

**INSTITUCIÓ CATALANA
D'HISTÒRIA NATURAL**

LES CRESCUDES FLUVIALS

I LA GESTIÓ SOSTENIBLE

DEL TERRITORI,

A CÀRREC DE

JORDI COROMINAS,

DE LA UNIVERSITAT POLITÈCNICA

DE CATALUNYA

1. INTRODUCCIÓ

Les crescudes fluvials són, amb diferència, el risc natural de més impacte social i econòmic del nostre territori. Només en els darrers cinquanta anys, cal esmentar els aiguats del Vallès del 25 de setembre de 1962, que es van cobrar gairebé un miler de víctimes. Altres crescudes importants van ser les de l'11-12 d'octubre de 1970 a les conques del Ter i el Fluvià; el 20-21 de setembre de 1971 al Llobregat; del 7-8 de novembre de 1982 als rius pirinencs. Finalment, el 10 d'octubre de 1994 un intens episodi plujós va colpejar les serralades costaneres catalanes, donant lloc a revingudes, especialment dels rius del Vallès i del Camp de Tarragona: vuit persones hi van perdre la vida.

En els darrers anys hi ha hagut també nombrosos aiguats de gran intensitat, però més localitzats, com el de la muntanya de Montserrat el 10 de juny de 2000, amb 170 mm de pluja en 19 hores i una intensitat màxima de 100 mm en 45 minuts (Oranias, 2000) o el més recent, de 9 d'octubre de 2002 a Castelldefels, amb 230 mm recollits en 6 hores.

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, empesa a realitzar treballs de recuperació i també a executar onerosos plans de protecció que impliquen la construcció d'embassaments, canalitzacions, murs de protecció, dipòsits de retenció d'aigües..., entre altres actuacions.

Cal exigir que les actuacions per a protegir-nos de les riuades siguin eficaces i permanents, però també sostenibles. Per a 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 de les crescudes, de les mesures de protecció (en particular, la canalització), les seves implicacions, i de les alternatives que exis-

teixen. L'argument s'estructurarà al voltant del comentari d'alguns exemples.

2. LES CRESCUDES: UN PROCÉS MÉS DELS SISTEMES NATURALS

El medi físic s'organitza en sistemes. Aquests es desenvolupen en un espai, que fa de contenidor, on són presents diversos elements (els organismes vius, els fluids, els materials) i on actuen diversos processos (fluxos de matèria i energia). Cada sistema sol establir un equilibri dinàmic susceptible de trencar-se mitjançant qualsevol acció exterior, que el fa evolucionar fins a convergir, tard o 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 uns límits finits, anomenats divisòries. En tota conca de drenatge hi ha entrades en forma de precipitació i sortides, com ara l'aigua i el sediments. S'hi donen bescanvis d'energia, i els processos dominants són els induïts per la gravetat, facilitant l'erosió i el transport de sediments, així com l'escolament de l'aigua. A la conca també s'hi donen altres activitats, com la biològica, que està íntimament lligada al sistema fluvial i al cicle hidrològic.

Les inundacions no són un problema ambiental seriós. Les crescudes són processos naturals que han existit sempre i que continuaran existint. Tenen efectes clarament beneficiosos, com ara la recàrrega d'aqüífers i de les zones humides, la fertilització de les terres agrícoles i l'aportació de sediments necessaris per a la regeneració de platges i deltes. Les crescudes han esdevingut un risc i un peatge només en la mesura en què l'ésser humà ha envaït, de manera sovint irresponsable, l'espai fluvial.

3. EL CONTEXT MEDITERRANI

Les condicions que donen lloc als aiguats i les crescudes extraordinàries a la Mediterrània són ben conegudes (Masachs, 1958): la fosa ràpida de la neu de les muntanyes a causa d'un augment sobtat de la temperatura, les tempestes d'estiu, de caràcter local, i les tempestes de la tardor, que solen afectar una gran extensió de territori.

Les crescudes de fosa de neu són característiques de finals de l'hivern i la primavera. Els rius pirinencs, com ara el Llobregat, desguassen grans volums d'aigua que fan créixer el nivell de manera tranquil·la. Quan l'acumulació de neu és important, els rius poden inundar les ribes sense gaires conseqüències. Si l'augment de temperatura és sobtat i va acompanyat de pluges generals, la crescuda pot resultar brusca i extraordinària.

264

Les tempestes d'estiu de caràcter local predominen sobretot a la Serralada de Marina. Els exemples més coneguts es troben a la comarca del Maresme, per bé que d'episodis tempestuosos de gran intensitat se'n donen també per tot el país. Les pluges convectives dels mesos de juliol, agost i setembre tenen una durada d'unes poques hores i una elevada intensitat. És freqüent que s'enregistrin entre 40 i 100 mm en el decurs de la tempesta, i això fa que les petites rieres com les del Maresme, normalment seques, passin en pocs minuts a desguassar desenes de metres cúbics per segon.

Els temporals de tardor originen les crescudes de més magnitud i virulència. Generen pluges de caràcter torrencial amb intensitats que assoleixen els 100 mm/h i poden descarregar 200 o 300 mm en l'interval d'algunes hores o pocs dies, havent superat els 700 mm durant els aiguats de 1940 (Novoa, 1984). En aquests esdeveniments no és estrany recollir en 24 o 36 hores més del 50 % de la pluja mitjana anual. Les condicions més favorables es donen a finals de l'estiu, quan les aigües del mar escalfa-

des són una gran reserva de calor i humitat per a les capes baixes de l'atmosfera. Les borrasques que es generen o reactiven a la Mediterrània occidental envien vents càlids i carregats d'humitat cap a la costa. Aquests vents de llevant ascendeixen pels relleus muntanyosos i es condensen ràpidament, de manera que desencadenen fortes pluges. En aquestes condicions, la presència d'una gota freda o d'un front d'aire fred pot fer que les precipitacions esdevinguin torrencials. Els arxius històrics mostren que periòdicament tenen lloc pluges intenses que provoquen crescudes sobtades al riu mediterrani. Per exemple, al riu Ter es van produir grans crescudes els anys 1552, 1617, 1678, 1763, 1802 i 1843. Del segle XX cal esmentar especialment els esdeveniments plujosos de 1907, 1937, 1940 i 1982, que van afectar la Serralada Pirinenca (Corominas, 1985).

El relleu exerceix una gran influència en el desenvolupament de les crescudes, en dos sentits. Primerament, forçant el moviment ascendent de les masses d'aire humides i la seva condensació. Els màxims de precipitació estan relacionats amb la presència d'obstacles orogràfics (serralades costaneres, Pirineu oriental). En segon lloc, els vessants de fort pendent fan concentrar les aigües ràpidament, i donen lloc a puntes de crescuda brusques que només duren unes poques hores (crescudes sobtades o *flash-floods*). Les localitats situades als fronts muntanyencs són les més afectades per l'arribada de la punta de la crescuda poc temps després que s'hagi assolit la màxima intensitat de pluja, fet que dificulta l'adopció de mesures d'alerta i evacuació.

4. ACTUACIONS A LES ZONES INUNDABLES

La lluita contra els efectes adversos de les crescudes es pot encarar des de diverses aproximacions: a) l'ordenació del territori, amb la restricció d'usos a les zones potencialment

inundables; b) els sistemes d'alerta i evacuació, amb la finalitat fonamental d'evitar la pèrdua de vides humanes, per bé que no impedeix els danys materials, i c) les obres hidràuliques de protecció.

L'ordenació del territori és l'eina més eficaç i econòmica per a afrontar el fenomen de les riuades. La identificació, delimitació i regulació de les zones potencialment inundables és una pràctica usual en molts països desenvolupats. A casa nostra disposem, per exemple, del pla INUNCAT, que identifica les zones en situació de perill als principals rius catalans. No obstant això, ara com ara, l'INUNCAT no ha tingut la traducció en una norma d'obligat compliment que restringeixi l'ocupació als marges del rius, cons de dejecció i planes al·luvials.

Nombroses poblacions catalanes, especialment barricides de construcció recent, es localitzen en zones potencialment inundables. Aquesta situació, de fet, fa necessària l'adopció de mesures de protecció així com dispositius d'alerta i evacuació. Aquests darrers, si bé són normals als grans rius de l'Europa central, on les crescudes tarden alguns dies a fer el seu recorregut, a casa nostra només tenen sentit als rius més importants, com l'Ebre. En la resta de cursos, fins i tot els dels rius mitjans com el Ter i el Llobregat, les crescudes es desenvolupen en el decurs d'unes poques hores; és el que coneixem amb el nom de rierades, riuades o crescudes sobtades (*flash floods*). A les capçaleres dels rius pirinencs i de les serralades costaneres, el temps de concentració de les aigües és d'unes poques hores i això fa que les possibilitats d'alerta i evacuació preventiva siguin escasses. Per aquest motiu, l'estratègia de lluita contra les riuades s'ha dirigit prioritàriament vers la construcció d'obres de protecció.

La construcció d'obres hidràuliques de protecció sol estar justificada quan hi ha perill per a la població o en casos especials, com ara l'encreuament dels rius per infraestructu-

res (carreteres, ferrocarrils). Hi ha dues tipologies principals d'obres de protecció: les preses i els endegaments.

Les preses regulen el cabal que transporta el riu aigües avall aprofitant la capacitat d'emmagatzematge dels embassaments, per mitjà de comportes i sobreeixidors. Amb això s'arriba a modificar l'hidrograma de la crecuda, tot escapçant la punta màxima de cabal, el fet que es coneix com *laminació de l'avinguda*. Per a fer-ho, cal disposar d'un pla de gestió que faci conciliar la necessitat de disposar d'una gran quantitat d'aigua emmagatzemada (per a abastament, regadiu, generació elèctrica...) i la necessitat de deixar un volum sense omplir, volum de resguard, que és el que permetrà retenir part de la crecuda (Vergés, 1997). A les zones urbanes, s'han construït també dipòsits subterranis amb la mateixa finalitat, és a dir, retenir l'aigua transitòriament, per a deixar-la anar després de manera controlada i sense que provoqui danys.

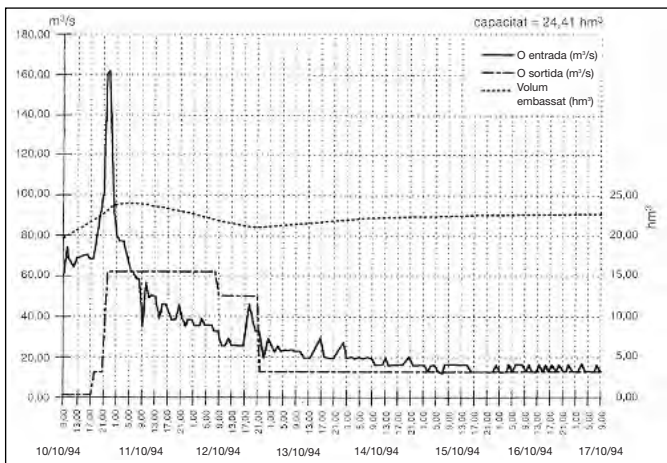


FIGURA 1. Hidrograma del riu Cardener a l'embassament de Sant Ponç els dies 10-17 d'octubre de 1994. Es pot observar que a l'entrada de l'embassament s'ha reduït dràsticament a la sortida (modificació de Vergés, 1997).

Els embassaments tenen importants servituds ambientals (DGMA, 1998). D'una banda, modifiquen les característiques físiques, químiques i biològiques de l'aigua. Als nutrients aportats pel riu, s'hi han d'afegir els acumulats als sòls i els de la degradació de la vegetació existent al vas inundat, de manera que resulta un augment del N i P. Si hi ha un excés de nutrients, la funció depuradora de la massa d'aigua es redueix, augmenta la biomassa de plàncton que, en morir, sedimenta i entra en descomposició, amb la qual cosa esgota l'oxigen i dona lloc a condicions anaeròbies al fons. Les variacions constants de nivell de l'embassament (variacions que no estan sotmeses als ritmes estacionals naturals) fan desaparèixer la flora i fauna litoral. La mateixa presa esdevé una barrera, sovint insuperable, per a la mobilitat de la fauna piscícola, especialment la truita i l'anguila. Finalment, l'embassament constitueix una trampa de sediments que, per una banda, disminueix la capacitat d'emmagatzematge i escurça la seva vida útil i, per l'altra, interromp el flux de sediments necessari per a mantenir l'equilibri als marges i llit del riu, i després, al delta i platges que pugui alimentar.

Els endegaments estan concebuts per a impedir que el riu surti de mare. Van des de les actuacions més modestes, com són el reforç i protecció dels marges amb escullera amb la finalitat d'impedir l'erosió lateral, la construcció de motes per a permetre un augment de la làmina d'aigua i augmentar el cabal que és capaç de desguassar la secció, la construcció de murs de formigó, amb la doble finalitat d'evitar l'erosió lateral i augmentar la capacitat de la secció per l'increment de la seva alçada i disminució de la rugositat del llit, fins a solucions molt més contundents, com ara el desviament del curs o el seu cobriment.

Com que molts rius i rieres catalans tenen conques petites i humanitzades, la construcció d'embassaments és poc viable. Les actuacions més freqüents per a fer front a les cres-

cudes són les canalitzacions (protecció de marges, construcció de murs i motes). Atesa la facilitat amb què s'adopta la solució de la canalització dels trams fluvials, comentarem breument les afeccions que solen produir sobre el medi i l'efectivitat de l'acció protectora davant les crescudes.

5. IMPACTES DE LA CANALITZACIÓ

La canalització és una pràctica d'enginyeria que causa una gran alteració ambiental. Les tasques de canalització solen comportar l'eixamplament, rectificació i dragat de la llera; la tala de la vegetació de ribera; la construcció de dies i motes, i l'estabilització de marges.



FIGURA 2. *Canalització de la Valira a Andorra la Vella.*

L'excavació de la llera suposa la retirada dels arbres, arbusts i dels al·luvions dels marges, amb la finalitat d'augmentar-ne la secció. El rebaixament del llit i el redreçament

del curs busquen augmentar el gradient longitudinal i de la velocitat de les aigües. Tot plegat, amb la finalitat de permetre una més gran capacitat de desguàs del tram de riu (vegeu la figura 2).

La tala de la vegetació de ribera del llit i els marges pretén la reducció dels obstacles i de la rugositat de la secció, fent augmentar la velocitat de circulació de les aigües i també la capacitat de desguàs. La desaparició de la vegetació suposa reduir els elements flotants que sovint són la causa d'obstruccions en ponts i altres infraestructures.

L'aixecament de dics o motes pretén, per una banda, evitar el desbordament de les aigües cap a la plana al·luvial i, per l'altra, augmentar la secció transversal i la seva capacitat de desguàs.

Finalment, una vegada definida la secció transversal del riu, l'estabilització dels marges té per finalitat evitar modificacions de la secció. Això sol comportar el rebaixament del pendent del marge i, sovint, la col·locació de blocs d'escullera o un mur de formigó, per a evitar l'erosió dels sediments dels marge per les aigües.

Són nombrosos els danys que aquests treballs de canalització provoquen al medi fluvial. Es poden establir quatre tipus d'impacte (Keller, 1976): *a*) danys al canal i plana d'inundació, *b*) danys a la fauna piscícola i a la salvatge, *c*) degradació estètica i *d*) pertorbacions aigües avall.

Danys al canal i plana d'inundació. El redreçament i aprofundiment del canal s'ha associat amb importants erosions dels marges (Emerson, 1971). L'aprofundiment del canal rebaixa el nivell de base dels afluents, i fa iniciar un cicle d'erosió per ajustar-se a les noves condicions. L'erosió migra aigües amunt, de manera que dona canvis de pendent.

A les planes al·luvials, la crescuda representa també una ocasió per a la recàrrega dels aquífers. En efecte, la

mobilització de sediments de la llera provocada pel pas de les aigües elimina els llims i argiles que, amb el temps, havien decantat i omplert els buits entre els grans de sorra i grava. Aquests llims i argiles dificultaven la infiltració de les aigües al subsòl, fent reduir de manera significativa la recàrrega dels aquífers. En minvar la crescuda, les sorres i graves de nou dipositades permeten la infiltració de les aigües durant setmanes o mesos.

D'altra banda, el desbordament de les aigües per la plana al·luvial constitueix un mecanisme addicional d'infiltració a l'aquífer, i també d'acumulació de llims sorrenes que fertilitzen els terrenys agrícoles.

Danys a la fauna piscícola i a la salvatge. Qualsevol activitat que faci desaparèixer la vegetació, remogui el sediment, n'augmenti la concentració, o canviï les característiques del flux d'aigua, afectarà els peixos i la vida salvatge. Encara que les crescudes fan molt de mal a la fauna, les canalitzacions redueixen dràsticament la productivitat biològica.

Els peixos necessiten normalment un hàbitat caracteritzat pel següent: *a*) alternança de condicions de flux lent i aigües fondes (gorgs) amb aigües ràpides i somes (ràpids), per a poder fer les funcions d'alimentació, cria i refugi; *b*) varietat d'ambients d'aigües ràpides i refugis, que els dona protecció davant l'excés de velocitat de l'aigua; *c*) com a resultat de les condicions de flux variable, hi ha una distribució natural dels sediments als ràpids i barres de grava, amb un ambient adequat per a l'establiment d'organismes bentònics, que són l'aliment dels peixos i altres animals, i *d*) els arbres, matolls i altra vegetació proporcionen refugi i aliment als peixos. En rius truiters, la vegetació dels marges protegeix l'aigua del sol i permet mantenir freda la temperatura de l'aigua.

La canalització pot convertir un curs meandriforme amb abundància de gorgs i ràpids en un curs rectilini sense

gorgs. A més, la gran varietat natural de mida de blocs com la vegetació, pot desaparèixer. En crescudes la velocitat pot ser excessiva per als peixos sense protecció. A més, com que l'aigua de les tempestes drena de pressa amb poca infiltració a l'al·luvial (baixa recàrrega), es redueix el flux d'estiatge perquè hi ha poca reserva subterrània. Pitjor encara, l'aigua disponible a l'estiatge, a causa de l'eixamplament de la llera, té poc calat. Com que és soma i no hi ha arbres per a protegir-la del sol, s'escalfa. Pels motius esmentats, la productivitat biològica dels rius canalitzats minva.

Convé tenir present que els cursos fluvials, sobretot aquells que disposen d'una abundant vegetació de ribera, constitueixen corredors biològics fonamentals per a permetre el desplaçament de la fauna vertebrada d'un hàbitat a un altre, ajudant a trencar l'aïllament en què es troben moltes espècies en zones periurbanes fortament humanitzades.

Degradació estètica. La qualitat de pintoresc desapareix en canalitzar. A més de l'aigua, el paisatge natural té diversitat i estimula els sentits amb contrastos i canvis de color. La canalització redueix la qualitat estètica d'un curs d'aigua.

Efectes aigües avall. La canalització pot augmentar les crescudes aigües avall en transportar l'aigua més ràpidament del que els trams inferiors són capaços de desguassar. També pot fer coincidir o no les crescudes dels diferents afluents.

El desbordament dels marges és el resultat més visible de les crescudes; aquest esdevé un perill per a les activitats que es desenvolupen prop dels rius, però és també un element esmorteïdor de la crescuda fluvial. Les planes al·luvials funcionen com a magatzem transitori de les aigües que han sortit de mare i redueixen el cabal màxim de crescuda riu avall, especialment, en les crescudes sobtades o *flash-floods*.

L'anàlisi de les crescudes històriques als rius on s'han construït llargs trams de motes mostra que aquestes fan augmentar el nivell de les aigües riu avall. Per exemple, la crescuda del riu Mississipí de 1973 va assolir nivells rècord de les aigües als estats d'Iowa i de Missouri, tot i que el cabal circulant va ser menor que la crescuda de 1927. Això s'explica per la gran quantitat de motes construïdes, i es calcula que, sense aquestes, el nivell de les aigües hauria estat 3,3 m més baix (Rahn, 1991). De tot això, en parlarem en els apartats següents.

6. EFECTIVITAT LIMITADA DE LES PROTECCIONS

Els endiguaments són una barrera en dos sentits. Tenen com a funció principal impedir que les aigües del riu desbordin, però com a contrapartida, les aigües dels cursos afluent tenen dificultat per a desguassar, especialment quan l'endiguament ha fet augmentar el nivell de crescuda de les aigües del riu. Sovint s'ha d'actuar a la confluència per tal de garantir el correcte desguàs d'aquells.

Un efecte semblant el provoquen les obres lineals (terraplens d'autopistes o de ferrocarrils) que segueixen paral·lelament el riu i s'interposen al traçat dels torrents i rieres afluent. Això és el que va succeir el 12 de novembre de 1988 amb el terraplè de l'autopista A-2 i les rieres que travessen Sant Feliu de Llobregat, o l'octubre de 2002 amb l'autopista C-32 a Castelldefels. La incapacitat de desguàs d'aquestes vies ràpides va ser la responsable del negament de les propietats.

Això també passa amb la xarxa de clavegueres, que es troba una cota molt per sota del nivell del riu. Els abocaments s'efectuen generalment per gravetat, amb la qual cosa la cota de desguàs està molt propera a la del llit del riu. En

alguns casos, el desguàs disposa d'un sistema de comporta antiretorn o clapeta, que impedeix l'entrada de l'aigua del riu quan el nivell sobrepassa el del col·lector o claveguera. Els problemes s'originen per les situacions següents:

- a) Existència de desguassos desproveïts de plaqueta i d'altres en què la clapeta no arriba a tancar-se, tot deixant que l'aigua del riu hi penetri i inundi terrenys que no haurien d'estar afectats.
- b) Pel mateix fonament dels desguassos, el tancament prolongat de la clapeta (per evitar l'entrada de les aigües del riu) provoca el represament de les aigües pluvials i causa desbordaments i inundacions.

Aquesta mena de situacions van esdevenir-se als aiguats de novembre de 1982 (Mujeriego i Dolz, 1983): l'aigua va entrar per un desguàs que no tenia plaqueta, just avall del pont de la carretera C-245 de Sant Boi de Llobregat a Cornellà, després va rebentar la tapa de registre en un punt proper a l'abocament i va inundar el marge esquerre a les rodalies del pont.

La resolució d'aquests problemes requereix fortes inversions. Així, a finals dels anys noranta a Sant Vicenç dels Horts, es va construir un col·lector que recull les aigües del clavegueram i les rieres locals per a vessar-les al Llobregat, a l'alçada de la riera de Torrelles. A l'autovia del Llobregat s'han construït diversos caixons per permetre el desguàs de rieres com les de Pocanals i Corbera.

En els casos on, malgrat la presència dels dics, el riu ha estat capaç de desbordar, els mateixos dics fan d'obstacle per al retorn de les aigües, com s'ha pogut comprovar durant els aiguats del mes d'agost de 2002 a l'Europa central.

En qualsevol cas, la construcció de les obres de defensa donen un fals sentiment de seguretat i són un llum verd

per al creixement urbà. Cal ser conscients, però, que cap obra de protecció fluvial no garanteix un risc nul. Això no és assumible des d'un punt de vista econòmic. Per aquest motiu, els dics i les motes es construeixen d'acord amb el que s'anomena *crescuda de disseny*, és a dir, la crescuda màxima que hom pot esperar amb una probabilitat donada, en general petita. A casa nostra, les obres que afecten les activitats humanes es dissenyen per desguassar crescudes que poden succeir en períodes de retorn entre dos-cents i cinc-cents anys (Vergés, 1994).

En qualsevol cas, la correcció i protecció d'una conca fluvial s'ha de fer amb visió global, pensant en les conseqüències que les obres poden comportar tant aigües amunt com aigües avall. El cost d'aquestes actuacions pot ser molt elevat (dics, preses, desviaments...). Ocupar un tram de la plana al·luvial pot significar la realització de treballs en una extensió molt més gran i un cost molt elevat; en molts casos, de dubtosa rendibilitat.

275

7. ANÀLISI D'UN CAS: LES CRESCUDES D'OCTUBRE DE 1994 A LA CONCA DEL BESÒS

El 9-10 d'octubre de 1994 un intens episodi plujós a les serralades costaneres catalanes va provocar grans crescudes, especialment dels rius del Vallès i del Camp de Tarragona. Vuit persones van perdre la vida directament per les crescudes, i els danys als edificis i infraestructures van ser avaluats en més de 130 milions d'euros. Molts pobles es van veure afectats per la inundació. Per exemple, el riu Francolí va desbordar a l'àrea industrial de Tarragona i va obligar a evacuar nou-cents veïns del barri del Serrallo. Els danys més grans van tenir lloc a les zones industrials properes als cursos d'aigua. Altres danys es van produir per l'erosió dels marges dels

rius i dels terraplens de les carreteres situades a la plana d'inundació, pel col·lapse dels ponts per erosió de les piles (dotze ponts de carretera van ser destruïts), i per l'essllavissament d'àrees residencials (l'Estartit, la Riba). Entre els efectes geomòrfics de les crescudes s'inclogueren la migració de canals fluvials, l'erosió del llit, el soccavament de marges i l'eixamplament del llit.

La distribució de la pluja va seguir l'orientació de les serralades costaneres, sobretot pel costat de llevant. La màxima intensitat de pluja en 48 h va ser enregistrada a l'oest i al sud de Tarragona: 424 mm a Alforja i 406 a Cornudella. Un altre valor màxim es va localitzar prop del golf de Roses, on les pluges van assolir 381 mm a Torroella de Montgrí, i 325 a l'Estartit. Entre ambdós màxims, les precipitacions enregistrades van oscil·lar entre els 100 i el 200 mm (vegeu la figura 3).

La majoria dels rius que drenen la Serralada Prelitoral van sortir de mare i es van estendre per la plana al·luvial. Els cabals punta més grans es van assolir al riu Llobregat, a Martorell (1.800 m³/s), i al riu Francolí, a Tarragona (1.400 m³/s). Aquests cabals van ser més petits que altres crescudes precedents. Així, el cabal enregistrat al riu Llobregat va ser un 40 % inferior a l'enregistrat el setembre de 1971 (3.080 m³/s). El cabal observat al riu Francolí havia estat superat els dies 18-19 d'octubre de 1930 (1.976 m³/s) i el setembre de 1874 (2.200 m³/s). El riu Besòs va assolir 1.100 m³/s a la seva desembocadura, només lleugerament per sota del seu màxim conegut de 1.234 m³/s, del 25 de setembre de 1962. El 1994 només es van produir danys menors a la conca baixa del Besòs, mercès a les obres de defensa construïdes després dels aiguats de 1962. Per contra, els seus afluents (riera de Caldes, riu Tennes i riu Congost) van destruir les defenses dels marges i es van desbordar (Corominas *et al.*, 1995).

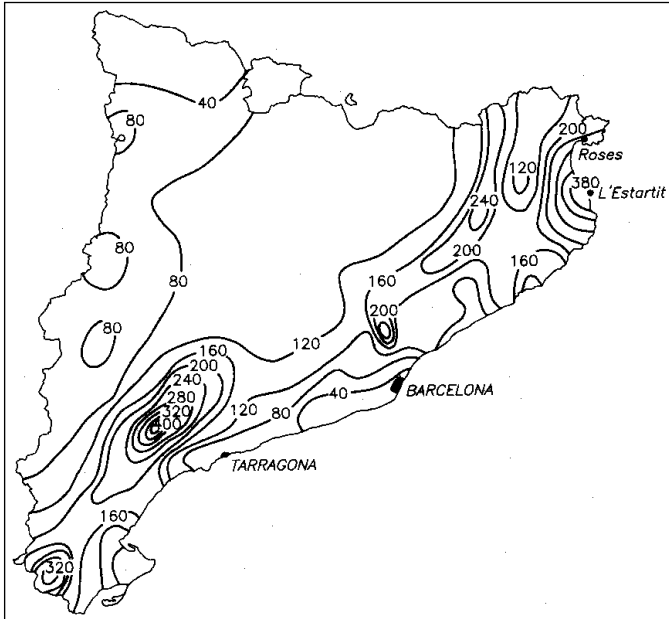


FIGURA 3. Distribució de la pluja caiguda a Catalunya els dies 9 i 10 d'octubre de 1994 (Corominas et al., 1995).

Els afluents del riu Besòs van mostrar un comportament torrencial. Al curs alt van evidenciar una poderosa capacitat erosiva, mentre que al curs baix (prop de la confluència amb el riu Besòs) no hi va haver erosió del llit al·luvial i, en canvi, es va dipositar una fina capa de sorres i graves al damunt de la superfície preexistent. Aquest comportament explica alguns dels desperfectes ocasionats i ha de ser tingut en compte en les actuacions a realitzar en el sistema fluvial.

7.1. *L'erosió fluvial i la protecció dels marges*

El curs alt del riu Tenes discorre pel substrat rocallós. Abans de la crescuda de 1994, al llit hi havia grans blocs rocалlosos transportats en anteriors crescudes i caiguts dels vessants veïns. Alguns dels blocs eren tan grossos que no van ser moguts pel corrent, i donaren així l'oportunitat d'analitzar la capacitat de transport d'aquesta crescuda. Els blocs bellugats es van identificar gràcies a diversos indicadors, com són la disposició imbricada dels blocs; marques d'impacte a les arestes dels blocs i a les cares orientades aigües avall; i presència de peces de fusta, plàstic, maons o asfalt atrapades sota els blocs. La mida dels blocs transportats va ser determinada pel gradient longitudinal del riu. A Riells, després de la crescuda, nombrosos blocs prismàtics de llargada d'entre 1,5 i 2,5 m s'arranjaven amb l'eix major disposat transversalment al flux. El volum dels blocs més grans moguts oscil·lava entre 1,4 i 1,6 m³, en seccions del riu amb gradients longitudinals d'entre 1,5 i $4,8 \times 10^{-2}$. La mida dels blocs transportats disminuïa a mesura que disminuïa el pendent del llit i la velocitat. A la part baixa de la conca, només es van trobar blocs de fins a 0,5 m de llargària (vegeu la taula 1).

TAULA 1. *Mida dels blocs transportats per la crescuda de 1994 a diferents trams del riu Tenes (Buxó, 1997)*

<i>Secció</i>	<i>Gradient (m/m)</i>	<i>Mida dels blocs transportats (m³)</i>
Riells	0,031	1,380
Bigues	0,008	0,806
Santa Eulàlia	0,0055	0,470
Lliça de Vall	0,01-0,006	0,690
Parets	0,006	0,332
Montmeló	0,007	0,276

La conseqüència d'aquesta capacitat de transport va ser la destrucció de les proteccions dels marges. Així, a la conca de la riera de Caldes, els marges protegits amb blocs d'escullera de 0,8 m de llargada i 0,3 m³ de volum, van desaparèixer, del tot o en part, per l'arrossegament dels blocs desenes de metres aigües avall. La travada de l'escullera va ser vençuda per la sapa dels blocs, així com pel desbordament de les aigües i l'erosió del redós.



FIGURA 4. *Escullera de protecció de la riera de Caldes, desmantellada per la crescuda del 10 d'octubre de 1994.*

Aquest esdeveniment va posar en evidència la necessitat d'un disseny de la protecció contra l'erosió de les ribes, en consonància amb la capacitat de transport del riu. La velocitat crítica per la posada en moviment dels blocs utilitzats en l'escullera ha de ser més gran que les velocitats que es poden esperar en les grans crescudes.

7.2. *Comportament torrencial: dinàmica, erosió i sedimentació*

La mobilització del llit al·luvial durant les crescudes és un procés poc conegut. L'erosió i posterior deposició dels sediments al·luvials l'octubre de 1994 va ser observada en diverses rases obertes pocs dies després. Les rases van mostrar que les sorres i graves van ser remogudes fins a fondàries d'1,75 m en trams no influïts per la presència d'estructures. Als trams alts al·luvials, a la major part de les rases, l'erosió va assolir més d'1 m de profunditat. No obstant això, els efectes erosius es van incrementar al voltant de les piles dels ponts. Al pont de Lliçà de Vall, que va col·lapsar, les sabates de fonamentació es trobaven a més de 2,5 m sota la superfície del terreny, mentre que les rases obertes 200 m aigües amunt només mostraven una erosió màxima d'1,35 m.

280

Al tram baix del riu Tenes només es va produir una agradació o, a tot estirar, una erosió lleugera. En aquest tram la càrrega de sediments es va dipositar al damunt de la superfície topogràfica original, fent créixer alguns decímetres la plana al·luvial. Una sedimentació fins i tot més potent es va poder observar a les rieres del sud de Tarragona, com les d'Alforja i Maspujols. Aquestes rieres van construir veritables cons de dejecció. A la riera de Maspujols es van dipositar 2,5 m de sediments sobre la llera, tot colgant els marges i les proteccions amb escullera que s'hi havien construït.

La sedimentació dels trams inferiors té molta importància en les conseqüències de les crescudes. Els sediments dipositats fan créixer la superfície dels llits al·luvials i les aigües desborden dels canals. A les interseccions amb vies de comunicació, els sediments redueixen la secció efectiva dels ponts, tot causant obstruccions i desbordaments.

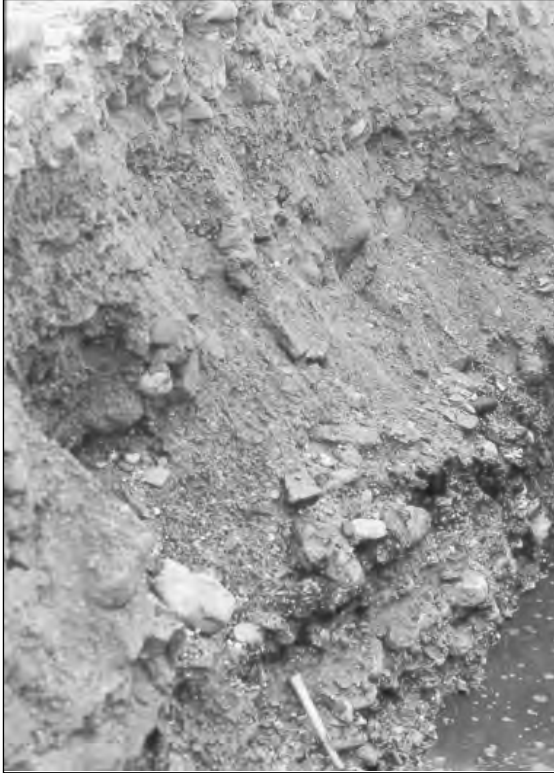


FIGURA 5. *Rasa excavada al llit al·luvial del riu Tenes. Les sorres i graves de color marronós-groguenc s'han dipositat en davallar la crescuda (sediments remoguts). Les graves fosques (sediments intactes) mostren la profunditat màxima assolida per l'erosió durant la crescuda d'octubre de 1994.*

7.3. *Paper de la plana al·luvial en la reducció de la magnitud de la crescuda*

La reconstrucció de la crescuda del riu Tenes va donar les següents estimacions de cabals (Buxó, 1997):

TAULA 2. *Cabals punta calculats en diferents trams del riu Tenes durant la crescuda del 10 d'octubre de 1994*

<i>Localització del tram</i>	<i>Distància des de Riells (km)</i>	<i>Cabal punta (m³/s)</i>
Riells	0	950
Bigues	4	690
Sta. Eulàlia	10	510
Lliçà de Vall	14,1	550
Parets	16,2	485
Montmeló	17,9	478

La taula 2 mostra que els cabals punta de la crescuda es van reduir de manera significativa aigües avall. L'única excepció és el cabal a Lliçà de Vall, que augmenta en relació amb el de Santa Eulàlia de Ronçana. Això és degut a l'obstrucció del pont de Lliçà de Vall, que va produir la regolfada de les aigües i l'ascens del nivell d'aigües amunt fins que va col·lapsar. El valor del cabal, calculat a partir de les marques del nivell màxim assolit per les aigües, està afectat per l'esmentada obstrucció.

Les marques del nivell de les aigües, juntament amb la cartografia de l'àrea inundada estreta de la interpretació de les fotografies aèries, van permetre l'estimació precisa del volum d'aigua emmagatzemat a la plana al·luvial. Aquest volum va ser segregat de la punta de la crescuda en desbordar les aigües pels marges del riu.

La punta de la crescuda d'octubre de 1994 va durar menys d'una hora. Per aquest motiu, el volum d'aigua emmagatzemat a la plana al·luvial va ser una fracció significativa del volum d'aigua transportat durant la punta de la crescuda. Això es pot observar a la taula 3, en què es representa tant el volum d'aigua transportat tenint en compte la durada de la punta de la crescuda com el volum d'aigua emmagatzemat a la plana al·luvial.

TAULA 3. *Volum d'aigua transportada per la punta de la crescuda de 1994 en diferents seccions del riu Tenes i volum d'aigua emmagatzemada a la plana al·luvial entre seccions consecutives. El volum transportat s'ha calculat considerant cabals punta d'una hora de durada*

<i>Tram</i>	<i>Cabal punta (m³/s)</i>	<i>Volum transportat (m³)</i>	<i>Volum emmagatzemat (m³)</i>
Riells			
Bigues	690	2.484.000	
Sta. Eulàlia	510	1.836.000	958.250
Lliçà de Vall	550	1.980.000	462.000
Parets	485	1.746.000	92.500
Montmeló	478	1.720.800	0 (riu no desbordat)

Els resultats de la taula 3 mostren l'efecte de la plana al·luvial en la reducció del cabal punta de la crescuda. Una conclusió d'aquestes xifres és que la canalització dels marges del riu als trams alts de la conca agreujaria els efectes de futures crescudes aigües avall. En efecte, la canalització, en no permetre l'emmagatzematge transitori de l'aigua a la plana al·luvial, transferiria el cabal punta d'entre 600 i 900 m³/s als trams inferiors, els quals, amb una capacitat de desguàs més baixa, desbordarien.

El mateix efecte cal esperar de l'ocupació de les planes al·luvials per infraestructures com ara els terraplens de carreteres, autopistes o vies de ferrocarril que s'han construït en els darrers anys a les planes del Besòs, del Llobregat i d'altres rius, que actuen com a motes artificials. Els terraplens canvien la secció transversal i redueixen la capacitat d'emmagatzematge de la plana al·luvial. Això produeix un efecte semblant als dics.

8. COMENTARI FINAL

Esperem haver demostrat que el curs d'aigua i la plana d'inundació són part del sistema fluvial. Les aigües que no poden discórrer pel canal del riu desborden per la plana al·luvial, essent aquest un dels mecanismes amortidors de les crescudes que de manera natural experimenten els nostres rius i rieres mediterranis. Aquest aspecte és fonamental per a entendre el funcionament de les crescudes i preparar les corresponents estratègies de protecció.

L'estratègia per a controlar les crescudes fluvials ha de ser, en primer lloc, deixar lliure la plana al·luvial inundable. L'ocupació de la plana té uns avantatges evidents, com ara l'ús d'un terreny pla i disponibilitat d'aigua, però té també uns costos molt elevats, com la necessària protecció davant les crescudes i el disseny d'infraestructures de sanejament. D'altra banda, la funció ambiental de la plana d'inundació (laminació de les crescudes, recàrrega dels aquífers, corredor biològic, espai de lleure) ha de tenir l'adequat reconeixement de la societat. No té sentit que, en el moment en què altres països s'estan replantejant de recuperar el paper multifuncional de les planes al·luvials, aquí se segueixi amb la seva eliminació sistemàtica.

284

9. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- BUXÓ, P. (1997). *La crecuda del riu Tenes del 10 d'octubre de 1994*. Escola d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. 83 p. + annexos. [Tesina d'especialitat]
- COROMINAS, J. (1985). «Els riscs naturals». A: *Història natural dels Països Catalans*. Vol. 3. Barcelona: Fundació Enciclopèdia Catalana, p. 225-270.
- COROMINAS, J.; VELASCO, E.; MONTES, J. M. (1995). «Hydro-

- meteorological and geomorphological aspects of extreme floods of autumn 1994 in North-Eastern Spain». A: *Workshop on Hydrometeorology, Impacts and Management of Extreme Floods*. Itàlia: Perugia.
- DIRECCIÓ GENERAL DE MEDIU AMBIENTE (1989). *Guías metodològica para la elaboració de estudios de impacto ambiental de grandes presas*. Madrid: MOPT.
- EMERSON, J. W. (1971). «Channelization: a case study». *Science*, núm. 173, p. 325-326.
- KELLER, E. A. (1976). «Channelization: environmental, geomorphic and engineering aspects». A: COATES, A. D. R. [ed.]. *Geomorphology and Engineering*. Dowden: Hutchinson & Ross, Inc., p. 115-140.
- MASACHS, V. (1958). «Les aigües». A: SOLÉ-SABARÍS, L. [dir.]. *Geografia de Catalunya*. Vol. 1. Aedos, p. 187-222.
- MUJERIEGO, R.; DOLZ, J. (1983). «Descripció del comportament del riu Llobregat en el tramo comprendido de la Corporación Metropolitana de Barcelona, durante la avenida del 8 de noviembre de 1982». Universitat Politècnica de Catalunya. 58 p. [Informe inèdit]
- NOVOA, M. (1984). «Precipitaciones y avenidas extraordinarias en Cataluña». A: *Inestabilidad de laderas en el Pirineo*. Universitat Politècnica de Barcelona. p. 1.1.1-1.1.15.
- ORANIAS, R. (2000). «L'aiguat del 10 de juny a Montserrat». A: *VI Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè*. Barcelona: ACAM, p. 61-68.
- RAHN, P. H. (1991). «Surface water and flooding». *The Heritage of Engineering Geology; the first hundred years*. GSA Centennial special volume, 3, p. 149-167.
- VERGÉS, R. [dir.] (1994). *Recomanacions sobre mètodes d'estimació d'avingudes màximes*. Junta d'Aigües. Generalitat de Catalunya. 200 p.
- (1997). «Les obres hidràuliques». A: *Les inundacions*, p. 65-87. (Quaderns d'Ecologia Aplicada, 14).

