

Jornada "La gestió de les inundacions"

Síntesi de les ponències



27 i 28 de novembre de 2013

Sala d'actes dels Centre d'Estudis Jurídics i Formació Especialitzada del
Departament de Justícia (Barcelona)

Organitzadors:

Departament de Territori i Sostenibilitat, Agència Catalana de l'Aigua i Institut Geològic de Catalunya.

Col·laboradors:

Centre d'Estudis Jurídics i Formació Especialitzada, Direcció General de Protecció Civil, Servei Meteorològic de Catalunya, Ministeri d'Agricultura i Medi Ambient, Menéndez & Asociados Abogados, Ajuntament de Rubí, Universitat Politècnica de Catalunya, Universitat de Lleida, HQA, Instituto Geológico y Minero de España, Museo Nacional de Ciencias Naturales, Universitat de Barcelona, Consorci de Compensació d'Assegurances, Ajuntament d'Arenys de Mar, Associació Professional d'empresaris de càmpings i ciutat de vacances de Lleida Província.

Per a la realització de la jornada s'ha comptat amb la participació de tot un seguit de persones de l' Agència Catalana de l'Aigua: Ll. Godé, A. Gracia, C. De la Muñoz, M.A. Vera; de l' Institut Geològic de Catalunya: J. Fleta, M. González, I. Jaquès, R. Micó, P. Oller, J. Pinyol, E. Pujal, J. Pujol, E. Selfa, M. Tarragó, L. Trabal i del Centre d'Estudis Jurídics i Formació Especialitzada del Departament de Justícia: C. Bastarós i R. Oriach.

Índex

Presentació	6
--------------------------	---

Normativa inundacions

- La Directiva 2007/60 de evaluación y gestión del riesgo de inundación	9
- La normativa catalana i les inundacions	14

La regulació dels usos a zones inundables

- L'experiència de la Confederació Hidrogràfica del Xúquer	18
- Les inundacions als plans urbanístics: un plantejament de base, o unes restriccions a posteriori	22
- Model de gestió de les infraestructures al voltant de la riera vinculades al Pla d'ordenació urbanística municipal de Rubí	26

La delimitació de zones inundables

- Coordinació administrativa per a la delimitació de zones inundables i fenòmens associats	33
- Reconstrucció d'inundacions a partir del registre històric	39
- El paper de la càrrega sòlida en la inundabilitat: les avingudes de 1962	45

Aportació de la geologia al coneixement de la inundabilitat

- Aportació dels diferents mètodes al coneixement de la perillositat per inundabilitat	52
- Paleoinundacions: reconstrucció d'inundacions a partir del registre sedimentari	59
- El mètode geomorfològic integrat i la geomorfologia: eines per a la cartografia de zones inundables	65
- Els corrents d'arrossegalls a Catalunya: coneixement i perillositat	71

Conferència

- Els aiguats a Catalunya: una visió geològica	78
------------------------------------------------------	----

Predicció d'avingudes

- Els aiguats a Catalunya i les inundacions associades des del punt de vista meteorològic i climàtic.....83
- Integració de dades de Radar i pluviòmetres per a la predicció meteorològica d'avingudes.....88
- Gestió de riscos torrencials: el projecte Imprints94
- Exemples de serveis d'avisos primerencs front inundacions 100

Gestió del risc

- Plans de protecció Civil per gestionar els riscos d'inundació.....107
- Gestió del risc en clau municipal.....112
- Gestió del risc en càmpings116

La riuada de la Garona del 18 de juny de 2013

- Causes que van provocar la riuada a la Val d'Aran el 18 de juny 2013120
- Efectes geomorfològics de l'aiguat i riuada del 18 de juny de 2013.....126
- Afecció de l'espai fluvial i efectes sobre les infraestructures133

Conclusions de la Jornada136

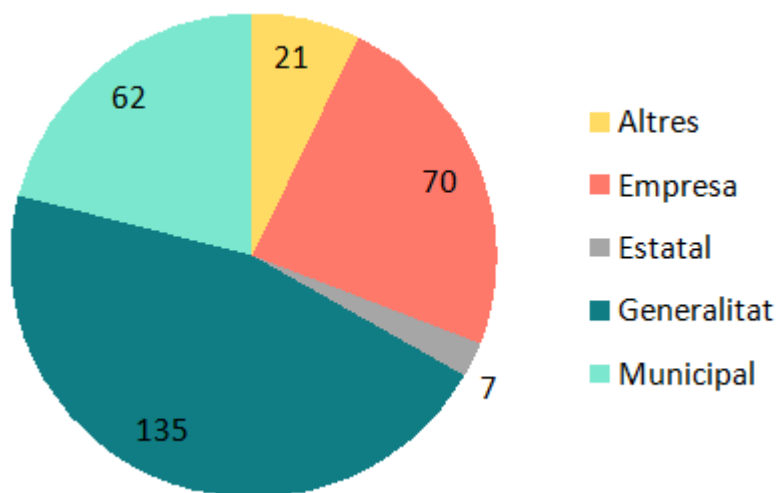
Presentació

La gestió de les inundacions

El Departament de Territori i Sostenibilitat, a través de l'Agència Catalana de l'Aigua i l'Institut Geològic de Catalunya, va celebrar, els dies 27 i 28 de novembre de 2013, unes jornades sobre gestió d'inundacions, al Centre d'Estudis Jurídics i Formació Especialitzada (CEFJE), amb els següents objectius:

- Divulgar i aclarir com recullen les diferents normatives els aspectes relatius a inundacions.
- Revisar i posar al dia els avenços tècnics existents en la predicció, l'avaluació del comportament de les avingudes, la delimitació de zones inundables i els fenòmens geomorfològics associats, amb aportacions de la meteorologia, la hidrologia, la hidràulica, la geologia, la hidrogeologia i altres camps del coneixement relacionats.
- Donar eines als planificadors territorials i urbanístics i als responsables locals en matèria de protecció civil encaminades a mitigar el risc per inundacions.
- Divulgar, tant als agents implicats com a la població en general, la informació existent i prevista a curt termini en matèria de gestió d'inundacions

El [programa de la jornada](#) comptava amb 7 blocs temàtics amb quatre ponències per bloc, més una conferència, sumant un total de 29 ponents i 7 moderadors. L'assistència fou un èxit, amb 274 persones inscrites, del món de l'administració local, autonòmica i estatal, de la universitat i de l'empresa privada.



La trobada va servir per posar en comú les experiències sobre regulació dels usos de les zones inundables com a una de les eines destacades en la reducció dels danys. En aquest sentit, es van abordar aspectes tècnics dels avenços en la delimitació de les zones inundables i es va destacar la gran importància de la necessària coordinació i cooperació entre les diferents administracions amb competències sectorials sobre la problemàtica de les inundacions en les diverses fases i aspectes (predicció, avaluació, planificació i gestió d'episodis).

Un dels aspectes que es va destacar va ser la contribució que la geologia fa al coneixement de la inundabilitat, i es va posar de manifest la necessitat de tenir en compte en el seu anàlisi, la dinàmica sedimentària associada, especialment pel que fa a la càrrega sòlida, i el paper que juguen altres fenòmens geomorfològics associats com esllavissades i corrents d'arrossegalls.

Es feu palès com en els darrers anys s'ha produït un important avenç en la predicció i gestió de fenòmens meteorològics extrems, concretament en eines de predicció meteorològica, hidrològica i hidràulica. Això permet actuar amb certa antelació i protegir els béns personals i materials. Conseqüència d'aquest avenç ha permès l'elaboració de protocols d'actuació i l'activació d'eines com el pla INUNCAT, per citar un exemple, que permet actuar amb anticipació i evitar danys majors. En aquest sentit, es va donar a conèixer la disponibilitat de més, millor i de fàcil accés informació sobre inundabilitat com a contribució al coneixement i gestió del risc i per tant reducció de danys.

Es va posar de manifest, també, l'allunyament dels coneixements tècnics i normatius del món local i, en especial, dels ajuntaments petits. En aquest sentit, es va destacar la importància d'aplicar mecanismes de participació pública activa, de concertació i corresponsabilització a la gestió del risc d'inundació. A la vegada, es va destacar la conveniència d'impulsar l'educació i conscienciació, o sigui, la cultura de l'autoprotecció.

Finalment, el recent episodi de l'aiguat i riuada de la Garona del 18 de juny de 2013 va ser exposat i debatut amb l'objectiu d'extreure reflexions de cara al futur.

A la cloenda de l'acte es van llegir les conclusions, elaborades a partir de les comunicacions i taules rodones amb una destacada participació del públic assistent.

Lluís Godé
Cap del Departament de Planificació
de l'espai fluvial de l'Agència Catalana de l'Aigua

Pere Oller
Cap de l'Unitat de Riscos Geològics
de l'Institut Geològic de Catalunya

Directors de les Jornades de la Gestió de les inundacions 2013

Normativa inundacions

LA DIRECTIVA 2007/60 DE EVALUACIÓN Y GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN

Fco Javier Sánchez Martínez ⁽¹⁾;

(1) Dirección General del Agua. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Pl. San Juan de la Cruz, s/n, 28071 Madrid. E-mail: fsmartinez@magrama.es

PALABRAS CLAVE: Gestión del riesgo de inundación, mapas de peligrosidad y riesgo, planes de gestión.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son, probablemente, el desastre natural con más impacto sobre vidas y bienes en el mundo. A modo de ejemplo, entre 1998 y 2004, Europa sufrió más de 100 inundaciones graves, incluyendo los catastróficos desbordamientos de los ríos Danubio y Elba en el verano de 2002. Las grandes inundaciones en 2005, que afectaron a un importante número de países de forma simultánea pusieron aún más de manifiesto la necesidad de una acción común coordinada por todos los países. Desde 1998 las inundaciones en Europa han causado unas 700 muertes, el desplazamiento de aproximadamente medio millón de personas y al menos 25 mil millones de euros en pérdidas económicas aseguradas.

En la primavera de 2013, Centroeuropa ha vuelto a sufrir graves inundaciones que han tenido una repercusión mundial. Una primera estimación de los daños, por ejemplo en Alemania rondan los 6.700 millones de euros, sin contar afecciones a las infraestructuras de transporte.



Figura 1– Imagen de inundación en Austria durante junio de 2013.

También España se ha visto afectada últimamente por estas inundaciones desastrosas, que produjeron un gran impacto y daños considerables.

Las inundaciones durante el año 2013 han provocado importantes daños repartidos por toda la geografía española, principalmente en la cuenca del Ebro, en Pirineos y el eje del Ebro, la cuenca baja del Guadiana y partes del Guadalquivir. Durante el año 2012, destacan las inundaciones que se produjeron en Otoño en Murcia, Málaga y Almería, destacando la afección en Lorca, donde fallecieron 9 personas. Este episodio tuvo más de 31.000 expedientes tramitados por el Consorcio de Compensación de Seguros con una estimación de los pagos realizados por el Consorcio de más de 220 millones de euros.



Figura 2. – Imagen de la inundación producida en el Valle de Aran. Junio 2013

SINIESTRALIDADES MÁS RELEVANTES DEL EJERCICIO				
Fecha	Causa	Delegación	Nº Expedientes	Coste Declarado (*)
27-09-12	Inundación	Sureste Peninsular	31.214	221,66
19-10-12	Inundación	Aragón	595	10,76
17-11-12	Inundación	Andalucía Oriental	1.923	8,81
03-11-12	Inundación	Andalucía Occidental	284	2,54
03-11-12	Inundación	Andalucía Oriental	519	2,24
19-06-12	Inundación	Castilla La Mancha	1.545	2,00
19-06-12	TCA	Castilla La Mancha	521	1,42
30-08-12	Inundación	C. Valenciana	421	1,41
28-10-12	TCA	Las Palmas	293	1,26
31-08-12	Inundación	Andalucía Oriental	344	1,11
09-11-12	Inundación	C. Valenciana	331	1,01

(*) Millones de euros

Figura 3. –Siniestralidades más relevantes del ejercicio de 2012 atendidas por el Consorcio de Compensación de Seguros.

Realizando un repaso histórico, destacan por ejemplo, en agosto de 1995 murieron 10 personas en las inundaciones de Guadalajara; en agosto de 1996, la inundación torrencial de Biescas se cobró la vida de 87 personas; en noviembre de 1997 la inundación del barrio del Cerro de Reyes en Badajoz se llevó la vida de 22 personas. Otras inundaciones, no tan lejanas en el tiempo, han causado pérdidas millonarias y un número de víctimas mortales que, aunque no muy elevado, no deja de ponernos en alerta frente a estas catástrofes. Las lluvias del País Vasco en agosto de 1983 han quedado registradas como las que mayores daños han producido en un único evento.

En las últimas décadas, las inundaciones que más daños han causado en España han tenido su origen en lluvias acaecidas en cortos períodos de tiempo. Sucede que si estas lluvias caen en cuencas pequeñas (entre 100 y 200 km²) y con tiempos de concentración bajos, se convierten en sumamente peligrosas, puesto que el agua alcanza rápidamente altas velocidades y transporta grandes cantidades de sedimentos y material sólido.

La tabla siguiente muestra los fallecidos por inundaciones y por el conjunto de desastres naturales en España en el período 1995-2011 de acuerdo con la información suministrada por la Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Ministerio de Interior:

AÑOS	FALLECIDOS DEBIDO A LAS INUNDACIONES	TOTAL FALLECIDOS POR DESASTRES NATURALES
1995-2006	246	860
2007	11	18
2008	6	19
2009	5	35
2010	12	48
2011	9	41
TOTAL	289	1021

Figura 4 – nº de fallecidos por inundaciones y total de fallecidos por desastres naturales. Fuente: DGPCYE.

ORIGEN DE LA DIRECTIVA DE INUNDACIONES

La gestión de los riesgos de inundación es un concepto que esta evolucionando continuamente en el tiempo, y que aún no esta asumido por gran parte de la población, las autoridades locales y por parte de los técnicos que trabajan en esta materia.

Tomando como referencia los años 1950-1980, lo habitual era ejecutar obras estructurales incluidas en proyectos denominados como “defensa contra inundaciones” o “control de inundaciones” (Flood defense y Flood control) y con un componente estructural muy importante, sin tener en cuenta los posibles efectos ambientales asociados y en los que el principal objetivo era el diseño de encauzamientos para disminuir la zona inundable. En algunos casos, allí donde era posible, estos encauzamientos se combinaban con la ejecución de embalses para laminar avenidas.

Posteriormente, ya en la década de los 90, se empiezan a gestionar en Europa los proyectos de gestión de inundaciones (Flood Management), que conjugan las obras anteriores con trabajos de Protección Civil, Sistemas de Previsión de Avenidas y las primeras normas urbanísticas adaptadas a este tipo de riesgos naturales. A partir de estos momentos, las inundaciones pasan también a ser una labor de planificación de las autoridades de Protección Civil y no solo ser una labor puramente de ingeniería fluvial.

Actualmente, el presente y futuro de la gestión de los riesgos de inundación se basa en la predicción de avenidas, preparación y atención mediante los mecanismos de Protección Civil y atención en emergencias, y la mejora de la resiliencia de las poblaciones situadas en las zonas inundables, mediante la adaptación de las viviendas, centros de trabajo, planificación urbana, etc.. para disminuir su vulnerabilidad frente a las inundaciones.

Ese es el espíritu de la Directiva 2007/60 de evaluación y gestión de los riesgos de inundación y en general de los foros europeos sobre gestión del riesgo frente avenidas, se centra en el hecho de que:

“Las avenidas son eventos extraordinarios naturales con los que hay que convivir”

Siguiendo este mensaje, los esfuerzos en la gestión del riesgo se deben centrar, en general, en reforzar los mecanismos de protección de tipo no estructural, y en particular, en lo que concierne a una ordenación del territorio sensata y compatible con los usos en las llanuras de inundación, incluyendo la realización de cartografías de riesgo que sirvan de apoyo a la ordenación territorial, creando los marcos adecuados de coordinación entre los niveles administrativos del agua y del territorio, incentivando la participación pública en todos los niveles de protección y preparación frente a las

avenidas y desarrollando acciones sostenibles de protección en el marco de la gestión de la cuenca hidrográfica.

En algunas zonas se puede considerar que los riesgos de inundación no son significativos, por ejemplo en áreas poco o nada pobladas o en aquellas zonas con pocos bienes o escaso valor ecológico. Por ello, se debe realizar, a nivel de demarcación hidrográfica, una evaluación preliminar de los riesgos de inundación en cada cuenca o subcuenca hidrográfica, para determinar esos riesgos de inundación en cada caso y la necesidad de tomar medidas adicionales.

La Directiva y las medidas que se adopten para aplicarla están estrechamente vinculadas a la aplicación de la Directiva Marco del Agua (DMA)

que trata de que los cauces alcancen un buen estado ecológico.

Siguiendo este camino, la Comisión Europea inició un programa de acción sobre las inundaciones (*European Flood Action programme*) que se inició con la comunicación desde la comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, el Comité Económico y Social Europeo y el Comité de las Regiones, el 12 de Julio de 2004 sobre prevención, protección y mitigación frente a inundaciones y culminó, en esta primera fase, con la aprobación de la Directiva 2007/60 de evaluación y gestión del riesgo de inundación el 23 de octubre de 2007 y publicada en el DOCE del 6 de noviembre de 2007.



Figura 5 – Pàgina web de la Comisió Europea relativa al programa de acció sobre inundacions. http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/index.htm .

FASES DE IMPLANTACIÓ DE LA DIRECTIVA DE INUNDACIONES.

Dentro del proceso de implantación de la Directiva 2007/60 de evaluación y gestión de los riesgos de inundación, el primer hito fue su transposición, que se realizó por el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión del riesgo de inundación. Paralelamente se procedió a la comunicación a la Comisión Europea (mayo de 2010) de las autoridades competentes y el establecimiento del ámbito territorial de aplicación de esta Directiva, en el cual, seleccionándose las Demarcaciones Hidrográficas como elemento coordinador de la gestión del riesgo de inundación.

Posteriormente el primer hito técnico fue la selección, dentro de cada Demarcación Hidrográfica, de las zonas con mayor riesgo de inundación, conocidas como Áreas de riesgo potencial significativo de inundación (ARPSIs) e identificadas tras realizar la evaluación preliminar del riesgo de inundación (EPRI) de cada Demarcación Hidrográfica en coordinación con las autoridades de protección civil

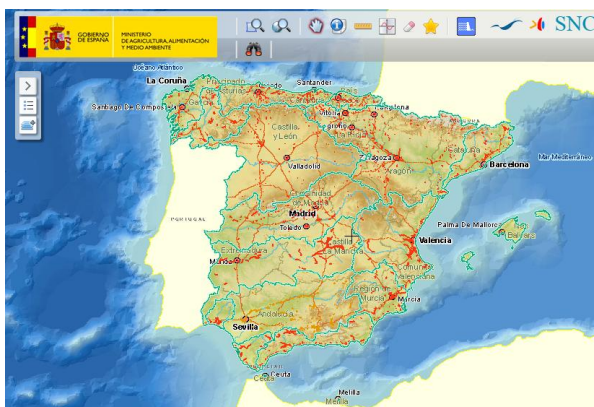


Figura 6: Áreas de riesgo potencial significativo de inundación (ARPSIs) identificadas en la parte española de la península ibérica y Baleares para la realización de la evaluación preliminar del riesgo de inundación (EPRI). <http://sig.magrama.es/snczi/>

El segundo hito del proceso de implantación de la Directiva 2007/60 de evaluación y gestión de los riesgos de inundación, es para cada tramo con riesgo significativo de inundación (ARPSI) la elaboración de los mapas de peligrosidad de inundación (cálculo de la zona inundable) y de los mapas de riesgo de inundación (incorporación a la zona inundable de los usos del suelo en esa zona y de las principales daños esperados).

Estos mapas de peligrosidad y de riesgo, en España complementan lo establecido en la legislación existente en materia de aguas, protección civil y ordenación del territorio sobre cartografía de zonas inundables se podrán consultar en el visor cartográfico del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, debiendo estar realizados, de acuerdo con la Directiva antes del 22 de diciembre de 2013.

La Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables desarrolla las metodologías a seguir para regenerar la cartografía de dominio público hidráulico y las zonas inundables.

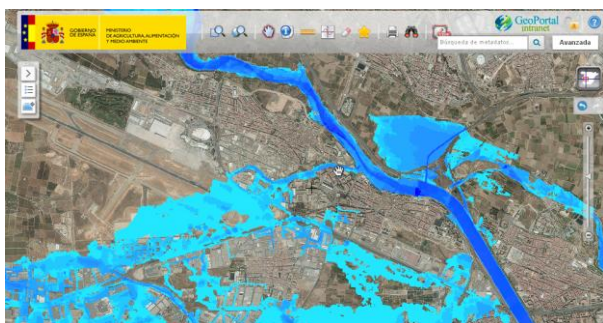


Figura 7: Mapa de peligrosidad de inundación T= 500 años. ARPSI Bajo Turia. En aeropuerto de Valencia- Manises. <http://sig.magrama.es/snczi/>

Por último, la herramienta clave de la Directiva 2007/60 es la elaboración de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación, a ejecutar antes de diciembre de 2015.

Los planes de gestión fijarán para cada Área de Riesgo Potencial Significativo de Inundación sus objetivos de gestión del riesgo de inundación y fijarán, de acuerdo con cada administración competente las actuaciones a realizar. Estas actuaciones podrán ser puntuales o tener un ámbito comarcal o regional o de toda la cuenca hidrográfica en función de la tipología de actuación. Cada administración competente será la responsable de la aprobación de su programa de medidas, estableciendo el Plan los mecanismos de coordinación.

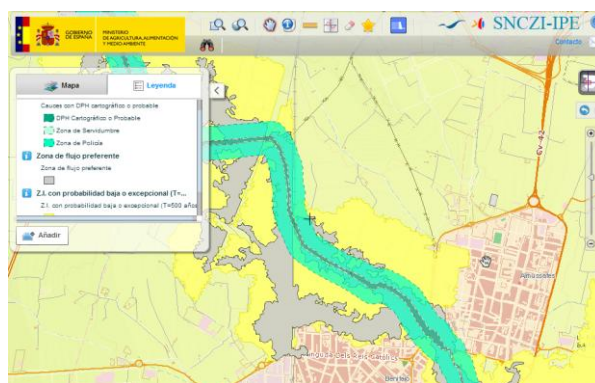


Figura 8: la delimitación del espacio fluvial y su correcta gestión son elementos básicos para la gestión de los riesgos de inundación. DPH, zona de flujo preferente y zona inundable Almussafes. CH Júcar. <http://sig.magrama.es/snczi/>

PRÓXIMOS RETOS Y TAREAS A REALIZAR.

De acuerdo con lo indicado con anterioridad, antes del 22 de marzo de 2014 se deberán poner a disposición de todos los interesados y remitir a la Comisión Europea los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación.

Paralelamente se están ya redactando los Planes de Gestión del Riesgo de inundación, donde la atención a todo el ciclo de la gestión del riesgo de inundación es esencial, profundizando en el coste beneficio de las actuaciones y en la coordinación con los Planes Hidrológicos de cuenca, en especial, en el estado de las masas de agua que indica la Directiva y la compatibilización y coordinación de los programas de las medidas.

BIBLIOGRAFÍA

Más información en las siguientes webs:

CIRCA COMISIÓN EUROPEA:

<https://circabc.europa.eu/>.

INUNDACIONES EN COMISIÓN EUROPEA:

http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/index.htm

Directiva de inundaciones en el Ministerio
Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

<http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/>

Sistema Nacional de Cartografía de Zonas
Inundables.

<http://sig.magrama.es/snczi/>

LA NORMATIVA CATALANA I LES INUNDACIONS

M. Dolors Vergés i Fernández ⁽¹⁾

(1) *Departament de Territori i Sostenibilitat. Av. de Josep Tarradellas, 2-6. 08029 Barcelona.*
mdverges@gencat.cat

PARAULES CLAU: *normativa, legislació, inundacions, marc legal, catalana.*

Resum

Es fa un breu repàs de la normativa estatal i autonòmica més rellevant relativa o relacionada amb les ocupacions a les zones inundables.

Introducció

La normativa urbanística limita, amb caràcter general, la possibilitat d'implantar instal·lacions i construccions a les zones inundables.

A més a més hi ha una sèrie de normatives sectorials que convé tenir en compte pel que fa a la regulació d'usos a les zones inundables o d'influència per la dinàmica en cas d'inundacions.

Normativa estatal

Hi ha diverses normatives d'àmbit estatal que incideixen sobre l'ordenació territorial i urbanística. Entre elles convé destacar:

En primer lloc hi ha la pròpia **normativa hidràulica**. El text refós de la Llei d'Aigües 1/2001, de 20 de juliol, preveu diversos mecanismes per a prevenir els riscos per inundabilitat. Destacar els articles:

Art. 11.3 El Govern pot establir limitacions en l'ús de les zones inundables per garantir la seguretat de les persones i béns. Els governs de les comunitats autònomes poden establir normes complementàries a aquesta regulació.

Art. 25.4 Les Confederacions Hidrogràfiques emeten informe previ sobre els plans que hagin d'aprovar les comunitats autònomes en matèria de medi ambient, ordenació del territori i urbanisme.

D'altra banda, el Reial decret 849/1986, d'11 d'abril, que aprova el reglament del domini públic hidràulic, modificat pel Reial decret 9/2008, d'11 de gener (RDPH) estableix limitacions d'usos a la

zona de policia de les lleres a més del domini públic hidràulic (DPH) i la seva zona de servitud. Destacar els articles:

Art. 14.1 Es consideren zones inundables les delimitades pels nivells teòrics que assoliran les aigües en les avingudes, el període estadístic de retors de les quals sigui de cinc-cents anys, atenent a estudis geomorfològics, hidrològics i hidràulics, així com a sèries d'avingudes històriques i documents o evidències històriques de les mateixes.

Art. 232. Són objectius de la protecció del domini públic hidràulic contra el seu deteriorament:

c) Evitar qualsevol actuació que pugui ser causa de degradació.

Art 233. El concepte de degradació del domini públic hidràulic inclou les alteracions perjudicials de l'entorn afecte a aquest domini.

Pel que fa a la **normativa urbanística** El text refós de la Llei del sòl, aprovat pel Reial decret legislatiu 2/2008, de 10 de juny, estableix, a l'article 12.2, que els terrenys amb risc d'inundació es preservaran per a l'ordenació territorial i urbanística i romandrà com a sòl rural. Destacar els articles:

Article 12.2 a. Està en situació de sòl rural:

a) En tot cas, el sòl preservat de la seva transformació, que haurà d'incloure, com a mínim, els terrenys subjectes a tal protecció, així com aquells amb riscos naturals, inclosos els d'inundació...

Article 15.2 L'informe de sostenibilitat ambiental dels instruments d'ordenació d'actuacions d'urbanització haurà d'incloure un mapa de riscos naturals

Convé també tenir en compte el Reial decret 903/2010 de gestió i avaluació del risc d'inundacions, on en el seu annex A, ja preveu que cal incloure en les seves mesures les relatives a la ordenació del territori i urbanisme.

Normativa autonòmica

Hi ha diverses normatives d'àmbit autonòmic que incideixen sobre l'ordenació territorial i urbanística. Entre elles convé destacar:

L'article 7 de la Llei 1/1995, de 16 de març, per la qual s'aprova el Pla Territorial General de Catalunya incorpora previsions pel que fa a la planificació hidrològica. Per la seva banda, l'apartat 4 de l'article 5 disposa que el planejament urbanístic ha de justificar expressament la seva coherència amb les determinacions i propostes dels Plans territorials parcials (PTP) i els Plans territorials sectorials (PTS).

El Pla de gestió del districte de conca fluvial de Catalunya (PGDCFC), elaborat per l'Agència Catalana de l'Aigua, constitueix el Pla hidrològic de les conques internes de Catalunya que regula la planificació del vector aigua. D'acord el Reglament de la planificació hidrològica català, en el seu Programa de mesures del PGDCFC ha d'incloure la delimitació de les zones inundables, d'acord amb el estudis aprovats, establint hi les següents àrees: la zona fluvial, la zona de sistema hídic i la zona inundable per episodis extraordinaris. Destacar pel que fa a les seves determinacions normatives els articles 64 i 65, que preveuen posar a disposició de les administracions competents en matèria d'ordenació territorial i urbanisme la informació que aporten els estudis de delimitació de les lleres, les zones inundables i els espais fluvials a fi de que siguin tingudes en compte en els seus respectius àmbits d'actuació i planificació; a més a més cal tenir en compte el seu article 60.1.a on preveu que "les possibles actuacions necessàries per a l'adopció de mesures de protecció enfront els riscos d'inundació poden ser tant obres com altres tipus d'actuacions de caire no estructural basades en la gestió del risc".

L'article 9.2 del Text refós de la Llei d'urbanisme estableix la prohibició d'urbanitzar i edificar en zones inundables en excepció de les obres vinculades a la protecció i prevenció davant de riscos. Aquest punt es desenvolupa concretament amb detall a l'article 6 "Directrius de preservació front als riscos d'inundació" del Reglament de la Llei d'urbanisme, aprovat pel Decret 305/2006, de 18 de juliol, s'estableixen els criteris per a l'aplicació de la directriu de preservació front als riscos d'inundació.

L'article 58 de la mateixa Llei, quan regula les determinacions dels plans d'ordenació urbanística municipal, estableix que aquests plans desenvolupen per cada classe de sòl l'estructura i el model de territori, que s'ha d'adequar a les determinacions de l'article 3 i 9.

Convé no confondre i incloure el Pla Especial d'Emergències per Inundacions a Catalunya (INUNCAT), elaborat per la Direcció general de Protecció Civil de la Generalitat de Catalunya, que

quantifica i localitza els aspectes fonamentals per a l'anàlisi del risc d'inundació, determinant la vulnerabilitat dels elements presents al territori i establint la perillositat d'inundació relacionada no només amb els desbordaments dels cursos fluvials, si no també per origen marí o per precipitació in-situ. A més estableix la logística necessària per poder realitzar els treballs d'actuació en cas d'emergència.

L'objectiu d'aquest pla és fer front a les emergències per inundacions, dins de l'àmbit territorial de Catalunya, establint els avisos, l'organització i els procediments d'actuació dels serveis de la Generalitat de Catalunya, de les altres administracions públiques i de les entitats privades.

Per aconseguir els objectius establerts, el Pla INUNCAT recull un índex de risc d'inundacions que té en compte la probabilitat d'ocurrència d'una avinguda (o períodes de tornada) i els efectes que pot ocasionar. Permet establir un valor qualitatiu de risc municipal, aquesta anàlisi estableix cinc nivells de risc: molt alt, alt, mitjà, moderat i baix, que depenen del nombre d'afectats i de les pèrdues econòmiques potencials, del tipus i nombre d'elements vulnerables exposats (població a l'interior de les diferents zones inundables) i de la perillositat intrínseca de la conca.

Figures urbanístiques

D'acord a la normativa urbanística es poden diferenciar tres zones:

La zona fluvial:

- És la part de la zona inundable que inclou la llera del riu i les seves riberes
- L'instrument de planificació hidrològica delimita aquesta zona d'acord amb l'avinguda per al **període de retorn de 10 anys**
- El planejament urbanístic qualifica aquests terrenys com a **sistema hidràulic: no s'admet cap ús** (llevat dels previstos en el domini públic hidràulic)

El sistema hídic:

- És la part de la zona inundable que l'instrument de planificació hidrològica delimita d'acord amb l'avinguda per al **període de retorn de 100 anys**.
- El planejament urbanístic **no pot admetre cap nova edificació o construcció** ni cap ús o activitat que suposi modificació del perfil del terreny o pugui representar

obstacle al flux de l'aigua o alteració del règim de corrents en cas d'avinguda.

Els usos permesos són:

- a) Els usos agraris (no construccions)
- b) Els parcs, espais lliures, zones enjardinades i usos esportius a l'aire lliure
- c) Els llacunatges i les estacions de bombament d'aigües residuals o potables
- d) Infraestructures lineals de comunicació i transport
- e) Infraestructures de serveis i canonades soterrades
- f) Usos previstos per la legislació vigent en matèria de domini públic hidràulic

Els POUM poden incorporar terrenys inclosos en la zona de sistema hídric a sectors de sòl urbà no consolidat i de sol urbanitzable i es destinen a usos compatibles.

La zona inundable:

- És la part de la zona inundable que l'instrument de planificació hidrològica corresponent delimita a partir de l'avinguda de **període de retorn de 500 anys**.

El planejament urbanístic no pot admetre:

- a) Zones condició d'inundació greu: àrees d'acampada ni serveis de càmping ni edificacions
- b) Zones condició d'inundació moderada: àrees d'acampada ni serveis de càmping i sols edificacions destinades a usos industrials i emmagatzematge
- c) Zones condició d'inundació lleu: sense limitacions

Autorització en sòl no urbanitzable

Cal tenir en compte els següents articles:

Art. 46 del Reglament de la Llei d'urbanisme "A més de la utilització d'acord amb la seva naturalesa rústica, només es poden admetre els usos, construccions i obres previstos en la Llei d'urbanisme, respectant en tot cas les incompatibilitats i determinacions de la legislació sectorial i del planejament territorial i urbanístic."

Art. 48 del Text refós de la Llei d'urbanisme

Els projectes d'actuacions específiques d'interès públic en sòl no urbanitzable s'han de tramitar mitjançant:

- Un pla especial
- Autorització específica.

En qualsevol cas, entre la documentació requerida, ha de figurar:

e) Un informe de l'administració hidràulica, si l'actuació afecta aqüífers classificats, zones vulnerables o zones sensibles declarades de conformitat amb la legislació vigent.

El projecte es pot denegar pels motius que estableixen els apartats 3 i 4 de l'article 85

Conclusions

El desenvolupament urbanístic sostenible és configura com un principi general de l'actuació urbanística. Implica la utilització racional del territori i el medi ambient. Comporta conjuminar les necessitats de creixement amb les de preservació dels recursos naturals i dels valors paisatgístics.

Totes les administracions amb competències urbanístiques (Estat, Autonòmica i Local) han de vetllar per assolir uns nivells adequats de qualitat de vida i sostenibilitat ambiental així com de preservació en front dels riscos naturals i tecnològics.

La qualificació com zones inundables no altera la qualificació jurídica i la titularitat dominical dels terrenys que la tinguin.

Bibliografia

Reial decret legislatiu 2/2008, de 10 de juny

Reglament de domini públic hidràulic

Llei 1/1995, de 16 de març, per la qual s'aprova el Pla Territorial General de Catalunya

Pla de Gestió del Districte de conca fluvial de Catalunya

Reglament de la llei d'urbanisme, aprovat pel Decret 305/2006, de 18 de juliol

Sigles i abreviatures

DPH - Domini públic hidràulic

PGDCFC - Pla de Gestió del Districte de conca fluvial de Catalunya

PTP - Plans territorials parcials

PTS - Plans territorials sectorials

RDPH - Reglament de domini públic hidràulic

La regulació dels usos a zones inundables

L'EXPERIÈNCIA DE LA CONFEDERACIÓ HIDROGRÀFICA DEL XÚQUER

Onofre Gabaldó (1)

(1) Confederació Hidrogràfica del Xúquer. Av. Blasco Ibáñez, 48. 46010 Valencia. ogabaldo@chi.es

PARAULES CLAU: Xúquer, inundacions, PATRICOVA, plans de gestió .

NORMATIVA LEGAL

Les competències dels organismes sobre de conca en la regulació dels usos del sòl estan reglades principalment en la legislació hidràulica espanyola, fonamentalment en el text refós de la Llei d'Aigües i disposicions que la desenvolupen, i complementàriament a altres tals com la Llei del Pla hidrològic nacional i el RD 903/2010 d'avaluació i gestió de riscos d'inundació que transposa la Directiva 2007/60/CE.

La Llei d'Aigües de 1985 va ser recorreguda en molts dels seus articles que es referien als usos del sòl i la Sentència 227/1988 del Tribunal Constitucional va aclarir els punts on podien existir conflictes i, a partir de la mateixa, les relacions entre els organismes de les conques intercomunitàries i les comunitats autònomes no presenten problemes greus.

En principi, i dins del marc constitucional espanyol, les competències dels organismes de conca són reduïdes i estan limitades a la zona de domini públic hidràulic i les zones de servitud i de policia. La zona de domini públic hidràulic (DPH) és la que correspon a la màxima crescuda ordinària, tenint en compte altres característiques com criteris geomorfològics, històrics i ambientals, i en els margens les zones de servitud i de policia que s'estenen longitudinalment amb una amplada, respectivament, de 5 i 100 m des del límit de la zona de domini públic hidràulic (figura 1).

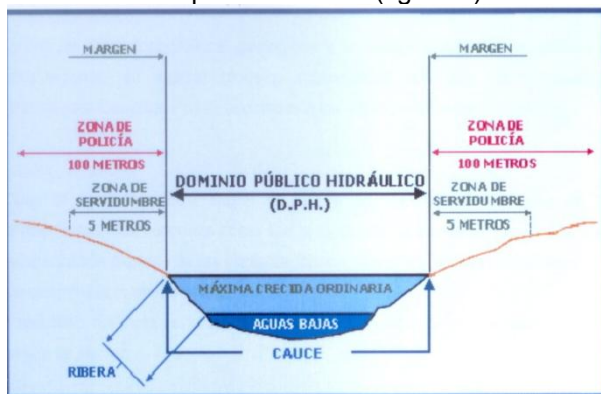


Figura 1 – Delimitacions legals del domini públic hidràulic.

A més a més es defineixen les zones inundables (art. 1.4 RDPH) com les delimitades pels nivells teòrics que assolirien les aigües en les avingudes quan el període de retorn siga de 500 anys.

Així com les definicions de les zones de servitud i policia s'apliquen automàticament si es coneixen els límits del domini públic hidràulic, la zona inundable i la zona de flux preferent necessiten estudis específics.

Els fins de la zona de servitud, a més de la protecció de l'ecosistema fluvial i del DPH són el pas públic de vianants i per a serveis de vigilància, salvament i amarratge d'embarcacions.

Amb caràcter general en aquesta zona no es pot autoritzar cap tipus de construcció.

Els objectius de la regulació de la zona de policia són la preservació del domini públic hidràulic, la prevenció dels sistemes aquàtics i la protecció del règim de corrents en avingudes, afavorint la funció dels terrenys adjacents a la laminació de cabals i càrrega sòlida.

En esta zona caldrà autorització de l'organisme de conca per a qualsevol ús o activitat que supose un obstacle per al corrent en règim d'avingudes o que pugua ser causa de degradació o deteriorament del DPH, i específicament les alteracions del relleu natural del terreny, les extraccions d'àrids i les construccions de tot tipus.

En definitiva, les competències dels organismes de conca sobre els usos del sòl són les que s'han descrit en els dos últims paràgrafs a l'àrea limitada per la zona de policia.

La modificació del Reglament del Domini Públic Hidràulic del RD 9/2008, d'11 de gener, aclaria l'afecció del règim de corrents amb la definició de la zona de flux preferent de l'article 9, que per una banda considera l'afecció a tercers i per una altra calats i velocitats superiors als criteris prefixats.

En el cas que les zones inundables i les zones de flux preferent ocupen àrees no incloses en la zona de policia hi ha disposicions legals per a poder ampliar-les quan siga necessària per a la seguretat de persones i béns.

És molt freqüent a l'àmbit de la Confederació Hidrogràfica del Xúquer, per la geomorfologia de les lleres, que en gran part dels trams propers al mar i en algunes de les zones interiors les zones inundables i les zones de flux preferent es poden estendre fàcilment sobrepassant amb una extensió molt gran les zones de policia (figura 2).



Figura 2 – Exemple de mapa de perillositat.

MAPES DE PERILLOSITAT DE RISC D'INUNDACIÓ.

La Directiva d'inundacions fixava unes fites abans de l'elaboració dels plans de gestió del risc d'inundació. La primera era l'avaluació del risc d'inundació i la segona els mapes de perillositat i de risc d'inundació als trams seleccionats en la primera fase.

A hores d'ara, aquestos mapes estan en la fase de consulta pública.

Aprofitant l'elaboració dels mapes de perillositat i de risc d'inundació s'han estimat tots els límits legals de DPH i zones de policia i servitud i els mapes de calats i extensió de la inundació per als períodes de retorn de 10, 25, 50, 100 i 500 anys per a diversos trams de rius, amb un total de 2680 km, dels quals només 940 corresponen a les àrees de risc potencial significatiu.

L'extensió de la zona inundable de 500 anys calculada és de 1250 km² que amb un càlcul simplificat és més del doble de l'àrea de la zona de policia. És a dir, que en la meitat de l'àrea inundable l'organisme de conca no té competències directes sobre l'ús del sòl.

Un altre aspecte a considerar és que, d'acord amb l'article 25.4 del text refós de la Llei d'Aigües, els organismes de conca han de traslladar a les administracions competents en matèria d'ordenació del territori i urbanisme de les dades i estudis disponibles sobre avingudes, a fi de què es tinguen en compte en la planificació del sòl i, en particular, en les autoritzacions d'usos que s'acorden en les zones inundables.

S'ha de dir que amb el Sistema Nacional de Cartografia de Zones Inundables la major part dels estudis estan disponibles no sols per a les diferents administracions, sinó també a tots els ciutadans.

Resultant que tanmateix hi ha disposicions per poder ajustar la zona de policia a aquestes àrees, la coordinació i la cooperació administrativa pot ser suficient per a una adequada regulació d'usos

del sòl. I s'ha de tindre en compte que en l'elaboració dels plans de gestió s'han d'incorporar les mesures escaients per part de totes les administracions públiques.

En resum, els mapes són una eina de gran utilitat per als organismes de conca i també per a les administracions autonòmiques i locals i ciutadans en general, simplificant també els procediments administratius.

NORMATIVES AUTONÒMIQUES. PATRICOVA.

Respecte als riscos d'inundació hi ha una bona coordinació i col·laboració amb totes les Comunitats Autònomes dintre l'àmbit de la Confederació Hidrogràfica del Xúquer en referència a l'ordenació del territori i urbanisme.

La Comunitat Autònoma més susceptible a patir més riscos per inundacions és la Comunitat Valenciana i en aquest cas cal citar el Pla d'acció territorial contra el risc d'inundacions a la Comunitat Valenciana (PATRICOVA) que es va posar en marxa el 2003 com un instrument d'ordenació del territori per al tractament del risc d'inundació.

El PATRICOVA marcava sis zones amb risc d'inundació en funció de les freqüències de les avingudes i dels calats estimats, imposava limitacions per a nous desenvolupaments, condicionants als sòls ja classificats i adequacions de l'edificació i infraestructures.

Es va realitzar a escala 1:50.000 però es podien efectuar estudis d'inundabilitat per concretar el risc d'inundació que eren informats per les Confederacions. A la Confederació Hidrogràfica del Xúquer s'han realitzat més de 300 informes corresponents a més de 200 expedients.

La revisió del pla estava prevista, entre altres causes, al fet que transcorreguessen 10 anys des de la seua implantació.

En el transcurs d'aquests 10 anys, a més de l'experiència en la posada en pràctica, s'han produït noves legislacions com el RD 903/2010 d'avaluació i gestió de riscos d'inundació, arran del qual s'han realitzat els mapes de perillositat i de riscos d'inundació.

Coincidint amb aquestes jornades es pot consultar la nova versió del PATRICOVA que s'ha de sotmetre a informació pública abans de la seua aprovació final.

En aquesta revisió es mantenen els nivells de perillositat anteriors i s'ha afegit l'anomenada perillositat geomorfològica.

Com s'havia dit abans estan en consulta pública, per part de la Confederació Hidrogràfica del Xúquer, els mapes de perillositat i de risc d'inundació, de tal manera que es presenten quasi simultàniament.

Encara que la metodologia és diferent durant la revisió del PATRICOVA s'han facilitat els mapes resultants al nostre àmbit perquè hi hagués coherència en els resultats.

Coincidint amb aquestes jornades s'ha publicat per a la seua informació pública la revisió del PATRICOVA.

Tenint en compte que poden haver-hi discrepàncies, diversos articles del PATRICOVA es refereixen a les relacions entre les cartografies de perillositat i risc elaborades per les confederacions considerant-les complementàries fixant criteris orientats del costat de la seguretat en cas de contradicció. Per als estudis d'inundabilitat per concretar el risc d'inundació se seguiran demanant informes als organismes de conca.

També obliga que en el planejament urbanístic s'han de reflectir les zones de perillositat d'inundació i de flux preferent de les lleres afectades per sòls urbans i urbanitzables.

En totes aquestes zones s'estableixen limitacions a l'ús del sòl en funció de la seua classificació i dels nivells de perillositat.

A més hi ha un capítol per a adequació d'infraestructures en zones inundables.

I un aspecte important és que té en compte l'efecte del canvi d'ús del sòl sobre l'increment dels cabals internalitzant el risc.

En conclusió, d'una banda es tenen les limitacions a l'ús del sòl per part dels organismes de conca dintre de la zona de policia i, per una altra, aquestes limitacions les concreten els organismes competents en ordenació de territori fins i tot estenent-les en el seu cas més enllà de les zones de policia.

PLANS DE GESTIÓ DE LES MARINES

La Confederació Hidrogràfica del Xúquer ha desenvolupat en les comarques de la Marina Alta i de la Marina Baixa uns plans directores de defensa de les avingudes.

Els plans s'han dut a terme seguint les fites de la directiva d'inundacions, acabant en uns plans de gestió que no són els fixats pel Reial Decret d'avaluació i gestió de riscos d'inundació, però que tenen la mateixa metodologia.

En els estudis de solucions dels esmentats plans de gestió s'han considerat diverses alternatives d'actuació per als nombrosos rius o rambles de les comarques:

- solució 0, situació actual
- solució 1, actuacions no estructurals que inclouen, entre altres, recomanacions sobre el planejament municipal
- solució 2, actuacions estructurals com millora d'obres de pas i canalitzacions i, fins i tot, preses de laminació si cal.

Per a les diverses alternatives s'han fet valoracions econòmiques cost – benefici, estimant les despeses de les actuacions i els beneficis per la disminució de riscos.

I en molts dels llocs d'actuació s'observa com, amb solucions no estructurals, en especial les de regulació de l'ús del sòl, la disminució del risc és molt gran en comparació al cost de les mesures.

Aquestes mesures són recomanacions per a què siguin considerades pels organismes competents.

En les figures 3 i 4 es poden observar els riscos dels danys tangibles en la situació actual i considerant els usos planificats estimats en el pla de la Marina Alta.

Munic./Zona	Denia	El Verger	Els Poblets	Ondara	Beniarbeig	Jàvea	Orba	Jalón	Uíber	Teulada	Benissa	Calpe	Pego	TOTAL
Girona	300.050	446.882	656.108	438.318	237.635	0	0	0	0	0	0	0	0	2.078.993
Denia 2	17.359	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.359
Denia 3	702.703	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	702.703
Denia 4	3.209.482	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.209.482
Jàvea	0	0	0	0	0	3.786.699	0	0	0	0	0	0	0	3.786.699
Orba	0	0	0	0	0	0	9.512	0	0	0	0	0	0	9.512
Jalón	0	0	0	0	0	0	0	26.043	19.623	0	0	0	0	45.667
Teulada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	303.542	0	0	0	303.542
Benissa 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.262	0	0	3.262
Benissa 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73.965	0	0	73.965
Calpe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	870.918	0	870.918
Pego	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.866	7.866
SUMA	4.229.594	446.882	656.108	438.318	237.635	3.786.699	9.512	26.043	19.623	303.542	77.228	870.918	7.866	11.109.967

Figura 3 – Risc en la situació actual per danys tangibles en euros/any per municipi i zona

Munic./Zona	Denia	El Verger	Els Poblets	Ondara	Beniarbeig	Jávea	Orba	Jalón	Uíber	Teulada	Benissa	Calpe	Pego	TOTAL
Girona	309.229	682.003	668.164	499.713	248.833	0	0	0	0	0	0	0	0	2.407.941
Denia 2	22.456	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22.456
Denia 3	862.804	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	862.804
Denia 4	3.869.674	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.869.674
Jávea	0	0	0	0	0	6.550.349	0	0	0	0	0	0	0	6.550.349
Orba	0	0	0	0	0	0	9.513	0	0	0	0	0	0	9.513
Jalón	0	0	0	0	0	0	0	37.514	38.742	0	0	0	0	76.257
Teulada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	408.097	0	0	0	408.097
Benissa 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.262	0	0	3.262
Benissa 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73.965	0	0	73.965
Calpe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.160.610	0	1.160.610
Pego	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.866	7.866
SUMA	5.064.162	682.003	668.164	499.713	248.833	6.550.349	9.513	37.514	38.742	408.097	77.228	1.160.610	7.866	15.452.793

Figura 3 – Risc sobre els usos planificats per danys tangibles en euros/any per municipi i zona

Es pot observar que, si no es prenen mesures en la planificació del sòl, els riscos pugen al voltant del 40%.

CONCLUSIONS

Les competències de les diferents Administracions Públiques estan clares.

La cooperació i coordinació administrativa és necessària per a una major eficàcia.

La regulació del sòl i ordenació del territori essencial en qualsevol instrument de gestió dels riscos d'inundació.

LES INUNDACIONS ALS PLANS URBANÍSTICS: UN PLANTEJAMENT DE BASE, O UNES RESTRICCIONS A POSTERIORI?

Rosa Vilella ⁽¹⁾;

(1) *Departament de Territori i Sostenibilitat. Av. de Josep Tarradellas, 2-6. 08029 Barcelona.*

PARAULES CLAU: *urbanisme*

Introducció al planejament territorial i urbanístic a Catalunya

El desenvolupament urbanístic sostenible és configura com un principi general de l'actuació urbanística i implica la utilització racional del territori i el medi ambient i comporta conjuminar les necessitats de creixement amb les de preservació dels recursos naturals i dels valors paisatgístics (article 3 de la Llei 2/2002, de 14 de març, d'urbanisme).

Totes les administracions amb competències urbanístiques (la Generalitat i la Local) han de vetllar perquè les determinacions i execució del planejament urbanístic permetin assolir uns nivells adequats de qualitat de vida i sostenibilitat ambiental i de preservació en front dels riscos naturals i tecnològics (article 9.1 de la Llei 2/2002).

D'acord amb aquesta previsió de la Llei d'Urbanisme de Catalunya, l'article 9.2 prohibeix urbanitzar i edificar en zones inundables i de risc per a la seguretat i el benestar de les persones, en excepció de les obres vinculades a la protecció i prevenció davant de riscos.

A Catalunya es poden diferenciar diversos instruments de planificació territorial i urbanística que es detallen a continuació i que es poden diferenciar en:

- Planificació Territorial general i parcial
- Plans directores urbanístics
- Plans d'ordenació urbanística municipal
- Plans parcials urbanístics
- Plans de millora urbana
- Plans especials

La delimitació de zones inundables té vincles amb el conjunt d'aquestes fases.

La planificació territorial a Catalunya

La planificació territorial està ordenada jeràrquicament (article 5.1 de la Llei 1/1995). Es pot visualitzar aquesta jerarquia a la següent figura:

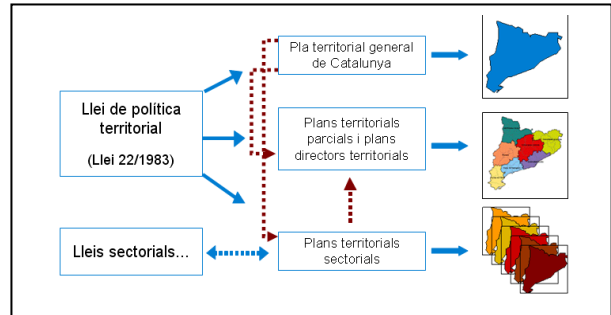


Figura 1 – Estructura dels plans territorials; Font: Frederic Ximeno. *Avaluació Ambiental Estratègica Conferència al Col·legi d'Enginyers de Camins, Canals i Ports (26.03.2008)*

Planejament Territorial General (PTG)

El PTG ha d'incloure entre d'altres extrems la determinació dels espais i dels elements naturals que cal conservar per raó d'interès general referida a tot el territori, preveure l'emplaçament de les grans infraestructures de comunicacions, sanejament, energètiques i d'equipament d'interès general i indicar àrees del territori en les quals cal promoure usos específics (article 5 de la Llei 23/1983).

Aquest PTG ha estat aprovat per la Llei 1/1995, de 16 de març. El PTG fixa els continguts del PTP. L'article 7 incorpora previsions pel que fa a la planificació hidrològica.

Planejament Territorial Parcial (PTP) o Plans Directores Territorials

Els set PTP defineixen l'esquema dels sòls destinats a acollir els diferents usos, les infraestructures bàsiques i els espais objecte de protecció en funció de llur interès especial i de llur valor de situació.

Els Plans Territorials Parcial són més concrets en quant ja han d'assenyalar els espais d'interès natural, l'emplaçament d'infraestructures i molt especialment les determinacions de la planificació urbanística (article 3 de la Llei 1/1995, de 16 de març, per la qual s'aprova el PTG de Catalunya). En aquest sentit contenen un apartat d'"espais oberts" on s'inclouen les directrius de preservació

en funció del risc d'inundació i els valors ambientals dels espais fluvials.

Concretament, la Llei 1/1995, obliga a què els Plans Territorials Parcial hagin de quantificar els paràmetres urbanístics bàsics com ara el nombre d'habitatges, el sostre industrial i terciari i el sòl per equipaments, però a més, quan defineixin els diversos sistemes de proposta, ho han de fer tenint en compte els espais objecte de protecció en funció de llur interès especial i de llur valor de situació.

Els set Plans territorials parcials varen ser aprovats entre els anys 2006 i 2010 i, majoritàriament i amb poques diferències entre ells, inclouen els sòls afectats per riscos d'inundació dins els "espais oberts" i concretament com a "sòl de protecció territorial" de manera que no es possibilita la seva transformació urbanística en sòls urbans o urbanitzables.

Tot i així han reconegut les classificacions de sòls vigents en els planejaments municipals.

Plans Territorials Sectorials (PTS)

Són els plans d'incidència territorial que elaboren els departaments en àmbits temàtics de la seva competència. El seu àmbit d'aplicació és tot el territori de Catalunya.

Aquests plans han de contenir una estimació dels recursos disponibles, de les necessitats i dels dèficits, territorialitzats en el sector corresponent. També han de contenir la determinació de les prioritats d'actuació i la definició d'estàndards i normes de distribució territorial.

Aquests Plans han "dibuixat" emplaçaments i reserves dins les seves respectives competències que s'han d'introduir en els planejaments urbanístics treballant a una escala més acotada de manera que són aquests últims els que han de concretar la seva compatibilitat amb els riscos d'inundació.

Amb aquestes determinacions es pot arribar a entendre l'INUNCAT com a pla territorial sectorial i, per tant, les seves determinacions han de ser tingudes en consideració en l'elaboració dels planejaments urbanístics.

Plans Directores Urbanístics (PDU)

Són els plans a través dels quals es porta a terme la planificació urbanística del territori en coherència amb el planejament territorial. Els correspon establir les directrius per a coordinar

l'ordenació urbanística d'un territori d'abast supramunicipal, el desenvolupament urbanístic sostenible, la mobilitat de persones i mercaderies i el transport públic, les mesures de protecció del sòl no urbanitzable i els criteris per a la seva estructuració orgànica, la concreció de les grans infraestructures i la programació de polítiques supramunicipals de sòl i habitatge.

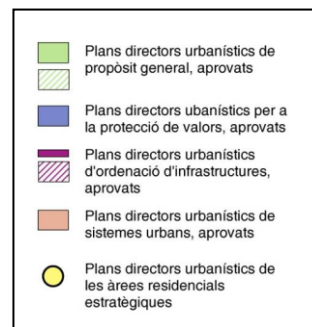
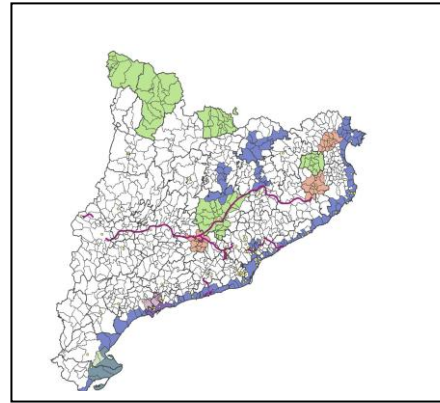


Figura 2 – Estat dels Plans Directores urbanístics Font: Elaboració pròpia

Els Plans directores, amb diferents objectius i abast sobre el territori, no garanteixen el planejament de base amb cobertura sobre el territori de Catalunya, tot i que si que han tingut en compte les determinacions del Reglament de la Llei d'urbanisme per a la seva redacció.

Si que els documents de propòsit general i normalment d'abast comarcal, així com els Plans directores de sistemes urbans, poden arribar a determinar amb un grau de concreció major les prevencions front el risc d'inundació.

Plans d'ordenació urbanística municipal (POUM)

D'acord amb l'article 57 de la Llei d'urbanisme, "Els plans d'ordenació urbanística municipal són l'instrument d'ordenació urbanística integral del territori i poden abastar un terme municipal o més d'un.

L'article 58 de la mateixa Llei, quan regula les determinacions dels plans d'ordenació urbanística municipal, estableix que aquests plans desenvolupen per cada classe de sòl l'estructura i el model de territori, que s'ha d'adequar a les determinacions de l'article 3 i 9.

En aquest sentit són els POUM els documents on es materialitzen les directrius establertes en el planejament territorial tant general com parcial o sectorial i, per tant, els instruments urbanístics que han de definir el planejament de base que garanteixi la prevenció front el risc d'inundació de persones i béns.

Correspon als plans d'ordenació urbanística municipal:

- Classificar el sòl, amb vista a l'establiment del regim jurídic corresponent.

- Definir el model d'implantació urbans i les determinacions per al desenvolupament urbanístic, d'acord amb el que estableix l'article 3.

Amb la tècnica de classificació i qualificació dels sòls els PPUM distingeixen entre els sòls que ja són urbans, consolidades o no consolidades, els sòls urbanitzables, delimitats o no delimitats que són susceptibles de transformació a sòls urbans i els sòls no urbanitzables, i per cadascun d'aquests règims les qualificacions urbanístiques en determinen els usos i la seva intensitat.

Plans Parciais urbanístics (PPU) i Plans de Millora Urbana (PMU)

En aquells sòls en que els PPUM preveuen la seva transformació respecte la situació vigent, és el planejament derivat l'encarregat de fer l'ordenació de detall dels usos i edificacions d'acord amb les seves previsions.

Si el planejament de base està ben definit, encara que dins els àmbits de desenvolupament hi pugui haver part de sòls amb risc d'inundació, l'ordenació de detall ha de poder situar els aprofitaments urbanístics de forma compatible amb els requeriments hidràulics.

Plans Especials (PE)

Els Plans especials tenen continguts i abast molt diferenciat entre ells. Es poden situar en sòls de diferents règim urbanístic i poden abastar un municipi més d'un municipi o petits àmbits d'actuació amb competències sectorials molt concretes. Per tan no poden garantir el planejament de base.

Els Plans Especials de protecció de valors ambientals (art. 93.2 del Reglament de la Llei d'urbanisme) han de contenir, entre altres determinacions, la regulació dels usos admissibles o incompatibles.

Situació vigent

Tot el territori de Catalunya compta amb planejament territorial adaptat als requeriments de prevenció front els risc d'inundació.

Tots els municipis compten, també, amb una figura de planejament urbanístic general, però no tot els municipis han adaptat als requeriments del reglament de al Llei d'urbanisme els seus Plans generals o Normes subsidiàries de planejament, que són les figures de planejament municipal anteriors als POUM.

Per tant, hi ha encara molts sectors de desenvolupament o sòls no urbanitzables que poden estar afectats per àmbits amb risc d'inundació, i és en el marc del seu planejament derivat o autorització d'ús i edificació en sòl no urbanitzable, el moment en que s'ha de garantir la compatibilitat de la realitat física dels sòls amb les previsions del planejament.

Són en aquests sòls on poden sorgir encara problemes adaptació i solucions que o bé generen situacions d'impossibilitat física o econòmica per a desenvolupar les previsions del planejament.

En tot cas l'actuació a posteriori d'una inundació ha d'estar d'acord amb la legislació actual i, igual que per les noves implantacions, els bens afectats s'hi han d'adaptar.

Conclusions

Tal i com s'ha exposat al llarg de l'article, d'acord al que preveu la llei d'urbanisme, el desenvolupament urbanístic sostenible és configura com un principi general de l'actuació urbanística.

L'estructura jeràrquica entre plans permet la coordinació i el desenvolupament entre ells.

L'articulació entre els diversos plans està pensada per a garantir la coordinació que no sempre es produeix donada la obsolescència d'alguns planejaments.

La manca d'informació en determinades fases condiona les decisions preses i els desenvolupaments posteriors.

Sigles i abreviatures

PE - Plans Especials

PDU - Plans Directors Urbanístics

PTG - Planejament Territorial General

PTP- Planejament Territorial Parcial

PTS - Plans Territorials Sectorials

POUM - Plans d'ordenació urbanística municipal

PMU - Plans de Millora Urbana

PPU - Plans Parcial urbanístics

Bibliografia

Llei 2/2002, de 14 de març, d'urbanisme
FREDERIC XIMENO. Avaluació Ambiental Estratègica
Conferència al Col·legi d'Enginyers de Camins,
Canals i Ports (26.03.2008)
Llei 1/1995 , de 16 de març, per la qual s'aprova el Pla
territorial general de Catalunya.
Llei 23/1983

MODEL DE GESTIÓ DE LES INFRAESTRUCTURES AL VOLTANT DE LA RIERA VINCULADES AL PLA D'ORDENACIÓ URBANÍSTICA MUNICIPAL DE RUBÍ

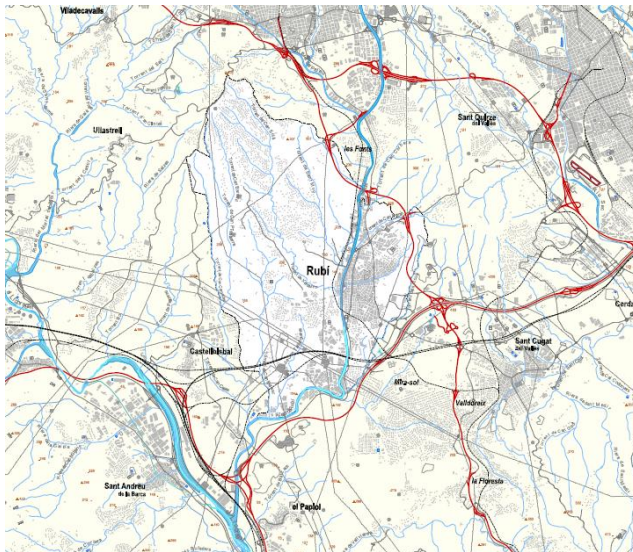
Josep Milà i Albà ⁽¹⁾; Carme Estany Blázquez ⁽²⁾; Carlos Freire de la Corte ⁽³⁾

(1) Director de l'Àrea de Planificació, Ecologia Urbana i Seguretat, Ajuntament de Rubí

(2) Directora del POUM, PROURSA -Ajuntament de Rubí

(3) Director de Projectes, PROURSA -Ajuntament de Rubí

1. Introducció



Dades bàsiques de Rubí (2013)

El Pla General d'Ordenació de Rubí (PGO) es va aprovar definitivament el 1981. Actualment, en el marc de la revisió del PGO, s'aposta per un nou model de ciutat més sostenible, que potencia les transformacions interiors vers el creixement en extensió i que posa en valor els elements naturals del territori, integrant-los dins l'estructura general de la ciutat. En aquest sentit, es planteja una nova mirada en relació a l'ordenació urbana a l'entorn de la Riera de Rubí.

En aquest document es descriuen els plans i projectes que han de permetre la transformació de l'espai al llarg dels marges de la Riera de Rubí.

El terme municipal de Rubí té una extensió de 32,3Km² i compta amb una població de 75.122 habitants.

Pel que fa a la configuració física del territori i la seva orografia, la Riera de Rubí entra pel nord des de Terrassa, travessa el municipi en sentit nord-sud i desemboca al Llobregat. El recorregut dins el TM, és de 8,5Km longitudinals de Riera.

Els torrents transversals al marge dret de la Riera, determinen una topografia característica de valls i carenes.

Al marge esquerre de la Riera, el territori cau cap a oest. Com a conseqüència d'aquesta topografia, el casc urbà de Rubí presenta pendents suaus en sentit longitudinal (N-S) i carrers amb fort pendent i manca de connexió amb la C1413 en sentit E-O.

2. Mobilitat

Les infraestructures de comunicació defineixen l'esquema de relacions del municipi amb el seu entorn.

A nivell territorial, l'estructura viària de Rubí, està configurada per l' AP7 - B30 que passa pel sud del municipi i discorre en sentit est - oest i la E9 - C16 a est del municipi i que discorre en sentit nord - sud.

En paral·lel al traçat de l'AP7, hi ha la previsió de la Via Interpolar, que ha de contribuir a millorar la mobilitat entre els municipis de la segona corona metropolitana i ha servir alhora com a element viari principal de distribució sobre les vies urbanes de Rubí.

El conjunt d'infraestructures territorials situa Rubí en un node amb molt bona mobilitat en relació a la regió metropolitana de Barcelona.

A escala de ciutat, la carretera C1413 i l'Avinguda de l'Estatut, configuren l'estructura general urbana de Rubí. Totes dues vies discorren en sentit nord - sud, creuant-se a nord del casc urbà, i deixant a l'interior l'àmbit més central i amb més intensitat urbana de la ciutat.

La C-1413 discorre paral·lela a la Riera de Rubí pel seu marge esquerre. La diferència de cota entre la rasant de la carretera i la ciutat central intensiva, que en alguns punts es troba fins a 6m més elevada, dificulta la connectivitat transversal entre les dues bandes de la Riera.

Al marge esquerra de la Riera, el Passeig de la Riera no té continuïtat en sentit nord sud, ja que encara no s'ha obert el pas per sota el ferrocarril.

En l'actualitat el municipi disposa de **7 punts** que connecten els dos marges de la Riera (2 d'ells, Cadmo i Sant Joan, situats dins la franja més central de la ciutat).

A banda de la C-1413 i l'Avinguda de l'Estatut, les vies col·lectores urbanes que relliguen el casc urbà de la ciutat i estructuren els moviments locals

en sentit est - oest són: C/ Cervantes i Llobateres a sud, i Cadmo, i Sant Gaietà a la part nord. Sabadell, Av. Castellbisbal.

Al llarg dels 2km longitudinals del tram urbà més central de la C-1413 (C/ Edisson - Pl. Vallès) cap d'aquestes vies urbanes transversals té intersecció amb la carretera.

Malgrat la seva centralitat física, i la posició dins la ciutat, la C-1413 és actualment a Rubí, una via de pas, però no de parada, no integrada en la trama urbana central.

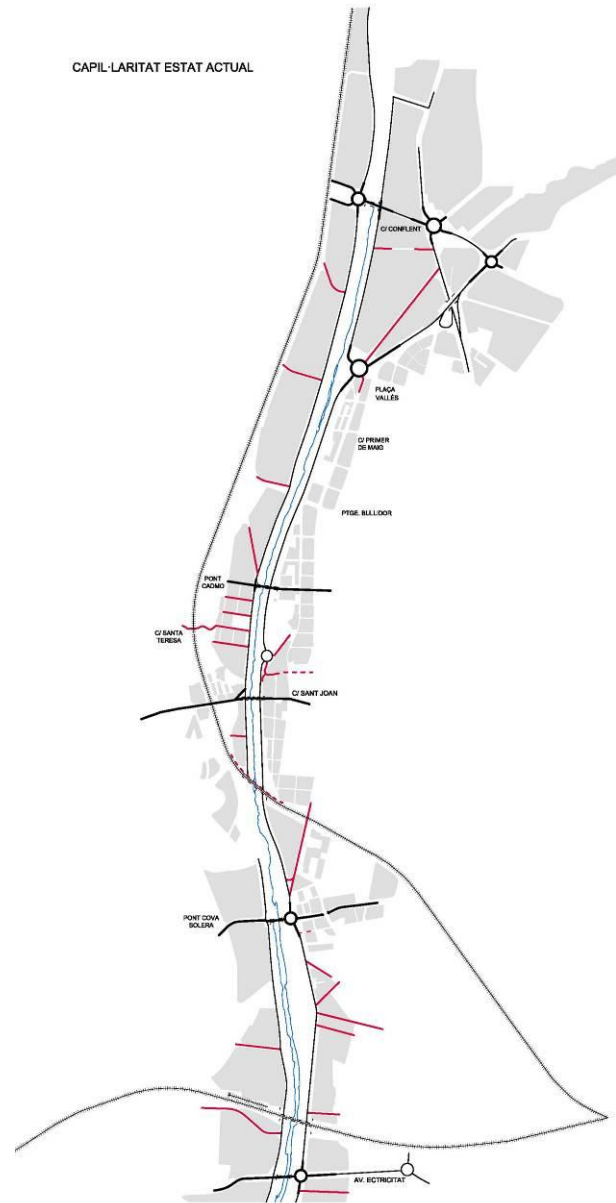
3. Diagnosi urbana

Amb aquests condicionants orogràfics d'una banda i d'infraestructures per l'altra, la ciutat actual ha crescut d'esquena a la Riera. Des de la perspectiva urbana, la Riera i la carretera són dues infraestructures lineals que tallen la ciutat, representen la fractura urbana de Rubí.

Fractura a tots els nivells: per la manca de connectivitat transversal entre ambdós costats de la riera, per la manca de coherència en l'ordenació urbana del front de la Riera, i per la manca d'apropiació ciutadana de l'espai lliure vinculat a la Riera.

La **manca de connectivitat transversal**, es manifesta d'una banda per la diferència de cota entre la ciutat central i les dues infraestructures (riera+carretera en paquet) i de l'altra per la manca de connexions a nivell entre les infraestructures lineals i la ciutat central. Els escassos ponts entre els dos marges, no són suficients per a garantir el bon funcionament d'una ciutat de 75.000 habitants.

D'altra banda, l'**ordenació urbana** prevista en el planejament vigent (PGO-81) no reconeix el potencial de la Riera i l'espai lliure vinculat com a elements vertebradors de la ciutat (i el territori fora ciutat), ni pel que fa a l'estructura d'espais lliures i de lleure dels ciutadans, ni tampoc pel que fa a criteris d'ordenació urbana: la secció lliure entre els dos fronts urbans de la riera arriba a tenir 80m d'ample; que el PGO ordena amb teixit suburbà de PB+2 i PB+3, sense singularitzar cap àmbit. La presència de la C-1413, fortament condicionada pels requeriments sectorials derivats de la legislació en matèria de Carreteres (velocitats, distàncies de protecció, impossibilitat de semaforització) tampoc facilita aquesta integració urbana.



En l'**estructura d'espais lliures** de la ciutat tampoc es reconeix el potencial de la riera. Les actuacions que s'han dut a terme al llarg de la vigència del PGO han estat únicament aquelles vinculades a la seguretat contra les inundacions, focalitzant-se en la neteja i adequació de la llera i la col·locació d'elements de protecció contra les avingudes.

Malgrat tot, és indiscutible que els espais buits existents actualment vinculats a la Riera i a la C-1413 tenen un gran potencial d'intervenció urbana i configuren els espais d'oportunitat de la ciutat del futur.



Aquests són els condicionants d'entorn amb els que ens trobem actualment a l'hora de pensar quin ha de ser el futur d'aquesta ciutat de 75.000 habitants.

4. Criteris del POUM

Proposta d'ordenació

En el marc dels treballs de redacció del POUM es proposa una nova estructura general del territori que comporta la lectura global dels aspectes físics i topogràfics (orografia), d'infraestructures de mobilitat i de model de ciutat.

Com a resultat de la diagnosi urbana, es posa de manifest la necessitat de connexió de la ciutat a ambdues bandes de la Riera.

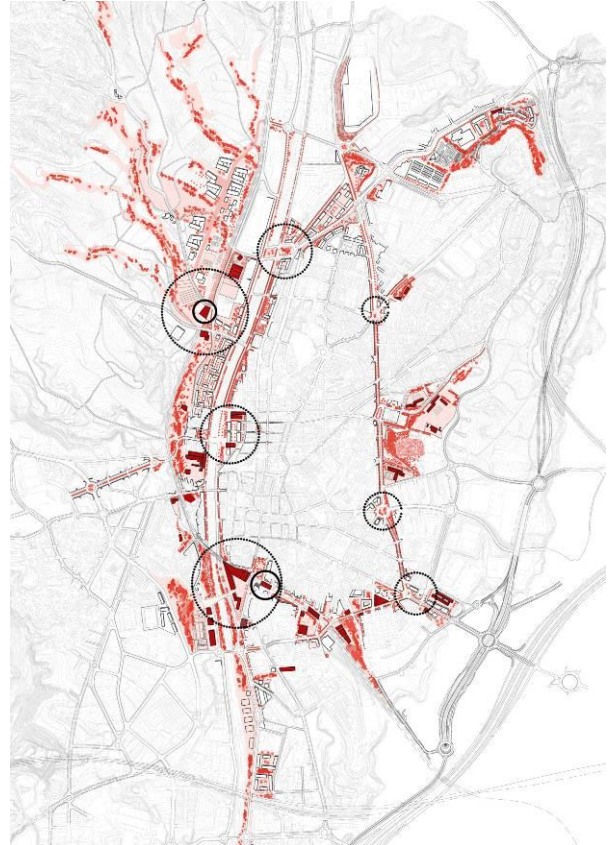
La proposta d'ordenació del POUM aposta per reconvertir l'entorn de la Riera en un espai connector a escala de ciutat i potenciar la funció d'aquest espai com a àrea d'esbarjo i lleure dels habitants, convertint el marge de la Riera en el gran passeig lineal de Rubí.

Per a aconseguir aquest objectiu, es treballa a tres nivells: ordenació urbana, infraestructures de mobilitat i requeriments hidràulics.

Nova lectura urbana

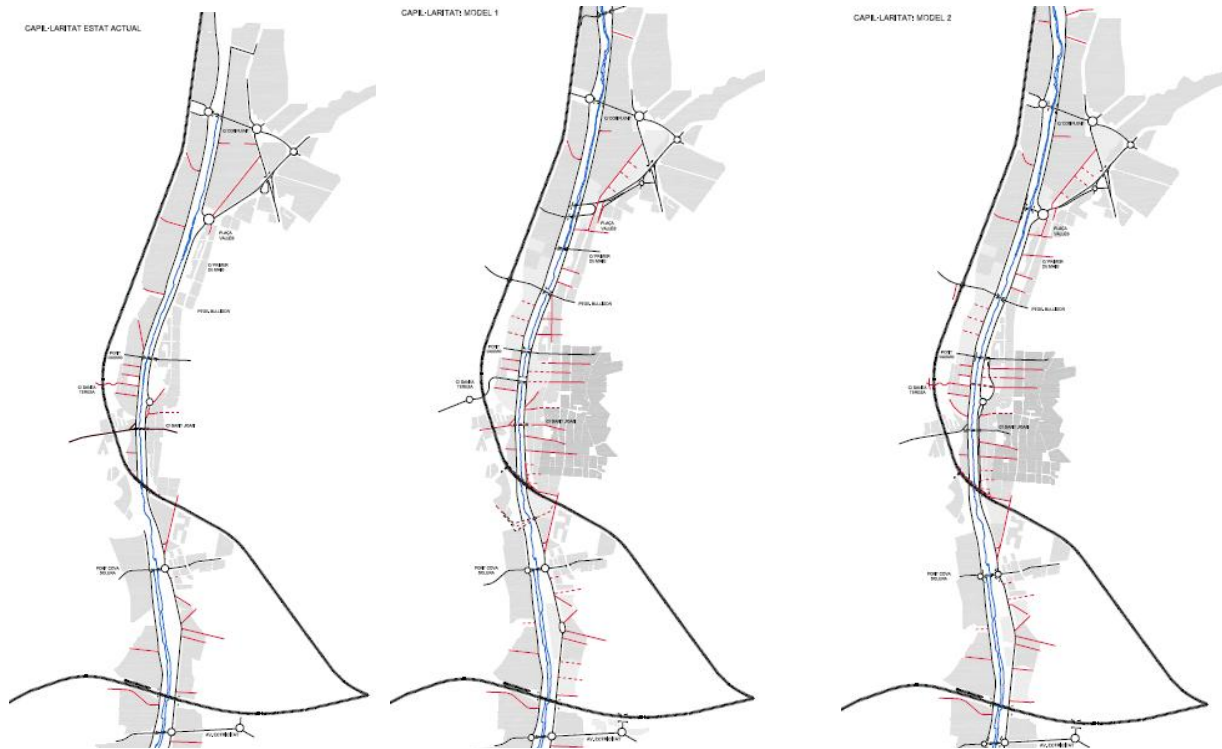
Pel que fa a l'ordenació urbana, el POUM delimita 12 plans de Millora Urbana als dos marges de la Riera, que comportaran la transformació d'aquest front fluvial. Es tracta d'operacions potents a escala de ciutat, d'entre 1 i 3 Ha de superfície, que aportaran noves centralitats, on es barregen els usos residencials amb un important percentatge d'usos terciaris i de serveis, pràcticament inexistent en l'actualitat a Rubí. L'execució d'aquestes operacions és part important de la requalificació de l'entorn de la Riera.

Pel que fa a la gestió urbanística es delimita un àmbit de Pla Especial d'Infraestructures de la Riera de Rubí, que vincula els sectors que hi tenen front. La vinculació és tant urbana, com econòmica i de gestió, en el sentit que el corresponent projecte d'urbanització es determinarà per a tot el front de la Riera de manera "unitària" dins el PEIRR, amb independència que cada PMU executi el seu front.



Infraestructures de mobilitat

En base a l'anàlisi de la mobilitat actual, es reconeix el caràcter estructurant de la C-1413 i l'Avinguda de l'Estatut i es potencien les vies col·lectores transversals que han de garantir la connectivitat en xarxa entre les parts de la ciutat.



Garantir la connectivitat transversal passa per donar un caràcter més urbà a l'entorn de la C-1413 així com per la construcció de noves interseccions (nous ponts) i l'ampliació i millora dels existents.

El cas de Rubí porta afegida la dificultat de gestió de la mobilitat vinculada a la C-1413 (de titularitat de la Generalitat). En aquest sentit a banda de tenir en compte que la C-1413 i l'Avinguda de l'Estatut són pràcticament les úniques dues vies que creuen la ciutat, de forma relativament ràpida, en sentit nord – sud; cal valorar també (sense perdre de vista la mobilitat), la necessitat de garantir la seva transformació en vies amb caràcter més urbà que donin resposta a la necessitat de mobilitat però també a l'articulació de la ciutat i l'espai urbà. Per a aconseguir la completa integració de la C-1413 dins la trama urbana, es proposa una actuació per fases que anirà vinculada a la construcció de la circumval·lació (ronda est) de la ciutat.

El context socio-econòmic actual fa necessari preveure un escenari on es puguin compaginar les necessitats de mobilitat pròpies d'una infraestructura comarcal i les necessitats urbanes pròpies d'una ciutat de 75.000 habitants.

Requeriments hidràulics

La Riera al seu pas pel nucli urbà es troba endegada, ja sigui per murs o per proteccions d'escollera.

Atès que discorre per un nucli urbà consolidat es troba travessada per 7 ponts (2 de ferroviaris i tres ponts viaris).

Presenta tres assuts així com un gran nombre de travesseres d'estabilització dels fons de la llera amb la funció de disminuir la pendent i el flux d'avinguda per tal de reduir, en la mesura del possible, els efectes de les erosions.



L'estudi de modelització hidràulica redactat per ABMJG per al POUM analitza per una banda les condicions d'inundabilitat actuals i el comportament hidràulic de les estructures existents de la Riera (ponts, endegaments, travesses, etc.), i per altra estableix les principals característiques geomètriques i hidràuliques de les noves estructures que es volen desenvolupar per tal de determinar el seu impacte hidràulic. El modelatge realitza una actualització de la diagnosi mitjançant un model hidràulic unidimensional HEC-RAS amb la introducció d'una topografia més detallada i tenint en compte les estructures transversals.

Els nivells d'aigua assolits en l'actualització de la diagnosi realitzada per a cada un dels escenaris estudiats són de forma genèrica superiors als resultats obtinguts en el seu moment en la diagnosi de la PEF. Aquest fet és degut principalment a la consideració de les estructures de pas que travessen la Riera.

No obstant, de forma global, l'endegament de la Riera de Rubí assegura la capacitat per a avingudes de 10 anys de període de retorn i gairebé en la majoria de seccions per a avingudes de 50 anys de període de retorn.

Pel que fa als criteris de disseny de les noves estructures s'estableix la no modificació de l'amplada de l'endegament en el punt d'implantació de piles a la llera dins de l'endegament i un resguard mínim d'un metre respecte la làmina d'aigua per a avingudes de 500 anys.

Amb aquestes condicions juntament amb els criteris estudiats de mobilitat s'han hagut de modificar les previsions inicials. D'aquesta manera, es proposa mantenir 3 nous ponts dels 7 inicialment proposats, i 2 passarel·les de vianants de les 3 plantejades.

Així, es mantenen el pont de connexió de la futura plaça Vallès (actual intersecció de la ctra. C-1413 amb el carrer de Terrassa), el pont continuació del passatge Bullidor amb el carrer Pont de Can Claverí (eix que ha de connectar la nova estació de FGC amb el centre de la ciutat) i el que connecta el carrer del compositor Wagner amb la futura interpol·lar, a sud de la ciutat.

En relació a les passarel·les de vianants, es planteja la formada per la continuació del carrer de Santa Teresa amb l'Escardívol i la paral·lela al pont dels FGC.

A més, l'estudi determina que 4 dels 7 ponts existents assoleixen una capacitat hidràulica suficient per tots els escenaris d'avinguda contemplats.

Les ampliacions proposades en els ponts on la capacitat hidràulica actual és inferior a 500 anys de període de retorn es plantegen aigües avall on el nivells són inferiors.

S'estableixen cotes d'accés a les edificacions previstes en els Plans de Millora Urbana en zona inundable 50 cm per sobre els nivells màxims de 500 anys de període de retorn i nivells que afecten al traçat i a les connexions de la futura vialitat.

Els resultats de l'estudi posen de manifest que la capacitat de l'endegament no es veu alterada sense increments en afectacions a tercers.

5. Traçat i disseny urbà

La C-1413 discorre pel marge esquerra de la Riera travessant Rubí en el sentit nord-sud. Està formada per un vial de dos sentits de circulació amb una amplada que oscil·la en el tram central entre els 13 i 15 m. Té una intensitat mitja diària entre 15.000 i 25.000 vehicles.

Presenta multitud de problemes en el seu recorregut: manca de definició dels seus límits, fet que provoca la proliferació d'aparcaments espontanis en els seus marges i discontinuïtats pels vianants, paviments i ferms degradats, serveis aeris amb multitud de creuaments, manca de senyalització viària, etc.

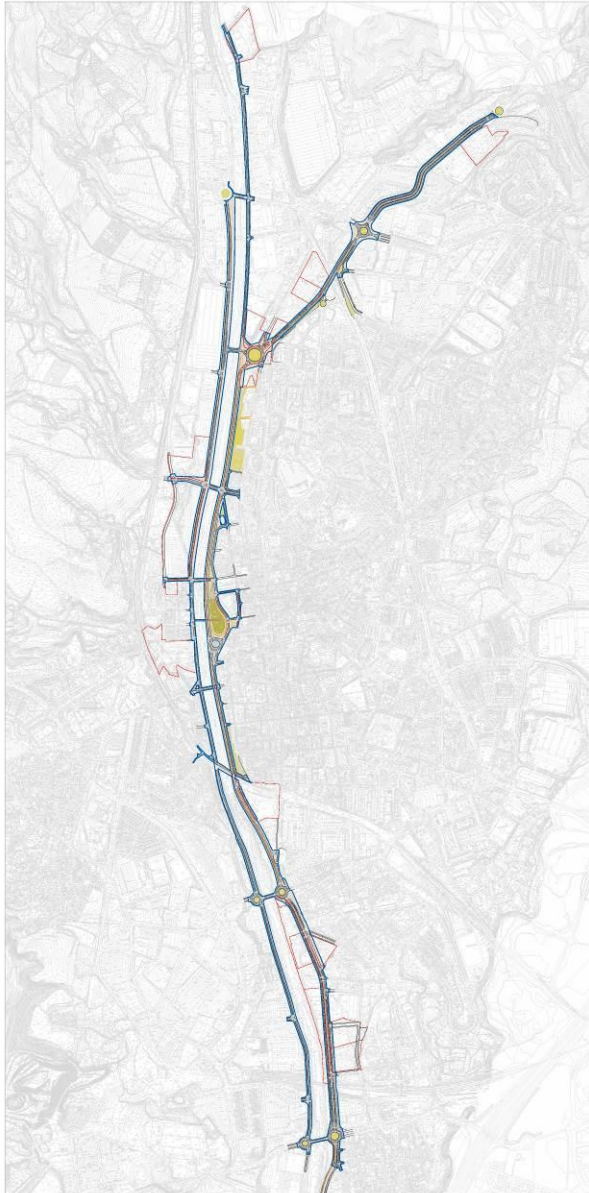
Necessita una actualització profunda en relació al seu traçat, connectivitat, disseny i seguretat vial.



Per la seva catalogació, qualsevol intervenció ha de complir amb els requeriments normatius d'una carretera convencional C-80 fet que fa molt difícil

obtenir un disseny urbà integrador amb la ciutat circumdant.

Com que la conversió de la carretera en una via totalment urbana està inevitablement condicionada a la circumval·lació prevista en el POUM, és necessari un plantejament per fases que pugui respondre a mig i a llarg termini.



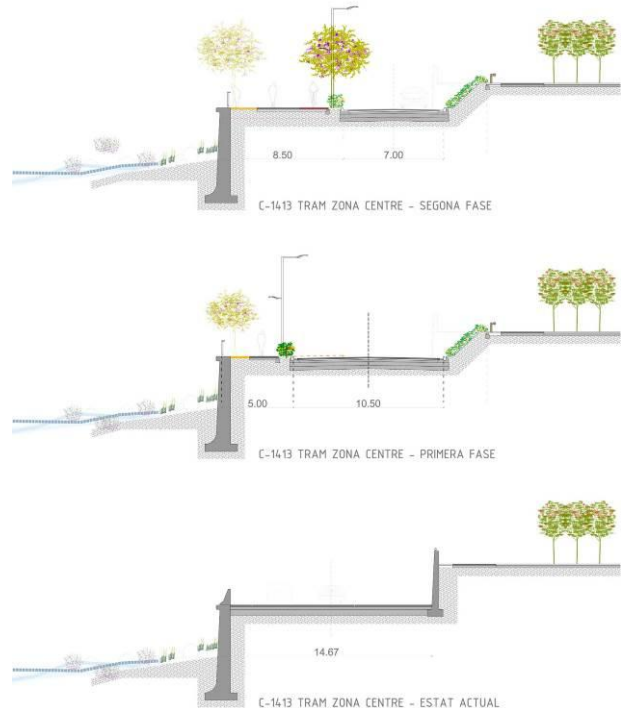
D'aquesta forma, s'ha plantejat una **primera fase** que millori la situació de la C-1413 conjugant els requeriments vials propis d'aquesta infraestructura amb un caràcter de travessera urbana.

Així, la secció de la carretera es redueix a 10,50 metres possibilitant l'ampliació i continuïtat de voreres i potenciant una major relació dels vianants vers la Riera.

S'incorporen en aquesta fase totes les connexions previstes entre les dues vessants de la ciutat: els tres nous ponts, les dues noves passarel·les per vianants i l'ampliació dels ponts existents.

Per a assolir aquestes connexions ha estat necessari pujar el nivell de la via en algun tram i canviar el traçat en alguns punts per adequar-se a les cotes fixades per la modelització hidràulica i els requeriments de traçat.

Aquest primer escenari assenta les bases per a una futura integració de la C-1413 amb la xarxa viària urbana per convertir-la en un eix viari desdoblant a banda i banda de la Riera aprofitant l'oportunitat que ofereix l'actual passeig de la Riera.



Així, en una **segona fase**, en la traça de la C-1413 es proposen dos carrils amb una amplada màxima de 7 metres i en el passeig de la Riera dos carrils que oscil·len entre 6 i 7 m que es perllonguen fins a la rotonda del carrer del Compositor Vivaldi.

En la zona central es formalitza un passeig amb voreres amples també a banda i banda de la Riera, la introducció d'una xarxa de carril bici, vegetació, mobiliari urbà, actualització i soterrament de serveis, etc.

També es proposa el treball dels límits amb la Riera per integrar-la al màxim possible amb l'espai públic, permeabilitzant més trams com el de la coronació del mur de la carretera C-1413 entre la plaça del Vallès i la zona de l'Escaridólvol, i incorporant els espais residuals del teixit urbà amb la nova urbanització.

La futura redacció del Pla d'infraestructures ha d'incorporar aquestes consideracions per aprofundir en les diverses actuacions plantejades, en la concreció econòmica, en terminis i prioritats.

La delimitació de zones inundables

COORDINACIÓ ADMINISTRATIVA PER A LA DELIMITACIÓ DE ZONES INUNDABLES I FENÒMENS ASSOCIATS

Lluís Godé ⁽¹⁾; Alex Gracia⁽¹⁾, Joan Verdú⁽¹⁾, Sandra Ruiz⁽¹⁾, Anna Casamitjana⁽¹⁾, Diego Moxó⁽¹⁾, Carme Castroverde⁽¹⁾, Jordi Perez⁽¹⁾, Sergi Gumà⁽¹⁾, Carles Cardona⁽¹⁾, M. Ángeles Vera⁽¹⁾, Paulina Sanz⁽¹⁾

(1) Agència Catalana de l'Aigua. Cr. Provença 204-20808036 Barcelona. lxgode@gencat.cat

PARAULES CLAU: PEF, planificació d'espais fluvials, directiva inundacions, delimitació de zones inundables, coordinació.

Resum

L'experiència acumulada ens ha demostrat que la combinació de diverses característiques i circumstàncies del nostre territori (orogràfiques, meteorològiques i usos del sòl) – típicament de clima mediterrani – originen episodis aïllats de pluges torrencials que poden conduir, de forma periòdica, a inundacions locals, a més de les de major abast degut a episodis de pluges més generalitzades, ja sigui per precipitacions in situ com les ocasionades per desbordaments de cursos fluvials o per l'efecte de la marea o onatge.

La coordinació, entre les diferents administracions municipals i les que tenen competències sectorials relacionades amb la problemàtica de les inundacions, és bàsica per a dur a terme una eficaç gestió d'aquestes i disminuir el danys sobre persones i bens.

La delimitació de zones inundables i fenòmens associats, eina bàsica en l'avaluació i gestió del risc d'inundacions, implica el treball de forma coordinada entre diversos agents. En aquest document es fa una síntesi de l'experiència d'una dècada de coordinació administrativa articulada amb la planificació d'espais fluvials. Aquesta és l'eina fonamental que l'ACA utilitza per a la implementació de la Directiva 2007/60/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 23 d'octubre de 2007, relativa a l'avaluació i la gestió dels riscos d'inundació i que preveu l'elaboració a finals del 2015 del Pla de gestió del risc d'inundació (PGRI).

Introducció

Fent repàs a la història recent de Catalunya s'aprecia com les inundacions han ocasionat quantioses pèrdues materials i humanes. Per aquest motiu, les diferents administracions competents porten treballant durant dècades en la implementació de mesures destinades a conèixer

l'abast de les zones inundables i mitigar i prevenir els danys produïts per aquestes inundacions.

Durant tot aquest temps, tant els criteris i metodologies com les tècniques aplicades han anat evolucionant des de solucions estructurals fins a les respostes holístiques actuals que integren mesures de gestió del territori, del risc i de l'emergència, articulades mitjançant una legislació que incorpora tots aquets conceptes oferint un marc integral, essent un dels pilars centrals la informació base que aporta la delimitació de les zones inundables.

La delimitació de zones inundables

Les inundacions poden estar produïdes tant pel desbordament dels rius i les rieres, com pel negament per precipitació in situ dels punts baixos del territori, com per l'efecte de la marea o l'onatge, com pel trencament d'infraestructures d'emmagatzematge o transport d'aigua, com per la manca de capacitat de drenatge dels sistemes de drenatge del clavegueram, etc..

A més a més cal tenir en compte, que associats a les inundacions es poden desencadenar altres fenòmens que poden agreujar els danys associats o amplificar el perill, com poden ser els moviments en massa o de vessants.

Tot això ha implicat que des de diferents administracions és treballés de forma coordinada, per a poder avançar, entre els diversos agents implicats, en el desenvolupament de les diferents planificacions sectorials.

Un exemple de col·laboració és el "Mapa per a la Prevenció dels Riscos Geològics 1:25.000 (MPRG25M)" que realitza l'Institut Geològic de Catalunya. L'objectiu del MPRG25M (Figura 1) és donar suport a la planificació territorial i s'ha concebut com un mapa multiperillositat, on s'indica la superposició de diferents perillositats en una mateixa zona. El Mapa principal s'hi representen els moviments de vessant, els enfondraments, les allaus i la zona potencialment inundable determinada a partir de criteri geomorfològic (ZPISCG). El mapa de perillositat

per inundabilitat, a escala 1:100.000, conté les modelitzacions hidràuliques, proporcionades per l'ACA, per als diferents períodes de retorn considerats (10, 50, 100 i 500 anys) i la zona

inundable segons criteris geomorfològics (ZPISCG).

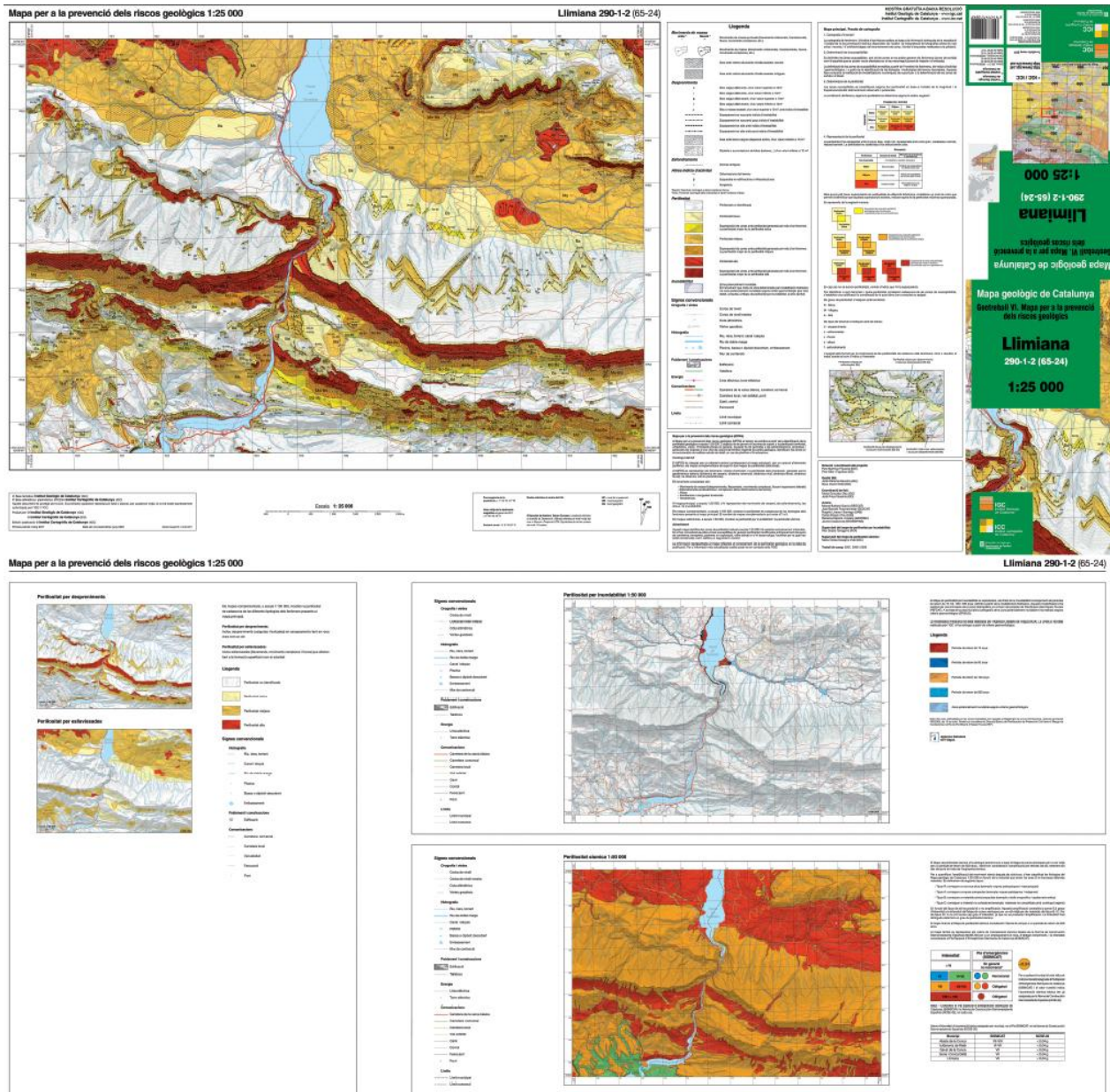


Figura 1 – Mapa per a la prevenció dels riscos geològics 1:25.000. Full de Llimiana 290-1-2(65-24). <http://www.igc.cat>

Estudis de la planificació d'espais fluvials (PEF)

Aquest és un dels projectes més ambiciosos de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) per a l'anàlisi detallada dels rius al districte de conca fluvial de Catalunya, tenint en compte tots els agents socials. De fet és l'eina bàsica que l'ACA utilitza per articular i implementar la Directiva 2007/60/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 23

d'octubre de 2007, relativa a l'avaluació i la gestió dels riscos d'inundació (DI).

L'ACA ha desenvolupat i desenvolupa tot un seguit de treballs de diferent grau de precisió, contingut i àmbit territorial, que els articula i fa difusió mitjançant els estudis de la planificació dels espais fluvials (PEF).

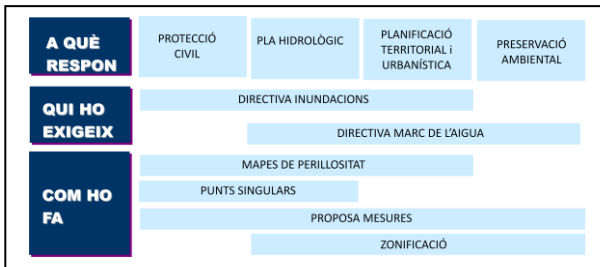


Figura 2 – Síntesi de la motivació dels estudis de planificació d'espais fluvials Font: Agustí Figueras

Pel que fa a la delimitació de zones inundables l'Agència en els estudis de PEF integra dos tipus d'informació:

- Cartografia hidràulica: basada en l'ús de models matemàtics que permeten determinar el comportament de l'aigua.
- Cartografia geomorfològica: basada en la interpretació de les formes del terreny que permeten determinar com s'ha modelat el terreny al llarg de la història i identificar processos que es poden tornar a produir.

La hidràulica és una eina per a l'estudi de les inundacions, que permet determinar la sèrie de variables del flux, que resulten d'utilitat a l'hora de planificar i gestionar el perill d'avinguda. Tot i això, sempre es convenient i en molts casos necessari, davant la complexitat de simular certs processos, contrastar i completar la informació que proporciona amb els estudis geomorfològics.

A continuació es destaquen algunes dels exemples més rellevants de coordinació que s'han vingut desenvolupant al llarg dels estudis de la PEF:

- Les bases cartogràfiques
- Millora de la cartografia d'inundabilitat
- Seguiment i operativa en cas d'inundacions
- La predicció d'inundacions

Les bases cartogràfiques

Disposar de una bona base cartogràfica és essencial a l'hora d'abordar la delimitació de zones inundables. En aquest tema és fonamental l'aportació de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) que realitza de forma principal aquesta feina.

Inicialment va ser mitjançant un conveni signat l'any 2001, on l'ICC es va encarregar de servir la cartografia base pel desenvolupament de la PEF, inicialment amb metodologia de restitució fotogramètrica clàssica i posteriorment amb la utilització del LIDAR. Gràcies a la tecnologia LIDAR, ha estat possible disposar de la cartografia

d'un model digital del terreny (MDT) d' 1 m de costat, que permet analitzar les grans planes d'inundació amb un nivell de detall teòric de ± 15 cm.

De forma complementaria l'ICC es va encarregar també de restituir i fer un croquis E1:500 d'estructures que interferien els cursos fluvials.

En aquests moments en aquells àmbits on no es disposava de mapes de perillositat i estaven identificats com a trams amb risc potencial probable d'inundació, s'ha utilitzat el MDT 2*2 m i l'ACA ha realitzat aixecaments amb cinta mètrica de les estructures existents.

Tot i que existeixen reptes a resoldre, en els que s'està treballant per a la millora de la cartografia (veure figura 1), la feina feta ha estat clau. Resoldre'ls i millorar les especificacions de productes complementaris (com el model digital de superfícies) permetrà en un futur proper disposar d' una base encara més fiable, que a la vegada permetrà millorar la cartografia d'inundabilitat.

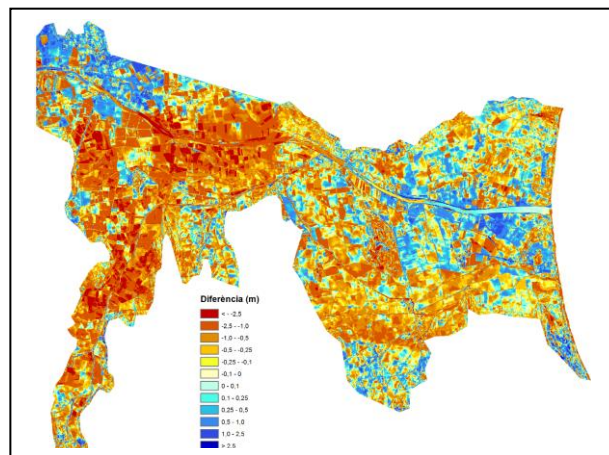


Figura 3 – Exemples de la discrepància de les bases cartogràfiques 5*5, i 1*1 del MDT de l'ICC de l'àmbit del Baix Ter Font: Elaboració pròpia a partir de la resta entre les bases

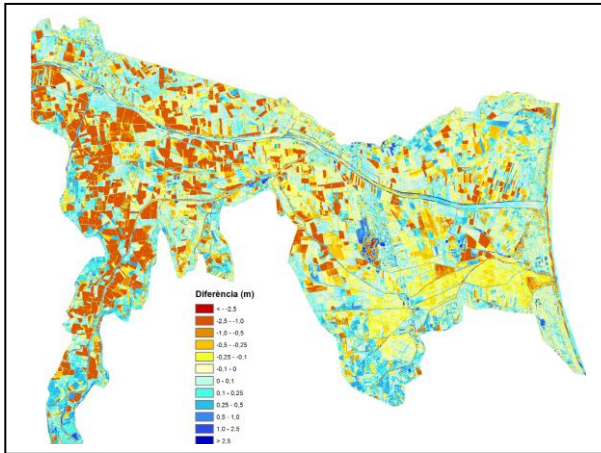


Figura 4 – Exemples de la discrepància de les bases cartogràfiques 2*2, i 1*1 del MDT de l'ICC de l'àmbit del Baix Ter Font: Elaboració pròpia a partir de la resta entre les bases

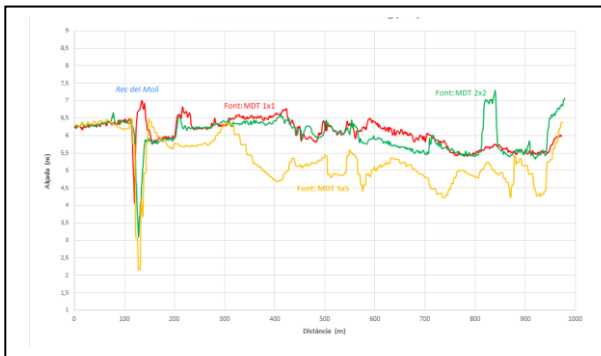


Figura 5 – Exemples de la discrepància de les bases cartogràfiques 5*5, 2*2, i 1*1 del MDT de l'ICC de l'àmbit del Baix Ter Font: Elaboració pròpia a partir de la resta entre les bases

A més a més de la informació de punts singulars i cartografia d'hàbitats que elabora l'ACA servirà per alimentar i millorar altres bases cartogràfiques, com és la cartografia dels mapes de cobertes del sòl.

Millora de la cartografia d'inundabilitat

Un dels exemples és el conveni 2006-2008 amb l'Institut Geològic de Catalunya (IGC) mitjançant el qual es va procedir a la revisió i millora de tota la informació geomorfològica que fins aleshores havia elaborat l'ACA. La informació elaborada en aquest conveni està disponible a la web.

A més a més amb la Direcció General d'Urbanisme hi ha un intercanvi de la informació elaborada a la PEF i de la que ells generen per aquells àmbits on no es disposava d'informació; i desenvolupen Plans d'ordenació urbanístics municipals (POUM). A més a més l'ACA, i de forma complementària a partir de la informació

elaborada, treballa en aquests àmbits en l'establiment d'una zonificació dels espais fluvials a fi de la regulació dels usos admissibles en les diferents zones tot d'acord amb les normatives vigents.

Amb els altres organismes de conca competents, s'està en contacte. Se'ls hi ha facilitat la informació disponible i a més a més se'ls hi ha indicat aquells àmbits on es tenia coneixement d'informació elaborada; la informació que estan actualitzant i elaborant estarà disponible al Sistema Nacional de Cartografia de zones inundables (SNCZI).

Amb les universitats s'han establert diverses línies de col·laboració en aquest sentit, ja sigui en el desenvolupament de treballs finals de grau o màster, com en l'estada en pràctiques. Fruit d'aquests ja es disposen d'uns quants treballs (riera de Colera al TM de Colera, riera de Palau al TM Sant Andreu de la Barca, riera d'Alella TM de Masnou i Alella, etc.).

Tant amb els ajuntaments, com amb empreses i promotors de grans infraestructures públiques s'està treballant per a que en les informacions que elaboren, fruits de nous desenvolupaments o modificació dels existents, utilitzin la informació existent i facin retorns de la nova informació elaborada.

Seguiment i operativa en casos d'inundacions

L'ACA fa un seguiment a la xarxa fluvial principal, de les avingudes, a partir del seguiment de nivells d'aigua mitjançant una xarxa de control (embassaments i preses, assuts, recloses, estacions d'aforament, etc.) que pot presentar un nivell de sensorització variable (inexistent fins a molt complex); aquesta està tipificada segons una operativa, que diversos agents poden utilitzar pels seus plans d'autoprotecció.

L'ACA realitza també les tasques d'inspecció, tant en situació de normalitat com en episodis d'avingudes, la qual es coordina amb el CECAT a través de les activacions del Pla INUNCAT.

A més a més als estudis de la PEF ha inventariat els punts singulars (pe ponts, murs, etc.), amb els quals es possible fer el seguiment, avaluant l'abast i possibles danys potencials de la crescuda. Aquests elements han estat inventariats amb major o menor precisió i detall, segons tipologia, característiques i funcionalitat, permetent disposar d'informació útil pel seguiment i anàlisi en cas d'inundacions.

L'assignació d'una operativa i el seguiment en cas d'avingudes, cal fer-la mitjançant els plans d'autoprotecció (PAU) per a centres i instal·lacions específics i els plans d'actuació municipals (PAM) a nivell general local, tots ells coordinats al Pla INUNCAT a escala de tota Catalunya.

Amb la Direcció General de Protecció Civil (DGPC) al llarg del 2013 s'ha procedimentat la revisió de la informació hidrològica i hidràulica dels PAM per part de l'ACA, definint-se una plantilla a fi d'agilitzar i homogeneïtzar els informes. Durant 2014 s'espera poder seguir avançant en aquesta línia.

La predicció d'inundacions

Aquesta és una de les fases cabdals que permet evitar danys, actuant principalment evitant l'exposició, i alhora amb la informació obtinguda retroalimentar els models i re calibrar-los per a disminuir les incerteses.

Hi ha diversos agents que poden intervenir tècnicament donant informacions i recomanacions en les diverses fases de predicció i control, i com a responsables principals i directes de cada una d'elles destaquen:

- Predicció meteorològica: el Servei Meteorològic de Catalunya i l'Agència estatal de meteorologia.
- Predicció hidrològica i hidràulica fluvial: ACA i en conques intercomunitàries la Confederació hidrogràfica de l'Ebre i la Confederació hidrogràfica del Xúquer.
- Predicció de risc i de danys: les activitats i els municipis amb el suport de la DGPC.
- Riscos associats o induïts per inundacions: destaca l'IGC.

A més a més d'aquests hi ha tot una sèrie d'empreses especialitzades que poden desenvolupar serveis relacionats en aquest sentit, personalitzats i per a cada PAM o PAU i complementant l'INUNCAT amb les dades necessàries per a cada cas concret. Per aquest motiu i d'acord al que preveu la Directiva d'inundacions l'Agència amb la col·laboració del SMC va treballar en definir uns requeriments, per aquelles empreses que vulguin oferir dels Serveis d'avís primerenc d'inundacions (SAPI), i ara està treballant en recopilar i documentar els serveis existents. En un futur proper, , està previst fer-ne difusió mitjançant la pàgina web de l'ACA.

Els darrers anys l'ACA conjuntament amb altres organismes (especialment el SMC) ha impulsat amb la Universitat Politècnica de Catalunya el desenvolupament de coneixements i eines que exploten la tecnologies avançades com el radar

meteorològic i models numèrics meteorològics i xarxes automàtiques de control. Per la qual cosa ha participat en diversos projectes europeus que han permès disposar d'eines operatives, essent la més coneguda la de l'Aigua en temps real, per tal de potenciar el desenvolupament del SAPI. L'objectiu final és apropar la pressa de decisions a qui més a prop del risc està.

Conclusions

Els PEF han permès treballar de forma coordinada per a la delimitació de zones inundables i a més a més donar compliment a la Directiva d'inundacions.

La delimitació de zones inundables és imprescindible en l'elaboració de plans de protecció civil i en base a aquests s'elaboren les zonificacions de l'espai fluvial que són fonamentals per a la correcta regulació dels usos dels espais fluvials.

D'acord amb les seves competències, l'Agència Catalana de l'Aigua vetlla per a que els estudis hidrològics i hidràulics que s'elaboren de les lleres i de les preses i embassaments, puguin estar a disposició dels organismes competents en la planificació del territori i urbanisme, així com en el disseny i l'establiment de les mesures de protecció de les persones i els seus béns.

A més a més s'encarrega d'identificar els elements de les lleres públiques, que permetin estimar l'abast i possibles danys potencials de la crescuda, per a que mitjançant els plans d'autoprotecció i els plans d'actuació municipals, tots ells coordinats al Pla INUNCAT, puguin fer-ne un seguiment,.

Agraïments

Cal explicitar el profund agraïment a totes aquelles administracions (ICC, IGC, SMC, DGPC, Ajuntaments, CHE, CHX, MMARM) que al llarg d'aquests anys han col·laborat amb l'ACA i ens han permès millorar i evolucionar a la PEF.

Agraïment també a tots aquells que amb les seves al·legacions i propostes han fet replantejar l'enfoc i bases de la PEF per adequar-la a la pluralitat de la realitat territorial de Catalunya.

Aquest agraïment s'ha de fer especialment extensible a tot aquell personal intern de l'ACA i d'empreses subcontractades que amb la seva dedicació i implicació al llarg d'aquests anys ha permès avançar a la PEF.

Bibliografia

2007. Directiva 2007/60/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 23 d'octubre de 2007, relativa a l'avaluació i la gestió dels riscos d'inundació.

Sigles i abreviatures

ACA - Agència Catalana de l'Aigua
DI – Directiva d'inundacions 2007/60/CE
ICC - Institut Cartogràfic de Catalunya
IGC - Institut Geològic de Catalunya
MDT - model digital del terreny
PAM - plans d'actuació municipals
PAU - plans d'autoprotecció
PEF – Estudis de planificació d'espais fluvials
PGRI - Pla de gestió del risc d'inundació
POUM - Plans d'ordenació urbanístics municipals
SAPI - Serveis d'avís primerenc d'inundacions
SNCZI - Sistema Nacional de Cartografia de zones inundables

RECONSTRUCCIÓ DE RIUADES I AIGUATS A PARTIR DEL REGISTRE HISTÒRIC

Josep Carles Balasch ⁽¹⁾ i Josep Lluís Ruiz-Bellet ⁽¹⁾

(1) Dpt. Medi Ambient i Ciències del Sòl. ETSEA. Universitat de Lleida. Avda. Rovira Roure, 191, 25198-Lleida. cbalasch@macs.udl.cat

PARAULES CLAU: Cabal màxim, limnimarca, models hidràulics, hidrològics, i meteorològics, Incertesa dels resultats.

INTRODUCCIÓ

Les inundacions són fenòmens naturals repetitius i afecten d'una forma tan greu les poblacions de les zones de ribera, que són considerades com l'amenaça natural més important a escala global. Una estimació orientativa: les asseguradores van quantificar els danys mundials per inundacions l'any 2012 en uns 135.000 milions d'euros i es van produir unes 5.000 víctimes (Münich Re, 2013).

L'increment de l'exposició dels assentaments humans i la creació d'infraestructures en la llera i les planes inundables unit a la disminució de la capacitat de retenció hídrica dels sòls fruit dels canvis d'usos, han incrementat la freqüència i impacte negatiu de les crescudes, i en el mateix sentit poden actuar les previsions del canvi climàtic.

Per lluitar contra aquesta situació amb eines de planificació, la Directiva Europea sobre Avaluació i gestió dels riscos d'inundacions (Directiva 2007/60/CE) i la seva transposició espanyola (RD 903/2010) prioritzen l'estudi de les inundacions ocorregudes en el passat, amb l'objectiu de preveure les conseqüències que poden tenir en el futur esdeveniments similars.

A pesar dels enormes danys que causen, les grans crescudes tenen una probabilitat d'ocurrència molt petita i això fa que el nombre de successos enregistrats en la majoria de les conques sigui baix i insuficient per a la seva anàlisi estadística. Per estimar correctament la probabilitat d'ocurrència d'aquest fenomen i per avaluar la seva evolució en el temps es necessari disposar de sèries de dades de llarga extensió temporal que impliquen períodes pluriseculars.

És darrere aquest objectiu que es planteja la reconstrucció de crescudes històriques a partir de referències i dades documentals (Brázdil et al., 2006). Entre les aplicacions de l'anàlisi històrica de les crescudes es troben:

- La reconstrucció de la seqüència temporal de les crescudes per conèixer la història hidrològica i climàtica d'una regió, més enllà de

les dades instrumentals iniciades a finals del segle XIX o principi del segle XX. Aquesta reconstrucció de la dinàmica històrica cobra un interès especial en aquelles conques on no es disposa d'aforament, i per tant, no hi ha estimacions de cabal.

- La detecció dels rangs de variabilitat natural històrica per detectar anomalies i variacions en la freqüència i magnitud de les crescudes que puguin ser causades pel canvi climàtic.
- L'estimació de la magnitud i la freqüència de les crescudes per poder planificar el risc per inundacions en cada conca hidrogràfica. Aquest objectiu és el més valuós en la definició dels aspectes de temporalitat del risc i la delimitació de les zones inundables.

BASES DE LA METODOLOGIA I ETAPES DE LA RECONSTRUCCIÓ

La recuperació de la informació hidrològica i meteorològica històrica es una tasca complexa, prolongada i que requereix la intervenció d'equips multidisciplinaris formats per investigadors o especialistes que han d'utilitzar un espectre molt ampli de tècniques enllaçades, que van des de l'arxivística i l'hermenèutica en el tractament de les dades de partida, a metodologies implicades en el processament de la informació com per exemple: cartografia geomorfològica fluvial, arqueologia urbana, SIG, MDT, models hidràulics, hidrològics i meteorològics, l'anàlisi freqüencial i l'anàlisi matemàtica dels errors.

L'hipòtesi de partida d'aquestes reconstruccions es basa en la possibilitat de recrear la magnitud de les pluges i dels cabals de les crescudes que van discórrer pels rius en el passat a partir del llegat històric, si es disposa d'informació suficient. La informació bàsica per a la reconstrucció dels cabals màxims ha de contenir l'alçada deixada per les aigües en algun punt identificable en l'actualitat, però són de molta importància les referències que expliquen aspectes de duració temporal, moments d'intensitat, zones afectades, etc. La metodologia per a la reconstrucció requereix també l'ús de models de simulació que s'usen de forma inversa a la convencional per a la qual foren dissenyats (retromodels), perquè el que cal obtenir amb aquests models són les dades de partida a partir dels resultats, en un procés invers al natural i de tipus reiteratiu (Balasch et al., 2010). És molt important assenyalar les incerteses

associades als diversos procediments i passos i acotar el grau de fiabilitat dels resultats obtinguts.

D'acord amb el grau de coneixement de la conca estudiada, la reconstrucció històrica pot suposar una ampliació de la informació existent o constituir el primer grau de coneixement hidrològic d'una conca amb registre inexistent:

- En el cas de conques grans que disposen d'una estació d'aforament, en la major part dels casos operativa a partir d'algun moment del segle XX, la reconstrucció pot servir per recuperar el coneixement dels successos corresponents al període preinstrumental, ampliant i enriquint el arxius amb la informació d'alguns segles més (Benito i Thorndycraft, 2004).
- En conques que no han estat mai equipades amb estacions d'aforament, com sol ésser el cas de les conques de petites dimensions o de conques de països en desenvolupament, no es

tenen dades hidrològiques anteriors. En aquests indrets la metodologia proposada és el camí més adequat per obtenir una informació preliminar sobre els rangs de variabilitat dels cabals màxims i la seva evolució al llarg del temps (Balasch et al., 2011).

Quan es disposa d'una informació òptima es pot desenvolupar una reconstrucció molt completa que permetria arribar a conèixer, a més de la dinàmica de la crescuda, les característiques de la pluja i el marc de la situació sinòptica en què es va generar (Balasch et al. 2010; Barriendos et al., 2013). Les fases de la reconstrucció s'inicien amb l'obtenció de la informació de referència del succés i a partir d'ella: primer s'efectuen els càlculs hidràulics focalitzats en el cabal màxim; després cal caracteritzar la precipitació i finalment es fa una interpretació meteorològica dels esdeveniments atmosfèrics i hidrològics que van configurar l'episodi (Figura 1).

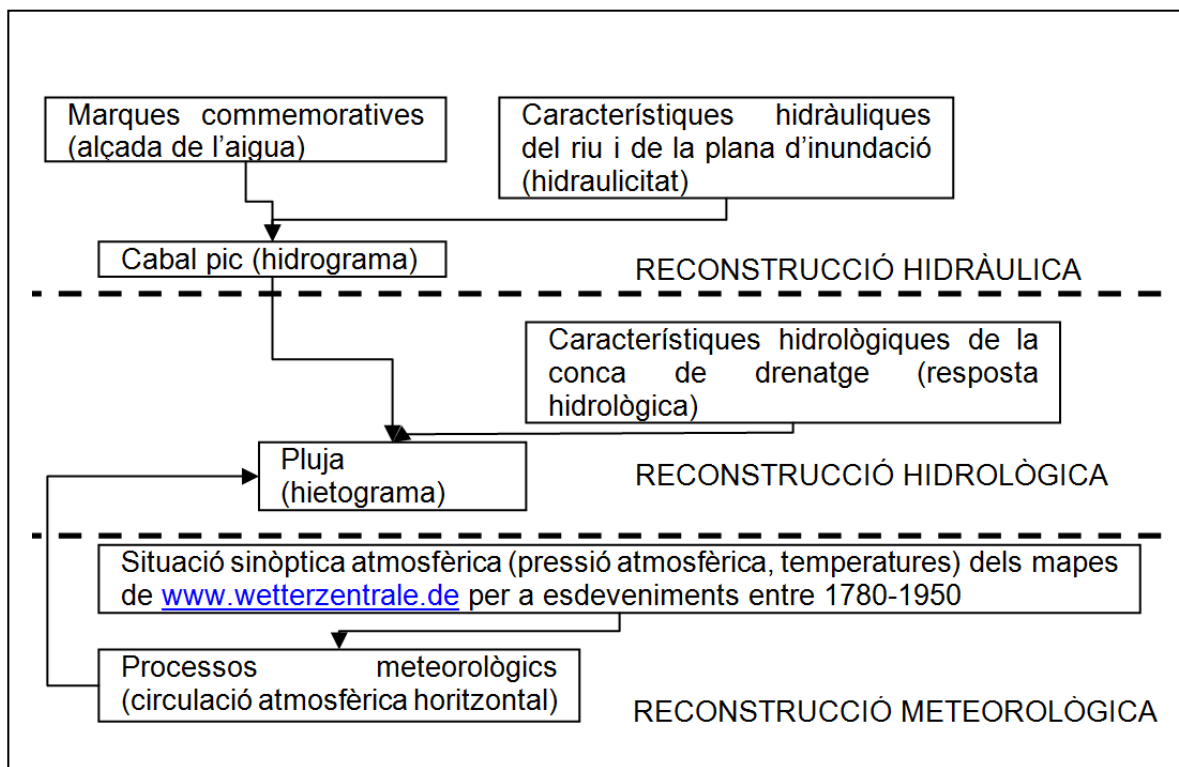


Figura 1– L'esquema mostra els passos complets i l'ordre del procediment reconstructiu de les crescudes històriques partint de la informació topogràfica de la limnimarca fins arribar a la generació d'un marc meteorològic que expliqui la formació de l'aiguat.

RECOPIACIÓ DOCUMENTAL

La reconstrucció integral d'un episodi de crescuda tan sols es possible si es disposa de la informació necessària que requereixen els models de simulació que cal emprar més endavant. De la seva solidesa i extensió en depenen la qualitat dels resultats i la dimensió de la reconstrucció. La

interpretació correcta i la fiabilitat de les informacions de partida es realitzen sota les bases de revisió de l'hermenèutica (Bayliss i Reed, 2001). El procediment metodològic per a la recopilació dels documents, propi de la historiografia, requereix una anàlisi preliminar per explorar els arxius de cada zona i després la consulta sistemàtica de les sèries documentals

(històries locals, actes, recopilacions, acords notariais, premsa, etc). És evident que la quantitat i qualitat de la informació disminueixen amb el temps però en molts llocs d'Europa, per exemple, on es disposa d'arxius estructurats i recopilacions detallades, es pot reconstruir la informació dels grans episodis ocorreguts en els darrers 500 anys i fins i tot arribar a l'època baixmedieval. Per als episodis més moderns es pot afegir la informació procedent d'entrevistes als propis afectats. El buidat sistemàtic dels documents proveeix dades sobre la cronologia dels successos principals i sobre aspectes que permeten la reconstrucció: les alçades de l'aigua referides en punts localitzables i les circumstàncies que caracteritzen les pluges i les crescudes. Entre els diversos documents cercats, el més apreciat sens dubte són les limnimarques (Figura 2), unes marques gravades o pintades sobre un suport físic que ens transmeten l'alçada màxima d'una gran avinguda, en un gest de recordar a tothom el gran poder que la natura reuní en aquell episodi i fer perllongar en el temps la sensació de perill. Són l'aproximació més fiable per reproduir el nivell màxim assolit per l'ona d'aigua.



Figura 2 – Limnimarca de la crescuda extraordinària del riu Ebre a Móra d'Ebre el 9 d'octubre de 1787, emplaçada en un porxo de la plaça de Baix.

RECONSTRUCCIÓ HIDRÀULICA

L'objectiu de l'etapa de reconstrucció hidràulica és la determinació del cabal màxim instantani de la crescuda assenyalat per la limnimarca, i si a més la informació ho permet, la reconstrucció de la magnitud i evolució de l'hidrograma complet de la crescuda, en les fases d'ascens i descens.

Per a la reconstrucció serà necessari emprar un model de simulació hidràulica (Benito i Thorndycraft, 2004). Aquests models permeten sobre una configuració topogràfica coneguda de la llera i les planes d'inundació laterals fluir les aigües d'un cabal determinat d'acord amb les lleis de Saint-Venant i determinar l'altura de la superfície o làmina d'aigua en els diferents punts

del recorregut. El cas es que els models hidràulics determinen en ordre natural l'altura màxima de les aigües a partir del cabal i no a l'inrevés, per la qual cosa la tècnica utilitzada passarà per diversos assaigs de prova i error, introduint cabals i obtenint els valors de calats més propers possibles a les alçades documentades de la crescuda.

Per a les simulacions es poden emprar models unidimensionals, en que les línies del flux es mantenen paral·leles, com per exemple en el model HEC-RAS de l'USACE, o models bidimensionals en què els vectors del flux poden prendre les diferents orientacions del corrent i simular millor els desbordaments durant la inundació i els retorns a la llera principal. En els darrers anys s'ha produït un gran desenvolupament i provatura de models bidimensionals com per exemple: SOBEK, MIKE, o els GUAD-2D i IBER de les universitats i centres espanyols.

La modelització es pot realitzar en règim permanent i cabal fix o en règim variable, és a dir, variant els cabals com en l'hidrograma real. En els models unidimensionals els canvis en el flux entre seccions es poden considerar gradualment variats.

Els requeriments del model comprenen, a més de l'alçada màxima de l'aigua a la crescuda:

- Característiques hidràuliques de la llera i de la plana d'inundació del tram estudiat corresponents al moment de la crescuda recreada. La geometria del canal i de les planes d'inundació s'obté a partir dels Models Digitals del Terreny adaptats i corregits amb la informació de plànols contemporanis al succés o d'estudis arqueològics.
- La rugositat de la llera i de les planes d'inundació en l'època. S'introdueixen a través de valors del coeficient de rugositat de Manning que s'han atribuït als diferents espais basats en l'existència de plànols, documentació regional o estimacions dels usos dels sòls i vegetació.
- Obstacles al flux, zones d'aigües estancades, coeficients d'expansió i contracció entre trams.
- Condicions de contorn com el tipus de règim: subcrític, supercrític o mixte, pendent inicial o final, etc.

En alguns casos, com en els rius amb estacions d'aforament, hi ha la possibilitat de calibrar les rugositats introduïdes al model amb la simulació d'episodis moderns en els quals es coneix simultàniament el cabal i l'alçada assolida per les aigües. També això es possible si es disposa de diverses limnimarques del mateix episodi disposades al llarg del perfil longitudinal del riu,

com passa en el cas de l'Ebre per a la riuada de 1907, referida en molts punts.

RECONSTRUCCIÓ HIDROLÒGICA

Mitjançant la fase de reconstrucció hidrològica es pretén caracteritzar el màxim possible l'aiguat (l'evolució de les intensitats de pluja) que va ocasionar la resposta hidrològica estudiada obtenint els hietogrames hipotètics de la pluja inicial o, en el seu defecte, la pluja total de l'episodi. Per realitzar aquesta reconstrucció es fa necessari, com en el pas anterior, l'ús de models de simulació, ara de natura hidrològica i aplicats també a l'inrevès. La informació de partida per assolir aquests càlculs compren l'hidrograma complet de la crescuda i informació temporal sobre l'inici i la finalització de l'aiguat i, sempre que sigui possible, dels moments de major intensitat. Els models de simulació de la crescuda hidrològica poden ser de diversos tipus: globals, semidistribuïts, distribuïts en funció del coneixement i la densitat d'informació sobre la conca.

Els models de simulació hidrològica de tipus global o semidistribuït es basen en l'aplicació consecutiva de funcions de pèrdues a la pluja d'entrada (p. ex. el mètode del Número de Corba) i de trànsit hidrològica pels vessants i tàlvegs (p. ex. l'hidrograma unitari) per a obtenir l'escolament superficial de la crescuda. Per determinar el comportament hidrològic de la conca mitjançant aproximacions com el Número de Corba (SCS), cal determinar les característiques texturals dels sòls, la cobertura vegetal i la distribució dels usos en el moment de la crescuda. Els models requereixen saber la condició d'humitat prèvia dels sòls abans de la pluja, però aquesta es pot considerar propera a la saturació en els grans aiguats. La transferència o trànsit de cabals es fa en funció de les característiques morfològiques de la conca i del drenatge. Finalment, cal modelitzar la propagació dels cabals al llarg del canal principal amb funcions del tipus Muskingum-Cunge.

Per la seva simplicitat i resultats contrastats, el software HEC-HMS (USACE) que agrupa funcions de pèrdues, de trànsit i de propagació de tipus semidistribuït, ha estat un model molt emprat en simulació hidrològica i permet assajar còmodament amb diversos hietogrames fins a aproximar de forma suficient l'hidrograma de la crescuda.

RECONSTRUCCIÓ METEOROLÒGICA

Al final dels passos anteriors i per cloure la reconstrucció de l'episodi es planteja la

reconstrucció meteorològica que va donar lloc als aiguats i a la crescuda estudiada. L'objectiu que centra aquesta metodologia és la definició d'un marc o escenari meteorològic a l'escala sinòptica del SW d'Europa i de la Mediterrània occidental, en el qual es reproduïxen els processos meteorològics (vents, pluja, pressions) que van generar les tempestes i els aiguats en els indrets afectats i amb les quantitats previstes en l'etapa d'anàlisi hidrològica.

Per assajar de reconstruir les tempestes històriques s'introdueix a un model meteorològic com WRF-ARW (Weather Research Forecasting, malla 100 x 100 m²) la informació meteorològica procedent dels mapes sinòptics reconstruïts en el Reanàlisi NCAA que es troba disponible des de 1780 en diversos servidors d'informació meteorològica i, si es possible, verificada amb la documentació particular de l'episodi (Barriendos et al., 2013). Es tracta de veure si els resultats de córrer el model: la distribució espacial i temporal de la pluja i la seva magnitud (en forma d'hietograma), coincideixen amb els resultats de l'etapa de reconstrucció hidrològica, la qual cosa indicaria que s'ha aconseguit de reproduir les situacions meteorològiques de partida. En una fase posterior s'intentarà classificar els diversos tipus de situacions desencadenants de grans aiguats de cara a millorar-ne la predicció.

FONTS D'INCERTESA I ANÀLISI DE SENSIBILITAT

Els anàlisis de sensibilitat informen de quines variables o paràmetres tenen més pes en les simulacions i per tant incorporen més error. Hi ha problemes d'incertesa i error relacionats amb cadascun dels passos de la reconstrucció. En el cas de la recreació hidràulica cal tenir en compte:

- Dificultat per fixar l'alçada màxima de les aigües amb precisió (dificultat de localització o desaparició dels punts d'informació, fonts imprecises).
- Canvis en la geometria del llit, ribes i plana d'inundació amb el pas del temps.
- Canvis per erosió o sedimentació durant la crescuda.
- Determinació dels coeficients de rugositat (n) de llera i plana d'inundació.
- Característiques del flux (flux subcrític o supercrític, flux uniforme o variable)
- Fluxos hiperconcentrats (> 50 g/l).
- Tipus de model de simulació hidràulica (1D, 2D).

L'anàlisi de sensibilitat dels estudis realitzats ens mostren que un error d'1 cm en la limnimarca es tradueix en una variació de l'1% del cabal. En canvi un error del 10% en la selecció de la

rugositat pot comportar una variació del 10% en el cabal (Balasch et al. 2010). Un altre aspecte, les diferències obtingudes entre l'ús de models hidràulics en règim permanent i en règim variable pot produir diferències en l'estimació del cabal màxim que resulta ser de l'ordre del 8 % superior en el cas del règim permanent (Tuset, 2011). Aquest fet rau en l'emmagatzemament que es produeix en les planes d'inundació, un fet que la modelització en règim variable reproduceix millor. Es fa més difícil determinar la influència de la concentració de sediments en suspensió: els resultats poden variar substancialment si el flux arriba a hiperconcentrat ($> 50 \text{ g/l}$), ja que les propietats del fluid deixen de ser newtonianes, i això es bastant probable en conques petites i mancades de cobertura vegetal.

En la reconstrucció hidrològica, les variables més importants i de major sensibilitat en els models són el Número de Corba i les condicions d'humitat antecedent de la conca. En el cas de fluxos per saturació, donada la limitada capacitat d'emmagatzematge dels sòls davant d'un esdeveniment de pluja molt quantiosa el paper de regulació del sòl es minimitza. En el cas de fluxos hortonians, les altes intensitats esperables en un *flash-flood* també redueixen la incertesa en el desconeixement de la humitat de partida. S'ha determinat que un error d'una unitat en l'estimació del Número de Corba comporta un error del 2-3,5% del cabal. Si es canvia la condició d'humitat antecedent de tipus II a tipus III els cabals canvien en un 30-40% (Balasch et al., 2010).

RESULTATS DE LES PRIMERES RECONSTRUCCIONS

Els estudis de reconstrucció de crescudes històriques de Catalunya han estat realitzats en conques i rius d'escalas i àmbits geogràfics molt diversos, des dels petits rius de la Depressió Central Catalana, passant pel Segre i afluents, i fins arribar a l'Ebre (Figura 3). S'inclouen crescudes succeïdes entre principis del segle XVII i el moment actual (uns 400 anys).

Les reconstruccions fetes en les conques de la Depressió Central Catalana (Sió, Ondara, Corb, etc) i en altres conques mediterrànies de petita superfície mostren cabals màxims molt superiors als previstos pels models hidrometeorològics convencionals per a períodes de retorn elevats, als quals poden duplicar o triplicar. Per tant, ens adverteixen de la greu perillositat d'aquests torrents mediterranis. En ells, els episodis extraordinaris estan molt separats en el temps: n'hi ha un o dos per segle, i aquest fet en limita la seva recordança. Si hi sumem la rapidesa de

propagació de les crescudes, estem davant dels indrets amb riscos més greus.

En l'altre extrem les crescudes al riu Ebre, recreades en punts com Saragossa, Móra d'Ebre o Xerta superen llargament els valors del registre instrumental, amb cabals punta un 30% més grans de mitjana que els previstos pels plans d'emergència. En aquest riu es produeixen entre 3 i 4 grans crescudes per segle i existeix una destacada cultura de la transmissió dels fets plasmada en la gran quantitat de limnimaques preservades en les diverses localitats de la ribera. Aquesta informació és molt útil per al calibratge i assaig dels models hidràulics en situacions extremes.

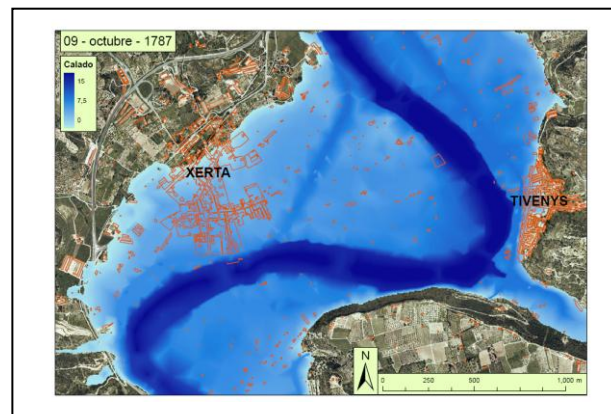


Figura 3– Mapa que mostra la zona inundable reconstruïda al riu Ebre a Xerta i Tivenys per a la crescuda extraordinària del 9 d'octubre de 1787 anomenada "La Grossa" amb un cabal punta d'uns $13.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

CONSIDERACIONS FINALS

La reconstrucció dels cabals màxims històrics és una branca de la hidrologia que presenta actualment un interès creixent, com a mínim, en els següents aspectes:

- Existeix una important quantitat d'informació sobre esdeveniments hidrològics extrems que necessita ser avaluada i interpretada en termes de reconstrucció dels cabals màxims transitats i dels aiguats que els van generar. Els resultats posen en evidència en la majoria dels casos l'existència d'episodis de major magnitud que els coneguts pel registre sistemàtic i permeten extreure una visió més àmplia de la capacitat hidràulica dels nostres rius, per plantejar el seu risc en termes més conservadors quan així ho avalin les dades.
- Les reconstruccions hidràuliques realitzades clarifiquen aspectes sobre cabals mal dimensionats prèviament per obstacles, congostos o altres raons (Rubí, Vinebre, Miravet), canvis en els perfils longitudinals i transversals (Tàrraga), etc, que han conduït en el passat a interpretacions errònies.

- La reconstrucció de la història hidrològica dels nostres rius ha de permetre conèixer quins són els rangs coneguts de la variabilitat natural i establir comparacions per identificar situacions de canvi climàtic.
- La freqüència que tenen les crescudes es podrà conèixer amb un rigor i robustesa superiors a les que es poden obtenir sols a partir del registre sistemàtic. Aquesta aplicació ha de contribuir a dimensionar l'abast del risc natural més impactant del nostre territori, a disminuir els danys sobre el patrimoni i les estructures i, en especial, a salvar vides humanes. És important destacar en aquest sentit la importància d'aquests estudis en el cas especial de les conques de petita escala, per ser en elles on els resultats mostren més disparitat respecte a la previsió convencional dels cabals esperats per a diferents períodes de retorn. En algunes conques analitzades els cabals esperats dupliquen i tripliquen les previsions dels models hidrometeorològics o estadístics sobre sèries del segle XX.

TUSET, J., 2011. Reconstrucció de l'aiguat de Santa Tecla (23 de setembre de 1874) en el riu Sió a Monroig de Sió a partir de documentació històrica. Treball Final de Màster, Màster de Recerca en Sistemes i Productes Forestals. ETSEA, Universitat de Lleida, 40 p. (inèdit)

AGRAÏMENTS

Els materials aplegats aquí són fruit dels treballs en col·laboració amb Josep Lluís Ruiz-Bellet, Jordi Tuset, Mariano Barriendos, David Pino i Jordi Mazón, membres del grup PREDIFLOOD que intervenen en el projecte "Reconstrucción y clasificación multivariable de los *flash-floods* más destacados del NE de España en los últimos 500 años para la mejora de su predicción" del Pla Nacional ICDIT CGL-2012-35071, finançat pel Ministerio de Economía y Competividad.

BIBLIOGRAFIA

- BALASCH, J.C., RUIZ-BELLET, J.L., TUSET, J., 2011. Historical flash floods retromodelling in the Ondara River in Tàrraga (NE Iberian Peninsula). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 3359-3371.
- BALASCH, J.C., RUIZ-BELLET, J.L., TUSET, J., MARTÍN DE OLIVA, J., 2010. Reconstruction of the 1874 Santa Tecla's rainstorm in Western Catalonia (NE Spain) from flood marks and historical accounts. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 2317-2325.
- BARRIENDOS, M., TUSET, J., MAZÓN, J., PINO, D., RUIZ-BELLET, J.L., BALASCH, J.C., 2013. La rubinada de Santa Tecla a Tàrraga (23 de setembre de 1874). *Urtx*, 27, 9-25.
- BAYLISS, A.C., REED, D.W., 2001. The use of historical data in flood frequency estimation. Centre for Ecology & Hydrology Report, Wallingford, Orfordshire (UK), 87 p.
- BENITO, G., THORNDYCRAFT, V.R., 2004. Systematic Palaeoflood and Hydrological Data for the Improvement of Flood Risk Estimation. Methodological Guidelines. CIEMAT-CSIC.
- BRÁZDIL, R., KUNDZEWICZ, Z.W., BENITO, G., 2006. Historical hydrology for studying flood risk in Europe. *Hydrol. Sci. J.*, 51 (5): 739-764.
- MUNICH RE, 2013. Natural catastrophes: comparison of Insured Losses. NatCatSERVICE.

EL PAPEL DE LA CARGA SÓLIDA EN LA INUNDABILIDAD: LAS AVENIDAS DE 1962

Juan P. Martín Vide⁽¹⁾

(1) *Universitat Politècnica de Catalunya. UPC-Hidráulica, Jordi Girona 1-3, D1, 08034 Barcelona. E-mail: juan.pedro.martin@upc.edu*

PALABRAS CLAVE: *sedimento, carga de lavado, transporte sólido, avenida torrencial, inundación, incertidumbre, riera de Rubí, avenida del Vallès.*

INTRODUCCIÓN: EL SEDIMENTO

El flujo de un río es bifásico por cuanto además de agua circulan por él sólidos, que colectivamente llamamos sedimento. La carga o transporte de sólidos por los ríos tiene importancia a escala regional (por ej. los deltas y las playas), para las infraestructuras hidráulicas (por ej. la pérdida de capacidad de los embalses por sedimentación), para el equilibrio de los ríos (por ej. la incisión de los cauces) y también, señaladamente, durante la circulación de las avenidas, o sea de los flujos extremos, que causan las inundaciones.

En este encuentro se trata ampliamente de geología, geomorfología y flujos torrenciales, así como de la avenida de 1962 (Rubí) y la de junio de 2013 (Vall d'Aran). La carga sólida no se cita en ningún otro título de ponencia pero es un factor presente en todas estas disciplinas y sin duda ha tenido un papel en las dos avenidas citadas.

LA CARGA DE LAVADO

Los sólidos cuyo origen es la cuenca, es decir todo un área extensa y lejana, que circulan al mismo tiempo que el agua durante el episodio de crecida se llaman carga de lavado, como si la lluvia hubiera lavado la cuenca. Esta carga va siempre en suspensión y no se detiene excepto si la velocidad disminuye mucho, como ocurre en los embalses y en las grandes planicies de inundación, nunca en el cauce del río. La pérdida de suelo y las cárcavas, entre otros fenómenos, alimentan esta carga. Una de las imágenes recurrentes en los medios de comunicación después de las inundaciones es ver a los vecinos sacando el barro de las casas o las industrias. Lo que sacan es la carga de lavado que sedimenta cuando desciende el nivel de agua, dañando maquinaria o electrodomésticos. Hay ríos que llegan a transportar 60 g/l de arcilla y limo como carga de lavado en crecida ⁽¹⁾.

LA TORRENCIALIDAD

Para tratar de inundabilidad (posibilidad de inundación) debemos precisar qué entendemos por torrencialidad. Lo esencial de los fenómenos torrenciales es que la proporción de sólidos en el flujo es tan elevada, que sus magnitudes básicas,

el calado y la velocidad, se ven alteradas por la carga sólida. Dicho de otro modo, un caudal de agua con sólidos en una proporción torrencial fluye con un calado mayor y una velocidad menor que el mismo caudal sin sólidos, llamado de “agua clara” o “virtual” (el producto de calado y velocidad es constante en esta discusión).

Lo grave de la avenida torrencial es precisamente ese calado mayor, nivel mayor, que agrava la inundación. Tantas veces se oyen exclamaciones de incredulidad: “cómo es posible que el agua alcanzara esta altura”; he ahí lo torrencial. La velocidad, en cambio, es menor, en contra de la sugestión de violencia de lo torrencial. Además de la velocidad, la fuerza de la masa en movimiento depende también de su densidad que es mayor que la del agua. Por cierto, que la precipitación sea “torrencial” o que la avenida sea “relámpago” (súbita) no es lo esencial, pero ciertamente ambos hechos suelen acompañar a las avenidas torrenciales, explicando su génesis y su peligro.

La proporción de sólidos (caudal sólido) es muy elevada si la cuenca produce mucha carga de lavado. Pero también importa la carga con origen en el cauce, de material más grueso que la carga de lavado. Además del propio lecho, en los ríos torrenciales las fuentes de material grueso suelen ser irregulares: deslizamientos, desprendimientos, conos de deyección de afluentes, etc. En las ramblas o ríos efímeros el lecho muy ancho es la fuente principal. El transporte con este origen puede ir en suspensión o por el fondo (pero lo llamaremos carga de fondo). Su exceso o su defecto es causa de acreción (ascenso) o incisión (descenso) de los lechos, respectivamente, tanto en sentido transitorio, o sea de cambio momentáneo durante una avenida, como en sentido evolutivo, de cambio lento a largo plazo. La acreción, en particular, resta espacio al flujo.

Una pendiente del río elevada (un 1,5% por ej. que permite llamarlo río torrencial)⁽²⁾ es condición necesaria para una carga de fondo grande, pero no suficiente (también es condición necesaria un caudal extraordinario). Pero además, el material en el cauce debe ser abundante, disponible para ser transportado. La pendiente es indicativa de la capacidad de transporte. Esta capacidad se activa cuando aumenta el caudal (crecida), pero sólo se verifica un gran transporte sólido si además el material aluvial es abundante. Cuando las fuentes

de este material son irregulares, unas veces lo es y otras no, lo que hace difícil cualquier previsión.

Lo más grave ocurre cuando el flujo se descompone en frentes de onda sucesivos (Figura 1), verdaderas paredes rugientes con grandes partículas en superficie, separadas entre sí por fases de recesión. Esto quizá sucede cuando el caudal sólido alcanza a ser del 40% del caudal de agua⁽²⁾. Lógicamente el calado máximo se multiplica nada menos que por 2 respecto al flujo continuo equivalente (la línea media). Estos

frentes sucesivos, periódicos, que se pueden detener (acreción), tienen una causa intrínseca en la naturaleza del flujo, pero también en las avenidas torrenciales se recuerdan con frecuencia frentes solitarios cuya causa es extrínseca: un deslizamiento de ladera que sigue moviéndose al ingresar al cauce del río o una presa accidental causada por una masa que bloquea el flujo, para romperse más tarde. Los puentes obstruidos pertenecen a esta clase de presas accidentales.

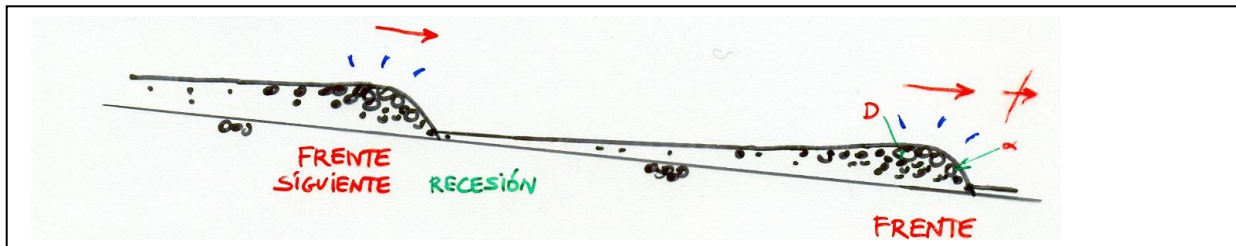


Figura 1 – Descripción de una lava torrencial, con frentes de onda sucesivos, separados por recesiones.

SEGURIDAD, EXACTITUD Y CERTEZA

Las medidas estructurales para luchar contra las inundaciones han de proporcionar seguridad. Son el resultado de la aplicación de un paradigma en el que se suceden en orden estas tres partes: a) la peligrosidad de un fenómeno (una precipitación extrema), valorada por su probabilidad de ocurrencia como suceso aleatorio; b) un cálculo hidrológico e hidráulico del efecto del fenómeno en el río (la avenida con su caudal) y, para terminar, c) un dimensionamiento hidráulico de la estructura (una canalización, típicamente). Este orden es el mismo de otras estructuras de la ingeniería civil que se esfuerzan también por definir lo mejor posible cuál es la sollicitación (tráfico, carga, contaminación,...) y de aplicar el conocimiento técnico mejor de la estructura (carretera, puente, depuradora,...) para que soporte la sollicitación. Además de la certeza en la sollicitación, ésta se puede aumentar. He ahí la seguridad.

La sollicitación hidráulica frente las inundaciones no tiene la misma certeza. Su definición ha avanzado mucho en las últimas décadas. Se han revisado las funciones de probabilidad de los fenómenos extremos reconociendo que eran insuficientes (parte a), pero sobre todo hemos presenciado un esfuerzo en la exactitud del cálculo (parte b), formalizándolo en guías y recomendaciones (cuando no normativas). La parte b) es extremadamente compleja en la realidad: calcular cómo la lluvia forma al final la avenida, pero a pesar de ello (o precisamente a causa de ello) se ha implantado una manera de cálculo formal, convencional, normativa y por ello fácilmente exacta e impecable, pero ¿hasta qué punto real?

Por su lado, la parte c) parecería inmediata: basta dar una altura suficiente a la canalización para contener el agua, añadiendo un resguardo hasta la coronación de la obra para más seguridad.

Ahora bien, las incertidumbres mencionadas (insuficiencia del conocimiento de la aleatoriedad del suceso e irrealidad del cálculo de la formación de la avenida) se han de medir ahora con algo nuevo, pues hay una hipótesis tácita en el paradigma, que apenas se menciona: todo se refiere únicamente al agua, no al sedimento. Al evaluar medidas estructurales se supone que el flujo es de agua clara, luego ¿dónde quedan los calados torrenciales mayores que los de agua clara, dónde la posibilidad de acreción transitoria del fondo, dónde el riesgo de formación de frentes de onda, dónde las presas accidentales y los puentes obstruidos?; en ninguna parte, y ¿por qué estos hechos no figuran cuando hay memoria, o historia, de avenidas e inundaciones reales en que ocurrieron? En el lenguaje de la ingeniería, todos estos fenómenos dejan la estructura “del lado de la inseguridad”, porque aumentaría sistemáticamente el nivel. Esta incertidumbre planea sobre las canalizaciones de ríos torrenciales, a pesar de toda la exactitud, minando su seguridad. Los ejemplos siguientes ponen de relieve esta tesis.

LA RIERA DE RUBÍ

El caso de la riera de Rubí es ilustrativo de la diferencia entre exactitud y certeza, así como del papel de la carga sólida en lo que ocurrió en 1962. En primer lugar, en la Figura 2 se muestra el

concepto de la obra de canalización, ejecutada como respuesta a dicha avenida. La obra limitó la anchura del cauce en Rubí a 43 m, mientras que la anchura arrasada (casas e industrias), que se puede ver en la foto aérea (Figura 3a), fue bastante mayor; ¿por qué este desajuste?

Esta actuación desencadenó un proceso de incisión del lecho que en algunos puntos había superado los 5 m de descenso hacia el año 2000 (Figura 3b). El descenso no ha sido paralelo sino que el perfil se ha escalonado debido a las numerosas traviesas construidas para frenarlo⁽³⁾: por ello, la pendiente inicial del 1.25%, fruto

precisamente de la avenida de 1962, se ha reducido mucho entre traviesas. La causa de la incisión no pueden ser las extracciones de áridos como en otros ríos⁽⁴⁾, sino la canalización. Esta incisión sirve de ejemplo de que el dimensionamiento de una canalización (la parte c del paradigma) además de la circulación del agua debe tener en cuenta la carga de fondo. No es algo tan inmediato. Un modelo conceptual de equilibrio fluvial, la analogía de la balanza de Lane⁽⁵⁾, indica que si se reduce la anchura de un río aluvial se produce la incisión de su lecho, precisamente porque los caudales unitarios líquido y sólido dejan de estar en equilibrio.

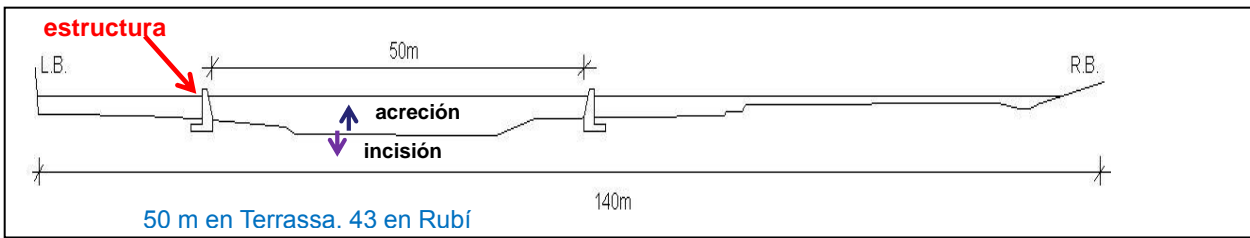


Figura 2 – Sección transversal de la riera de Les Arenes-Rubí con la altura de agua y el alcance de la inundación (140 m) según el informe “Resumen y conclusiones de los estudios sobre las avenidas del Vallés en 1962” del Instituto de Hidrología (Madrid, 1964). Es una de un conjunto de secciones. Redibujada con distorsión vertical. La estructura de la canalización posterior, no dibujada a escala, se superpone a la figura para la comparación de anchuras. Se apuntan con flechas los dos sentidos posibles de un desequilibrio. LB: margen izquierda.

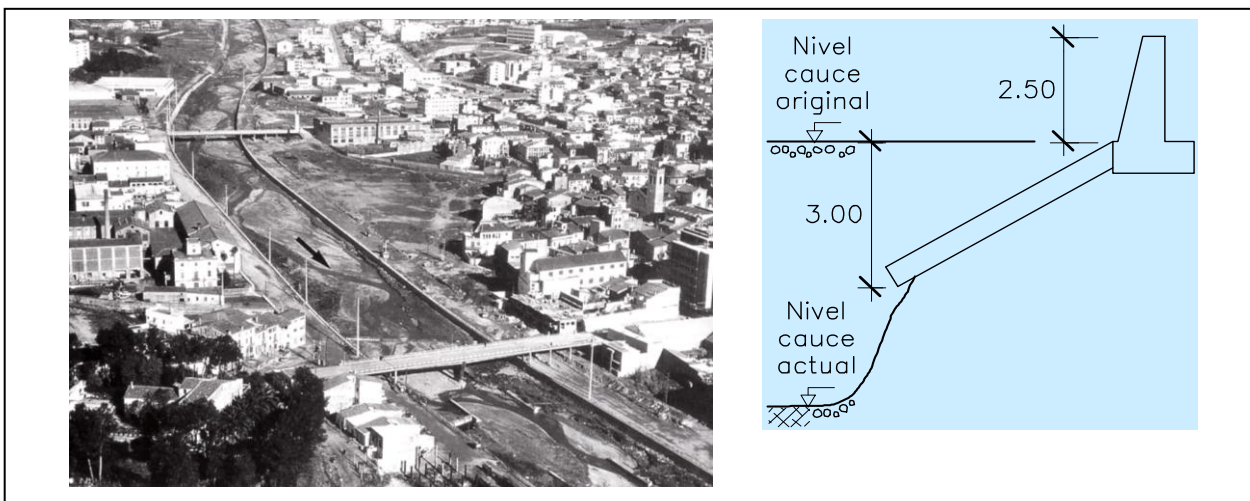


Figura 3 – a) izquierda: foto a vista de pájaro de la riera en Rubí algo después de la avenida de 1962, con los muros de la canalización recién construidos tras el movimiento de tierras y el puente superior reconstruido. Las áreas arrasadas, sobre todo en la margen izquierda, se pueden comparar con la Figura 5a. Foto tomada de Xavier Latorre, “Història de l’Aigua a Catalunya”. b) derecha: incisión de la riera de Rubí hacia el año 2000 (5). El muro de la foto a vista de pájaro es el mismo del esquema, de 2.50 m; el resto, de 3.0 m, fue añadido en vista del proceso de incisión que amenazaba al muro. No obstante un tramo de muro se desplomó por la erosión en 1994.

Lo anterior es la historia de la riera después de 1962. En los años siguientes ha habido crecidas como las de 1971, 1983 y 1994 sin que se hayan conocido en absoluto inundaciones comparables a las de 1962, pero sí algún desbordamiento pequeño de los muros de la canalización (Figura 4). Es más, el cálculo indica que el caudal con periodo de retorno 500 años cabe dentro de los

límites de los muros. A esta capacidad contribuye en algo, no en mucho, la incisión que ha excavado semejante espacio en el lecho (Figura 4). Se trata de un cálculo en agua clara, claro está, siguiendo las recomendaciones publicadas, hecho varias veces por varios autores distintos, es decir exacto e impecable. ¿Qué administración negaría en estas condiciones un informe favorable a la

urbanización de la zona arrasada en 1962 –Figura 3a?

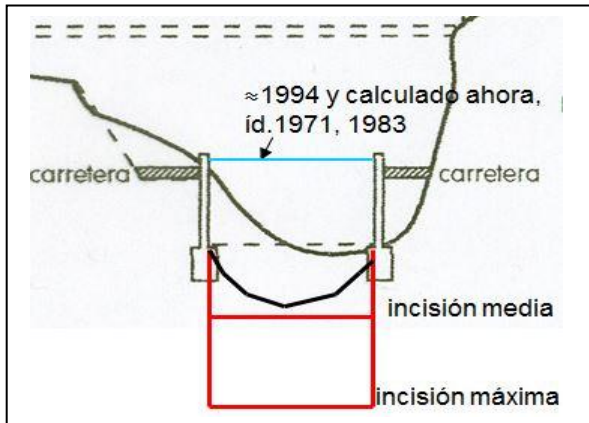


Figura 4 – Esquema de la canalización en Rubí, dibujando la incisión media y máxima con respecto al fondo construido (también hay incisión nula, modificándose la pendiente) y señalando los niveles aproximados del cálculo actual y de algunas avenidas posteriores a 1962. Figura con distorsión vertical; para la escala ver Figura 5a.

Poco después de la avenida de 1962, un equipo de ingenieros registró el alcance de la inundación en algunas secciones de la riera de Rubí (la Figura 2 es una de ellas, ver referencia al pie) y dedujo estos datos sobre el transporte sólido: i) la carga de fondo durante el pico de la avenida llegó a ocupar un 38% del volumen total de la masa, y ii) debido a la concentración de sedimento en suspensión la densidad relativa del fluido fue de 1.15 a 1.20. Leemos, por tanto, los rasgos más característicos del flujo torrencial: unas elevadas carga de fondo y carga de lavado.

Más tarde (1999), ha salido a la luz el plano de la inundación ocurrida en Rubí (Figura 5)⁽⁵⁾. Llama la atención por los altísimos niveles que alcanzó el flujo, muy por encima del puente destruido, con un calado de casi 10 m, arrasando un barrio y corriendo el agua por las calles del corazón de la población (entonces de unos 5.000 habitantes, que pagaron con unas 500 vidas). El caudal en régimen uniforme que explicaría la altura alcanzada en la Figura 5 sería nada menos que 6.380 m³/s (con un coeficiente de rugosidad de Manning normal, como 0.050). Esta cifra es un absurdo porque por análisis de la pluviometría el caudal de agua debió ser del orden de 650 m³/s, nunca mayor de 1.000 m³/s. Así pues, hace falta un caudal virtual 10 veces mayor que el real para responder a la exclamación “¿cómo pudo llegar el agua hasta allí arriba?”. El daño lo produjo algo que fue 10 veces mayor que lo que pensamos que debía suceder (en agua clara), aunque sólo ocurriera unos momentos. Por otro lado, tememos que estos datos se hayan interpretado sin

comprender bien el papel de la carga sólida, con el resultado de que Rubí-1962 está pasando a los anales de la hidrología internacional como el diluvio universal, a juzgar por un caudal (virtual) como el anotado para una cuenca de sólo 82,4 km² (más de 75 m³/s por km²). El periodo de retorno del suceso de precipitación habría sido solamente entre 50 y 230 años.

En 2003 dentro de los trabajos de la Planificació de l'Espai Fluvial (PEF) del Baix Llobregat⁽⁶⁾, analizamos todos los datos disponibles de la avenida de 1962 y calibramos un método de cálculo del calado en condiciones torrenciales teniendo en cuenta la carga de lavado y la carga de fondo. El método puede explicar que el calado en 1962 aumentase en 1 m (que representa un 25% del calado de agua clara en Rubí y un 55% en Terrassa). Esto explica las alturas alcanzadas en Terrassa, según las secciones registradas poco después, como la de la Figura 2, pero no tanto en Rubí y de ninguna manera los 10 m de la Figura 5. Se concluyó que había que recurrir a la rotura de puentes para explicar lo que sucedió, a sabiendas además de que el representado en la Figura 5 resultó destruido violentamente en un momento de la noche. También se estudió los cambios en la cuenca desde 1962 a 2003 (abandono de la agricultura sustituida por el bosque, extensión de la urbanización) para aplicar el mismo método al momento de la planificación: por torrencialidad aumenta el calado de 0.5 m a 1 m. Esto se incorporó a la PEF⁽⁶⁾.

Además de los puentes, en lo que ya se ha avanzado algo (ver estas jornadas), es necesario contemplar la idea de una acreción transitoria (momentánea) del fondo de la riera durante la crecida. Gracias a diversos estudios de la fluctuación del fondo de los ríos en avenida, pensamos que las secciones estrechas y los ríos de pendiente suave sufren una erosión transitoria del fondo al paso de la avenida, mientras que, por el contrario, las secciones anchas y los ríos de fuerte pendiente (ríos torrenciales) sufren una acreción transitoria⁽⁵⁾. En el caso de Rubí, el perfil longitudinal por el tálweg en 1963 es el más alto conocido⁽³⁾. Esto inclina a pensar que al final de la avenida el cauce de la riera quedó lleno de gravas y arenas, material movido para la construcción de la canalización (Figura 3a). Por ello, podría haber ocurrido la acreción transitoria que se ilustra en la Figura 6. Los niveles tan elevados de la Figura 5 deberían estudiarse también con esta hipótesis. Por desgracia no tenemos métodos de cálculo para este fenómeno. Créanme: no sabemos cuánto puede subir un fondo en acreción, ni con modelos.

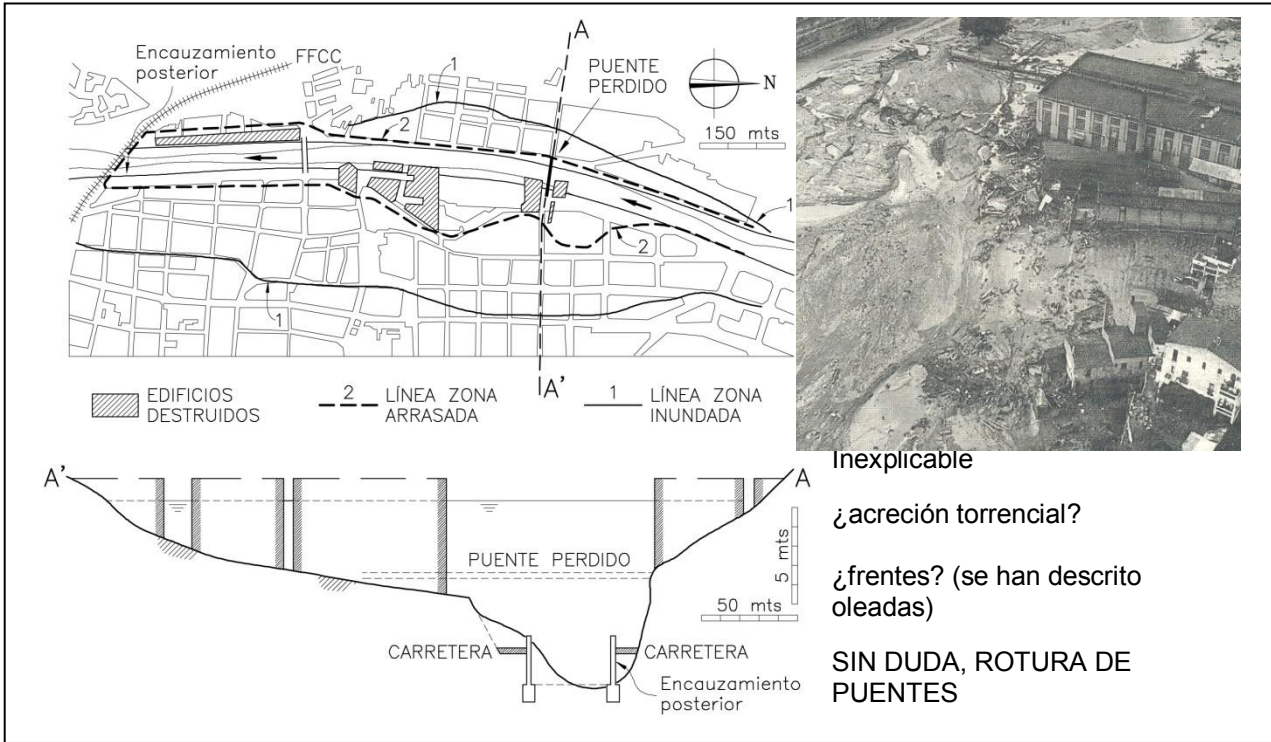


Figura 5 – a) izquierda: área inundada y área arrasada, en planta, arriba, y su sección A-A', abajo, con su escala gráfica, según un plano del Arxiu Municipal de Rubí (gentileza Hug Teixidó, quien lo sacó a la luz), redibujado y añadiendo la canalización; comparar con Figura 3 (es la misma región), por ej. en cuanto al área arrasada, hoy susceptible de urbanización; b) derecha: foto de la zona del puente perdido tras el paso de la avenida (comparar también con Figura 3 en que el puente está reconstruido). La parte del cauce de la sección A-A' se repite en figs. 4 y 6.

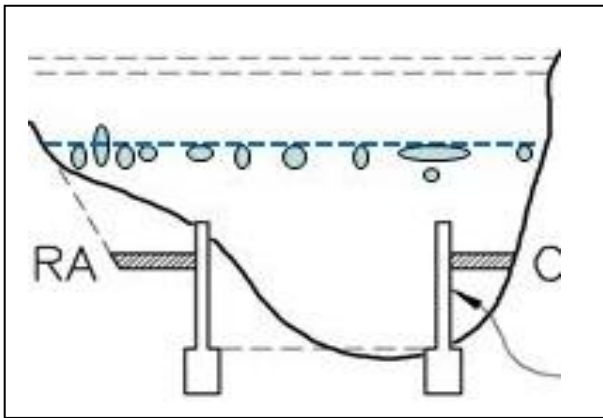


Figura 6 – Esquema de la canalización de Rubí para ilustrar la hipótesis de acreción torrencial transitoria.

LA VALL D'ARAN

Signos de una acreción transitoria como la apuntada en el apartado anterior se pueden ver en numerosos fenómenos torrenciales. Las avenidas de 1940 (*l'aiguat del 40*), al que las instituciones que nos acogen hoy dedicaron en 1990 una valiosa publicación⁽⁷⁾, las de agosto de 1963 en la Vall d'Aran o la avenida del barranco de Arás en 1996, la más mortífera de las últimas décadas,

muestran unos cauces llenos a rebosar de gravas. Las fotos de 1940 por ej. son elocuentes de cómo la avenida torrencial deja verdaderos campos de gravas que llegan a sepultar los puentes. En la del barranco de Arás (Figura 7), el cauce para el desagüe del torrente a través del cono de deyección podía transportar el agua; se diría que era un ejemplo típico de canalización para agua clara, calculada con toda exactitud. Pero su verdadera solicitación fue torrencial: una carga de fondo que llenó de tal modo el cauce que el flujo discurrió por el cono, con calado de 1 m y velocidad de 4,5 m/s, que superan ampliamente la condición de peligro para las personas⁽⁸⁾. El término avulsión describe este cambio brusco de cauce en un cono de deyección.

Pero también la Vall d'Aran, estímulo principal de estas jordanas vivió el 3 de agosto de 1963, a casi 50 años exactamente de las vividas este año, la avenida torrencial del río Valarties en Arties con varias víctimas mortales. La pendiente del río en la población es el 4%. El análisis de lo ocurrido⁽⁹⁾ permitió dibujar el mapa de isolíneas de altura de los depósitos respecto al estado actual (1, 1,5, 2 y hasta 2,5 m) comparando un archivo local de fotografías con el estado actual. Se aplicó a los

ríos de la Vall d'Aran el mismo método de cálculo torrencial descrito a propósito de la riera de Rubí. Otros datos y análisis de estos ríos torrenciales: barranco de la Galera, con un episodio torrencial en octubre de 2000, Francolí en la avenida de octubre de 1994 y Nervión-Ibaizábal en Basauri (Vizcaya) en agosto de 1983 se han analizado de este modo en un artículo y diferentes informes⁽¹⁰⁾.



Figura 7 – Fotos del barranco de Arás en su cono de deyección, antes de la crecida de agosto de 1996 (izquierda), mirando hacia aguas arriba, véase el cauce recto y la cuadrícula de árboles del camping; y después de la catástrofe, mirando aguas abajo, véase la colmatación de dicho cauce (TVE, Informe semanal).



Figura 8 – a) izquierda: foto tras el paso de la crecida del río Valarties en Arties (Vall d'Aran) en 1963; véase la altura del cauce aluvial y la magnitud de los depósitos; b) centro: foto del mismo lugar en 2002 (9) véase el nuevo cauce ¿de agua clara?; c) derecha: mapa de isolíneas del depósito dejado por la avenida torrencial (gentileza TYPESA).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS

(1) MARTÍN-VIDE, J.P.; AMARILLA, M.; ZÁRATE, F. Collapse of the Pilcomayo River. *Geomorphology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.12.007>.

(2) MEUNIER, M. *Éléments d'hydraulique torrentielle*. Cemagref, Grenoble 1991.

(3) Martín-Vide, J.P., Andreatta A. Channel Degradation and Slope Adjustment in Steep Streams Controlled through Bed Sills. *Earth Surface Processes and Landforms* 34, 38-47 (2009). Los datos y análisis también se encuentran en la PEF del Baix Llobregat.

(4) Martín-Vide, J.P., Ferrer-Boix C., Ollero, A. Incision due to gravel mining: modeling a case study. *Geomorphology*. 117 (2010)261–271 doi: 10.1016/j.geomorph.2009.01.019.

(5) MARTÍN VIDE, J.P. *Ingeniería de Ríos*, Ed.UPC, Barcelona 2006.

(6) UPC- J.P.Martín Vide. Criterios de cálculo hidráulico de las rieras de Las Arenas y Rubí en condiciones torrenciales. Para INCLAM-H.Q.A. y la Agencia Catalana del Agua, 2003.

(7) Servei Geològic de Catalunya, Departament de Política Territorial i Obres Públiques. *L'aiguat del 40. Inundacions catastròfiques i polítiques de prevenció a la Mediterrània nord-occidental*. Actes del congress de Vernet, oct. 1990.

(8) Ayala-Carcedo, F.J.: *Olcina J. Riesgos naturales*. Ed. Ariel 2002. El caso se encuentra en las pp. 889-912.

(9) UPC- J.P.Martín Vide. Análisis de la inundabilidad del río Garona y sus afluentes en el Vall d'Aran Para TYPESA y la Agencia Catalana del Agua, 2002.

(10) HELMBRECHT, J.; MARTÍN VIDE, JP. Principios y ejemplos de cálculo hidráulico torrencial. *Ingeniería Civil, CEDEX*, n.141, pp.137-141, 2006.

Aportació de la geologia al coneixement de la inundabilitat

APORTACIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS AL CONOCIMIENTO DE LA PELIGROSIDAD POR INUNDACIONES

Andrés Díez-Herrero ⁽¹⁾; José María Bodoque del Pozo ⁽²⁾; Virginia Ruiz-Villanueva ⁽³⁾ y Juan Antonio Ballesteros Cánovas ⁽³⁾

(1) Instituto Geológico y Minero de España. C/ Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. andres.diez@igme.es

(2) Universidad de Castilla-La Mancha. Avda. Carlos III s/n, 45071 Toledo. josemaria.bodoque@uclm.es

(3) Dendrolab.ch, Instituto de Geología, Universidad de Berna. Baltzerstrasse 1+3 CH-3012 Berna, Suiza. virginia.ruiz@dendrolab.ch juan.ballesteros@dendrolab.ch

PALABRAS CLAVE: inundación, peligrosidad, inundabilidad, hidrología, hidráulica, geomorfología, riesgo natural, dendrogeomorfología.

de información sobre las características de la inundación esperable, y pérdida de utilidad del análisis y las cartografías en algunas de las aplicaciones.

INTRODUCCIÓN: LA PELIGROSIDAD POR INUNDACIONES FLUVIALES

Aunque parezca mentira, en pleno siglo XXI aún no hay un acuerdo generalizado y aceptado por la comunidad científico-técnica internacional acerca de lo que se puede considerar como “peligrosidad por inundaciones”. Ni tan siquiera en el propio término de “peligrosidad”, que en algunos tratados y manuales se sustituye por otros conceptos análogos como “amenaza” o “peligro”. Así, mientras que la Directiva Europea 60/2007 de gestión del riesgo de inundaciones tan solo incluye aspectos relacionados con la frecuencia o periodicidad del fenómeno, la mayor parte de los tratados consideran que el concepto de peligrosidad debe contemplar tres conjuntos de parámetros o variables:

- **Severidad**, intensidad o capacidad intrínseca del fenómeno natural para producir daño; y que a su vez, para el caso de las inundaciones, comprendería: parámetros físicos del evento (profundidad, velocidad, energía...), el volumen y tipología de la carga sólida transportable y sedimentable, y la capacidad de producir modificaciones del relieve por erosión (zapado, incisión, etc.) o depósito.
- **Dimensión espacio-temporal**, contemplando tanto aspectos de la extensión areal del área inundada, como el ámbito temporal de la duración del evento y los tiempos característicos (concentración, viaje, desfase de la punta, base del hidrograma, etc.).
- **Frecuencia o probabilidad de ocurrencia**, expresada de forma cuantitativa con el periodo de retorno o una probabilidad de excedencia, o cualitativamente.

En muchos de los estudios de peligrosidad, en la línea de la Directiva Europea, se obvian el resto de aspectos citados anteriormente excepto la frecuencia del evento, con la consiguiente pérdida

LAS FUENTES DE DATOS Y LOS MÉTODOS CLÁSICOS DE ANÁLISIS DE LA PELIGROSIDAD

Se han propuesto numerosos métodos para el análisis de la peligrosidad, y también diferentes clasificaciones y organizaciones conceptuales de los mismos. Casi todas ellas reconocen tres grandes grupos de métodos de análisis:

- **Históricos o documentales**, que parten del registro documental histórico (manuscritos, libros, periódicos, etc.), marcas y placas de nivel alcanzado (limnimarcas), narraciones orales y videograbaciones, para reconstruir las fechas de eventos pasados y sus niveles y zonas inundadas; a partir de las cuales se puede inferir la frecuencia en ese periodo, los órdenes de magnitud de los eventos y los puntos conflictivos históricos.
- **Hidrológicos e hidráulicos**, que partiendo de datos hidrológicos (aforos) o hidrometeorológicos (precipitaciones) y mediante análisis estadísticos y/o transformación lluvia-escorrentía, permiten obtener los cuantiles de caudales para diferentes periodos de retorno; y con ellos, transformar los caudales en circulación por un tramo de la red fluvial en calados, velocidades y energías, o lo que es lo mismo, en áreas inundables.
- **Geológicos y geomorfológicos**, que aprovechan el registro geológico de depósitos y marcas de inundación del pasado reciente (paleohidrología), o la disposición de las formas del cauce y sus márgenes (geomorfología fluvial), para inferir los niveles alcanzados por dichas inundaciones, el régimen de corriente y las áreas geomorfológicamente más activas durante las avenidas.

Las diferentes modalidades de estos grupos de métodos y sus relaciones y conexiones pueden reconocerse en la Figura 1.

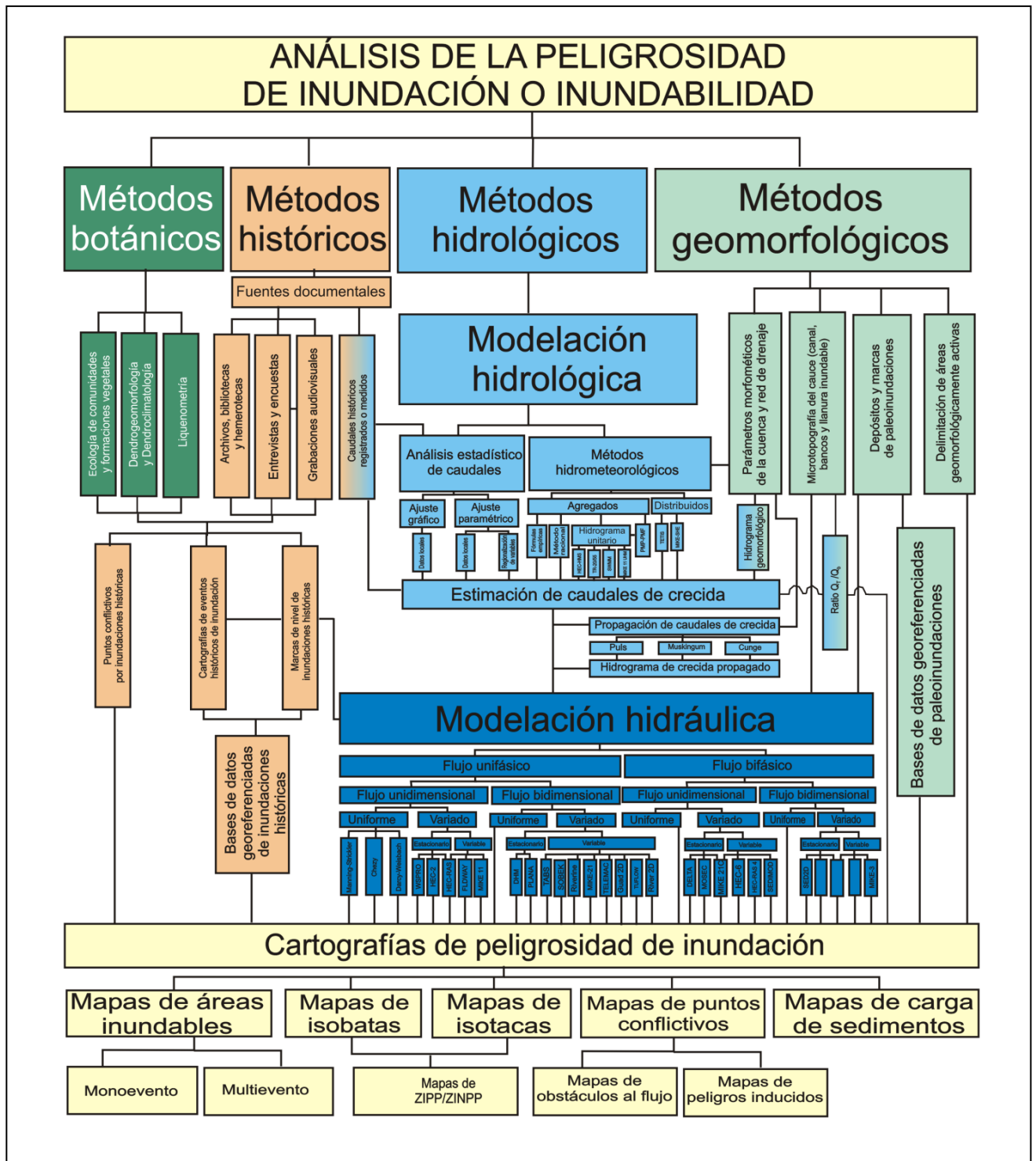


Figura 1 – Esquema general de los diferentes métodos clásicos para el análisis y cartografía de la peligrosidad por inundaciones fluviales, con especial hincapié en las relaciones entre ellos y sus variantes (Díez-Herrero et al., 2008; adaptado de Díez-Herrero, 2002b).

A toda esta casuística se suma la incidencia de la finalidad u objetivo del análisis de peligrosidad en la elección de los métodos, y sobre todo la trascendencia en los métodos de la escala de trabajo y representación, como ha sido abordado por Ruiz-Villanueva et al. (2008; Figura 2). Más detalles sobre estos métodos y su aplicación

pueden encontrarse en Díez-Herrero (2002a), Montalbán et al. (2003), Díez-Herrero et al. (2008) y Sánchez y Lastra (2011).

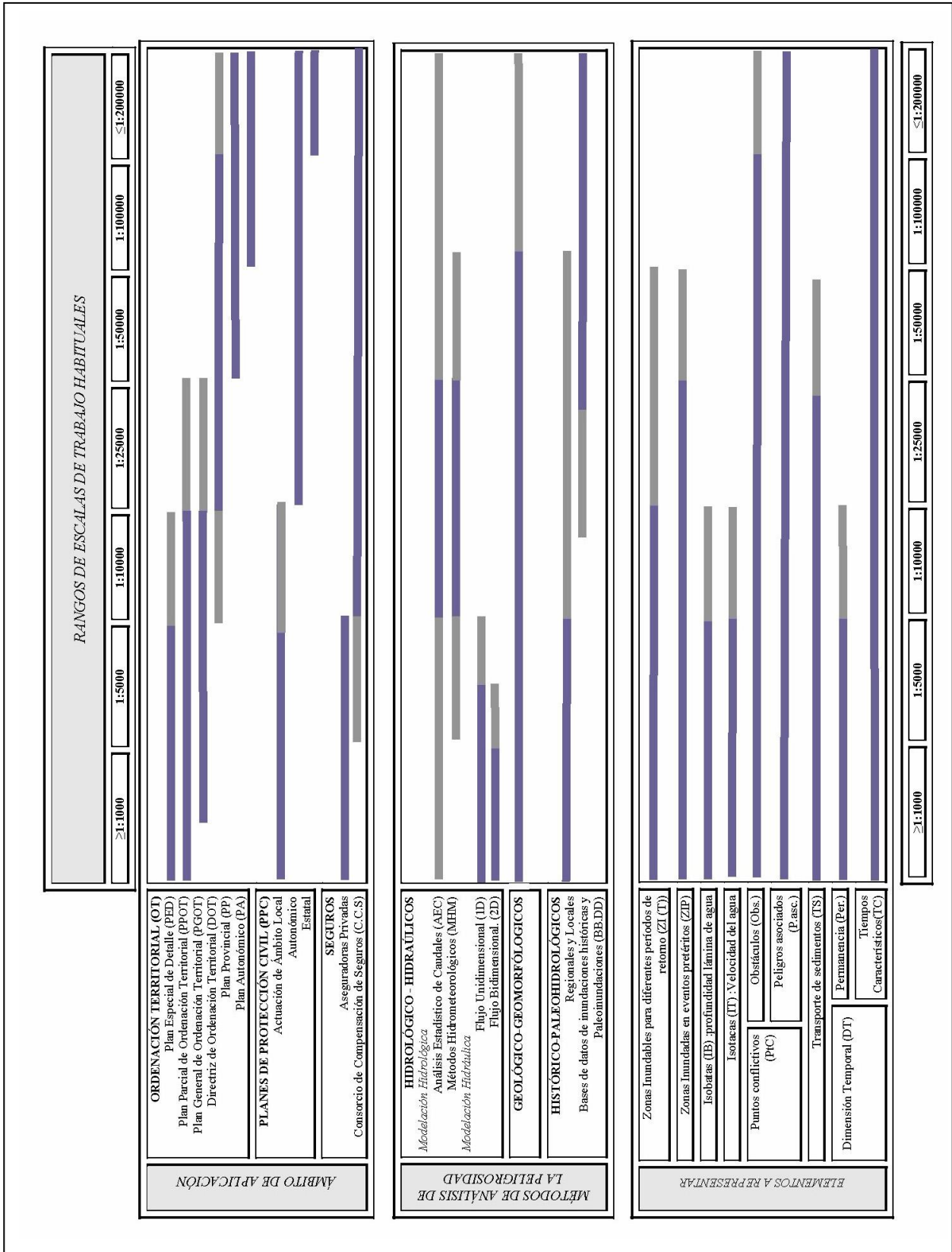


Figura 2 – Cuadro de relación entre los métodos de análisis de la peligrosidad según el ámbito de aplicación y la escala del ámbito de estudio, incluyendo los elementos a representar en la cartografía. Las barras azules representan el ámbito óptimo y las grises la escala de aplicación con dificultades (Díez-Herrero et al., 2008; tomado de Ruiz-Villanueva et al, 2008).

Además esta clasificación clásica entremezcla lo que podría considerarse métodos *sensu stricto*, con otras técnicas o procedimientos que en realidad no son sino fuentes de datos para esos métodos. Porque el problema que subyace en muchos de los denominados métodos es que en realidad solo ofrecen resultados parciales desde el punto de vista de la peligrosidad. Por ello, se podría afirmar, sin ser excesivamente pesimista, que ninguno de los métodos por sí solo es capaz de dar como resultado todos los parámetros de la peligrosidad (severidad, dimensión espacio-temporal y frecuencia). Todos ellos tienen ventajas y limitaciones para la obtención de cada uno de los parámetros, que se han sintetizado en la Tabla 1.

Por ejemplo, métodos que aparentemente caracterizan muy bien la frecuencia, como puede ser el análisis estadístico de caudales con funciones de distribución de frecuencias, son incapaces de tener en consideración la carga sólida transportada por esos caudales; o los métodos geomorfológicos de delimitación de áreas de actividad en las riberas fluviales, rara vez ofrecen una idea cuantitativa de la frecuencia de inundación de las mismas. En definitiva, la única forma de realizar un análisis completo de la peligrosidad por inundaciones es utilizar de forma combinada e integrada varios de estos métodos y fuentes de datos, para así poder calibrar y validar algunos y reducir las incertidumbres (Díez-Herrero, 2002a).

LOS MÉTODOS BOTÁNICOS COMO COMPLEMENTO O ALTERNATIVA

A los tres grandes grupos de métodos clásicos cabría añadir otros métodos que, si bien aún están en fase de investigación y ensayo, ya se han manifestado como un complemento o incluso una alternativa a los anteriores en determinadas corrientes y zonas con escasez o inexistencia de información hidrológica e hidrometeorológica (cuencas no aforadas). Es el caso de los diferentes métodos **botánicos**, desde el uso de la liquenometría, hasta la dendrogeomorfología, que emplean la edad de colonias, formaciones o individuos (árboles o arbustos) o la edad y dimensiones de los daños en los mismos (evidencias dendrogeomorfológicas; Figura 3), para caracterizar las avenidas del pasado en frecuencia, magnitud y duración.

Este último grupo de técnicas dendrogeomorfológicas ha sido ensayado con éxito desde hace casi medio siglo en

Norteamérica y Centroeuropa, y en la última década en España para reconstrucción de la peligrosidad en diversos aspectos: la datación de eventos pretéritos para su inclusión en el análisis estadístico de caudales y la mejora del ajuste de la parte alta de la función de distribución de frecuencias; la estimación de la magnitud de eventos pretéritos a partir de indicadores de paleonivel y marcas de aguas altas; la calibración de parámetros hidráulicos como la rugosidad a partir de elementos arbóreos dispersos por el área de estudio; la utilización de evidencias como los árboles inclinados para la estimación de caudales de avenidas pasadas; e incluso la inferencia del origen meteorológico de las avenidas causantes de la inundación empleando isótopos estables en la madera (ver al respecto Díez-Herrero et al., 2007, 2013a y 2013b; y las referencias en ellos contenidas).

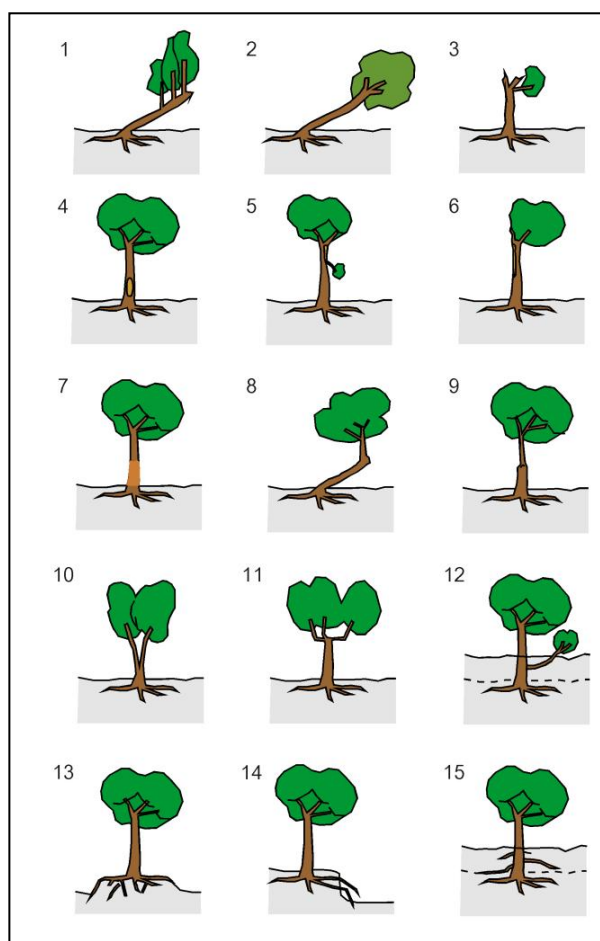


Figura 3 – Principales tipos de evidencias dendrogeomorfológicas externas que afectan al individuo arbóreo completo o partes del mismo. Tomado de Díez-Herrero et al. (2007, 2008 y 2013b).

MÉTODO DE ANÁLISIS DE LA PELIGROSIDAD		VENTAJAS Y APORTACIONES	INCONVENIENTES Y LIMITACIONES
HIDROLÓGICO- HIDRÁULICO	HIDROLÓGICO	Análisis estadístico de caudales	· Cálculo cuantitativo de caudales punta para diversos T
		Cálculo hidrometeorológico	· Cálculo cuantitativo de caudales punta para diversos T · Reconstrucción del hidrograma de crecida
	HIDRÁULICO	Análisis hidrodinámico	· Cálculo numérico de calados, velocidades y áreas inundables · Posibilidad de incorporar lecho móvil y turbulencia · Posibilidad de incorporar el transporte de carga sólida
GEOLÓGICO- GEOMORFOLÓGICO	GEOMORFOLÓGICO	Análisis de formas	· Delimitación de las áreas activas basado en unidades empíricas y reales, corroborables en campo · Información sobre otros procesos potencialmente peligrosos asociados a la inundación
	GEOLÓGICO	Análisis de depósitos	· Ampliación del periodo temporal del registro de eventos de siglos a milenios para la mejora del análisis de frecuencias · Registro de eventos extremos y del evento máximo físicamente posible
HISTÓRICO- DOCUMENTAL	Análisis documental en archivos, hemerotecas y bibliotecas		· Ampliación del periodo temporal del registro de eventos de décadas a siglos para la mejora del análisis de frecuencias · Información sobre daños y otros fenómenos asociados a la inundación
	Análisis de limnimarcas (placas y epigrafía)		· Ampliación del periodo temporal del registro de eventos de décadas a siglos para la mejora del análisis de frecuencias · Mejora de la calibración de modelos hidráulicos con eventos pretéritos conocidos
	Análisis de entrevistas y encuestas a la población afectada		· Información detallada y distribuida de eventos pretéritos, con áreas inundadas, calados, velocidades y otros fenómenos
BOTÁNICO	LIQUENOMETRÍA		· Ausencia de líquenes o de especies útiles · Ausencia de curva de crecimiento liquenométrico · Reelaboración de colonias · Necesidad de conocimientos técnicos muy especializados
	DENDROGEOMORFOLOGÍA		· Ausencia de elementos arbóreos o arbustivos, de evidencias dendrogeomorfológicas o de especies aptas · Mismos inconvenientes que el modelo hidráulico para estimación de caudales · Dificultades para incorporar los datos al análisis estadístico de frecuencias · Necesidad de conocimientos técnicos muy especializados

Tabla 1. Enumeración básica de las principales aportaciones o ventajas frente a los inconvenientes y limitaciones de los diferentes métodos de análisis de la peligrosidad por avenidas e inundaciones fluviales.

APORTACIÓN DE LA GEOLOGÍA AL CAMBIO DE PARADIGMA EN LA PELIGROSIDAD POR INUNDACIONES

La proliferación de noticias de desastres y catástrofes asociadas a las inundaciones en los medios de comunicación ha generado en la Sociedad una percepción de que los enfoques probabilísticos del análisis de la peligrosidad dan una solución incompleta al problema: raro es el año en que se registra la máxima lluvia jamás medida; o que el valor del caudal de un río supera las previsiones de los periodos de retorno calculados; o que dos años consecutivos se producen los caudales estimados para 500 años de periodo de retorno. La reciente publicación en la prestigiosa revista *Tectonophysics* del artículo titulado “*Why earthquake hazard maps often fail and what to do about it*” (Seth Stein, Robert J. Geller and Mian Liu, 2012), plantea algunas de estas incertidumbres para el caso de los aparentes fallos en la elaboración de mapas de peligrosidad frente a terremotos en general, y particularmente en qué falló en la definición de escenarios para el terremoto de Tohoku (Japón) en 2011, que causó el conocido tsunami y desastre de Fukushima.

Por todo lo anteriormente expuesto, diversos organismos y prestigiosos institutos internacionales están dirigiendo sus esfuerzos a investigar en nuevos métodos para el establecimiento de los escenarios a utilizar en los estudios de peligrosidad (Sánchez, 2012). Escenarios que no se basen, al menos exclusivamente, en enfoques probabilísticos, sino que tengan como objeto de la investigación el fenómeno en sí mismo y su dimensión física: el **evento máximo físicamente posible**.

Para investigar en los fenómenos naturales máximos capaces de producirse en un determinado territorio es necesario recurrir a los fundamentos de varias disciplinas relacionadas con la **Historia Natural** y en particular con la **Geología** y la **Geomorfología**, pues solo con una perspectiva temporal que abarque miles e incluso decenas de miles de años, se puede tener la seguridad de que en ese territorio ha ocurrido una o varias veces, ese máximo fenómeno físicamente posible. Por ello, los dos fundamentos del planteamiento general deberían ser:

- **Conocimiento en profundidad del funcionamiento de los procesos físico-químicos** que condicionan, desencadenan y rigen el desarrollo de las inundaciones y su peligrosidad, para establecer cuáles son los parámetros de magnitud máximos físicamente posibles en cada sector del territorio.

- **Estudio del registro de eventos extremos del pasado reciente** (periodo histórico y Holoceno), para la determinación de la magnitud máxima de estos fenómenos naturales en la última decena de miles de años.

Por ello, las disciplinas involucradas en estos estudios deberían ser la Paleohidrología, Arqueohidrología, Dendrogeomorfología, etc., todas ellas temáticas de desarrollo muy reciente, interdisciplinares y en el límite del estado de conocimiento.

Este planteamiento ni es nuevo, ni es una entelequia teórica. Muchas organizaciones internacionales e importantes centros de investigación y desarrollo técnico llevan décadas implementando estas metodologías en algunos de sus manuales y recomendaciones técnicas:

- Desde la década de 1980 la **Organización Meteorológica Mundial** (WMO, por sus siglas en inglés) ha venido desarrollando metodologías y guías para la estimación de la llamada Máxima Precipitación Probable (PMP, por sus siglas en inglés) obtenida por una maximización de los eventos de tormentas registrados de acuerdo a parámetros físicos (WMO, 1989). A partir de los valores calculados de PMP para diferentes áreas y duraciones, diversos centros de investigación hidrológica han propuesto calcular la Avenida Máxima Probable (PMF, por sus siglas en inglés), como el máximo caudal físicamente posible en un determinado tramo de la red fluvial. El **método PMP-PMF** es utilizado desde hace décadas para los análisis de riesgos de infraestructuras críticas en EE.UU., para lo que hay editados mapas y ábacos (USNWS, 1982).
- El prestigioso **Hydrologic Engineering Center** (HEC) del *U.S. Corps of Engineers* (Ejército de los EE.UU. de Norteamérica), que produce software que millones de técnicos usan para evaluar el riesgo de inundaciones en todo el Mundo (HEC-RAS, HEC-HMS, HEC-FDA...), ha editado recomendaciones técnicas para **incorporar la paleohidrología al análisis de frecuencia de inundaciones** (HEC, 2003). Esta inclusión de los datos paleohidrológicos en los caudales de diseño de presas ha permitido al **Department of Energy (U.S. Bureau of Reclamation)** acotar la parte alta de la función de distribución de frecuencias, y caracterizar el tramo asintótico de la función, cuyos valores se aproximan a la citada PMF. En España, el CSIC y el IGME han ensayado estas metodologías con éxito en diferentes cuencas españolas: Tajo medio, Guadalentín, Guadalhorce, Rambla Mayor, Rambla de la Viuda, Navaluenga, Arenal, Llobregat, Noguera Pallaresa, etc.

Finalmente, otro aspecto del análisis de la peligrosidad de inundaciones tradicionalmente olvidado es el papel de la **carga sólida flotante** (fragmentos leñosos, hielo, granizo...). Son

numerosos los ejemplos en los que el depósito de esta carga en estrechamientos del cauce u obras de paso de infraestructuras (puentes, drenajes transversales...) agravan las consecuencias de la inundación aguas arriba (aumento del calado, área inundada y la deposición de depósitos detríticos), aguas abajo (rotura de represamientos incrementando los picos de caudal) y en el tramo de transporte por los daños por impactos y presiones sobre objetos. Nuevamente aquí la Geomorfología tiene mucho que aportar proponiendo metodologías para el análisis de la incorporación de esa carga sólida a los cauces (Ruiz-Villanueva et al., *in press a*), su movimiento y dinámica en los mismos (Ruiz-Villanueva et al., *in press b*) y su papel en la obturación de obras de paso e incremento del riesgo (Ruiz-Villanueva et al., 2013).

AGRADECIMIENTOS

Los contenidos de este artículo han sido desarrollados gracias a las investigaciones y desarrollos técnicos realizados en diversos proyectos de investigación e informes, entre los que cabe destacar: MetAvenidas (2004-2006), Dendro-Avenidas (2008-2010), Encomienda Avenidas (2008-2009), IDEA-GesPPNN (2011-2013) y MAS Dendro-Avenidas (2011-2014).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS

- DÍEZ HERRERO, A., 2002a. Condicionantes geomorfológicos de las avenidas y cálculo de caudales y calados. In: F.J. Ayala-Carcedo, J. Olcina Cantos (Coords.), Riesgos Naturales. Editorial Ariel, Ariel Ciencia, 1ª edición, Barcelona. Cap. 49, pp. 921-952.
- DÍEZ HERRERO, A., 2002b. Aplicaciones de los sistemas de información geográfica al análisis del riesgo de inundaciones fluviales. In: Lain Huerta, L. (Ed.), Los Sistemas de Información Geográfica en la Gestión de los Riesgos Geológicos y el Medio Ambiente, Serie: Medio Ambiente. Riesgos Geológicos, nº 3, Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Madrid, pp. 85-112
- DÍEZ-HERRERO, A., BALLESTEROS, J.A., BODOQUE, J.M., EGUÍBAR, M.A., FERNÁNDEZ, J.A., GÉNOVA, M., LAÍN, L., LLORENTE, M., RUBIALES, J.M., STOFFEL, M., 2007. Mejoras en la estimación de la frecuencia y magnitud de avenidas torrenciales mediante técnicas dendrogeomorfológicas. *Boletín Geológico y Minero*, 118 (4), 789-802.
- DÍEZ-HERRERO, A., LAIN-HUERTA, L., LLORENTE-ISIDRO, M., 2008. Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Riesgos Geológicos/Geotecnia nº 1, Madrid, 190 pp.
- DÍEZ-HERRERO, A., BALLESTEROS-CÁNOVAS, J.A., BODOQUE, J.M., RUIZ-VILLANUEVA, V., 2013a. A review of dendrogeomorphological research applied to flood risk analysis in Spain. *Geomorphology*, 196, 211-220.
- DÍEZ-HERRERO, A., BALLESTEROS-CÁNOVAS, J.A., BODOQUE, J.M., RUIZ-VILLANUEVA, V., 2013b. A new methodological protocol for the use of dendrogeomorphological data in flood risk analysis. *Hydrology Research*, 44.2, 234-247.
- HEC, 2003. Application of Paleohydrology to Corps Flood Frequency Analysis. Hydrologic Engineering Centre. US Army Corps of Engineers, April 2003. RD-47, 28 pp.
- MONTALBÁN, F., MANZANO, A., CORREA, L., CABOT, J. GODÉ, L.X., 2003. Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local. Agència Catalana de l'Aigua, 89 pp.
- RUIZ-VILLANUEVA, V., DÍEZ, A., LAÍN, L., LLORENTE, M., 2008. Elaboración de Mapas de Peligrosidad de Inundaciones según su ámbito de aplicación y escala: propuesta metodológica. Comunicaciones del VII Congreso Geológico de España, Sociedad Geológica de España, Las Palmas de Gran Canaria, julio de 2008.
- RUIZ-VILLANUEVA, V., BODOQUE, J.M., DÍEZ-HERRERO, A., EGUÍBAR, M.A. PARDO-IGÚZQUIZA, E., 2013. Reconstruction of a flash flood with large wood transport and its influence on hazard patterns in an ungauged mountain basin. *Hydrological Processes*, 27, 3424-3437.
- RUIZ-VILLANUEVA, V., DÍEZ-HERRERO, A., BALLESTEROS, J.A., BODOQUE, J.M., *in press a*. Large Woody Debris potentially recruitable due to landslides, bank erosion and floods in mountain basins: a quantitative estimation approach. *River Research and Applications*.
- RUIZ-VILLANUEVA, V., BLADÉ-CASTELLET, E., DÍEZ-HERRERO, A., BODOQUE, J.M., SÁNCHEZ-JUNY, M., *in press b*. Two dimensional modelling of large wood transport during flash floods. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- SÁNCHEZ, N. (Coord.) 2012. GT-17. Riesgos ambientales: Su gestión en un mundo globalizado. Documento preliminar del grupo de trabajo. XI Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA 2012), Madrid del 29 de noviembre de 2012. 22 pp.
- SÁNCHEZ, F.J., LASTRA, J. (Coords.), 2011. Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, 349 pp.
- WMO, 1989. Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis. World Meteorological Organization, Operational Hydrology Report, nº 33, 73 pp.
- USNWS, 1982. Application of Probable Maximum Precipitation Estimates- United States East of the 105th Meridian. U.S. National Weather Service, NOAA Hydrometeorological Report No. 52, 168 pp.

PALEOINUNDACIONES: RECONSTRUCCIÓN DE LAS INUNDACIONES A PARTIR DEL REGISTRO SEDIMENTARIO

Gerardo Benito ⁽¹⁾; Juan Pablo Corella ⁽¹⁾, Xavier Rodríguez-Lloveras ⁽¹⁾, Varyl R. Thorndycraft, ⁽²⁾, Maria-Teresa Rico⁽³⁾, Maria J. Machado ⁽¹⁾, Yolanda Sánchez Moya ⁽⁴⁾, Alfonso Sopeña ⁽⁴⁾

(1) Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Serrano 115bis, 28006 Madrid. benito@mncn.csic.es; pablo.corella@mncn.csic.es; xavi.rodriguez@mncn.csic.es, machado@mncn.csic.es

(2) Dept. of Geography, Royal Holloway, University of London, Egham, Surrey, TW20 0EX, U.K. Varyl.Thorndycraft@rhul.ac.uk

(3) Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Avda Montañana 1005, 50059 Zaragoza. mayterico@ipe.csic.es

(4) Instituto de Geociencias, CSIC-UCM, 28040 Madrid. alfonso.sopena@ige.csic.es, yol@geo.ucm.es.

PALABRAS CLAVE: *Paleoinundaciones, crecidas extremas, análisis de frecuencia de crecidas*

INTRODUCCIÓN

La hidrología de paleoinundaciones (Paleoflood hydrology; c.f. Baker y Kochel, 1988) persigue la reconstrucción de la magnitud y frecuencia de crecidas pasadas usando evidencias geológicas y/o botánicas (Baker *et al.*, 2002). En el estudio de paleoinundaciones se emplean principios de la geología, hidrología y la dinámica de fluidos para inferir aspectos cuantitativos y cualitativos de crecidas no observadas, o de las que se carezca de registro, en base a evidencias físicas dejadas por el paso de las crecidas (Benito y O'Connor, 2013).

Los indicadores dejados por las inundaciones pasadas incluyen principalmente sedimentos acumulados en zonas de remanso (*slackwater flood deposits*) y elementos geomorfológicos (barras, bancos, marcas de erosión), así como descortezados y marcas en la vegetación. Las inferencias que se pueden llegar a realizar incluyen la edad (mediante datación geocronológica), magnitud y frecuencia de eventos de crecida específicos, así como conclusiones en relación con la magnitud y frecuencia de las inundaciones. Los beneficios de los estudios de paleoinundaciones incluyen la obtención de información sobre crecidas extremas que carecen de medidas y/o observaciones directas. Entre las aplicaciones de la hidrología de paleoinundaciones destacan la mejora de la estimación de la peligrosidad asociada a las crecidas tanto para la planificación de actividades en la llanura de inundación, como para el diseño de infraestructuras sensibles (ej. presas). Igualmente, se aplica para mejorar el entendimiento de las relaciones entre clima, usos de suelo y frecuencia/magnitud de eventos extremos.

El estudio de la magnitud y frecuencia de crecidas en periodos temporales largos (varios cientos de años) requiere la construcción de un catálogo

completo de caudales que han excedido algún nivel de censura arbitrario (umbral de caudal) durante el tiempo de registro en cuestión. La metodología empleada en esta reconstrucción de eventos del pasado incluye: (1) inventario preliminar de los tramos y lugares potenciales de deposición, usando fotografía aérea; (2) visita al campo y toma de medidas para la identificación y selección de indicadores de crecidas (depósitos de crecidas y marcas); (3) descripción estratigráfica con énfasis en la identificación de unidades o "capas" en los sedimentos que permitan diferenciar múltiples crecidas; (4) recogida de muestras para realizar medidas de datación (radiocarbono y luminiscencia estimulada ópticamente) de las capas o niveles acumulados; (5) levantamiento topográfico de los tramos fluviales con depósitos; (6) modelización hidráulica y estimación de caudales; (7) comparación con los datos históricos disponibles, y (8) análisis estadístico de frecuencias de las inundaciones.

En Catalunya la mayor parte de los estudios de paleoinundaciones se han realizado en el ámbito del proyecto Europeo SPHERE, que estuvo centrado en los ríos Llobregat, Ter y Segre (Benito y Thorndycraft, 2004). En la actualidad se están desarrollando nuevas metodologías para obtener registros de tormentas e inundaciones en lagos varvados de Lleida (Montcortés) que cubren con resolución anual los últimos 3.500 años (Corella *et al.*, en prep.).

RÍO LLOBREGAT

Los resultados de los estudios de paleoinundaciones en el río Llobregat han sido publicados en Thorndycraft *et al.* (2005a, 2005b y 2006). Las zonas de estudio se localizan en Pont de Vilomara (1.845 km²) y en Monistrol de Monserrat (3.370 km²), donde el río aparece encajado en conglomerados, arenas y arcillas del Eoceno de la Cordillera Prelitoral. Los depósitos se acumulan en el interior de abrigos rocosos formados en los interestratos de arcillas de la secuencia detrítica del Eoceno. Los depósitos de remanso están constituidos predominantemente

por arena muy fina y fina con laminación paralela alternando con *ripples* de corriente. En Monistrol se han identificado 46 unidades de inundación en 6 perfiles estratigráficos. En la cavidad más elevada (abrigo C, Figura 1; 16 m por encima del río) se encontró un sólo nivel de crecida datada con radiocarbono dentro del intervalo A.D. 1516-1642, que seguramente corresponde a la crecida de 1617 conocida como l'any del diluvi (Thorndyraft *et al.*, 2006). Para esta crecida, se ha estimado en este tramo un caudal de entre 4.680 y 6.200 m^3s^{-1} . Por debajo, el perfil F (Figura 2) ha sido datado en su base con una edad calibrada AD 1790±92, y contiene al menos 12 eventos de paleocrecidas, requiriendo a techo un caudal mínimo de 2.200 m^3s^{-1} para su deposición. Las cavidades más bajas contienen un mayor

número de unidades, aunque de edades correspondientes al siglo XX, y que fueron datadas mediante Cesio-137 (Thorndyraft *et al.*, 2005b). El nivel de la crecida de junio del 2000 (ocurrída durante los trabajos de campo) se identificó mediante flotantes (Figura 1) estimándose un caudal de 1.100 m^3s^{-1} .

En Pont de Vilomara se identificó un abrigo rocoso situado a 15,9 m de altura sobre el lecho, con al menos 8 unidades de crecida, 5 con edades próximas a 2.650 yrs BP, y otras 3 posiblemente ocurrieron en los siglos XIV-XV. Los caudales mínimos estimados estuvieron comprendidos entre 4.400 m^3s^{-1} y 5.100 m^3s^{-1} (Figura 2). La crecida de 1971 se estimó en 1.650 m^3s^{-1} en la estación de aforos de Vilomara.

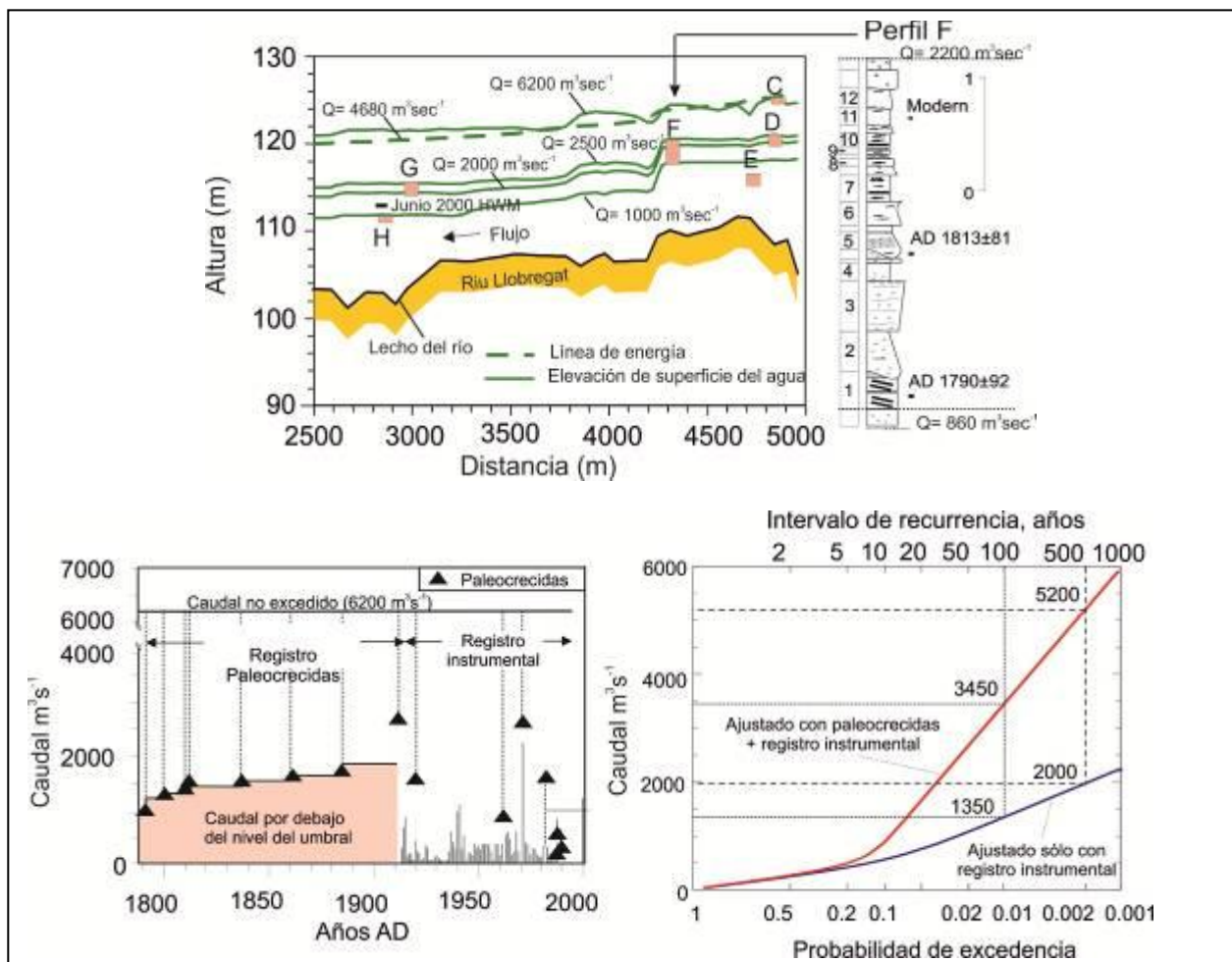


Figura 1 – Arriba. Perfil longitudinal del río Llobregat en Monistrol de Montserrat con la situación de los perfiles estratigráficos, y los niveles de superficie de agua estimados por el modelo HEC-RAS para varios caudales (líneas verdes). Los sedimentos se asocian a caudales comprendidos entre 1.000 m^3s^{-1} y 4.680 m^3s^{-1} . A la derecha el perfil estratigráfico F con 12 unidades y dataciones realizadas con carbono-14. (Thorndyraft *et al.*, 2005a). Abajo izquierda: Organización de los datos de las paleocrecidas (triángulos). Abajo derecha: Análisis de frecuencia corresponde a una distribución de tipo TCEV ajustada sólo para datos de aforos (azul), y para datos de paleocrecidas + series de aforo (rojo). Se observa como los cuantiles obtenidos para la curva que incluye datos de paleocrecidas son superiores a los obtenidos con el ajuste de datos sólo instrumentales. Modificado de Botero, 2006; Benito y O'Connor, 2013.

Río/ tramo estudiado	Superficie (km ²)	Caudal máximo aforado (m ³ s ⁻¹)	Caudal de paleocrecidas (m ³ s ⁻¹)	Longitud de registro histórico en la Cuenca	Longitud del registro de paleocrecidas (años BP)
<i>Ter</i> Girona	2.644	2.400	2.700-4.500	AD 1322-1987 (172 crecidas)	Ca. 400
<i>Llobregat</i> Pont de Vilomara	1.845	1.650	4.400-5.100	A.D. 1315-1992 (158 crecidas)	Ca. 3000
Monistrol	3.370	2.300	4.860		Ca. 400
<i>Segre</i> Alós de Balaguer	4.318	2.200	1.900	A.D. 1306-1982 (51 crecidas)	Ca. 14,000

Figura 2 – Información de caudal y longitud de los registros de paleocrecidas y crecidas históricas estudiadas (Modificado de Thorndyraft et al., 2006).

RÍO TER

En el río Ter se estudió un tramo localizado aguas abajo de Girona. En Sant Julià de Ramis los depósitos de crecida se localizan aguas arriba de un estrechamiento del río Ter en su paso por la Cordillera Costera. En un abrigo emplazado en la margen izquierda se identifican tres unidades de crecida sobre una superficie de ocupación humana con evidencias de restos de hogueras. En la base de los sedimentos se encontró una moneda datada en el año 1651 ó 1652 (Thorndyraft et al., 2006). La modelización hidráulica muestra que el nivel de la crecida de 1940, la mayor del registro de aforos con un caudal de 2.400 m³s⁻¹, no llegó a la altura de la cueva que tiene asociado un caudal mínimo de 2.750 m³s⁻¹ para su inundación (Figura 3). Por tanto, estos depósitos probablemente representen tres crecidas que ocurrieron entre los siglos XVII-XIX, y que climáticamente corresponden a la Pequeña Edad del Hielo.

La falta del registro correspondiente a la crecida de 1617 en este abrigo está abierta a la especulación, y es probable que esta crecida extrema diera lugar a la erosión de los depósitos acumulados anteriormente dentro de este abrigo rocoso. La evidencia del nivel máximo alcanzado por la crecida de 1617 se encuentra en la fachada de la Parroquia de Pont Major en Sarrià de Ter, a una altura de 3,6 m sobre el nivel del pavimento. Los cálculos hidráulicos realizados indican un caudal de 4.500 m³s⁻¹, aunque esta estimación puede presentar errores debido a la inestabilidad de la sección aluvial del río en este tramo (Thorndyraft et al., 2006). En resumen, en este tramo del río Ter se registraron al menos tres paleocrecidas ocurridas desde AD1652 con un caudal mínimo de 2.750 m³s⁻¹, mientras que la crecida de 1617 alcanzaría un caudal pico de 4.500 m³s⁻¹ (Figura 3).

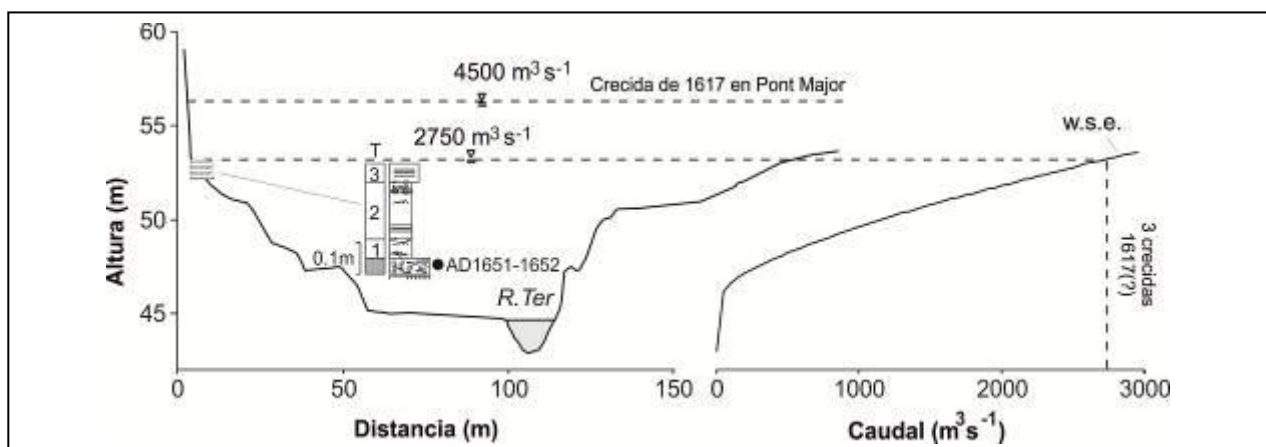


Figura 3 – Sección transversal con localización del perfil estratigráfico de Sant Julià de Ramis (Río Ter) y curva de gastos (w.s.e.= elevación del agua de crecida). La edad en la base del perfil corresponde a una moneda sobre restos de un hogar. Como referencia se indica la altura que alcanzaría la crecida de 1617 según estimaciones realizadas en la parroquia de Pont Major en Sarrià de Ter (3 km aguas arriba). Modificado de Thorndyraft et al., 2006.

RÍO SEGRE

Los trabajos en el río Segre se han realizado aguas abajo de Artesa de Segre (c.f. Tesis Doctoral de Rico, 2004). El tramo estudiado presenta una longitud de 14 km, y comprende un sector donde el río Segre forma una estrecha garganta al encajarse en materiales detríticos (conglomerados y areniscas) del Paleoceno-Mioceno, y materiales plegados del Mesozoico (principalmente calizas). Los depósitos de remanso se acumulan en zonas de ensanchamiento del valle, aguas arriba de estrechamientos, en zonas de laderas y en cavidades rocosas (Figura 4). Los depósitos están constituidos por arenas finas y muy finas, y limos, mostrando una gran variedad de estructuras sedimentarias como laminación paralela, *ripples* y *ripples* en deriva (Figura 4).

El registro sedimentario de paleoinundaciones muestra tres principales periodos de acumulación (1) Pleistoceno superior (50 a 14 ka); (2) Holoceno medio-tardío (11 to 5 ka); (3) Holoceno tardío (2 ka al presente). Las cálculos de caudal revelan un caudal mínimo de hasta $4.400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para las

crecidas del Pleistoceno superior, mientras que las crecidas del Holoceno oscilan entre 2.300 y $2.900 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. La crecida más extrema del periodo instrumental ocurrió en 1982 con un caudal registrado en Alòs de $2.300 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. El registro sedimentario acumulado en el interior de una cueva cerca del Monasterio del Salgar muestra que durante los últimos 1.700-1.800 años se han producido al menos 6 crecidas de caudal, igual o superior al registrado en 1982 (Rico, 2004).

La importante diferencia en caudal entre las crecidas ocurridas durante el Pleistoceno superior y en el Holoceno se puede interpretar como debida a erosión en el lecho rocoso, o como debido a un cambio en el mecanismo hidrológico y climático que genera las crecidas. En este sentido, el régimen de crecidas del Pleistoceno superior podría estar dominado por procesos de deshielo, incluidos obstrucciones de hielo o roturas de lagos glaciares, que darían lugar a caudales muy superiores a las crecidas holocenas en las que dominaría la componente de la lluvia.

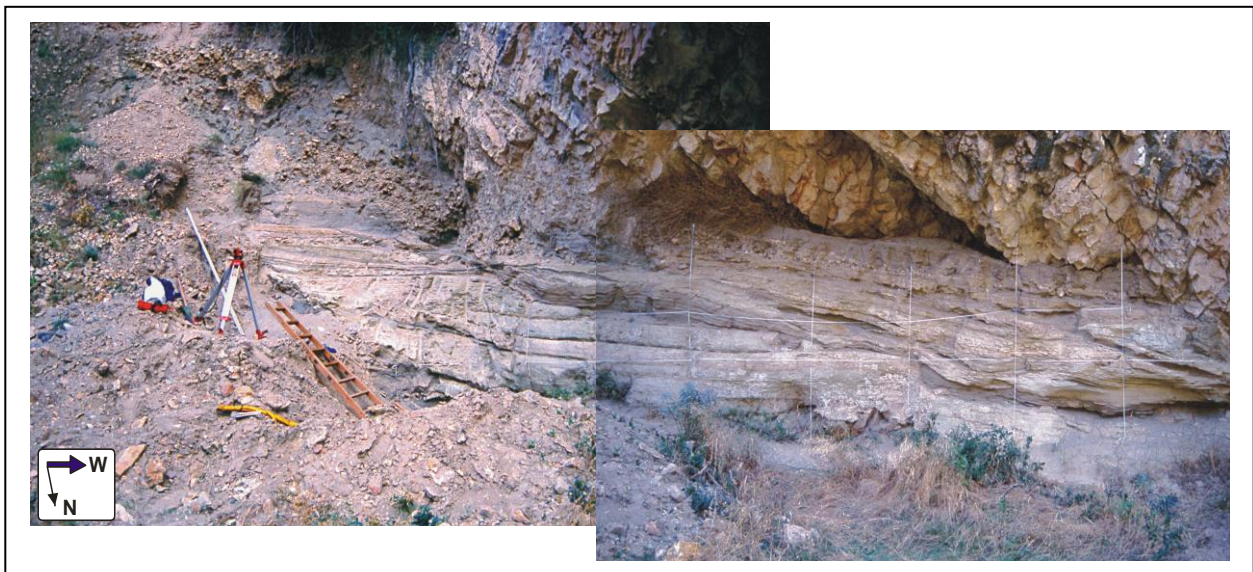


Figura 4 – Vista General de los depósitos de paleocrecidas acumulados de la Cueva del Mú, en Alòs de Balaguer. Tomada de Rico, 2004.

EL REGISTRO LACUSTRE DE MONTCORTÈS

El lago de Montcortès contiene un registro sedimentario excepcional que permite reconstruir tormentas e inundaciones a escala anual durante los últimos 3.500 años (Corella *et al.*, 2011). Se trata de un lago de origen cárstico de 30 m de profundidad y una superficie de $0,14 \text{ km}^2$ que recoge las aguas de una cuenca de 14 km^2 de superficie.

El registro sedimentario en este lago está caracterizado por una secuencia varvada (laminación anual) compuesta por: (i) una lámina de calcita que precipita de manera bioinducida durante grandes desarrollos algales en primavera-verano y (ii) una lámina orgánica que se deposita durante el resto del año (Corella *et al.*, 2012). Eventualmente se intercalan niveles detríticos milimétricos (limos arcillosos) debidos a eventos

de tormentas que generan escorrentía. En ocasiones, los niveles detríticos presentan un mayor tamaño de grano y espesor y son de carácter turbidítico, indicando una mayor magnitud de los eventos de escorrentía. Recientemente, se han realizado dos sondeos en la parte más profunda del lago en los que se ha obtenido una secuencia sedimentaria compuesta de 104 cm. La cronología se ha realizado mediante un conteo de varvas en el que se ha obtenido una resolución anual e incluso estacional desde AD 1374 hasta la actualidad. Esta cronología se ha complementado con otras técnicas radiométricas independientes de datación (^{210}Pb y ^{14}C) para validar el modelo de edad (Corella *et al.*, en prep).

Los análisis de fluorescencia de rayos-X con una resolución de 0,2 mm han permitido caracterizar cada una de las láminas del registro sedimentario. Las láminas detríticas de inundación están caracterizadas por un aumento de Zirconio y Potasio, que refleja el aporte alóctono al sumidero natural lacustre. Gracias al gran control cronológico de la secuencia, estas láminas detríticas de inundación se pudieron comparar con series diarias de precipitación en Capdella durante el periodo de 1917 al 1994 (Corella *et al.* en preparación). En total se identificaron once niveles detríticos para este periodo, nueve de los cuales

encajan con años donde ocurrieron eventos extremos de precipitación, y en otros dos eventos (1973 y 1951) se muestra un desfase de 1 año en el conteo de varvas, que puede ser explicado por un retraso estacional en la precipitación de la lámina biogénica. De este análisis se puede concluir que estas láminas detríticas se acumulan en años donde la máxima lluvia diaria supera los 80 mm, y en 7 de los 10 años se superaron los 100 mm. Las dos máximas lluvias diarias del registro instrumental (1982, 252 mm, y 1937, 160 mm) están representadas por una lámina detrítica y un nivel turbidítico respectivamente.

Los periodos con mayor frecuencia de niveles detríticos ocurrieron entre AD 1347-1400 y AD 1844-1894 con un total de 103 láminas detríticas con un espesor medio de 1,55 mm. Los periodos con menor frecuencia y espesor de láminas (0,93mm de promedio) ocurrieron en AD 1441-1508, 1547-1592, 1656-1712, 1765-1822, 1917-2012. Es especialmente reseñable este último periodo, donde el registro sedimentario de Montcortès refleja el periodo de mayor duración (95 años) con una reducida frecuencia de eventos extremos de tormenta en esta área de la Península Ibérica desde el siglo XIV.

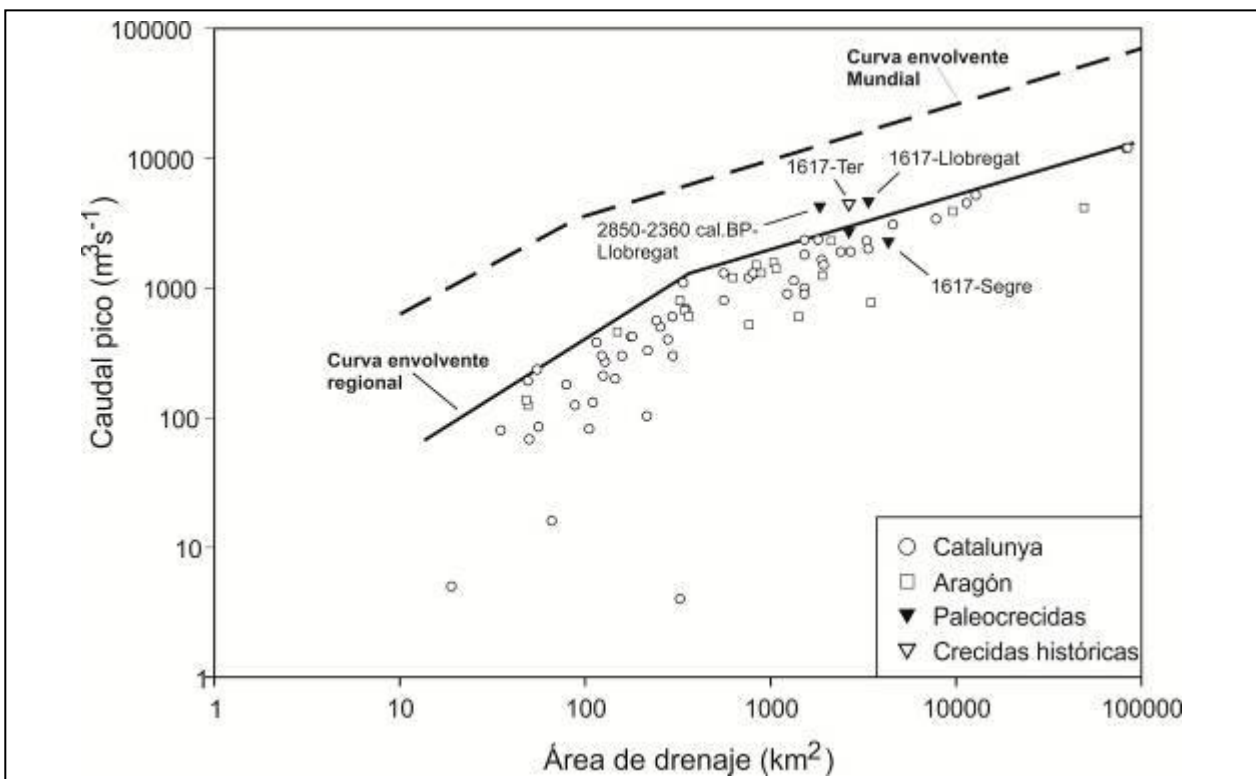


Figura 5– Curva envolvente regional donde se representan los caudales máximos registrados en estaciones de aforo de Catalunya y Aragón oriental. Esta curva de caudales máximos ha sido superada por los caudales estimados para las paleocrecidas en los ríos Llobregat y Ter, mientras que en el Segre los registros para paleocrecidas de los últimos dos milenios tendrían una magnitud similar a la ocurrida en 1982.

CONCLUSIONES

Los estudios de paleocrecidas realizados en tres ríos de Catalunya (Llobregat, Ter y Segre) ponen de manifiesto el registro de eventos pasados con magnitud superior a los registrados en las estaciones de aforo (Figura 5). Estos estudios demuestran la necesidad de tener en cuenta los datos de crecidas del pasado, obtenidas del registro sedimentario como elemento a tener en cuenta para la delimitación de la peligrosidad, tanto para la cartografía de las zonas inundables, como en el diseño de infraestructuras que requieran tener en cuenta crecidas extremas y de baja probabilidad. Estos estudios muestran cómo la información no sistemática puede cuantificarse en términos de caudal e incluirse, junto con los registros sistemáticos de aforos, para la mejora de la estimación de los cuantiles de frecuencia (Figura 3), resultando en caudales más realistas para los periodos de retorno elevados (100, 500 y 1000 años).

Estos registros sedimentarios milenarios, tanto en cursos fluviales como en registros lacustres, muestran la presencia de periodos donde los eventos extremos son más frecuentes, y que se interpretan como una respuesta a la variabilidad climática. En concreto, se ha observado que la segunda mitad del Siglo XIX se caracterizó por presentar una frecuencia anómala de grandes inundaciones y tormentas extremas en Catalunya. En la mayor parte de los ríos la crecida de l'any del diluvi ocurrida en 1617 constituye un referente de crecida máxima registrada en Catalunya, aunque existen otras crecidas de magnitud similar que tuvieron lugar en periodos de transición climática y periodos fríos registrados en los últimos 3.000 años. Durante la segunda mitad del siglo XX se ha experimentado una disminución de la frecuencia de los eventos de crecidas extremas en relación a siglos precedentes, lo que podría interpretarse como una respuesta al cambio climático antropogénico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico de los proyectos SPHERE (Systematic, Palaeoflood and Historical data for the improvement of flood Risk Estimation), financiado por la Comisión Europea (EVG1-CT-1999-00010), FLOOD-MED (CGL2008 -06474-C02-01), y CLARIES (CGL2011-29176), financiados por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) de España. María J. Machado y Juan Pablo Corella han estado financiados por contratos Juan de la Cierva y JAEdoc respectivamente, del Ministerio de

Educación y Ciencia, cofinanciados por el Fondo Social Europeo.

BIBLIOGRAFÍA

- BAKER, V.R., KOCHER, R.C., 1988. Flood sedimentation in bedrock fluvial systems. En: V.R Baker, R.C. Kocher, P.C. Patton (Eds.), *Flood Geomorphology*, J. Wiley, 123-137.
- BAKER, V.R., WEBB, R.H., HOUSE, P.K., 2002. The scientific and societal value of paleoflood hydrology. En: House, P.K., Webb, R.H., Baker V.R., Levish D.R., (Eds.), *Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology*, American Geophysical Union Water Science and Application, 5, 1–19, Washington, D.C.
- BENITO G., O'CONNOR, J.E., 2013. Quantitative Paleoflood Hydrology. En: Shroder, J.E. (Editor-in-chief), Wohl, E. (Volume Editor). *Treatise on Geomorphology*, 9, *Fluvial Geomorphology*, San Diego, Academic Press, 459-474.
- BENITO G., THORNDYCRAFT, V.R., 2004 (Eds.). *Systematic, palaeoflood and historical data for the improvement of flood risk estimation*, CSIC, Madrid, 115 pp.
- BOTERO, B.A., 2006. Estimación de crecidas de alto periodo de retorno mediante funciones de distribución con límite superior e información no sistemática. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, 223 pp.
- CORELLA J.P., BENITO G., RODRIGUEZ-LLOVERAS X., BRAUER, A., VALERO-GARCÉS, B.L. (enviado). Annually-resolved lake record of storminess variability since 1374 AD in NE Iberian Peninsula. *Quaternary Science Reviews*.
- CORELLA, J.P., MORENO, A., MORELLÓN, M., RULL, V., GIRALT, S., RICO, M.T., PÉREZ-SANZ, A., VALERO-GARCÉS, B.L., 2011. Climate and human impact on a meromictic lake during the last 6000 years (Montcortès Lake, Central Pyrenees, Spain). *Journal of Paleolimnology*, 46, 351-367.
- CORELLA, J.P., BRAUER, A., MANGILI, C., RULL, V., VEGAS-VILARRÚBIA, T., MORELLÓN, M., VALERO-GARCÉS, B.L., 2012. The 1.5-ka varved record of Lake Montcortès (southern Pyrenees, NE Spain). *Quaternary Research*, 78, 323-332.
- RICO, M.T., 2004. Las paleocrecidas en la cuenca media del río Segre durante el Pleistoceno superior-Holoceno: Registros morfosedimentarios y análisis hidrológico. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 398 pp.
- THORNDYCRAFT V.R., BENITO G., WALLING D.E., SOPEÑA A., SÁNCHEZ-MOYA Y., RICO M., CASAS-PLANES A., 2005b. Caesium-137 dating applied to slackwater flood deposits of the Llobregat River, NE Spain. *Catena*, 59, 305-318.
- THORNDYCRAFT, V. R., BARRIENDOS, M., BENITO, G., RICO, M., CASAS, A., 2006. The catastrophic floods of AD 1617 in Catalonia (northeast Spain) and their climatic context. *Hydrological Sciences Journal*, 51, 899-912.
- THORNDYCRAFT, V.R., BENITO G., RICO, M., SÁNCHEZ-MOYA, Y., SOPEÑA A., CASAS, A., 2005a. A long-term flood discharge record derived from slackwater flood deposits of the Llobregat River, NE Spain. *Journal of Hydrology*, 313, 16-31.

EL MÈTODE GEOMORFOLÒGIC INTEGRAT I LA GEOMORFOLOGIA: EINES PER A LA CARTOGRAFIA DE ZONES INUNDABLES.

Glòria Furdada Bellavista ⁽¹⁾ i M. Angels Marqués Roca ⁽¹⁾

(1) Grup RISKINAT. Dpt. Geodinàmica i Geofísica, Fac. de Geologia, Universitat de Barcelona. c/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona. gloria.furdada@ub.edu

PARAULES CLAU: geomorfologia, mètode geomorfològic integrat, cartografia de la perillositat d'inundació.

INTRODUCCIÓ

La present ponència es fonamenta en la idea de què les formes del relleu són resultat de processos geomorfològics (per exemple fluvials i fluvio-torrencials, d'acumulació i d'erosió) i, alhora, les formes (el relleu) i els seus dipòsits associats condicionen els processos (la seva generació, la seva dinàmica i el seu desenvolupament a l'espai).

En aquesta ponència en primer lloc es presenta el Mètode Geomorfològic Integrat (MGI) i a continuació es fa una reflexió, basada en un cas d'estudi, sobre la utilitat de l'aproximació geomorfològica a un cas complex d'inundabilitat.

EL MÈTODE GEOMORFOLÒGIC INTEGRAT

El Mètode Geomorfològic Integrat d'identificació i cartografia de zones inundables (MGI) és un mètode en què a la base de la zonificació de la perillositat hi ha l'anàlisi geomorfològica. És un mètode concebut per M.A. Marqués i desenvolupat i posat a punt per les dues autores d'aquest treball. La finalitat és establir una classificació d'espais amb diferent grau de perillositat d'inundació o inundabilitat a partir dels indicadors geomorfològics. Aquests són la base de la creació d'una cartografia d'inundabilitat que indiqui la situació de les àrees especialment significatives i dels punts crítics de cada conca que puguin representar un perill d'inundació, i la seva magnitud (MASCAREÑAS, 2012). Sobre una cartografia geomorfològica orientada s'integren tots els tipus de dades que aporten informació sobre la dinàmica, recurrència i magnitud de les inundacions (incloent les dades històriques i les relatives a la hidrologia i hidràulica del sistema disponibles), i especialment dades referents a diferents episodis d'inundacions soferts per la població. És a dir, s'estableix una correlació entre la freqüència i magnitud d'inundació amb les característiques geomorfològiques del sistema fluvial de cada conca. La superposició, anàlisi i interpretació del conjunt integrat de les dades permet generar mapes d'inundabilitat amb la

màxima fiabilitat possible, sempre en funció de les dades disponibles de partida. És un mètode que presenta analogies amb el Mètode Hidrogeomorfològic adoptat en el Plans de Prevenció de Riscos d'Inundacions Previsibles a França (MATE, 1999; BALLAIS et al., 2005; CHAVE i BALLAIS, 2006; BALLAIS et al., 2011) i amb la metodologia del Sistema Nacional de Cartografia de Zones Inundables (MAGRAMA, 2011).

Es parteix del mètode geomorfològic o mètode geomorfològic s.s., que és el que es basa en els elements fonamentals de la geomorfologia fluvial (formes i processos) relacionats amb la inundabilitat i també els elements antròpics que poden interferir en la dinàmica, que es plasmen en un mapa geomorfològic, amb una llegenda adaptada als objectius i característiques de la zona. Com que l'objectiu és diferenciar zones amb diferent perill d'inundació, aquesta aproximació s'enriqueix amb una sèrie de dades que permetin acotar el perill, especialment la freqüència, que és un dels paràmetres fonamentals en la majoria de normatives i directrius (MASCAREÑAS, 2012).

Concretament, el MGI es desenvolupa de la manera següent (MASCAREÑAS, 2012):

1er bloc: obtenció la *Cartografia geomorfològica integrada*. Ha d'incloure la totalitat de les informacions geomorfològiques i d'inundacions anteriors, basades en les formes reals, els processos i l'extensió d'aigua:

- Recerca i anàlisi de documentació i bibliogràfica en centres oficials, eclesiàstics o privats.
- Cartografia geomorfològica que es basa en: fotointerpretació fotografies aèries, en especial les anteriors i posteriors a determinats episodis d'inundació (sempre que existeixin); treball de cartografia i observacions de camp i especialment d'indicadors d'inundació i del que s'anomena testimonis "silenciosos" que poden permetre localitzar canals de circulació preferent; i traspàs d'aquesta cartografia sobre entorn SIG. Aquesta cartografia geomorfològica ha d'estudiar i representar bàsicament els següents aspectes:
 - sistema fluvial
 - dinàmica del riu i del seu curs
 - elements antròpics que puguin interferir
 - vessants laterals i potencials inestabilitats.

Obtenció i anàlisi de dades històriques de les inundacions, obres i usos del sòl, amb docu-



Figura 1 – Llegenda del mapa geomorfològic integrat (de MASCAREÑAS, 2012).

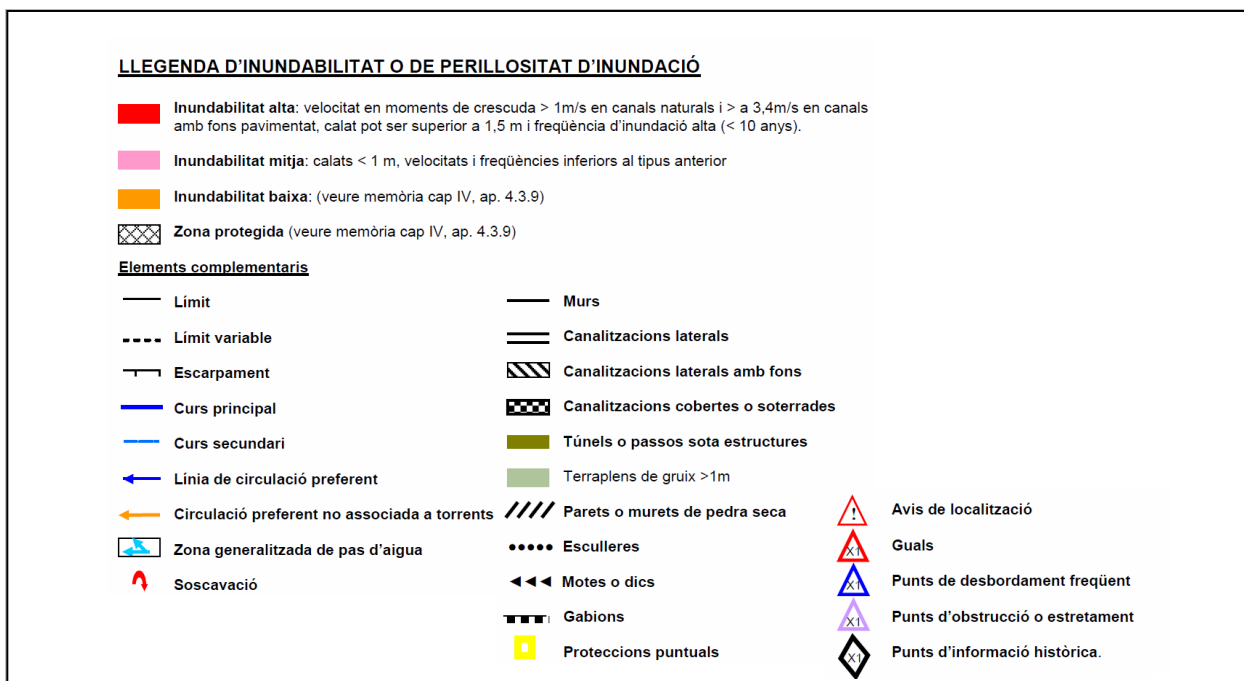


Figura 2 – Llegenda del mapa d'inundabilitat (de MASCAREÑAS, 2012)

- ments escrits, fotografies i entrevistes amb testimonis.
 - Identificació, descripció, classificació i cartografia del punts crítics i d'informació històrica.
 - Obtenció i anàlisi de dades de pluviometria.
 - Càlcul de cabals.
 - Modelització numèrica (sempre que sigui en base a dades suficientment fiables)
 - Anàlisi i integració de totes les dades i obtenció de la Cartografia Geomorfològica Integrada.
- 2n bloc: obtenció la *Cartografia dels tipus d'inundabilitat i dels punts crítics:*

- Anàlisi, avaluació i caracterització de la inundabilitat actual i futura. La perillositat es pot avaluar en funció de les velocitats, calats o freqüències. Pel que fa les freqüències, es pot partir de dades geomorfològiques, històriques i, si se'n tenen, de les dades de sèries de cabals o de precipitacions.
- Establiment de la tipologia de la inundabilitat, primerament de tipus qualitatiu i només en una elaboració posterior és possible, en alguns casos (ex.: en conques aforades amb sèries llargues de dades), establir una tipologia quantitativa (per exemple períodes de retorn 10, 50, 100 anys).

3r bloc: Elaboració de conclusions i recomanacions.

Ara bé, els tipus d'inundabilitat, que poden ser qualitatius o quantitius, depenen, a l'igual que la seva validesa, de les dades de partida i de la seva anàlisi.

Aquest mètode s'aplica en casos senzills, en valls fluvials amb terrasses, però també en casos més complexos. S'ha provat com a especialment útil en zones amb poques dades meteorològiques i d'aforaments en països en desenvolupament, com a La Trinidad, Nicaragua (FURDADA et al., 2008), Jucuaran, El Salvador (FERNÁNDEZ et al., 2007) i República Dominicana (RODRÍGUEZ, 2008; JIMENEZ, 2011) i Marroc (TAOUS et al. 2010), però també al nostre país, al nord del cap de Creus, en conques no aforades i amb escasses dades pluviomètriques (tot i que com que el mètode presenta limitacions ha calgut desenvolupar el mètode complementari d'anàlisi Multiconca-Multifunció) (MASCAREÑAS, 2012). Com a exemple s'inclouen les llegendes del mapa geomorfològic integrat i del mapa d'inundabilitat del treball de MASCAREÑAS (2012) (Figs. 1 i 2).

LA UTILITAT DE LA GEOMORFOLOGIA

L'aproximació geomorfològica permet fer un treball general de diagnòstic (orientat) (RODRÍGUEZ, 2008) i a partir d'aquest fer un bon treball de detall gràcies a la comprensió del context (RODRÍGUEZ, 2008; JIMÉNEZ, 2011).

La geomorfologia és especialment útil per a identificar processos i caracteritzar dinàmiques. Aquests processos i dinàmiques poden ser complexos. MAZZORANA et al. (2013) afirmen, respecte als rius de muntanya, que els models numèrics morfodinàmics i hidrodinàmics convencionals no són necessàriament acurats de cara a realitzar prediccions, ja que la dinàmica interna dels sistemes no hi és suficientment representada. El mateix es pot afirmar respecte a la modelització d'altres sistemes complexos.

Un exemple d'aquesta complexitat és el del tram baix de la riera de Barenys en arribar al barri de La Salut (Salou) i desembocar a mar. Tot i tractar-se d'una zona fortament antropitzada, al barri de

La Salut es reconeix perfectament la morfologia característica de la costa Daurada, descrita per MARQUÉS i JULIÀ (1986): els rius i rieres desemboquen a mar tot formant cons de dejecció amb pendent molt suaus; entre aquests cons o entre els cons i afloraments rocosos costaners, per acció de l'aport de sediment fluvial, de l'onatge i de la deriva litoral, es formen cordons litorals que limiten una zona d'aiguamolls litorals (fig. 3).

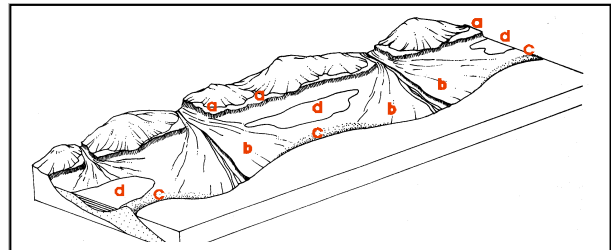


Figura 3 – Esquema geomorfològic amb els elements característics del litoral: a: paleoacantilat; b: cons o ventalls al·luvials; c: cordons litorals; d: aiguamolls / llacunes litorals (de MARQUÉS i JULIÀ, 1986).

En aquest context, l'entrada d'aigua als aiguamolls és de diverses procedències:

- pluja directa
- desbordament de la riera
- escolament superficial (relleus del voltant)
- aigua de mar per sobre la platja en moments de tempesta
- aigua de mar per sota la platja a través de la sorra
- ascens del nivell freàtic

Al barri de La Salut s'hi reconeixen aquestes formes (figs. 4 i 5), que reflecteixen una dinàmica complexa, i per tant s'hi produeixen pràcticament totes aquestes entrades d'aigua en episodis de crescuda i desbordament de la riera quan coincideixen amb temporals de mar.

Les obres de canalització de la riera – infradimensionades – i de les aigües que desborden freqüentment de la canalització no han tingut en compte ni el funcionament de tipus “rierada llampec” (amb importants increments de cabal sobtat) ni la dinàmica d'entrades d'aigua, bloquejos i estancaments pròpia d'un aiguamoll.

Aquests dinàmica natural és molt freqüent (inferior a una recurrència desenal). Per tant, afecta molt sovint el barri, produint-hi inundacions.

Un altre aspecte, més complex i que no tractarem en aquest treball és el de les inundacions extraordinàries relacionades amb la riera de Barenys.

Aquest coneixement geomorfològic cada vegada s'està fent més imprescindible, tal i com demostra el sorgiment de noves metodologies d'integració de dades geomorfològiques i modelitzacions numèriques (MAZZORANA et al., 2013). Aquests

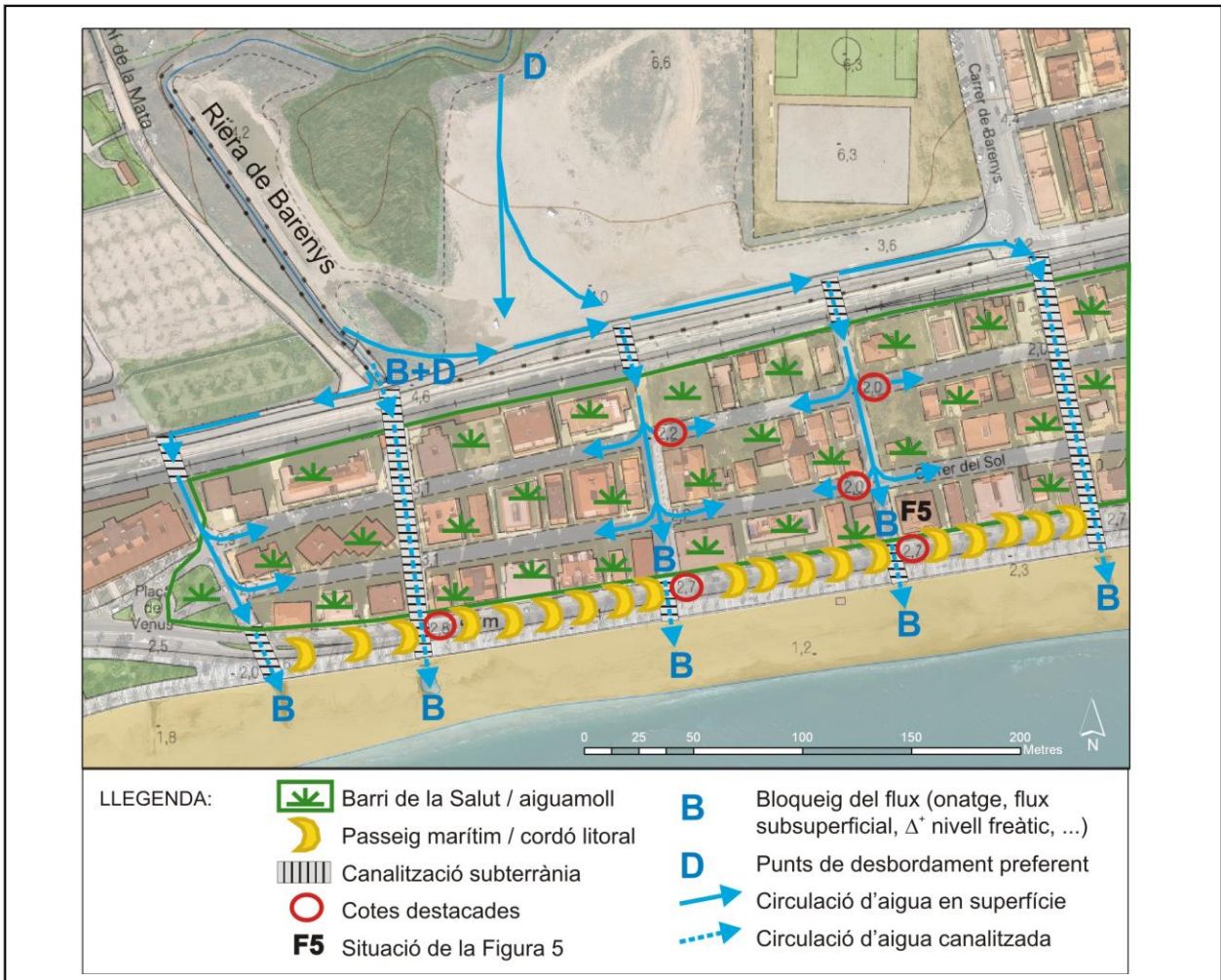


Figura 4 – Cartografia d'un sector del barri de la Salut de Salou. S'indiquen esquemàticament alguns dels elements morfològics i de la circulació d'aigua en episodis d'inundació més significatius; també s'indica la localització de la fotografia de la fig. 5.



Figura 5 – Fotografia dos dies després de l'aiguat del 24 d'octubre del 2011 al barri de la Salut. S'observa que el barri (aiguamoll) queda deprimat respecte del passeig marítim (cordó litoral) i que el pas subterrani d'evacuació de l'aigua pot quedar molt fàcilment bloquejat per l'onatge i les aigües subsuperficials (Foto: Glòria Furdada).

autors, després d'utilitzar una nova metodologia d'integració de dades en conques de muntanya als Alps, afirmen que "Si l'àrea d'estudi està caracteritzada per cons pendents o si els paràmetres per dur a terme una modelització fiable no són accessibles, els models geomorfològics i empírics simples són preferibles".

LIMITACIONS DEL MGI I DELS MAPES DE PERILLOSITAT D'INUNDACIONS

Una de les limitacions del mètode, que és comuna a tots els altres mètodes de cartografia de zones inundables, és la durabilitat dels mapes. Aquesta durabilitat està intrínsecament relacionada amb canvis en la morfologia produïts pels processos i la dinàmica fluvial, tant a partir de canvis abruptes produïts per un event catastròfic (inundacions extraordinàries), com canvis progressius (per exemple en l'erosió o la sedimentació) que deriven en un canvi abrupte (per exemple l'avulsió d'un meandre), com canvis progressius que tenen resultats lents però progressius (SCHUMM, 1988;

FURDADA et. al, 2008). Per exemple, els events d'inundació extraordinaris poden generar avulsions i canvis de canals que modifiquen completament els mapes de perillositat d'inundació; els canvis d'usos de sòl poden transformar el cicle de l'aigua superficial (infiltració, evapotranspiració, escolament i flux subterrani) (FOLEY et al., 2005) i afectar el balanç hidrològic i produir canvis en els canals (STRAHLER, 1956; WOLMAN, 1967; SCHUMM, 1969; GREGORY, 2006) per causa de canvis en els cabals, les seves freqüències i magnituds, i els seus conseqüents efectes geomorfològics, de la mateixa manera que els pot causar la variabilitat climàtica.

Això implica que els mapes de perillositat d'inundació, sigui quin sigui el mètode amb què s'han elaborat, han de ser periòdicament revisats i adaptats, tal i com recull la DIRECTIVA 2007/60/CE relativa a l'avaluació i gestió dels riscos d'inundació (EU 2007), per integrar tant aquests canvis com els que es produeixen en l'ús del sòl i en els elements vulnerables exposats.

Per altra banda, tot i que considerem que la geomorfologia i el MGI són molt útils per abordar estudis d'inundabilitat, hi ha casos en què resulten completament ineficaços. Aquest són els de conques o zones amb una antropització extrema, en les que no es reconeix cap dels indicadors geomorfològics originals. Un exemple és el del riu Congost. En el seu tram baix, les terrasses, plana al·luvial i llera del riu han estat completament modificades amb terraplens i terrabuits i construccions de dics al llarg de tot el traçat del riu. La modificació ha estat tan absoluta que, en comparar les formes fluvials que es poden identificar en les fotografies aèries de l'any 1956 amb la cartografia de Zones Inundables de l'ACA (ACA, [en línia]), no s'hi observa cap correspondència. En aquest cas, la inundabilitat està absolutament condicionada per les diferents infraestructures que generen un bloqueig de l'aigua durant les crescudes (Fig. 6) (SALERNO, 2013).

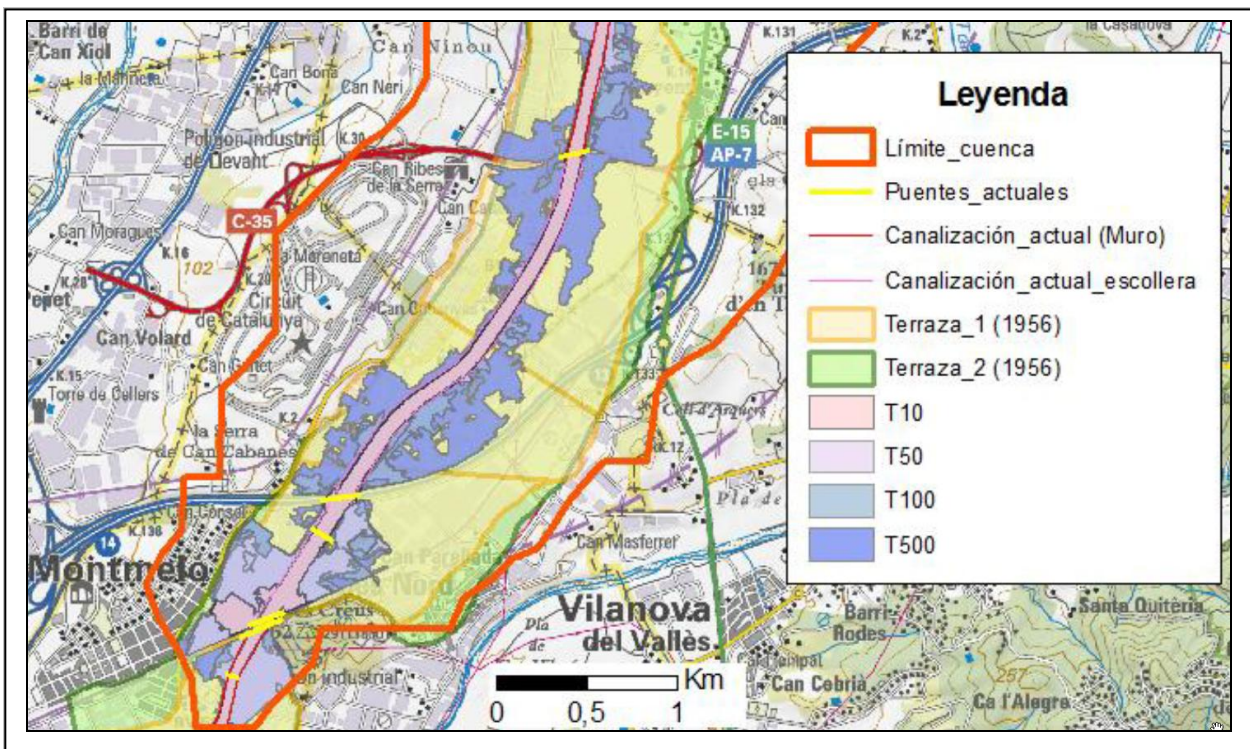


Figura 6 – Indicadors geomorfològics (terrasses) i Zones inundables (ACA: T10, T50, T100, T500) (ACA [en línia] al riu Congost, sector de Montmeló (de SALERNO, 2013). La inundabilitat està absolutament condicionada pel bloqueig que produeixen les infraestructures. Noti's que els polígons d'inundabilitat no coincideixen gens amb les terrasses. En aquest cas la geomorfologia no aporta cap informació útil per a determinar la inundabilitat.

CONCLUSIONS

La geomorfologia i el MGI són molt útils per abordar estudis d'inundabilitat.

En primer lloc, el primer producte del MGI és la cartografia geomorfològica integrada, que compila totes les dades reals obtingudes. El gran valor d'aquest mapa és que és tant objectiu com és

possible i no és subjecte a canvi a partir de diferents interpretacions. Per tant, és un mapa que sempre pot ser utilitzat com a base per a: 1) incloure-hi noves dades reals que el vagin completant, 2) realitzar noves interpretacions i 3) calibrar nous càlculs fets amb tècniques i mètodes cada vegada més sofisticats.

La cartografia geomorfològica integrada permet derivar directament mapes de perillositat d'inundació, en primera instància qualitativa i, en cas que es disposi de suficients dades, quantitativa.

En conjunt, la geomorfologia és una eina útil per a: 1) donar un marc de referència en el que es produiran les inundacions i estimar-ne la seva freqüència / magnitud qualitatives; 2) servir de base per a la compilació de dades d'inundacions històriques i/o recents; 3) identificar processos, especialment d'erosió / socavació, paral·lels als desbordaments; 4) identificar dinàmiques complexes que poden interactuar entre elles; 5) identificar processos habitualment no contemplats en les modelitzacions; 6) ajudar a la definició dels problemes i les condicions de contorn que els models, cada vegada més complexos i complets, han d'anar abordant.

AGRAÏMENTS

Estem molt agraïdes a Pere Mascareñas i a Mario Salerno que, havent dut a terme treballs de recerca acadèmics sota la nostra direcció, ens han donat permís per a reproduir-ne figures per a il·lustrar aquest treball.

REFERÈNCIES

Agència Catalana de l'Aigua (ACA) [en línia]. Consulta de dades de l'aigua i el medi. Espais Fluvials. [Consulta: 19 setembre 2013]. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. ACA. Pla d'espais fluvials, Zones Inundables. Disponible a: <<http://aca-web.gencat.cat/recursos/sig/public/VisorPEF.html>>

BALLAIS, J., CHAVE, S., DUPONT, N., MASSON, E., and PENVEN, M., 2011, La méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables, 168 pp.

BALLAIS, J., GARRY, G., AND MASSON, M., 2005. Contribution de l'hydrogeomorphologie a l'évaluation du risque d'inondation : le cas du Midi méditerranéen français. *Comptes Rendus Geosciences*, 337, 13: 1120-1130.

CHAVE, S., BALLAIS, J., 2006. From hydrogeomorphology to hydraulics computations: a multidisciplinary approach of the flood hazard diagnosis in the Mediterranean zone. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 50, 4:523-540.

EU, 2007. DIRECTIVA 2007/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. DOUE 6.11.2007, L 288/27 – L 288/34.

FERNANDEZ-LAVADO, C., FURDADA, G., MARQUÉS, M. A., 2007. Geomorphological method in the

elaboration of hazard maps for flash-floods in the municipality of Jucuarán (El Salvador). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7: 455–465.

FOLEY, J.A.; DEFRIES, R.; ASNER, G.P.; et al., 2005, Global consequences of land use, *Science*, 309, 5734, 570-574.

FURDADA, G., CALDERÓN, L. E., MARQUÉS, M. A. 2008. Flood hazard map of La Trinidad (NW Nicaragua). Method and results. *Natural Hazards*, 45, 2:183–195.

GREGORY, K.J., 2006, The human role in changing river channels. *Geomorphology*, 79, 3-4: 172-191.

JIMENEZ, M. 2011. Inundabilidad en el SW de la República Dominicana: aplicación de la cartografía para el aumento de la resiliencia de las comunidades afectadas. Treball de fi de Carrera. Llicenciatura de Geologia. Dpt. de Geodinàmica i Geofísica, Universitat de Barcelona, 87 pp. i 21 mapes (inèdita).

MAGRAMA (MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACION Y MEDIO AMBIENTE). 2011. *Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*. Madrid. 349 pp.

MARQUÉS, M.A. i JULIÀ, R. 1986. Littoral Processes and Defence Structures on the Costa Daurada; *Thalassas*, 4,1: 143-150

MASCAREÑAS, P. 2012. Característiques i inundabilitat per rierades sobtades (flash flood) als torrents costaners del nord del cap de Creus (Catalunya). Tesi doctoral, Universitat de Barcelona. Departament de Geodinàmica i Geofísica. Barcelona, Universitat de Barcelona, 2 vols (350, 138 p.), <http://hdl.handle.net/2445/34930>.

MATE (MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT), 1999. Risques d'inondation, Plans de Prévention des risques naturels (PPR). La Documentation Française, Paris, 122 pp.

MAZZORANA, B., COMITI, F., FICHS, S. 2013. A structures approach to enhance flood hazard assessment in mountain streams. *Nat. Hazards* 67: 991-1009

RODRÍGUEZ, X. 2008. Aplicación de la cartografía de inundabilidad a la reducción de la vulnerabilidad en la República Dominicana. Tesina; Ensenyament d'Enginyeria Geològica, UB-UPC, Facultat de Geologia, Dpt. Geodinàmica i Geofísica. 130 pp (inèdita).

SALERNO, M. 2013. El río Congost. Condicionantes de su inundabilidad. Trabajo de Investigación, Máster de R. M. y Riesgos Geológicos. UB – UAB. Universitat de Barcelona <<http://hdl.handle.net/2445/47649>>

SCHUMM, S.A., 1969. River metamorphosis. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, *Journal of the Hydraulics Division* 95, 255–273.

STRAHLER, A.N., 1956. *The nature of induced erosion and aggradation*. In: Thomas, W.L. (Ed.), *Man's Role in Changing the Face of the Earth*. University of Chicago Press, Chicago, pp. 621–638.

TAOUS, A.; OBDA, K.; AMYAY, M.; et al. 2010. Cartographie et zonage de l'aléa d'inondation a Taza (Maroc). Application de la "Méthode Géomorphologique Intégrée". *Geomaghreb*, 6, 1-19.

WOLMAN, M.G., 1967. A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. *Geografiska Annaler* 49A, 385–395.

ELS CORRENTS D'ARROSSEGALLS A CATALUNYA: CONEIXEMENT I PERILLOSITAT

Marcel Hürlimann ⁽¹⁾; José Moya ⁽²⁾ i Clàudia Abancó ⁽³⁾

(1) Dpt. d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica. Universitat Politècnica de Catalunya – BarcelonaTech. Jordi Girona, 1-3, Campus Nord UPC, Edifici D-2. E-mail: marcel.hurlimann@upc.edu

(2) Idem. E-mail: jose.moya@upc.edu

(3) Idem. E-mail: claudia.abanco@upc.edu

PARAULES CLAU: corrents d'arrossegalls, incidència, perillositat, magnitud - freqüència, monitoratge, sistemes de alerta.

INTRODUCCIÓ

Les conques torrencials són conegudes per la violència de les seves crescudes, caracteritzades per un creixement molt ràpid del cabal, l'elevada capacitat de erosió i transport de sediments, i el seu gran potencial de destrucció. El pendent és el factor principal que controla la dinàmica dels torrents. Quan el pendent és molt elevat, com a les conques de primer i segon ordre de les àrees de muntanya, s'afavoreix el guany ràpid de càrrega sòlida al corrent, el que pot derivar en canvis importants en el comportament dels corrents d'aigua. Quan la concentració de partícules sòlides supera el 20-30% les avingudes torrencials (corrents d'aigua) es transformen en fluxos de sediments, on el material ja no es transporta com a càrrega de fons. D'altra banda, el gran pendent afavoreix la formació d'esllavissades, que poden liquefactar transformant-se també en fluxos de sediments.

A la bibliografia especialitzada es diferencien dos tipus de fluxos de sediments saturats en aigua (els corrents d'arrossegalls i els fluxos hiperconcentrats). A la present ponència farem menció en gran mesura als corrents d'arrossegalls.

Els corrents d'arrossegalls són moviments ràpids a molt ràpids, que superen sovint una velocitat de varis de metres per segon. Una característica pròpia d'aquests corrents és la presència d'un front ben desenvolupat i el seu gran cabal màxim, que es habitualment desenes de vegades major al assolit pels corrents d'aigua observats a la mateixa conca.

Els objectius de la present ponència són: 1) mostrar la incidència dels corrents d'arrossegalls a la nostra geografia; 2) presentar diversos mètodes disponibles per el càlcul de la perillositat d'aquest fenomen a dos escales espacials; i 3) donar a conèixer tècniques de monitoratge de conques torrencials i que permeten la implementació de sistemes d'alerta i sistemes d'alarma.

INCIDÈNCIA DELS CORRENTS D'ARROSSEGALLS A CATALUNYA

Al nostre país els corrents d'arrossegalls són pràcticament desconeguts per la població. Aquest fet es degut en part a que molt sovint aquests corrents tenen lloc en zones poc habitades, però també per que històricament els seus efectes han estat confosos amb els de les inundacions fluvials. Això últim és el que passa normalment amb els corrents d'arrossegalls que arriben a cons de dejecció situats a fons de valls principals i que, per tant, ja poden ésser percebuts per la població.

Les pluges del 6 i 7 de novembre de 1982 van posar de manifest clarament que els moviments de vessant són un fenomen molt més freqüent a les serralades catalanes del que el pensava fins llavors. L'activitat torrencial va esdevenir especialment intensa. A nombroses conques de muntanya del Pirineu es van produir avingudes torrencials de gran violència (p.e. al torrent d'Aixovall), però també es van produir varies desenes de corrents d'arrossegalls.

A arrel del temporal de novembre de 1982 es va realitzar el primer inventari sistemàtic de moviments de vessant (Clotet i Gallart, 1984), inclosos els corrents d'arrossegalls. El de major impacte va ser l'esdevingut al con de la Guingueta, que va afectar a la població del mateix nom, afortunadament sense causar morts (Figura 1). El inventari de corrents d'arrossegalls s'ha anat actualitzant de forma puntual des de aleshores (Baeza, 1994). Ha estat però amb l'endegament del projecte de inventari de fenòmens geomorfològics del IGC, de la base de dades Lliscat (<http://www.lliscat.upc.es>) i, especialment, dels projectes de recerca Debriscatch, Debristart, i Imprints (<http://www2.etcg.upc.es/prj/debriscatch>; <http://www.imprints-fp7.eu>) quan s'ha enregistrat una millora substancial del coneixement d'aquest fenomen a la nostra geografia.

Els treballs resultants d'aquests projectes han ampliat l'inventari de corrents d'arrossegalls fins als 575 casos, detectats a quatre zones del Pirineu central i oriental, que s'estenen en un àrea total d'uns 4000 km² (Portilla, 2010; Chevalier et al., 2013). Alguns dels casos més recents són el

del Riu Runer (agost del 2008, volum d'uns 14000 m³), Portainé (setembre del 2008 amb un volum de 26000 m³, i juliol de 2010 amb un volum de 25000 m³) (Figura 1). Els cas més catastròfic correspon però al de Biescas (Pirineu d'Osca), en el que un flux hiperconcentrat va inundar un càmping instal·lat al con de dejecció ocasionant 87 morts.



Figura 1 – A dalt: corrent d'arrossegalls de novembre de 1982 afectant al con de La Guingueta. A baix: corrent d'arrossegall del Riu Runer, que va inundar la duana andorrana a l'agost de 2008.

PERILLOSITAT DELS CORRENTS D'ARROSSEGALLS: EXEMPLES D'OBTENCIÓ DE CORBES DE MAGNITUD - FREQUÈNCIA

La perillositat associada als moviments de vessant es expressada, al igual que en altres processos naturals, en termes de probabilitat de danys potencials en un àrea i en un període de temps determinats. La capacitat de causar danys (o intensitat) s'identifica amb el cabal màxim o, en el seu defecte, per la magnitud del fenomen, que correspon al volum total de la massa mobilitzada

pel corrent. La perillositat es pot obtenir a partir de la corba de cabal màxim (o volum) – freqüència dels corrents, al igual que es fa per les crescudes fluvials.

A continuació es mostren dos exemples de determinació de la relació magnitud – freqüència de corrents d'arrossegalls. El primer exemple correspon a un cas en el que aquesta relació s'ha obtingut a escala regional. El segon es tracta d'un estudi a escala local (de conca torrencial de segon ordre). En el primer cas el coneixement previ de la ocurrència del fenomen a l'àrea d'estudi era molt limitada i el segon era inexistent.

Magnitud – freqüència dels corrents d'arrossegalls al Parc Nacional d'Aigües Tortes i Sant Maurici (Hürlimann et al., 2012)

Un àrea de 384 km² va ser estudiada per a la identificació geomorfològica de corrents d'arrossegalls mitjançant l'anàlisi de fotografies aèries de vols diferents (1956-57, 1975, 1982, 2004, 2005, 2008 i 2009; les imatges digitals dels quatre últims vols tenen un píxel de 50 * 50 cm). Es van identificar un total de 194 corrents d'arrossegalls, distribuïts en 116 conques (Figura 2), que correspon a una densitat espacial del fenomen de 0.5 casos/km².

De cada corrent d'arrossegalls detectat es va mesurar l'àrea del seu dipòsit sobre els ortofotomapes digitals (a escala 1:5000) emprant ARCGIS. El volum corresponent es va calcular mitjançant la relació empírica entre el volum del dipòsit i la seva àrea obtinguda per Scheidl i Rickenmann (2009). El corrents d'arrossegalls de la zona mostren àrees compreses entre uns 200 m² i els 35000 m², que corresponen a un rang de volums entre els 30 i els 80000 m³.

Per calcular la relació volum – freqüència es necessari definir el interval temporal corresponent als corrents identificats a les fotografies, particularment als casos presents a les fotografies més antigues (1956 i 1957).

Es va formular la hipòtesi que la gran majoria dels dipòsits de corrents d'arrossegalls visibles a les fotografies d'aquell vol es van generar a rel del temporals de pluges de 1937, que van causar les inundacions més catastròfiques del s XX al Pirineu central. Per tant, es va calcular la freqüència dels corrents d'arrossegalls corresponent al període comprès entre els anys 1937 i 2009 (73 anys). La corba obtinguda de volum – freqüència acumulada es mostra al la Figura 2.

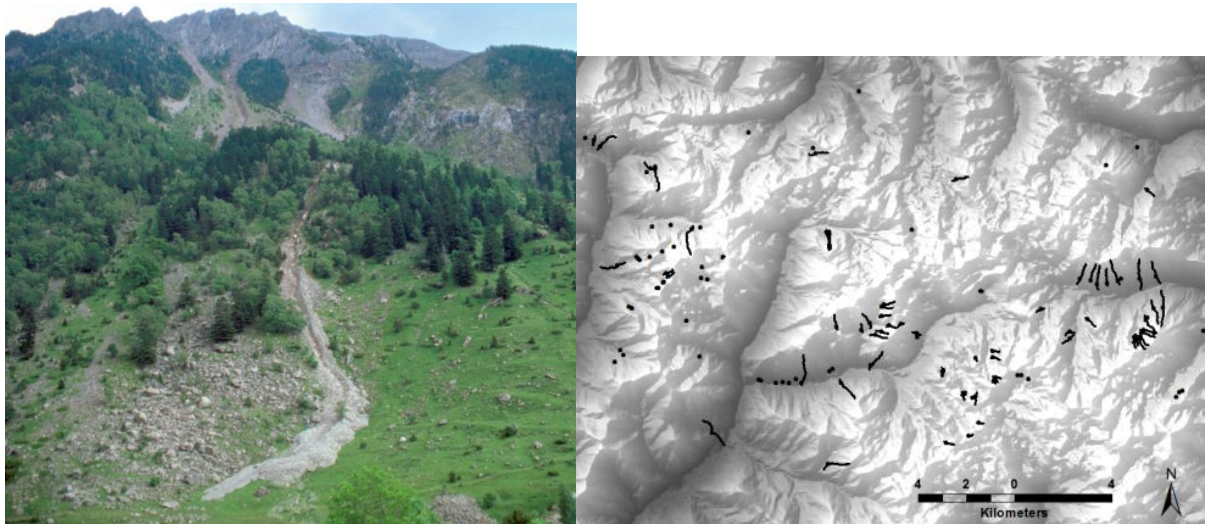


Figura 2 – Esquerre: corrent d'arrossegalls identificat en un reconeixement de camp al Parc Nacional (Foto P. Oller, IGC, 2003). Dreta: localització de les conques al Parc amb corrents d'arrossegalls (punts negres) i traces dels corrents més importants (línies negres) (Hürlimann et al., 2012).

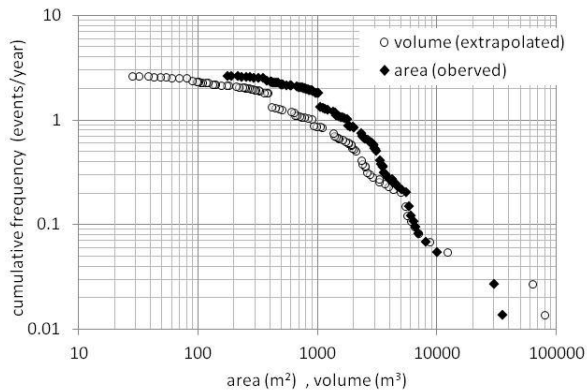


Figura 3 – Corbes de magnitud – freqüència de corrents d'arrossegalls al Parc Nacional d'Aigües Tortes i Sant Maurici (Hürlimann et al., 2012).

Magnitud – freqüència dels corrents d'arrossegalls al Barranc del Tordò (Serra de Port del Comte)

Quan es necessari dur a terme un estudi de la perillositat de una conca determinada, a la qual els corrents d'arrossegalls son recurrents, cal realitzar un treball més detallat tot diferenciant els dipòsits corresponents a cada esdeveniment. Cal esmentar que això últim no es sempre senzill per que els esdeveniments més recents poden erosionar o colgar parcialment dipòsits dels més antics, com sovint passa als cons de dejecció, ho que dificultant la identificació de la seva extensió original.

Al Barranc del Tordò es van identificar diverses generacions de dipòsits de corrents d'arrossegalls. Per determinar els dipòsits acumulats per cada esdeveniment, quan afloren per separat, aquests

han de ser correlacionats. Els dipòsits de corrents d'arrossegalls van ser cartografiats a camp a una escala 1:1000, datats relativament, i agrupats en unitats deposicionals en funció de la seva edat relativa.

La datació relativa va ser duta a terme mitjançant: a) criteris morfo-estratigràfics (solapament, intersecció i escalonament geomorfològic); b) criteris de preservació i degradació (graü de meteorització i cobertura de líquens dels blocs, i mida dels arbres que colonitzen els dipòsits), i c) l'anàlisi de dos fotografies aèries de dos vols (anys 1982 i 1993) ampliadés a escala 1:2000. L'extensió original de cada unitat deposicional va ser reconstruïda enllaçant les seves vores exteriors, i el seu volum de va ser calculat estimant la profunditat del cada unitat en diverses creu-seccions transversals.

Un total de vuit unitats deposicionals van ser identificades. Cadascuna es va interpretar com a corresponent a un corrent d'arrossegalls. Posteriorment, les unitats van ser datades dendrocronològicament (Figura 4).

El volum dels corrents d'arrossegalls identificats varia entre els 600 i els 19000 m³ i cobreix un període de 47 anys (de 1957-58 a 1993). La corba de volum freqüència acumulada obtinguda es mostra a la Figura 5. El període de retorn calculat pels corrents d'arrossegalls majors a 2000 m³ és de 10 anys i de 18 anys per aquells que superen els 5000 m³.

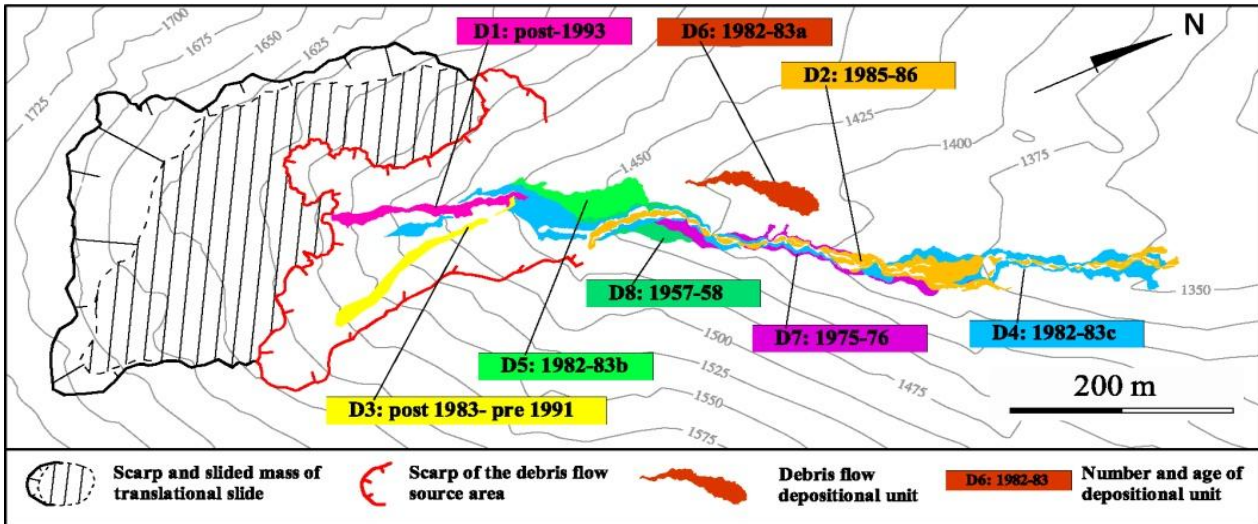


Figura 4 – Mapa de les unitats deposicionals diferenciades al Barranc del Tordò amb la seva edat datada dendrocronològicament (Corominas i Moya, 2010).

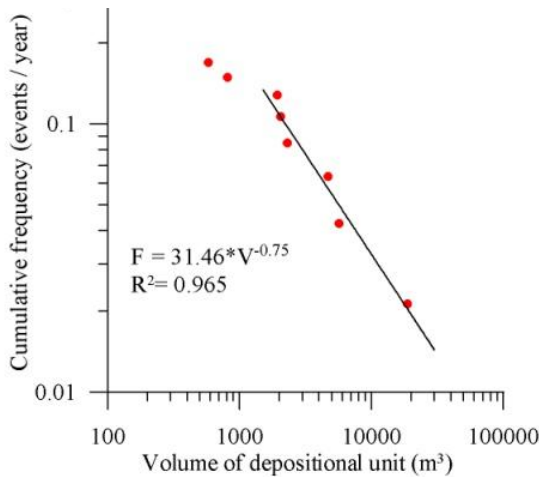


Figura 5 – Corba de volum- freqüència de corrents d'arrossegalls al Barranc del Tordò (Corominas i Moya, 2010).

Val a dir que la freqüència i el volum obtinguts pels corrents d'arrossegalls a la zona d'estudi han de ser considerats com a mínims, particularment pels esdeveniments menors. Alguns dipòsits de esdeveniments petits poden haver quedat acumulats al canal abans de ser erosionats completament per corrents més recents.

MONITORATGE: DE L'APRENTATGE ALS SISTEMES DE ALERTA. MONITORATGE AL BARRANC DEL REBAIXADER

El monitoratge dels fenòmens geològics perillosos es un aspecte indispensable per a la seva comprensió. La obtenció de dades sobre les condicions de formació i sobre el moviment dels corrents d'arrossegalls es essencial per a la

formulació i cal·libració de models físics més acurats. Mitjançant la modelització dels diferents processos implicats en un corrent d'arrossegalls es poden fer prediccions més realistes del seu l'abast, també necessàries per al càlcul de la perillositat. D'altre banda, el monitoratge permet l'obtenció de sèries d'esdeveniments torrencials més complertes. Finalment, el sistema de monitoratge son el punt de partida per a la implementació de sistemes de alerta (avis amb hores d'antelació) i de alarma (avis amb minuts o segons d'antelació).

Arreu del mon hi han diverses estacions de monitoratge de corrents d'arrossegalls tot i que el nombre de publicacions als respecte es encara molt limitat. Als Pirineus s'han instal·lat fa pocs anys dos sistemes de monitoratge, a la conca d'Erill la Vall i al Barranc del Rebaixader (Senet, Alta Ribagorça). Ací es presenten el sistema corresponen al segon lloc, instal·lat a l'any 2009, i alguns dels resultats obtinguts fins al moment.

Els sensors instal·lats al Barranc del Rebaixader s'agrupen en tres conjunts (Figura 6):

- 1) Dues estacions meteorològiques, una situada a la zona de canal i altre a la de capçalera, amb registre cada 5 minuts de pluviometria, temperatura i humitat relativa i gruix del mantell nival, emprades per a l'anàlisi de les condicions pluviomètriques de formació dels corrents d'arrossegalls.
- 2) Dues estacions de flux situades al canal, que té els objectius de detectar i enregistrar el pas de corrents d'arrossegalls i identificar la seva tipologia. El conjunt està constituït per: a)

dues xarxes de geòfons, amb un total de vuit sensors distribuïts al llarg del canal principal, i que registren les vibracions induïdes pels corrents (una xarxa ho fa cada segon un cop es supera un llindar de vibració, i l'altre amb enregistra contínuament amb una freqüència de 250 Hz), b) un sensor d'ultrasons per mesurar el calat del corrent, i c) una videocàmera, que permet identificar el tipus de fenomen que activa la xarxa de geòfons de monitoratge discontinu a la modalitat d'alta freqüència, i fa també possible la identificació de falses alarmes.

- 3) Dues estacions de sensors de contingut en aigua i succió al sol, situades a la zona de capçalera, que registren cada 5 minuts, i que tenen l'objectiu caracteritzar les condicions hidrològiques de formació dels corrents d'arrossegalls a l'àrea font principal.

Una descripció complerta del sistema, inclosos la dels equips de registre i la transmissió de les dades es pot trobar a Hürlimann et al. (2011, 2014 en premsa). Per complementar les dades enregistrades s'han realitzat més de 30 campanyes de de reconeixement.

Des de l'agost de 2009 fins a l'actualitat s'han identificat 17 fluxos torrencials (sis corrents d'arrossegalls i 11 fluxos hiperconcentrats), donant una mitjana de més de quatre casos per any (més d'un corrent d'arrossegalls per any, molt superior al que es preveia inicialment.

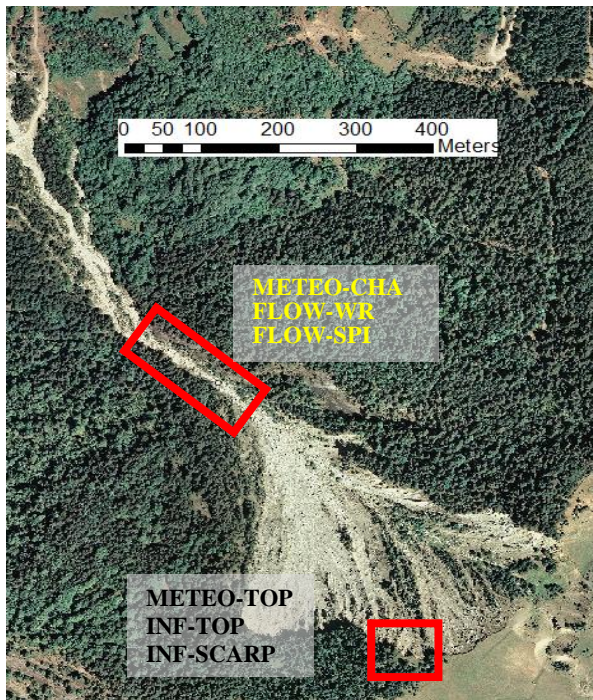


Figura 6 – Localització del sensors del sistema de monitoratge del Barranc del Rebaixader.

Inesperadament s'han enregistrat també quatre desprendiments de blocs de grans dimensions (procedents del dipòsit glacial situat a la capçalera).

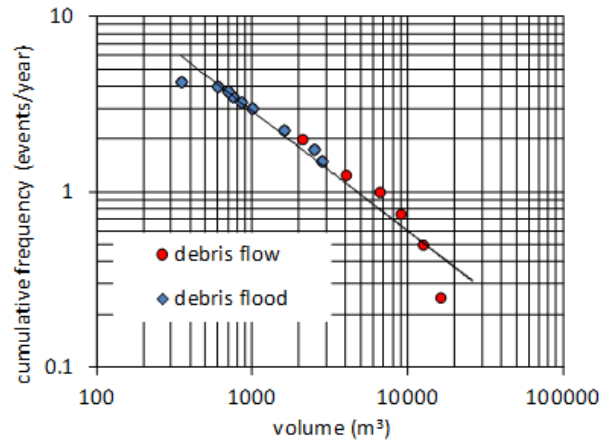


Figura 7 – Corbes de volum – freqüència acumulada de fluxos torrencials al Barranc del Rebaixader (Hürlimann et al., 2014 en premsa).

Els volum dels corrents d'arrossegalls ha estat comprés entre els 2000 i els 27000 m³ (Figura 7). El període de retorn calculat pels corrents d'arrossegalls majors a 2000 m³ és de 2 anys i de 1 anys per aquells que superen els 5000 m³. Cal destacar que els fluxos només han desbordat el canal puntualment. Aquest fet indica clarament que sense el monitoratge del barranc, la gran majoria d'esdeveniments haurien passat desapercebuts en reconeixements geomorfològics semestral o anuals. Donat que el canal està lliure d'arbres, aquest fet també mostra que la gran majoria dels corrents no poden ser identificats en un estudi dendrogeomorfològic, com el dut a terme al Barranc del Tordò. La freqüència dels corrents d'arrossegalls al Barranc del Rebaixader es entre 10 i 20 vegades més gran que la calculada pel Barranc del Tordò, en part aquesta diferència es deguda a les limitacions inherents a la dendrogeomorfologia, però probablement reflecteix la gran activitat del Barranc de Rebaixader.

La definició del llindar de pluja necessari per desencadenar corrents d'arrossegalls es un pas important per que, quan es contrasta amb les previsions meteorològiques, aquest llindar por ser emprat com a criteri de alerta primerenca. L'anàlisi de les pluges associades als corrents d'arrossegalls al ha mostrat que la gran majoria de casos (cinc dels sis esdevinguts) van ser desencadenats per pluges curtes i de gran intensitat horària caigudes durant l'estiu. Tot i que el nombre de casos es encara molt petit, es pot

definir de forma preliminar un llinar de pluja d'uns 15 mm en una hora com el necessari per generar corrents d'arrossegalls. Aquest llinar sembla útil per a les condicions hidrològiques estivals, quan no hi han aportacions addicionals d'aigua al sol. Efectivament, un dels corrents d'arrossegalls es va produir a finals de l'hivern arrel d'una pluja de intensitat màxima moderada (9 mm/h, punt anòmal a la Figura 8), que va ser acompanyada per fusió del mantell nival. En aquestes condicions, el llinar de pluja desencadenant probablement dependrà del gruix de neu i, pot ser també de la temperatura ambient.

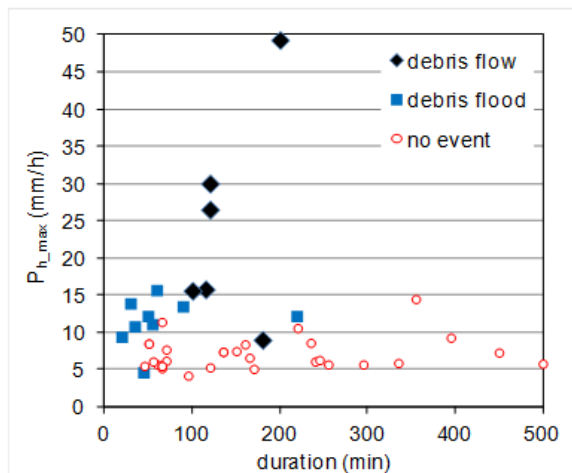


Figura 8 – Comparació de la pluja horària màxima associada a corrent d'arrossegalls i a fluxos hiperconcentrats. Es mostren també altres pluges que no han originat fluxos torrencials (Hürlimann et al., 2014 en premsa).

CONSIDERACIONS FINALS

La incidència dels corrents d'arrossegalls al nostre país es encara poc coneguda, i menys ho es encara la dels fluxos hiperconcentrats, que es poden confondre més fàcilment amb les avingudes torrencials. La recerca duta a terme recentment mostra que aquest dos fenòmens són més abundants del que es pensava anteriorment, tot i que tenen un impacte menor que a altres serralades com per exemple als Alps.

Els corrents d'arrossegalls i els fluxos hiperconcentrats tenen una capacitat destructiva molt important i un comportament netament diferenciat dels corrents fluvials. El càlcul de la seva perillositat necessita de tècniques també diferenciades. Els treballs presentats ací mostren que hi han eines d'anàlisi geomorfològica disponibles per avançar en el coneixement de la perillositat d'aquest fenòmens i per a la zonificació del risc associat a diferents escales espacials i amb diferents graus de precisió. Els estudis de

detall, basats en el monitoratge de conques d'alta perillositat fan possible la implementació de sistemes de alerta i d'alarma, quelcom essencial per a la mitigació del risc a curt termini.

El previsible augment de la freqüència de les pluges torrencials, conseqüència del canvi climàtic, pot conduir al increment de la perillositat en el futur. Les activitats d'oci han augmentat significativament a les zones de muntanya, implicant una major exposició. L'experiència que tenim al nostre territori sobre aquest fenòmens torrencials es però encara molt limitada i un augment del risc requereix també el del nostre coneixement al respecte.

AGRAÏMENTS

Aquest treball ha rebut suport dels projectes estatals DEBRIS-CATCH i DEBRISTART (CGL2008-00299/BTE and CGL2011-23300).

BIBLIOGRAFIA

- BAEZA, C., 1994. Evaluación de las condiciones de rotura y la movilidad de los deslizamientos superficiales mediante el uso de técnicas de análisis multivariante. Tesis Doctoral. Dpt. d'Eng. del Terreny, UPC.
- CHEVALIER, G., MEDINA, V., HÜRLIMANN, M., BATEMAN, A., 2013. Debris-flow susceptibility analysis using fluvio-morphological parameters and data mining: application to the Central-Eastern Pyrenees. *Nat Hazards*, 67:213-238.
- CLOTET, N., GALLART, F., 1984. Inventari de degradacions de vessants originades pels aiguats de novembre de 1982, a les altes conques del Llobregat i Cardener. Serv. Geol. de la Generalitat de Catalunya.
- COROMINAS, J., MOYA, J., 2010. Contribution of dendrochronology to the determination of magnitude-frequency relationships for landslides. *Geomorphology*, 124:137-149.
- HÜRLIMANN, M., ABANCÓ, C., MOYA, J., RAÏMAT, C., LUIS-FONSECA, R., 2011. Debris-flow monitoring stations in the Eastern Pyrenees, Description of instrumentation, first experiences and preliminary results, 5th Int. Conf. on Debris-Flow Hazards Mitigation, Padua, 553-562.
- HÜRLIMANN, M., CHEVALIER, G., MOYA, J., ABANCÓ, C., LLORENS, M., 2012. Elaboration of a magnitude-frequency relationship for debris flows by aerial photographs. Case study from a national park in the Spanish Pyrenees. A: *International Symposium on Landslides*. Banff, Alberta: CRC Press, pp. 717-722.
- HÜRLIMANN, M., ABANCÓ, C., MOYA, J., VILAJOSANA, I., 2014. Results and experiences gathered at the Rebaixader debris-flow monitoring site, Central Pyrenees, Spain. *Landslides* (in press).
- SCHEIDL, C., RICKENMANN, D., 2009. Empirical prediction of debris-flow mobility and deposition on fans. *Earth Surf. Proc. and Land.*, 35: 157-173.
- PORTILLA, M., 2010. Anàlisi del campo de densidad de movimientos en masa del área Molló-Querulbs. Informe intern. Dpt. d'Eng. del Terreny, UPC.

Conferència

ELS AIGUATS A CATALUNYA: UNA VISIÓ GEOLÒGICA

Jordi Corominas ⁽¹⁾

(1) *Departament d'Enginyeria del Terreny. E.T.S. Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. Jordi Girona 1-3, Edifici D-2, 08034 Barcelona. jordi.corominas@upc.edu*

PARAULES CLAU: *aiguat, inundació, esllavissada, con de dejecció, erosió, evidència geològica, dinàmica geomòrfica, magnitud-freqüència.*

RESUM

Els episodis de pluges extraordinàries del segle passat a Catalunya van causar danys generals a una bona part del territori. L'efecte més visible de les pluges van ser les crescudes fluvials i torrencials però també, encara que de manera menys evident, es van produir processos erosius i de desestabilització dels vessants amb conseqüències també negatives. En aquesta comunicació es presenten diversos exemples de la interrelació entre els episodis plujosos i els processos geològics, així com la interacció d'aquests amb els dissenys d'enginyeria que, de vegades, no tenen en compte la seva dinàmica. La interpretació del registre sedimentològic i l'anàlisi geomorfològica és fonamental per a entendre el mecanisme que governen els processos naturals, els seus ritmes i per determinar la relació magnitud-freqüència, aspecte fonamental per a l'avaluació del perill i la gestió sostenible del risc.

INTRODUCCIÓ

Els forts aiguats són, amb diferència, el risc natural de més impacte social i econòmic del nostre territori. Al segle passat, cal esmentar els aiguats de l'octubre de 1907, 1937 i 1940 al Pirineu, el del 25 de setembre de 1962 al Vallès, amb gairebé un miler de víctimes. Altres episodis importants van ser els del 20-21 de setembre de 1971 al Llobregat i el 7-8 de novembre de 1982 al Llobregat, Segre i Noguera. Finalment, el 10 d'octubre de 1994 un intens episodi plujós va colpejar les serralades costeres catalanes donant lloc a revingudes, especialment dels rius del Vallès i del Camp de Tarragona. Vuit persones hi van perdre la vida. Si es considera com inundació els augments de cabal o desbordaments que hagin produït danys a la població i dels que en resti constància, en el període 1901-2000 s'han comptabilitzat fins a 217 episodis (Barnolas i Llasat, 2007)

Una societat moderna com la nostra, tolera cada vegada menys els danys i les situacions de risc generades per situacions meteorològiques com les esmentades. L'administració es veu doncs, en l'obligació d'endegar treballs de recuperació i executar costosos plans de protecció amb la construcció de canalitzacions, murs de protecció, dipòsits de retenció d'aigües i embassaments, entre d'altres actuacions. Cal exigir que les actuacions per protegir-nos de les riuades siguin eficaces i permanents, però també, sostenibles. Per aconseguir-ho, és imprescindible un coneixement adequat del medi, de la dinàmica dels sistemes naturals i, en particular, el comportament de les crescudes.

En aquesta exposició, farem un repàs del context del aiguat, dels fenòmens geològics associats i de com el seu coneixement pot contribuir a una millor prevenció i protecció de risc associats als aiguats.

ELS AIGUATS A CATALUNYA: UN FENOMEN RECURRENT I UN PROCÉS MÉS DELS SISTEMES NATURALS

Els aiguats són un fenomen natural. El medi físic s'organitza en sistemes caracteritzats per un espai on hi són presents diversos elements (el substrat, els organismes vius, els fluids) i on hi actuen processos (fluxos de matèria i energia). Cada sistema estableix un equilibri que és susceptible de trencar-se per qualsevol acció exterior i que el fa evolucionar fins convergir, més tard o més d'hora, en una nova situació d'equilibri. Els rius són un dels sistemes naturals. La xarxa fluvial té com a unitat fonamental, la conca de drenatge que té en les divisòries uns límits fixats.

Les inundacions no són un problema ambiental per se. Les crescudes són processos naturals que han existit sempre i que ho continuaran fent. Tenen efectes clarament beneficiosos, com són la recàrrega d'aqüífers i l'alimentació de les zones humides, la fertilització de les terres agrícoles i l'aport de sediments necessari per a la regeneració de les platges i deltes. Les crescudes han esdevingut un risc en la mesura que s'ha envaït, de vegades de manera irresponsable, l'espai fluvial. Les pèrdues a Catalunya per inundacions i terratrèmols, només entre 1982 i

2002, van excedir els 1300 milions d'euros (Vilaplana i Payàs, 2008).

Les condicions que donen lloc als aiguats i les crescudes a Catalunya són conegudes de fa temps (Masachs, 1958): la fosa ràpida de la neu de les muntanyes, les tempestes d'estiu, de caràcter convectiu i local, i els temporals de tardor. Aquests darrers han donat lloc històricament a les crescudes de major magnitud, amb registres de pluja que excedeixen els 200mm en 24-48h, fins i tot els 700mm com succeí l'any 1940 (Novoa, 1984). Un recull de les situacions que generen crescudes a la mediterrània es pot trobar a Llasat (2009).

EFFECTES GEOLÒGICS DELS AIGUATS

L'efecte més visible dels aiguats són les crescudes de rius i torrents. També, encara que de manera menys evident, té lloc l'erosió i desestabilització dels vessants, també amb un fort impacte socio-econòmic, encara que difícil de segregar de la resta de danys. A diferència d'altres perills naturals, els esllavissaments de terres i els desprendiments de roques, es produeixen de manera dispersa pel territori. Els grans aiguats del segle passat han donat lloc a fenòmens com els corrents d'arrossegalls i lliscaments superficials, que mobilitzen masses de sediments i aigua a gran velocitat i amb elevat poder destructiu. Alguns exemples es poden trobar a Senet i Erill l'octubre de 1907 i l'agost de 1963; a les comarques del Ripollès, Vallespir i Conflent l'octubre de 1940; a les comarques del Pallars, Berguedà i Ripollès el novembre de 1982. Però també s'han produït esllavissaments de terres al Papiol i Castellbisbal el setembre-novembre de 1962 i el setembre de 1971, a Gòsol i del Pont de Bar el novembre de 1982, causant l'abandonament i reconstrucció del poble; a l'Estartit, Picamoixons i la Riba l'octubre de 1994 així com nombrosos desperfectes a les vies de comunicació del Pallars. Són molt abundants també els episodis d'instabilitat local, no per això són menys perillosos, causats per pluges de limitada extensió areal. Així tenim La Coma i Tuixent el setembre de 1992; Gerri de la Sal el novembre de 1994; Berga i Cercs el desembre de 1997; Montserrat el juny de 2000. A manca de dades oficials, els danys per esllavissades sobrepassen les desenes de milions d'euros anuals. D'altra banda, l'augment de l'exposició, fa que el risc hagi augmentat de manera significativa les darreres dècades, especialment el nombre de víctimes (Llasat i Corominas, 2010).

Algunes esllavissades poden generar perills en cascada, com l'obturació del fons de vall, represa de les aigües i, en cas d'ensorrament d'aquesta, la posterior crescuda. Hi ha evidències geològiques

de l'obturació de valls a diversos indrets del Pirineu. Aquest mecanisme permet explicar crescudes com la de la Noguera Ribagorçana al Pont de Suert l'agost de 1963. La crescuda va ser d'una magnitud que no pot ser explicada per la quantitat de pluja recollida, i va coincidir en el temps amb l'acumulació dels dipòsits del corrent d'arrossegalls del barranc del Rebaixader a Senet.

Els episodis plujosos extraordinaris són aquells poc freqüents en relació a la seva distribució estadística de referència (IPPC, 2007). Hi ha episodis plujosos extraordinaris que no donen lloc a grans crescudes però generen esllavissades amb un fort impacte en les infraestructures i les poblacions. Són diverses les situacions pluviomètriques responsables del desencadenament d'esllavissades (Corominas, 2000; 2006): (a) temporals de pluges intenses i curta durada (24-48h) que originen lliscaments superficials, corrents d'arrossegalls i desprendiments generalitzats, (b) episodis de pluja d'intensitat moderada a baixa que es perllonguen durant dies o unes poques setmanes i reactiven lliscaments traslacionals, rotacionals i colades de terra; y (c) episodis de llarga durada, estacionals interanuals, anormalment humits i que reactiven de forma local o global grans esllavissaments. En contextos geològics particulars aquests darrers també poden produir-se amb pluges de curta durada. Un exemple d'episodis plujosos extraordinaris sense grans crescudes el trobem als primers mesos de l'any 1963 amb desprendiments a Montjuïc que causaren 9 morts i esllavissaments a Vallcebre i la Riba, en aquest cas tallant el camí a Farena i interrompent l'activitat industrial de la població. Episodis semblants es van viure a la Riba entre 1889 i 1892 i més endavant, amb els aiguats d'octubre de 1994. Un episodi similar es va produir els primers mesos de 1996 i 1997 produint-se danys en diverses localitats (Castellbisbal, Bressui, Guardiola de Berguedà, Vallcebre, Cava, Montferrer...) i nombroses vies de comunicació del Berguedà, Cerdanya, Alt Urgell i Pallars.

LA DINÀMICA GEOMÒRFICA DE LES CRESCUDES

Les crescudes fluvials es desenvolupen per un espai, el fons de vall i la plana al·luvial que es pot identificar i delimitar per mitjà del reconeixement geomorfològic i confirmar amb la modelació hidràulica (INUNCAT, 2012). Les sèries de crescudes s'utilitzen per determinar els períodes de retorn i el disseny de les mesures de protecció (Vergés, 1994; ACA, 2003). Les sèries obtingudes amb dades instrumentals tenen sovint una important limitació pel baix nombre de dades disponibles. Les sèries es poden completar amb l'ajut de les evidències geològiques. Els sediments

dipositats en zones de rabeig i que han restat protegits de l'erosió per resguards rocosos marquen el límit de la crescuda i permeten avaluar el cabal (Baker, 2008). Aquesta tècnica ha permès, per exemple, determinar el cabal de les crescudes que van deixar dipòsits en diverses seccions del riu Llobregat al Pont de Vilomara i de Monistrol de Montserrat fa més de 2500 anys. Els càlculs hidràulics mostren que des de llavors s'han produït 8 crescudes del riu que excedeixen en més d'un 40% el màxim de cabal enregistrat al Llobregat el setembre de 1971 (Thorndycraft et al. 2005).

Les evidències geològiques permeten també avaluar la perillositat dels torrents i dels cons de dejecció i en particular, dels corrents d'arrossegalls. No tots els cons es formen per l'acumulació de dipòsits d'origen gravitacional i existeixen índexs morfomètrics i criteris sedimentològics per identificar-los (Welsh i Davies, 2011). La dinàmica als cons de dejecció és complexa. Encara que la pluja és el principal mecanisme desencadenant dels corrents d'arrossegalls i es pot acceptar que les pluges torrencials generen fluxos de grans dimensions, aquesta resposta no es dona sempre, ni és lineal. Conques experimentals instrumentades mostren que la mobilització de grans volums de sediments als corrents d'arrossegalls requereix de períodes de llarga durada en els que l'erosió i petits esllavissaments carreguen els aparells torrencials de sediments (Hürlimann et al. 2013). D'altra banda, l'exhauriment de sediments disponibles per ser mobilitzats a la capçalera de la conca fan que la perillositat dels cons es redueixi notablement (Corominas i Moya, 2008). Les tècniques geomorfològiques, sedimentològiques i de datació relativa poden ser aplicades també als cons de dejecció per identificar, ubicar i datar materials acumulats en diferents episodis. D'aquesta manera es pot reconstruir sèries d'esdeveniments i obtenir relacions magnitud-freqüència (Corominas i Moya, 2010; Raïmat et al. 2012).

L'anàlisi de crescudes recents (Corominas et al. 1995; Buxó, 1997) ha posat en evidència els comportaments torrencials de molts rius catalans. No només pel caràcter sobtat de les crescudes sinó també per la dinàmica d'erosió-sedimentació. Entre els efectes geomòrfics de les crescudes hi ha l'erosió del llit, el socavament de marges i l'agradació de trams. Els trams inferiors d'algunes rieres són veritables cons de dejecció que, en el cas de crescudes, arriben a colgar de sediments als marges i les seves proteccions. A les interseccions amb vies de comunicació, els sediments redueixen la secció efectiva dels ponts tot causant obstruccions i desbordaments.

La propagació de les crescudes sobtades és complexa i la distribució d'estacions d'aforament no sempre és capaç de mostrar el procés d'autolaminació per efecte del desbordament. Això s'ha pogut comprovar en l'aiguat d'octubre de 1994 (Corominas et al. 1995). Si no es té en compte l'efecte de la laminació de la plana al·luvial, el disseny de les proteccions per contenir les crescudes pot restar infradimensionat. De manera semblant, les proteccions dels marges amb elements flexibles com les esculleres han d'estar en consonància amb la capacitat d'erosió i transport del riu. Les observacions de després de la crescuda indiquen sovint la velocitat assolida per les aigües durant la crescuda, l'erosió del redós de l'estructura i el sapament per mobilització del llit és capaç de vèncer el travat de l'escullera i desmuntar l'estructura de la mateixa.

Finalment, l'anàlisi dels sediments dipositats permet avaluar la mobilització del llit al·luvial produït durant la punta de les crescudes. El transport de sediments és un dels aspectes més complexos de modelar i que conté nombroses incerteses. L'observació directa dels dipòsits al·luvials en rases permet validar aquests models i quantificar l'efecte de les estructures en el flux i millorar el disseny de les infraestructures construïdes a la llera.

REFERENCIAS

- AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA. ACA- 2003. Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local. Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya. 89 pp.
- BAKER, V.R. 2008. Paleoflood hydrology: Origin, progress, prospects. *Geomorphology* 101: 1–13
- BARNOLAS, M. I M.C. LLASAT, 2007. A flood geodatabase and its climatological applications: the case of Catalonia for the last century, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 271–281.
- BUXÓ, P. 1997. "La crescuda del riu Tenes del 10 d'octubre de 1994". Tesina d'Especialitat. Escola d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. 83 pp.+ annexes
- COROMINAS, J. 1985. "Els riscos naturals". In: *Història Natural dels Països Catalans*. Fundació Enciclopèdia Catalana. Barcelona. Vol. 3: 225-270.
- COROMINAS, J. 2000. Landslides and Climate. En E.N. Bromhead (ed.). VIII International Symposium on Landslides, Cardiff, UK, Keynote lectures, CD_ROM, 2000
- COROMINAS, J. 2005. Les crescudes fluvials i la gestió sostenible del territori. La terra i el medi : cicle de conferències. Col·lecció Publicacions de la Presidència, 17. Institut d'Estudis Catalans. pp. 261.285
- COROMINAS, J. 2006. El clima y sus consecuencias sobre la actividad de los movimientos de ladera en España. *Revista de Cuaternario y Geomorfología*, 20: 89-113

- COROMINAS, J. I MOYA, J., 2008. A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes. *Engineering Geology*, 102: 193-213.
- COROMINAS, J I MOYA, J. 2010. Contribution of dendrochronology to the determination of magnitude–frequency relationships for landslides. *Geomorphology*, 124: 137-149
- COROMINAS, J.; VELASCO, E. AND MONTES, J.M. 1995. "Hydrometeorological and geomorphological aspects of extreme floods of autumn 1994 in North-Eastern Spain". Workshop on Hydrometeorology, Impacts and Management of Extreme Floods. Perugia, Italy
- HÜRLIMANN, M. MOYA, J. ABANCÓ, C. I VILAJOSANA, I. 2013. Auscultación de Movimientos de Ladera para la Implementación de Sistemas de Alerta. Ejemplos del Pirineo y Prepirineo Central y Oriental. E. Alonso, J. Corominas y M. Hürlimann (Eds.). VIII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. pp.52-82
- INUNCAT. 2012. Pla Especial d'Emergències per inundacions. 133 pp.
- IPCC. 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.): Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- LLASAT, M.C., 2009. Chapter 18: Storms and floods. In *The Physical Geography of the Mediterranean basin*. Edited by Jamie Woodward. Published by Oxford University Press, 504-531
- LLASAT, M.C. AND COROMINAS, J. (2010). Riscos associats al clima. In Llebot, J.E. (ed.) *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Generalitat de Catalunya- Institut d'Estudis Catalans. Barcelona. pp. 243-307.
- MASACHS, V. 1958. "Les aigües ». A L. Solé-Sabarís (director). *Geografia de Catalunya*. Editorial Aedos. Volum 1: 187-222
- NOVOA, M. 1984. "Precipitaciones y avenidas extraordinarias en Cataluña". In: *Inestabilidad de laderas en el Pirineo*. Universidad Politécnica de Barcelona. pp.1.1.1-1.1.15.
- RAÏMAT, C. HÜRLIMANN, M., COROMINAS, J., LUIS-FONSECA, R. I MOYA, J. 2012. Reconstrucción de la frecuencia de corrientes de derrubios en el barranco de Erill (Lleida). En A. González-Díez (ed). *Avances de la Geomorfología en España 2010-2012*. Actas de la XII Reunión Nacional de Geomorfología, Santander. Publican Ediciones. pp. 77-80
- THORNDYCRRAFT, V., BENITO, G., RICO, M., SOPEÑA, A., SÁNCHEZ-MOYA, Y. AND CASAS, M.A. (2005): A long-term flood discharge record derived from slackwater flood deposits of the Llobregat River, NE Spain. *Journal of Hydrology*, 313: 16-31
- VERGÉS, R. (director). 1994. "Recomanacions sobre mètodes d'estimació d'avingudes màximes". Junta d'Aigües. Generalitat de Catalunya. 200 pp.
- VILAPLANA, J.M. I B. PAYÀS (coord), 2008. RISKCAT. Els Riscos Naturals a Catalunya. Informe executiu. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible, Departament de Vice-presidència, Generalitat de Catalunya, 226pp.
- WELSH, A. I DAVIES, T. 2011. Identification of alluvial fans susceptible to debris-flow hazards. *Landslides*, 8:183–194

Predicció d'avingudes

ELS AIGUATS A CATALUNYA I LES INUNDACIONS ASSOCIADES DES DEL PUNT DE VISTA METEOROLÒGIC I CLIMÀTIC

Maria del Carme Llasat ⁽¹⁾

(1) *Universitat de Barcelona, Departament d'Astronomia i Meteorologia, Facultat de Física, Avda. Diagonal 647, carmell@am.ub.es*

PARAULES CLAU: *inundacions, aiguats, precipitació convectiva, Catalunya, HYMEX.*

INTRODUCCIÓ

Podríem considerar que els aiguats i les inundacions formen part del paisatge català. De fet, un estudi de les inundacions ocorregudes a determinats punts de les conques del Segre (Lleida), Llobregat (El Prat) i Ter (Girona), des del segle XIV, mostra que en els darrers 600 anys aquestes localitats van ser afectades per més de 68 episodis catastròfics i uns 190 extraordinaris, respectivament, on els adjectius catastròfic i extraordinari fan referència als impactes, atenent especialment a la possible destrucció d'edificis o infraestructures (Llasat *et al.*, 2005). Però aquests nombres podrien augmentar enormement si tinguéssim en compte totes les inundacions locals que es produeixen cada any en algun indret del país.

En aquest context, l'objectiu d'aquesta contribució es presentar els principals factors meteorològics que poden influir en aquest tret característic de la nostra regió, comentant alguns dels casos més notables, i oferint una petita aproximació a l'evolució d'aquests esdeveniments en els darrers anys.

FACTORS METEOROLÒGICS ASSOCIATS ALS AIGUATS A CATALUNYA

Malgrat que els factors meteorològics associats a episodis d'inundació a Catalunya varien segons el tipus d'inundació, l'època de l'any i la zona afectada, es possible parlar d'unes característiques comuns (Llasat, 2009). El model conceptual de pluges intenses a la tardor mostra durant els dies previs una predominant situació anticiclònica, que afavoreix la formació prèvia d'una massa d'aire Mediterrània caracteritzada per una elevada inestabilitat potencial en nivells baixos així com una elevada concentració de vapor d'aigua a l'atmosfera, conseqüència de l'escalfament i l'evaporació. Si la temperatura superficial del mar és elevada, com passa a la tardor, la inestabilitat augmenta. Aquesta configuració anticiclònica sobre el centre d'Europa, i, en algunes ocasions, la presència d'una baixa afavoreix l'entrada d'un vent del sud-

est sobre Catalunya, càlid i molt humit, que incideix sobre la costa i les cadenes muntanyoses gairebé perpendicularment, factor que pot ajudar al desenvolupament dels núvols convectius. Les inundacions associades a pluges més quantioses solen ser alimentades per l'entrada d'aire humit de l'Atlàntic, a més del Mediterrani. Aquesta entrada de l'Atlàntic pot ser conduïda per la presència d'una baixa pressió sobre la Península Ibèrica, o a l'oest de la mateixa.

En alçada, un solc o una Depressió en Nivells Alts o DANA es situen a l'oest de Catalunya, afavorint l'entrada de vents del sud-est en nivells baixos i del sud-oest en nivells a prop del 5000 m o més (Figura 1). Aquests vents poden anar carregats d'humitat donada la seva procedència Atlàntica. En algunes ocasions es pot produir la penetració d'aire fred del nord-oest en nivells alts, si be no es un dels factors més freqüents en les inundacions de tardor, en les que la inestabilitat ve marcada per la forta penetració d'aire molt càlid i humit en nivells baixos. La presència d'aire relativament fred en alçada, de component nord, és més característica dels aiguats d'estiu, en els que usualment és desenvolupa una baixa mesoscalar en el Mar Catalano-Balear que crea una advecció del sud-est o est.

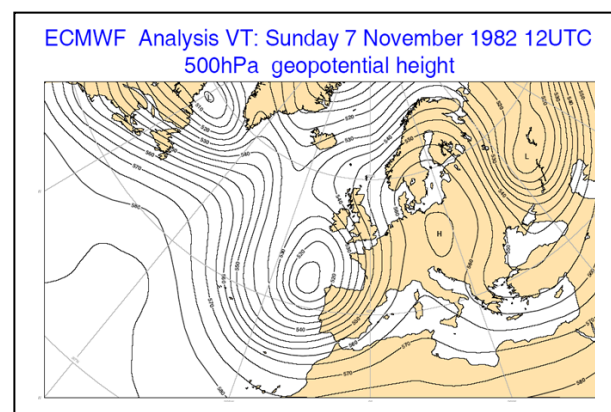


Figura 1 – Anàlisi de la superfície de 500 hPa (alçada geopotencial) el dia 7 de novembre de 1982 a les 12 UTC, amb una característica configuració en omega.

Els moviments verticals, a conseqüència de la inestabilitat existent, poden ser disparats per l'orografia, o be per la formació d'una línia de

convergència, es a dir, la confluència dels vents a baixos nivells de l'atmosfera. La presència de la baixa mesoescalar entre Catalunya i el Mar Balear ajuda en moltes ocasions a la convergència, afavoreix l'entrada de vent humit i càlid del sud-est sobre Catalunya i el desenvolupament de tempestes (Figura 2). De fet, la major part de inundacions en el Mediterrani estan relacionades amb la presència de depressions o nuclis de baixa pressió (Jansà *et al.*, 1996). La orografia o la pròpia depressió poden marcar l'estacionarietat de les pluges, el que produirà una major acumulació d'aigua sobre la conca, i, una avinguda.

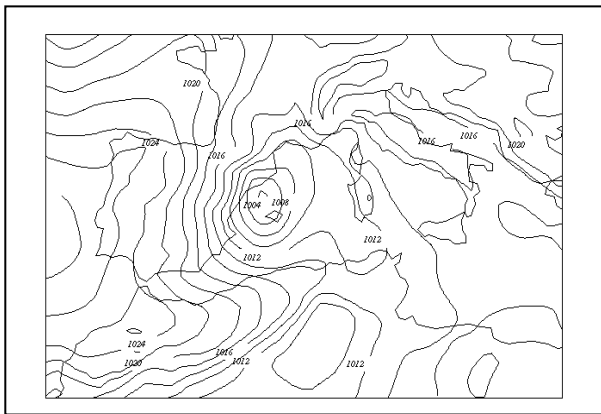


Figura 2 – Anàlisi mesoscalar en superfície del 10 de juny de 2000 a les 12UTC obtingut pel model HIRLAM-INM(0,5°) (Rigo i Llasat, 2005).

TIPUS D'INUNDACIONS A CATALUNYA

Si atenem a les característiques de la precipitació i de les conques afectades, podem distingir entre tres grans tipus d'inundació (Llasat, 2009):

Les inundacions sobtades Tipus 1, són aquelles molt ràpides (flash-floods, en anglès) produïdes per pluges molt intenses i localitzades (episodis molt convectius) en conques petites i torrencials. La intensitat de la pluja pot arribar a ser superior a 3 mm/min, amb una duració molt breu, (menys d'una hora). La quantitat de pluja totalitzada no sol superar els 100 mm i els danys solen ser de caràcter ordinari o extraordinari (cotxes arrossegats, talls d'electricitat, etc, i, en algunes ocasions, alguna víctima mortal, sovint per imprudència). En general estan associades a tempestes localitzades, de tipus unicel·lular o multicel·lular. Aquest tipus d'inundacions tenen lloc principalment a l'estiu i principis de la tardor. Un típic exemple són les inundacions que es produeixen al Maresme usualment en la segona meitat de l'estiu.

Les inundacions Tipus 2 són produïdes per pluges molt intenses i de més llarga duració que en el cas anterior. Es tracta de pluja d'intensitat forta o

moderada (es pot mantenir per sobre dels 60 mm/h durant bastant temps) i duració entre unes hores i 4 dies aproximadament. Usualment es superen els 200 mm. Aquestes inundacions tenen lloc principalment a la tardor, tot i que a alguns casos s'han produït durant la primavera o el estiu, i en moltes ocasions poden arribar a ser catastròfiques. És possible distingir entre dues categories.

Les inundacions Tipus 2a són produïdes per pluges de forta intensitat durant dues o tres hores, i una duració total de l'episodi usualment inferior a 24 hores, i donen lloc a avingudes sobtades (flash-floods). Es tracta d'episodis molt convectius (Llasat, 2001). La quantitat de pluja acumulada en poques hores supera els 200 mm. En aquest cas el temps de resposta és molt curt i poden produir-se moltes morts. En general estan associades a tempestes multicel·lulars o complexes convectius mesoscalars (Rigo i Llasat, 2004) que es queden estacionaris sobre un lloc. Exemples d'aquestes inundacions van ser les inundacions del Vallès de 1962 (Figura 3), amb 815 morts (Martín León, 2002a, 2002b) o les de Juny de 2000, amb 5 morts però quantiosos danys materials (Llasat *et al.*, 2003).

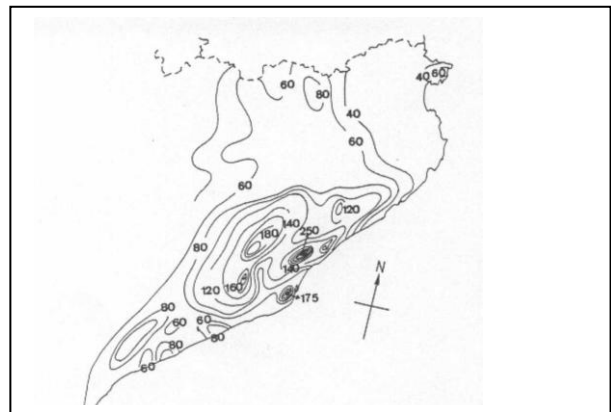


Figura 3 – Mapa d'isohietes on es mostra la pluja recollida entre les 8 del matí del dia 25 i les 8 del matí del dia 26 de setembre del 1962.

Les inundacions Tipus 2b són produïdes per pluges moderadament convectives (Llasat, 2001), amb pics d'intensitats elevades, que usualment durant dos o tres dies, i que afecten a conques petites (en les que produeixen inundacions del tipus 2a) i mitjanes. Poden arribar a ser inundacions catastròfiques si be en aquest cas el nombre de víctimes és generalment inferior al cas 2a i una gran part de les morts es produeix per imprudència. Al contrari, els danys materials són molt grans. En general estan associades a tempestes multicel·lulars o complexes convectius mesoscalars, que es desplacen lentament pel territori. Exemples d'aquestes són les inundacions

catastròfiques que van afectar els Pirineus en novembre de 1982 (Llasat, 2007), causant greus destrosses i víctimes mortals a Andorra, França i Catalunya, i les inundacions d'octubre de 1987 (Ramis *et al.*, 1994).

Les inundacions Tipus 3 són conseqüència de pluges continuades i en terme mig d'intensitat dèbil, però que poden registrar valors alts puntualment, i que tenen una duració aproximadament d'una setmana o més. Normalment donen lloc a inundacions ordinàries o extraordinàries i, en algunes ocasions, catastròfiques, com seria el cas de les inundacions de Centre Europa en l'any 2002. Meteorològicament van associades a pluges estratiformes amb pics convectius. Si es produeixen a la primavera solen anar lligades a fusió de neu, i aquest seria el cas d'algunes inundacions històriques enregistrades a l'Ebre al seu pas per Tortosa. A Catalunya no es donen sovint però un cas típic seria el de les avingudes del gener de 1996 (Rigo *et al.*, 2001).

CLIMATOLOGIA DELS EPISODIS D'INUNDACIÓ A CATALUNYA

Un recent estudi sistemàtic de la distribució d'episodis d'inundació a Catalunya, ha mostrat que entre els anys 1981 i 2010, s'han enregistrat 219 esdeveniments que han produït avingudes o desbordaments en alguna zona del país (Llasat *et al.*, in prep.). Aquest estudi, ha estat desenvolupat en el context del programa HYMEX, i ha permès fer una comparació amb altres regions mediterrànies d'Itàlia i França (Llasat *et al.*, 2013). Malgrat que la major part d'aquests episodis no han quedat enregistrats en les bases internacionals EM-DAT (Emergency Events Database) ni NATHAN (Natural Hazards Assessment Network), en total han produït 110 víctimes mortals i danys superiors a centenars de milions d'euros (Llasat *et al.*, 2013). La comarca del Maresme ha estat afectada per a prop d'un 45% del total d'episodis, en tant que el Barcelonès i el Baix Llobregat, per un 30% aproximadament. En conjunt han estat les comarques que han enregistrat més casos. A escala municipal destaquen Barcelona (29%) i Arenys de Mar (21%), si be en el primer cas estaríem parlant d'inundacions urbanes, amb un impacte molt mitigat per les xarxes de drenatge i els dipòsits d'aigües pluvials.

La major part dels episodis es produeixen entre el mes d'agost i el novembre, i afecten sobre tot a les comarques costaneres (Figura 4). Els episodis d'agost són usualment del tipus 1, donant lloc a inundacions extraordinàries, sobre tot a les rieres

costaneres, que normalment arrosseguen cotxes i desgraciadament produeixen en algunes ocasions pèrdues humanes per manca de prudència o desconeixement. Pel contrari, a la tardor és quan més episodis catastròfics es produeixen, usualment a conseqüència d'inundacions de tipus 2, afectant a conques més o menys grans. Tanmateix, destaca el mes de setembre amb el major nombre d'episodis, i que poden ser tant del tipus 1 (essencialment a principis de mes) com del tipus 2 (cap a finals de mes). Recordem aquí les inundacions del 25 de setembre de 1962, que van afectar principalment el Vallés (tipus 2a), o les del 20 a 23 de setembre de 1971, que van afectar més conques i van ser particularment greus al Llobregat (tipus 2b).

Dels 219 episodis, un 36,1% es poden considerar que van produir danys menors, un 53,4% serien de caràcter extraordinari i el 10,5% restant, catastròfics. L'anàlisi de tendències pel període 1981-2010 mostra una tendència significativa d'un episodi per dècada, que es deguda a l'augment de les inundacions extraordinàries. Aquest tipus de tendència ja es va trobar per períodes més llargs (Llasat *et al.*, 2005), si be no tan marcada, i es deu principalment a un augment de la vulnerabilitat i exposició així com a canvis en els usos del sol.

DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS

Malgrat la importància que tenen els factors mesoscalars en el desenvolupament dels aiguats que produeixen inundacions a Catalunya, hi ha uns trets sinòptics bàsics que afavoreixen aquests tipus de situacions. Hem presentat aquí els més notables, però es poden trobar d'altres situacions amb alguns petits canvis en les configuracions. De fet a Llasat *et al.* (2005) es mostra una caracterització de tipus de temps que van estar associades a les inundacions transcorregudes a mitjans del segle XIX, un període especialment caracteritzat per un augment molt notable en la freqüència de inundacions tant a Catalunya com a d'altres països, i coincident amb el final de la petita Edat de Gel. Entre aquestes situacions també es troben algunes més pròpies de la primavera i que en aquells moments estarien afavorides per una major presència de cobertura nival i potencial fusió de neu. Es tractaria per tant el cas contrari a la situació actual, en que en general, les inundacions de principis de primavera estan disminuint. El recent cas de les inundacions de la Garona del 18 de juny de 2013, tanmateix crida a una reflexió sobre si es tracta d'una anomalia puntual o forma part d'una dinàmica climàtica més complexa, influenciada pel canvi climàtic.

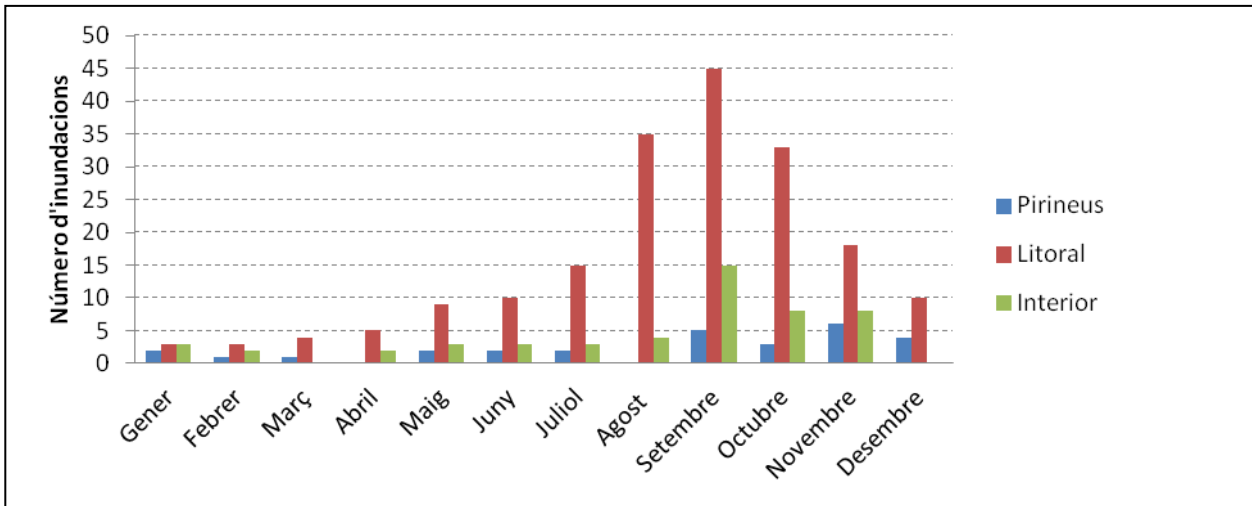


Figura 4 – Distribució mensual del nombre d'episodis d'inundació a Catalunya (1981-2010).

La tendència positiva a un augment en el nombre d'inundacions extraordinàries i, pel contrari, la manca de tendència pel que fa a les catastròfiques ens obra camí pel inici d'una reflexió que no podem tancar aquí. En primer lloc, la component meteorològica o climàtica de les inundacions catastròfiques es molt més important que en el cas de les extraordinàries, com mostren els estudis de llargs períodes de temps (i.e. Llasat *et al.*, 2005). El no trobar cap tendència podria per tant justificar-se pel fet de que no hi hauria un canvi en la freqüència de situacions favorables pel desenvolupament dels forts aiguats, però d'altra banda no podríem perdre de vista les obres hidràuliques desenvolupades per la seva mitigació i les actuacions preventives. Aquesta reflexió es especialment notable quan tractem amb períodes iniciats abans del segle XX, i, per tant, amb canvis importants en les infraestructures hidràuliques i preventives. En canvi, si que es notable l'augment d'inundacions extraordinàries, sobre tot a la costa. En aquestes, els factors com els canvis d'usos de sòl, l'ocupació de zones inundables, l'augment de vulnerabilitat, etc., juguen un paper determinant. Estem parlant usualment d'aiguats a petites conques densament poblades. Si a més es te en compte que de moment no hi ha cap estudi rigorós que demostrí un augment de les pluges extremes a Catalunya en els darrers anys, la component "intervenció humana" passaria a tenir un paper predominant i, conseqüentment, també, la responsabilitat envers la capacitat de prevenció, mitigació i adaptació.

Finalment, no es pot oblidar que encara resta pendent el disposar d'estudis a major resolució temporal de la pluja, que requereixen per tant dades a escales inferiors a 1h; que estem parlant de les inundacions com a risc, però que qualsevol

aproximació posterior requereix disposar de sèries de dades de cabal, i, en conques no aforades, d'estimes aproximatives; i, finalment, que l'aplicació de les noves tecnologies de la societat de la informació, ens ha de permetre en breu poder fer més "fàcilment" simulacions conjugant diferents fonts de dades, models meteorològics i hidrològics, millorant d'aquesta forma el coneixement de la dinàmica i previsió dels aiguats i les inundacions i fent més assequible la seva aplicació.

AGRAÏMENTS

El meu agraïment a les persones que treballen hi han treballat amb mi, que m'han ensenyat i que m'han aconsellat, i han fet possible millorar dia rere dia el nostre coneixement sobre les inundacions des d'una basant interdisciplinària i amb una visió holística, sense la qual no poden ser abordades. Aquest treball ha estat desenvolupat dins del context del programa HYMEX i del projecte europeu DRIHM (G.A. no. 283568 EC 7th Framework Programme).

BIBLIOGRAFIA

- JANSÀ, A., GENOVÉS, A., RIOSALIDO, R. i CARRETERO, O., 1996. Mesoscale cyclones vs heavy rain and MCS in the Western Mediterranean. MAP Newsletter 5, 24–5.
- LLASAT, M.C., 2001. An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features. Application to rainfall intensity in the north-east of Spain. International Journal of Climatology, 21, 1385-1400.
- LLASAT, M.C., RIGO, T., BARRIENDOS, M., 2003. The "Montserrat-2000" flash-flood event: a comparison with the floods that have occurred in the north-eastern Iberian peninsula since the 14th century. International Journal of Climatology, 23, 453-469.

- LLASAT, M.C., M. BARRIENDOS, BARRERA, A., i RIGO, T., 2005. Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records. *Journal of Hydrology. Applications of palaeoflood hydrology and historical data in flood risk analysis*, 313, 32-47.
- LLASAT, M.C., 2007. Les riuades a la conca mediterrània: un fenomen recurrent. En *Les riuades: del desastre natural a la regeneració ambiental*, pp 83-99. Institut d'Estudis Ilerdencs de la Diputació de Lleida
- LLASAT, M.C., 2009. Chapter 18: Storms and floods. In *The Physical Geography of the Mediterranean basin*. Edited by Jamie Woodward. Published by Oxford University Press, ISBN: 978-0-19-926803-0, pp. 504-531.
- LLASAT, M. C., LLASAT-BOTIJA, M., PETRUCCI, O. PASQUA, A.A., ROSELLÓ, J., VINET, F. I BOISSIER, L., 2013. Towards a database on societal impact of Mediterranean floods in the framework of the HYMEX project. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 1–14.
- LLASAT, M.C., GILABERT, J., LLASAT-BOTIJA, M., MARCOS, R., QUINTANA, P. i TURCO, M., (in prep). Flash floods evolution in Catalonia: from precipitation to societal aspects. Submitted to *Atmospheric Research*.
- MARTÍN LEÓN, F., 2002. Las inundaciones de Cataluña del 25 de septiembre de 1962. Parte I. A: *Revista del aficionado a la meteorología* [en línia], núm. 1598. <http://www.tiempo.com/ram/1598/las-inundaciones-de-catalua-del-25-de-septiembre-de-1962/>.
- MARTÍN LEÓN, F., 2002. Las inundaciones de Cataluña del 25 de septiembre de 1962. Parte II». A: *Revista del aficionado a la meteorología*. [en línia], núm. 1635. <<http://www.tiempo.com/ram/1635/las-inundaciones-de-catalua-del-25-de-septiembre-de-1962-2/>>.
- RAMIS, C., LLASAT, M.C., GENOVÉS, A. i JANSÀ, A., 1994. The october-87 floods in Catalonia. synoptic and mesoscale mechanisms. *Meteorological Applications* 1, 337-350. (Ed. Royal Meteorological Society). ISSN: 1350-4827. Berkshire, Gran Bretaña.
- RIGO, T., BATLLE, J. i LLASAT, M.C., 2001. Una comparación de episodios de inundaciones en Cataluña no otoñales (junio de 2000, septiembre de 1996 y enero de 1996). En *El Tiempo del Clima*, 401-412. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie A, nº 2. (Ed. Oikos-Tau, S.L.).
- RIGO, T. i LLASAT, M.C., 2004. A methodology for the classification of convective structures using meteorological radar: application to heavy rainfall events on the mediterranean coast of the iberian peninsula. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 59-68.
- RIGO, T. i M.C. Llasat, 2005. Radar analysis of the life cycle of mesoscale convective systems during the 10 June 2000 event. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 1-12.

INTEGRACIÓ DE DADES DE RADAR I PLUVIÒMETRES PER A LA PREDICCIÓ METEOROLÒGICA D'AVINGUDES

Tomeu Rigo A ⁽¹⁾; Aleix Serra ⁽¹⁾ i Marc Berenguer ⁽²⁾

(1) Servei Meteorològic de Catalunya Cr. Berlín, 38. 08029 Barcelona. tomeur@meteo.cat

(2) Centre de Recerca Aplicada en Hidrometeorologia Jordi Girona 1-3, Edifici ParcUPC K2M, S104. 08034 Barcelona. marc.berenguer@crahi.upc.edu

PARAULES CLAU: radar, pluviòmetres, xarxa, estimació quantitativa de precipitació, predicció.

INTRODUCCIÓ

Tot i que avui en dia les prediccions numèriques són molt acurades, encara no ho són tant com per poder donar un camp de precipitació ajustat a la realitat, a escales temporals horàries i espacials de pocs quilòmetres. Aquest fet es magnifica especialment en episodis de pluges intenses, molt habituals al nostre territori (Llasat et al, 2005) i és aquí on juga un paper clau l'estimació quantitativa de precipitació (EQP). En el present document, es mostra el procés de generació de les diferents EQP que es fan al Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), amb resolucions que van des de la semi-horària fins a diària. Aquests productes es generen mitjançant la combinació de les dades de la xarxa de radars meteorològics (XRAD) i de les estacions meteorològiques automàtiques (XEMA). Amb aquesta finalitat, des de l'any 2001 l'SMC, l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) i el Centre de Recerca Aplicada en Hidrometeorologia (CRAHI) de la Universitat Politècnica de Catalunya treballen de manera conjunta per tal de desenvolupar una sèrie de productes que facilitin les tasques de predicció de pluges fortes i les conseqüents avingudes hidrològiques a partir d'eines i productes automàtics. En aquest document es presenten les dues xarxes de l'SMC, les correccions que es fan a cada una d'elles, la combinació de les mateixes en un producte únic, i, per acabar, l'ús de la combinació com a eina de predicció.

QUÈ SÓN LA XEMA I LA XRAD?

La XEMA és una xarxa d'estacions meteorològiques automàtiques composta per 170 estacions, donant informació en temps gairebé real de diferents variables, entre elles la temperatura, la humitat, la pressió, i la precipitació, semi-horària o horària (tot i que es disposen de valors a resolució minutal, que es fan servir per fer alertes d'intensitat). A la figura 1 es mostra la distribució actual de les diferents

estacions. A la mateixa figura s'afegeixen les estacions de dues xarxes més, de caràcter hidrològic, i que estan gestionades per l'Agència Catalana de l'Aigua i la Confederació Hidrogràfica del Ebro (CHE). Les dades d'aquestes dues últimes xarxes es reben també al SMC, però no tenen el mateix caràcter de funcionalitat que les pròpies, ja que els pluviòmetres no se sotmeten als mateixos manteniments i les seves dades no passen els mateixos controls de qualitat.

Tot i que la cobertura donada per la XEMA és prou gran (la densitat de pluviòmetres és comparable a la de molts països europeus) i la informació pluviomètrica es rep cada cop més ràpidament, la representativitat de les observacions pluviomètriques és encara insuficient per capturar l'evolució del camp de precipitació a les resolucions més altes. És aquí on entra en joc la XRAD, especialment per situacions de pluges molt intenses.

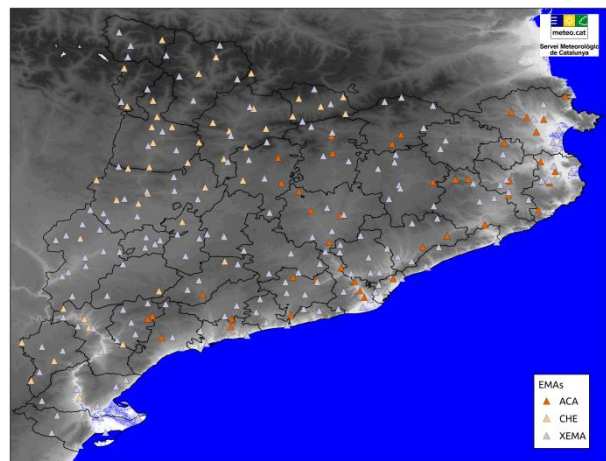


Figura 1 – Mapa amb la posició de les diferents estacions meteorològiques automàtiques de les xarxes del SMC, de l'ACA, i de la CHE.

La XRAD és una xarxa de 4 radars meteorològics de banda C que té com a funció principal donar cobertura a tot el territori català, en referència a les precipitacions. Cada radar genera un volum amb dades de reflectivitat (relació entre energia

retornada al radar pels objectes que es troba el feix, i l'energia enviada inicialment pel mateix radar), i es generen cada 6 minuts. La resolució espacial és de 500 metres, tot i que normalment els productes amb què es treballa ho fan amb resolucions d'1 o 2 quilòmetres. A més, cada radar treballa en dos modes: un de vigilància, que arriba fins a un rang d'uns 250 quilòmetres, i que es genera al principi de cada volum, i, un altre de quantitatiu, amb la informació volumètrica, amb 15 nivells d'elevació, cobrint una gran part de l'atmosfera fins a 20 quilòmetres d'altitud i 150 de rang. A la figura 2 es mostra la composició de la XRAD.

Tot i que a simple vista sembla que amb una xarxa de radars ja tenim resolt el "problema" del seguiment de situacions de precipitacions, la realitat ens mostra que és ben diferent. De fet, enumerant alguns dels possibles problemes que ens podem trobar, citarem els següents (Gekat et al., 2004; Michelson et al., 2005; Bebbington et al., 2007; Bech et al., 2007; SMC, 2013): errades mecàniques i/o electròniques, de comunicacions i/o elèctriques, observacions d'ecos no meteorològics (muntanyes, edificis, aerogeneradors avions, ocells, vaixells, onades marines, interferències electromagnètiques...), ocultació d'ecos meteorològics per apantallament (per l'efecte de les muntanyes o bé, per la precipitació molt intensa o en forma de calamarsa o pedra), la combinació dels diferents elements de la xarxa (cal recordar que cada element té una estructura pròpia, donada pel lloc on està situat) a l'hora de fer la composició, extrapolació de les observacions del radar a la superfície, la conversió de reflectivitat en intensitat de precipitació i en precipitació acumulada.

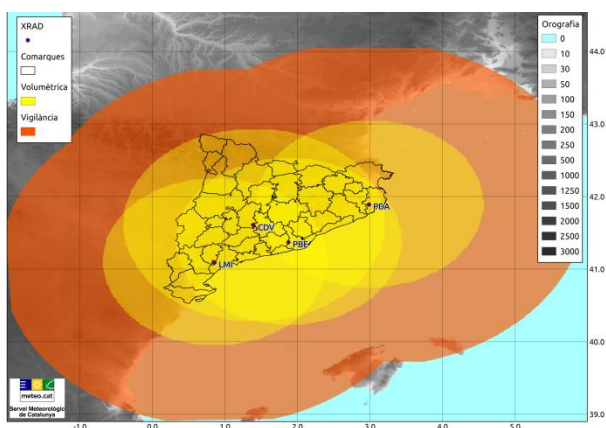


Figura 2 – Mapa amb la posició dels diferents elements de la XRAD, així com la cobertura per a mesures qualitatives (groc) i únicament per vigilància (taronja)

CONTROL DE QUALITAT I CORRECCIONS

Com ja s'ha avançat anteriorment, en ambdues xarxes es fa un seguiment per tal de conèixer la qualitat de les dades i corregir-les, en el cas que sigui necessari. En aquest punt es presenten breument les diferents parts d'aquest procés per cada xarxa.

En el cas de les observacions pluviomètriques de la XEMA, hi ha un primer filtratge automàtic, descartant valors que són extremadament anòmals, procés conegut com a filtre de rang (SMC, 2011). A continuació, s'apliquen els següents criteris: completesa de les dades, i coherències temporal, interna, espacial, i visual (comparant amb dades de teledetecció).

Pel que fa a la XRAD, els processos són tots exclusivament automàtics excepte un: l'aplicació d'un factor de correcció de la reflectivitat, que s'explicarà més endavant. El primer control es refereix a l'arribada de les dades i que arriben en temps real (no més de 6 minuts respecte al programat). A continuació s'apliquen una sèrie d'algorismes de correcció de les observacions de reflectivitat radar, que són l'inici de l'EHIMI (Eina Hidrometeorològica Integrada). Es poden resumir en: eliminació de taques especulars (de mida petita i que per la forma no poden estar associades a precipitació), control de l'estabilitat del senyal, total disponibilitat del volum, errades en l'apuntament, correcció de la subdetecció causada als bloquejos orogràfics, eliminació dels ecos no meteorològics i reconstrucció del camp als punts on hi ha influència orogràfica, (Corral et al., 2009).

CAMP DE PRECIPITACIÓ ESTIMAT

Un cop els volums de la xarxa, generats de forma gairebé simultània han estat corregits, es procedeix a la composició d'un producte de reflectivitat que engloba tota la cobertura mostrada a la figura 2, tot i que la millor qualitat es troba a la zona del curt abast. Aquest producte és el que es presenta a la web pública del SMC. La generació d'aquest producte es fa per màxim valor de qualsevol radar a cada punt. Aquest fet implica la introducció de nous errors, associats a l'observació d'ecos de precipitació en altura i que a la composta es considera que es troben en superfície.

Un cop disposem del camp de reflectivitat, es converteix en intensitat de precipitació i, a continuació, en camp de precipitació acumulada. És important esmentar en aquest punt, que la conversió que passa de reflectivitat a precipitació acumulada inclou el fet del moviment de les

estructures precipitants en el temps, fent que el camp sigui més continu (com es mostra a la figura 3). A l'SMC es treballa amb diferents intervals temporals, cadascun dels quals té una funcionalitat diferent: semi-horària, generada cada 6 minuts, només conté informació de la XRAD i serveix per fer avisos de superacions de llindars de pluges intenses (figura 4); horària, sense i amb la integració de les dades de la XEMA, que permet fer un seguiment de l'episodi en temps gairebé real; diàries (al final de cada dia), mostren el conjunt de l'episodi, permetent que es pugui disposar d'una fotografia d'un episodi. Com a excepció, per a episodis de llarga durada, es poden generar camps de més d'un dia.

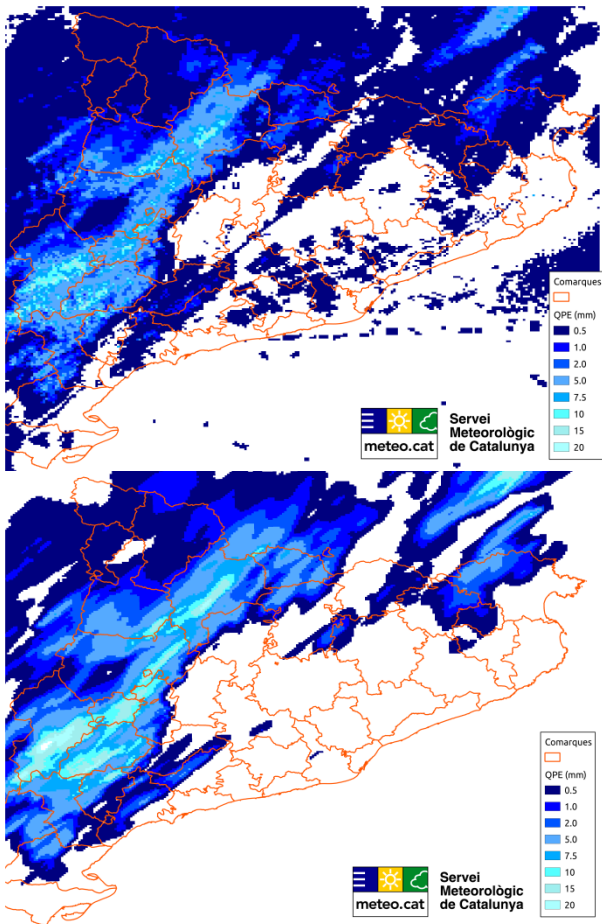


Figura 3 – Estimació de precipitació horària per a les 15 UTC del dia 4 d'octubre de 2013. A dalt, sense les correccions EHIMI. A sota, amb les correccions EHIMI.

La integració de les dades de la XEMA dins el camp de precipitació estimat per la XRAD no es fa de forma trivial, sinó que s'han intentat seguir una sèrie d'aspectes, per tal que el resultat sigui el més realista possible (Velasco-Forero et al., 2009, Sempere-Torres et al. 2012). En resum, aquests aspectes són:

- Cal disposar d'un 80% o més dels pluviòmetres amb informació completa, sense que aquest volum no arribi més tard de 2 hores
- Hi ha d'haver coherència entre el camp estimat pel radar i les observacions de la XEMA
- Hi ha d'haver prou informació de pluviòmetres per a poder participar en el producte

Al parlar de l'aplicació de les correccions a la XRAD, s'ha deixat de nomenar que hi ha un component no directament automàtic, sinó que el punt de vista de l'equip tècnic de teledetecció de l'SMC s'hi inclou subjectivament, d'acord amb dos criteris: l'error que hi ha entre l'estimació del radar amb les correccions i els valors dels pluviòmetres, i, per altra banda, l'experiència de l'equip, d'acord amb l'època de l'any, l'estat de cada radar. A la figura 5 es pot veure la variació estacional de la qualitat de les observacions radar, mesurades a partir del biaix (Trapero et al., 2009; Bordoy et al., 2010) calculat a partir de les dades de la XRAD en front de les de la XEMA, amb uns valors òptims durant l'estiu i que van decaient fins a arribar a un mínim a l'hivern. Això és degut a què el tipus de precipitació que es produeix durant l'estació més freda és més difícil de detectar per la XRAD, per diversos motius, entre els que destaquen la pròpia morfologia de la precipitació, i del desenvolupament vertical de la precipitació. En canvi, a les èpoques més càlides, amb tempestes fortes el comportament de la XRAD és força bo, ja que l'efecte que pot provocar l'atenuació donada per una tempesta sobre un radar és compensada per la visió que tenen la resta d'elements de la xarxa.

Per acabar aquest punt, ens referirem a l'últim producte que es genera de forma automàtica: el camp diari de precipitació estimada. Un cop ha acabat el dia, i després d'un temps (4 hores) que es considera òptim per a què s'hagin rebut un gran volum de dades de la XEMA (que un 80% dels registres de les estacions estiguin completes), es dispara el procés de generació del camp diari del dia anterior. El primer que s'ha de tenir en compte és que el resultat d'aquest camp no és igual a la suma dels camps horaris, per una sèrie de raons que es detallen a continuació. El procediment de generació del producte és el següent: es fa una suma del producte horari d'estimació radar sense la integració amb dades de la XEMA; tot seguit, es fa el mateix per les dades de la XEMA, disposant de dos camps diaris que s'integraran fent servir els mateixos algorismes de combinació que els horaris; aquí s'ha de tenir en compte que, sobretot a l'estiu, l'àrea afectada per precipitació durant una hora

pot ser molt petita i per tant no es consideri la contribució dels pluviòmetres per la seva poca consistència.

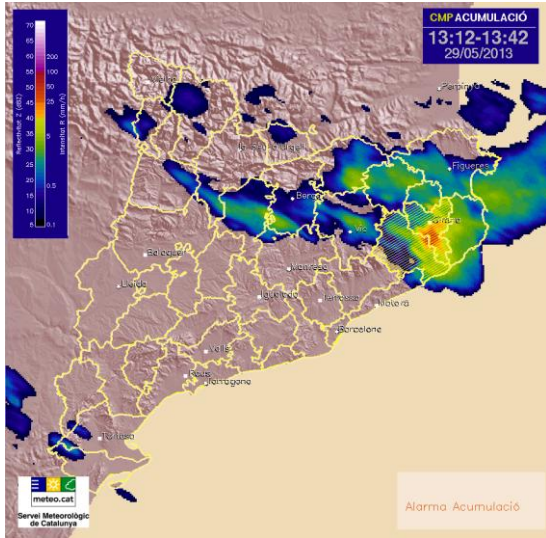


Figura 4 – Estimació de precipitació semi-horària per al dia 29 de maig de 2013 a les 13:42 UTC, amb una alerta per acumulació a les comarques de Gironès i Selva.

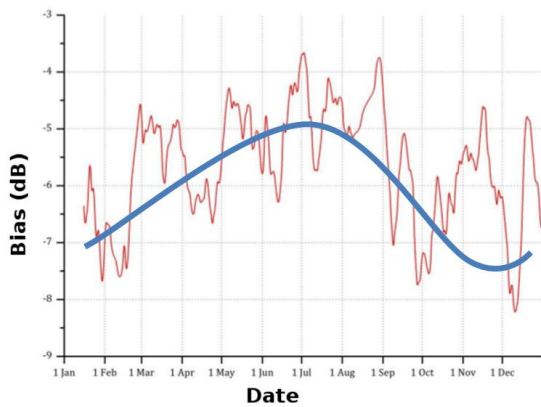


Figura 5 – Evolució diària del biaix en mitjana al llarg d'un any, considerant el període 2008-2013. En blau, corba de la tendència.

Tot i que aquest últim producte sembli el final de la cadena, es pot dir que això no és cert del tot, ja que s'ha d'incloure un darrer producte: l'acumulació diària un cop s'han considerat tots els controls de qualitat de l'equip de control de qualitat de dades. Això es deu a que quan hi ha episodis molt importants o bé una dada és dubtosa, cal fer un procediment més laboriós a l'hora de donar la validació final, i el valor que es considera com a real del pluviòmetre. Aquest procés pot acabar després d'una setmana i és per aquest motiu que es torna a generar, 7 dies després, el producte diari però amb les validacions definitives. Tot i que a la majoria de dies no s'aprecien diferències significatives a simple vista, aquestes solen ser-hi

presentes i, en alguns casos, poden resultar molt clares (veieu les figures 7.a i 7.b). Per tant, podem dir que aquest producte és el resultat final del procés.

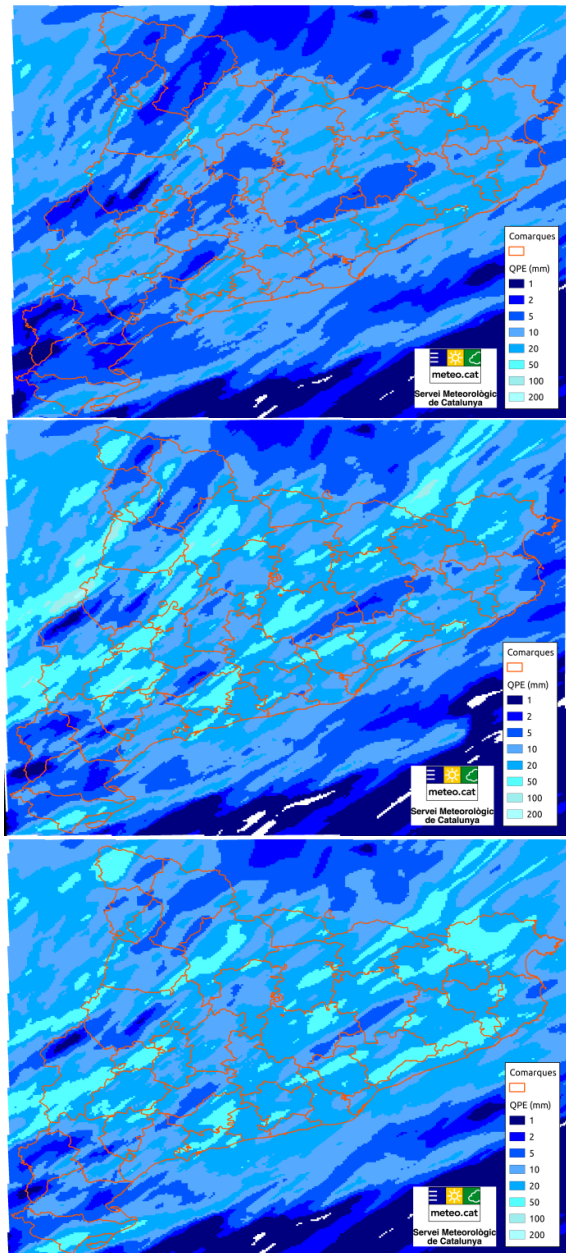


Figura 6.a, b, c – Camp de precipitació estimada sense contribució de la XEMA, per al dia 4 d'octubre de 2013 (dalt); el mateix però amb el sumatori dels camps horaris amb contribució de la XEMA (mig); el mateix però amb el camp diari integrant la XEMA (baix)

L'ÚS DE LA EQP PER A PREDICCIÓ D'INUNDACIONS

Tot i que l'EQP diària té altres utilitats (com ara, la gestió de boscos en períodes estivals per conèixer

el risc d'incendis, o conèixer l'afectació de zones durant episodis de pluja), la funció bàsica és com a eina gairebé immediata per a la predicció de pluges intenses que poden donar lloc a inundacions.

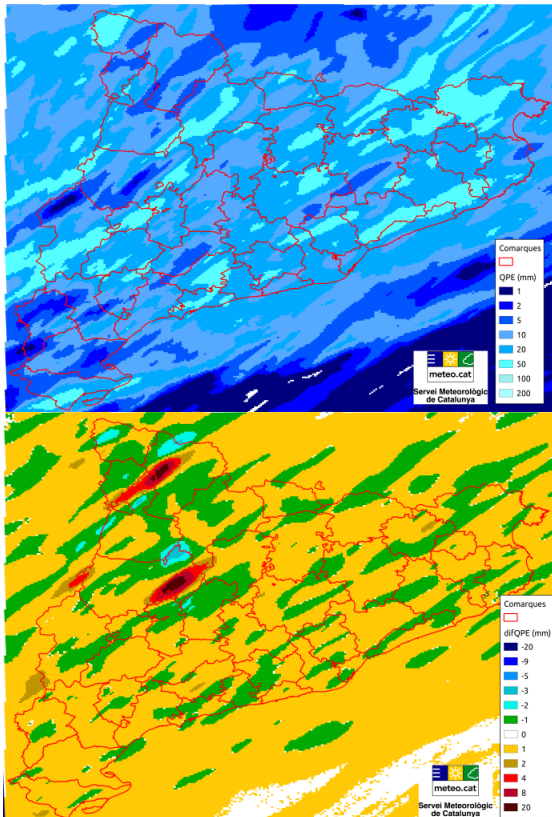


Figura 7.a,b – El mateix que a la figura 6.c, però el camp s'ha generat 7 dies després (dalt). Diferències entre els camps diaris generats set dies després i al dia actual. Els colors càlids indiquen un increment per al producte final, els freds una reducció (baix).

En aquest sentit, a l'SMC es treballa per dues vies. La primera, fent ús directe (figura 4) del producte semi-horari per identificar pluges molt intenses en un breu període de temps. La segona seria la repetició del procés mostrat a la secció anterior, de forma diària, és a dir: generació de productes dels productes d'EQP horari, diari i diari 7 dies a posteriori, per validar aquestes dades i veure si, després d'un període de test, s'ha de canviar el factor de correcció d'un o més radars, o bé de tot el conjunt. L'aplicació d'un canvi ve donada quan a l'evolució del biaix (o logaritme de la proporció de pluja estimada pels pluviòmetres i l'estimada pels radars), com es mostra a la figura 5, comença a donar signes d'un canvi en el comportament.

Per altra banda, les dades de l'EQP horària amb la integració dels valors de la XEMA inclosos té un gran valor en l'àmbit hidrològic. Per aquest motiu,

aquests camps s'utilitzen per generar productes d'alertes hidrològiques, bé sigui per alertes de crescudes de rius (figura 8.a), bé sigui per a la identificació de zones inundables (figura 8.b). Aquests últims productes s'envien de manera automàtica a l'ACA per a que es puguin gestionar i prendre les decisions que es creguin adients.

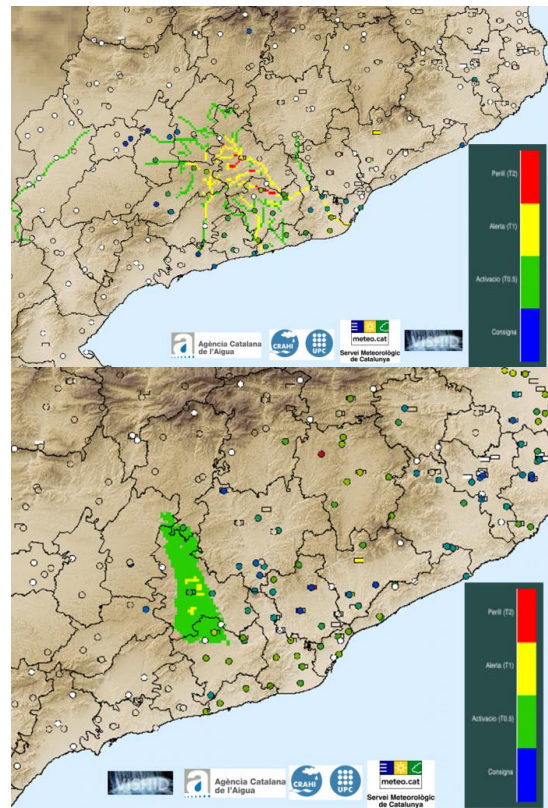


Figura 8.a,b – Exemple d'alertes de crescudes de rius per pluges intenses (dalt). Exemple d'alertes de probabilitats d'inundació per pluges intenses (baix)

COMENTARIS FINALS

Les pluges intenses que es donen en períodes curts, o bé aquelles d'intensitats moderades però que acumulen grans quantitats en períodes més llargs són uns dels fenòmens naturals que produeixen més danys arreu del Món, i en concret a Catalunya. Per aquest motiu, és necessari disposar d'eines per poder fer un seguiment dels sistemes de precipitació que les poden produir, així com estimar de forma acurada la precipitació que cau al territori.

L'ús combinat de les dades de la XRAD amb les de la XEMA permet disposar d'un camp estimat de precipitació realista per a tot el territori català.

A l'SMC es generen camps amb diferents resolucions temporals, amb usos diversos, però centrats a ser una eina que faciliti la tasca de

generació d'avisos tant a nivell meteorològic (avisos d'observació, figura 9) com hidrològic.

Per a arribar a l'estat actual de l'eina, s'ha hagut de seguir un procés que va començar a l'any 2001 i que ha implicat una racionalització i optimització dels recursos. A més, s'ha treballat des de diferents àmbits ACA, SMC i CRAHI, per assolir una eina que sigui d'utilitat per a la societat catalana.

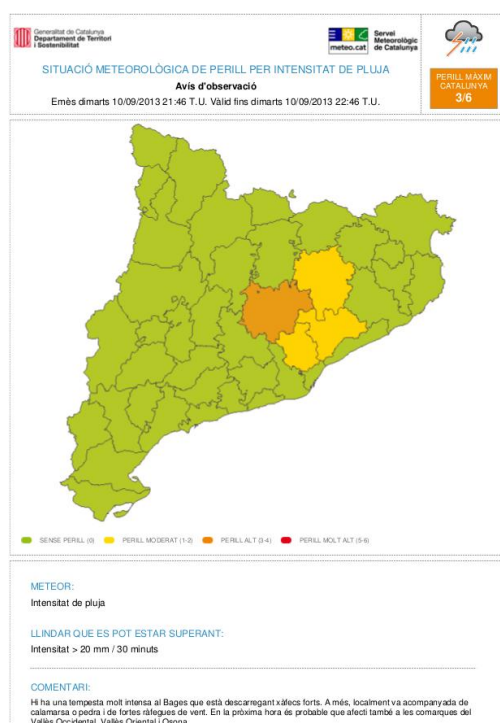


Figura 9 – Exemple d'avis d'observació emès pel SMC a partir de la informació proporcionada pel producte QPE.

AGRAÏMENTS

Estem molt agraïts als companys del SMC que han contribuït amb les seves aportacions, tant a l'hora del desenvolupament de l'eina, com en l'escriptura del present document.

BIBLIOGRAFIA

BEBBINGTON, D., RAE, S., BECH, J., CODINA, B., PICANYOL, M., 2007. Modelling of weather radar echoes from anomalous propagation using a hybrid parabolic equation method and NWP model data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, pp. 391–398.

BECH, J., GJERTSEN, U., HAASE, G., 2007. Modelling weather radar beam propagation and topographical blockage at northern high latitudes. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 133, pp. 1191–1204.

BORDOY, R., BECH, J., RIGO, T., PINEDA, N., 2010. Analysis of a method for radar rainfall estimation considering the freezing level height. *Tethys*, 7, 25–39.

CORRAL, C., VELASCO, D., FORCADELL, D., and SEMPERE-TORRES, D., 2009. Advances in radar-based flood warning systems. The EHIMI system and the experience in the Besòs flash-flood pilot basin. *Flood Risk Management: Research and Practice*, Taylor and Francis, P. Samuels, Ed., 1295-1303.

GEKAT, F., MEISCHNER, P., FRIEDRICH, K., HAGEN, M., KOISTINEN, J., MICHELSON, D. B., HUUSKONEN, A., 2004. The state of weather radar operations, networks and products. In: *Weather radar. Principles and advanced applications*, P. Meischner, (Ed.), 1–51, Springer-Verlag.

LLASAT, M. C., BARRIENDOS, M., BARRERA, A., RIGO, T., 2005. Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records. *Journal of Hydrology*, 313, 32-47.

MICHELSON, D. B., ANDERSSON, T., KOISTINEN, J., COLLIER, C. G., RIEDL, J., SZTURC, J., GJERSTEN, U., NIELSEN, A., OVERGAARD, S., 2000. BALTEX Radar Data Centre products and their methodologies, SMHI Reports Meteorology and Climatology.

SMC, 2011. Les Estacions Meteorològiques Automàtiques (EMA). Publicacions breus del Servei Meteorològic de Catalunya, Generalitat de Catalunya, 40 pp.

SMC, 2013. Xarxa de Radars del Servei Meteorològic de Catalunya. Publicacions breus del Servei Meteorològic de Catalunya, Generalitat de Catalunya, 24 pp.

SEMPERE-TORRES, D., BERENQUER, M., VELASCO-FORERO, C. A., 2012: Blending of radar and gauge rainfall measurements. A preliminary analysis of the impact of measurement errors, *IAHS Red Book*, 351, 219-224.

TRAPERO, L., J. BECH, T. RIGO, N. PINEDA, D. FORCADELL, 2009. Uncertainty of precipitation estimates in convective events by the Meteorological Service of Catalonia radar network. *Atmospheric Research*, 93, 1–3, 408-418.

VELASCO-FORERO, C. A., SEMPERE-TORRES, D., CASSIRAGA, E. F., GOMEZ-HERNANDEZ, J. J., 2009. A non-parametric automatic blending methodology to estimate rainfall fields from rain gauge and radar data, *Adv. Water Resour.*, 32, 986–1002.

GESTIÓ DE RISCOS TORRENCIALS: EL PROJECTE IMPRINTS

Marc Berenguer; Daniel Sempere Torres

Centre de Recerca Aplicada en Hidrometeorologia, Universitat Politècnica de Catalunya. Jordi Girona, 1-3 Edifici ParcUPC K2M, S104. 08034 Barcelona. Email: marc.berenguer@crahi.upc.edu.

PARAULES CLAU: *avingudes torrencials, corrents d'arrossegalls, previsió de pluja a molt curt termini, models meteorològics, sistemes d'alertes d'inundacions.*

INTRODUCCIÓ

Les pluges intenses són la causa de desastres naturals que afecten de manera important a la societat. Tradicionalment, les inundacions, i especialment les causades per avingudes torrencials o *flash floods* (amb temps de resposta entre 15 minuts i unes quantes hores, amb intensitats que poden produir el 25% de l'acumulació anual en unes quantes hores), s'han considerat com el desastre natural directament causat per les pluges intenses. Tanmateix, un bon nombre d'activitats socio-econòmiques també requereixen d'enfocs específics per a la caracterització de l'afectació esperada. Aquestes inclouen la gestió del trànsit o el transport aeri, activitats econòmiques exteriors (construcció, agricultura,...) o activitats de lleure (com poden ser activitats esportives, turisme,...).

En aquest entorn, el requeriment principal és l'anticipació de l'ocurrència de pluges intenses per caracteritzar la magnitud del fenomen (típicament expressada com a període de retorn) amb prou temps per a l'actuació de les autoritats de protecció civil, serveis d'emergència, o fins i tot per la població.

Finalment, el risc és el resultat de la combinació de la magnitud del fenomen amb la vulnerabilitat (exposició dels béns personals i materials al fenomen), i en aquest sentit, la resolució espacial i temporal de la informació disponible és fonamental.

Els avenços de les últimes dècades en la previsió de la precipitació amb models meteorològics (que proporcionen previsions fins a 48 o més hores), es complementen amb els avenços en la previsió de la precipitació a molt curt termini (algorismes de *nowcasting*) basats en l'extrapolació dels camps de precipitació estimats a partir de les observacions del radar meteorològic. Aquest tipus de sistemes es beneficien de l'alta resolució dels camps de pluja radar i han demostrat el seu interès en aplicacions basades en les xarxes de radars nacionals i continentals (veure, per exemple, Germann et al. 2006, Berenguer et al. 2005, 2011, 2012, 2013, Quintero et al. 2012).

De totes maneres, la transformació de les previsions de pluja en l'amenaça esperada és encara un repte pendent. Durant els últims anys, s'han portat a terme diversos projectes europeus orientats a millorar les eines disponibles en el marc de la implementació de la Directiva Europea d'Inundacions (2007/60/EC), i en els Plans de Gestió del Risc d'Inundacions imposats per la Directiva (veure per exemple Alfieri et al. 2012).

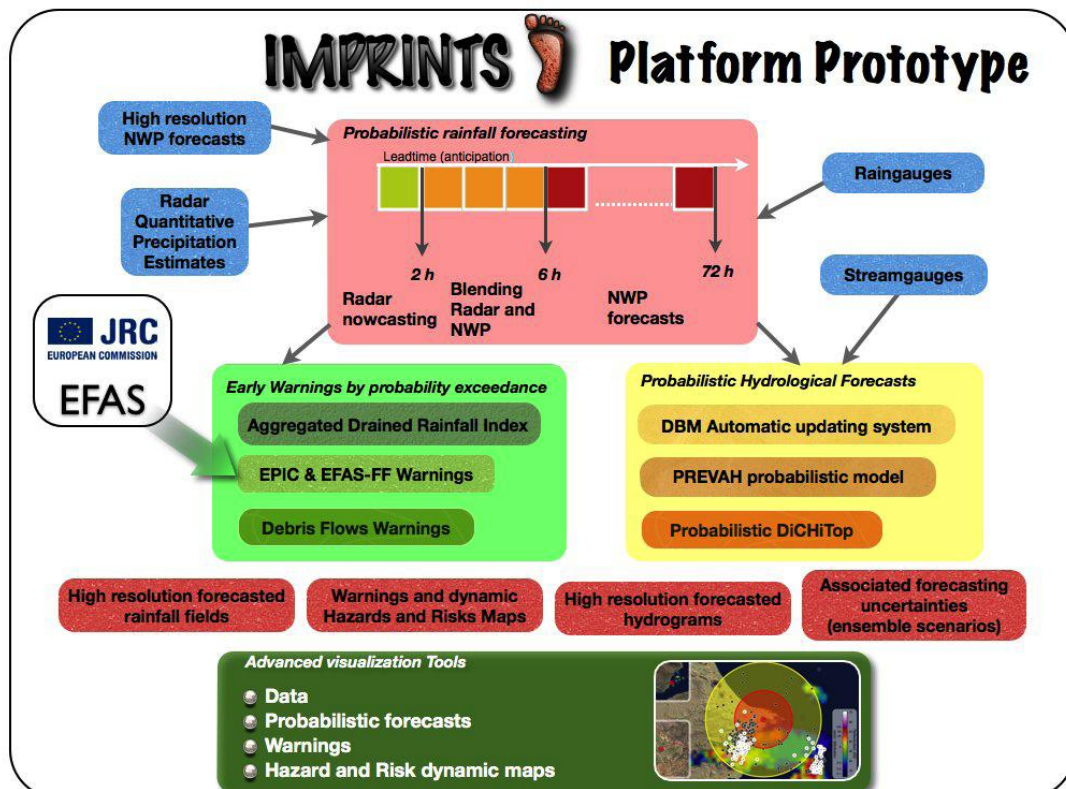


Figura 1 – Esquema funcional de la plataforma desenvolupada en el marc del Projecte IMPRINTS.

En aquest article s'hi presenten els elements necessaris per la generació d'alertes d'inundacions torrencials en temps real, prenent com a exemple l'eina desenvolupada en el Projecte del 7è Programa Marc "IMproving Preparedness and Risk maNagement for flash floods and debris flow events" (FP7-ENV-2008-1-IMPRINTS 226555).

LA PLATAFORMA IMPRINTS

La Fig. 1 mostra un esquema general dels elements inclosos en la plataforma desenvolupada en el marc del projecte IMPRINTS (Sempere-Torres et al. 2010). A la Figura s'hi observa una de les característiques fonamentals del projecte que és l'estudi de la incertesa en les diferents components del sistema de predicció hidrològica.

La plataforma s'ha aplicat a sis conques d'estudi afectades per avingudes torrencials a la zona mediterrània (Llobregat, Guadalhorce, Gardon d'Anduze i Destra Sele) i als Alps (Linth i Verzasca).

Previsions de pluja

Les entrades principals de la plataforma són les observacions de pluja del radar meteorològic i les previsions de precipitació obtingudes amb el Sistema de Predicció meteorològica per Conjunts (*Ensemble Prediction System*) COSMO-LEPS.

Les observacions del radar es fan servir per generar previsions de pluja a molt curt termini (típicament fins a temps de previsió al voltant de 2 hores). En el marc del projecte s'han desenvolupat dues tècniques de previsió probabilística de pluja en base a conjunts: SBMcast (Berenguer et al. 2011 –veure Fig. 2) i NORA (Panziera et al. 2011), aquesta última per a la predicció de pluja orogràfica al vessant sud dels Alps.

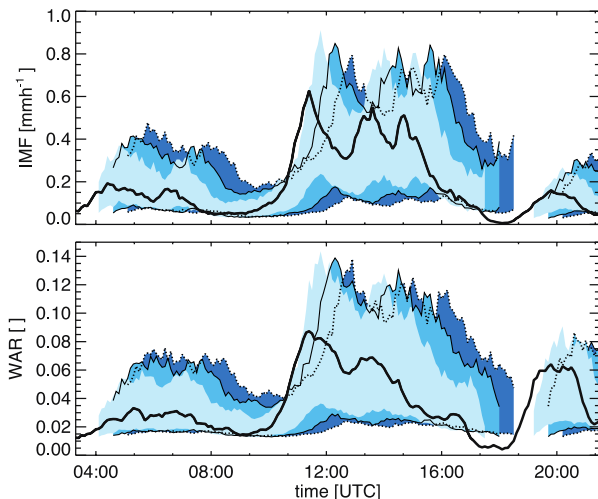


Figura 2. Sèries temporals de la pluja mitjana (a dalt) i àrea normalitzada de pluja (a baix) sobre el domini d'estudi, obtingudes a partir de les observacions del radar (línia contínua), i intervals de confiança per les previsions probabilístiques de 30, 60 i 90 minuts (blaus de clar a fosc) generades amb el mètode SBMcast.

A més a més, pel rang de previsions entre 2 i 6 hores s'ha desenvolupat un mètode de combinació de les previsions de pluja obtingudes amb el mètode de nowcasting i amb els models meteorològics. Aquesta

combinació (Atencia et al. 2010; Hernández et al. 2010) permet millorar els resultats obtinguts amb qualsevol dels dos sistemes per separat.

Alertes en base als productes de pluja

Els productes probabilístics de pluja prevista s'han implementat per a una estimació preliminar de l'amenaça potencial d'avingudes en base a l'agregació de la pluja aigües amunt de cada punt del territori i a cada pas de temps, i en l'estimació de la probabilitat d'excedència (Corral et al. 2009; Alfieri et al. 2011). Aquest enfoc s'ha implementat a dos nivells: (1) a escala europea sobre del domini del Sistema Europeu d'Alertes d'Inundacions (EFAS –Thielen et al. 2009) utilitzant les previsions dels 16 membres de COSMO-LEPS fins a 3 dies i amb una resolució de 3 hores i 1 km, i (2) a escala regional fent servir els productes de previsió de pluja a molt curt termini (fins a 6 hores) i amb una resolució de 30 minuts i 1 km en l'àmbit d'algunes de les conques pilot (veure, per exemple, Versini et al. 2013).

Malgrat que aquests productes no es basen en una simulació hidrològica estricta, l'agregació de la pluja drenada a cada punt es pot considerar com un indicador del potencial d'inundació (veure la Fig. 3), i la simplicitat del mètode permet aplicar-lo massivament sobre el territori i amb un mínim d'informació i amb un temps d'actualització curt.

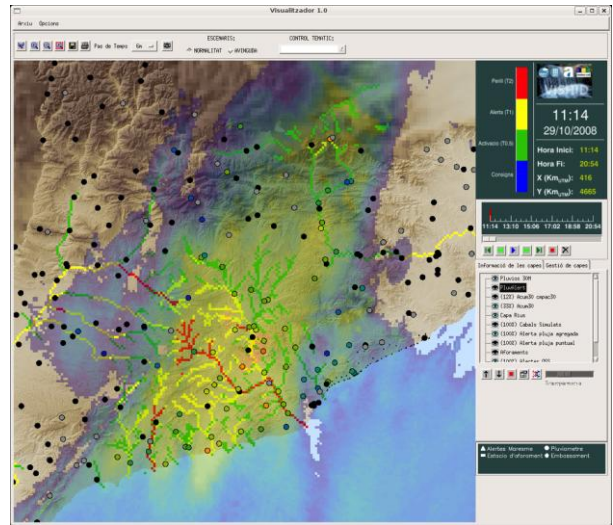


Figura 3. Exemple de les alertes generades en base al producte de pluja drenada a cada punt. Els punts marcats en vermell mostren les zones on la pluja drenada supera una probabilitat d'excedència de 2 anys de període de retorn.

En paral·lel, s'ha desenvolupat una tècnica de lògica difusa per a la caracterització de l'amenaça de l'ocurrència de corrents d'arrossegalls (*debris flows*) en conques de capçalera que classifica el nivell d'amenaça en "baix", "intermig" i "alt" (veure Fig. 4). El sistema es basa en combinar una caracterització de la susceptibilitat de la conca basada en criteris geomorfològics amb una estimació de la magnitud de l'episodi.

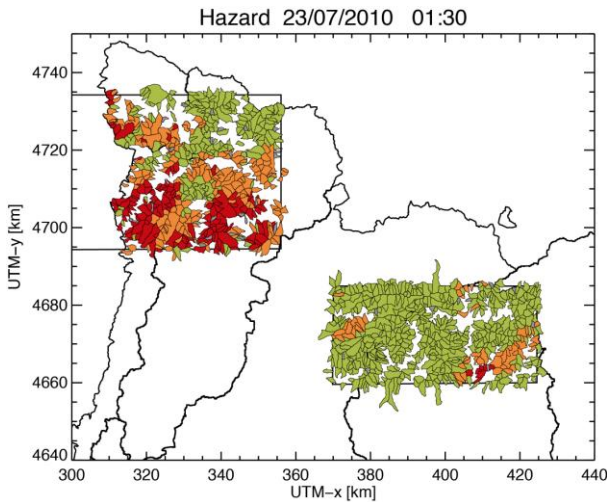


Figura 4. Mapa d'alertes de corrents d'arrossegalls corresponent al 23 de Juliol de 2010 a les 01:30 UTC a dos subdominis dels Pirineus catalans. Els colors de les conques es corresponen amb nivells d'amenaça baix, intermig i alt (verd, taronja i vermell, respectivament).

Previsions hidrològiques

Les previsions de pluja són fonamentals a l'hora d'allargar l'anticipació de la resposta hidrològica d'una conca petita o mitjana (veure, per exemple, Berenguer et al. 2005, o la Fig. 5).

A les conques pilot del projecte s'han implementat diferents sistemes de previsió de cabals (e.g. Smith et al. 2011, Quintero et al. 2011, Zappa et al., 2011) que permeten caracteritzar la incertesa en les diferents components de la previsió hidrològica (veure, per

exemple, la Fig. 6). D'aquesta manera, les previsions de cabal generades a cada pas de temps van acompanyades de l'interval de confiança, com una mesura de fiabilitat.

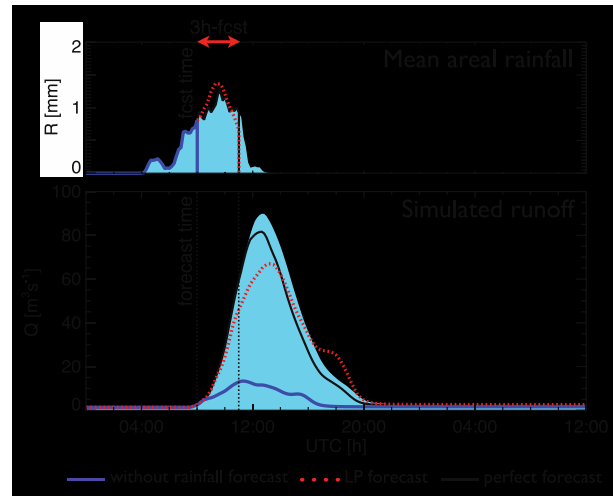


Figura 5. Ús de les previsions de pluja en la previsió hidrològica. A dalt, hietograma de la pluja mitjana sobre la conca i a baix, hidrogrames simulats amb el model hidrològic DiChiTop (Corral et al. 2009). La zona d'ombregat blau correspon a la pluja observada i a les simulacions de cabal amb la pluja coneguda. La línia contínua vermella correspon a la pluja observada fins al temps de previsió i a les simulacions de cabal corresponents. La línia puntejada blava correspon a l'extensió de la sèrie de pluja amb 3 hores de previsions fetes amb un mètode en base a radar, i la línia negra correspon als resultats obtinguts amb una previsió de pluja perfecta de 3 hores.

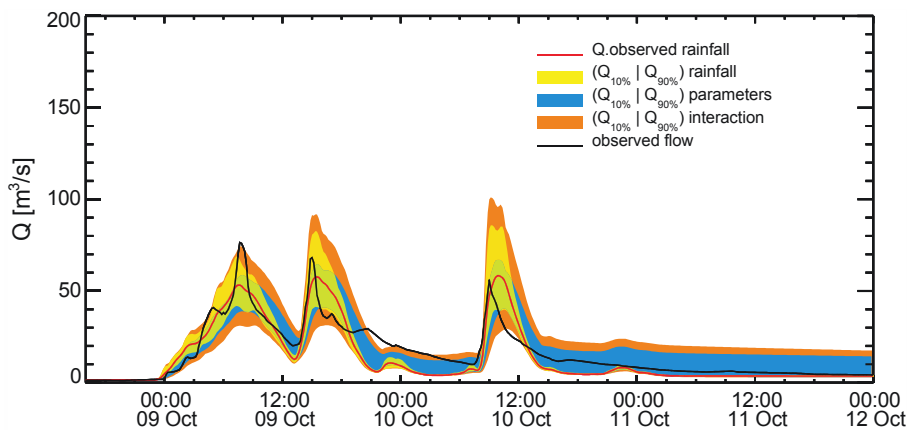


Figura 6. Anàlisi de la interacció de les fonts d'incertesa en la simulació hidrològica de l'episodi del 09-12 d'octubre de 2010 amb el mètode proposat per Quintero et al. (2012).

Aquests sistemes són molt més complexos que els mètodes basats en l'agregació de la pluja a cada punt i requereixen l'ajust dels paràmetres dels models de transformació pluja-escolament en base a observacions fiables de cabal en certs punts de la conca. D'aquesta manera, permeten generar previsions hidrològiques molt més realistes, però la seva utilització es limita a aquelles conques en què s'ha pogut realitzar una calibració, i a més a més existeix informació raonable per estimar el grau d'amenaça (el període de retorn).

Eines de visualització de suport a la presa de decisions

D'aquesta manera, els productes generats en el marc del projecte es resumeixen en:

- Previsions de pluja prevista entre 0 i 72 hores basats en la combinació de les previsions a molt curt termini i les previsions del Sistema de Predicció per Conjunts COSMO-LEPS.

Predicció d'avingudes.
Barcelona, 27 – 28 de novembre de 2013

- Estimació de l'amenaça d'inundacions a partir de l'anàlisi de les previsions de pluja drenada a cada punt del territori.
- Estimació de l'amenaça de l'ocurrència de corrents d'arrossegalls.
- Previsions hidrològiques a les conques pilot.
- Incertesa associada als productes anteriors.

Un dels reptes del projecte ha sigut la visualització dels productes generats per al suport a la presa de decisions. La plataforma de disseminació dels productes és una aplicació web que permet navegar a través dels productes en base a un servidor web de mapes, i inclou informació de punts crítics i punts amb

informació de les zones inundables (les Figures 7-10 mostren exemples dels productes generats).

CONCLUSIÓ

L'objectiu de l'eina desenvolupada en el marc del Projecte IMPRINTS és la identificació de les zones amb risc potencial d'afectació per avingudes torrencials i corrents d'arrossegalls, en àmbits territorials extensos i adaptat al funcionament operacional en temps real. Amb aquest objectiu s'hi han inclòs diferents tècniques per la previsió probabilística de pluges intenses i de la caracterització de l'amenaça amb l'objectiu de servir de suport a la presa de decisions davant de situacions de risc.

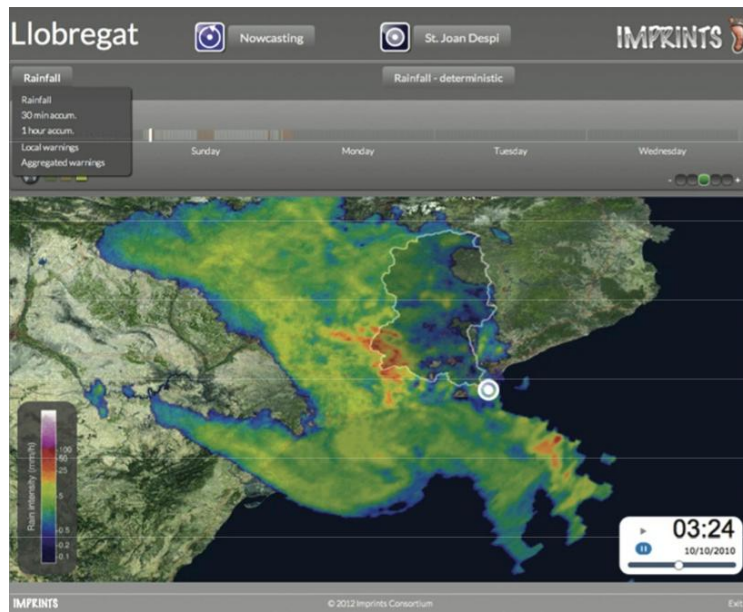


Figura 7. Captura de pantalla de la plataforma IMPRINTS per a la visualització del producte de previsió de pluja en base a radar.

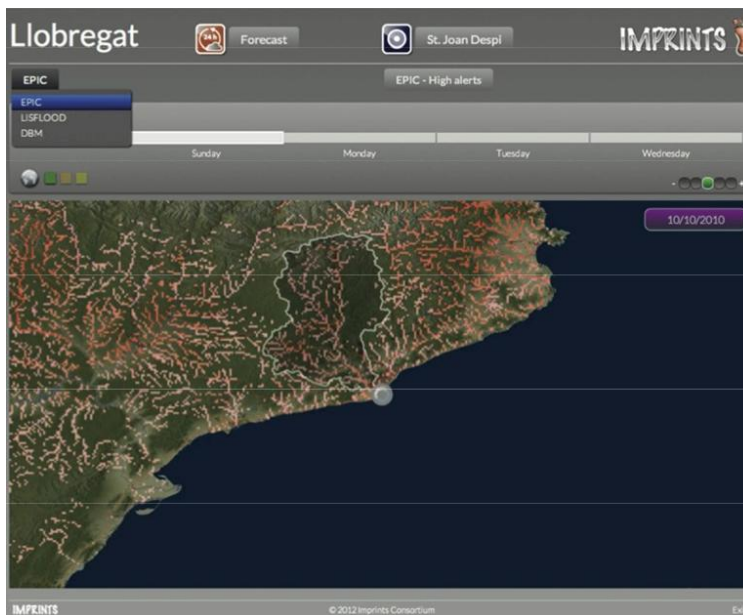


Figura 8. Captura de pantalla de la plataforma IMPRINTS per a la visualització del producte d'amenaça per pluja agregada.

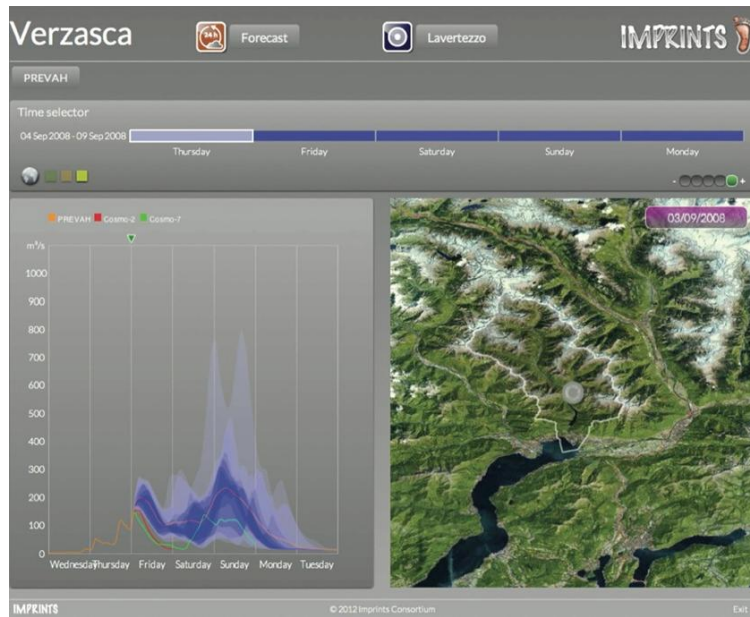


Figura 9. Captura de pantalla de la plataforma IMPRINTS per a la visualització del producte probabilístic de cabals simulats a la conca de Verzasca (Suïssa).

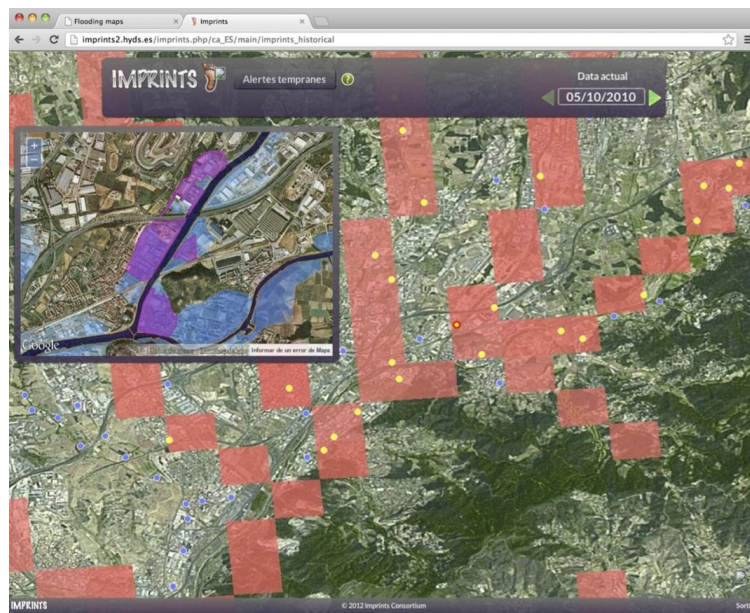


Figura 10. Captura de pantalla de la plataforma IMPRINTS per a la visualització del producte de detall d'un punt crític a la conca del Llobregat sobre el producte d'amenaça de la previsió de pluja drenada en base al sistema COSMO-LEPS.

REFERÈNCIES

- ALFIERI, L., P. SALAMON, F. PAPPENBERGER, F. WETTERHALL, i J. THIELEN, 2012: Operational early warning systems for water-related hazards in Europe. **Environmental Science & Policy**, 21, 35-49.
- ALFIERI, L., D. VELASCO, i J. THIELEN, 2011: Flash flood detection through a multi-stage probabilistic warning system for heavy precipitation events. **Advances in Geosciences**, 29, 69-75.
- ATENCIA, A., T. RIGO, A. SAIROUNI, J. MORÉ, J. BECH, E. VILA CLARA, J. CUNILLERA, M. C. LLASAT, i L. GARROTE, 2010: Improving QPF by blending techniques at the Meteorological Service of Catalonia. **Natural Hazards and Earth System Science**, 10, 1443-1455.
- BERENQUER, M., C. CORRAL, R. SÁNCHEZ-DIEZMA, i D. SEMPERE-TORRES, 2005: Hydrological validation of a radar-based nowcasting technique. **Journal of Hydrometeorology**, 6, 532-549.
- BERENQUER, M., D. SEMPERE-TORRES, i G. G. S. PEGRAM, 2011: SBMcast - An ensemble nowcasting technique to assess the uncertainty in rainfall forecasts by Lagrangian extrapolation. **Journal of Hydrology**, 404, 226-240.
- BERENQUER, M., M. SURCEL, I. ZAWADZKI, M. XUE, i F. KONG, 2012: The Diurnal Cycle of Precipitation

- from Continental Radar Mosaics and Numerical Weather Prediction Models. Part II: Intercomparison among Numerical Models and with Nowcasting. **Monthly Weather Review**, 140, 2689-2705.
- BERENGUER, M. i D. SEMPÈRE-TORRES, 2013: Radar-based rainfall nowcasting at European scale: long-term evaluation and performance assessment. **36th Conference on Radar Meteorology**, 15B.3.
- CORRAL, C., D. VELASCO, D. FORCADELL, i D. SEMPÈRE-TORRES, 2009: Advances in radar-based flood warning systems. The EHIMI system and the experience in the Besòs flash-flood pilot basin. *Flood Risk Management: Research and Practice*, P. Samuels, S. Huntington, W. Allsop, i J. Harrop, Eds., Taylor & Francis, 1295-1303.
- EUROPEAN COMMISSION, 2007: Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks.
- GERMANN, U., I. ZAWADZKI, i B. TURNER, 2006: Predictability of precipitation from continental radar images. Part IV: Limits to prediction. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 63, 2092-2108.
- HERNANDEZ, O., BERENGUER, M., SEMPÈRE-TORRES, D. i SANCHEZ-DIEZMA, R., 2010: Improving QPF by merging forecasts from nowcasting and NWP models. **6th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD2010)**. Sibiu, Romania.
- PANZIERA, L., U. GERMANN, M. GABELLA, i P. V. MANDAPAKA, 2011: NORA–Nowcasting of Orographic Rainfall by means of Analogues. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 137, 2106-2123.
- QUINTERO, F., D. SEMPÈRE-TORRES, M. BERENGUER, i E. BALTAS, 2012: A scenario-incorporating analysis of the propagation of uncertainty to flash flood simulations. **Journal of Hydrology**, 460-461, 90-102.
- SEMPÈRE-TORRES, D., D. VELASCO, M. BERENGUER et al., 2010: Chapter 4.2: Improving risk management for flash floods and debris flow events. **The water framework directive: Action programmes and adaptation to climate change**, Royal Society of Chemistry, Ed., 139-169.
- SMITH, P., BEVEN, K., PANZIERA, L. i U. GERMANN, 2011: Flash flood forecasting using Data-Based Mechanistic models and radar rainfall forecasts **Weather Radar and Hydrology**, IAHS Publ. 351: 562-567. Exeter, U.K.
- THIELEN, J., J. BARTHOLMES, M. H. RAMOS, i A. DE ROO, 2009: The European Flood Alert System - Part 1: Concept and development. **Hydrology and Earth System Sciences**, 13, 125-140.
- ZAPPA M, JAUN S, GERMANN U, WALSER A, i FUNDEL F., 2011: Superposition of three sources of uncertainties in operational flood forecasting chains. **Atmospheric Research**. Thematic Issue on COST731. Volume 100, Issues 2-3, 246-262.
- VERSINI, P.-A., M. BERENGUER, D. SEMPÈRE-TORRES, 2013: An operational flood warning system for poorly gauged basins. Demonstration in the Guadalhorce basin (Spain), **Natural Hazards**, Acceptat per publicació (novembre de 2013).

EXEMPLES DE SERVEIS D'AVISOS PRIMERENCS FRONT INUNDACIONS

Xavier Llorç, Álvaro Rodríguez, David Sancho i Rafael Sánchez-Diezma

Hydrometeorological Innovative Solutions (HYDS). Jordi Girona 1-3, K2M-S104. 08034 Barcelona.
xavi.llort@hyds.es

PARAULES CLAU: Early Warning Systems, Floods, Urban Floods, Weather Radar, Forecasting, Nowcasting, Hydrological Models, Hydraulic Models, Web Services, Cloud Systems.

INTRODUCCIÓ

Les inundacions són un dels desastres naturals amb més impacte sobre l'activitat humana i, de fet, el que té un impacte més alt en vides humanes i pèrdues econòmiques a Europa.

La resposta tradicional per fer-hi front ha estat a través d'obres civils (murs de protecció, preses, etc.), tot i això aquestes intervencions no garanteixen la protecció total en front a inundacions, a més de portar sovint altres efectes no desitjats (ecològics, paisatgístics, etc.).

En aquest context neixen els sistemes d'avisos primerencs front a inundacions (EWS en les seves inicials en anglès: Early Warning Systems) amb la idea d'anticipar les situacions de perill d'inundació, així com d'avaluar el seu potencial impacte, per a poder evitar o mitigar els seus efectes.

Els EWS per a inundacions basen la presa de decisions (o ajuden a la presa de decisions) en la disponibilitat d'informació hidrometeorològica en temps real. Aquesta informació pot provenir de diverses fonts:

- Models meteorològics de previsió numèrica. A partir d'observacions de la situació actual meteorològica i mitjançant equacions del comportament físic de l'atmosfera, proporcionen una estimació de l'estat per als propers dies. Així els models numèrics de previsió meteorològica poden proporcionar un avís amb dies d'antelació d'una situació potencialment perillosa, i per tant activar estats de "pre-alerta" davant d'inundacions.
- Radars meteorològics. Els radars meteorològics proporcionen una estimació del camp de pluja de forma centralitzada. Les estimacions estan subjectes a diversos errors inherents al procés de mesura del radar, però després d'un tractament adequat de les dades poden proporcionar una molt bona estimació del camp de pluja, amb una resolució (tant espacial com temporal) molt alta.

- Sensors. Els sensors aporten dades de l'estat actual de diverses variables en localitzacions puntuals, com per exemple pluviòmetres, o sensors de nivell/cabal de riu o en sistemes de drenatge urbà.

Els EWS en front inundacions treuen profit d'aquestes dades (o bé directament o bé a través de productes hidrometeorològics derivats) per a emetre i disseminar alertes d'inundació juntament amb informació auxiliar (potencial impacte, plans de protecció associats, etc.).

Les següents seccions descriuen l'estructura general dels serveis d'avisos primerencs i en mostren dos exemples: FloodAlert i Hidromet.

ESTRUCTURA GENERAL DELS SEVEIS D'AVISOS PRIMERENCS

L'estructura general d'un EWS en front a inundacions podria seguir el de la Figura 1:

- Un primer mòdul es l'encarregat de l'adquisició en temps real de les dades (senyors, radar, etc.) i l'emmagatzematge en una base de dades de dades brutes. També de l'adquisició d'informació de l'usuari: parametritzacions de models, nivells d'alertes per als diferents punts i variables, perfils d'usuari i protocols d'actuació, etc.
- Un segon mòdul processa les dades brutes per a corregir-les (control de qualitat) i emmagatzemar-les en un base de dades de productes hidrometeorològics a punt per a la generació de diversos productes derivats. En el cas d'algunes dades, com les observacions de radar meteorològic, pot ser un procés costós i delicat.
- Un mòdul per a la generació de productes avançats, per a donar resposta a les diferents necessitats específiques: acumulacions a diferents escales, combinació de diverses fonts de dades, productes d'alertes puntuals per superació de períodes de retorn, productes d'alertes agregades en conques tributàries, etc.
- Un mòdul específic per enllaçar els diferents productes hidrometeorològics generats amb models hidràulics o hidrològics que en facin ús.
- Un mòdul de càlcul d'alertes. Aquest mòdul s'encarrega de comparar en temps real els diferents productes generats i sortides de

models amb la configuració específica de cada usuari (nivells d'alerta, punts, ...) per generar les alertes corresponents.

- Ja fora del processat de productes, un mòdul se n'encarrega de la disseminació de la informació -ja sigui a través de visors, com de l'enviament d'alertes (Mails, SMS, etc.)- i de

l'activació de les accions corresponents configurades.

- El sistema es pot complementar amb un mòdul encarregat de monitoritzar el funcionament del propi sistema i avisar en cas d'incidències: falta de dades, errors en el processat, etc.

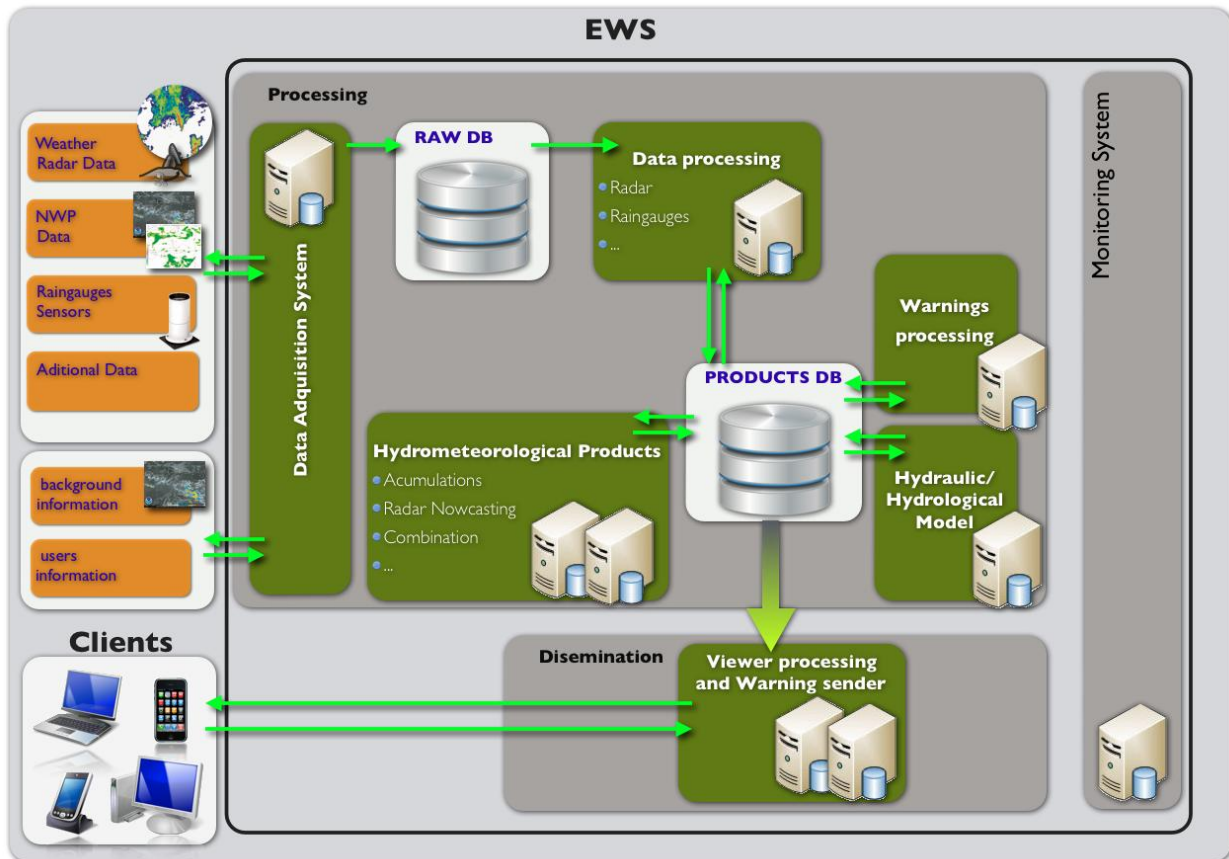


Figura 1 – Estructura general d'un sistema d'alertes primerenques en front a inundacions.

Tradicionalment aquest tipus de sistemes han estat basats en la instal·lació total als clients. Les tecnologies actuals juntament amb la popularització de dispositius mòbils capaços de connectar-se a internet des de qualsevol punt han obert les portes a EWS basats en tecnologies *Cloud* explotades a través de serveis Web.

En aquests sistemes *Cloud* el client envia en temps real les dades particulars (senyors específics del client) i aquestes són integrades en el processat en servidors remots juntament amb la resta de dades genèriques que són tractades de forma massiva. Per a la configuració del sistema i la visualització de resultats i recepció d'alertes, el client es connecta via web al servei.

Aquest canvi de paradigma permet:

- Accés al servei des de qualsevol dispositiu amb accés a internet.

- Reducció de costos lligats a informàtica: tant l'equipament com el personal de manteniment és proporcionat pel servei.
- Reducció de costos gràcies a compartir recursos entre clients (per exemple, el processat de diverses dades pot ser el mateix).
- Benefici immediat de millores introduïdes en el servei (millores o noves funcionalitats) o en el processat de les dades.

FLOODALERT

El FloodAlert fa ús de les observacions de radar per emetre alertes d'inundació locals i està pensat per al seu ús en zones urbanes.

Si bé les estimacions de precipitació basades en observacions de radar pateixen de diferents fonts d'error que s'han de tenir en compte en la cadena de correcció, són la forma més ràpida d'obtenir estimacions de la precipitació acumulada fiables, i

de la precipitació que probablement s'acumularà en el futur immediat (a través de tècniques de previsió a molt curt termini: Radar-Nowcasting, veure Berenguer et al. 2005). Aquesta previsió a molt curt termini és essencial en les inundacions urbanes on els temps de resposta són molt curts.

Amb aquesta idea, el FloodAlert combina el potencial de les tècniques de Nowcasting amb una plataforma de visualització i explotació avançada estructurada com anteriorment s'ha explicat.

Les dades de radar s'obtenen en temps real i són processades abans del seu ús per garantir un nivell òptim de qualitat. Acte seguit, amb tècniques de correlació creuada, s'obté el camp de desplaçament de la precipitació.

Aquest camp de desplaçament és usat per dues coses:

- En primer terme, s'usa per a l'extrapolació de les últimes observacions cap al futur immediat i així obtenir la previsió de precipitació en les properes dues hores.
- En segon terme s'usa per definir una zona d'observació al voltant de cada punt d'interès on es calcularan les alertes.

Aquesta regió d'observació és definida com una paràbola envoltant el punt d'interès orientada en la direcció d'on ve la precipitació i amb obertura variable segons la velocitat de la mateixa.

En aquesta regió és calcula el màxim sobre tres distàncies (5, 10 i 15 km) sobre l'acumulació de 30

minuts amb finestra mòbil; representaran les tres regions de proximitat on s'emeten les alertes.

Les alertes dintre de la regió d'interès es calculen sobre el producte d'acumulació de precipitació acumulada en 30 minuts, ja que és el més interessant per a les inundacions urbanes degudes a la superació de la capacitat de la xarxa de drenatge (veure Figura 2 per un esquema del flux de dades del FloodAlert).

A més a més, el FloodAlert es complementa amb un producte de màxim temporal d'acumulació per cada punt, que proporciona informació de les zones que en un futur immediat es veuran afectades per acumulacions que superen llindars pre-definits per l'usuari.

L'usuari pot definir els valors (en pluja acumulada en 30 minuts) dels tres nivells d'alerta. Aquests valors s'usaran per calcular en temps real les alertes de superació i l'execució de l'enviament d'alertes establert segons perfils configurables. Les alertes es calculen per a les tres distàncies de proximitat.

La configuració permet definir diferents usuaris amb dispositius associats (correus electrònics i missatges SMS), perfils d'usuaris (perfil de guàrdia, perfil de cap de setmana, perfil estàndard, etc.) i les alertes a les que cada perfil està associat.

Aquest visor web permet la configuració dels diferents usuaris, perfils i llindars d'alertes.

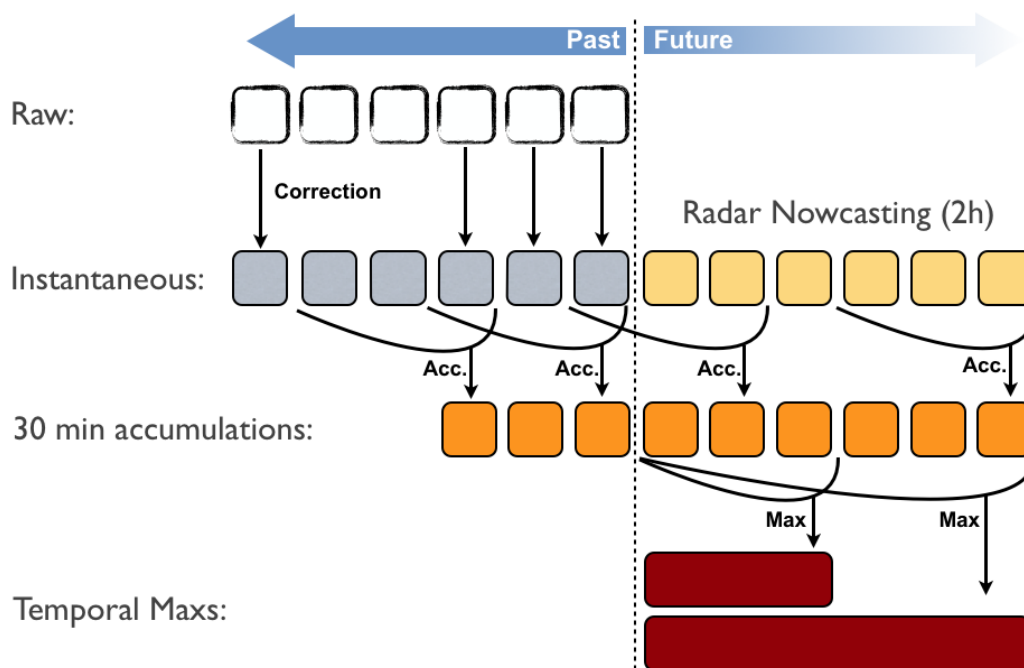


Figura 2 – Flux de dades i productes en el FloodAlert.

La part del visor del FloodAlert consta de tres parts:

- Una primera part que integra els avisos, o pre-avisos, que els diferents organismes oficials poden emetre.
- Una segona part que mostra les àrees que potencialment seran afectades en la propera hora i les dues properes hores, així com les alertes en els punts d'interès configurats.
- Una tercera part que mostra el detall de cada punt d'interès. Es mostren les observacions de les dues darreres hores així com la previsió per a les dues properes i les alertes associades.

La informació de precipitació es mostra de manera dinàmica sobre informació georeferenciada, permetent el canvi de la topografia així com l'ús de diferents nivells de zoom.

La Figura 3 mostra un exemple de correu electrònic d'alerta enviat el dia 29 d'Octubre de 2013 a les 14:20h, 90 minuts abans de l'aiguat que va afectar la ciutat de Palma severament (inundacions de diverses vies, talls d'electricitat i més de 200 trucades al 112). En la part superior es pot veure el producte de màxims temporals, que mostra les zones que en les properes hores són susceptibles d'acumular valors per sobre dels llindars pre-definits. Es poden apreciar unes grans zones amb previsió d'acumulacions superiors a 20 mm / 30 min i que en particular inclouen Palma. En la part inferior es pot veure el punt de Palma amb l'evolució temporal de la previsió d'acumulacions en 30 minuts. Es pot apreciar com la previsió indica que en uns aproximadament 90 minuts es preveuen acumulacions superiors a 35 mm / 30 min.

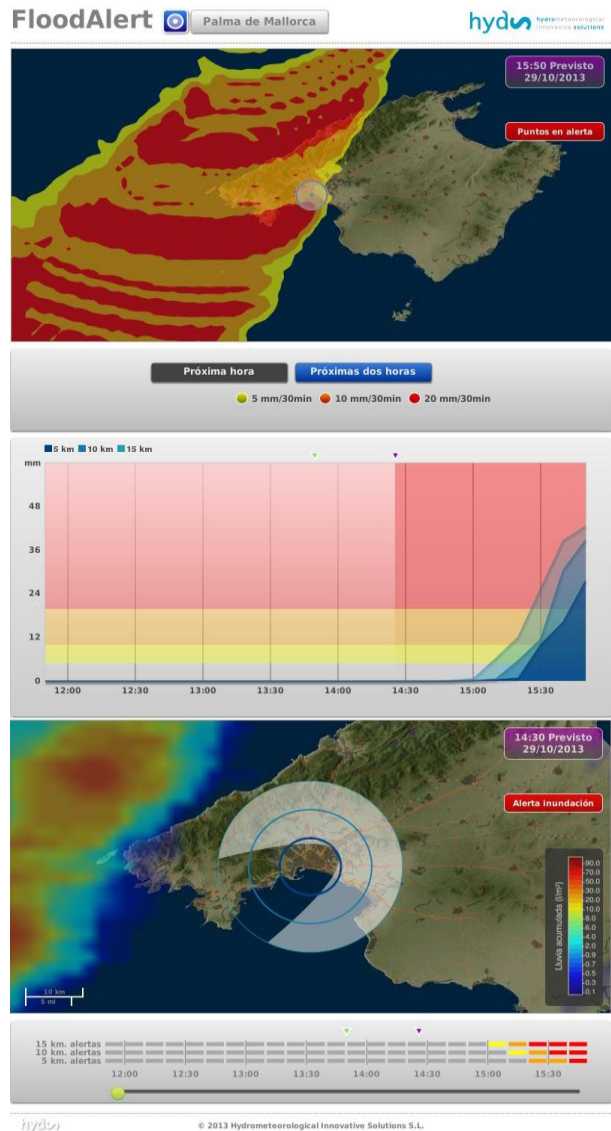


Figura 3 – Exemple de correu electrònic d'alerta enviat el dia 29 d'Octubre de 2013 a les 14:20h pel punt de Palma.

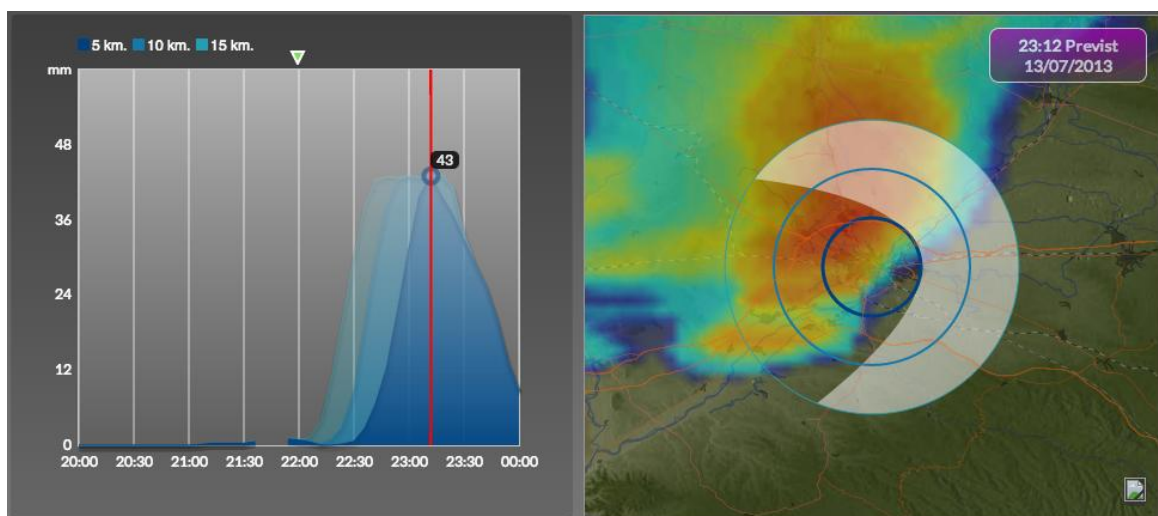


Figura 4 – Exemple del visor el dia 13 de Juliol de 2013 a les 22:00h pel punt de Lleida.

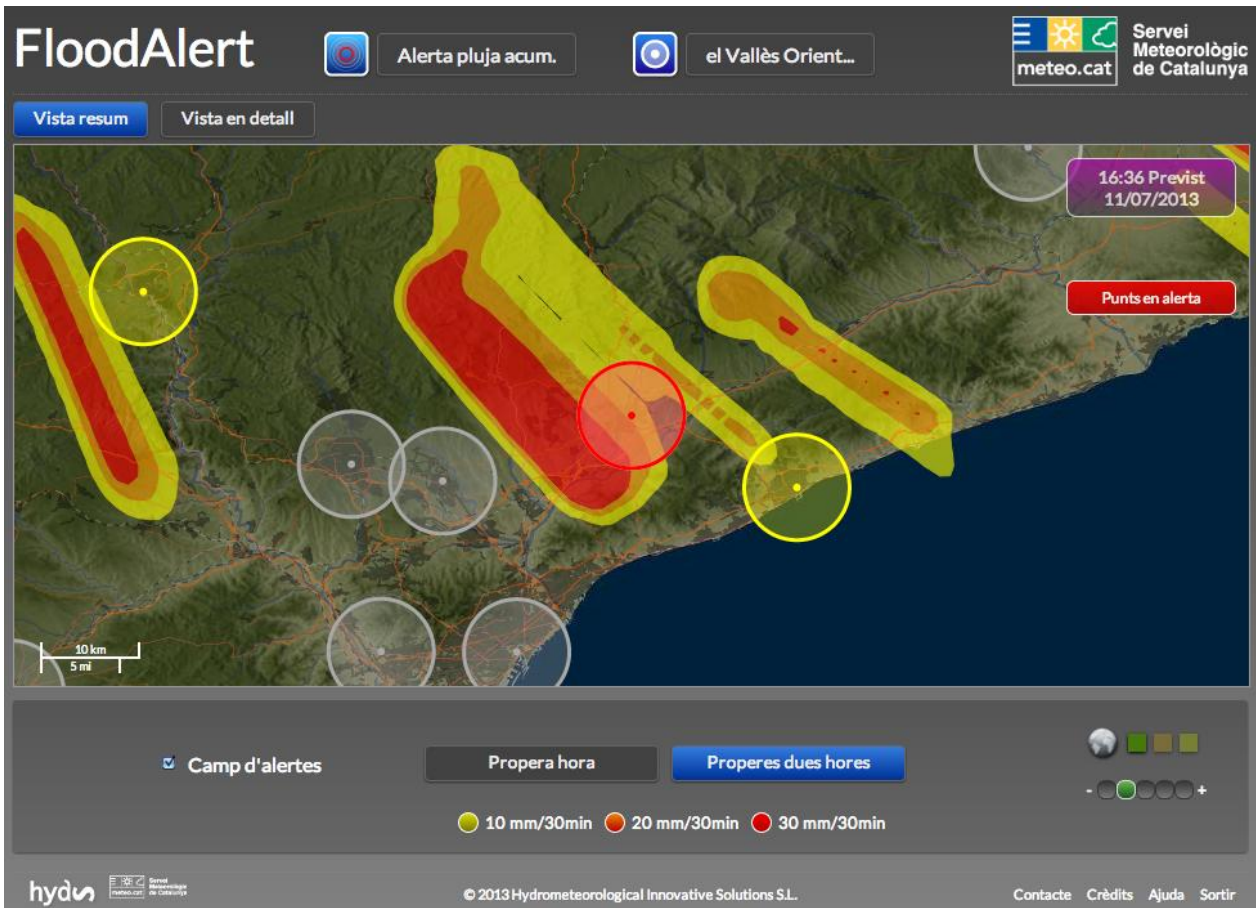


Figura 5 – Exemple del visor el dia 11 de Juliol de 2013 a les 14:36h en l'àrea del Vallès Oriental.

La Figura 4 mostra un exemple del visor el dia 13 de Juliol de 2013 a les 22:00, aproximadament 60 minuts abans de l'aiguat que va afectar Lleida capital (inundació de baixos, talls en les línies de tren, més de 200 trucades al 112 i 200 sortides dels bombers). En el panell de l'esquerra es pot veure l'evolució prevista de l'acumulació semi-horària pel punt de Lleida. Es pot observar com una hora abans preveu acumulacions superiors a 40 mm / 30 min (no hi ha franges d'alerta ja que l'usuari no tenia configurats llindars d'alerta). El panell de l'esquerra mostra un mapa del camp d'acumulació i la zona usada per al càlcul de la potencial afectació.

La Figura 5 mostra el camp de les zones en que a les properes dues hores es preveu la superació de llindars pre-definits el dia 11 de Juliol de 2013 a les 14:36h. Es pot veure com les tempestes provoquen zones amb acumulacions superiors a 30 mm / 30 min i el seu impacte en els diferents punts configurats.

Actualment el FloodAlert està disponible usant dades de la xarxa de radars de l'Agència Estatal de Meteorologia [AEMET] cobrint tot Espanya i usant dades de la xarxa de radars del Servei Meteorològic de Catalunya [SMC] cobrint Catalunya. Juntament amb SMC i l'empresa

Aqualogy s'ha realitzat una implementació per l'Ajuntament de Barcelona consistent en 5 punts de FloodAlert que permeten monitoritzar les diferents zones de la ciutat.

HIDROMET

L'Hidromet, de la mateixa manera que el FloodAlert explicat anteriorment, fa ús de les observacions de radar meteorològic per a gestionar episodis d'inundació. En aquest cas però, les estimacions de precipitació s'usen com a entrada d'un model hidrològic o hidràulic per a obtenir, no només alertes per acumulació de precipitació, sinó també alertes sobre l'impacte de la precipitació en la conca o xarxa de clavegueram.

La primera versió de l'Hidromet neix a partir d'un conveni amb CLABSA (entitat gestora del clavegueram de la ciutat de Barcelona) per al desenvolupament d'un sistema d'alerta primerenca basat en dades de radar per a la ciutat de Barcelona. Aquest sistema conjuntament amb Aqualogy és posteriorment evolucionat i transformat en un sistema *Cloud* que, com s'ha explicat anteriorment, permet:

- Un càlcul massiu de diverses dades (dades de radar, per exemple).

- Flexibilitat en les implementacions, podent oferir solucions adaptades a les necessitats puntuals de cada client.
- Temps d'implementació molt curts comparats amb els sistemes tradicionals.
- Reducció de costos significativa sobre sistemes tradicionals.

L'Hidromet, a més a més dels mòduls i característiques del Floodalert, incorpora:

- Les dades de sensors del client: pluviòmetres, sensors de nivell de riu o de la xarxa de clavegueram, etc.
- Encapsulació en *Cloud* del model hidrològic/hidràulic i execució en temps real.
- Visualització de les dades dels sensors, radar i resultats de les simulacions dels models.
- Possibilitat de configurar alertes sobre les dades de sensors y sobre els resultats de les diferents simulacions, i configuració per perfils d'usuari.

La Figura 6 mostra un exemple del mòdul de visualització dels resultats del model hidràulic. A l'esquerra es visualitza la gràfica dels valors del model en temps real per a l'element de la xarxa

seleccionat i a la dreta un mapa (amb capacitats de zoom) del resultat de la modelització sobre la xarxa de clavegueram.

Actualment l'Hidromet s'ha implementat juntament amb Aqualogy, a més a més del primer prototip a Barcelona, en:

- La Laguna (Tenerife), Granada, Múrcia i Cartagena utilitzant un model hidràulic SWMM de la xarxa de clavegueram.
- Santiago de Xile. Utilitzant un model HMS de la conca del Rio Mapocho.

AGRAIMENTS

Part del finançament per al desenvolupament dels exemples mostrats prové dels projectes europeus del 7é Programa Marc IMPRINTS (IMproving Preparedness and Risk maNagementT for flash floods and debris flow events; FP7-ENV-2008-226555) i CORFU (Collaborative Research on Flood Resilience in Urban areas; FP7-ENV-2009-244047).

REFERÈNCIES

Berenguer, M., C. Corral, R. Sánchez-Diezma, D. Sempere-Torres, 2005: Hydrological Validation of a Radar-Based Nowcasting Technique. *J. Hydrometeorol*, 6, 532–549.

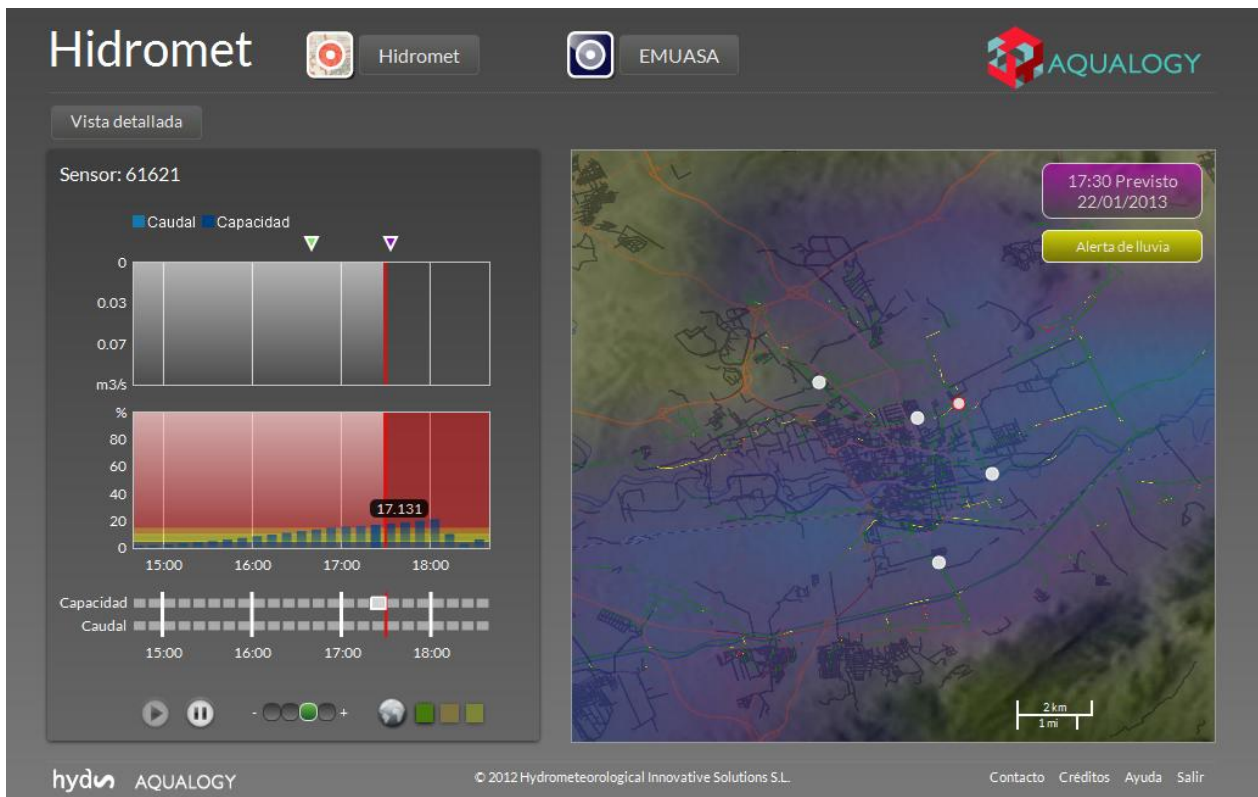


Figura 6 – Exemple de la visualització del resultat de la simulació del model hidràulic sobre la xarxa de clavegueram per a la implementació de Murcia.

Gestió del risc

PLANS DE PROTECCIÓ CIVIL PER GESTIONAR ELS RISCOS D'INUNDACIÓ

Núria Gasulla i Fdez.⁽¹⁾

(1) *Direcció General de Protecció Civil a. Cr. de la Diputació, 355. 08009 Barcelona.* ngasulla@gencat.cat

PARAULES CLAU: inundacions, protecció civil, gestió del risc, avaluació del risc, protecció, autoprotecció, emergències, plans, Inuncat

LES CARACTERÍSTIQUES DE LES INUNDACIONS I EL CONEIXEMENT DEL RISC

La planificació de protecció civil té com a objectiu la preparació de la resposta front a les situacions de greu risc col·lectiu. En aquest sentit, el pla especial d'emergències per inundacions a Catalunya (Inuncat) és l'eina bàsica de referència. En el procés de planificació la informació sobre els episodis històrics i els múltiples estudis en la matèria han identificat una sèrie de problemàtiques característiques dels escenaris d'inundacions a Catalunya que han de ser analitzades en profunditat a l'hora de dissenyar la millor estratègia de resposta a l'emergència i de protecció a la població exposada. Com a episodis extrems cal tenir molt present que per una banda són esperables situacions de risc que alhora combinen rapidesa en el desencadenament i gran intensitat i gravetat en els efectes que resulten prou probables com per esdevenir una prioritat de primer ordre en aquesta planificació de protecció civil. D'una altra, també poden produir-se situacions d'evolució més lenta però amb una potencial extensió de molta més envergadura, implicant poblacions numèricament molt més importants a ser protegides. En aquestes darreres situacions, són elements a considerar el fet de comptar amb més marge temporal per la protecció a la població i l'existència en alguns casos, de grans infraestructures com els embassaments que permeten una gestió de l'avinguda.

En tot cas, els elements en joc són importants. Els fenòmens ràpids i energètics posen en compromís de forma sobtada la vida i la salut de les persones i aquests o en altres casos d'evolució més lenta però més extensiva poden propiciar pèrdues molt importants en les propietats i les activitats. Com en el cas d'altres fenòmens naturals amb potencial catastròfic, la inundació té associada intrínsecament la idea de rehabilitació.

No cal oblidar que també poden ser importants els danys al medi ambient.

LA GESTIÓ DEL RISC D'INUNDACIONS

La combinació de l'esdeveniment de pèrdues importants amb una freqüència significativa és la base per la definició del concepte de risc. Quan més important es fa qualsevol d'aquests dos factors més necessari és introduir mecanismes del que s'anomena **gestió del risc**, és a dir, d'accions per la intervenció en algun dels dos components, sigui minimitzant els danys, sigui fent-ho en la freqüència dels fenòmens que els fan possibles.

En tot cas, la gestió del risc és un procés tècnic complex i racional que té com a base el coneixement del risc i la seva avaluació i limitació a partir de consideracions sobre els drets i les garanties de seguretat i protecció socialment acordades. La conclusió directa d'aquest procés d'avaluació és la presa de decisions i l'execució d'actuacions preventives, limitatives o de reparació.

Anàlisi del perill. Per al control d'aquest procés és important en primer lloc analitzar el perill, és a dir, caracteritzar el fenomen en abast i freqüència i

els seus possibles efectes. Pel que fa al del risc d'inundacions, això es concreta en primer lloc a partir de la delimitació de zones potencialment afectades per fenòmens amb freqüències calculables (a l'inuncat es determinen les zones inundables amb recurrència de 500, 100, 50 anys). El càlcul de les conseqüències és possible a partir de la determinació de paràmetres com la velocitat, el calat, etc., que permeten avaluar la intensitat de les efectes i per tant dels danys. Finalment, s'introdueixen els elements majorants i minorants en el perill: els riscos geològics associats o d'altres de potenciació de fenòmens per l'ocupació de l'espai, els mecanismes de mitigació com els de gestió de l'avinguda (preses, canalitzacions), i les defenses que actuen com a protectores o retardants dels efectes.

Estudi de la vulnerabilitat. Un cop conegut el fenomen i la seva freqüència, es procedeix a l'estudi de la vulnerabilitat front a l'escenari de perill, en base a la presència i capacitat de resistència d'elements vulnerables o especialment vulnerables, béns, activitats, medi ambient, etc.

La vulnerabilitat es determina en primer lloc i principal per la presència física de poblacions i elements en les zones exposades, a partir de l'ocupació del territori. Els mètodes d'anàlisi de la vulnerabilitat d'aquests elements permeten avaluar les pèrdues previsibles pels escenaris esperables.

La valoració de la vulnerabilitat en termes físics és molt important, però resulta més completa si s'analitza també el funcional reactiu quan la situació és activa, és a dir, en el moment de l'emergència. Els sistemes i recursos de gestió de les emergències i de protecció a la població, el com es gestiona i es protegeix a la població poden determinar un grau més o menys important de vulnerabilitat. Dins d'aquest element cal introduir també la mesura de la col·laboració activa del ciutadà i les activitats directa o indirectament afectats, és a dir, com de segura és l'autoprotecció (corporativa i ciutadana), els mecanismes d'informació, preparació, col·laboració de voluntariat, etc.

La inundació és un risc natural condicionat per elements antròpics i és aquest un punt de partida important en la determinació de la millor estratègia de gestió del risc, que en definitiva és un dret i també una expectativa de la població. Intrínsecament, planteja un lliandar de referència pel que és socialment acceptable i és important analitzar en detall quin ha de ser sota les tres possibles perspectives: a) la vida i la salut, b) els béns, propietats i activitats, c) el medi ambient i els seus elements d'especial protecció.

Val la pena tenir en compte que el procés racional d'avaluació i gestió del risc aporta informació de detall que permet identificar el que pot ser acceptable pel que fa a perill i vulnerabilitat i per a la presa de decisions pel que fa a la gestió de l'existent i de les noves implantacions. D'altra banda, també permet determinar lliandars d'acceptació voluntària del risc.

Protecció a les població. Pel que fa a a), és a dir, la protecció de la vida i la salut de la població i des de la perspectiva de la normativa de protecció civil, en la definició dels escenaris de referència cal comptar com a mínim amb els delimitadors de zones inundables amb recurrència màxima creïble (500 anys) d'acord amb la normativa. En el plantejament del lliandar de referència per la vulnerabilitat com a garantia universal front a emergències col·lectives (és a dir, a banda del que pot considerar-se un lliandar superior acceptat de forma voluntària) és important introduir el conceptes de gestionabilitat de l'emergència o criteri de viabilitat de protecció. Aquest criteri es fonamenta en la capacitat de resposta amb les millors tecnologies i procediments durant l'episodi tot identificant el que és o no materialment possible de protegir o autoprotegir-se. Hi ha un factor determinant, bàsic en l'anàlisi funcional clàssic de la resposta a l'emergència i que fonamenta aquest criteri, que és el **temps de resposta**. És a dir, el temps necessari versus el disponible per la detecció, avís i protecció (evacuació o refugi). En aquest sentit, el càlcul del temps d'evolució del fenomen perillós i el de gestió de l'emergència fins a condició de seguretat s'esdevé essencial sobretot front a escenaris límit: situacions de risc molt ràpides o amb gestió de

grans poblacions. És important la introducció dels factors optimitzadors de la gestió fins a les condicions teòriques òptimes (millors tecnologies i procediments). Sota aquesta òptica, la gestió del risc front a l'emergència col·lectiva pot tenir com a fonament la següent premissa:

TEMPS AFECTACIÓ > TEMPS (DETECCIÓ + AVÍS + PROTECCIÓ)

PLANS DE PROTECCIÓ CIVIL PER GESTIONAR ELS RISCOS D'INUNDACIÓ

Característiques dels plans de protecció civil

Un cop introduïda la idea de gestió del risc des de l'òptica de l'emergència col·lectiva, cal valorar el paper del la seva eina fonamental, el Pla de Protecció Civil (en aquest cas l'Inuncat), en aquest procés.

En primer lloc cal aclarir que seu objectiu no és la gestió del risc sinó la protecció de la població durant l'emergència. Tot i això, identifica el risc o els escenaris d'emergència i n'estudia la vulnerabilitat. Pel que fa a l'anàlisi del risc, el Pla preveu una millora continuada, i en aquest sentit l'estudi ha d'incorporar el millor coneixement progressivament aprofundit, estudis específics, concrecions d'escala, etc.

Altres característiques i objectius del Pla:

- Estructura una organització que implica administracions, empreses i ciutadania i estableix procediments de gestió pels diferents moments de l'emergència:
 - Anticipació a l'episodi en base a la predicció: fases preventives (pre-alerta, alerta).
 - Episodi actiu, danys: emergència 1, emergència 2
- Identifica la mesura de protecció al ciutadà més adequada.
- Es recolza en un sistema de plans i procediments a diferents escales i especialitat operativa: municipal (Plans d'actuació municipal), activitats i centres vulnerables (Plans d'autoprotecció), operatius (plans d'actuació de grup, procediments operatius, etc.)

- Preveu mecanismes d'informació a la població perquè conegui el seu rol i el millor comportament per l'autoprotecció.

El pla de protecció civil és, doncs, un instrument:

- Dissenyat per la gestió de l'emergència, no la gestió del risc.
- Per la delimitació d'escenaris: l'estratègia operativa necessita de la identificació del perill i la vulnerabilitat.
- Que busca l'organització i la previsió dels millors recursos per la protecció activa a la població (front a un fenomen molt probable o actiu).
- Que s'alimenta de l'emergència, ajusta el pla teòric de la conceptualització del risc a la realitat de l'emergència i la practicitat de la seva gestió. L'experiència demostra que múltiples elements que configuren la realitat de la potencialitat del risc, s'escapen sovint en els plantejaments teòrics.
- Que necessita del coneixement concret del factor temps de l'emergència i de les millors solucions i per tant estratègies per la protecció a la població per a cada situació i condicionants.
- Que requereix de la viabilitat prèvia de la capacitat de protecció o autoprotecció. Està limitat en la seva garantia d'actuació a l'estratègia prèvia de gestió del risc que s'hagi adoptat i per tant pot avaluar què és important prioritzar en el procés de gestió per ser eficient, a la pràctica.

El pla de protecció civil, com l'emergència, és el darrer procés de la prevenció previ a la pròpia emergència:

- És el que acaba tenint la fotografia més clara de què pot passar i quina viabilitat es tindrà per protegir el ciutadà. Té la visió integrada final, amb la complexitat de les diferents escales i participants (anàlisi del risc i procedimentació) malgrat les dificultats per aconseguir el desenvolupament dels treballs de detall (plans d'actuació, plans municipals, d'autoprotecció).

- El procés final marca un llindar bàsic, inferior, per a la gestió del risc i de la integració de risc i territori: la viabilitat de la protecció (protecció a la vida).
- Atesa la seva vocació d'identificació del risc (bens, activitats) i la integració de tots els involucrats i afectats, pot aportar elements per a la definició de llindars de risc acceptable per aquestes finalitats.
- El risc és el concepte base de treball de la protecció civil, que a més n'aporta la seva visió transversal per a altres tipus de situacions d'emergència natural, tecnològica, etc. (ex. situacions de risc natural que provoquen accidents greus, natech).

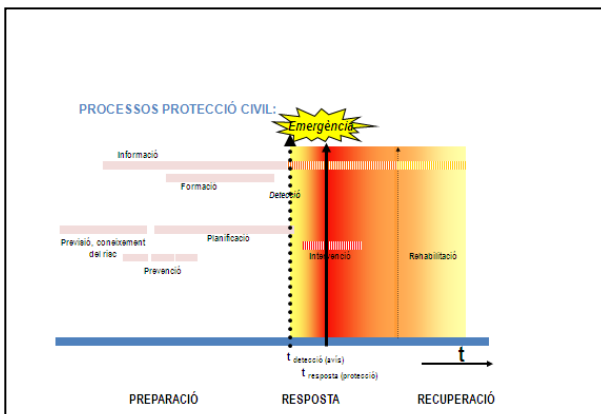


Figura 1 – Processos de protecció civil. Planificació.

Un cop descrits els objectius i característiques dels Plans, podem analitzar quin paper poden jugar per gestionar els riscos d'inundació:

- Pot ajudar a determinar l'escenari límit en la capacitat de gestió (capacitat de protecció) segons els millors procediments i tecnologia. Pot tenir un paper actiu molt important en la determinació del llindar límit acceptable pel compromís a la vida i la salut: població protegible. Això alimenta uns criteris de protecció civil que poden ser base per la gestió del risc.
- Pot explorar la viabilitat de sistemes de protecció límit: detecció i avís d'eficàcia suficient front a situacions d'evolució molt

ràpida, sistemes de protecció excepcionals per reduir el temps de protecció, etc.

- Les condicions de protecció per l'escenari límit acceptable són prèvies. No és l'instrument per solucionar situacions inviables des del punt de vista de la gestibilitat del risc, perquè el que fa és organitzar la millor resposta front a una situació, no reduir el perill o la vulnerabilitat "físics". No aporta noves solucions a la realitat del risc i pot induir a l'expectativa (activitats, població) que te la capacitat de fer-ho.

En la figura 2 es detalla dins l'esquema lògic de procés d'anàlisi i decisió sobre el risc, la interrelació entre els plans de gestió del risc d'inundacions i l'Inuncat i els seus plans i procediments associats.

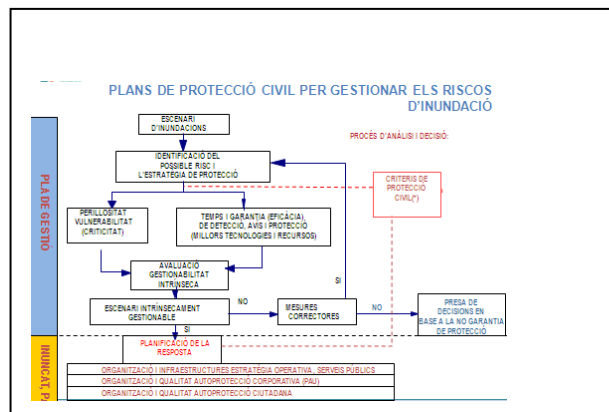


Figura 2 – Inuncat i Plans de gestió del risc. Procés d'anàlisi i decisió.

CONSIDERACIONS FINALS

En el procés de gestió del risc s'han de plantejar uns **objectius finalistes** d'avaluació i protecció.

La Protecció Civil, l'organització pròpia de la qual és coordinadora de la planificació d'emergències, també cobreix totes les fases de la gestió dels riscos col·lectius i la interrelació entre tots els riscos i **té un paper clau en el procés**.

Els elements bàsics per la gestió de les inundacions, i especialment en les que coincideix rapidesa i criticitat, és el **coneixement del risc i l'anàlisi de l'estratègia de protecció**. Per garantir la seguretat de la població que es troba en zona de risc front a aquests escenaris, és necessari tenir **temps de detectar, avisar i protegir** i tenir garanties (fiabilitat) en l'execució d'aquestes accions.

La gestió del risc d'inundacions ens porta a la necessitat de conèixer amb precisió la intensitat, localització i temps d'evolució del fenomen, quines infraestructures o tecnologies ens poden ajudar a minimitzar els seus factors limitadors i com prendre decisions si no hi ha garantia de protecció intrínsecament, sobretot respecte a les noves implantacions d'elements vulnerables. Ens obliga a evolucionar del plantejament de zonificació clàssica al **coneixement dinàmic del fenomen d'inundació** i això hauria estratègic en els treballs tan costosos derivats de la directiva d'inundacions que tenen com a objectiu la gestió d'aquests riscos. En aquest terreny, les noves oportunitats tecnològiques són un important recurs, una gran oportunitat.

El pla de protecció civil alimenta i condiona el procés de gestió del risc pel que fa a la integració del coneixement del risc i l'operativitat en l'emergència.

Finalment, el **ciutadà pot ser un element actiu** en el procés, tant pel que fa al dret al coneixement del risc com al criteri d'acceptació social o d'assumpció voluntària del risc.

GESTIÓ DEL RISC EN CLAU MUNICIPAL

Marta Molins Paronella

Ajuntament d'Arenys de Mar. Riera Bisbe Pol, 8. 08035 Arenys de Mar. molinspm@arenysdemar.cat

PARAULES CLAU: Arenys de Mar, Inundacions, risc, municipi.

Resum

En aquesta presentació es pretén plantejar el tractament local de la gestió del risc des d'una perspectiva de l'autoprotecció, entenent la protecció civil com un servei públic. D'aquesta manera es tracta de determinar les demandes i necessitats del municipi d'Arenys de Mar pel que fa a la gestió del risc, identificant-ne les fortaleses i debilitats del sistema, definint quins són els reptes que caldrà afrontar durant l'elaboració del Pla de gestió del risc d'inundacions.

Arenys de Mar, a l'igual que d'altres municipis del Maresme o dels propis amb una climatologia o geografia similar, es produeixen episodis d'augment sobtats dels cabals de les rieres que el travessen on, a més a més, una part de les seves lleres han estat integrades a la trama urbana, i en el que els problemes derivats de la manca de capacitat de la xarxa de drenatge urbà és la principal causa d'inundacions i els problemes derivats de la dinàmica litoral no han estat resolts.

La integració en un Pla de mesures d'aquestes problemàtiques, suposa un repte important alhora d'incloure les diverses vessants sectorials (urbanística, protecció civil i hidràulica), pla que ha de permetre donar una resposta suficient d'acord amb les capacitats pròpies del municipi (econòmiques i socials) i en el que es fa necessari articular les corresponsabilitats en el desenvolupament de determinades actuacions per part dels ens supramunicipals.

El projecte que en el seu moment es va redactar i que ha estat objecte de sol·licitud de diverses subvencions, s'ha vist com una oportunitat que permeti tenir en compte les particularitats derivades d'unes circumstàncies i la necessitat de donar compliment a una normativa complexa, en el que la implicació de les administracions supramunicipals, es fa imprescindible per tal de complementar i facilitar l'escassetat de recursos dels que disposa un ens local.

Introducció

Catalunya concentra una orografia molt variada, amb serralades, depressions, pics (que arriben als 3.000 metres als Pirineus) que ha configurat una ocupació del territori que en molts casos ha estat molt lligada als rius i a la franja costanera.

El món local majoritàriament (87% dels 949 municipis de Catalunya tenen una població inferior als 10.000 habitants) està configurat per municipis petits amb pocs recursos tècnics i humans. Alhora, el fet d'haver de donar servei a moltes urbanitzacions i a una població estacional que es pot veure doblada als mesos de vacances, dificulta l'organització de recursos propis dels ajuntaments.

Tram de població	Municipis	Població	% municipis	% Població
Més d'1 milió	1	1.620.943	0,1	21,4
500.001 a 1 milió	0	0	0	0
200.001 a 500.000	4	901.650	0,4	11,9
100.001 a 200.000	5	625.676	0,5	8,2
50.001 a 100.000	13	931.744	1,4	12,3
20.001 a 50.000	43	1.246.008	4,5	16,5
10.001 a 20.000	57	819.149	6,0	10,8
5.001 a 10.000	89	624.508	9,4	8,3
1.001 a 5.000	256	595.110	27,0	7,9
501 a 1.000	154	112.022	16,2	1,5
101 a 500	301	80.391	31,7	1,1
Menys de 100	26	1.913	2,7	0,02
Total	949	7.559.114	100	100

Figura 1 – Taula resum del nombre de municipis agrupats per tram de població. Font Wikipedia dades 2011

Tot i aquesta realitat territorial, la majoria de les normatives no tenen en compte aquest fet, i els requeriments i nivells d'exigència són en general els mateixos pels grans municipis (23 municipis de més de 100.000 habitants és a dir un 2,4%) que pels petits.

Antecedents a Arenys de Mar

Arenys de Mar és un municipi de la comarca del Maresme, amb una superfície de 6,5 quilòmetres quadrats, amb una població de 15.226 habitants (a 1 de gener de 2013). La riera d'Arenys és l'eix central de tota l'activitat local, en el que s'hi troba el centre comercial i l'activitat turística del municipi.

Les infraestructures i els efectes de la intervenció urbanística

La riera d'Arenys de Mar, es va canalitzar en diverses fases: l'any 1992 des de la part baixa fins a l'eix central i l'any 1999 es va executar la part alta, restant l'execució d'una part intermitja, ja projectada i en tràmit de licitació.

Aquestes actuacions han suposat millores, tant en l'àmbit de la mobilitat com de la seguretat i gestió del risc de rierades al municipi, si bé, el seu impacte i efectes respecte la impermeabilitat del sòl i la diferència de cotes respecte l'entrada del mar, requereixen d'actuacions encara no resoltes, alhora que d'un manteniment costós.

Així mateix, l'autopista AP-7, per la part alta, la N-II i la línia ferroviària C-1 de Rodalies a la part baixa, han comportat un augment del grau d'impermeabilització del sòl amb les conseqüents alteracions del règim de transformació precipitació- escolament (pluja- cabal).

A més a més, cal tenir en compte que hi ha una multitud de rials i torrents que van ser soterrades i sobre les quals el municipi va créixer. Entre aquestes i pels problemes que comporta, destaca el rial de Bareu, tractament específic que va ser objecte d'un conveni signat amb l'ACA, actualment sense efectes, per la denúncia de la mateixa Agència i en que les actuacions de minimització del risc resten pendents.

El municipi és conscient i conseqüent amb les disposicions que emanen de la directiva d'inundacions, quan entén que la gestió del risc no ha de passar únicament per l'adopció de mesures estructurals, buscant per si mateix recursos propis i recursos externs per donar cabuda a la realitat que té i a la normativa d'obligat compliment.

La normativa en matèria de protecció civil i el seu compliment

Progressivament amb el creixement d'una cultura de la governança de la seguretat local i la gestió del risc des del model de l'autoprotecció, articulada amb els Plans d'actuació municipals (PAM), ens veiem obligats a qüestionar-nos, des de les trinxeres que són els ajuntaments, i en relació a les demandes ciutadanes, el següent:

- Quina resposta s'espera i quina veritablement pot donar un ajuntament en termes de gestió del risc?
- Qui ha d'assumir allò a on no arribin els ajuntaments?
- Què valorem com a "suficient" per la gestió de l'autoprotecció?
- Tenen els ajuntaments els recursos necessaris, criteris i la preparació per poder redactar els plans d'autoprotecció?
- Quins principis d'actuació caldria tenir en compte per fer una bona gestió del risc efectiva i eficaç?
- Com fixem el llindar de risc assumible? És lícit fixar diferents nivells en funció de les casuístiques i condicionants?

En el marc legal actual, entenem que la protecció civil es configura com un servei públic que, conforme el marc competencial vigent, correspon als ens locals l'elaboració i aprovació dels plans municipals corresponents i l'aprovació dels plans d'autoprotecció.

Actualment Arenys de Mar disposa d'un Pla Bàsic d'Emergències, pendent de revisió, alhora que resta pendent també la redacció del Pla d'actuació municipal d'inundacions al que està obligat de tramitar i homologar.

Demandes i necessitats a Arenys de Mar

Pel que fa a les demandes relatives a la gestió d'inundacions, les més importants són les següents:

- Necessitat d'analitzar els problemes de drenatge urbà, que és un dels problemes més rellevants pel que fa a l'afectació en la vida quotidiana dels ciutadans d'Arenys.
- Resoldre la problemàtica de molts dels cursos de menor entitat, tant en termes correctius com de manteniment.
- Resoldre la problemàtica de la dinàmica litoral, tenint en compte que l'impacte de les infraestructures actuals no ha estat resolt en la seva totalitat.
- Millores d'eines de predicció, amb l'aprofitament de les possibilitats que ens ofereixen les tecnologies emergents.
- Suport en el desenvolupament de plans i programes per part d'entitats amb més recursos tècnics i humans.
- Suport per a la captació de nous recursos, generant sistemes de subvenció pública que entrin en plantejaments de planificació i no únicament d'execució d'obres.

Principis d'actuació en la gestió del risc- Anàlisi de les fortaleeses i debilitats del sistema actual

A partir de l'anàlisi de les demandes i necessitats descrites, tenint en compte que el punt de partida no és zero, considerem que els principis d'actuació per a una bona planificació de la gestió del risc parteix d'aquests dos:

El principi d'integració, això vol dir desenvolupar un sistema de gestió integral que detecti els punts i elements claus a gestionar en base al coneixement del perill, alhora que doni resposta immediata, permetent determinar els llindars i criteris d'actuació de pre-alerta, alerta, emergència i recuperació. Aquestes accions han de fomentar i establir les vies per establir mesures que permetin millorar la resiliència. És un element fonamental pel compliment del mateix, efectuar una coordinació homogènia dels serveis que intervenen i que, en qualsevol cas, aquesta integració a nivell de governança prevegi, en tot moment, el fàcil accés dels ciutadans en la cadena de gestió independentment de l'ens que facilita la informació o el servei.

El principi de gradualitat, aplicar un sistema que permeti l'activació de mesures i aplicació de recursos, això vol dir que prèviament caldrà haver establert els criteris per poder valorar la perillositat i el risc.

Un breu anàlisi de les fortaleeses i debilitats del sistema actual i les possibilitats de l'ajuntament, que haurà de ser tingut en compte en el moment que es planifiqui com gestionar els riscos al municipis, és el que segueix:

Fortaleeses	Debilitats
Molta informació disponible	No sempre és fàcil de trobar i d'interpretar si no ets un expert. Hi ha informació discordants. Desconeixement de la informació per part de moltes administracions. Tractament adequat de la informació.
Marc legal ampli i desenvolupat amb reglaments	No té en compte la realitat territorial. Dificultat tècnica d'aplicar-les d'acord amb la situació i condicionants actuals. Necessitat de suport dels tècnics d'administracions supramunicipals per a

	interpretar la normativa, en tant experts en matèries tant específiques. Contradiccions entre les normatives sectorials. Manca de criteris que desenvolupin casos "especials". Per exemple Implementació en la normativa de planejament i d'edificació que determinin formes de mitigació del risc i imposin l'adopció de mesures de prevenció.
Experiència acumulada per la diversitat territorial i professionalitat dels tècnics	Carències importants a nivell de governança i coordinació. Cal millora la coordinació de l'administració local amb entitats supramunicipals
Exigències reals	Pocs recursos tècnics en les fases de la cadena del risc (mitigació, preparació, resposta, recuperació)
Projectes "glocals" que poden ser aplicables a altres municipis amb característiques similars	Coordinació de criteris a desenvolupar amb altres municipis
Valor ambiental en la gestió del risc	Zonificació de la xarxa fluvial en base a criteris que permetin la seva preservació
Accés a la informació ambiental	Adopció de sistemes d'informació en xarxa. Necessitat d'integrar el bigdata.

Figura 2 – Taula resum de les fortaleeses i debilitats del sistema actual. Font Elaboració pròpia

Reptes per a donar compliment a la directiva d'inundacions

Cal tenir en compte la realitat territorial del món local Català, desenvolupant informació i productes que puguin ser utilitzats i integrats realment, tenint en compte que tots en som beneficiats, aplicant bones pràctiques i les millors tecnologies disponibles, amb el benentès que no comportin despeses innecessàries.

Cal simplificar les normatives, fent-les més flexibles i conseqüents amb la realitat territorial, per donar oportunitats a que puguin ser realment aplicades i implementades, alhora que permeti un marge per tal que els/les tècnics/ques puguin interpretar de forma ajustada i motivar allò que cal fer.

Segurament ens cal prèviament a la posada en marxa de tot aquest operatiu "2015" efectuar un procés d'internalització del risc, per tal d'aprendre a governar-lo adequadament fent un ús convenient dels instruments dels que disposem, que permeti millorar-los per tal que es converteixin en quelcom realment útil i operatiu, i no merament amb instruments que donin resposta a un marc legal .

Agraïments

Agrair a l'Agència Catalana de l'Aigua l'oportunitat que ens ha ofert de poder participar en aquestes jornades.

Agrair a l'ajuntament per haver tingut la sensibilitat de permetrem participar a la jornada, invertint un cop més en aquelles línies que tenen detectades com estratègiques per dotar el municipi de millors condicions.

Agrair les persones de l'equip de l'Ajuntament la feina feta i pel suport i ajuda que m'ha permès elaborar aquest resum.

Regalar-vos una frase per acabar i per compel·lir-nos a seguir treballant:

LA SEGURETAT MUNDICÈNTRICA

L'home es troba (...) que té més valor un pany que allò que guarda.

Pere Calders (La ciutat cansada, 2008)

GESTIÓ DEL RISC EN CÀMPINGS

Marta Cortina i Cortina ⁽¹⁾

Ramon Solsona i Vila ⁽²⁾

- (1) *Presidenta Associació Professional d'Empresaris de Càmpings i Ciutats de Vacances de Lleida. Av del Segre, 7, Lleida, federacio@hostaler.org*
- (2) *Secretari, Associació Professional d'Empresaris de Càmping de Lleida, av del segre, 7, Lleida, ramonsolsona@hostaler.org*

PARAULES CLAU: gestió del risc, càmpings, Lleida, inundacions.

Resum

Es fa una breu presentació del sector dels càmpings de Lleida, informant en relació a qui som, com hem evolucionat, cap a on anem, quina és la nostra situació actual i les propostes de futur i incidint en els principals esculls que tenim detectats i hem de ser capaços de resoldre complementant i facilitar l'escassetat de recursos dels que disposa un ens local.

Qui som?

L'associació de càmpings de muntanya de Lleida, representa a 55 càmpings situats en un alt percentatge a les zones de muntanya de Lleida. Representa aproximadament 20.000 places turístiques, el 50 % del total a Lleida. Al Pallars Sobirà tenim 18 càmpings amb unes 8.500 places.

Un càmping mig té unes 150 parcel·les, fet que implica unes 450 places. Es tracta doncs de microcàmpings, si tenim en compte que la normativa de protecció civil de l'estat Espanyol, diferencia la necessitat d'elaboració de Plans d'autoprotecció en funció de si hi ha més de 2.000 places o no.

Quina és l'evolució del sector?

Els primers càmpings a Lleida es van instal·lar als anys 70, el primer a la Seu d'Urgell a mitja dècada. Als anys 80 és quan es produeix la gran expansió i entren en servei la gran majoria dels que tenim a l'actualitat.

Als anys 90 érem líders de turisme d'interior a Espanya, tant en nombre de pernoctacions com en la qualitat de les instal·lacions; aquestes tenen l'autorització (llicència) municipal d'activitat.

Tenim, aleshores, els primers contactes, amb la Junta d'Aigües, amb la finalitat de començar a treballar propostes per interpretar la Llei d'Aigües.

L'any 1996 es produeix la desgraciada catàstrofe de Biescas, i això va comportar el bloqueig de la Junta d'Aigües als petits avanços que havíem fet, comportant impediments administratius a qualsevol millora que es proposés a les nostres instal·lacions.

L'any 2006, després d'insistir en multitud d'ocasions, aconseguim signar un conveni amb l'Agència Catalana de l'Aigua i la Direcció General de Protecció Civil, amb l'objectiu de desbloquejar la situació administrativa de les nostres instal·lacions.

En aquest període, conseqüència entre d'altres de les traves administratives, ja hem perdut el lideratge de turisme d'interior a Espanya, en l'actualitat el té Osca i amb una evolució positiva.

Aquest estiu hem signat un nou acord.

Cap a on anem?

La nostra voluntat sempre ha estat la de disposar/ofrir garanties de seguretat suficients tant als clients com a l'Administració en cas de risc sobtat; coneixem el nostre territori i les nostres instal·lacions, de caràcter familiar, i hem anat introduint millores i innovant per a fer-ho.

Nosaltres necessitem un marc administratiu sòlid que ens permeti fer la nostra activitat oferint la màxima seguretat i competir amb igualtat de condicions al mercat turístic.

Que pugem tenir instal·lacions de qualitat.

Que les mesures a prendre siguin viables.

Que el nostre entorn també estigui familiaritzat i hagi desenvolupat els plans d'autoprotecció.

Quina és la situació Actual

Aquest estiu s'ha revalidat el conveni, s'ha incorporat, urbanisme, i turisme, fet que valorem molt positivament.

Hem fet avenços que considerem molt importants, en el sentit de reconèixer que hi ha un risc però que aquest es pot gestionar.

Ara manca posar a la practica tot el que hem anat madurant des del 2006, i cas a cas, amb la documentació tècnica davant, cercar la millor solució buscant un equilibri i assumint un llindar de risc en base al coneixement que hem adquirit i les mesures que s'estan i es preveuen implementar.

Esculls a resoldre

Els càmpings no son les úniques instal·lacions inundables al nostre territori amb els criteris de l'actual Llei d'aigües. Els estudis fets posen en evidència que ni són tots inundables ni tota la superfície del càmping és inundable.

Moltes poblacions estan en la mateixa situació de risc que els càmpings, o pitjor. I molts serveis de l'administració igual.

Per posar exemples, el nou aeroport del Prat està en una zona inundable, o moltes instal·lacions de serveis bàsics (bombers, mossos, guarderies, etc.) estan fetes, recentment en zones inundables.

S'ha de deixar de criminalitzar als càmpings i treballar per cercar solucions globals per tot el territori.

Pensem que hem deixat clara la nostra voluntat d'intentar fer el millor possible la nostra feina, no es fàcil seguir el camí que hem traçat, ara manca cercar les millors propostes, aplicar-les i començar a treballar per millorar-les, nosaltres estem a punt, fa temps que en tenim ganes, ens falta saber com.

S'han de desenvolupar eines que integren les previsions meteorològiques amb les mesures de dades disponibles (pluviòmetres, mesuradors de cabdal, etc.) com és el cas del que s'ha implementat a la Vall d'Aran. Serà un eina molt eficaç per prevenir amb precisió i amb marge de maniobra episodis de risc, caldrà articular per a que serveixi per tot el territori. Avui tècnicament és possible, de fet ja fa algun dia, Qui ho ha de pagar ? qui ho ha d'utilitzar? Cal millorar la xarxa de mesures?

En paral·lel s'ha d'agilitzar els tràmits administratius per tal que reconeixin la gestió del risc i es puguin regularitzar activitats.

Des de Lleida reivindicuem que s'ha d'aclarir la relació de competències entre Confederació Hidrogràfica i ACA.

Hem de ser capaços de disposar de plans d'autoprotecció senzills, eficaços i sostenibles pensats per les nostres microinstal·lacions i que permetin la coordinació amb els nostres plans d'autoprotecció amb els municipals i comarcals. NO se'ns pot exigir que ho fem nosaltres, i els municipis no

S'ha d'implementar la cultura de l'autoprotecció a la població en general. No existeix el risc 0, ni el podem buscar, l'hem de gestionar el risc, i la conscienciació ciutadana és essencial, s'ha de treballar constantment.

Propostes de futur

La clau és que pugem gaudir dels espais fluvials, en els períodes que no s'inunden, amb la màxima seguretat per les persones.

Problemàtica: Aquest estiu hem pogut veure quina afectació ha tingut la Val d'Aran, carreteres principals greument afectades, serveis bàsics inundats, que hem de fer ?, desallotjar per sempre la val ?, o buscar solucions perquè quan es desencadeni un episodi, faci el menor mal possible, i puguem evacuar a les persones?

Que fan a indrets afectats per altres riscos, com la falla de San Andrés, a la costa oest nord-americana, la falla del Japó, o el volcà de l'Etna, a Sicilia? Podem imaginar-nos desallotjar-los? que fan per conviure amb el risc ?

A nosaltres ens toca conviure amb el risc d'inundació.

Propostes de futur per conviure amb el risc amb les millors condicions:

- Hem d'ordenar el territori, en funció dels seus riscos, cercant un equilibri raonable.
- Hem de treballar eines de predicció eficaç com les que ens acaben d'explicar,
- Adaptar les nostres instal·lacions a la prevenció, amb el límit de la viabilitat econòmica.
- Hem de fer plans d'autoprotecció eficaços adaptats a les nostres microempreses.
- Hem de difondre la cultura de l'autoprotecció i la gestió del risc a tota la població, constantment.

Conclusions

Aquest any, Catalunya ha batut records de rebuda de turistes. A Lleida, no ha estat així, ni tant sols hem crescut, hem baixat. Els nostres competidors han superat resultats, lo qual ens situa en posicions cada vegada més distants.

De la serralada del Montsec, prepirineu, a l'Aran, Pallars Sobirà o Alt Urgell, pràcticament no tenim indústria del sector secundari, amb alguna excepció, Taurus, Ros... pràcticament tenim primari, cada vegada menys, i terciari, basat amb el turisme.

Hem estat tots testimonis de quins efectes provoca el turisme en zones com l'Aran, l'Alta Ribagorça, o el Pallars Sobirà, passant de ser de les més pobres d'Espanya als anys 60 a les més riques en l'actualitat, i el més important, hem aconseguit que les últimes generacions tinguem projectes per continuar la nostra vida amb dignitat a l'entorn on hem nascut, invertint la tendència natural que tenia la piràmide de població en aquestes zones.

Sabem de l'atracció de les grans nuclis i el seu efecte devastador sobre les zones rurals, a mig termini.

El turisme no és una moda, avui ja es un bé de primera necessitat, i no deixarà d'existir, evolucionarà, i nosaltres hem de poder evolucionar per competir.

El nostre territori té riscos inherents, hem d'aprendre a gestionar-los eficaçment per oferir futur al propi territori, als seus habitants i amb la màxima garantia per la gent que ens visita. Ja que no s'inverteix en infraestructures a Lleida, invertim amb seguretat, per oferir-nos futur.

Agraïments

Tot i la sensació de lentitud, estem molt agraïts amb la sensibilitat que han demostrat les persones que hem tingut la sort d'anar contactant, des de gairebé el començament a l'ACA, i després a Urbanisme, a Turisme i finalment a Protecció Civil, posant tots els seus sentits per intentar solucionar un problema, que sabem no es fàcil. Gràcies per la vostra dedicació, la vostra recompensa serà veure com podrem deixar un llegat a les properes generacions en forma d'una millor gestió dels espais .

La riuada de la Garona del 18 de juny de 2013

CAUSES QUE VAN PROCOVAR LA RIUADA A LA VAL D'ARAN EL 18 DE JUNY 2013

Nicolau Pineda⁽¹⁾; Marc Prohom⁽¹⁾; Aleix Serra⁽¹⁾; Glòria Martí⁽²⁾, Carles Garcia⁽²⁾, Enric Velasco⁽³⁾ i Alex Gracia⁽³⁾

(1) Servei Meteorològic de Catalunya Berlín, 38-46 08029 Barcelona. npineda@meteo.cat

(2) Institut Geològic de Catalunya Balmes, 209-211 08006 Barcelona gmarti@igc.cat

(3) Agència Catalana de l'Aigua, Provença 204-208, 08036 Barcelona evelasco@gencat.cat

PARAULES CLAU: Val d'Aran, Garona, riuada, mantell nival, desgel, camp de precipitació, cabal fluent, coeficient d'escolament.

INTRODUCCIÓ

Aquest és un treball multi-disciplinar, coordinat des del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) on hi ha participat el Servei de Predicció d'Allaus de l'Institut Geològic de Catalunya (IGC), l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) i el propi SMC (tots inclosos dins el Departament de Territori i Sostenibilitat) per avaluar les causes, tant a nivell meteorològic com hidrològic, de les riuades de la Val d'Aran dels dies 17 i 18 de juny de 2013.

L'anàlisi es centra en dimensionar tècnicament la confluència dels factors que van provocar el creixement excepcional de la Garona i les inundacions que se'n van derivar, i que es poden resumir en:

- Per una banda, el desgel fruit d'una temporada de neu excepcional
- Per l'altra, les quantioses precipitacions registrades a la Val d'Aran, entre els dies 17 i 18 de juny de 2013.

A nivell de registres de neu, la temporada 2012-2013 va ser del tot excepcional a l'Aran i Franja Nord de la Pallaresa, amb una precipitació hivernal que va doblar la mitjana climàtica i amb acumulacions de neu que en alguns casos van ser les més importants, com a mínim, dels darrers 15 anys.

En l'àmbit nivo-meteorològic, cal remarcar que el maig i el juny van ser mesos freds i amb una precipitació superior a la mitjana climàtica. Aquest fet va endarrerir notablement el desgel i va permetre que quedessin importants gruixos de neu fins a principis d'estiu en molts sectors situats per sobre dels 2.000 metres. El cas més excepcional és el de la Bonaigua, amb més de 200 cm a mitjans de juny. Aquest fet va comportar la realització del Butlletí de Perill d'Allaus per part del IGC a unes dates mai vistes en els més de vint-i-cinc anys de la seva elaboració.

Des del punt de vista hidro-meteorològic, el valor cabal del riu Garona ja era molt elevat el dia 17 de

juny (125 m³/s), és a dir, abans de l'episodi de pluges. Això indica que el desgel del present any ja sobrepassava amb escreix els valors habituals, en part com a conseqüència de l'important ascens de la temperatura que s'havia produït a partir del dia 11, amb una massa d'aire de fins 20 °C al nivell de 850 hPa (uns 1.500 metres d'altura) el dia 17.

A aquestes condicions inicials del cabal cal afegir les importants precipitacions registrades els dies 17 al 18 de juny, amb valors per sobre dels 100 mm a alguns punts de les capçaleres i també de la vall, fet que va desencadenar un augment sobtat del cabal que va culminar amb un valor pic de 280 m³/s el dia 18 a Bossòst (valor més alt des de l'any 1937). Aquest increment també va anar lligat a l'accentuació del desgel provocat per les abundants precipitacions.

En resum, es pot concloure que van coincidir dos fenòmens excepcionals, un desgel molt superior a l'habitual i una gran quantitat de pluja caiguda, provocant les inundacions i conseqüents destrosses a la Val d'Aran.

EXCEPCIONALITAT DE LA SITUACIÓ

La temporada de neu 2012-2013 va ser excepcional a la comarca de la Val d'Aran i a la Franja Nord de la Pallaresa. A continuació se'n detallen els motius.

Precipitació hivernal 2013

La precipitació hivernal mesurada per la Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques (XEMA) de l'SMC va ser superior al 200% de la mitjana climàtica. Això implica que les acumulacions de neu en alguns casos foren les més importants dels últims 15 (o més) anys.

Singularitats de la primavera 2013

Després d'uns mesos de març i abril amb temperatures properes a la normal per l'època, el maig i el juny van ser mesos freds, amb valors mitjans de 2 °C per sota de la mitjana climàtica.

La combinació d'aquests factors va provocar un endarreriment del desgel en uns 40 dies

aproximadament, fent que els gruixos de neu es mantinguessin per sobre de l'habitual, amb més d'1 metre fins a principis d'estiu a molts sectors situats per sobre dels 2.000 m (Figura 1).

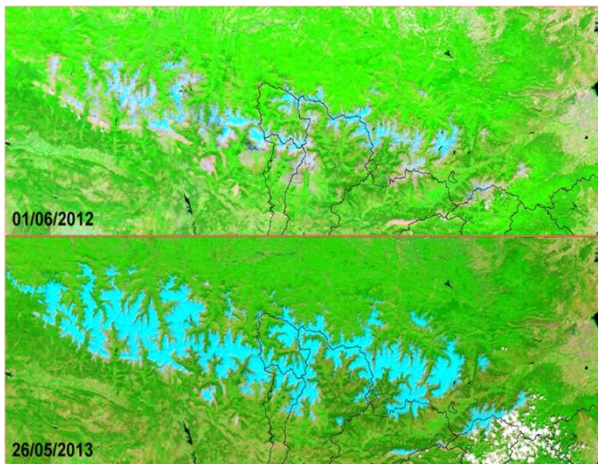


Figura 1 – Extensió del mantell nival vista des del satèl·lit MODIS (NASA), comparant l'any actual amb el passat a finals de maig/principis de juny. Per interpretar el fals color cal tenir present que els colors es corresponen a: blau cel per la neu, blanc pels núvols, entre rosats i marrons pel sòl nu i verd clar per la vegetació.

Singularitats del mantell nival 2012-2013

L'IGC ofereix un Servei d'Informació del Gruix de Neu a terra, que diàriament mostra dades del gruix de neu total existent a diverses estacions nivometeorològiques d'alta muntanya del Pirineu de Catalunya. En base a aquest servei s'ha pogut valorar l'evolució del gruix de neu a terra a la Vall d'Aran a partir de l'estació de Bonaigua de la XEMA (Figura 2), situada a 2.226 m d'altitud en un vessant orientat a Oest.

Des de les nevades de mitjan gener, el gruix de neu a terra a la Bonaigua va ser molt excedentari, respecte a la mitjana climàtica (amb valors superant el 190% el gruix mitjà). Durant febrer i març va continuar la successió de nevades a la comarca que fan augmentar els gruixos per tot aquest període. Concretament, destaquen els 411 cm assolits el 12 de febrer, màxim històric d'aquesta estació (superant amb escreix els 360 cm del 6 de març de 2005).

Des del febrer fins al inici de maig hi va haver més de 3 metres de neu. En bona part d'aquest període se sobrepassaren els tres metres i mig, circumstància totalment inusual en els darrers 15 anys.

Respecte al final de temporada, des de mitjan maig, destaca la diferència entre neu a terra en comparació a la mitjana climàtica. Durant el tram

final de la temporada hivernal la neu va persistir a terra sobretot a causa de les baixes temperatures, però també a causa de les diverses nevades que van tenir lloc des de finals d'abril i durant tot el maig i inicis de juny. Tal com s'indicava en el butlletí de perill d'allaus, la tònica durant el maig i juny era més pròpia de temporada hivernal que no pas d'un mes de maig o juny. En aquest sentit l'IGC va allargar l'emissió de butlletins de perill d'allaus a causa de la presència excepcional de neu a terra, fins al 20 de juny, fet que no s'havia donat mai en més de 25 anys de servei.

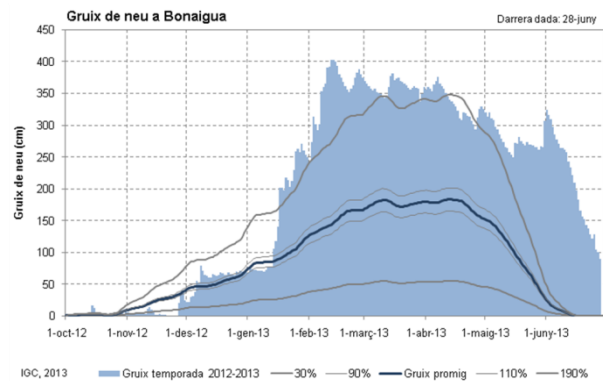


Figura 2 – Gruix de neu diari de la Bonaigua al llarg de tota la temporada 2012-13, en comparació amb els valors de la seva sèrie (mitjana i desviació respecte la mitjana), que s'inicià el novembre de 1997.

Pel que fa a disposició de neu a partir de juny, si bé hi ha algunes temporades en què s'arriba a aquestes dates amb valors entre 126 cm i 84 cm (2003-2004 i 2004-2005, respectivament), és del tot excepcional que se superin valors de 300 cm l'1/6/2013. Els valors enregistrats durant el mes de juny van des del màxim, 317 cm (l'1 de juny), decreixent progressivament fins a 168 cm el 17 de juny. En data 22/6/2013 els valors de gruix de neu a terra decreix fins a 128 cm. Es pot veure a la Figura 2 com des del febrer, el mantell nival ha sigut excepcional. Aquesta excepcionalitat es troba tant en els gruixos com en la persistència del mantell nival, respecte les altres temporades.

Finalment, és destacable el fet que l'IGC ha emès 35 avisos de perill d'allaus (pla de protecció civil ALLAUCAT) durant la totalitat de la temporada hivernal, tan sols per l'Aran. Aquest fet tampoc s'havia donat mai a cap temporada anterior.

ANÀLISI METEOROLÒGIC

Entre el dilluns 17 i el migdia del dimecres 19 de juny 2013, la meitat oest del Principat es va veure afectada per la presència d'una depressió freda en alçada estancada sobre la Península Ibèrica. El marcat i persistent flux del sud present a les capes mitjanes de la troposfera va provocar precipitacions molt abundants a l'àrea dels

Pirineus al llarg de dilluns i dimarts, especialment a la Val d'Aran i àrees pròximes, on la precipitació acumulada va superar els 100 mm en 24 hores.

Situació sinòptica i pronòstic

La situació sinòptica responsable de les precipitacions del 18 de juny té certes similituds amb les dels episodis 1937 i 1982, amb la presència d'un fort gradient de sud-sudoest sobre el Pirineu i un embossament o solc a les capes mitjanes de la troposfera. L'anàlisi sinòptica constata que la situació del 18 de juny de 2013 va ser força excepcional, pel moment de l'any en que es va produir, donat que és poc freqüent trobar-la a la meitat càlida de l'any.

La predicció de quantitats acumulades feta pels models numèrics de l'SMC per al dia 18 de juny 2013, indicava acumulacions de fins a 50 mm a la Val d'Aran tres dies abans de l'episodi. Aquest valor s'elevà a 80 mm en la predicció el dia següent (Figura 3).

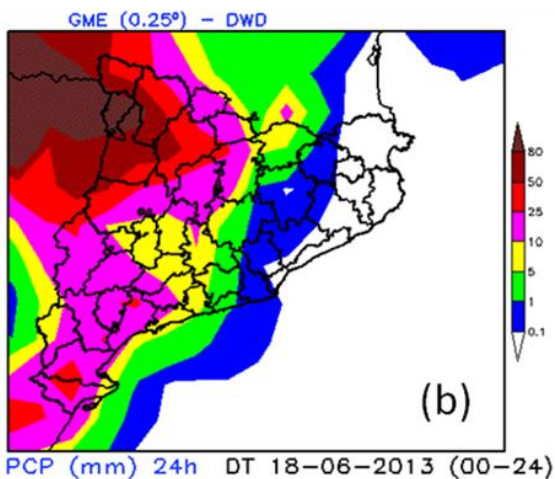


Figura 3 – Pronòstic del camp de precipitació acumulada en 24 hores pronosticades pel dia 18 de juny amb el model GME inicialitzat el dia 17 de juny de 2013.

Dades de temperatura i precipitació

L'estació meteorològica de Vielha e Mijaran de l'SMC va enregistrar la precipitació més important de l'episodi a Catalunya (dies 17, 18 i 19 fins a les 12h), amb un total de 124,7 mm, dels quals 101,2 mm corresponen al dia 18. Les pluges van començar sobre les 18 h del dia 17 i es van intensificant fins arribar a intensitats màximes entre les 5 h i les 8 h del matí del dia 18 (Figura 4).

Una precipitació diària de més de 100 mm és un fenomen molt infreqüent en aquest punt de la Val d'Aran, ja que cal retrocedir tres dècades, fins als aiguats del novembre de 1982, per trobar un

registre de pluja superior. Vielha disposa de registres meteorològics més o menys continus des de 1915 i fins a l'actualitat. La Taula 1 mostra les ocasions en què s'han enregistrat més de 90 mm de precipitació en un sol dia.

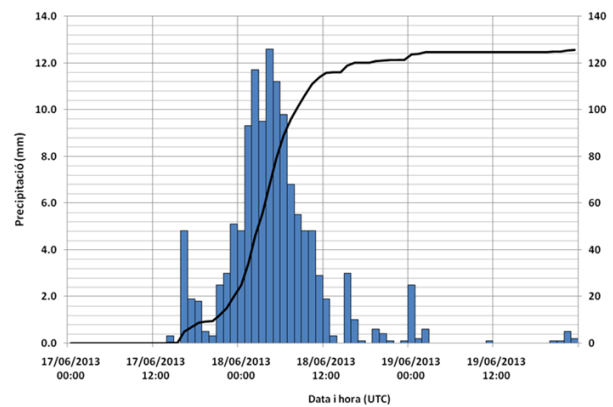


Figura 4 – Precipitació horària i acumulada a Vielha e Mijaran del 17 al 19 de juny de 2013

A partir del camp de precipitació calculat interpolant les dades dels pluviòmetres (Figura 5), s'ha estimat el volum d'aigua que l'episodi de pluges va aportar a la conca del Garona dins la Val d'Aran. En funció dels quilòmetres quadrats i segons els mil·límetres de pluja caiguts, s'estima que durant l'episodi (dies 17, 18 i 19 fins a les 12h), la pluja va aportar aproximadament 51 hm³ d'aigua.

Taula 1 – Registres històrics de l'estació meteorològica de Vielha e Mijaran.

Data	Precipitació acumulada (mm)
07/11/1982	170
18/06/2013	101
29/07/1982	96
05/10/1992	94
01/08/1998	94
16/09/1974	93

ANÀLISI NIVOLÒGIC

A banda de la precipitació caiguda, l'altre element que va jugar un paper fonamental en l'important increment de cabal de la Garona va ser l'aportació d'aigua de desgel de les grans acumulacions de neu presents encara a mitjan juny.

Per calcular el volum d'aigua acumulat en el mantell nival es fa servir el càlcul del SWE (Equivalent d'Aigua Líquida, de les seves sigles en anglès), que es van estimar per abans i després de les inundacions.

A partir dels perfils estratigràfics de neu realitzats sobre el terreny es va calcular la densitat de la neu de totes les capes que el formaven. Els valors eren molt regulars al llarg dels perfils i no

presentaven diferències substancials. En aquest sentit el valor de l'SWE es va calcular seguint l'equivalència on 1 m^3 del tipus de neu gra de fusió, policristall, codi Unesco MFpc, es transforma en 500 l d'aigua. A partir d'aquí, sabent els hm^3 de neu, es calcula el total de SWE per la conca de la Garona. Amb aquest càlcul es va estimar que abans de l'episodi d'inundacions el SWE disponible a partir de la neu era de 95 hm^3 .

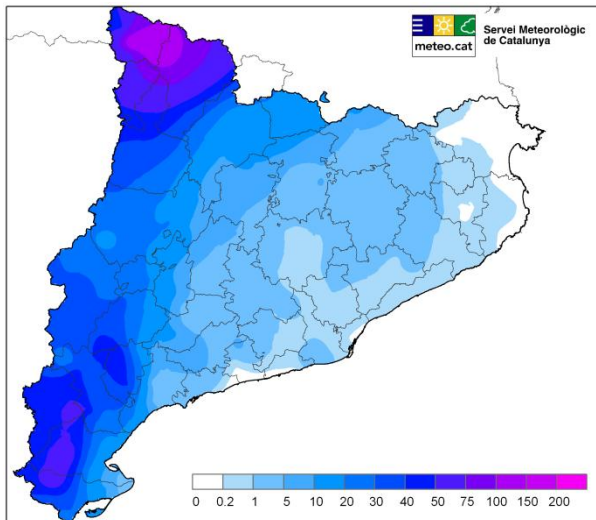


Figura 5 – Precipitació acumulada (mm) del 17 fins a les 12h del 19 de juny de 2013.

Per fer el càlcul després de l'episodi, es van utilitzar les dades obtingudes per l'IGC sobre el terreny en la campanya de camp realitzada el 21 de juny de 2013. En conseqüència, la mostra de gruixos va ser molt més fina i detallada que en el càlcul previ a les inundacions. Aquesta campanya va consistir en:

- Ponderar la cobertura del mantell nival per orientacions i cotes,
- Mesurar els gruixos de neu per cotes i orientacions,
- Calcular la densitat de la neu,
- Valorar la susceptibilitat de fusió de la neu, donat que en aquell mateix dia es preveïen noves pluges.

La campanya es va dur a terme a la capçalera del riu de Tavascan, a la conca alta de la Franja Nord de la Pallaresa, la qual presenta un comportament nivoclimàtic equivalent al de la Garona. Per tal d'extrapol·lar correctament els valors obtinguts sobre el terreny, es van tenir en compte les diferències de cotes i d'orientacions que presenta la Garona (més baixa i amb més orientacions nord).

Seguint el mateix procediment que en el càlcul previ a les inundacions, es va calcular l'àrea coberta per neu. A partir dels gruixos observats i de l'àrea innivada, s'obté el volum en hm^3 . El càlcul de les densitats de neu realitzades sobre el terreny no va variar al llarg dels perfils

estratigràfics i per tant l'equivalència era la mateixa que abans de l'episodi (1 m^3 de neu = 500 l d'aigua). Amb tot, després de l'episodi d'inundacions l'equivalent d'aigua líquida disponible a partir de la neu era de 44 hm^3 .

Finalment, a partir de la diferència entre el SWE previ a les inundacions (95 hm^3), i el SWE posterior (44 hm^3), s'estima que l'equivalent en aigua provinent del mantell nival entre l'11/6/2013 i el 21/6/2013, fou de 51 hm^3 .

ANÀLISI HIDROLÒGIC

L'ACA es va ocupar d'estimar els cabals d'avinguda de la riuada. Cal tenir present que aquesta conca hidrogràfica no està gestionada per l'ACA. Els càlculs es basen principalment en estacions franceses de St. Béat i Chaum, aigües avall.

Cabals

A l'aforament d'Arties, el dia 18, a la Garona es produeix un increment de nivell d'1 m en 6 hores, assolint una làmina d'aigua d'1,56 m (Figura 6). Paral·lelament, al Valarties es dona un increment de nivell arribant fins els 1,40 m. En quan a Bossòst, no es disposa de l'hidrograma de més enllà de les primeres hores de la crescuda donat que la estació de control va quedar malmesa. Comparant els nivells entre Bossòst i San Beat i Chaum (dades del sistema d'alerta francès Vigicrues), es pot veure que l'estació de Bossòst es trenca, però el nivell del riu segueix pujant un metre més.



Figura 6 –Evolució del nivell del cabal del Garona a Arties, fins al 18 de juny. Font de les dades: SAIH de la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre (CHE).

Reconstrucció de la riuada

Així, en no disposar de l'hidrograma de Bossòst més enllà de les primeres hores de la crescuda, es va realitzar l'exercici de recomposar els cabals a Bossòst a partir de les dades de nivell de les de St. Béat i Chaum.

Abans d'analitzar els resultats, cal tenir present que el cabal fluent es compon de dos components:

- Un cabal de base associat bàsicament al desgel, amb un valor de referència anual de 20 m³/s, si bé d'abril a juny creix fins als 60 m³/s. Excepcionalment pot assolir valors de 100 m³/s.
- Un cabal d'escorrentia ràpida, associat a les precipitacions i variable en funció d'aquestes.

Bossòst

A partir de les dades de cabals i volums recomposades a partir de les estacions franceses, s'estima que a Bossòst es va assolir un cabal pic de 280 m³/s (Figura 7). Cal tenir present que el valor màxim assolit foren els 360 m³/s. del 27 d'octubre de 1937.

D'aquest cabal, es va estimar que 70 m³/s corresponien a cabal de base, el qual va experimentar després un decreixement suau fins situar-se el dia 1 de juliol amb valors de 35 m³/s.

A més del cabal base, es dona una hidrograma per la pluja d'escorrentia ràpida que arriba als 210 m³/s, que se superposa amb els 70 m³/s de desgel assolint un cabal total màxim de 280 m³/s.

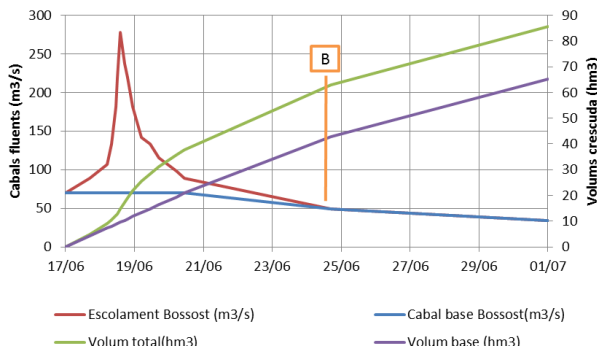


Figura 7 – Estimació de cabals i volum a Bossòst. El punt "B" marca el final de l'escolament de la pluja de l'episodi 17-19 de juny

En quant a l'estimació de volums a Bossòst (Taula 2), del volum de 38 hm³ que va passar pel riu en el període del 17 al 24 de juny, s'estima que 21 hm³ corresponen a cabal base i 17 hm³ a escolament de la pluja (període previ al punt B a la Figura 7).

Tenint present que la superfície drenant de Bossòst és de 450 km², el volum mobilitzat en el període més crític (des del dia 17 a les 17 hores i el dia 20 a les 11 h), va ser de 33 hm³, la qual cosa indica un paper important de la retenció de la pluja per part de la vegetació de bosc i del sol.

Si es comptabilitza tot el període des de les 00 del dia 27 de juny fins les 00 hores del dia 1 de juliol, el volum d'aigua mobilitzat va ser de 85 hm³, dels quals 20 hm³ corresponen a escolament i 65 hm³ corresponen a cabal base (Taula 2).

Taula 2 – Distribució de volums a Bossòst pel període del 17 de juny a l'1 de juliol. El punt "B" fa referència a la figura 7

Període	Escolament (abans de "B")	Total
Volum escolament	17	20
Volum base	21	65
Total	38	85

Columna d'aigua equivalent

Abans d'analitzar aquests resultats, cal posar de manifest el paper que hi juga el tipus de coberta del sòl de la conca i com aquest varia quan hi ha neu. El bosc té un alt potencial d'absorció de la pluja (coeficient d'escolament baix), mentre que la neu té el comportament contrari, amb un coeficient d'escolament pràcticament del 100%.

En el cas que ens ocupa, a l'hora de calcular la columna d'aigua equivalent es va considerar que uns 200 km² corresponien a cobertura nival, mentre que la resta (440 km²) es corresponia majoritàriament a bosc amb un sòl d'alt potencial d'absorció de una pluja de intensitat mitjana com la que va caure (amb un coeficient d'escolament de 0,2). Així, els 20 hm³ es corresponen a una precipitació aproximada de 90 mm, valor que concorda amb la precipitació estimada amb els pluviòmetres de la XEMA.

De l'anàlisi també es pot concloure que el bosc juga un paper fonamental a l'hora de moderar l'increment de cabals, ja que aquest té una alta capacitat de retenció d'aigua (baix coeficient d'escolament). En el present cas d'estudi, la superfície innivada va tenir l'efecte contrari: de fet suposa un doble efecte amplificador en la generació de cabal; ja que per un costat elimina la capacitat de retenció d'aigua per part del terreny i per l'altra suposa una aportació complementària d'aigua com a efecte de ploure sobre una neu en procés de fusió.

Pel que fa a la distribució mensual de cabals, els valors màxims es concentren en el mes de juny, assolint unes aportacions mensuals que oscil·len entre un mínim de 50 hm³ (19 m³/s), un màxim de 160 hm³ (60 m³/s), al voltant d'un valor mig de 40 m³/s. Així doncs, l'aportació nival d'aquest mes de juny és alta però no extraordinària, el que fou més excepcional va ser la seva concentració en pocs dies (fusió ràpida del mantell nival), arribant a assolir valors de 100 a 125 m³/s.

CONCLUSIONS

La important crescuda de la Garona del dia 18 de juny de 2013 fou conseqüència de la suma de dos aspectes, les quantioses precipitacions registrades a la Val d'Aran els dies 17 i 18 de juny, i d'un desgel superior a l'habitual, fruit del qual el riu ja portava un cabal per sobre de l'habitual. Les acumulacions de neu a mitjans de juny del 2013 eren excepcionals, i cal afegir-hi l'efecte amplificador de la cobertura nival (nulla capacitat de retenció i aportació suplementària d'aigua per fusió deguda a la pluja).

Per trobar cabals instantanis fluents pel riu similars, hauriem d'anar al període 1937 a 1938, segons indica l'anuari de dades hidrològiques.

Pel que fa a les precipitacions, valors al voltant dels 100 mm són infreqüents a Val d'Aran, ja que cal retrocedir tres dècades, fins als aiguats del novembre de 1982, per trobar un registre de pluja superior. A més a més, si aquests registres importants de precipitació coincideixen amb el màxim del desgel, és quan es poden produir episodis com el que s'ha analitzat en aquest estudi.

AGRAÏMENTS

Estem molt agraïts als companys de l'SMC, l'IGC i l'ACA que d'alguna manera o altra han participat en aquest treball, ja que al llistat d'autors només hi apareixen els principals.

EFFECTES GEOMORFOLÒGICS DE L'AIGUAT I RIUADA DEL 18 DE JUNY DE 2013

Pere Oller ⁽¹⁾; Jordi Pinyol ⁽¹⁾; Marta González ⁽¹⁾; Jordi Ripoll ⁽¹⁾ i Ma. Jesús Micheo ⁽¹⁾

(1) Institut Geològic de Catalunya Balmes, 209-211 08006 Barcelona. E-mail: pereo@igc.cat, jpinyol@igc.cat, mgonzalez@igc.cat

PARAULES CLAU: *aiguats, riuada, efectes geomorfològics, soscavació, esllavissades, fluxos torrencials.*

INTRODUCCIÓ

En aquest treball es presenten els efectes geomorfològics causats per l'aiguat i la riuada dels dies 17 i 18 de juny de 2013 a la Val d'Aran i a la Noguera Pallaresa. Cal fer esment que també la Noguera Ribagorçana va patir els efectes de les pluges, però no s'han inclòs en aquest treball.

L'objectiu és doble, per una banda, documentar els efectes causats per l'acció combinada de la fosa de neu, l'aiguat i la conseqüent riuada (DTES, 2013), i per altra banda, alimentar el Sistema d'Informació de Riscos Geològics (SIRG) de l'Institut Geològic de Catalunya (IGC), en el marc de les funcions que l'IGC té assignades en relació al coneixement de la perillositat i del risc.

Amb aquests objectius, es van realitzar diferents tasques in situ, dos dies després de l'episodi de pluges, per poder avaluar la seva magnitud, abans de que les diferents actuacions d'emergència i urgència en modifiquessin els efectes. Per això, s'han inventariat i cartografiat tots els efectes identificats a la llera de la Garona i als seus tributaris, així com als vessants de la conca i als cons de dejecció.

Part d'aquesta informació es va recollir en un informe preliminar (IGC, 2013a) que es va lliurar a la Direcció General d'Urbanisme per a la gestió de la planificació urbanística.

TASQUES REALITZADES

Els treballs que s'han dut a terme s'han executat a dues escales: una, a escala regional, per a poder identificar l'abast espacial de l'episodi, i l'altra, a escala de detall, per a recollir informació dels punts d'especial interès.

A escala regional, el dia 20 de juny de 2013 l'IGC, juntament amb el Cos d'Agents Rurals (CAR), van realitzar un vol d'helicòpter (CAR-IGC) per a disposar d'una visió global dels efectes a tota l'àrea afectada, efectuant un reportatge fotogràfic i per dirigir la campanya sobre el terreny. Es va sobrevolar gran part de la Val d'Aran, concretament les valls de Ruda, Garona,

Aiguamòg, Valarties, Bargadèra, Nere, Unhòla, Salient, Joeu i Toran, i part de la Noguera Pallaresa (Figura 1).

A escala de detall, amb l'objectiu de documentar i caracteritzar els efectes identificats des de l'aire, els dies 20 i 21 de juny, tres equips de dos tècnics van realitzar una campanya de camp identificant els efectes ocasionats als principals cursos fluvials i als cons de dejecció (Figura 1). En aquestes inspeccions també es van prendre mesures dels calats a les seccions on va ser possible.

Durant les setmanes posteriors es va realitzar la centralització de la informació fotogràfica i audiovisual del dia de la riuada, disponible a internet i a altres organismes públics.

A partir de la informació recollida s'ha procedit a realitzar la cartografia dels efectes geomorfològics. Aquesta s'ha realitzat als principals cursos fluvials afectats i als vessants coberts pels vols de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) que va realitzar el dia 22 de juny, del curs de la Garona i la Noguera Pallaresa, i els dies 21, 22 i 23 de juliol dels cursos Aiguamòg, Joeu, Valarties i Varradòs (Figura 1).

Puntualment, en zones no cobertes pel vol, s'han afegit morfologies, indicis i esdeveniments identificats en el vol d'helicòpter (CAR-IGC) i altres esdeveniments identificats a partir de diferents observadors.

Els treballs realitzats han permès determinar i cartografiar els següents elements per a les zones d'estudi:

- Zones inundables als rius Garona i Pallaresa.
- Cicatrius de soscavació als rius Garona i Pallaresa i els tributaris Aiguamòg, Joeu, Valarties, Varradòs i Ruda.
- Superfícies erosionades als rius Garona i Pallaresa.
- Moviments de vessant a la conca de la Garona.
- Activitat torrencial al cons de dejecció de la conca de la Garona.

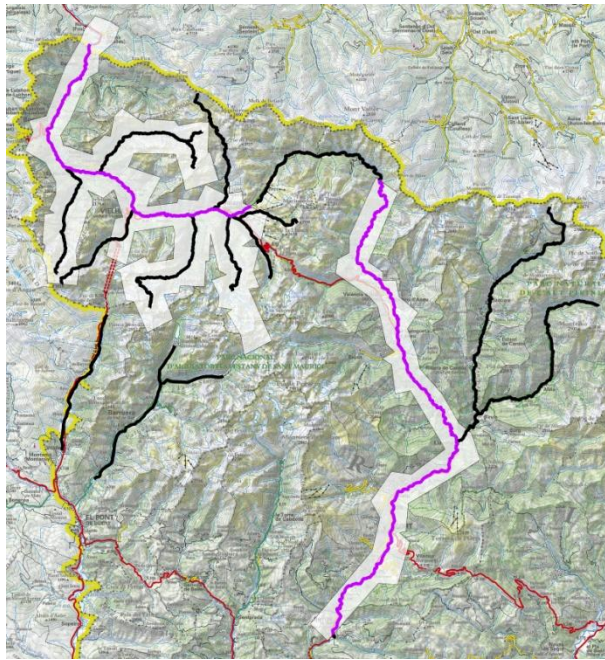


Figura 1 – Tasques realitzades. En color negre, cursos inspeccionats en el vol d'helicòpter (CAR-IGC) realitzat el 20 de juny de 2013. En color lila, trams inspeccionats per via aèria i campanya de camp dels dies 20 i 21 de juny. En blanc, extensió coberta pel vol de l'ICC del 22 de juny i dels dies 21, 22 i 23 de juliol.

CARTOGRAFIA DELS EFECTES GEOMORFOLÒGICS A LA CONCA DE LA GARONA I AL RIU NOGUERA PALLARESA

La cartografia dels efectes geomorfològics als cursos fluvials s'ha realitzat a totes aquelles zones de les que es disposava d'ortofoto posterior a l'episodi del 18 de juny. Concretament els cursos fluvials cartografiats han estat la Garona i els tributaris Joeu, Varradòs, Valarties, Aiguamòg i parcialment Ruda i un tram de la Noguera Pallaresa (Figura 2).

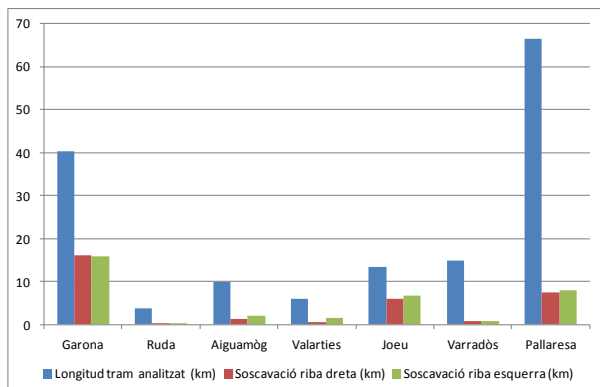


Figura 2 – Longitud dels trams amb soscavació als cursos analitzats.

La delimitació de la zona inundada s'ha realitzat a partir de les imatges preses durant el vol d'helicòpter del 20 de juny, de l'ortofoto del 22 de

juny i de tota la informació gràfica i audiovisual disponible. En concret, les fotografies i vídeos dels Pompiers d'Aran, així com els vídeos emesos per TV3 (e.g: "Les inundacions a la Vall d'Aran a vista d'ocell" del 19 de juny de 2013) han estat decisius per delimitar de forma més acurada el límit de la zona inundada.

Pel que fa a l'erosió dels marges dels cursos fluvials s'ha realitzat la cartografia dels escarpaments d'erosió classificats en funció de l'alçada, <1m, entre 1-10 m, >10 m, (Figures 3 i 4). Cal tenir present que la cartografia realitzada presenta limitacions inherents a la metodologia que implicaria una revisió posterior in situ. Finalment, de forma contínua i homogènia, als cursos fluvials també s'han cartografiat les àrees erosionades per la crecuda amb l'objectiu de fer una estimació de la superfície perduda.

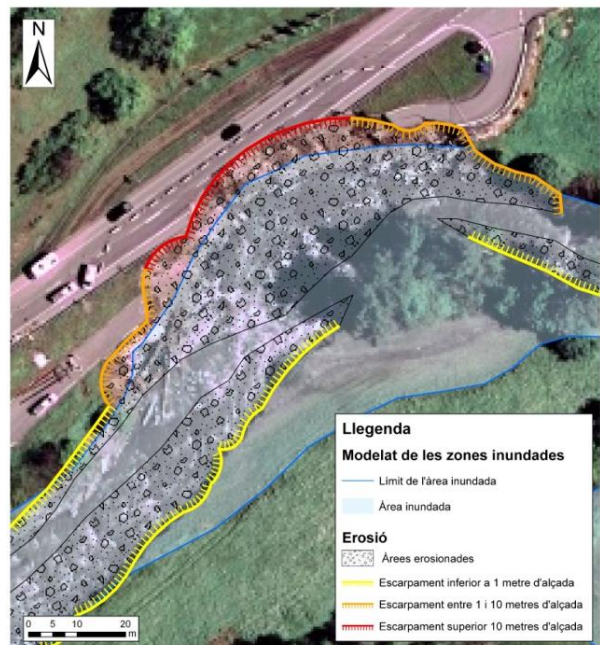


Figura 3 – Fragment de la cartografia de l'àrea inundada, escarpaments i superfícies erosionades. Carretera C-28, PK 32+200, Gessa (Naut Aran).



Figura 4 – Fotografia de la soscavació a la carretera C-28, PK 32+200, Gessa (Naut Aran) on s'exemplifiquen els escarpament cartografiats (IGC, 20/06/2013).

Conca de la Garona

A la Garona, la cartografia s'ha realitzat de forma contínua en un tram de 40 km, des del seu naixement fins al barratge de Hòs, en territori francès; al riu de Ruda, en un tram de 3,8 km, des de la cota 1.530 fins la Garona; a l'Aiguamòg, en un tram de 10 km, des del peu de l'estanh dera Lossa fins la Garona; al Valarties, en un tram de 6 km, des del barratge deth Ressèc fins la Garona; al Joeu, en un tram de 13 km, des del naixement del barranc des Pois fins la Garona; i el Verradòs, en un tram de 15 km, des del seu naixement fins la Garona (Figura 1 i Taules 1 i 2).

Taula 1 – Paràmetres del tram estudiat de la Garona.

Garona		
Longitud del tram analitzat	40.246 m	
Superfície inundada	2.152.900 m ²	
Superfície erosionada	389.165 m ²	
Longitud dels marges amb soscavació		
	Riba dreta	16.244 m (40%)
	Riba esquerra	15.961 m (39,5%)

Pel que fa a l'àrea inundada pel riu Garona (Taula 1), el 90% de la superfície (194,3 ha) correspon al fons de vall, la plana d'inundació ordinària i les terrasses més baixes. És a dir, l'avinguda va transcórrer per aquelles zones inundables que successivament han estat anegades pels diferents episodis d'inundació històrics, sense abastar la totalitat de l'àrea susceptible a inundar-se.

Taula 2 – Soscavació dels trams estudiats dels tributaris de la Garona.

Afluents de la Garona		
Ruda		
Longitud del tram analitzat	3.859 m	
Longitud dels marges amb soscavació		
	Riba dreta	368 m (9,5%)
	Riba esquerra	270 m (7%)
Aiguamòg		
Longitud del tram analitzat	9.993 m	
Longitud dels marges amb soscavació		
	Riba dreta	1.358 m (13,6%)
	Riba esquerra	2.023 m (20,2%)
Valarties		
Longitud del tram analitzat	6.146 m	
Longitud dels marges amb soscavació		
	Riba dreta	557 m (9%)
	Riba esquerra	1.699 m (27,6%)
Joeu		
Longitud del tram analitzat	13.378 m	
Longitud dels marges amb soscavació		
	Riba dreta	6.015 m (45%)
	Riba esquerra	6.830 m (51%)
Verradòs		
Longitud del tram analitzat	15.006 m	
Longitud dels marges amb soscavació		
	Riba dreta	849 m (5,6%)
	Riba esquerra	951 m (6,3%)

A la Garona s'han cartografiat 16.244 m de soscavacions al marge dret i 15.961 m al marge esquerre, que corresponen a un 40 i 39,5% respectivament, de les soscavacions respecte al tram total analitzat. Les cicatrius de soscavació d'aquest tram, a la riba dreta, es caracteritzen principalment per tenir una alçada inferior a un metre (76%), el 22% tenen una alçada entre 1 i 10

m, i tan sols el 2% tenen una alçada superior a 10 m. A la riba esquerra, es caracteritza per tenir un 75 % d'escarpaments de soscavació inferiors a un metre i un 25% entre 1 i 10 m.

Com es pot veure a la Taula 2, la soscavació més important en els tributaris estudiats es va produir a la vall del Joeu, tant en longitud de marges soscavats com l'alçada d'aquests, on 5.034 m corresponen a trams erosionats que tenen una alçada d'entre 1 i 10 m (Figura 5). Les diferències observades en la soscavació als diferents cursos responen a factors geomorfològics, hidrològics i antròpics.

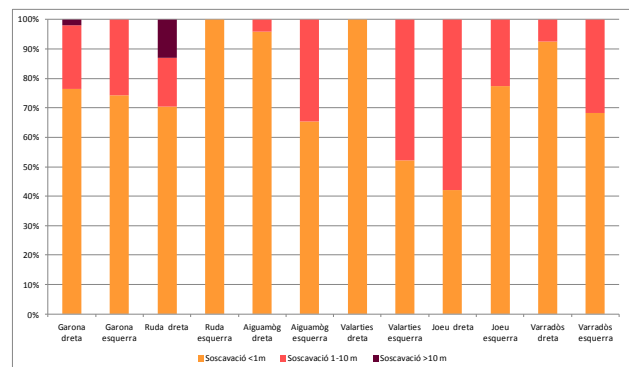


Figura 5 – Alçada de les cicatrius identificades en funció de la riba en percentatge respecte la longitud erosionada.

El 91% (35,5 ha) de la superfície erosionada pel riu Garona correspon, segons la Base de dades geològiques de Catalunya 1:50.000, a materials al·luvials de les unitats quaternàries que conformen els sediments del llit actual, la plana d'inundació ordinària i les terrasses més baixes. La resta de la superfície erosionada, 3,5 ha, correspon a altres materials quaternaris col·luvials, al·luvials i glacials que formen els cons de dejecció i els vessants.

Riu Noguera Pallaresa

La Noguera Pallaresa s'ha cartografiat de forma contínua en un tram de 66,5 km, des del Prat de Pubill, a 0,5 km al nord del barranc del Port de Salau, fins el pont de Baén, a 1,5 km al sud de Gerri de la Sal (Taula 3).

Taula 3 – Paràmetres del tram estudiat de la Noguera Pallaresa.

Noguera Pallaresa	
Longitud del tram analitzat	66.572 m
Superfície inundada	3.528.006 m ²
Superfície erosionada	53.773 m ²
Longitud dels marges amb soscavació	
	Riba dreta
	Riba esquerra

Pel que fa a l'àrea inundada, el 82% de la superfície (290 ha) correspon al fons de vall, la plana d'inundació ordinària i les terrasses més

baixes, concentrant-se en la zona fluvial, és a dir, a la llera i l'àrea imminent ocupada pel bosc de ribera. Un altre 10% correspon a ventalls al·luvials, principalment els de la cubeta d'Esterrí d'Àneu.

A la Noguera Pallaresa s'han cartografiat 7.641 m de sosscavacions al marge dret i 7.967 m al marge esquerre, que corresponen a un 11,5 i 12%, respectivament, de sosscavacions respecte al tram total analitzat. Les cicatrius de sosscavació d'aquest tram, a la riba dreta, es caracteritzen principalment per tenir una alçada inferior a un metre (98,5%), tan sols l'1,5% tenen una alçada entre 1 i 10 metres. La riba esquerra es caracteritza per tenir un 91% d'escarpaments de sosscavació inferiors a un metre i un 9% d'escarpaments entre 1 i 10 metres.

El 66% (4 ha) de la superfície erosionada per la Noguera Pallaresa correspon, segons la Base de dades geològiques de Catalunya 1:50.000, a materials al·luvials de les unitats quaternàries que conformen els sediments del llit actual, la plana d'inundació ordinària i les terrasses més baixes. La resta de la superfície erosionada, 1,8 ha, correspon a altres materials quaternaris col·luvials, al·luvials i glacials dels cons de dejecció i dels vessants, on s'inclouen 0,3 ha de materials dels ventalls al·luvials de la cubeta d'Esterrí d'Àneu.

Comparació dels efectes entre la Garona i la Noguera Pallaresa

La cartografia realitzada ha permès constatar que els efectes de l'aiguat, en termes geomorfològics qualitius i quantitius, van ser més intensos a la Garona que a la Pallaresa (Taula 4).

Sempre parlant sobre les zones estudiades, en termes absoluts l'àrea inundada a la Pallaresa va ser més gran, 352 ha, que a la Garona, 215 ha. No obstant això, si comparem la relació de la superfície inundada respecte la longitud analitzada de cada tram de riu (Si/La), podem veure que la inundació, metres quadrats per metre lineal de riu, va ser similar.

Taula 4 – Relació entre els paràmetres dels trams estudiats dels rius Noguera Pallaresa i Garona.

Relació entre paràmetres	Noguera Pallaresa	Garona
Superfície inundada/Longitud del tram analitzat (Si/La)	53.00	53.49
Superfície erosionada/Longitud del tram analitzat (Se/La)	0.81	9.67
Longitud erosionada/Longitud del tram analitzat (Le/La)	0.23	0.80
Superfície erosionada/Superfície inundada (Se/Si)	0.02	0.18

De la mateixa manera, comparant els metres quadrats de superfície erosionada (Se/La) i els metres lineals de cicatrius d'erosió (Le/La), ambdues respecte el metre lineal de riu, s'observa que a la Garona s'hi va produir molta més erosió.

La relació entre els metres quadrats erosionats i els metres quadrats inundats (Se/Si) també permet inferir que a la Garona, l'avinguda va ser més erosiva que a la Noguera Pallaresa, ja que a la primera, per cada 100 m² inundats se'n van erosionar 18 en contra dels 2 m² de la segona. La diferència en el pendent dels trams estudiats (1,8° la Garona, 0,7° la Noguera Pallaresa) expliquen, en part, els resultats obtinguts.

CARTOGRAFIA DELS EFECTES GEOMORFOLÒGICS ALS VESSANTS A LA CONCA DE LA GARONA

Com s'ha presentat anteriorment, els efectes més visibles d'aquest episodi han estat les crescudes dels cursos fluvials i els processos erosius als marges d'aquests. Però també s'ha pogut observar que, de forma simultània, es produïren, puntualment, esllavissades (incloent-hi els fluxos de terra) i corrents d'arrossegalls en diferents punts de la conca de la Garona. La precipitació dels dies 17 i 18 de juny, juntament amb les condicions meteorològiques dels mesos anteriors i la inusual extensió i gruix del mantell nival (Pineda *et al.*, 2013), van desencadenar un seguit de moviments gravitatoris en zones considerades com a susceptibles, degut a l'existència d'una formació superficial principalment col·luvial i producte de l'alteració del substrat rocós, i els elevats pendents dels vessants. Un dels factors més determinant fou la saturació dels materials poc permeables, amb poca capacitat de drenatge, fet que va donar lloc a un augment de la pressió intersticial, produint-se la inestabilització d'aquests i l'aparició d'un gran nombre de surgències a cotes elevades (Figura 6).



Figura 6 – Cicatriu d'esllavissada en materials col·luvials on s'observen surgències (IGC, 20/06/2013).

Per a identificar els moviments de vessant s'ha realitzat la fotointerpretació de les ortofotos resultants dels vols de l'ICC de juny i juliol de 2013, inventariant tots els esdeveniments

identificats. Per conèixer l'activitat dels llocs on s'han detectat esdeveniments s'ha realitzat la seva comparació amb l'ortofoto de 2011 i la de 1956. Altres paràmetres que s'han recollit són l'àrea afectada, en el cas d'esllavissades i la longitud recorreguda en el cas dels fluxos de terra i corrents d'arrossegalls.

Cal dir que, durant la realització de la fotointerpretació, s'han detectat indicis que no s'ha pogut identificar si eren producte d'una dinàmica nival o d'una dinàmica torrencial. Aquest fet es deu a una activitat d'allaus majors destacada, durant la temporada 2012-2013 a la Val d'Aran i a la Franja Nord de la Pallaresa. Els episodis amb més afectació a la Val d'Aran han estat els del 20-21 i 31 de gener, els del 7-11 i 15-19 de febrer, i 5-8 de març (IGC, 2013b). Aquests episodis han estat caracteritzats per l'ocurrència d'allaus majoritàriament de neu humida de fons, de flux

dens, amb capacitat d'erosionar la formació superficial, deixant un dipòsit a la zona d'arribada que, amb el retreballament posterior per l'aiguat del 18 de juny, es pot confondre amb el d'un flux torrencial. Per això, en aquest treball, anomenem esdeveniments de dinàmica mixta a aquells on s'ha observat, mitjançant fotointerpretació, un dipòsit que coincideix en una zona on tenim constància que durant la temporada 2012-2013 hi ha hagut activitat d'allaus.

A la Figura 7 es mostra la distribució dels moviments de vessant observats als vessants de la Garona i als seus tributaris. En total s'han inventariat 72 moviments gravitatoris. El 48% dels esdeveniments inventariats corresponen a esllavissades, el 40% corresponen a dinàmica mixta el 14% a fluxos torrencials.

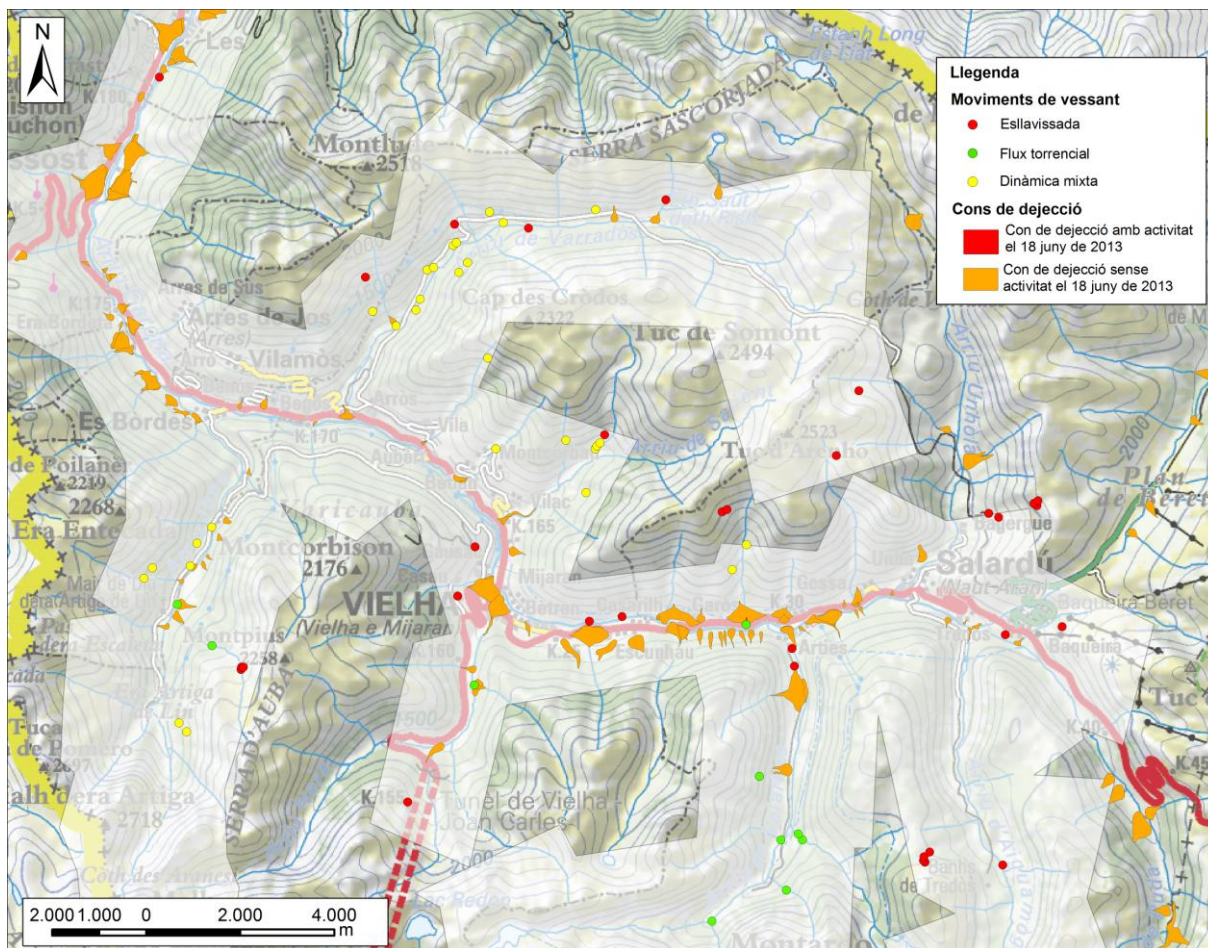


Figura 7 – Inventari dels moviments de vessant i de l'activitat als cons de dejecció causats per la riuada i l'aiguat del dimarts 18 de juny a la conca de la Garona.

La distribució per conques de la Garona i dels tributaris analitzats no mostra cap tendència significativa en relació amb el tipus de fenomen,

però sí que s'observa una major freqüència de la dinàmica mixta en aquelles conques on la

susceptibilitat d'allaus és més important, com són la del Joeu i la del Varradòs (Figura 8).

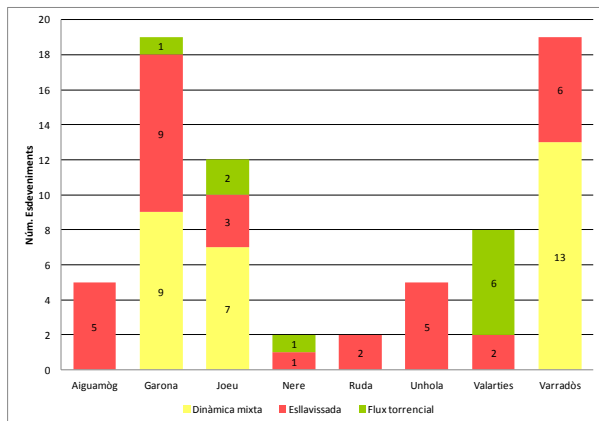


Figura 8 – Distribució dels esdeveniments desencadenats per l'episodi del 18 de juny

Destaquem la dispersió en les dimensions dels diferents fenòmens. Els corrents d'arrossegalls han assolit longituds des de 200 fins a 1.800 m. Les esllavissades han abastat superfícies de 20 a 15.500 m². Els fenòmens de dinàmica mixta presenten dimensions similars a les dels corrents d'arrossegalls, entre 300 i 1.400 m de recorregut.

Els materials involucrats en els moviments de vessant corresponen, en la majoria dels casos, a materials quaternaris col·luvials, al·luvials, glacials i a la formació superficial producte de l'alteració, de material quaternaris i del substrat paleozoic, principalment Devoniana, però també Carbonífer-Permià i Siluriana.

CARTOGRAFIA DELS EFECTES GEOMORFOLÒGICS ALS CONS DE DEJECCIÓ

En relació amb els cons de dejecció s'ha realitzat una revisió exhaustiva de la seva activitat durant l'episodi (Figura 7). En una primera fase, a la campanya de camp es va revisar l'activitat als cons de dejecció dels torrents que tributen a la Garona (IGC, 2012). En una segona fase, mitjançant fotointerpretació, es va revisar l'activitat de tots els cons de dejecció, recollits a l'inventari dels cons de dejecció de Catalunya (Fleta *et al.*, 2008).

En total s'han analitzat 102 cons de dejecció a la conca de la Garona. L'únic con situat al riu Garona que va presentar indicis d'activitat durant l'episodi, va ser el del barranc de Salider, on un corrent d'arrossegalls va dipositar sediment al con i va tallar la carretera C-28, entre Garòs i Arties. També s'han observat indicis d'activitat en cons de barrancs que desemboquen en el Valarties, el Nere i el Joeu. Al Valarties s'han inventariat 5 esdeveniments: al barranc dera Aubeta (Figura 9), al dera Restanca, a la Coma dera Artiga i als rius

de Rencules i de la Restanca. Al Joeu, se n'ha observat als barrancs de Montpius i dera Montanha de Delà. Finalment, al Nere, al barranc de Sant Esteve.

Un fenomen observat a la majoria dels cons, no degut a la pròpia activitat dels mateixos foren els efectes de socavació a les parts més distals per l'erosió causada pels cursos dels quals són tributaris.



Figura 9 – Dipòsit d'acumulació al barranc dera Aubeta, a la part més distal del con de dejecció, afectant a la carretera de Valarties, a la zona d'aparcament i al pont de Ressèc. (IGC, 20/06/2013)

CONSIDERACIONS FINALS

L'aiguat del 18 de juny de 2013 va afectar principalment a les conques de la Garona, Noguera Pallaresa i Noguera Ribagorçana. Els efectes geomorfològics més importants es van registrar a la conca de la Garona.

A la conca de la Garona, la socavació dels marges arriba fins a valors del 40% del tram analitzat. Els cursos de la Garona i Joeu són els que presenten major erosió a les ribes. El 91% de l'erosió afecta a materials al·luvials que conformen els sediments del llit actual, de la plana d'inundació ordinària i les terrasses més baixes. La resta correspon a materials quaternaris col·luvials, al·luvials i glacials que formen els cons de dejecció i els vessants.

Als vessants, s'ha documentat 72 moviments gravitacionals, alguns dels quals han estat de moviment ràpid tipus flux de terres. La majoria d'aquests s'han originat en la formació superficial col·luvial, glacial, o d'alteració del substrat.

Pel que fa als cons de dejecció, s'ha observat més activitat de fluxes torrencials als cons dels cursos tributaris, a cotes més altes, que a la vall principal

de la Garona. En aquesta, el barranc de Salider és l'únic que ha mostrat activitat significativa. A les conques tributàries destaca el barranc de l'Aubeta, a Valarties, on s'ha registrat el flux més important, que enterra completament l'aparcament del Pònt deth Ressèc.

Els efectes geomorfològics documentats han ocorregut en zones on la perillositat és coneguda o previsible. Cal insistir doncs en les polítiques de prevenció, amb la planificació territorial i urbanística, que demostrin ser més econòmiques i eficaces que la política de protecció.

AGRAÏMENTS

Aquesta tasca no hagués estat possible sense la col·laboració del Cos d'Agents Rurals (CAR) del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural, de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), dels Serveis Tècnics del Conselh Generau d'Aran (CGA) i dels Bombers d'Aran (Conselh Generau d'Aran) i de Geocat.

REFERÈNCIES

DTES (2013). Anàlisi multidisciplinària dels diversos factors ambientals causants de les inundacions a la Vall d'Aran els 17-18 de juny de 2013. Informe intern.

Fleta, F.; Cartró, M.; González, M.; Marturià, J., Gomà, J.; Gracia, A.; Godé, Ll. i Zurbano, F.(2008). Millora de la cartografia de zones potencialment inundables segons criteris geomorfològics. Conveni de col·laboració IGC-ACA (2006-2008). Informe núm.: AI-001/08. Setembre 2008-

IGC (2012). Realització de l'estudi hidrològic, hidràulic i d'inundabilitat a la Garona (Vall d'Aran). 1ª Part: Delimitació dels cons de dejecció. Núm.: AP-037/12. Juny 2012.

IGC (2013a). Informe preliminar dels efectes dels aiguats i riuada del 18 de juny de 2013 a la conca de la Garona. Núm.: AP-049/13. Juny 2013.

IGC (2013b). Base de Dades d'Allaus de Catalunya (temporada 2012-2013).

Pineda, N., Prohom, M., Serra, A., Martí, G., Garcia, C., Velasco, E., i Gracia A.(2013). Causes que van provocar la riuada a la Val d'Aran el 18 de juny 2013. Gestió de les inundacions. Barcelona, 27 – 28 de novembre de 2013.

AFECCIÓN DEL ESPACIO FLUVIAL Y EFECTOS SOBRE LAS INFRAESTRUCTURAS

M^a Luisa Moreno Santaengracia ⁽¹⁾; Guillermo Cobos Campos ⁽²⁾ y César Ferrer Castillo ⁽³⁾

(1) Confederación Hidrográfica del Ebro. P^o Sagasta, 24, 50006 Zaragoza. E-mail: mlmoreno@chebro.es

(2) Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n 46021 Valencia. E-mail: gcobos@spesa.es

(3) Confederación Hidrográfica del Ebro. P^o Sagasta, 24, 50006 Zaragoza. E-mail: cferrer@chebro.es

PALABRAS CLAVE: Garona, valle de Arán, Bossost, Artés, acumulación de nieve, modelo Aster, crecida extraordinaria, inundaciones, daños registrados, criterios de actuación.

LA RIADA DEL RÍO GARONA DEL 18 DE JUNIO DE 2013

La avenida del río Garona del 18 de junio de 2013 fue una de las crecidas extraordinarias más importantes registradas en los últimos años en el Valle de Arán, tras las de noviembre de 1982 y agosto de 1963 descritas en el Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas. Los daños producidos en bienes e infraestructuras fueron cuantiosos, produciéndose alteraciones notables en el espacio fluvial. En esta presentación se describen diversos aspectos de la inundación del 18 de junio de 2013 relacionados con la situación hidrometeorológica de la cuenca española del río Garona que precedieron a esta crecida extraordinaria, descripción hidrológica e hidráulica del evento, los daños registrados y los criterios de diseño para algunas de las actuaciones, de restitución, de cauces y otras, que se han llevado a cabo en el valle de Arán.

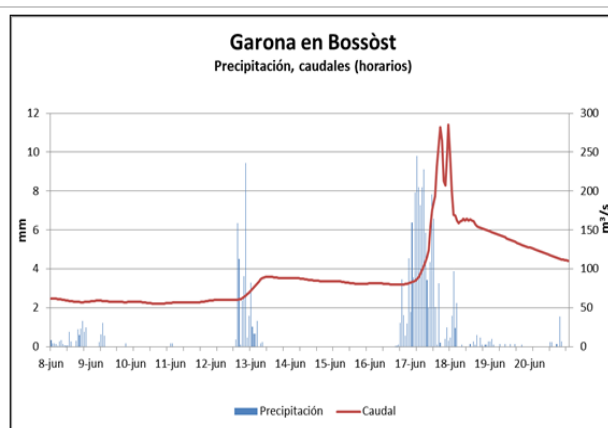
SITUACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

La situación meteorológica e hidrológica previa a la crecida, reunía diversos factores excepcionales en la cuenca alta del río Garona. La gran acumulación de nieve existente en el mes de junio en esta subcuenca pirenaica, las elevadas temperaturas y la precipitación de mayor o menor importancia de las dos semanas anteriores, provocaron una aceleración de la fusión del manto nivoso que aumentó el caudal base circulante por las cabeceras de los ríos los días previos. Esto facilitó la fusión adicional de nieve que se produjo con las intensas precipitaciones de los días 17 y 18 de junio (entorno a 80 mm acumulados).

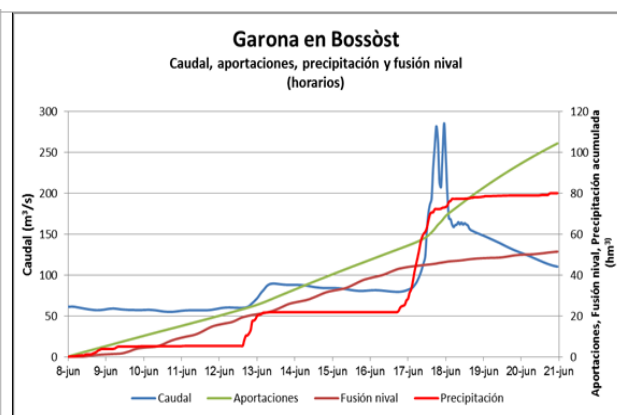
El estado de humedad de la cuenca (muy alto), las precipitaciones intensas y la fusión adicional de la nieve todavía almacenada provocaron una crecida extraordinaria en la cabecera del río Garona ocasionando daños en poblaciones ribereñas de todo el valle de Arán.

ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

Los niveles y caudales registrados no permitieron obtener datos precisos de la magnitud ni forma del hidrograma, pues las estaciones de aforo quedaron destruidas o bien inutilizados sus sensores y no se pudo estimar en tiempo real el caudal circulante en el episodio de crecida. Para obtener los caudales de esta crecida se ha llevado a cabo una modelación hidrológica empleando el modelo Aster pluviométrico-nival de simulación y previsión distribuido.



Importantes precipitaciones registradas en los días e instantes previos.



Las aportaciones debidas a la precipitación son superiores a las debidas a la fusión nival.

Figura 1 – Resultados de la simulación a escala temporal horaria para el Garona en Bossost

Se han obtenido los hidrogramas en dos puntos (núcleos urbanos) de la cuenca del Garona: Bossost (456 km² de cuenca vertiente) y Arties (137 km² de cuenca vertiente); a partir de datos diarios y horarios. La calibración del modelo se ha realizado a partir de los datos de precipitación, temperatura, niveles y caudales, así como con imágenes de satélite para constatar la evolución del manto nival.

Los resultados más significativos en cuanto a caudales han sido los siguientes:

- En Bossost, se estima un caudal máximo de 285 m³/s y un caudal medio diario de 197 m³/s.
- En Arties, de 154 m³/s y 117m³/s respectivamente.

Al final del episodio, las aportaciones debidas a la fusión nival rondaron el 40% y 50% respectivamente (Bossost- Arties).

La asociación de períodos de retorno a los caudales de los hidrogramas obtenidos se realiza mediante Caumax y estudios específicos existentes.

El valle de Arán tiene seis tramos fluviales definidos como Área de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs) en la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI) realizada en la demarcación hidrográfica del Ebro. Por tanto se han realizado los mapas de peligrosidad y riesgo correspondientes a dichos tramos.

La simulación se ha realizado de todo el año hidrológico (2012/2013) para una mejor estimación de la nieve acumulada.

DAÑOS Y ACTUACIONES

Los elevados caudales que se produjeron en la cuenca alta del río Garona, previstos parcialmente aunque no en su total magnitud por lo intenso de las precipitaciones y demás circunstancias coadyuvantes en una cuenca ya saturada, causaron grandes daños en infraestructuras y núcleos urbanos.

Las obras de restitución que ha llevado a cabo la Confederación Hidrográfica del Ebro se encaminan a mejorar la capacidad portante del río, dotando de continuidad a la anchura del cauce, evitando las zonas de estrechamiento (que provoquen atascos o tapones) y depósito que estén cercanas a los núcleos urbanos. Se reparan los muros de encauzamientos urbanos así como los puentes afectados, mejorando la cimentación (más profunda) para evitar descalces en crecidas. En zonas periurbanas se adecúa el encauzamiento del río con escollera.

Las estaciones de aforo tienen especial relevancia a la hora de tener datos fiables y en tiempo real (SAIH) de los niveles y caudales circulantes. Se ha construido una nueva en el río Garona en Arties (EA 143), integrada en la Red Oficial de Estaciones de Aforo de la cuenca del Ebro (09 ROEA). Es importante la durabilidad de los vertederos de estas secciones de control, por lo que se recubren de palastro.



Figura 2 – Nueva estación de aforos: EA143 Garona en Arties.

AGRADECIMIENTOS

A la Agencia Catalana del Agua, por la colaboración prestada en todos los estudios previos hidrológicos e hidráulicos realizados por su parte en el valle de Arán y que nos han sido facilitados, tanto anteriores como del propio evento de crecida.

Conclusions

Conclusions de la jornada

Es destaquen els següents punts:

- L'èxit tant en nombre com en qualitat dels ponents i assistents a la jornada, i s'aprofita per agrair l'esforç a tots els ponents i moderadors que desinteressadament han participat en aquest acte.
- L'acte ha estat possible gràcies a la implicació del Departament de Territori i Sostenibilitat a través de l'Agència Catalana de l'Aigua i l'Institut Geològic de Catalunya, però es remarca també la d'altres unitats, i en especial el Servei Meteorològic de Catalunya, la Direcció General d'Ordenació del Territori i Urbanisme i altres departaments de la Generalitat com ara el d'Interior mitjançant la Direcció General de Protecció Civil de Catalunya.
- S'ha fet una revisió actualitzada des dels punts de vista jurídic i tècnic, de les diverses normatives vinculades amb la problemàtica de les inundacions des dels vessants hidràulics, urbanístics i de protecció civil.
- S'han posat en comú les experiències sobre regulació dels usos de les zones inundables com a una de les eines destacades en la reducció dels danys. S'assenyala que cal però avançar en la solució de la problemàtica de les ocupacions preexistents i els planejaments ja aprovats que afecten zones inundables.
- Ha permès comentar aspectes tècnics dels avenços en la delimitació de les zones inundables.
- S'ha destacat la gran importància de la necessària coordinació i cooperació entre les diferents administracions amb competències sectorials sobre la problemàtica de les inundacions en les diverses fases i aspectes (predicció, avaluació, planificació i gestió d'episodis).
- S'ha exposat i valorat la gran aportació que la geologia fa al coneixement de la inundabilitat.
- S'han exposat els notables avenços en eines de predicció meteorològica, hidrològica, hidràulica i de protecció de danys.
- S'han comentat diverses aportacions al concepte de gestió del risc per damunt de les mesures estructurals.
- S'ha destacat la conveniència d'impulsar l'educació i conscienciació, o sigui, la cultura de l'autoprotecció.
- S'han exposat i debatut episodis recents d'inundacions sobre els que extreure reflexions de cara al futur.

- S'ha divulgat la disponibilitat cada vegada de més, millor i de fàcil accés informació sobre inundabilitat com a contribució al coneixement i gestió del risc i per tant reducció de danys.
- S'ha posat de manifest la necessitat de tenir en compte la dinàmica sedimentària, la càrrega sòlida, els corrents d'arrossegalls, els moviments de vessant i altres processos geomorfològics en la correcta gestió de les inundacions i fenòmens associats.
- S'ha remarcat la necessitat de compatibilitzar les mesures destinades a la reducció de danys amb les de preservació i millora ambiental.
- S'ha posat de manifest el fort caràcter multidisciplinari de la gestió d'inundacions.
- S'evidencia la necessitat de promoure el coneixement del risc residual a efectes de la seva acceptabilitat social.
- Ha quedat palès l'allunyament dels coneixements tècnics i normatius del món local i en especial dels ajuntaments petits.
- S'ha destacat la importància d'aplicar mecanismes de participació pública activa, de concertació i corresponsabilització a la gestió del risc d'inundació.

Finalment s'agraeix a tot el personal de la organització per l'esforç i bon treball dut a terme així com agrair profundament als nostres amfitrions del CEJFE per haver acollit aquestes jornades en les seves magnífiques instal·lacions.



JORNADA 2013
gestió inundacions