-hi restes). Això s'ha vist repetidament en la crescuda del 2019, a causa de l'abundància de flotants, un dels seus trets més característics.

Però encara és més sorprenent un altre fenomen esdevingut i difícil d'observar en directe: si els flotants arriben a tancar significativament la llum del pont, és possible que el tap rebenti en algun moment per la pressió de l'aigua i en conseqüència surti transitòriament un cabal més gran (ΔQ , fig.11c) en forma d'ona que mai hauria existit en cas de no haver-hi pont. Aquesta ona es pot descriure també com una alteració superposada a l'hidrograma (fig.11d): un descens del cabal per causa del tap, amb acumulació aigua amunt, seguida de l'alliberament d'aquest volum en destaponar-se, en forma de ona. Els volum acumulat i alliberat són en principi iguals (si el nivell final no canvia respecte l'inicial). L'ona es lamina ràpidament perquè el seu volum és molt petit.

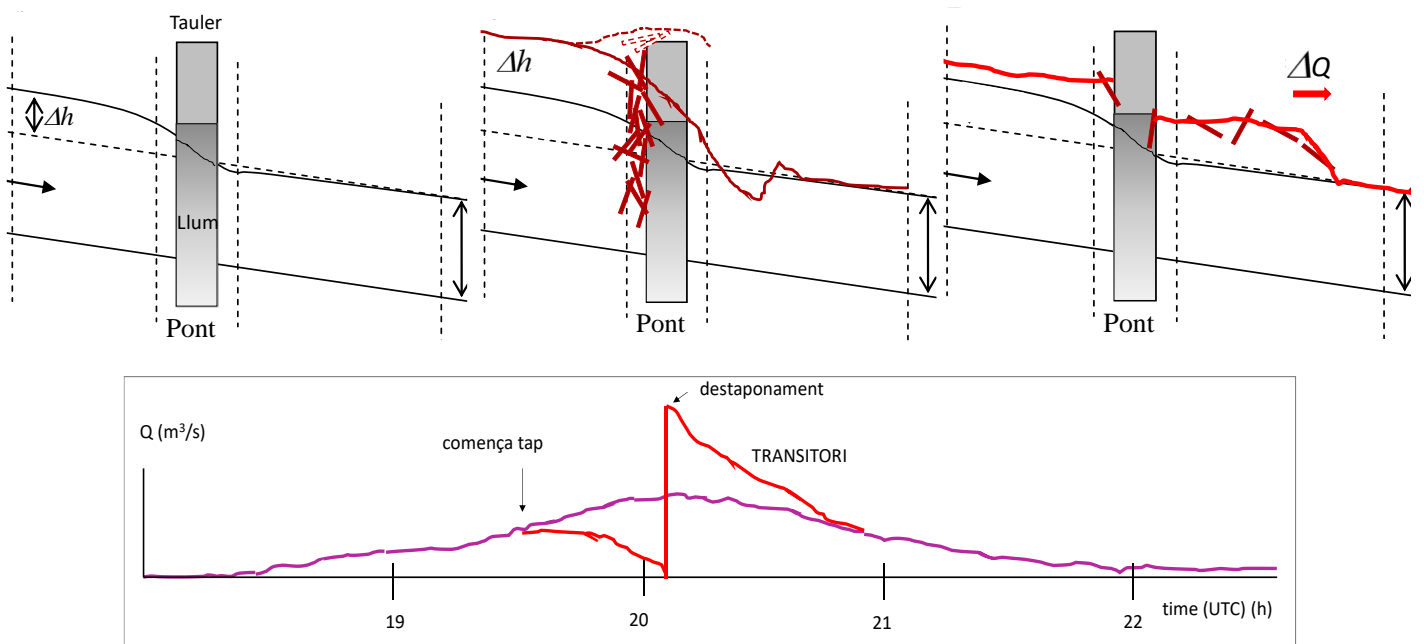


Fig.11. Esquemes de a) la sobrelevació ordinària a un pont, b) ídem en presència de flotants atrapats, c) instantànea del destaponament d'un pont que produeix una ona de més cabal i d) presència d'un pic transitòri a un hidrograma Q-t (de L'Esplugua), pel tap i el destaponament d'un pont; el fenòmen pot passar amb qualsevol cabal, no necessàriament el màxim.

Els ponts que han arribat a un estat de taponament agut (fig.1b) a l'octubre de 2019 han estat dos: **1) el pont** vell de Montblanc, i **2) el pont** de la C240z a prop de La Riba (carretera cap a Vilaverd).

Tots dos van quedar cegats com proven abastament les fotografies. Cap dels dos va patir destaponament violent cap avall. El dany pel taponament agut en termes d'increment d'inundació és curiosament moderat en els dos casos. Al pont vell de Montblanc, perquè la inundació està determinada pels ponts de ffcc i de carretera (fig.12b), molt a prop i en avall del pont vell (el dany al pont mateix, patrimonial, sí és substancial), i al pont C240z de La Riba perquè no hi ha habitatges (només una nau) a prop del pont. A més, si ens hi fixem bé, en tots dos casos el taponament ha contribuït a deixar francament lliures de flotants els ponts d'aigua avall més crítics per a la inundació de Montblanc (els de carretera i ffcc, fig.12a) i la inundació de La Riba (el de cal Cisquet). Per tant, ha estat un benefici que aquests dos ponts atrapessin els flotants, en comptes d'atrapar-los uns altres l'obstrucció dels quals hagués estat més danyosa.

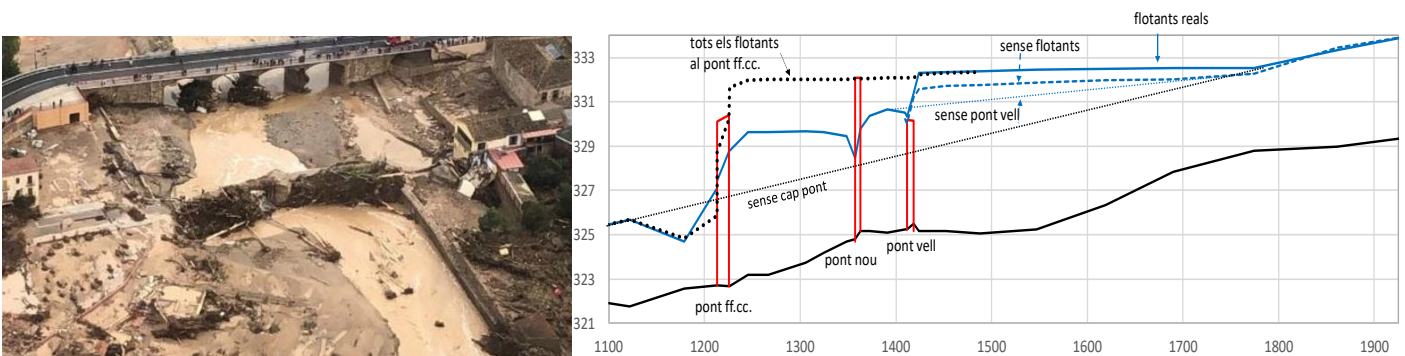


Fig.12 a) vista del pont vell “sacrificat” per a resguardar de flotants el pont nou; b) perfil d’Hec-Ras a Montblanc per a mostrar la influència del tres ponts i en particular del flotants al pont vell; al pont nou el flux no passa pel règim crític. Altres figures com aquesta per La Riba i L’Espluga es troben a l’annex 6.

A dos ponts més presumim amb bons indicis que va haver un taponament agut: **3) el pont** de la TV7002 a Vimbodí (fig.12b), i **4) el pont** principal de L’Espluga. No hi ha proves materials del taponament, perquè el primer pont ha desaparegut completament, amb estreps i terraplè inclosos (el trencament sobtat genera també una ona de cabal més gran cap avall, fig.11c) i el segon ha quedat intacte, fins i tot amb la llum perfectament neta de troncs i branques, que en canvi es van trobar massivament a sobre del tauler (fig.9e), desbordat. Aquest escenari del dia següent suggereix un destaponament sobtat.

A L’Espluga, el fet que l’aigua ho escombrés tot al pont de la Palanca (fig.12a), aigua avall, és indicatiu clar, a més de l’anterior, de que va haver un destaponament sobtat (fig.11c). A cap més pont va passar això el 2019. Els danys pel taponament agut a L’Espluga són nivells d’inundació alts a carrers i immobles dels dos marges (increment de 30 cm), que semblen però poc importants comparats amb els danys pel destaponament sobtat, que van ser tràgics per als cotxes que esperaven passar el riu a prop de la Palanca aquella nit. El trencament del pont de Vimbodí (fig.12b), similar pels efectes a un destaponament sobtat, podria haver estat originat per un taponament agut. Aquesta ona explicaria els cabals observats molt alts al molí d’en Guasch.



Fig.12. a) estat en que va quedar el pont de la Palanca; amb els cabals hidrològics, sense l’ona des del pont principal de L’Espluga, mai hauria passat l’aigua per sobre amb conseqüències fatals; b) pont antic de la TV7002 a Vimbodí.

Dos ponts més resulten molt sensibles als flotants, que els resten molta capacitat de desguàs: **5) el pont** de Cal Cisquet a La Riba, i **6) el pont** de ff.cc. a Montblanc. Aquests dos ponts són precisament els que es troben afavorits pel “sacrifici” dels ponts 1) i 2) aigua amunt d’ells, respectivament, a còpia de retenir ells els flotants. Al de La Riba, els flotants de 2019 han apujat el nivell gairebé 2 m. El de ff.cc. és un autèntic coll d’ampolla pel desguàs del riu a Montblanc (fig.11b). Aquest ponts són, per aquest motiu, els candidats a rebre inversions per a garantir i/o augmentar la capacitat de desguàs, eliminant-ne obstacles que poden atrapar flotants que els perjudiquen seriosament. A Cal Cisquet sembla que per a aconseguir-ho cal canviar el pont. Al pont de ff.cc. sembla més senzill obrir noves llums a través del terraplè del marge esquerre.

En comparació als sis ponts anteriors, els següents no tenen problema: 7) pont de carretera d'accés a La Riba, 8) pont de la TV2421 connectant Montblanc amb la N-240 i 9) pont de la Palanca a L'Espluga. Pel que fa al desè: 10) pont d'accés de carretera a Montblanc, entre el pont vell i el de ff.cc., tot i ser sensible als flotants, no dona grans problemes gràcies al "sacrifici" del pont vell.

La crescuda ha destruït dos ponts més, a part del de la TV7002 L'Espluga-Vimbodí: **11)** el pont de la carretera de Vimbodí a Riudabella i **12)** el pont de la Incubadora a mig camí entre L'Espluga i Montblanc. La causa de la destrucció del primer, una obra de desguàs més que un pont, igual que el de la TV7002, és insuficiència de desguàs, especialment davant de l'arribada de grans troncs que amb gran probabilitat el van taponar (observem que és el pont de més amunt, el primer que troba l'avinguda). El primer estava sent reconstruït amb dimensions semblants a les anteriors al març de 2020. La causa de la fallada del pont de la Incubadora sembla ser, igual que en el cas del pont de la Palanca, l'ona de cabal deguda al destaponament del pont principal de L'Espluga.

Una possible reconstrucció de les parts danyades del pont vell de Montblanc, que tingués en compte el seu efecte hidràulic, podria treure profit de la destrucció esdevinguda a l'estrep dret. Es podria deixar buit l'estrep, sense reconstruir, amb una passera lleugera de connexió amb el carrer de Montblanc que arrenca del pont.

Sobre la millora del pont de L'Espluga, sembla més important eixamplar el riu aigua amunt del pont, molt estretit per la carretera, la rotonda i fins i tot establiments com el celler arrasat la nit del 22 d'octubre, que no pas augmentar l'ull del pont o picar el salt de pedra (vegeu annex 6).

10. COMPARACIÓ AMB SUPERFÍCIES D'INUNDACIÓ (ampliació a l'annex 7)

S'han elaborat uns plànols, sobre la fotografia aèria presa per l'ICGC pocs dies després de la riuada, amb les seccions transversals i els nivells d'aigua assolits durant l'aiguat del 22 d'octubre de 2019. Els plànols incorporen la ubicació en planta de les seccions (línia negra) i la ubicació del punt on es va mesurar el nivell d'aigua (cercle blau). Es fa la hipòtesi (simplificadora) que la superfície lliure és horitzontal. La superfície lliure pot no ser horitzontal, sobretot en àrees en corba o on el riu presenti variacions espacials sobtades. L'abast en planta de la riuada s'il·lustra a través de la superfície de vegetació que fou arrasada per la crescuda (línia verda gruixuda). Per a donar una mica de context a aquestes superfícies, als plànols s'hi han afegit les línies d'inundació de la planificació hidràulica corresponents als cabals de 100 i 500 anys de període de retorn (Q100 i Q500) elaborades per l'ACA (àrees de color taronja i vermell respectivament). Les seccions transversals amb les cotes del nivell assolit a l'aiguat de l'octubre de 2019 incorporen també la cota, en aquestes mateixes seccions, de la superfície lliure associada als Q100 i Q500 (com abans, línies taronja i vermella en cada cas).

Cal remarcar en primer lloc que l'extensió de l'àrea arrasada per la vegetació no abasta tota la superfície inundada durant l'aiguat sinó només aquella porció on l'acció de l'aigua

va poder arrancar la vegetació. Això és ben visible, per exemple, al Molí de Can Guasch (fig.13), on l'aigua va inundar el camp situat sobre el marge dret però allí l'acció de l'aigua no va poder arrencar la vegetació. És per tant un mínim de la superfície que fou inundada durant l'episodi. A més, la poca presència de vegetació (sobretot a zones urbanes) pot portar a subestimar erròniament l'abast de l'aiguat. En definitiva, de cap manera es pot deduir el període de retorn de l'episodi per la simple comparació de la línia de l'àrea arrasada amb les línies de la planificació.

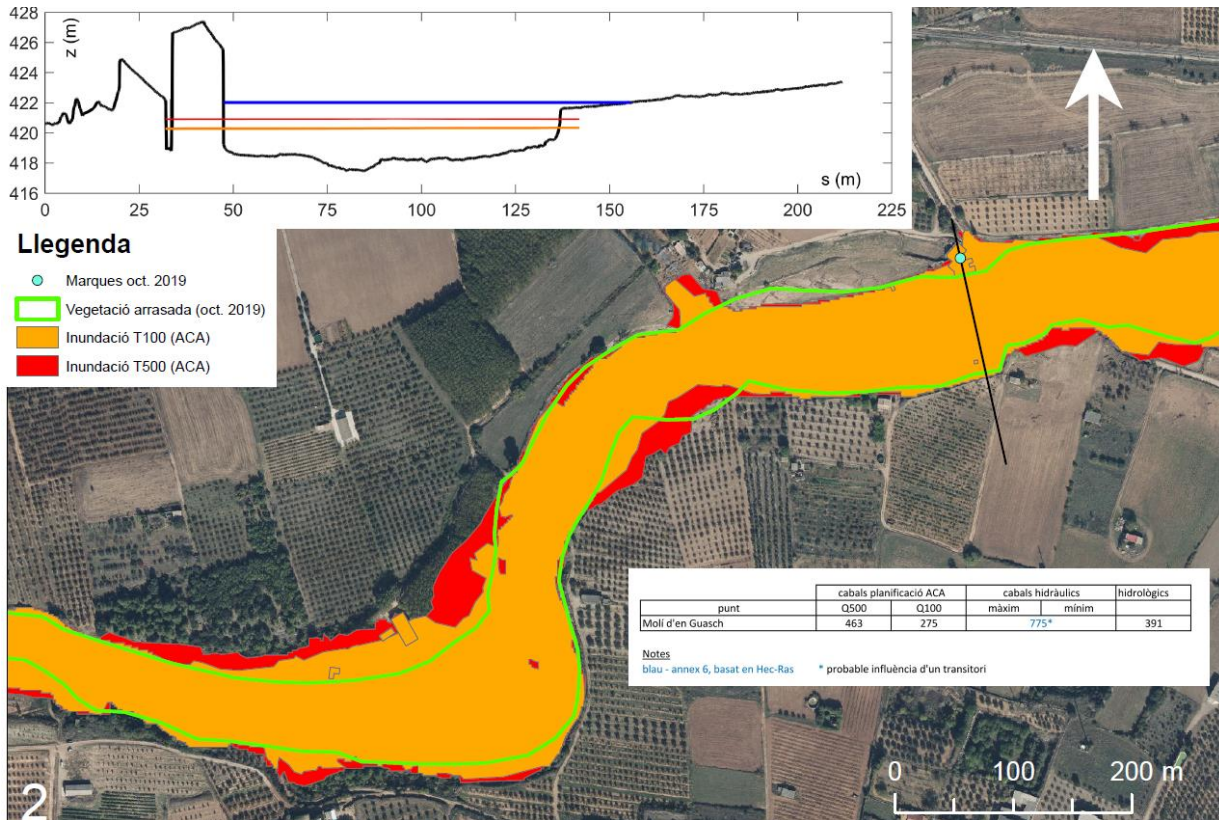


Fig.13. Mapa de comparació de superfícies d'inundació al molí de Can Guasch.

Els nivells d'aigua registrats a cadascuna de les seccions integren tota la complexitat de l'episodi. Són el resultat conjunt de processos hidrològics (transformació de pluja a escolament i transport dels hidrogrames generats al llarg dels rius) i també de processos hidràulics (rabeigs causats per la presència d'estructures, augments temporals de nivells ocasionats per fenòmens transitoris –trencament o destaponament de ponts-). També reflecteixen els efectes (incerts) que la vegetació arrossegada durant la creixuda podria haver tingut sobre els nivells d'aigua. Finalment, hem comprovat, tant durant les visites de camp com en gabinet, tot comparant la topografia del riu abans i després de l'episodi, que la llera en algun tram s'ha erosionat durant l'episodi. Si l'erosió del fons s'ha produït durant la fase d'ascens o descens de l'hidrograma és una incògnita. Una simulació simplificada (règim uniforme) ens diria que la capacitat de la secció augmenta amb l'erosió del fons, és dir que majors cabals serien necessaris per assolir els nivells registrats. Tanmateix, la circumscripció d'aquesta erosió al centre de la llera (on la tensió sobre el fons és major), dins d'una amplada relativament petita en comparació amb la

superfície inundada porta a pensar en un efecte menor del canvi en la posició del fons del riu.

Aquests darrers fenòmens (transitoris per trencament de ponts i “arrossegalls” de vegetació) no s’han tingut en compte en la modelació per a la planificació hidràulica de l’ACA. A més, hi ha seccions amb nivells d’aigua obtinguts on la comparació amb la superfície lliure associada als Q100 i Q500 pot donar lloc a interpretacions confuses degut a la seva proximitat a rescloses o a altres estructures que en condicionen el resultat (per exemple la mesura a la nau industrial del polígon de Montblanc, al c. dels Boters, on una resclosa adjacent fa que els nivells associats als Q100 i Q500 quedin molt per sota que els registrats durant l’aiguat -sent que el cabal màxim durant l’episodi en aquest punt s’ubica entre les dues xifres anteriors-). La memòria i els annexos que l’acompanyen, en especial els annexos 5 i 6, contribueixen a interpretar els plànols següents.

11. RECOMANACIONS

Com hem vist, la crescuda del 22 d’octubre de 2019 a la capçalera del Francolí va ser excepcional, sobretot per l’arrancament de vegetació i arbres. És improbable que torni a passar el mateix fenomen al mateix racó de Catalunya, també perquè caldran dècades per a que es torni a reconstituir un bosc i agricultura com les arrasades a l’octubre. Tanmateix, val la pena explicitar les lliçons apreses d’aquest episodi com a exemple d’interès general, abans de fer les recomanacions per a les poblacions del Francolí.

Hi ha força indrets de muntanya o mitja muntanya de Catalunya ben forestats, que són capçalera de conques més grans, densament habitades a les planes. A més, aquests indrets sovint són a les estribacions de serralades exposades a les llevantades. Sense anar més lluny, les conques del riu Sec o el Brugent, afluents del Francolí, en són un exemple i no oblidem que el 10 d’octubre de 1994 a la capçalera d’aquest últim va ploure també 300 mm (i més) en poques hores. Aquesta vegada ha estat el Viern, però altres subconques de molts altres rius de Conques Internes podrien patir un fenomen semblant.

Pensem que la planificació faria bé d’identificar els indrets propicis a un episodi com el de l’octubre passat per la coincidència de relleu, règim meteorològic, forestació i densitat de població en les conques més grans aigua avall. Llavors, en la seva planificació hidràulica, i en estudis d’inundabilitat concrets, es podria considerar la incorporació de massa vegetal durant episodis de cada període de retorn. Això succeeix un cop s’ultrapassa el llindar de força necessari per a arrencar un arbre, que es pot estudiar com s’ha fet al Viern. Aquest complement als estudis habituals, pot introduir un nou concepte de gestió del bosc de ribera, en el sentit de permetre accions de limitació de la densitat i de control de les espècies que són arrencades amb més facilitat. En aquest sentit, és sorprenent quants pins han baixat en aquesta avinguda.

També té sentit una altra mesura, que pot ser alternativa a l'anterior si es vol evitar qualsevol gestió del bosc de ribera. Es tracta de col·locar estructures a la llera del riu, consistents en una base de formigó enterrada i unes pues de formigó sortint a la manera d'una pinta. L'objectiu és que la vegetació arrencada hi quedi retinguda. Cal triar llocs on l'increment de nivell d'aigua per la presència de l'estructura, farcida de flotants, no faci mal a ningú. Aquesta idea ja és d'ús corrent davant de rius torrencials d'alta muntanya per a aturar els grans blocs. Caldria netejar-les després de cada riuada, però evitarien el tap a ponts sensibles a les poblacions aigua avall, evitant per tant mals majors.

En tot cas, en els estudis d'aquest riu més sensibles caldrà també considerar l'efecte de la vegetació als ponts. Caldria identificar quins ponts són susceptibles de patir taponaments i, tal com s'ha fet als ponts de l'Espluga, Montblanc i La Riba, analitzar els efectes que l'acumulació de vegetació podria tenir sobre la inundació. Passant de la planificació i la visió general al cas del Francolí de resultes del 22 d'octubre, podem recomanar:

a) que les obres de drenatge, de desguàs i els ponts tinguin en compte el pas de troncs; això no és cap novetat en la pràctica de les recomanacions de l'ACA; evitar, per la urgència de la reconstrucció, repetir les mides d'un desguàs anterior, que s'ha demostrat insuficient i de vegades danyós.

b) que als càlculs de l'efecte dels ponts en les inundacions es prengui en compte l'acumulació de vegetació arrencada, servint el cas de 2019 com a model; que també s'intenti avaluar el risc de destaponament violent.

c) que s'augmenti la capacitat de desguàs del pont Cal Cisquet a La Riba i del pont de ff.cc. a Montblanc, tots dos crítics. Aquesta vegada no han fet més mal perquè altres ponts "s'han sacrificat per ells". A Cal Cisquet sembla que per a aconseguir-ho cal canviar el pont. Al pont de ff.cc. sembla més senzill obrir noves llums a través del terraplè del marge esquerre. Recomanem substituir l'estrep dret del pont vell de Montblanc per una passera lleugera.

d) sembla que per a la millora del pont principal de L'Espluga seria més efectiu augmentar l'amplada aigua amunt, molt restringida, que no pas afegir-hi un altre ull o picar el salt de pedra. Aquest cas justifica amb escreix un estudi de detall.

e) incorporar les avingudes concretes, en particular la de 2019, en els mapes d'inundabilitat; seria lògic que les línies d'inundabilitat fossin una envolupant d'aquestes dades concretes i els càlculs amb models hidràulics, sobretot perquè les sèries de dades hidrològiques de les quals neixen els càlculs són curtes. Per allà on l'aigua ha arrasat habitatges, cas del raval de Santa Anna a Montblanc i del celler de L'Espluga, caldria no tornar a construir.

f) enderrocar els ponts inservibles, abandonats o redundants un cop feta una variant, perquè el seu trencament pot fer mal (cas del pont de la TV7002 a Vimbodí).

g) donar valor a la xarxa d'observadors de Meteoprades, molt útil en aquest estudi.

h) assenyalar amb plaques els nivells d'aigua assolits durant l'avinguda de l'octubre passat als llocs més significatius: Molins de Can Guasch i dels Frares i la Font Major a l'Espluga, Raval de Santa Anna a Montblanc, pont de Cal Cisquet a La Riba. Mantenir les plaques actuals de l'aiguat de 1994 en aquests punts.

Barcelona, 20 de juliol de 2020

EQUIP DE TREBALL DE LA UPC

Les persones de la UPC que han contribuït a aquest treball i n'han escrit els annexes (i les parts de memòria corresponent) són per ordre d'aparició:

Roger Ruiz Carulla (Model Digital d'Elevacions), Marc Berenguer Ferrer i Carles Corral Alexandri (Pluviometria i Estimació Hidrològica, respectivament), Arnau Prats Puntí (Arrossegament de la Vegetació), Allen Bateman, Raúl Sosa, Blanca Marín i Santiago Gómez (Estimació de Cabals Capçalera) i Carles Ferrer Boix i Juan P. Martín Vide (Estimació de Cabals Poblacions, Comparació Superfícies Inundació i Síntesi). L'últim ha fet les tasques de coordinador.

AGRAÏMENTS

De l'Agència Catalana de l'Aigua, Sandra Ruiz Navarro, Eva Crego Liz, Juan José Villegas (per les dades de les estacions de aforament), Francesc Benet (delegat Tarragona), Ivana Margalef i Carlos San Vicente (Tarragona) i molt especialment Joan March (anterior guarda fluvial).

Gràcies als observadors meteorològics Eduard Marimon (xarxa Meteoprades), Robert Anglès, Neus Jàvega, Josep Bonet Isla, Zacaries Sobreperere i Josep Antoni Peramos (Fons Signatus, monestir de Poblet). Pilar Lara Castillo y Jordi Escoda, i contactant amb tots ells, gràcies a Hug Texidó Amadó. Gràcies a les observacions de Joan Ódena veí de L'Espluga, Víctor Bertolín de Montblanc, Elvira del Molí del Salt, i altres persones els noms de les quals no els hi vam demanar.

ANNEXES