

**FRANCESCA SOLEDAD SEGURA BELTRAN · CANVIS AMBIENTALS
I ANTRÒPICS RECENTS EN ELS SISTEMES FLUVIALS
MEDITERRANIS: CRÒNICA D'UNA DESTRUCCIÓ ANUNCIADA ·**
DISCURS DE RECEPCIÓ COM A MEMBRE NUMERÀRIA ·
INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS · SECCIÓ DE FILOSOFIA I
CIÈNCIES SOCIALS

**CANVIS AMBIENTALS I ANTRÒPICS RECENTS
EN ELS SISTEMES FLUVIALS MEDITERRANIS:
CRÒNICA D'UNA DESTRUCCIÓ ANUNCIADA**

INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS
SECCIÓ DE FILOSOFIA I CIÈNCIES SOCIALS

**CANVIS AMBIENTALS I ANTRÒPICS RECENTS
EN ELS SISTEMES FLUVIALS MEDITERRANIS:
CRÒNICA D'UNA DESTRUCCIÓ ANUNCIADA**

Discurs de recepció de FRANCESCA SOLEDAD SEGURA BELTRAN
com a membre numerària de la Secció de Filosofia
i Ciències Socials, llegit el dia 30 d'octubre de 2017

Resposta de Vicenç M. Rosselló i Verger, membre emèrit
de la Secció de Filosofia i Ciències Socials

BARCELONA, 2017

Segura Beltran, Francesca Soledad, autor

Canvis ambientals i antròpics recents en els sistemes fluvials mediterranis : crònica d'una destrucció anunciada. — Primera edició

Bibliografia

ISBN 9788499653761

I. Rosselló i Verger, Vicenç M. (Vicenç Maria), 1931- autor

II. Institut d'Estudis Catalans. Secció de Filosofia i Ciències Socials III. Títol

1. Conques hidrogràfiques — Aspectes ambientals — Països Catalans

2. Ecologia fluvial — Països Catalans

556.51:502/504(4=134.1)

574.5(282:4=134.1)

© Francesca Soledad Segura Beltran

© 2017, Institut d'Estudis Catalans, per a aquesta edició

Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Primera edició: octubre del 2017

Text revisat lingüísticament per la Unitat de Correcció del Servei Editorial de l'IEC

Disseny de la coberta: Maria Brossa

Compost per fotocomposició gama, s. l.

Imprès a Service Point FMI, SA

ISBN: 978-84-9965-376-1

Dipòsit Legal: B 22370-2017

Són rigorosament prohibides, sense l'autorització escrita dels titulars del *copyright*, la reproducció total o parcial d'aquesta obra per qualsevol procediment i suport, incloent-hi la reprografia i el tractament informàtic, la distribució d'exemplars mitjançant lloguer o préstec comercial, la inclusió total o parcial en bases de dades i la consulta a través de xarxa telemàtica o d'Internet. Les infraccions d'aquests drets estan sotmeses a les sancions establertes per les lleis.

Avui faig el meu discurs de recepció com a membre numerària de la Secció de Filosofia i Ciències Socials i el faig des de la meua condició de geògrafa. Vull començar dient que per a mi és un honor ingressar en aquesta institució, a la qual sempre he admirat per la seua tasca de difusió de la ciència en l'àmbit de parla catalana. Tanmateix, no pensava que els meus mèrits científics foren suficients per a formar-ne part. Des d'aquesta institució, intentaré complir amb el compromís de treballar des de la meua visió del món com a geògrafa física, que és l'únic que sé fer. Les meues aportacions seran des de la meua especialització: tota la vida he treballat en rius i, especialment, en uns rius molt particulars, els efímers. Rius secs, torrents, rieres, barrancs, rambles..., moltes denominacions per a parlar de rius poc o mal considerats, tant pels tècnics com per la població, perquè molt poques vegades porten aigua, però quan la porten..., convé apartar-se'n! Com diu la gent, «a la vora del riu no faces el niu». Des de la meua tesi doctoral he treballat en aquests rius tan especials i ho he fet dedicant-me a estudiar les inundacions (Segura, 2003), un tema molt rellevant des del punt de vista de les catàstrofes naturals. De fet, des dels anys 1960 els rius perennes no registren víctimes, però les conques petites i efímeres han provocat centenars de morts. Tanmateix, des de fa uns anys m'he interessat per les transformacions que han patit els rius al llarg dels darrers segles.

El meu treball ha estat sempre en la frontera de la geografia i he col·laborat habitualment amb professionals del món de l'enginyeria (de camins o de topografia i geodèsia) i, per què no dir-ho, amb homes, fonamentalment, i cap de les dues coses m'ha suposat un gran esforç. La multidisciplinarietat me la va inculcar el doctor Rosselló i és una de les lliçons més importants que he après. És ben cert que ser dona i geògrafa entre els professionals que gestionen els rius poden ser dos hàndicaps, però al final el més important és marcar-se un objectiu i seguir avançant. El reconeixement i la col·laboració arriben amb el pas del temps i sempre cal

anar endavant. Vull dir que ser dona no pot ser ni un mèrit ni un demèrit per a fer investigació o pertànyer a una institució com aquesta, encara que espero que cada vegada en siguem més, però sempre pels nostres mèrits científics.

La meua visió dels rius des de la geografia ha estat diferent de la d'altres professionals, perquè els geògrafs tenim una visió holística del medi natural i en això consisteix la nostra fortalesa: ens preocupa el medi físic, però també considerem les alteracions provocades per l'acció antròpica. En aquest discurs d'entrada com a nova membre de l'Institut d'Estudis Catalans oferiré unes reflexions sobre els canvis que han patit els sistemes fluvials al llarg del segle xx. Són consideracions fetes a partir de les meues investigacions recents i, en la majoria dels casos, són treballs fets amb membres de l'equip de recerca i finançats per diversos projectes d'investigació. Vaja per davant el meu reconeixement als companys que habitualment treballen amb mi i sense els quals seria impossible portar endavant aquesta recerca.

1. CANVIS AMBIENTALS EN ELS SISTEMES FLUVIALS AL LLARG DEL SEGLE XX: ESTAT DE LA QÜESTIÓ

Els geògrafs entenem els rius com a sistemes complexos formats per diferents elements que es relacionen, en un equilibri molt delicat. Qualsevol actuació sobre aquest sistema, si supera un llindar, tindrà una resposta que pot estar diferida en el temps i en l'espai. Una conca de drenatge és l'espai físic que aporta aigua i sediments a un caixer principal i als seus afluents. Considerada com un sistema, té unes entrades d'energia (solar) i altres de matèria, en forma d'aigua (pluja) i de sediments. Les sortides del sistema són en forma de cabal, infiltració, evapotranspiració i sediments. El cabal i els sediments que surten dels rius constitueixen les entrades del sistema litoral i, per tant, qualsevol alteració de les conques repercutirà tant en el sistema fluvial com en el litoral.

Hi ha una relació molt estreta entre la quantitat de sediments i l'energia que té el riu per a transportar-los. El cabal i els sediments poden fluctuar en el temps i en l'espai, la qual cosa fa que el sistema fluvial s'haja de reajustar a través de l'erosió i la sedimentació. Si l'energia fluvial és suficient per a transportar la càrrega d'aigua i sediments, no hi ha ni erosió ni sedimentació, mentre que si hi ha un increment en el volum o el calibre dels sediments en relació amb la potència fluvial, es produeix sedimentació. Per contra, quan la potència fluvial excedeix la càrrega sedimentària, predomina l'erosió.

Els rius que tenim avui han patit nombrosos canvis que, des del punt de vista conceptual, es poden dividir en indirectes i directes. Els primers afecten tota la conca i poden ser difusos, com les oscil·lacions climaticohidrològiques i els canvis

d'usos del sòl. Els canvis directes són, per contra, molt concrets, i es refereixen a les actuacions antròpiques sobre els caixers: poden afectar un tram del riu o un punt concret.

El medi mediterrani ha estat fortament antropitzat al llarg de la història. L'estructura tan particular de les terres que envolten la Mediterrània, conformades per un anell de serres que s'apropen a la mar i només deixen estretes planes litorals, reblertes de sediments fluvials, ha fet que, al llarg de la història, la població s'instal·le tradicionalment prop dels rius, tot intentant beneficiar-se del seu cabal (regadiu i abastiment) i dels seus sediments (sòls més fèrtils que conformen l'espai d'habitatge i de treball). Si al llarg de la història les alteracions dels sistemes fluvials mediterranis han anat lligades a l'agricultura i la ramaderia, durant el segle xx, els canvis més forts han estat la canalització, la construcció d'embassaments, l'extracció d'àrids, la urbanització i la reforestació. Si, a més, hi afegim que el clima mediterrani, en ser una transició entre els humits del nord i els secs del sud, ha patit importants oscil·lacions al llarg dels darrers segles, el resultat no pot ser altre que unes profundes transformacions en les conques i els caixers, que han acabat repercutint sobre el sistema litoral i, en particular, sobre els deltes.

Tant els impactes directes com els indirectes acaben afectant el balanç d'aigua i sediments dels rius, de manera que responen i s'adapten al nou equilibri hidrosedimentari mitjançant l'erosió (si falten sediments o augmenta el cabal) o la sedimentació (si sobren sediments o disminueix el cabal).

2. ALGUNS EXEMPLES REPRESENTATIUS DELS PAÏSOS CATALANS

Per tal d'il·lustrar els canvis que han patit les conques, he triat alguns rius arreu dels Països Catalans, que ens serviran per a analitzar els processos que han transformat les conques (figura 1).

La comarca del Maresme, entre les conques de la riera de Vilassar i del torrent del Correu, ambdues incloses, està recorreguda per nombroses rieres que provoquen inundacions de manera recurrent, i el seu recompte històric ens servirà per a il·lustrar les oscil·lacions climàtiques recents.

L'Ebre, amb una conca de 84.393 km², té un cabal mitjà a Tortosa de 363 m³/s (calculat entre 1960 i 2013), valor que s'allunya molt dels 537 m³/s que hi havia entre 1913 i 1960. Aplega 125 embassaments de més d'1 hm³ de volum, amb una capacitat d'emmagatzematge de 7.833 hm³. Al final del sistema, el delta de l'Ebre, amb 320 km² de superfície, és un dels més grans de la Mediterrània i ha patit importants transformacions en els darrers segles.

La rambla de Cervera és un riu efímer amb una conca de drenatge de 139,6 km² i una longitud de 44 km. Travessa dos horsts calcaris i dos grabens reblerts de se-

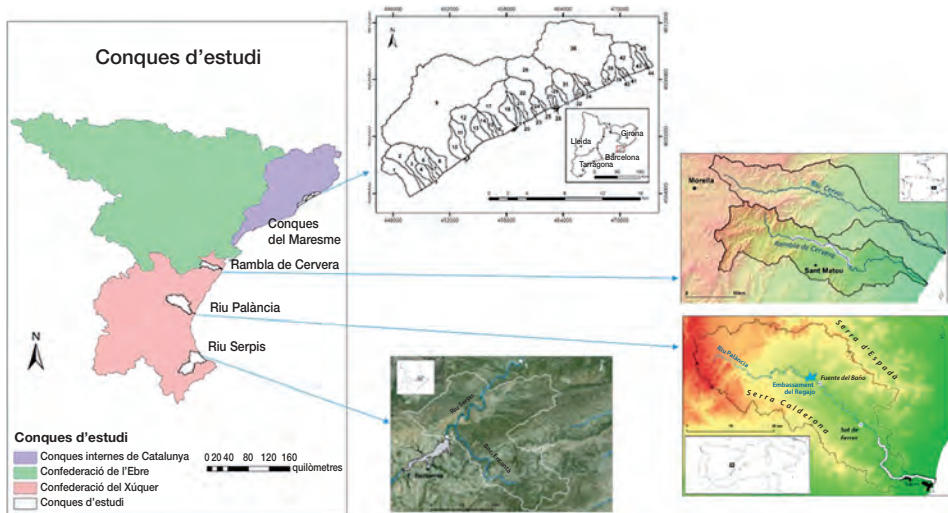


FIGURA 1. Conques d'estudi.

diments plioquaternaris, i el seu caixer ha estat fortament afectat per les extraccions d'àrids.

El riu Palància, amb una longitud de 85 km, drena una conca de 910 km². És un riu regulat mitjançant l'embassament del Regajo (6,6 hm³), construït el 1959, i la presa de l'Algar (6,3 hm³), feta el 2000, i ha patit greus afeccions per les extraccions d'àrids.

El riu Serpis, conegut també com a riu d'Alcoi, discorre al llarg de 75 km, entre el seu naixement al Carrascar de la Font Roja (Alcoi) i la desembocadura a la Mediterrània (Gandia), i té una conca de 752 km². El 1958 es va construir l'embassament de Beniarrés, amb 27 hm³ de capacitat, que ha alterat fortament el riu aigües avall.

3. ELS CANVIS INDIRECTES

3.1. *Canvis d'usos del sòl a les conques i la seua repercussió sobre els rius*

Els canvis d'usos del sòl al món mediterrani han estat molt estudiats i les seues conseqüències sobre els sistemes fluvials, molt discutides. En general, els canvis d'usos del sòl poden actuar en dos sentits totalment contraposats: la reducció o l'increment del cabal i de la càrrega sedimentària. La desaparició de la coberta vegetal augmenta l'erosionabilitat dels sòls i rebaixa els llindars de pluja que pro-

dueixen erosió. A més, redueix la capacitat d'infiltració, cosa que escurça el temps de retard i genera cabals màxims més grans. Entre les pràctiques antròpiques que provoquen aquests efectes hi ha la desforestació i determinades pràctiques agrícoles i ramaderes. A l'inrevés, l'augment de la vegetació provoca els efectes contraris. La reforestació natural o antròpica s'inclou en aquest grup. Les conques mediterrànies tradicionalment han estat fortament antropitzades i, per tant, han patit els dos tipus d'efectes.

En una revisió sobre els canvis d'usos a Espanya, García Ruiz (2010) indica que al segle XIX es van destruir més de quatre milions d'hectàrees de bosc, a causa de les desamortitzacions successives, moment que va coincidir amb la màxima pressió demogràfica en el món rural i que va persistir fins al primer quart del segle XX. La relació entre les revingudes i la desforestació és difícil de provar, encara que hi ha molts autors que propugnen (Benito *et al.*, 2003; Benito *et al.*, 2008) que les grans revingudes de principis del segle XX a les conques mediterrànies són una resposta a la desforestació. Aquesta idea és molt vella i, malgrat la falta d'estudis del moment, els enginyers del segle XVIII i del XIX ja recomanaven en els seus informes la replantació forestal per a disminuir els cabals de revinguda. Per aquest motiu, al llarg del segle XX, les replantacions forestals —de vegades amb espècies no adients— han ocupat els vessants a mesura que minvava l'aprofitament agrícola.

Pel que fa als conreus, Wainwright i Thornes (2004) conclouen que, al món mediterrani, més de sis-cents anys d'agricultura han alterat el cicle hidrològic i han creat taxes d'erosió molt elevades. Els efectes són molt contradictoris, però en general la bibliografia suggereix que les ràtios d'erosió són més elevades en zones agrícoles que en camps abandonats o amb vegetació natural. A més, posen de manifest que la famosa trilogia mediterrània de l'olivera, la vinya i el cereal són els tres conreus més erosius de tot el conjunt. Però a mesura que ha avançat el segle XX, l'èxode rural ha potenciat l'abandonament dels cultius i aquesta pràctica també comporta conseqüències sobre les conques, encara que els resultats són contradictoris. En un primer moment pot augmentar l'erosió, però tot depèn de les característiques de la pluja (volum i intensitat) i del tipus de sòl. Si les pluges són abundants i els sòls faciliten el desenvolupament de la vegetació, a penes es produeix erosió; per contra, en condicions contràries la degradació pot ser màxima. Les terres abandonades sota clima mediterrani i amb precipitacions superiors als 300 mm són ràpidament colonitzades pel matassar, que amb el temps pot ser substituït pel bosc. Aquesta transició des de la desforestació a la reforestació ha estat documentada arreu del Mediterrani i també en diferents conques arreu dels Països Catalans (Marull *et al.*, 2014; Cervera *et al.*, 2016). D'aquesta manera, des dels anys cinquanta del segle XX i especialment en les darreres dècades, s'ha produït una forta reforestació, antròpica i natural, que ha entapissat els vessants amb una coberta vegetal inexistente a la primera meitat del segle XX.

3.1.1. Canvis dels usos agrícoles i ramaders a la rambla de Cervera

Aquestes transformacions es poden documentar a la conca de la rambla de Cervera, que al llarg del segle xx ha patit canvis ambientals molt significatius, associats a importants transformacions socioeconòmiques (Segura-Beltran i Sanchis-Ibor, 2013; Sanchis-Ibor i Segura-Beltran, 2014). Durant aquest segle, la població ha patit una forta davallada (figura 2), i ha minvat d'un màxim de 17.897 habitants assolit el 1910, fins al mínim de 8.323 el 2001. L'èxode rural ha convertit el territori en una font d'emigració cap a Catalunya i les planes costaneres, i ha passat de territori agrícola i ramader a un desert demogràfic, amb un fort envelliment de la població que hi resta.

Òbviament, aquests canvis s'han reflectit en els usos del sòl de la conca (taula 1). Les fotografies de començament del segle xx (figura 3) mostren uns vessants conreats fins a les carenes, mentre que els boscos i el matassar eren aprofitats pel ramat i per a fer llenya. Per contra, a la segona meitat del segle xx, s'observa un increment considerable de la superfície de bosc i matassar. El 1946 ocupaven, respectivament, 3.847 i 11.237 ha, mentre que el 2006 arribaven a 8.372 ha i a 14.405 ha el 2006. Així, passen d'ocupar un 44,3 % de la conca el 1946 a un 67,1 %, i aquest increment del 22,7 % es produeix fonamentalment a costa dels conreus llenyosos i herbacis de secà, que minven de 17.328 ha a 9.120 ha en les sis dècades analitzades (-45 %). Aquests canvis s'han produït a un ritme i una intensitat diferents en cada sector de la conca. A la capçalera, l'any 1946, la meitat de la superfície estava ocupada pel matassar, mentre que el bosc representava el 26,6 %; per contra, passades sis dècades, els percentatges s'han invertit i el matassar suposa el 32 % i el bosc, el 52,6 %. És un exemple clar de revegetació produït en cadena: l'abandonament dels conreus de secà (del 50,9 % han passat al 27 %), que al Baix

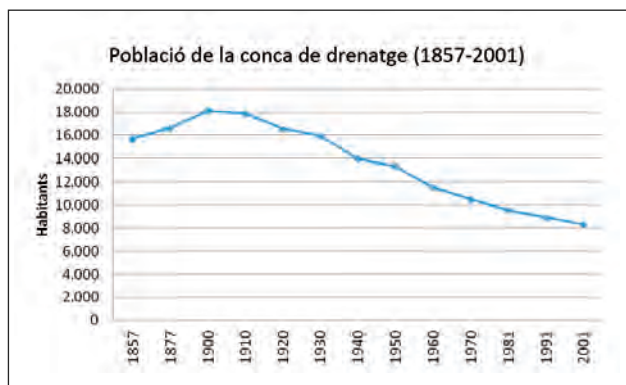


FIGURA 2. Evolució de la població a la conca de la rambla de Cervera entre 1857 i 2001.
FONT: INE (www.ine.es). Elaboració pròpia.

TAULA 1. *Evolució dels usos del sòl (%) a la conca de la rambla de Cervera entre 1946 i 2006*

	<i>Tipus d'ús</i>	<i>1946</i>	<i>1956</i>	<i>1977</i>	<i>1991</i>	<i>2006</i>
1	Urbà	0,2	0,2	0,5	0,7	1,0
2	Bosc	11,3	15,1	19,1	21,1	24,7
3	Matossar	33,0	32,4	37,2	41,1	42,4
4	Herbació seca	10,4	12,0	5,1	3,3	1,9
5	Llenyosos seca	40,5	36,3	34,4	30,0	25,0
6	Regadiu	0,6	0,7	0,8	1,1	1,8
7	Caixer	1,8	1,5	1,4	1,3	1,2
8	Erms	2,1	1,7	1,5	1,4	2,0
	Superfície total (ha)	34.007,1	33.964,9	34.008,4	33.959,6	33.945,2

Maestrat pujaven pels vessants fins als cims gràcies als bancals de pedra seca, els ha transformat en matossar, i aquest en bosc. A aquesta transformació també han contribuït les replantacions forestals que han afectat la zona. El mateix procés s'ha produït, també, en una àrea muntanyosa de la conca mitjana, encara que aquest sector ha mantingut la resta d'usos amb valors baixos i prou estables. A diferència d'altres territoris, la urbanització o el regadiu no tenen un pes excessiu.

Tanmateix, probablement el canvi més important de tots s'ha produït en la ramaderia (figura 4). Aquesta activitat fou molt important durant l'edat mitjana, quan el comerç de la llana era una font d'ingressos que explicava l'abundància de nuclis de població, avui quasi despoblats, i la riquesa de les seues esglésies i edificis públics civils. L'evolució de la ramaderia des de finals del segle XIX per al conjunt de la província ha seguit el mateix camí que la població, i ha passat de 386.094 caps (oví i caprí) el 1917, que pasturaven per tot arreu, a 151.951 caps establats el 2009. No cal ni dir que a principis del segle XX la pressió sobre el territori devia ser superior a la que podia suportar i això explica, en part, les muntanyes pelades que apareixen en les fotografies de les acaballes del segle XIX i la gran diferència amb la realitat actual (figura 3) (Segura-Beltran i Sanchis-Ibor, 2013).

3.2. *Les oscil·lacions climàtiques i la seua influència sobre les conques fluvials*

Al llarg del quaternari s'han succeït diferents períodes glacials i interglacials que han deixat la seua empremta en els sistemes fluvials. A menor escala, al llarg de la història hi ha hagut diverses fluctuacions climàtiques, que s'han aguditzat en

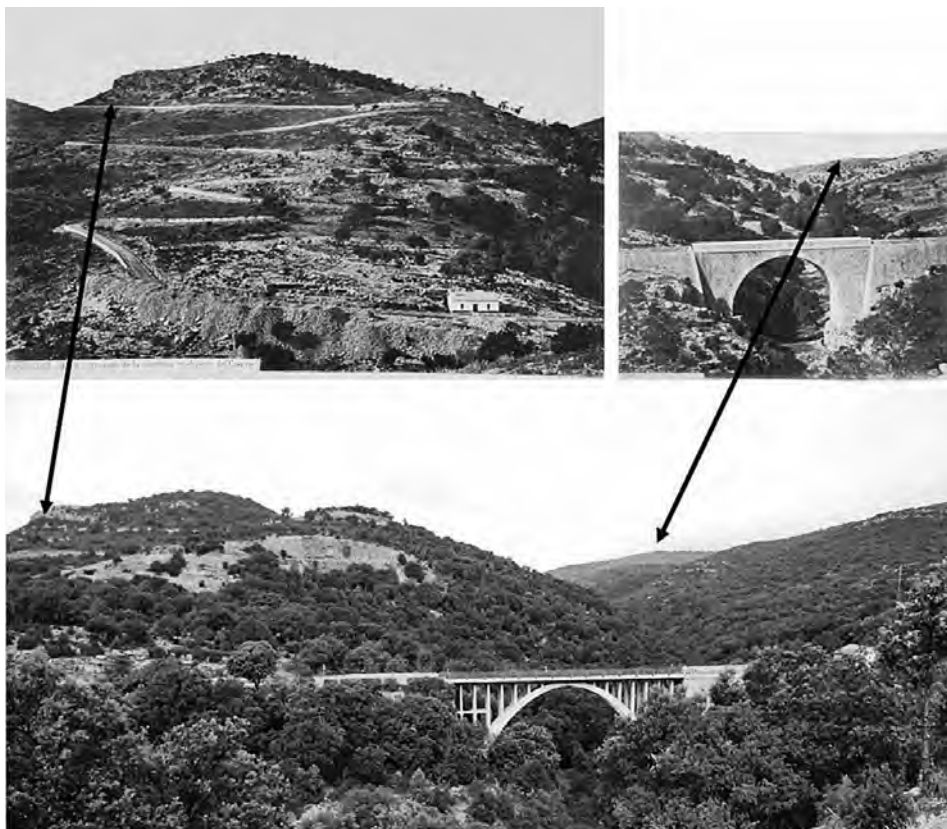


FIGURA 3. Estat dels vessants a finals del segle XIX (dalt) i el 2013 (baix) a la capçalera de la rambla de Cervera. Les dues fotografies de dalt foren preses per J. Martínez Sánchez entre 1865 i 1867. La imatge de baix fou presa per F. Segura.

les darreres dècades. La petita edat del glaç va provocar un refredament del clima entre el 1350 i el 1850, amb importants oscil·lacions tèrmiques, i amb una davallada màxima de temperatures entre 1550 i 1750. Alguns autors n'allarguen la seua influència fins al primer quart del segle XX. Macklin i Woodward (2009) conclouen que va ser un període fred i humit, que va deixar els vessants nus, la qual cosa va provocar un fort increment del sediment i un augment de la freqüència i la magnitud de les revingudes. En resultà una forta activitat fluvial arreu de la conca mediterrània a finals dels segles XVI i XVII, al principi i al final del segle XVIII, a la segona meitat del segle XIX i a les primeres dècades del segle XX.

Barreda-Escoda i Llasat (2015), en analitzar les revingudes catastròfiques i extraordinàries a Catalunya, troben set períodes d'elevada freqüència entre 1301

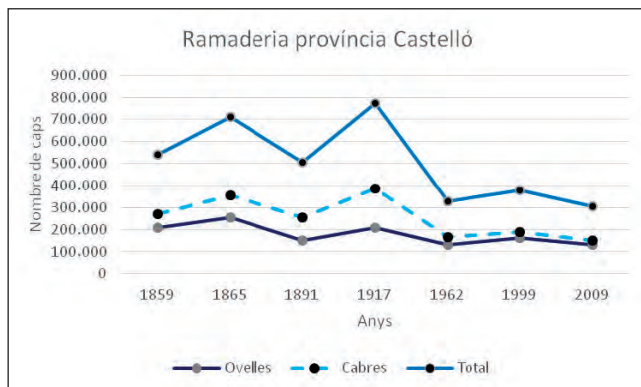


FIGURA 4. Evolució de la ramaderia a la província de Castelló entre finals del segle XIX i 2009.
FONT: INE (www.ine.es). Elaboració pròpia.

i 2012, associats a les oscil·lacions climàtiques següents: 1) 1325-1334 (final de l'edat mitjana); 2) 1541-1552 (oscil·lació de meitat del segle XVI); 3) 1591-1623 (començament de l'oscil·lació de la petita edat del glaç); 4) 1725-1729 (oscil·lació de la Il·lustració); 5) 1761-1790 (oscil·lació Maldà); 6) 1833-1871 (final de l'oscil·lació de la petita edat del glaç), i 7) 1895-1910 (oscil·lació modernista).

A les rieres del Maresme s'han analitzat les riuades esdevingudes entre 1621 i 1990 a partir de la informació recollida per Barriendos i Pomés (1993). Com es pot veure en la figura 5, es poden detectar els màxims 5, 6 i 7. Posteriorment, al llarg del segle XX les inundacions van disminuir als anys vint i als quaranta, per a incrementar altra vegada als cinquanta i als setanta, i davallar novament fins avui.

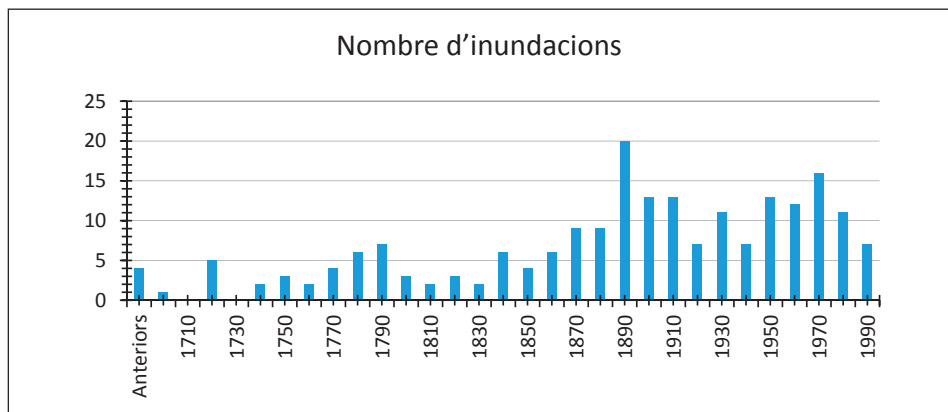


FIGURA 5. Inundacions esdevingudes a les conques del Maresme.
FONT: Barriendos i Pomés (1993). Modificació de Romeu (2015).

Un altre exemple el podem trobar al riu Palància, on tenim una sèrie prou completa de registres hidrològics de pràcticament tot el segle xx. A partir dels aforaments de Sot de Ferrer-8011 (1912-1943), en règim natural, i de Fuente del Baño-8074 (1945-1959, règim natural; 1959-2011, règim alterat per un embassament), s'ha pogut reconstruir la sèrie de revingudes.

Les dades mostren un gran contrast en la freqüència de riudes entre les dues primeres dècades del segle xx i la resta (figura 6). La fase 7 s'allarga en aquest riu fins als anys trenta, de manera que entre 1920 i 1930 es van produir vint-i-cinc revingudes, i entre 1912 i 1920 van ser disset; per contra, les dues dècades següents van tenir molt pocs episodis i la tendència es va mantenir en la resta del segle, malgrat que entre 1956 i 1977 va haver-hi un període amb deu revingudes, tot i que el riu estava ja embassat.

Pel que fa als cabals màxims i al volum d'aigua de les revingudes, també s'han produït canvis molt significatius (taula 2). Al setembre de 1915 es va generar un

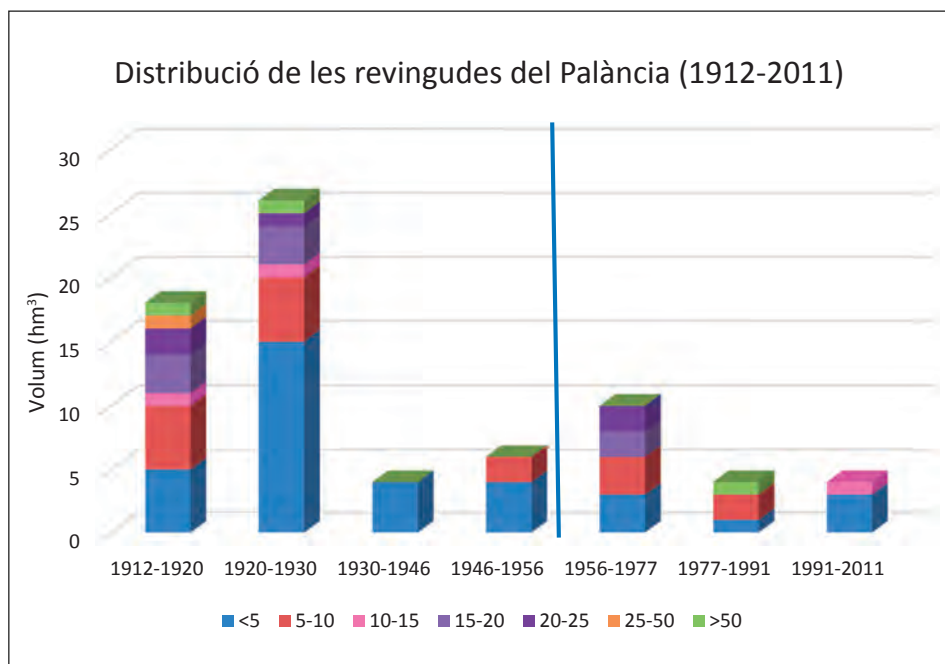


FIGURA 6. Nombre de revingudes i volum de correntia a la conca del Palància entre 1912 i 2011. Aforaments de Sot de Ferrer-8011 (1912-1943) (règim natural a l'esquerra de la línia blava) i Fuente del Baño-8074 (1945-1959, règim natural; 1959-2011, règim alterat) (a la dreta de la línia blava).

FONT: CEDEX (<http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>). Elaboració pròpia.

TAULA 2. Exemples de revingudes a la conca del Palància

	Superfície conca (km ²)	Any	Durada (dia/mes)	Volum (hm ³)	Vrel (m ³ /km ²)	Data Qmax	Qmax (m ³ /s)	Qmax rel (m ³ /s/km ²)
8011-Sot de Ferrer	659	1915	11/09 a 19/09	16,3	24.779,4	11/09/1915	189	0,287
		1918	05/11 a 27/11	19,4	29.421,2	17/11/1918	69	0,105
		1920	18/02 a 26/03	43,7	66.324,9	19/02/1920	76,4	0,116
		1921	21/02 a 24/06	124,7	189.210,4	27/05/1921	48,8	0,074
		1922	14/10 a 27/10	16,3	24.757,1	14/10/1922	16,31	0,025
8074-Fuente del Baño	474	2000	22/10 a 31/10	18,9	39.852,3	24/10/2000	101,4	0,214

Vrel = volum de correntia relatiu (volum total / superfície de la conca); Qmax = cabal màxim; Qmax rel = cabal màxim relatiu (cabal màxim / superfície de la conca).

FONT: CEDEX (<http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>). Elaboració pròpia.

pic de 189 m³/s i un volum de 16,3 hm³, en una revinguda totalment extraordinària que no es tornarà a repetir en tota la sèrie natural. Només a l'octubre de 2000 es va mesurar un cabal de 101,4 m³/s aigües avall de la presa del Regajo (aforament de Fuente del Baño), amb un pic inferior però amb un volum d'aigua superior. Tanmateix, la productivitat de la conca mesurada a partir del cabal màxim relatiu (cabal màxim / superfície de la conca) indica que fou menor l'any 2000 que al començament del segle (Segura i Sanchis, 2011). Les característiques de les revingudes també sembla que han canviat tant pel que fa a la durada com al moment en què es produeixen. A la dècada de 1920 les més fortes eren les de final de l'hivern i començament de la primavera, alimentades per fronts de l'oest de llarga durada, que produïen volums de correntia impensables avui, mentre que actualment aquesta estació ha perdut importància i les revingudes fortes són les de tardor, provocades per baixes fredes.

Les aportacions (volum d'aigua anual) del riu Palància també han disminuït des de començament del segle xx. Com que les dades analitzades corresponen a dos aforaments amb conques de superfície diferent, s'han calculat les aportacions relatives, tot dividint l'aportació anual per la superfície de cadascun dels aforaments. Com es pot observar en la figura 7, el riu cada vegada porta menys aigua, però d'acord amb les estimacions realitzades en el Pla Hidrològic 2009-2015 (CHX), la pluja mitjana observada entre 1940-1941 i 2008-2009 va ser de 509,9 mm,

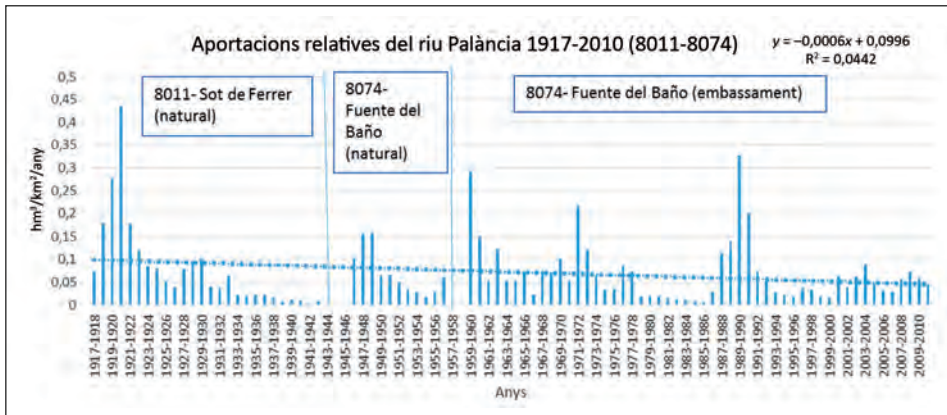


FIGURA 7. Aportacions relatives (aportació anual / superfície de la conca) del riu Palància en els diferents aforaments entre 1917 i 2010. Les línies verticals separen els períodes de dades dels diferents aforaments utilitzats, tot indicant si el règim era natural o alterat. S'hi inclou la línia de tendència de tot el període.

FONT: CEDEX (<http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>). Elaboració pròpia.

i va pujar lleugerament a 512 mm si només es comptabilitza entre 1980-1981 i 2008-2009. La temperatura es mantingué pràcticament estable en els dos períodes (15,5 °C) i l'evapotranspiració real fou molt semblant entre els dos períodes (411,2 i 406,0 mm). Aquestes dades impliquen que la disminució del cabal del riu no respon a causes climàtiques.

Malgrat que les notícies històriques solen ser irregulars i incompletes, els exemples mostren com el final de la petita edat del glaç i el començament del segle xx van ser períodes de moltes revingudes que s'esdevenien sobre conques nues de vegetació. A més, en avançar el segle xx, el cabal també ha anat minvant progressivament.

4. CANVIS DIRECTES

Als canvis difusos o indirectes esdevinguts a les conques fluvials, s'hi sumen els canvis directes ocorreguts sobre els caixers. Es tracta d'afeccions produïdes a les lleres dels rius per tal d'aprofitar els recursos d'aigua i sediments dels rius o bé d'obres que malden per controlar les revingudes. Les conseqüències en són molt visibles perquè transformen la morfologia en planta, especialment dels rius trenats o *braided*. Entre les diverses actuacions que afecten els rius, destacarem els embassaments i les extraccions d'àrids com les més nocives per a la destrucció dels caixers.

4.1. Afeccions dels embassaments sobre el sistema fluvial

Als beneficis que produeixen els embassaments (energia hidroelèctrica, control de revingudes, regadiu, refrigeració, abastament d'aigua, oci, etc.), es contraposen els efectes nocius sobre el sistema fluvial, tant sobre el cabal com sobre els sediments, per efecte del dèficit hidrosedimentari que creen i que es transmet posteriorment al sistema litoral.

Les repercussions morfològiques i hidrològiques d'aquestes infraestructures afecten amunt de l'embassament, el seu interior i avall. Les alteracions hidrològiques provoquen reducció dels cabals de base, alteració del règim i fluctuacions artificials dels cabals circulants, la qual cosa repercuteix fortament sobre l'hàbitat, ja que sol afavorir la proliferació d'espècies invasores en detriment de les autòctones. L'alteració del règim depèn de la gestió que es faci de l'aigua emmagatzemada: alguns embassaments inverteixen el règim d'aigües altes i baixes, mentre que d'altres igualen el cabal durant tot l'any alliberant una xifra més o menys uniforme. A banda d'això, el control de les revingudes en disminueix la freqüència i la magnitud, cosa que implica pèrdua de capacitat per a modelar la llera fluvial. En un riu *braided*, desapareix la mobilitat de les barres i dels canals, i se'n redueix l'amplària, alhora que la vegetació s'apodera del llit. Acompanyant aquest efecte, els rius solen canviar d'un patró *braided* a un de més sinuós.

Les rescloses també constitueixen trapes sedimentàries que interrompen la continuïtat del transport i causen canvis morfològics en sectors d'avall, així com en els ecosistemes deltaics i costaners associats. La disminució del gradient de la llera associada a l'ascens del nivell de base redueix la capacitat del transport d'aigües amunt, amb la consegüent sedimentació. El rebliment de l'embassament pot arribar a ser total, especialment a la conca mediterrània, on les taxes d'erosió són elevades. Hooke (2006) ha calculat que s'ha produït una reducció del 35 % d'aportacions sedimentàries a les costes mediterrànies per aquesta causa.

Aigües avall de les preses també s'observen afeccions. D'una banda, si els cabals alliberats dels embassaments no tenen energia suficient per a mobilitzar els sediments de la llera i, a més, el subministrament de sediments dels afluents és escàs, els processos dominants són, en primera instància, la incisió i, posteriorment, el cuirassament i la revegetació d'àrees sense circulació hídrica. D'altra banda, la retenció de sediments, la disminució de les crescudes i els canvis en el règim hidrològic afecten seriosament el balanç sedimentari del riu. Depenent de la quantitat de sediment aportat per l'erosió mateixa del canal i de les contribucions dels afluents, l'equilibri sedimentari es destrueix i en la majoria dels casos no es recupera. La manca de cabal i de sediment es transmet al sistema litoral i provoca erosió a les platges, mentre que als deltes l'efecte es magnifica.

La construcció de grans preses es va accelerar arreu del món a partir dels anys cinquanta del segle xx. Segons el *Libro blanco del agua en España* (2000), en començar el segle xxi, a Espanya hi havia 1.133 preses en servei, amb un volum de 56 km³ d'aigua embassada, cosa que suposa més del 50 % de l'aportació anual total. Pel que fa als sediments retinguts als embassaments, Cobo (2008) ha avaluat la pèrdua de capacitat de 109, dels quals 98 tenen una pèrdua inferior a l'1 % i la resta poden arribar al 5 %. El 2003, sobre un total de 51.653 hm³ de capacitat se n'havien perdut 4.335 i les estimacions respectives per a 2025 i 2050 són de 6.384 i 8.843 hm³.

A la Confederació Hidrogràfica del Xúquer, la proliferació d'embassaments implica que dues terceres parts del territori no aporten sedimentació al sistema litoral, atès que els sediments queden retinguts als embassaments (Pardo, 1991). Per la seua part, Cobo (2008) n'analitza quinze i estima que en total han retingut 185,2 hm³ de sediments amb una ràtio mitjana de pèrdua des de la seua construcció del 12,34 %. Els casos més espectaculars són l'embassament d'Embarcaderos, amb una disminució del 83,8 % de la seua capacitat i, a molta distància, Guadalest i la Toba, amb el 18,8 i el 19,8 %, respectivament. La pèrdua anual oscil·la entre el 0,04 % d'Arenós i el 2,70 % d'Embarcaderos. En el cas del Palància, el Regajo, un embassament petit, de 6,6 hm³, en vint anys ha acumulat 0,326 hm³ de sediment, la qual cosa suposa un 4,7 % de pèrdua de la seua capacitat, amb una mitjana anual de 0,23 %.

En el cas de la Confederació de l'Ebre, el mateix autor estima que dels vint embassaments analitzats, amb una capacitat inicial de 7.702 km³, el 2003 se n'havien reblert 917,5 km³. En concret, els que més sediment havien retingut eren Mequinensa, amb un volum total des de la seua construcció de 92,82 hm³, una taxa total del 6,1 % i una ràtio anual del 0,38 %, i Talarn-Tremp, amb un volum de 69,59 hm³, un percentatge de rebliment del 27 % i un anual del 0,36 %. En definitiva, els dos-cents embassaments del conjunt de la conca i sobretot la construcció de Mequinensa (1964) i Riba-roja (1969) han produït una disminució d'un 99 % de la càrrega sedimentària del riu (Guillén i Palanques, 1992; Ibáñez *et al.*, 1997).

Pel que fa a les afeccions al cabal, un bon exemple en seria el Palància (figura 8), on la construcció de l'embassament del Regajo (8074) ha invertit el règim natural del riu (aforament 8011) i ha canviat els períodes d'aigües altes i aigües baixes. L'embassament ha regularitzat el cabal, l'ha mantingut al voltant de la mitjana anual i ha fet desaparèixer les aigües altes de la primavera i la tardor (emma-gatzemades per abocar-les a l'estiu, que és el moment de l'estiatge).

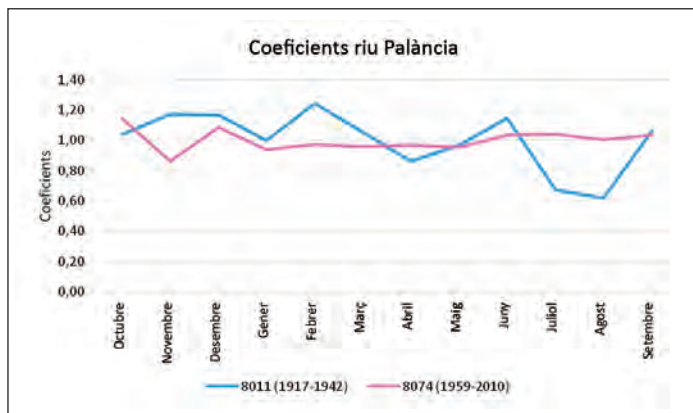


FIGURA 8. Canvis en el règim fluvial del riu Palància en règim natural (aforament 8011) i alterat (aforament 8074).

FONT: CEDEX (<http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>). Elaboració pròpia.

4.2. L'extracció d'àrids

Les conseqüències de l'extracció d'àrids a la llera estan relacionades amb la manca de sediment per al transport: quan és massiva, es produeix un desequilibri entre l'aportació de sediment i la potència de transport. L'excavació provoca un canvi de pendent, que fa augmentar la potència del riu i, en conseqüència, incrementa l'erosió. El riu s'encaixa per erosió remuntant, la qual cosa implica la migració de *knickpoints* o punts de trencament del pendent. El riu tracta de recuperar el seu perfil d'equilibri, fet que provoca erosió amunt i avall del punt d'excavació. Alhora, el sediment erosionat amunt es diposita al forat excavat, en un intent del riu per regularitzar el seu perfil. Més avall de la zona afectada per l'extracció també es deixen sentir les conseqüències: la manca de sediment implica que el cabal té un excés d'energia (*hungry waters*) que compensa erosionant la seua pròpia llera i les seues ribes per carregar-se de sediment.

Els efectes directes de la incisió impliquen l'erosió basal dels ponts i la seua ruïna. A la base dels pilars se suma l'erosió local, provocada per l'ajust hidràulic, i la incisió per falta de sediment, de manera que l'efecte destructiu es multiplica. Un bon exemple en seria la rambla de Cervera, on el dèficit sedimentari provocat per l'extracció d'àrids i els canvis d'usos de la conca ha causat una forta incisió de 6,40 m avall d'un pont, que va caure en la riuada del 2000 a conseqüència de l'erosió local (figura 9). Uns quilòmetres més avall, un segon pont va córrer la mateixa sort i quedà completament enderrocat.



FIGURA 9. Muntatge fotogràfic del pont de la rambla de Cervera derrocat en la riuada del 2000. Imatge presa per F. Segura.

Els sediments arrossegats pels rius s'han utilitzat des d'antic per a la construcció, de manera que l'extracció d'àrids els ha afectat, especialment a la segona meitat del segle xx. El ritme d'aprofitament d'àrids ha marcat el compàs d'extraccions. Segons dades de l'Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos (ANEFA), el consum d'àrids ha crescut fins al 2006, però ha disminuït considerablement entre aquesta data i el 2015 degut a la crisi econòmica (taula 3). Del total de la producció, el 28,5 % s'extrau en graveres, la majoria associades a ambients fluvials. El 2014 als Països Catalans existien 140 graveres censades: al País Valencià, 22; a Catalunya, 115, i a les Balears, 3. El total d'àrids consumits ha davallat fortament en tots els casos, però especialment al País Valencià, on el consum ha passat de 9,51 tm/hab./any a 2,29.

TAULA 3. Consum d'àrids als Països Catalans el 2006 i el 2015
(base de població del padró 2015)

	2006	2015	2006	2015
	milions tm/any		tm/hab./any	
<i>País Valencià</i>	59,9	4,7	12,03	0,94
<i>Catalunya</i>	65,6	18,1	8,74	2,41
<i>Balears</i>	10,5	2,5	9,51	2,29

FONT: ANEFA (<http://www.aridos.org/>). Elaboració pròpia.

A Catalunya les conseqüències de l'extracció d'àrids han estat documentades per Batalla (2003). A la Confederació Hidrogràfica del Xúquer les explotacions d'àrids afecten la majoria dels barrancs amb un ritme desigual d'extracció, que s'ha adaptat a les necessitats de la construcció i a les llicències concedides per l'Administració. La tendència recent al descens dels volums extrets no pot palliar en pocs anys la minva de sediments a les lleres que s'ha produït al llarg del temps. Les dades publicades per Pardo (1991) per al conjunt dels rius i les rieres del golf de València —xifres oficials, que no han de coincidir necessàriament amb la realitat— posen de manifest la sagnia que han patit algunes rambles com la de Cervera, Carraixet o Palància, amb unes extraccions totals, entre 1980 i 1988, de 329.639, 227.260 i 137.925 m³, respectivament. Els efectes s'accentuen si es calcula la ràtio de volum extret per unitat de longitud (figura 10). Els resultats són força diferents: el Xúquer i el Túria passen a un segon pla, mentre que la rambla de Cervera, amb 6.600 m³/km, apareix en primer lloc, tot i que queda a força distància del Carraixet, amb 4.500 m³/km, i de la rambla de Chiva, amb 3.000 m³/km. El Palància, amb uns 1.800 m³/km, queda al nivell d'altres petites rambles, però aquesta llera compta amb l'embassament del Regajo que, segons estimacions de Cobo (2008), entre 1959 i 1979 podria haver retingut uns 326.000 m³ de sediments. Si se suma aquesta xifra a l'anterior de 137.925 m³ i

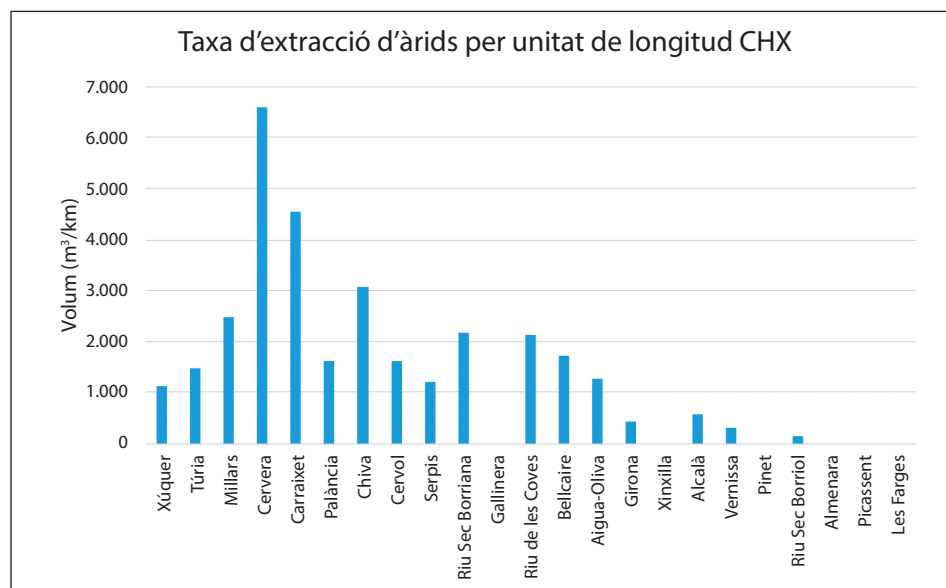


FIGURA 10. Taxa d'extracció d'àrids a les conques de la Confederació Hidrogràfica del Xúquer (1980-1988).

FONT: Pardo (1991). Elaboració pròpia.

s'estableix la mateixa ràtio, obtenim un valor de $5.458 \text{ m}^3/\text{km}$. Si, a més, li afegim els 49.764 m^3 que segons la Confederació s'han extret entre 2000 i 2007, la ràtio arriba als $6.042 \text{ m}^3/\text{km}$, fet que sense cap dubte deixa aquesta conca com una de les més perjudicades en termes de dèficit sedimentari.

5. RESPOSTA DELS CAIXERS ALS IMPACTES

Les conques de drenatge, en tractar-se de sistemes, responen als canvis adaptant-s'hi després d'un temps de relaxació. Les alteracions produïdes en el sistema fluvial des de finals del segle XIX han provocat ajustos en els rius que s'han documentat arreu del món. Les imatges fotogràfiques de finals del segle XIX i principis del XX dels nostres barrancs, torrents i rambles mostren uns rius amples i reblerts de grava, sense a penes vegetació, i formes *braided* ben definides (figura 11). Tanmateix, a partir dels anys cinquanta del segle XX, es produeixen fortes transformacions de les lleres i es detecten en la majoria dels casos les afeccions següents: estretiment del caixer, canvis en el patró dels rius, incisió generalitzada i invasió de la vegetació.

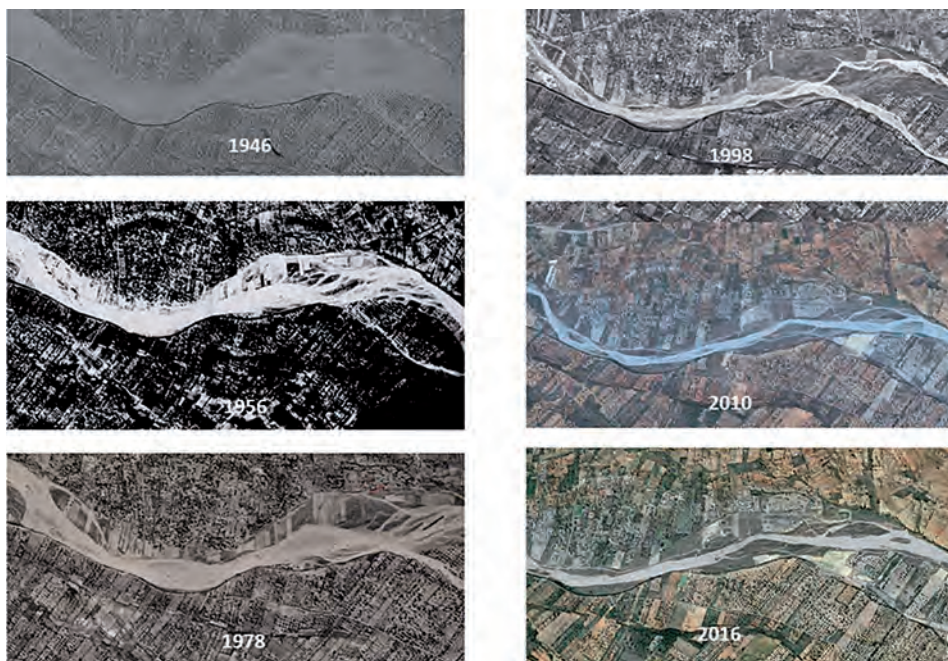


FIGURA 11. Evolució del caixer de la rambla de Cervera en diferents moments entre 1946 i 2016.

FONT: CNIG (www.cnig.es) i CECAF. Elaboració pròpia.

5.1. Estretiment del caixer

És un dels canvis més importants i contrastats en tot el món. Als rius francesos i italians s'han documentat contraccions del caixer molt significatives. Surian i Rinaldi (2003) refereixen reduccions del 50 %, dades molt semblants a les que troben Liébault i Piégay (2002) als rius francesos. Al sud-est de França, observen que l'estretiment es produeix ja entre 1850 i 1950, però s'accelera entre 1950 i 1970.

Com es pot observar en la figura 11, la rambla de Cervera n'és un bon exemple. L'amplària mitjana mesurada en les fotografies aèries de 1946 era de 214,56 m, mentre que deu anys després es va reduir a 115,81 m; el 1978 la rambla es va eixamplar lleugerament fins a arribar als 119,2 m, com a conseqüència d'un període de revingudes importants. El 1991 es va reduir a 71,70 m i el 2006, a 67,58 m. En definitiva, s'ha produït una reducció del caixer del 68 %, però a que s'ha concentrat a les parts més amples i no confinades de la rambla (figura 12).

5.2. La incisió

Una altra de les respostes dels caixers a les alteracions és la incisió fluvial. El dèficit sedimentari produït pels canvis d'usos de la conca, l'extracció d'àrids i la construcció d'embassaments provoca una manca de sediments a la llera i un excés de potència. El riu tracta d'obtenir la seua càrrega sedimentària tot excavant la llera i regularitzant el seu perfil. Aquest efecte també s'ha detectat arreu del món, i en concret a Itàlia (Surian i Rinaldi, 2003) s'han documentat incisions de 3-4 m i, de manera puntual, de fins a 10 m; a França, Liébault i Piégay (2002) donen dades semblants.

A la rambla de Cervera, la incisió mitjana del llit entre 1946 i 2006 va ser de 3,5 m i puntualment, aigües avall del pont de la figura 9, de 6,4 m. Les taxes

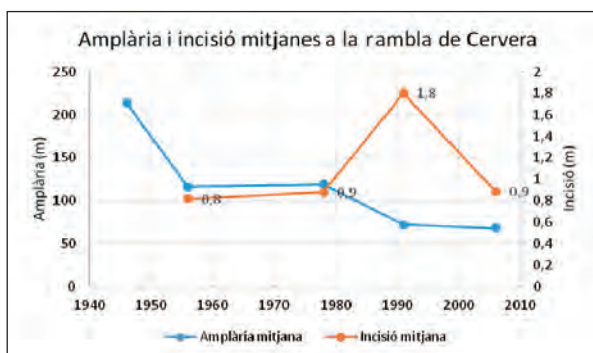


FIGURA 12. Amplària i incisió mitjanes a la rambla de Cervera.

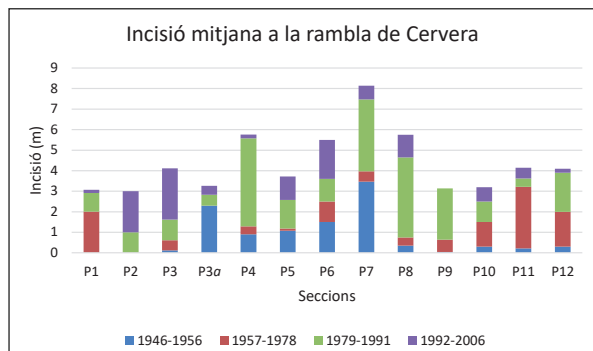


FIGURA 13. Incisió a la llera de la rambla de Cervera en els diferents períodes i seccions.

d'incisió més fortes s'han produït entre 1977 i 2011; per contra, entre 1946 i 1977, la incisió fou menor (figures 12 i 13). En el cas del riu Palància, la incisió mitjana s'ha estimat en 5,6 m, encara que de manera puntual s'han trobat llocs on el riu s'ha encaixat fins a 7,2 m.

D'altra banda, en alguns països europeus s'ha pogut demostrar que el procés d'incisió va començar a principis del segle xx. A partir de cartografia antiga, s'han distingit dos períodes: fins a 1950-1960, els processos d'incisió han estat poc importants, però en les dècades posteriors, coincidint amb l'extracció massiva d'àrids, la incisió s'ha magnificat (Liébault i Piégay, 2002).

A més, aquest fenomen ha tingut les seues repercussions sobre la dinàmica fluvial: en encaixar-se els canals que recorren entre les barres, les ha deixat en ressalt, a recer de les riuades, especialment de les ordinàries.

5.3. L'ocupació dels caixers per la vegetació

Els canvis morfològics esmentats han tingut com a conseqüència la invasió dels rius per part de la vegetació de ribera —si són perennes— o de vegetació terrestre —en cas de ser efímers. Les imatges antigues dels rius *braided* mostren uns rius agradacionals, amb barres i canals entrelaçats totalment nus de vegetació. Per contra, avui, els rius són més estrets, amb incisions molt fortes i sectors clarament erosius, però, sobretot, amb barres i canals envaïts per la vegetació. Els rius s'han convertit en autèntics corredors de vegetació, però, per contra, han deixat de ser-ho per a l'aigua i els sediments.

El cas del riu Serpis (figura 14), amb un embassament (Beniarrés) construït el 1958, representa bé els efectes de manca d'aigua i sediments que regnen als rius actuals. Entre 1946 i 1956, en el període immediatament anterior a la construcció

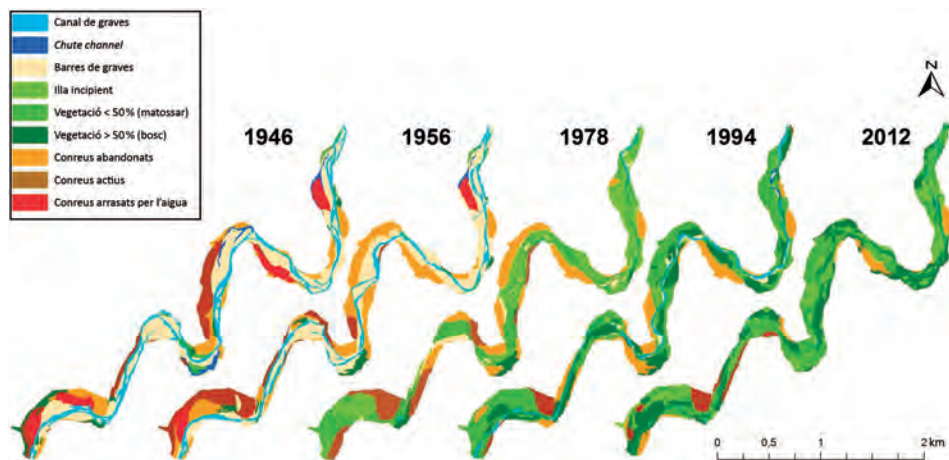


FIGURA 14. Canvis en la vegetació del caixer del riu Serpis entre 1946 i 2012.

FONT: Navarro *et al.* (2016).

de l'embassament, l'àrea d'estudi estava gairebé totalment desproveïda de vegetació. El 1946, el canal d'aigües baixes i les barres ocupaven prop del 60 % del caixer actiu, mentre que un 25 % eren conreus i zones amb coberta arbustiva superior al 50 %. El 1977, després de la construcció de Beniarrés, les barres i les illes desproveïdes de vegetació ocupaven ja només un 5 % del canal actiu, mentre que un 57 % presentava una coberta vegetal poc densa (<50 % de cobertura). El 2012, la vegetació esclarissada ocupa un 60 % de la llera i la densa suposa un 27 %, la qual cosa dona idea de l'atapeïment de la vegetació en aquest riu.

5.4. Els canvis a la costa

Tot el que passa als rius es transmet al sistema litoral, atès que les sortides d'aigua i sediments constitueixen les entrades del sistema litoral. La manca d'aigua i sediments afecta greument les costes, que acaben retrocedint pel dèficit sedimentari i per la pujada del nivell de la mar.

El cas del delta de l'Ebre reflecteix molt bé aquesta situació. La cartografia històrica de finals del segle XIX mostra un Delta molt diferent de l'actual, on es reconeixen —i en alguns casos segueixen actius— els paleollits associats als diferents lòbuls històrics. El Delta del mapa de Francisco Coello (figura 15a) el 1858 té una superfície de 307,21 km², amb les fletxes i els ganxos del Fangar i la Banya, amb una àrea aproximada d'1,65 km² i 24,20 km², respectivament. El mapa de Rafael

Pardo Figueroa (1887-1890) (figura 15b) mostra un Delta més desenvolupat i una forta acreció en els ganxos, que s'assemblen prou a la seua forma actual. Entre 1918 i 1927, una gran riuada obre diversos trencs en direcció nord, cosa que facilita l'abandonament i el rebliment de la gola del Nord i l'aparició de la gola de Tramuntana, oberta cap al nord. Es tracta d'un Delta progradant, amb un lòbul de forma apuntada a la desembocadura, que es pot observar encara en la fotografia aèria de 1956 (figura 15c). Les dimensions del Delta es mantenen fins a aquesta data i la forma dels ganxos és molt similar a l'actual. A partir de 1970, s'inicia una fase erosiva que continua fins avui (figura 15d). El lòbul de la desembocadura ha perdut la seua punta i ha adoptat una forma més arrodonida, semblant a la del mapa de Coello (1858), i s'ha afermat la desembocadura septentrional. Els ganxos augmenten la seua superfície creixent cap a l'oest, tancant parcialment les badies del Fangar i Alfacs a la part nord i sud del Delta, respectivament (figura 15e).

L'anàlisi dels canvis en les línies de costa entre 1890 i 2012 ens dona una visió a llarg termini de l'evolució del Delta, amb tendències diferents segons els sectors (figura 15f). El retrocés més important s'esdevé a l'antiga desembocadura, amb valors que oscil·len entre -2.600 i -2.100 m (figura 15f, sector 6). En les fletxes, es produeix erosió a la cara externa, amb valors que oscil·len entre -600 i -700 m al Fangar (sectors 3 i 4) i entre -500 i -600 m al Trabucador (sector 7). En aquest període, la fletxa septentrional s'erosiona més que la meridional i ambdues pivoten cap a la costa, amb processos erosius que es compensen en la seua cara interna, associats normalment als episodis de temporals. L'acreció del Delta es localitza en els ganxos, amb valors entre 700 i 2.000 m a la Banya (sector 9B) i entre 400 i 800 m a la cara interna del Fangar (sector 2). L'erosió del Delta no és uniforme, ja que disminueix la superfície de la plana deltaica, però els sediments erosionats es dipositen en els ganxos que creixen de manera continuada. Així, doncs, la superfície total del Delta no ha sofert canvis dràstics des dels anys setanta, però sí que s'ha produït una redistribució dels sediments que hi arriben (figura 15e). D'altra banda, durant el mateix període s'ha observat una forta erosió al Delta submergit, que tendeix a desmantellar els lòbuls dipositats en segles anteriors.

Durant els segles xv i xvi, es va produir l'acreció més gran del Delta a causa de la forta desforestació soferta per la conca, degut a les grans quantitats de fusta utilitzada per a la construcció dels vaixells de les noves expedicions transoceàniques. Entre els segles xvii i xviii es van produir canvis significatius en la ubicació de les goles. Durant el segle xix, l'aportació de sediments s'ha estimat en 25×10^6 tm/any (Guillén i Palanques, 1997), tendència que ha canviat al llarg del segle xx, quan s'ha produït una forta minva del cabal circulant a causa de la construcció d'embassaments, que retenen l'aigua i el sediment. La reducció de les aportacions sòlides i líquides ha provocat canvis molt importants a partir dels anys setanta del segle xx. La construcció de més de dos-cents embassaments a la conca ha provo-

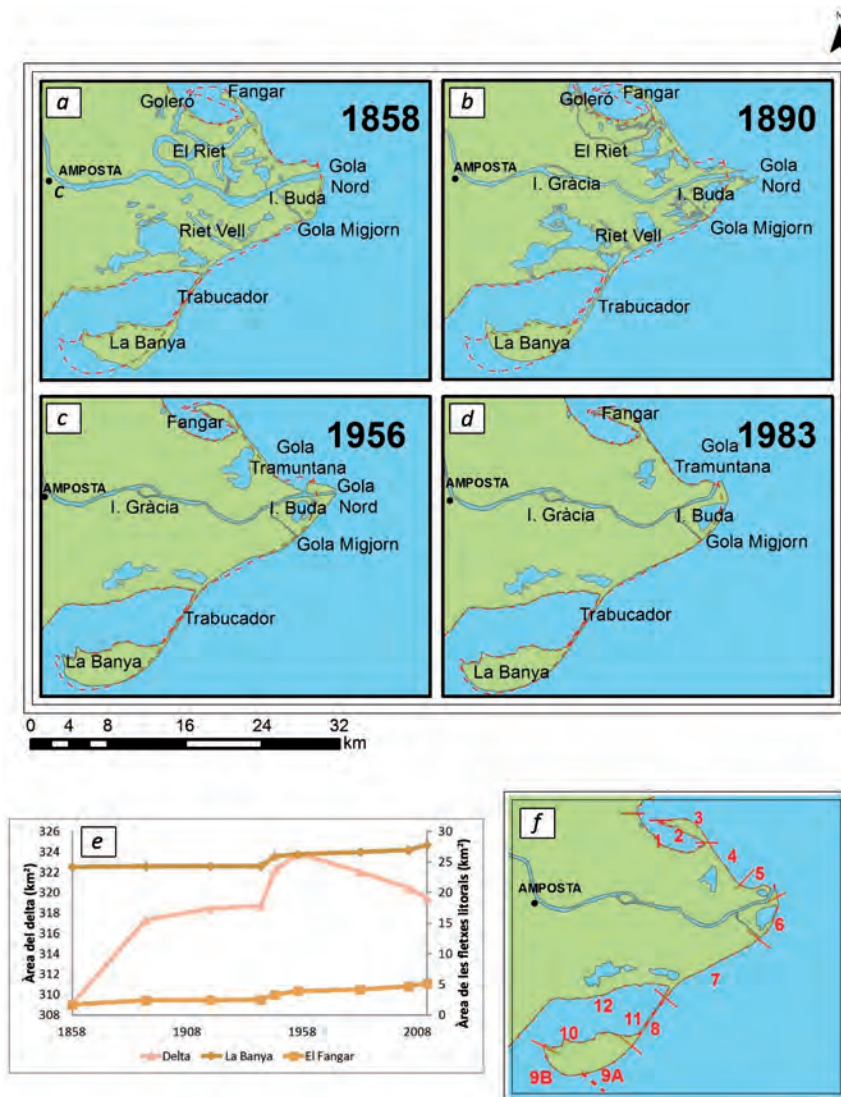


FIGURA 15. Evolució del delta de l'Ebre entre 1858 (a), 1890 (b), 1956 (c) i 1983 (d) (en línia discontinua apareix dibuixada la silueta del Delta a 2012). Al llarg del període, la superfície del Delta (incloses la plana deltaica emergida, les fletxes i les zones humides) ha sofert importants canvis (e), amb un fort creixement fins a 1956 i una disminució a partir d'aquesta data, però l'erosió del lòbul frontal del Delta es compensa amb un increment de la superfície de les fletxes i els ganxos. D'altra banda, l'anàlisi dels canvis en la línia de costa del Delta (f) mostra sectors amb comportament erosiu o acrecional diferenciats.

FONT: Ollero *et al.* (en premsa).

cat una disminució d'un 99 % de la càrrega sedimentària (Guillén i Palanques, 1992; Ibáñez *et al.*, 1997). En definitiva, la diferència evolutiva del Delta és clara abans i després de 1969, data de la construcció de l'últim embassament, quan s'observa una disminució de la superfície de la plana deltaica. En la figura 15^{tes} mostra com alguns sectors que van ser progradants en règim natural s'han tornat erosius en la segona fase (6, 3, 4, 7 i 9A), i és especialment forta la reculada a la desembocadura actual (6). L'acumulació es redueix a la cara interna dels ganxos (9B i 2).

La manca de sediment provoca una disminució de la superfície deltaica i posa de manifest els efectes de la subsidència i de la pujada del nivell de la mar. Durant l'últim segle, la taxa mitjana d'ascens eustàtic s'estima al Delta entre 1-2 mm/any i el volum anual de sediments necessari per a combatre aquest ascens es calcula en dos milions de m³/any. Si, a més, s'assumeix una taxa de subsidència de 5 mm anuals sobre una superfície de 250 km², caldrien 1.300.000 tm/any de sediments, encara que actualment només n'arriben uns 0,15 milions de tones a l'any (PIPDE, 2006).

6. INTERPRETACIÓ DELS CANVIS ESDEVINGUTS A LES CONQUES FLUVIALS

Així, doncs, al llarg del segle xx s'han produït una sèrie de canvis directes i indirectes a les conques fluvials que han provocat un dèficit hidrosedimentari que ha afectat els caixers i les formes deposicionals, com ara els deltes. En el cas dels rius mediterranis, hi ha una certa coincidència tant en la detecció de la resposta com en la interpretació dels canvis, que es podria resumir de la manera següent (figura 16):

- Incisió i estretiment generalitzats, amb dos períodes de comportament diferenciat abans i després de 1950.

- En els rius *braided*, increment de la vegetació que ajuda a reduir la secció transversal.

- Retrocés de la línia de costa, especialment dels deltes, afectats pel dèficit sedimentari, al qual se sumen la pujada del nivell de la mar i, en el cas dels deltes, la subsidència.

La situació de les conques fluvials en la primera meitat del segle xx respon a unes condicions hidrosedimentàries molt diferents a les actuals. Entre finals del segle XIX i 1950, les conques fluvials tenien una gran càrrega sedimentària i unes grans revingudes associades als canvis climàtics esdevinguts a la fi de la petita edat del glaç. En el moment de màxima població rural, els vessants són fortament sobreexplotats per la ramaderia i l'agricultura, la qual cosa produeix uns caixers fortament agradacionals i amb uns corredors molt actius, en què les revingudes netegen la vegetació de manera periòdica. Els rius *braided* de principis del segle xx

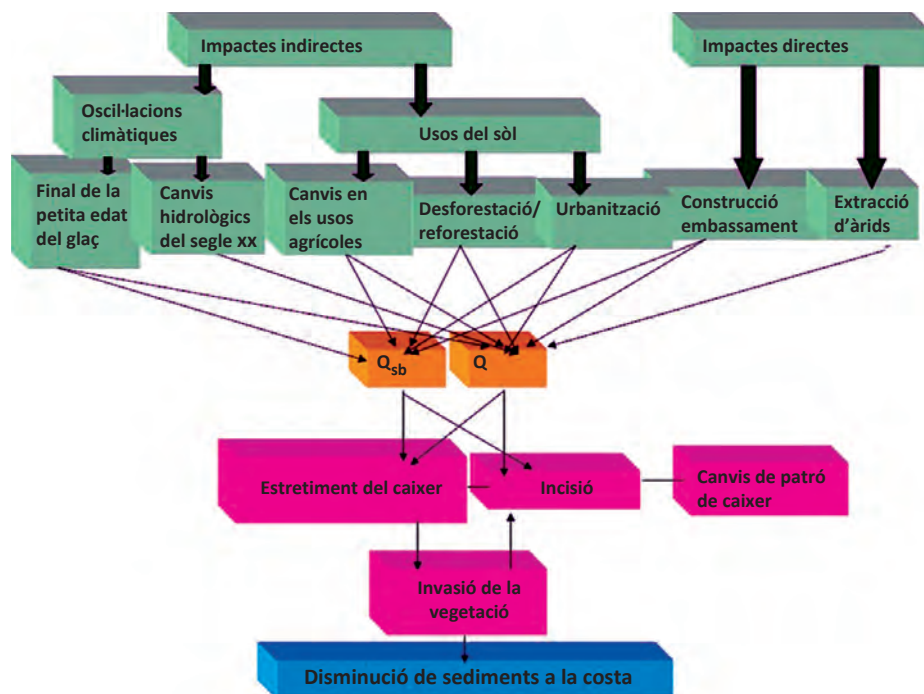


FIGURA 16. Esquema dels impactes que pateixen les conques i de les conseqüències que tenen sobre els caixers i les costes (Q_{sb} = càrrega de sediments; Q = cabal).

són formes relictas, en equilibri amb condicions climàtiques i erosives que potenciaven una gran càrrega sedimentària i elevats cabals.

Cap al 1950 les noves condicions ambientals del final de la petita edat del glaç, les reforestacions, la construcció de preses de retenció de sediments, la desaparició de la ramaderia extensiva i l'abandó de l'agricultura a causa del despoblament rural han canviat les condicions hidrosedimentàries de les conques. Els vessants s'han cobert de vegetació, la qual cosa ha fet disminuir la càrrega sedimentària, ha augmentat l'evapotranspiració i la infiltració i ha fet disminuir la correntia superficial i els cabals. A banda dels canvis d'usos en les conques, també hi ha hagut canvis directes sobre les lleres, especialment la construcció d'embassaments i l'extracció d'àrids. En resposta a aquests canvis, els caixers s'han adaptat a la disminució de cabals i de sediments: s'han estretit, s'han encaixat i la vegetació els ha envaït, atès que la magnitud de les revingudes ha disminuït i no els arrasa de manera periòdica.

Pel que fa a les costes, el dèficit hidrosedimentari dels rius ha afavorit l'erosió, hi han desaparegut moltes platges. La situació s'agreuja en el cas dels deltes, on

l'erosió es magnifica per la conjunció de la subsidència, la pujada del nivell de la mar i la manca de sediments. Així, al delta de l'Ebre, el ritme de creixement ha fluctuat en els darrers segles, però la resposta ha estat semblant a la dels caixers: un creixement sostingut fins als anys 1960-1970, però una disminució de la superfície de la plana deltaica i una redistribució dels sediments erosionats, que s'acumulen en els ganxos de les fletxes.

El ritme de canvi en els caixers marca bé la diferència abans i després dels anys cinquanta del segle xx. La reducció del canal actiu del primer període s'explica com un reajustament de les condicions de les lleres després de les importants crescudes esdevingudes a finals del segle xix i començaments del xx, mentre que la segona etapa es relaciona amb la reforestació de les capçaleres i els canvis d'usos a la plana d'inundació, que han provocat un descens en la càrrega de fons. L'estreïment de les lleres és la resposta a la disminució de la càrrega i el cabal produïts fins als anys cinquanta i seixanta. La incisió comença de manera suau amb el segle, però s'accelera a la segona meitat de la centúria. L'acceleració dels processos a partir dels anys cinquanta del segle passat cal atribuir-la a l'acció directa sobre els caixers (extracció d'àrids i construcció d'embassaments).

7. SOLUCIONS DE FUTUR

La Directiva marc de l'aigua europea (2000/60/CE) obliga a mantenir els rius en bones condicions ecològiques. Per al conjunt dels països de la Unió Europea (UE), l'aprovació d'aquesta Directiva ha suposat l'obligatorietat de restaurar els rius, per tal d'aconseguir el «bon estat ecològic» que defineix la normativa.

Pel que fa a Espanya, fins a l'any 2000 la gestió de l'aigua ha consistit a regular l'aprofitament dels recursos hídrics per atendre les demandes socials. Tant els cabals com els sediments han estat tractats com a recursos i en poques ocasions s'ha considerat la funció mediambiental dels rius. A partir de la implantació de la Directiva marc de l'aigua, les confederacions s'han vist obligades a dissenyar programes de restauració.

A la Confederació Hidrogràfica del Xúquer, els treballs de restauració estan en una fase inicial i no tenen unes directrius clares. A l'hora d'emprendre aquests projectes, cal considerar l'evolució de la conca perquè és molt probable que en alguns casos s'haja arribat a una fase irreversible, ja que, com hem vist, els impactes que han patit han canviat les condicions per a la producció i el transport de cabal i sediments. Els rius dels anys cinquanta i seixanta no tornaran a captenir-se igual perquè la conca i els caixers no són els mateixos. Però això no pot ser una excusa per a seguir destrossant-los; més aviat, cal facilitar l'adaptació del riu a les noves condicions mediambientals i trobar la manera de recuperar-ne la funcionalitat.

Hi ha estudis (Segura, 2014) que suggereixen que, fins i tot els rius efímers, mostren senyals de recuperació i una certa resiliència que cal aprofitar.

Probablement cal donar un tractament diferent a les accions indirectes (sobre la conca) que a les directes (sobre el caixer). Les oscil·lacions climàtiques existiran sempre i en bona part són naturals i incontrolables; els canvis d'usos responen al model econòmic de cada època i, per tant, a escala de dècades són irreversibles. Per contra, les accions directes sobre els caixers són més fàcils de controlar. Els embassaments no es poden tombar —encara que hi ha països que ho fan—, però sí que es pot exigir que retornen els sediments als caixers per tal que els rius els transporten. Pel que fa a l'extracció d'àrids, s'ha de prohibir perquè és una sagnia directa i contínua que el riu no pot reparar, atès que la formació i el transport de sediments des dels vessants als caixers tenen fortes limitacions. Si no es tenen en compte aquestes qüestions i no es dona un tractament integral i sistèmic a la restauració, aquesta està condemnada al fracàs i difícilment perdurará. Com assenyalen Dufour i Piégay (2009), si acceptem la idea de la trajectòria complexa de les conques, els conceptes de *recuperació* i *reversibilitat* només són aplicables a curt termini i en resposta a pertorbacions locals, mentre que, si els utilitzem a llarg termini, contribueixen al mite del paradís perdut, en la mesura que volem recrear formes i processos impossibles en les condicions actuals. Cal trobar, per tant, un equilibri en la gestió dels rius, però, atès que durant moltes dècades ha predominat l'acció antròpica sobre la conservació de la natura, potser ha arribat el moment d'invertir els processos.

Conservar els rius en bon estat no és només una qüestió romàntica. En una societat en què l'economia ho domina tot, cal valorar els beneficis ambientals que proporcionen els rius i les despeses econòmiques que genera l'explotació inadequada dels seus recursos. L'extracció d'àrids n'és un bon exemple: amb molt poca inversió, s'aconsegueixen grans beneficis privats. Tanmateix, les conseqüències (soscavament i caiguda de ponts i erosió a la costa) les paguem dels pressuposts públics. Beneficis privats, despeses públiques.

Potser cal tenir una visió dels rius més naturalista i exigir a l'administració una gestió sistèmica i integral de les conques, que potser fins i tot siga més barata i rendible que les obres estructurals. Cal deixar que els rius complisquen la funció mediambiental que tenen reservada: transportar aigua i sediments. Dues funcions sense les quals els rius no són rius, però que avui cal reivindicar.

BIBLIOGRAFIA

BARREDA-ESCODA, A.; LLASAT, M. C. (2015). «Evolving flood patterns in a Mediterranean region (1301-2012) and climatic factors - the case of Catalonia». *Hydrology and Earth System Sciences*, núm. 19, p. 465-483.

- BARRIENDOS I VALLVÉ, M.; POMÉS I VIVES, J. (1993). *L'aigua a Mataró: Inundacions i recursos hídrics (Segles XVIII-XX)*. Mataró: Caixa d'Estalvis Laietana. 278 p.
- BATALLA, R. J. (2003). «Sediment deficit in rivers caused by dams and instream gravel mining: A review with examples from NE Spain». *Cuaternario y Geomorfología: Revista de la Sociedad Española de Geomorfología y la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario*, núm. 17 (3), p. 79-91.
- BENITO, G.; DíEZ-HERRERO, A.; FERNÁNDEZ DE VILLALTA, M. (2003). «Magnitude and frequency of flooding in the Tagus Basin (Central Spain) over the last millennium». *Climatic Change*, núm. 58, p. 171-192.
- BENITO, G.; THORNDYCRAFT, V. R.; RICO, M.; SÁNCHEZ-MOYA, Y.; SOPEÑA, A. (2008). «Palaeoflood and floodplain records from Spain: Evidence for long-term climate variability and environmental changes». *Geomorphology*, núm. 101, p. 68-77.
- CERVERA, T.; PINO, J.; MARULL, J.; PADRÓ, R.; TELLO, E. (2016). «Understanding the long-term dynamics of forest transition: From deforestation to afforestation in a Mediterranean landscape (Catalonia, 1868-2005)». *Land Use Policy*. Disponible en línia a: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.10.006>>.
- COBO, R. (2008). «Los sedimentos de los embalses españoles». *Ingeniería del Agua*, vol. 15, núm. 4, p. 231-241.
- DUFOUR, S.; PIÉGAY, H. (2009). «From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: forget natural references and focus on human benefits». *River Research and Applications*, núm. 25 (5), p. 568-581.
- GARCÍA RUIZ, J. M. (2010). «The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review». *Catena*, núm. 81, p. 1-11.
- GUILLÉN, J.; PALANQUES, A. (1992). «Sediment dynamics and hydrodynamics in the lower course of a river highly regulated by dams: the Ebro River». *Sedimentology*, núm. 39 (4), p. 567-579.
- (1997). «A historical perspective of the morphological evolution in the lower Ebro river». *Environmental Geology*, núm. 30 (3-4), p. 174-180.
- HOOKE, J. M. (2006). «Human impacts on fluvial systems in the Mediterranean region». *Geomorphology*, núm. 79, p. 311-335.
- IBÁÑEZ, C.; CANICIO, A.; DAY, J. W.; CURCÓ, A. (1997). «Morphologic development, relative sea level rise and sustainable management of water and sediment in the Ebre Delta, Spain». *Journal of Coastal Conservation*, núm. 3 (2), p. 191-202.
- LIÉBAULT, F.; PIÉGAY, H. (2002). «Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of Southeastern France». *Earth Surface and Landforms*, núm. 27, p. 425-444.
- MACKLIN, M. G.; WOODWARD, J. C. (2009). «Rivers systems and environmental change». A: WOODWARD, J. C. (ed.). *The physical geography of the Mediterranean*. Oxford: Oxford University Press, p. 319-352.

- MARULL, J.; TELLO, E.; WILCOX, P. T.; COLL, F.; PONS, M.; WARDE, P.; VALDEPERAS, N.; OLLÉS, A. (2014). «Recovering the landscape history behind a Mediterranean edge environment (The Congost Valley, Catalonia, 1854-2005): the importance of agroforestry systems in biological conservation». *Applied Geography*, núm. 54, p. 1-17.
- NAVARRO, A.; SANCHIS-IBOR, C.; SEGURA-BELTRAN, F. (2016). «Cambios morfológicos en el cauce del río Serpis tras la construcción del embalse de Beniarrés (Alicante, 1958-2013)». A: DURAN, J. J.; MONTES, M.; ROBADOR, A.; SALAZAR, A. (ed.). *Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro. Actas de la XIV Reunión Nacional de Geomorfología*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, p. 399-406.
- OLLERO, A.; IBISATE, A.; ACÍN, V.; BALLARÍN, D.; CASAMAYOR, S.; GRANADO, D.; HORACIO, J.; MORA, D.; SÁNCHEZ FABRE, M.; SEBASTIÁN, M.; SEGURA, F.; VALLS, A. (en prensa). «Dynamique fluviale, changement global, pression anthropique et naissant restauration dans le bassin, le cours et le delta de l'Ebre». *Sud-Ouest Européen*.
- PARDO PASCUAL, J. E. (1991). *La erosión antrópica en el litoral valenciano*. València: Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports. 240 p.
- Plan Integral de Protección del Delta del Ebro: Documento base* (2006). Disponible en línea a: <http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/documentobasevfinal3_tcm7-29340.pdf>. [PIPDE]
- ROMEU MORENO, E. (2015). *Estudio del peligro de inundación en las cuencas del Maresme*. Treball de fi del grau de geografia i medi ambient. València: Universitat de València. 79 p. + annexos. [Treball inèdit]
- SANCHIS-IBOR, C.; SEGURA-BELTRAN, F. S. (2014). «Spatial variability of channel changes in a Mediterranean ephemeral stream in the last six decades (1946-2006)». *Cuadernos de Investigación Geográfica*, núm. 40 (1), p. 89-118.
- SEGURA BELTRAN, F. S. (2003). «Model d'inundacions en ventalls al·luvials: el cas de les planes costaneres valencianes». *Cuadernos de Geografía*, núm. 73, p. 207-232.
- (2004). «Cambios hidrológicos en las ramblas y barrancos del Golfo de Valencia a lo largo del siglo XX». A: GIL OLCINA, A. *Alteración de los regímenes fluviales peninsulares*. Murcia: Fundación Cajamurcia, p. 349-387.
- (2014). «Sobre la restauració fluvial i la complexitat dels rius efímers: algunes consideracions crítiques». *Cuadernos de Geografía*, núm. 95-96, p. 101-147.
- SEGURA BELTRAN, F. S.; SANCHIS IBOR, C. S. (2011). «Efectos de una crecida en un cauce antropizado. La riada del Palancia de octubre de 2000». *Cuadernos de Geografía*, núm. 90, p. 147-168.
- SEGURA-BELTRAN, F.; SANCHIS-IBOR, C. (2013). «Assessment of channel changes in a Mediterranean ephemeral stream since the early twentieth century. The Rambla de Cervera, eastern Spain». *Geomorphology*, núm. 201, p. 199-214.

- SURIAN, N.; RINALDI, M. (2003). «Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy». *Geomorphology*, núm. 50, p. 307-326.
- VERICAT, D.; BATALLA, R. J. (2004). «Efectos de las presas en la dinámica fluvial del curso bajo del río Ebro». *Cuaternario y Geomorfología: Revista de la Sociedad Española de Geomorfología y la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario*, núm. 18 (1-2), p. 37-50.
- WAINWRIGHT, J.; THORNES, J. B. (2004). *Environmental Issues in the Mediterranean*. Londres: Routledge. 512 p.

WEBS CONSULTADES

- Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos (ANEFA): <<http://www.aridos.org>> [Consulta: 12 març 2017].
- Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire (CECAF): <<http://www.ejercitodelaire.mde.es/ea/pag?idDoc=EA57FE6F11D7DD94C12570DD0042A05B&idRef=4ADBBE3B43065119C125745900267298>> [Consulta: 17 agost 2017].
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX): <<http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>> [Consulta: 11 febrer 2017].
- Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG): <www.cnig.es> [Consulta: 16 juliol 2016].
- Confederació Hidrogràfica del Xúquer (CHX): Pla Hidrològic 2009-2015: <<http://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Paginas/PHC-2009-2015-Plan-Hidrologico-cuenca.aspx>> [Consulta: 20 febrer 2017].
- Institut Nacional d'Estadística (INE): <<http://www.ine.es/>> [Consulta: 18 gener 2017].
- Ministeri d'Agricultura i Medi Ambient (MAGRAMA): Directiva marc de l'aigua: <http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/ley62-2003_tcm7-29015.pdf> [Consulta: 3 març 2017].

Resposta de Vicenç M. Rosselló i Verger, membre emèrit de la Secció de Filosofia i Ciències Socials

Tinc la satisfacció d'haver impulsat la incorporació a aquesta acadèmia d'una segona persona procedent de la pagesia que té una cosmovisió diferent dels urbanistes predominants. Francesca Segura i Beltran nasqué a Xert, poble del Maestrat (deu ser un dels darrers alfabèticament dels municipis valencians), a només 20 km de la ratlla amical del riu de la Sénia. Això li confereix una visió central *catalànica* dels nostres països «innominables».

La nostra catedràtica de geografia física de la Universitat de València ha donat proves tangibles de ser —a més de dona ferma i exigent— una investigadora conscienciada en la unitat de la geografia com a ciència d'interrelacions. Ha treballat sobretot de manera multidisciplinària, total(itària) o holística —com es diu ara—, i també avançant des d'una frontera que té molt a veure amb la dinàmica de fluids, una de les branques més envitricollades de la física.

La clàssica distinció entre geografia física i geografia humana ha acabat per trontollar perquè l'home contemporani —i possiblement el paleolític, a menor escala— ha esdevingut un agent geomòrfic de primera categoria, no omnipotent quan tracta d'imposar-se a la natura, però sí capaç de modificar-la substancialment. Dos o tres milennis d'agricultura, que impliquen desforestació, artigament, llaurances, moviments de terra, erosió provocada, etc., s'ajunten en els nostres països a canalitzacions, pavimentacions de milers de quilòmetres quadrats, impermeabilització, rebliments i desmunts... Cada dia hi ha menys terres no colonitzades (que vol dir pertorbades, subvertides) per l'*homo sapiens*, que no sempre es capté com a tal. L'ambient *antropitzat*, que ha esmentat la meua antecessora en l'ús de la paraula, és el quadre en què es desenvolupen la majoria de processos físics i hidràulics que són els que ens ha presentat.

La dedicació de la recerca als *rius secs*, efímers, esporàdics —jo diria espasmòdics—, les rambles, és gairebé cosa de la fi del segle passat i de l'actual, i a l'Estat

espanyol ha estat ben poc cultivada. La nostra hidròloga, companya de Secció, ha arribat a ser especialista en revingudes i inundacions: la seva participació al PATRICOVA (Pla d'Acció Territorial sobre Prevenció de Riscos d'Inundació a la Comunitat Valenciana) i en l'estudi de rambles i rius trenats o *braided* ho demostra. Els exemples que ha adduït del Principat, el País Valencià i les Illes Balears ho confirmen. De tot el que ha escrit i dit, en remarcaria alguns punts que suposo que us deuen haver sobtat. Per exemple, que la decantada trilogia mediterrània —un invent dels geògrafs francesos— és tan erosionadora com la ramaderia. Que el paper protector del bosc, justificant de tantes reforestacions, ha estat discutit i revisat. Que el negoci opulent i fàcil de l'extracció d'àrids de les lleres de rius i rambles ha estat una plaga incontrolada. Que els sediments (tarquim i reble) acumulats en les rescloses resulten d'una violència enorme a la natura: ja ho sabíem els valencians en comprovar l'estat dels embassaments antics de Maria Cristina, Isber, Elda, Tibi o Elx.

Altrament, han estat demostrats els actuals estretiment i incisió dels caixers fluvials, provocats pel règim actual que per raons antròpiques i climàtiques ha canviat força. Les platges minven, com mostren les velles talaies costaneres (la majoria dels segles XVI i XVII) amenaçades o desaparegudes del tot, per manca de sediments i per la pujada general i incessant del nivell marí. Una Llei de costes (1988-2013) —rebaixada i conculcada sovint— havia reservat un espai prudencial per a l'evolució litoral futura, però l'ocupació residencial s'obstina *de facto* en un desafiament inútil, sempre a costa dels contribuents. El delta de l'Ebre minva i es remodela per manca de sediments —i de cabal—, cosa que pot condemnar-lo a la desaparició...

Un darrer aspecte que em plauria de remarcar és el de la «restauració» dels rius empresa pels nostres enginyers que, no contents a canalitzar-los, malden per conservar-ne l'«estat natural» en operacions estètiques que no consideren l'acomodació espontània dels aparells hidràulics a les condicions antròpiques i climàtiques dels darrers dos segles.

