



Efectes de les extraccions de material al·luvial sobre el riu i la costa. L'exemple de la Tordera

Carles Ferrer-Boix ¹ , Juan P. Martín-Vide ² , Arnau Prats Puntí ²  i Antonio Sáez Elvira ²

¹ Departament d'Enginyeria Gràfica i de Disseny, Universitat Politècnica de Catalunya, Professor Serra Húnter, Barcelona

² Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona

Resum: Aquest article presenta la síntesi actualitzada de la recerca que s'ha dut a terme a la Tordera des de 2005. S'hi fa un resum dels impactes més importants que ha sofert el riu, principalment de les grans extraccions de material realitzades entre les dècades de 1960 i 1980. Hem dut a terme l'anàlisi de la incisió fluvial, és a dir de l'efecte d'aquestes extraccions sobre la llera, tot comparant informació cartogràfica de diferents períodes dels segles xx i xxi. Aquesta informació demostra que: 1) la incisió del riu assoleix magnituds mètriques, se superen els 3-4 m, 2) aquesta erosió generalitzada no s'ha aturat malgrat que les grans extraccions van finalitzar fa més de 35 anys tot i que 3) el ritme s'ha esmorteït d'ençà 2002. S'espera que aquest ritme continuï reduint-se durant els propers anys. La reducció del subministrament de material sòlid del riu cap a la costa, produïda per les extraccions de material al·luvial, és la causa principal de la regressió del delta, que ha reculat més de 200 m en algun punt.

Summary: EFFECTS OF INSTREAM MINING ON RIVERS AND COASTLINES. THE TORDERA RIVER EXAMPLE – This paper presents an updated summary of the research carried out on the Tordera River since 2005. It describes the most important impacts on the river, and particularly the massive mining carried out between the 1960s and 1980s. The effects of mining on the riverbed, i.e. incision, are analysed by comparing cartographic information from different periods of the 20th and 21st centuries. This information demonstrates that 1) the incision exceeds 3-4 m; 2) though mining ended more than 35 years ago, bed degradation has not yet stopped; and 3) incision rates have declined since 2002. Incision rates are expected to continue declining in the years to come. Sediment supply from the river to the coast fell during the second half of the 20th century, mainly as a result of mining. This reduction has caused the delta shoreline to retreat by more than 200 m at some points since 1945.

Introducció

El desenvolupament econòmic a Europa durant la segona meitat del segle xx coincideix amb una època de grans impactes sobre els sistemes fluvials. L'expansió econòmica durant la postguerra europea es basava, en part, en un elevat consum de matèries primeres. D'entre els impactes a rius més comuns durant aquest període hi comptem la construcció de preses, les ocupacions de l'espai fluvial a través de canalitzacions i les extraccions de material al·luvial per a ser utilitzat com a material de construcció.

L'anàlisi de les extraccions de material a rius es pot dur a terme de forma qualitativa tot fent ús de l'analogia (o diagrama) de Lane (Lane, 1955). Segons aquesta analogia, l'equilibri vertical d'un riu, és a dir, la tendència gradual de la llera a perdre cota (incisió) o a guanyar-ne (creixement o acreció) depèn de quatre variables: 1) el cabal lí-

quid unitari (cabal per unitat d'amplada, Q/B) que circula pel riu, on Q és el cabal dominant, és a dir, el cabal formatiu o responsable de l'acció modeladora sobre la llera; 2) l'aportació unitària de material sòlid granular (sorra i grava) provinent de trams aigua amunt (aquesta aportació pot ser vista com un cabal sòlid unitari -volum de sediment Vs per unitat de temps i per unitat d'amplada, Vs/Δt/B Qs/B); 3) el pendent del riu; i 4) la mida característica del material del fons de la llera, el que es mobilitza en riuades.

Si en un riu les aportacions líquides i sòlides no han sofert canvis i si aquest mateix riu no ha patit intervencions directes, el pendent de la llera i el material del fons són l'expressió al riu d'aquestes condicions no pertorbades. Es diu doncs que el riu està en equilibri i per tant la cota del riu a qualsevol secció en un període de temps es mantindrà, en termes mitjans, estable. Per contra, el riu patirà un desequilibri si els cabals líquid o sòlid

canvien respecte els corresponents en condicions prístines o originals. Segons el sentit de les variacions d'aquestes aportacions, és a dir, depenent de si els cabals líquid i sòlid augmenten o disminueixen respecte les condicions d'equilibri, el riu tindrà un desequilibri que es materialitzarà com una tendència cap al creixement o cap a l'erosió del fons.

Particularment, si la càrrega sòlida unitària disminueix (a igualtat del cabal líquid unitari), el riu aigua avall patirà un dèficit de material sòlid (desequilibri) que donarà lloc a una reducció gradual de la cota del fons del riu. L'extensió del tram afectat per aquest dèficit de material depèn del tipus de riu, d'altres impactes que pateixi o pugui haver patit i de les aportacions de material provinents d'afluents i del mateix riu (p.e. de dipòsits fluvials com ara barres laterals o illes, o de material procedent de les seves vores). En qualsevol cas, l'afectació de la llera és sempre molt superior a l'amplada mitjana del riu i típicament és de l'ordre de quilòmetres (p.e. Martín-Vide *et al.*, 2010). Aquesta erosió generalitzada es concreta com una reducció del pendent de riu ja que la seva cota a la desembocadura, ja sigui al mar o a un altre riu més gran, és, habitualment, independent de les extraccions dutes a terme al riu en qüestió.

Ara bé, l'impacte de les extraccions a rius no es limita als trams aigua avall d'on es realitzen sinó que els trams d'aigua amunt també es veuen afectats. Les afeccions aigua amunt ocorren perquè les extraccions representen, en l'àmbit local, una excavació del llit del riu. Així, el seu pendent immediatament aigua amunt de l'extracció augmenta res-

pecte les condicions d'equilibri. Això provoca una erosió remuntant a la llera que, de forma gradual, afecta trams del riu situats aigua amunt.

Per tant, les extraccions produeixen un impacte global al riu, que es manifesta com una erosió generalitzada o incisió que afecta zones situades tant aigua amunt com aigua avall de les zones d'extracció. Aquesta incisió fluvial es produeix a un ritme gradual, que depèn de la freqüència i la magnitud de les crescudes: més ràpid com més freqüents i més importants siguin les avingudes. Normalment passen anys o dècades per a què l'erosió generalitzada del llit sigui evident (e.g. Martín-Vide *et al.*, 2005, 2010). Els impactes negatius provocats per aquesta erosió són diversos i afecten tant el medi físic (p.e. simplificació de les formes i la morfologia fluvial, pèrdua del bosc de ribera pel descens freàtic) com les infraestructures pròximes a la llera (p.e. risc de caiguda de ponts a causa de l'exposició de les piles).

Val a dir que, en general, la càrrega sòlida arrossegada pels rius té unes característiques (p.e. de resistència, de forma) que fan que sigui un material molt apreciat per a la construcció. A més a més, es tracta d'un material que és molt fàcilment excavat, més que no pas els materials equivalents que provenen de pedrera. L'única operació que cal fer un cop el material s'ha extret de la llera és un garbellat per a seleccionar-ne les mides que interessin. Aquests motius, conjuntament amb una legislació molt permissiva amb aquestes activitats, possibilitaren aquestes accions durant aquelles dècades.

Aquest article sintetitza la recerca feta a la Tordera d'ençà de 2005 i n'actualitza els resultats.

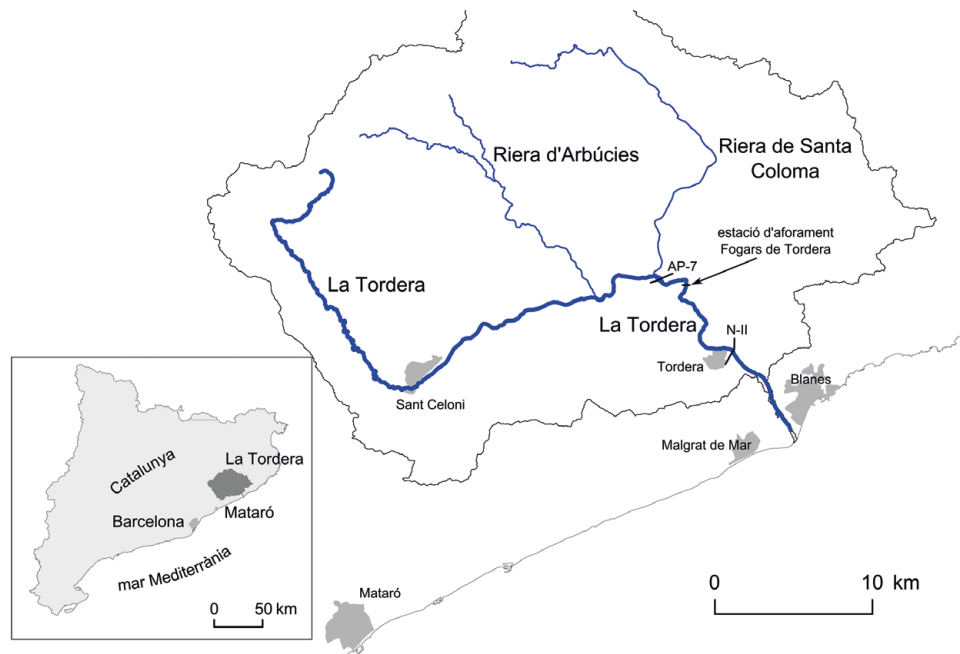


Figura 1. Plànol de situació de la Tordera, dels seus principals afluents així com dels nuclis de població i ponts i estructures significatives.

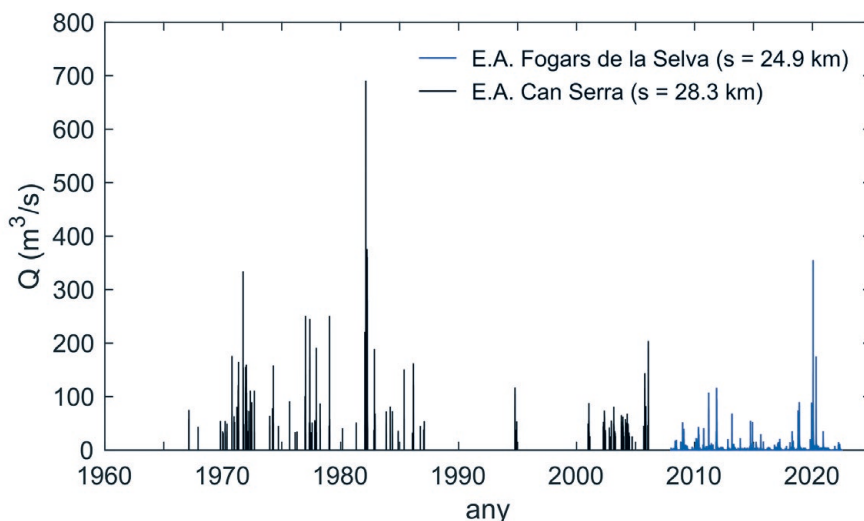


Figura 2. Cabals mitjans diaris mesurats a les estacions de Can Serra (negre) i de Fogars de la Selva (blau). Les dades de Can Serra només inclouen els cabals superiors a $24 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. L'origen de la coordenada longitudinal s al llarg del riu és uns 3.3 km aigües amunt del pont de ff.cc. de Barcelona a Portbou a Sant Celoni (fig. 1).

Breu descripció de la conca i del riu. Dades i mètodes

La Tordera neix al massís del Montseny i desemboca a la mar Mediterrània tot formant un delta d'uns 8 km^2 entre els nuclis de Blanes al nord i de Malgrat de Mar al sud (fig. 1). Entre el seu naixement i la desembocadura recorre una distància d'uns 55 km aproximadament i drena una superfície d'uns 860 km^2 . Els seus afluents principals són les rieres d'Arbúcies i de Santa Coloma.

La conca rep una precipitació mitjana anual que varia entre 1.000 mm a les zones de cotes més altes fins a 600 mm a la zona costanera (Sala, 1979). El cabal mitjà de la Tordera a l'estació d'aforament de Fogars de la Selva obtingut amb els registres diaris entre gener de 2008 i juny de 2022 és $2.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Fent servir aquestes mateixes dades resulta un cabal dominant de $70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Aquesta xifra és significativament superior als $24 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ estimats per Rovira *et al.* (2005) a partir de les dades dels cabals de la mateixa estació entre 1996 i 1999. El cabal dominant més elevat és en gran part resultat d'un seguit de riuades importants ocorregudes entre 2018 i 2020, i en particular a l'episodi del Glòria, del 19-23 de gener de 2020: durant aquesta riuada, el cabal màxim instantani es va estimar que fou $733 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (corresponent a un cabal mitjà diari de $354 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). A part de les dades de l'estació de Fogars de la Selva, també comptem amb les dades l'estació d'aforament de Can Serra, molt propera a l'anterior: la conca que drena a Can Serra és només un 1.5% superior a la de Fogars de la Selva (Martín-Vide *et al.*, 2005). De l'estació de Can Serra disposem de les dades dels cabals mitjans diaris superiors a $24 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ del període 1967-2006. La figura 2 representa conjuntament els dos grups de dades. És rellevant per l'estudi

el fet que l'estació de Fogars de la Selva, construïda l'any 1992 i que consisteix en una solera de formigó a diferents nivells, es va ensorrar l'any 2004. Es va reconstruir l'any 2007, però la cota de la nova solera es va situar 1.5 m per sota del seu nivell original. Com es veurà més endavant, aquesta davallada en la cota de la solera reflecteix els impactes de les extraccions sobre el riu.

Aigua amunt de la confluència amb la riera d'Arbúcies, la Tordera és, des del punt de vista de la mida del material del fons, clarament un riu de grava: la llera es troba cuirassada, essent la mediana (D_{50}) de la mida a la superfície de 34 mm (Martín-Vide *et al.*, 2005). Materials més fins, en gran part sauló, aportat per les rieres d'Arbúcies i de Santa Coloma, fan disminuir bruscament la mida característica del material de la llera aigua avall de sengles confluències (Martín-Vide *et al.*, 2005). Així, al tram aigua avall de la confluència amb la riera de Santa Coloma, la mida característica del material del fons se situa entre el rang de la grava fina ($D_{50}=4.5 \text{ mm}$, Rovira i Batalla, 2006) i la sorra gruixuda ($D_{50}=1.0 \text{ mm}$, Martín-Vide *et al.*, 2005).

El pendent mitjà de la Tordera varia entre 0.71% , corresponent al tram d'uns 9 km centrat a Sant Celoni, i 0.26% del tram aigua avall de l'estació d'aforament de Fogars de la Selva (Ferrer Boix, 2011). El perfil rectilini d'aquest darrer tram, d'uns 12.5 km de longitud, sembla indicar una pèrdua significativa del cabal per infiltració a mesura que el riu s'aproxima a la desembocadura (Martín-Vide *et al.*, 2005; Ferrer-Boix *et al.*, 2016). L'amplada de la llera varia entre 75 m i 125 m (UPC, 2008).

Resum d'impactes a la Tordera

Entre 1960 i 2000 aproximadament, la Tordera va ser objecte de grans extraccions de material al·luvial. Batalla *et al.* (2007) van estimar,

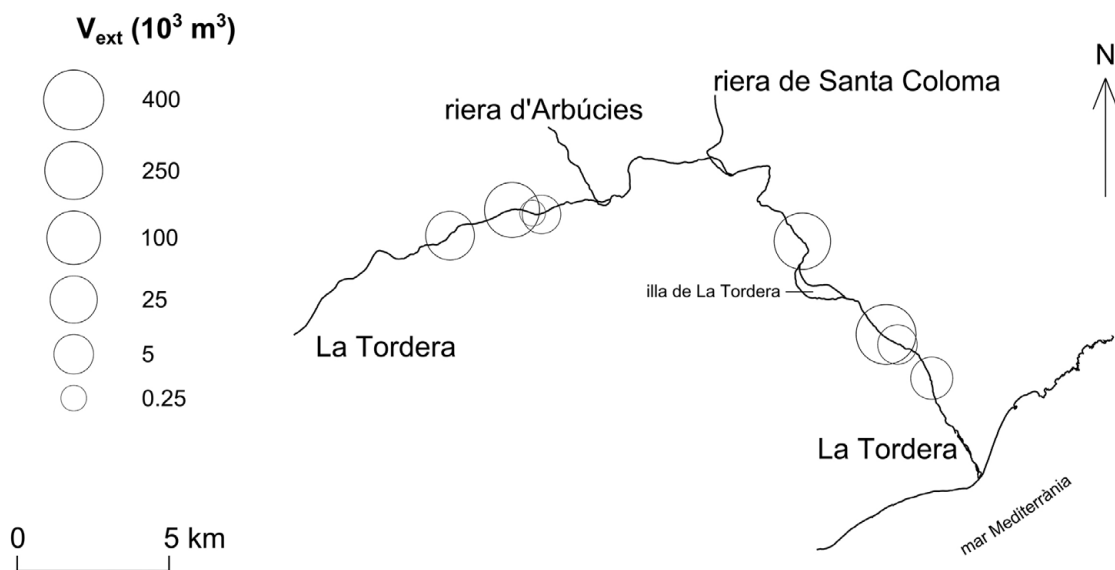


Figura 3. Planta de la Tordera amb la localització de les extraccions realitzades a la llera. El diàmetre dels cercles que representen els volums d'extracció és proporcional al logaritme del volum extret.

basant-se en la informació arxivada a l'Agència Catalana de l'Aigua (en endavant ACA), que el volum de material al·luvial extret dels dipòsits quaternaris del riu (llera i planes) podria ser d'1.5 milions de m³. Aquesta xifra baixa fins a 0.75 milions de m³ si només es compten els expedients d'extracció a la llera. Tanmateix i com passa sovint (p.e., Martín-Vide, 2010), la xifra de material finalment extret podria haver estat més gran que no pas la registrada oficialment als arxius de l'ACA. Per altra banda, el material extret de la llera sovint es feia servir per construir motes laterals que a la vegada causaven una reducció de l'amplada del riu, ocupaven l'espai de les planes d'inundació i deixaven per tant fora de l'abast del riu els dipòsits que quedaven més enllà de les motes (Martín-Vide *et al.*, 2005). La figura 3 il·lustra la ubicació de les extraccions de material al·luvial que consten als expedients de l'ACA.

Les extraccions de material s'iniciaren a finals de la dècada de 1960 i tingueren gran intensitat durant les dècades de 1960 i 1970 (UPC-2008). Aquesta també és l'època de les grans extraccions de material als rius de la península Ibèrica (Martín-Vide, 2010; Ferrer-Boix i Martín-Vide, 2022) i d'Europa (p.e., Surian i Rinaldi, 2003). La informació recopilada indica que les extraccions van finalitzar l'any 2004. Tanmateix, va ser l'any 1986 quan va concloure la gran activitat extractiva (Ferrer-Boix, 2011).

Finalment, de ben segur que la conca de la Tordera ha experimentat canvis en els usos del sòl (creixement del bosc que substitueix els conreus) durant les darreries del s. XIX, i la primera meitat del s. XX. Aquests canvis han estat causats per les migracions del camp a la ciutat

i el conseqüent abandonament de les terres de cultiu. Una evolució similar s'ha observat a la conca del Llobregat (Martín-Vide *et al.*, 2020; Prats-Puntí *et al.*, 2022) i altres rius de l'àmbit peninsular i europeu (p.e., Morán-Tejada *et al.*, 2012; Liébault *et al.*, 2005 respectivament). Aquests canvis a la conca, a més de provocar la reducció del cabal líquid per l'augment de l'evapotranspiració, impliquen directament una menor aportació de material fi (aquesta aportació, formada per argiles i llims rep el nom de càrrega de rentat) al riu. Aquests materials són de mida tan fina que són transportats en suspensió pel riu fins al mar i per tant no tenen un paper important en els canvis morfològics del riu. Ara bé, pensem que el subministrament de material groller, del que en depèn l'equilibri fluvial, no és independent de les aportacions de sediment fi i per tant, una reducció de la càrrega de rentat comporta una certa minva en l'aportació de material groller, sorra i grava.

L'anàlisi dels efectes de les extraccions sobre el riu, mesurats en termes d'incisió, s'ha fet per comparació de perfils longitudinals històrics. Comptem amb els perfils longitudinals que havien estat recopilats a Ferrer-Boix (2011). Aquest llistat inclou les dades de: 1) 1915-1924, 2) 1973, 3) 1987, 4) 2002 i 5) 2007. Els perfils més complets són els de 2002 i 2007, obtinguts a través de models digitals del terreny i d'una topografia específica pel tàlveg (punts del riu amb més profunditat) respectivament. A aquestes informacions hi hem incorporat els perfils longitudinals del riu obtinguts a partir dels models digitals del terreny 2010 i 2016 de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Aquests dos models digitals tenen una resolució 1×1 m i 2×2 m respectivament.

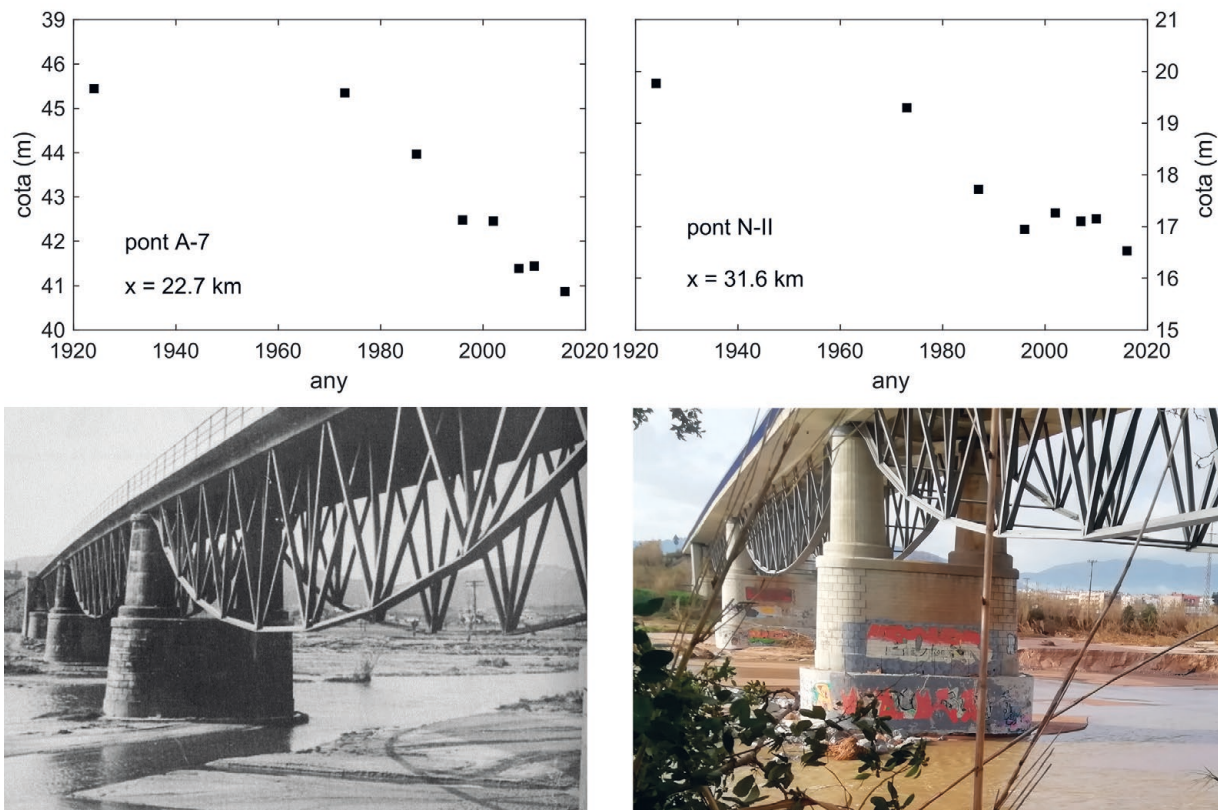


Figura 4. A dalt, evolució de la cota de la llera de la Tordera als ponts de la l'autopista A-7 i la carretera N-II. A sota a l'esquerra, imatge del pont de la N-II l'any 1939. Fotografia presa de <https://anengineersaspect.blogspot.com/2012/09/42-eduardo-torroja-y-miret-structures.html?platform=hootsuite&m=1>. A sota a la dreta, vista del mateix pont durant el mes de gener de 2020, uns dies després de l'aiguat del Glòria. En ambdues imatges, l'aigua circula de dreta a esquerra.

Resultats i discussió. Implicacions envers el delta

La comparació dels perfils longitudinals ens permet quantificar els efectes de les extraccions de material al·luvial. La figura 4 representa l'evolució de la cota de la llera a dos punts del tram inferior de la Tordera: al pont de l'autopista A-7 i al pont de la carretera N-II al nucli de Tordera (fig. 1).

La figura 4 demostra que el resultat d'aquestes extraccions ha estat la incisió del riu, és a dir, l'enfonsament gradual i generalitzat de la llera. Aquesta erosió, de magnitud mètrica, ja havia estat documentada prèviament (Martín-Vide *et al.*, 2005; Batalla *et al.*, 2007; Ferrer-Boix, 2011).

A la figura s'observa com les cotes del riu es van mantenir aproximadament estables fins la dècada de 1970. Hi ha però un lleu descens entre les dades de 1973 i les de 1924: és possible doncs que aquest descens estigui indicant que els primers símptomes del desequilibri causat per les extraccions s'iniciés uns anys abans. En aquest sentit, la manca d'informacions topogràfiques en aquests 50 anys contribueix a posar en qüestió l'afirmació anterior segons la qual el riu estava en equilibri fins el 1973.

A partir de la dècada de 1970, la llera de la Tordera inicia un descens continuat que s'atura durant la primera dècada del s. XXI. A partir d'aquest moment i fins el 2010, la cota als dos llocs de la figura 4 segueix una evolució a priori diferent: mentre que al voltant del pont de la N-II la cota del llit es manté aproximadament constant, la cota del pont de l'autopista A-7 segueix un descens esglaonat. El primer salt al voltant de l'A-7, entre 2002 i 2007, va ser causat per l'erosió remuntant que es va produir a partir de 2004 com a conseqüència de l'esfondrament de l'estació d'aforament de Fogars de la Selva (UPC, 2008). Aquest esfondrament, produït pel soccavament de la solera de l'estació (mentre que la solera «sostenia» la llera aigua amunt, l'extrem inferior de la solera estava en voladís per l'erosió al peu que s'hi produïa), és el resultat del desequilibri erosiu del riu en curs. Les dades topogràfiques de 2007 i 2010 a l'A-7 semblen indicar una certa estabilitat o fins i tot un lleu creixement del fons. Tanmateix, el llit del riu reprèn la tendència a l'erosió entre 2010 i 2016. És significatiu que l'evolució d'ençà de 2010 és comuna a les dues ubicacions de la figura 4. Per tant, pensem que l'evolució de la llera ha estat similar als dos punts, i ha estat només alterada

Taula 1. Incisió (m) als ponts de l'A-7 i de l'N-II, al tram baix de la Tordera, en diferents períodes.

	total	1924-1973	1973-1987	1987-2002	2002-2007	2007-2010	2010-2016
pont A-7	-4.6	-0.1	-1.4	-1.5	-1.1	0.1	-0.6
pont N-II	-3.2	-0.5	-1.6	-0.5	-0.2	0.05	-0.6

localment entre l'A-7 i l'estació de Fogars pel col·lapse l'any 2004 de l'estructura de mesura del cabal.

Hem estimat el canvi de cota mitjà al tram de 15.9 km aigua avall del pont de l'A-7 durant els períodes 2002-2007, 2007-2010 i 2010-2016. En el primer període de 5 anys el llit del riu va davallar 0.5 m de mitjana, es va recuperar parcialment durant els tres anys següents, quan la cota mitjana del riu va créixer 0.2 m, i va a tornar a erosionar-se 0.5 m en els 6 anys del darrer període. Aquests valors confirmen l'apreciació anterior sobre una evolució coherent del tram baix de la Tordera. La taula 1 detalla l'evolució de la cota del riu als ponts de l'A-7 i l'N-II d'ençà que hi ha dades.

La simultaneïtat entre els impactes (extraccions) i les conseqüències (incisió), sobretot durant les dècades de 1960-1990, sembla prou clara com per atribuir gran part de l'evolució recent de la Tordera a l'activitat extractiva que s'hi va realitzar. Les riuades han desenvolupat un paper clau en aquesta evolució com a agents de la incisió. Així, durant les dècades de 1960-1980 hi ha un gran nombre de crescudes, la més important la de febrer de 1982 (fig. 2). És durant aquest període de 30 anys quan la incisió és més important. Posteriorment segueix un interval de temps amb moltes menys crescudes (només la d'octubre de 1994 i la de gener de 2006), caracteritzat per l'estabilitat general del llit. Entre 2010 i 2016 es reprèn la tendència a la incisió general de la Tordera, malgrat que només es produeixen dues crescudes l'any 2011, de magnitud similar a les de 1994 i 2006. Aquesta divergència en la resposta del riu

ens informa sobre la complexitat i la incertesa inherents als processos fluvials.

Aquesta complexitat augmenta pel fet que la Tordera va patir altres impactes (canvis en els usos del sòl a la conca, canalitzacions i ocupacions de les planes d'inundació, disminució del nivell freàtic per l'expansió del regadiu) simultanis a les extraccions de material. Això fa que l'atribució de causes diferenciades a cadascun dels impactes sigui difícil. Tanmateix, sembla haver-hi un consens científic segons el qual la magnitud habitual de les extraccions fa que els seus impactes a la llera prevalguin sobre els efectes causats pels canvis d'usos del sòl (Downs i Piégay, 2019; Ferrer-Boix i Martín-Vide, 2022).

Sembla clar que la incisió a la Tordera no s'ha aturat (fig. 4), tot i que el seu ritme sí que s'ha esmorteït. Es tracta d'un fet destacable ja que demostra la gran inèrcia del riu: la llera segueix descendint malgrat que han transcorregut més de 35 anys des que van finalitzar les extraccions. Pensem que el més probable és que el ritme de la incisió continuï disminuint (sempre que no es produeixen noves pertorbacions al riu).

Impacte sobre el delta

Podem fer servir el delta de la Tordera com a element per analitzar, només de forma qualitativa, l'impacte de les extraccions dutes a terme en el riu. L'evolució d'un delta, és a dir, el seu creixement mar endins, la seva regressió en direcció contrària o la seva estabilitat depèn de la interacció del riu (material sòlid groller aportat pel

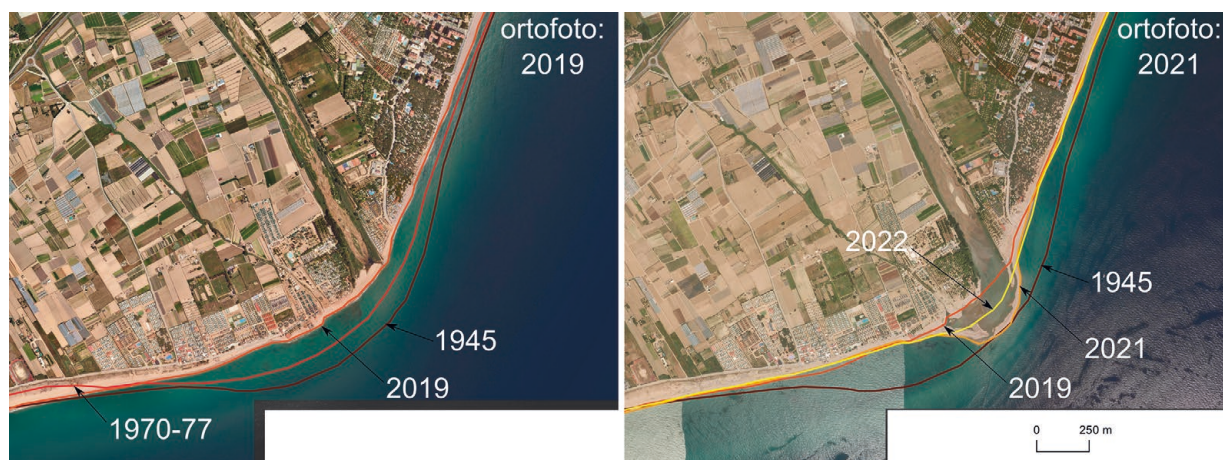


Figura 5. Evolució de la línia de costa del delta de la Tordera des de 1945. La imatge de l'esquerra mostra les línies de la costa els anys 1945, 1970-77 i 2019 (sobre l'ortofoto de 2019). La imatge de la dreta, sobre l'ortofoto de 2021, representa l'evolució de la línia de costa dels anys 2019, 2021 (posterior a l'aiguat del Glòria) i 2022. S'hi ha afegit la línia de costa de 1945 per a facilitar-ne la comparació amb la imatge de l'esquerra.

riu, per la Tordera en aquest cas) amb la dinàmica marítima, caracteritzada, a la Mediterrània, principalment per l'onatge i els corrents. Així, els deltes tendeixen a créixer quan el riu que els alimenta augmenta l'aportació de material i reculen en cas contrari. Com s'ha dit anteriorment, l'efecte principal de les extraccions és una reducció del subministrament del material groller cap a trams aigua avall. Per tant, la regressió del delta d'ençà de 1945 (fig. 5), que en algun punt supera els 200 m, apunta al fet que les aportacions de material groller del riu al delta han hagut de minvar des de llavors, i que ho han fet per efecte de les extraccions. La figura 5 (dreta) mostra com l'aportació de material sòlid al delta durant l'episodi del Glòria va contribuir a acostar localment la línia de costa a l'extensió que tenia el delta l'any 1945. La mateixa imatge sembla indicar però que el creixement del delta va ser un fenomen puntual, i que la línia de la costa tendeix a recular i a aproximar-se a l'extensió del delta abans del Glòria, l'any 2019.

Conclusions

La incisió a la Tordera assoleix magnituds d'entre 3-4 m. Aquesta incisió ha estat causada per les grans extraccions de material dutes a terme entre les dècades de 1960 i 1980. Les últimes informacions cartogràfiques de què disposem indiquen que l'erosió generalitzada del fons no s'ha aturat malgrat que fa més de 35 anys que les extraccions van finalitzar. Les mateixes dades mostren que el ritme de la incisió sí que ha disminuït. La informació dels cabals mitjans diaris del riu des de 1967 semblen apuntar al fet que existeix una correlació directa entre la magnitud i la freqüència de les avingudes i el ritme de la incisió. Per últim, el delta de la Tordera, expressió de la interacció entre el riu i la dinàmica marítima, ha reculat uns 200 m des de 1945. Aquesta regressió sembla que podria estar relacionada amb la reducció de les aportacions de material sòlid del riu cap a la costa, que a la vegada són causades per les extraccions realitzades a la Tordera.

Referències

- Batalla, R.J., Ferrer Boix, C., Martín-Vide, J.P. i Rovira, A. 2007. *Directrius de gestió del sediment fluvial. Dinàmica hidrosedimentària de la Tordera*. Informe tècnic per a l'Agència Catalana de l'Aigua.
- Downs, P.W., i Piégay, H. 2019. Catchment-scale cumulative impact of human activities on river channels in the late Anthropocene: implications, limitations, prospect, *Geomorphology*, 338: 88-104. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.03.021>
- Ferrer-Boix, C. 2011. *Incisión de ríos por extracción aluvial y retirada de presas. Estudio matemático y experimental*. Tesi Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, disponible a: <http://hdl.handle.net/2117/376080>
- Ferrer-Boix, C., i Martín-Vide, J.P. 2022. Massive and long term incision in a braided river due to mining and training, *Geomorphology* (en revisió).
- Ferrer-Boix, C., Chartrand, S., Hassan, M.A., Martín-Vide, J.P., i Parker, G. 2016. On how spatial variations of channel width influence river profile curvature, *Geophysical Research Letters*, 43: 6313-6323. <https://doi.org/10.1002/2016GL069824>
- Lane, E.W. 1955. The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering. *Proceedings, American Society of Civil Engineers*, No. 745.
- Liébault, F., Gomez, B., Page, M., Marden, M., Peacock, D., Richard, D., i Trotter, C.M. 2005. Land-use change, sediment production and channel response in upland regions, *River Research and Applications*, 21: 739-756 <https://doi.org/10.1002/rra.880>
- Martín Vide, J.P., Batalla, R.J., Roca Collell, M., Rovira, A. i Andreatta, A. 2005. Incisión, erosión transitoria y formas de fondo en los tramos medio y bajo del río Tordera. *Ingeniería del Agua*, 12(1): 53-62. <https://doi.org/10.4995/ia.2005.2551>
- Martín-Vide, J.P., Ferrer-Boix, C. i Ollero, A. 2010. Incision due to gravel mining: modelling a case study from the Gállego River, Spain, *Geomorphology*, 117: 261-271. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.01.019>
- Martín-Vide, J.P., Prats-Puntí A., i Ferrer-Boix C. 2020. What controls the coarse sediment yield to a Mediterranean delta? The case of the Llobregat River (NE Iberian Peninsula). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20: 1-17. <https://doi.org/10.5194/nhess-2020-72>
- Morán-Tejeda, E., Ceballos-Barbancho, A., Llorente-Pinto, J.M., i López-Moreno, J.I. 2012. Land-cover changes and recent hydrological evolution. *Regional Environmental Change*, 12: 17-33 <https://doi.org/10.1007/s10113-011-0236-7>
- Prats-Puntí A., Martín-Vide, J.P., i Ferrer-Boix C. 2022. Regressió del delta del Llobregat. Efecte de les obres d'enginyeria al riu d'ençà del segle XIX. *Cuadernos de Geografía*, 107: 123-148. <https://doi.org/10.7203/CGUV.107.21307>
- Rovira A., i Batalla, R.J. 2006. Temporal distribution of suspended sediment transport in a Mediterranean basin: The Lower Tordera (NE SPAIN). *Geomorphology*, 79: 58-71. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.09.016>
- Rovira, A., Batalla, R.J. i Sala, M. 2005. Fluvial sediment budget of a Mediterranean river: the lower Tordera (Catalan Coastal Ranges, NE Spain). *Catena*, 60: 19-42. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2004.11.001>
- Sala, M. 1979. *La cuenca del Tordera. Estudio geomorfológico*. Tesi Doctoral, Universitat de Barcelona.
- Surian, N., i Rinaldi M. 2003. Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy, *Geomorphology*, 50: 307-326. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00219-2](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00219-2)
- UPC. 2008. *Estudi del risc d'erosió al riu Tordera al lloc del viaducte de l'autopista C-32*. Informe tècnic per a ACESA.