

**INTERACCIONS ENTRE
ACTIVITATS HUMANES
I TEMPORALS ALS FONTS
MARINS: UNA HISTÒRIA
D'IMPACTES MÚLTIPLES**

DAVID AMBLÀS I MIQUEL CANALS*
GRC Geociències Marines
Departament de Dinàmica de la
Terra i de l'Oceà
Facultat de Ciències de la Terra
Universitat de Barcelona

LITORAL EMERGIT VS. LITORAL SUBMERGIT: UNA DICOTOMIA PERVERSA

La franja costanera dels països avançats es caracteritza per una ocupació intensa i per una gran varietat d'usos: infraestructures, habitatges, indústries, serveis i establiments de tipologies diverses, conreus i usos de lleure. A més, moltes de les activitats humanes que es desenvolupen terra endins també repercuteixen a la costa i al mar costaner. Penseu, si no, en els sistemes de drenatge i tractament d'aigües residuals, o en els lixiviats agrícoles, que a través d'emissaris submarins, rius i descàrregues d'aigües subterrànies acaben desguassant al litoral. El nostre país no n'és pas una excepció. De fet, el nostre litoral submergit presenta un amplíssim catàleg, altament il·lustratiu, d'impactes antropogènics directes, de caràcter físic, si bé no només, alguns dels quals es presenten en aquesta contribució.

Al respecte, cal entendre la línia de costa senzillament com una intersecció extremament dinàmica i canviant entre dues superfícies: la del mar i la del terreny. De la mateixa manera que la superfície del terreny no s'interromp pas a la línia de costa, sinó que continua mar endins tot i formant el fons marí en sentit estricte, la làmina d'aigua salada tampoc no s'interromp, sinó que continua terra endins pel subsol i dona lloc al conegut fenomen de la intrusió salina.

Així doncs, el litoral emergit i el litoral submergit són dos components indestriables d'una mateixa realitat, que no és altra que el litoral en el seu sentit ple. Els nostres gestors faran bé d'entendre aquest concepte bàsic i d'actuar en conseqüència. Cal una gestió integrada de tot el litoral, emergit i submergit, com el que és: una unitat de gestió.

* E-mails dels autors pel mateix ordre en què se citen: dambblas@ub.edu;
miquelcanals@ub.edu

Els intercanvis de matèria i energia entre la part emergida i la submergida del litoral són constants, tant per processos naturals com arran de les activitats humanes. Pel que fa als primers, penseu en temporals com el *Gloria*, en què s'allibera una altíssima quantitat d'energia generadora de moviments de massa intensos i massius, com ara erosió de platges i transvasament de grans volums d'arena.¹ Pel que fa a les activitats humanes, la neteja de platges és una constant perquè siguin plaents als usuaris durant la temporada de bany: cal dur-la a terme perquè, d'una banda, hi arriba matèria provinent del litoral submergit (per exemple, fullaraca d'alga dels vidriers, o posidònia) i, d'una altra, s'hi acumulen deixalles d'origen humà, en gran mesura plàstics. Tant la fullaraca com els plàstics es van movent incessantment des de la part submergida del litoral a l'emergida i a l'inrevés. Coneixem prou bé la seva presència tant a la platja com a la superfície de l'aigua, però també són presents a la columna d'aigua i al fons. Pensem també en els dragatges dels fons marins per regenerar platges, en abocaments de diferents tipus, en episodis de contaminació marina que poden afectar la costa i a l'inrevés, i en infraestructures com els cables submarins que en un lloc o altre entren a terra, els espigons, esculleres i altres obres de defensa de la costa i els ja esmentats emissaris submarins, sense oblidar-nos dels hàbitats naturals sotmesos a les pressions derivades de totes aquestes activitats i ocupacions del fons marí natural.

TIPUS D'IMPACTES ANTROPOGÈNICS DIRECTES SOBRE ELS FONS MARINS

La Directiva Marc sobre l'Estratègia Marina (MSFD) (UE, 2008) preveu fins a onze descriptors per a avaluar el bon estat ambiental dels mars d'Europa (UE, 2010, 2017), un dels quals, l'indicador 6, se centra en la integritat del fons marí atenent dos grans grups d'indicadors de segon nivell: a) els danys físics en relació amb les característiques del substrat, i b) l'estat de la comunitat bentònica. Aquí ens centrarem en el primer grup, tot i tenir també en compte que qüestions relacionades amb el segon grup es tracten en altres contribucions d'aquest volum.^{2,3}

L'estat dels fons marí és, per tant, un element altament rellevant dels ecosistemes marins sans i dels litorals ben conservats. La llista d'impactes físics directes sobre el fons marí és amplíssima. L'ICES (2019a, 2019b, 2019c) fa una distinció entre activitats que provoquen la pèrdua física del fons marí natural i dels hàbitats que sosté, i activitats que pertorben físicament el fons marí natural i els seus hàbitats.

1. Vegeu José A. Jiménez, «Dinàmica litoral, efectes dels temporals i comportament de les platges», en aquest volum.

2. Vegeu Teresa Alcoverro et al., «Efectes del temporal Gloria en els ecosistemes de Posidonia oceanica al llarg de la costa catalana», en aquest volum.

3. Vegeu Emma Cebrián et al., «Impacte ecològic de les llevantades sobre les comunitats de fons rocosos: el cas del temporal Gloria», en aquest volum.

La pèrdua física es defineix com «qualsevol alteració permanent d'origen humà de l'hàbitat físic a partir de la qual la recuperació és impossible sense una intervenció ulterior». Al seu torn, la pertorbació física es defineix com la resultant de «qualsevol activitat que pertorba els organismes bentònics, però que no modifica permanentment el tipus de substrat bentònic, fins i tot en el cas que la recuperació completa trigui més de dotze anys, sempre que la recuperació de l'estat original sigui esperable després d'un temps suficient». El termini de dotze anys correspon a dos cicles d'avaluació en el marc de l'MSFD. Resumim a la Taula 1 les principals categories d'activitats humanes causants de pèrdua o pertorbació del fons marí a les ecoregions de la UE, moltes de les quals són presents als fons litorals de casa nostra. Un concepte important és determinar si, quan hi ha pèrdua del fons natural, aquest queda segellat permanentment o no, és a dir recobert *sine die* per altres materials o no. La pèrdua amb segellat físic fa referència a l'emplaçament d'estructures a l'ambient marí (per exemple, cimentacions de turbines eòliques o infraestructures portuàries) i dels substrats associats, les quals se sobreposen al fons marí. La pèrdua sense segellat fa referència a canvis permanents de l'hàbitat bentònic a nivell 2 de la classificació EUNIS⁴ (per exemple, per a l'abocament de materials de dragatge o per a l'extracció d'àrids). També es considera la pèrdua històrica d'hàbitat biogènic, entès com aquell en què animals o plantes, formen un substrat dur al qual es poden adherir altres organismes.

Cal tenir present que, de fet, la pèrdua i la pertorbació del fons natural se situen en realitat al llarg d'un continu. Sota determinades circumstàncies, el que era inicialment una pertorbació pot acabar esdevenint una pèrdua, sempre que l'extensió, la freqüència, la intensitat o la severitat d'una pressió condueixi a un canvi permanent de l'hàbitat, situació que és més probable quan l'hàbitat és altament sensible (resistència i resiliència/capacitat de recuperació febles). Un exemple és l'extracció d'àrids, que si és prou severa o persistent pot conduir a la remoció del sediment superficial natural i provocar l'aflorament en el fons de sediment o roques del subsol marí (ICES, 2019c).

De l'anterior es desprèn que no sols les activitats a gran escala són susceptibles de provocar impactes físics directes en el fons marí, sinó que també activitats a petita escala i restringides geogràficament poden provocar impactes significatius sobre els fons litorals (ICES, 2016; Markus *et al.*, 2015). I tot indica que, més enllà de desacceleracions temporals provocades pels diferents tipus de crisis recurrents en què viu el nostre món, aquesta mena d'activitats augmentaran en el futur (Fig. 1).

4. EUNIS és un sistema europeu exhaustiu de classificació i identificació d'hàbitats. Té un caràcter jeràrquic i abasta tota mena d'hàbitats, terrestres i aquàtics, naturals i artificials. El nivell 2 es defineix per la profunditat de l'aigua i els gradients biològics i hidrodinàmics associats (litoral, infralitoral, circalitoral...) i pel tipus de substrat (dur o ferm, i tou).

<i>Activitat</i>	<i>Pèrdua, Pertorbació o ambdós</i>	<i>Amb segellat / Sense segellat</i>	<i>Temps perquè es produeixi la pèrdua</i>
Recol·lecció i extracció de peix i marisc	Pèr/Per	Sense segellat	Molt llarg
Modificació del relleu del fons, dragatges inclosos	Pèr/Per	Sense segellat	Instantani / Intermedi
Extracció de minerals	Pèr/Per	Sense segellat	Instantani / Intermedi / Llarg
Modificació del relleu del fons, abocaments inclosos	Pèr/Per	Amb segellat	Instantani / Intermedi
Infraestructures de transport	Pèr	Amb segellat	Instantani
Aqüicultura, incloent-hi les infraestructures associades	Pèr/Per	Amb segellat	Instantani
Generació d'energies renovables i infraestructures associades	Pèr/Per	Amb segellat	Instantani
Infraestructures de turisme i lleure	Pèr	Amb segellat	Instantani
Defenses costaneres i proteccions contra inundacions	Pèr/Per	Amb segellat	Instantani
Guany de terra al mar	Pèr	Amb segellat	Instantani
Conduccions, canalitzacions i modificacions de cursos d'aigua	Pèr	Amb segellat	Instantani
Operacions militars	Pèr/Per	Amb segellat	Instantani
Cables elèctrics i de comunicacions	Pèr/Per	Amb segellat	Instantani
Extracció de petroli i gas, incloent-hi les infraestructures associades	Pèr/Per	Amb segellat	Instantani
Estructures mar endins diferents de les de petroli, gas i renovables	Pèr	Amb segellat	Instantani
Recol·lecció de plantes marines	Per	—	—
Caça i recol·lecció per a altres finalitats	Per	—	—
Transport, navegació, ancoratge inclòs	Per	—	—
Activitats de recerca, inspecció i educatives	Per	—	—
Extracció de sal	Per	—	—
Extracció d'aigua	Per	—	—

TAULA 1. Recull d'activitats que provoquen pèrdua física del fons marí natural a les ecoregions de la UE. Es diferencia entre pèrdua física (Pèr), pertorbació física (Per) o ambdues (Pèr/Per), i s'assenyala si provoquen o no el segellat permanent del fons natural, i també el temps necessari (a títol indicatiu) perquè es produeixi la pèrdua física (instantani/intermedi/llarg/molt llarg). Les activitats que no provoquen cap pèrdua ni pertorbació física significativa no hi estan incloses (modificat d'ICES, 2019b).

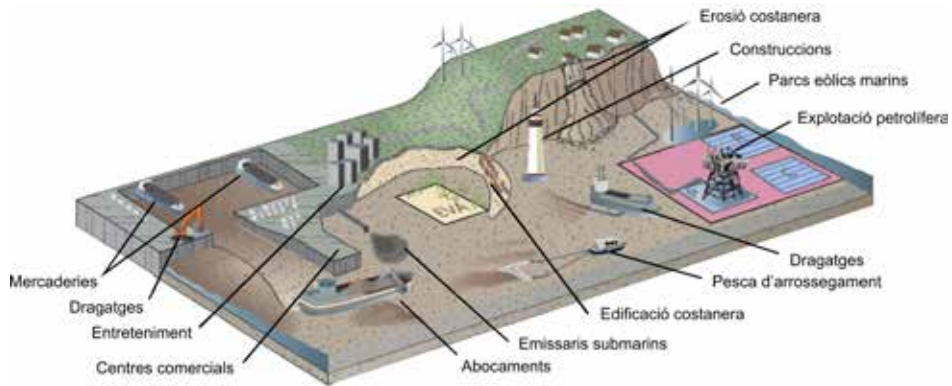


FIGURA 1. Il·lustració de la diversitat de pressions a què està sotmès el litoral submergit. Nombroses activitats humanes afecten la integritat dels sistemes litorals, inclosos els fons marins i els hàbitats que en ells s'hi desenvolupen. El nostre coneixement de les interaccions i els efectes acumulatius d'aquestes activitats és molt fragmentari, ja que la investigació s'ha centrat en els efectes d'activitats específiques en indrets concrets del fons marí. La gestió sostenible del litoral submergit requereix un plantejament integrador i multidisciplinari (modificat de Markus *et al.*, 2015).

Naturalment, totes les activitats humanes que de manera directa o indirecta causen impacte en els fons marins litorals ho fan en el marc d'una natura més o menys transformada, però també amb capacitat de resiliència i recuperació; si bé això no succeeix sempre ni arreu, sí que ho fa sovint i en determinats indrets. Tot rau en la gravetat, l'extensió i la persistència de l'impacte, i en la capacitat de refer-se dels sistemes naturals. Certament, aquest refer-se pot donar lloc a sistemes naturals no necessàriament iguals que els originals. Enfoquem-ho des del punt de vista físic, amb l'atenció centrada en els sediments i el relleu submarí.

Una de les moltes imatges d'impacte que ens va deixar el temporal *Gloria* van ser les extenses taques de color terrós que tenyien les aigües costaneres de Catalunya. Ho il·lustren molt bé les fotografies captades pels satèl·lits d'observació de la Terra, com el satèl·lit MODIS de la NASA (Fig. 2). Aquestes taques, anomenades *plomalls de sediments* pels experts, es formen en gran mesura per la descàrrega de sediment per part dels rius, però també inclouen contribucions provinents de l'erosió de les platges¹ i de la resuspensió dels dipòsits dels fons costaners més somers remoguts per l'onatge i els corrents associats. Aquests plomalls, dominats per partícules de gra fi (argiles, llims i arena fina) i que s'estenen con un vel, són com una mena d'autopistes de transport de sediment en suspensió paral·leles a la costa, amb un límit intern ben definit (la línia de costa mateixa) i un límit extern, cap a mar oberta, generalment més difús (Fig. 2).

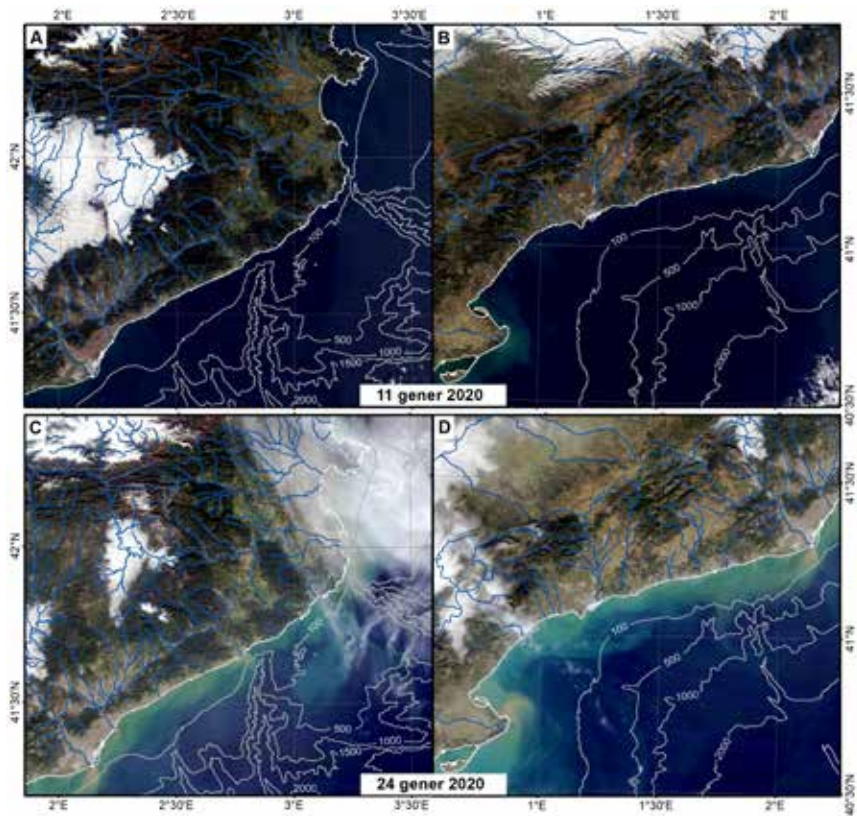


FIGURA 2. Imatges anteriors (A, B) i posteriors (C, D) al *Gloria* del satèl·lit MODIS de la NASA, que mostren l'extensió dels plomalls de sediment originats per la descàrrega fluvial i la resuspensió de sediments costaners durant el temporal. A les imatges destaquen els cursos fluvials, en blau, i els contorns batimètrics, en gris. Habitualment, els plomalls posteriors als temporals ultrapassen el límit extern de la plataforma continental i assoleixen la capçalera dels grans canyons submarins del marge continental català.

La sedimentació associada als plomalls depèn de la seva càrrega sedimentària, de la taxa de floculació i decantació de les partícules, de les condicions oceanogràfiques i de la geometria inicial del fons marí on es dipositen. A mesura que van perdent càrrega, generalment al llarg d'uns pocs dies, els plomalls es van diluint i es fan progressivament menys i menys visibles fins que desapareixen. La sedimentació per decantació de les partícules dels plomalls s'accelera en condicions de calma oceanogràfica, quan deixa d'haver-hi prou turbulència com per sostenir-les dins l'aigua. Tanmateix, a mesura que les partícules cauen columna d'aigua avall, tendeixen a dispersar-se per advecció i difusió. Un cop les

partícules arriben a la base del plomall són transportades per forces tractives fins que les condicions energètiques són prou baixes com per permetre'n la deposició. Els deltes, amb els seus respectius prodeltes (les extensions submergides dels deltes emergits), i els prismes sedimentaris litorals són, en part, el resultat d'aquest procés de transport i acumulació. Naturalment, el transport tractiu litoral també involucra grans volums de sediments més grollers que es desplacen arran de fons al llarg del litoral (algú ha parlat de *rius d'arena*), provinents en part també de les aportacions fluvials i en part de l'erosió de les platges en un sentit ampli, cosa que acaba provocant canvis més o menys pronunciats a la línia de costa que no accontenten ningú, els uns perquè perden superfície de platja (i, per tant, de negoci o esbarjo) i els altres perquè pateixen una acumulació d'arena *excessiva*, com ha estat el cas en diversos indrets del litoral del país arran del temporal *Gloria*, sense anar més lluny. Tots els impactes antropogènics en els fons marins interactuen d'una manera o altra amb aquesta dinàmica natural subjacent, i viceversa.

La gran majoria dels plomalls que es formen a les nostres aigües arran de temporals com el *Gloria* són de tipus hipopícnic, és a dir tenen una densitat més baixa que l'aigua marina circumdant. No és d'estranyar, ja que les seves aigües, per la influència fluvial, són menys salines i més lleugeres que l'aigua de mar. Aquest fet condiciona que el plomall s'estengui i es desplaci per la superfície marina formant una capa superficial d'alta terbolesa (o *capa nefeloide*) a mercè dels vents, els corrents i la força de Coriolis, a més de les forces d'inèrcia i flotabilitat. La durada total del transport sedimentari i la distància recorreguda per les partícules depenen, per tant, del règim oceanogràfic i de la durada i magnitud de l'episodi de descàrrega fluvial. A les imatges de satèl·lit de la figura 2 es pot observar com aquestes capes nefeloides van arribar a traspasar la vertical dels contorns batimètrics de 100 m de profunditat, i fins i tot 500 m en alguns indrets, més enllà dels límits de la plataforma continental, i escaparen, per tant, del sistema sedimentari litoral.

És sabut que al nostre litoral els forts temporals són capaços d'erosionar i mobilitzar grans volums de sediment, els quals poden provocar l'abrasió i l'enterrament extensius de les comunitats bentòniques.² Però no sols això: el que s'esdevé al litoral es pot estendre moltes milles mar endins i fins a gran profunditat. Ho concretarem amb un exemple: Sánchez-Vidal *et al.* (2012), en un estudi sobre l'impacte de la llevantada històrica del dia de Sant Esteve de 2008, van observar que part del sediment mobilitzat a la plataforma continental entre Tossa i Blanes era canalitzat pel canyó submarí de Blanes i transportat fins a grans profunditats. Les lectures dels sensors instal·lats a l'eix del canyó, entre 300 i 1.500 m de fondària, indicaren un augment notable de la velocitat dels corrents, de fins a 70 cm/s (o, si es vol, més de 2,5 km/h), acompanyat d'un increment en la concentració de sediment i el contingut en carboni orgànic. Aquesta injecció esporàdica de grans

quantitats de matèria orgànica fresca i d'alt valor nutritiu és clau per a fertilitzar l'ecosistema mediterrani profund, com també ho és el fenomen de les cascades d'aigües denses de plataforma, ben conegudes al nostre mar (Canals *et al.*, 2006). Aquests processos arrossegueu tot el que troben al seu pas, des de la costa fins a les grans fondalades marines de casa nostra, deixalles i contaminants químics inclosos i, per això, algú els ha anomenat *els escombriaires de la mar costanera*.

Per tant, el talús continental i molt en particular els canyons submarins que el tallen formen part indestriable del flux sedimentari que comença al continent, travessa la línia de costa i s'estén mar endins fins a acabar a les grans fondalades marines. La franja litoral, en les seves parts emergida i submergida, representa una baula més d'un sistema integrat que arrenca a l'atmosfera, discorre pels vessants de muntanya i pels cursos de les conques fluvials, creua i s'escampa justament al llarg del litoral i damunt la plataforma continental, i fineix a molts quilòmetres de distància en indrets situats a gran profunditat. Això és bo tenir-ho present, si més no des del punt de vista conceptual, a l'hora de fer balanços de pèrdues i guanys de sediment, i de perjudicis i beneficis ecosistèmics, associats a esdeveniments extraordinaris com el temporal *Gloria*. Algú s'ha referit a aquests transvasaments com a *efecte Robin Hood*, ja que els *rics* ecosistemes litorals són objecte de *robatori* en benefici dels empobrits ecosistemes profunds.

MONITORITZACIÓ DE LA MODIFICACIÓ DE LA MORFOLOGIA SUBMARINA

Les pertorbacions físiques, siguin d'origen natural o humà, poden acabar provocant canvis permanents dels fons marins i dels hàbitats que s'hi desenvolupen. Tanmateix, l'elevat dinamisme i la mobilitat dels fons marins sedimentaris litorals els atorguen una resiliència considerable. Podem parlar, doncs, de *taxa de recuperació morfològica del fons marí* per definir el temps necessari perquè una determinada parcel·la del fons recuperi el seu perfil natural després d'una pertorbació de gran abast. Esdeveniments atmosfèrics i oceanogràfics excepcionals com el temporal *Gloria* són, de fet, acceleradors efectius de la taxa de canvi morfològic del fons marí, especialment del litoral. I ho són tant en sentit decremental com incremental, segons l'indret.

Com podem determinar la taxa de recuperació morfològica del fons marí? Fins a quin punt els canvis morfològics que experimenta són predictibles? Aquestes i altres preguntes són clau per a la gestió efectiva dels fons marins i la seva resposta depèn de la nostra habilitat per veure o detectar aquests canvis a partir d'evidències observacionals. La detecció de canvis al fons marí requereix, per tant, de sistemes d'observació que combinin una alta resolució espacial amb una alta precisió en el posicionament horitzontal i vertical. L'ecosondatge batimètric de multifeix és, entre totes les existents, la tècnica de cartografia submarina més eficaç i versàtil atès que

permet adquirir, pràcticament a qualsevol profunditat, dades d'alta resolució i precisió amb recobriment continu. En resum, les ecosondes obtenen les mesures de profunditat a partir de l'emissió d'impulsos o feixos acústics cap al fons marí, i de la seva posterior recepció després d'haver-s'hi reflectit. L'angle d'arribada del senyal acústic i el temps que aquest senyal triga a impactar en el fons i tornar a la superfície es transforma en profunditat en funció de la velocitat de propagació del so a la columna d'aigua. En el cas de les ecosondes de multifeix, a diferència de les més conegudes de monofeix, en lloc d'un impuls acústic estret s'emet un ventall d'impulsos de manera que hom obté un seguit de mesures batimètriques adjacents per a cada conjunt de feixos en cada operació d'emissió-recepció. A més de la informació estrictament batimètrica, les ecosondes de multifeix contenen informació sobre el tipus de fons, atès que la intensitat del senyal acústic que retorna a l'ecosonda, l'anomenada *intensitat de retrodifusió* és funció de les característiques físiques del fons marí en què es reflecteix. A poca fondària, prop de la costa, és on les ecosondes de multifeix aconseguen resolucions més elevades, de l'ordre d'uns pocs centímetres entre lectures contigües del fons marí. Això permet la monitorització detallada i precisa de canvis batimètrics, siguin per causes naturals o antròpiques.

IMPACTES ANTROPOGÈNICS DIRECTES AL LITORAL SUBMERGIT DE CATALUNYA I EFECTES DELS TEMPORALS

El litoral submergit de Catalunya suporta una gran diversitat i densitat de pressions humanes en forma d'infraestructures i d'activitats diverses, com ara ports, emissaris, cables, extraccions d'àrids, abocaments, pesca, aqüicultura o turisme. A títol il·lustratiu, el nostre litoral acull un centenar llarg de canonades que aboquen directament al mar provinents d'infraestructures de sanejament urbanes i industrials, i de sistemes de refrigeració, a més de canonades de captació d'aigua i d'una quarantena de ports pesquers, esportius i comercials repartits al llarg de la costa (Fig. 3). Totes aquestes infraestructures són susceptibles de patir els efectes dels temporals, com ha estat el cas del *Gloria*.

Presentem aquí, sense voler ésser exhaustius, un seguit d'exemples extrets del litoral submergit del país. Així, la figura 4 és un recull d'imatges obtingudes a partir de dades de batimetria de multifeix que il·lustren diversos tipus d'impactes antropogènics en diferents indrets del litoral submergit de Catalunya. S'hi mostren l'estructura d'una piscifactoria enfonsada davant d'Arenys de Mar (Fig. 4A), marques de llaurada per a pesca d'arrossegament entre 25 i 30 m de fondària davant la costa de Cambrils i Salou mar endins d'uns esculls artificials de protecció (Fig. 4B), i dues imatges generals, una en planta i l'altra en perspectiva 3D, de l'emissari submarí de l'EDAR Besòs i el seu entorn (Fig. 4C).

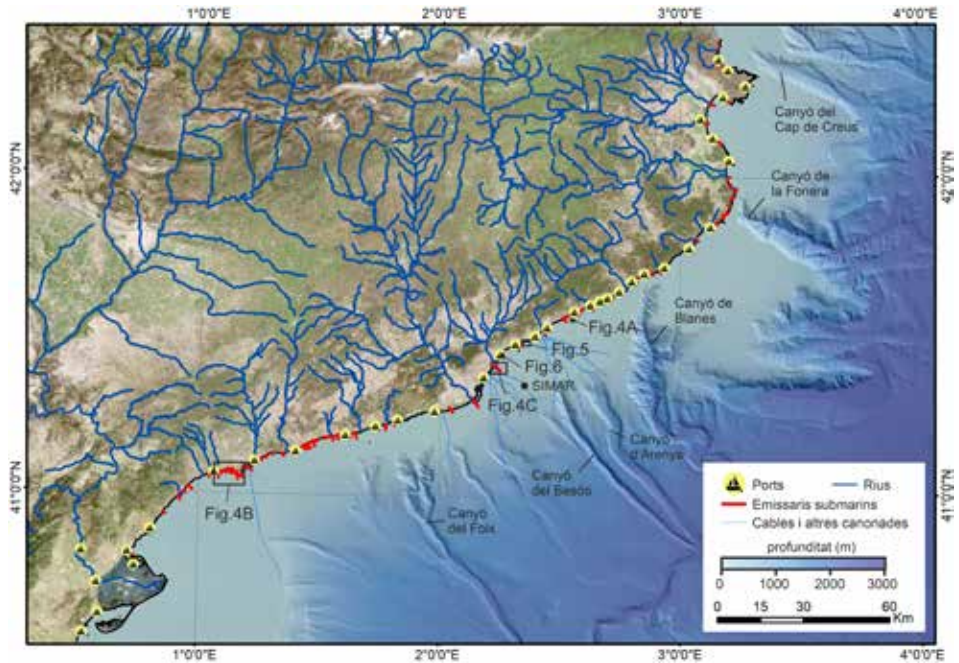


FIGURA 3. Ortoimatge i relleu submari de Catalunya on es destaquen els principals cursos fluvials, els ports, els emissors submarins i els cables i conduccions de gas i petroli. Les tonalitats blau clar, a la part submergida, corresponen a la plataforma continental (de 0 a 120-130 m de profunditat), la qual mostra una extensió desigual al llarg del marge català, més ampla al sector de l'Ebre i al terç nord. Al talús continental destaquen grans canyons submarins que actuen com a col·lectors naturals de sediments i altres materials, com ara deixalles, que s'escapen de la plataforma continental, especialment quan es produeixen grans temporals (Sánchez-Vidal *et al.*, 2012) i, en el sector nord, cascades d'aigües denses (Canals *et al.*, 2006). El punt SIMAR fa referència al node núm. 2113136 del sistema de predicció de l'onatge de *Puertos del Estado* emprat a la figura 5 (basat en diverses bases de dades sobre usos i servituds del litoral català disponibles en servidors SIG de la Generalitat de Catalunya i de l'*Instituto Hidrográfico de la Marina*).

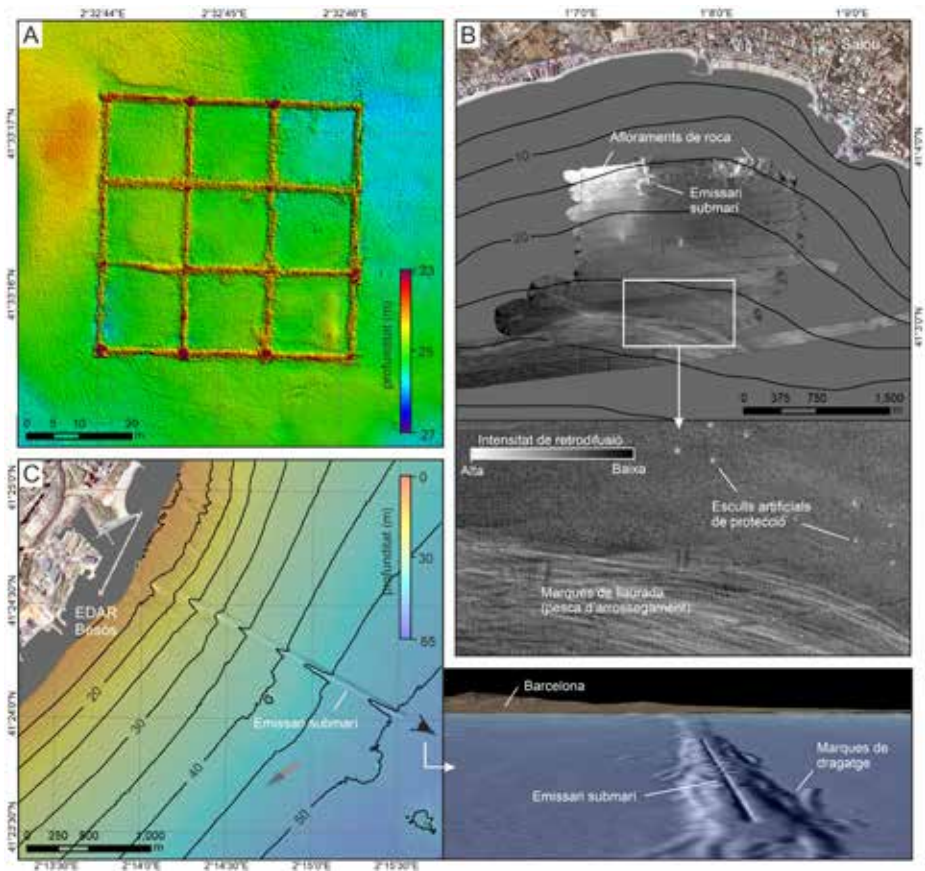


FIGURA 4. (A) Imatge recent de batimetria de multifeix de l'estructura de la piscifactoria d'Arenys de Mar que jau al fons marí des de l'any 2009, després que hagués quedat malmesa per diversos temporals que en van forçar l'enfonsament. S'observa l'afectació de l'estructura en la transferència natural de sediment, amb indrets amb soccavament (depressions, com la situada arran del límit nord-est de l'estructura, enfora de la mateixa, en color blau) i d'altres amb acumulació (monticles, com el situat a l'oest de l'estructura, també enfora de la mateixa, en color taronja). La paleta de colors indica les profunditats. (B) Imatge d'intensitat de retrodifusió o *backscatter* del fons marí del sector de Cambrils-Salou que mostra diferents tipus de fons, inclosos afloraments de roca (reflectivitat relativa elevada, tons clars), un emissari submari, esculls artificials de protecció i marques de llaurada per a pesca d'arrossegament. La imatge inferior és una ampliació de part de la imatge superior (requadre blanc). La paleta de grisos indica les intensitats de retrodifusió. (C) Imatge de batimetria de multifeix enfront de l'EDAR Besòs en la qual s'observa el recorregut de l'emissari submari, fins a 50 m de profunditat, i visió 3D de mar cap a terra on es veu l'emissari, la trinxera on és situat i marques de dragatge adjacents. La paleta de colors indica les profunditats.

En diversos indrets del litoral submergit català s'han dut a terme al llarg dels anys extraccions de volums considerables d'arenes per a regenerar les platges properes. Les rases resultants experimenten un procés de suavització i recuperació morfològica progressiva. Ho il·lustra prou bé el seguiment plurianual d'una rasa situada entre 10 i 15 m de profunditat davant de la costa de Premià de Mar - el Masnou (Fig. 5A). La rasa, que fou excavada en diverses ocasions, l'última el mes de maig de l'any 2020, té una llargada de 1.500 m, una amplada de 130 m i una profunditat respecte de la batimetria prèvia al dragatge de fins a 9 m. El volum total d'arenes extret fou de més d'un milió de m³, que s'usaren per a regenerar diverses platges del Maresme. La imatge de batimetria de multifeix de la figura 5B, feta poques setmanes després de l'última extracció, mostra una depressió rectangular paral·lela a la costa limitada per uns marges escarpats i amb un relleu intern molt irregular, format per un trenat de solcs i cavallons. El seguiment cartogràfic d'aquesta rasa durant els anys immediatament posteriors va permetre observar i quantificar la suavització esglaonada del relleu de la rasa i el seu rebliment gradual (Guerrero, 2013) (Figs. 5C, D, E). En diem *esglaonada* perquè hem constatat que la taxa de recuperació del perfil morfològic natural de la rasa no ha estat regular sinó que s'ha produït a salts, depenent sobretot de la successió de temporals marítics. És durant els episodis de temporal, sobretot les llevantades, que s'accelera la recuperació morfològica de la rasa. El fort onatge esdevingut durant el temporal *Gloria*, amb onades d'altura significant superiors als 7 m davant de la costa central, hauria afectat directament el fons marí a l'entorn de la rasa. Així ho indiquen els càlculs de profunditat de tancament de l'onatge fets a partir de la fórmula empírica d'Hallermeier (1980), que té en compte l'altura significant de les ones i el seu període (Fig. 5F). Durant la darrera dècada, segons aquests càlculs, a banda del temporal *Gloria* només la forta llevantada del gener de 2017 hauria estat capaç d'impactar directament la rasa.⁵

5. *Queda pendent l'actualització batimètrica posterior al Gloria per determinar l'estat actual de recuperació de la rasa, que no s'ha pogut realitzar per motius logístics arran de la crisi del Covid-19.*

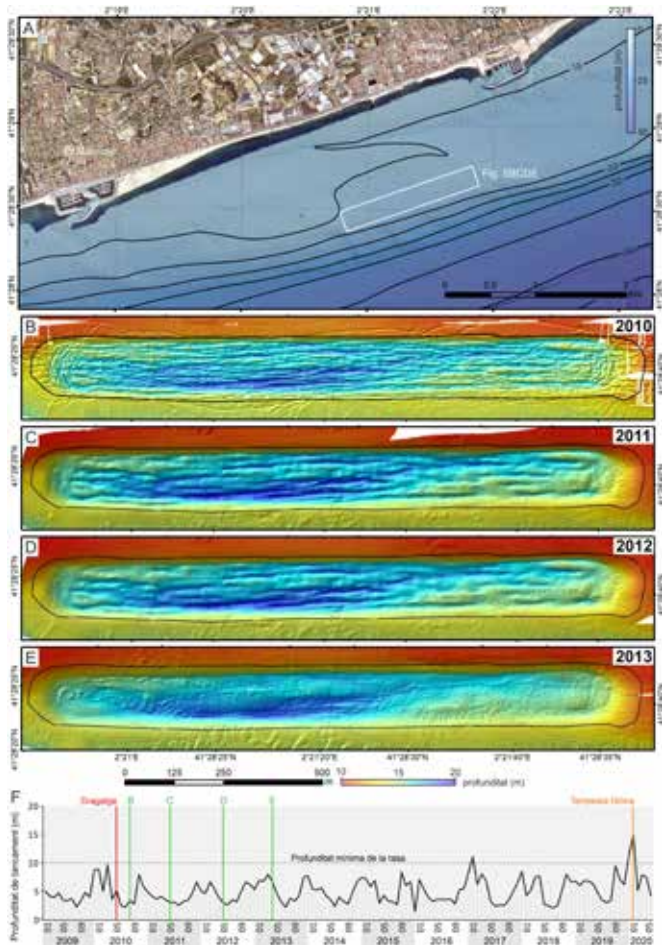


FIGURA 5. (A) Imatge de batimetria de multifeix entre els ports del Masnou i Premià de Mar adquirida el 2004. El rectangle indica la posició d'una rasa de dragatge excavada el maig de 2010 per a extraure'n arenes per a la regeneració de les platges del Maresme. (B, C, D, E) Seguiment batimètric de la rasa de dragatge. A les imatges s'observa la suavització progressiva de la rasa i la recuperació gradual del perfil morfològic natural del fons marí. (F) Evolució de la profunditat de tancament (PdT) de l'onatge calculada a partir del model d'Hallermeier (1980), que té en compte l'altura significativa de l'onatge i el seu període. La PdT indica la profunditat a partir de la qual el fons marí deixa d'ésser agitat per l'acció directa de les onades. Càlculs efectuats a partir de les dades del sistema de predicció de l'onatge corresponents al punt SIMAR 2113136 de *Puertos del Estado* (vegeu-ne la localització a la Fig. 3). Al gràfic s'indiquen la profunditat mínima de la rasa (10 m) i els moments corresponents a l'execució del dragatge, les campanyes batimètriques i el temporal *Gloria*. Segons el model de PdT, únicament l'onatge associat al temporal *Gloria* i a la llevantada del gener de 2017 haurien afectat directament la rasa.

Tancarem aquest breu recull d'impactes antropogènics directes sobre els fons marins i la seva interrelació amb els grans temporals amb unes imatges il·lustratives de la força del temporal *Gloria* (Figs. 6A, B, C). Ens referim a unes dades de batimetria de multifeix adquirides just després del temporal davant el port de Badalona, a escassa distància del Pont del Petroli, el qual quedà greument malmès per la força de l'onatge, com mostren algunes imatges esglaiajadores d'aquelles jornades (Fig. 6C). A la imatge batimètrica d'alta resolució s'identifiquen alguns blocs de formigó que s'haurien desplaçats de la part superior de l'escullera del port per causa del temporal (Fig. 6B). Són blocs cúbics de dimensions considerables, amb una aresta de 2 m i un pes aproximat de 20 t cadascun. És un exemple més dels molts i severos impactes que el temporal *Gloria* va infligir al nostre litoral, molts dels quals no són visibles a simple vista atès que es produïren sota l'aigua.

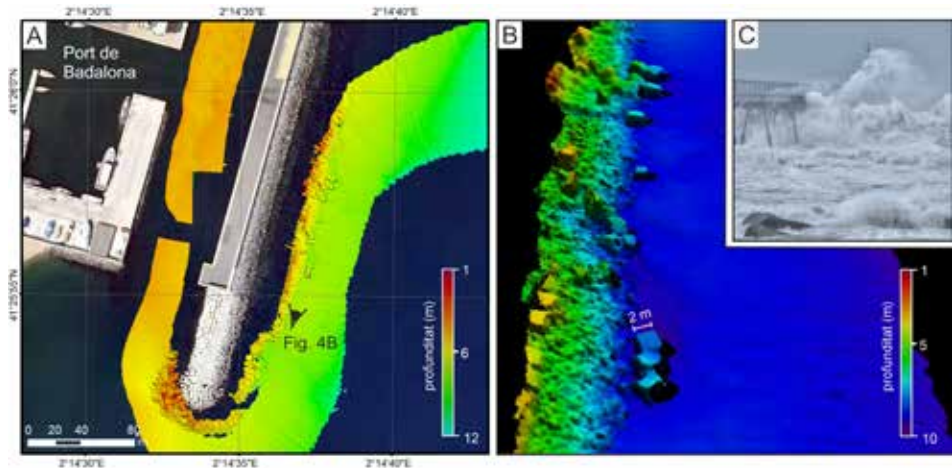


FIGURA 6. (A) Imatge de batimetria de multifeix adquirida el 28 de gener de 2020 i (B) ampliació en 3D de part de l'escullera exterior de l'espigó de llevant del port de Badalona, on s'observen blocs de formigó desplaçats pel temporal *Gloria*. Cadascun dels blocs té una aresta de 2 m i un pes aproximat de 20 t. (C) Fotografia del Pont del Petroli de Badalona, situat 500 m al nord-est del port, durant el temporal (fotografia de Lluís Pérez @Lluispf).

CONCLUSIONS

El litoral submergit, com a continuació natural del litoral emergit, pateix, per una banda, els impactes d'una àmplia bateria d'activitats humanes que hi causen perturbacions més o menys severes o, directament, la seva pèrdua per segellament. D'altra banda, el litoral submergit, i tot allò que sustenta, està sotmès també als efectes dels grans temporals que de tant en tant sacsegen la nostra costa. Les

infraestructures costaneres totalment o parcialment submergides, i els objectes artificials damunt el fons, són subjectes de manera recurrent als embats de la mar. Els temporals activen processos altament energètics que afecten i modifiquen molt significativament tant el fons marí natural com l'impactat per les activitats humanes. Massa sovint, quan es fan balanços d'afectacions i danys després de grans temporals, aquests aspectes són els grans oblidats. No hauria de ser així, i menys partint de la premissa que el litoral emergit i el submergit formen un tot i, per tant, han de ser tractats com una unitat de gestió.

AGRAÏMENTS

Les imatges de les figures 4, 5 i 6 s'han obtingut mercès al suport logístic de la Direcció General de Pesca i Afers Marítims (DGPAM) de la Generalitat de Catalunya en el marc del conveni de col·laboració entre la Universitat de Barcelona i el Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació per a la realització d'estudis d'ecosistemes marins.

BIBLIOGRAFIA

- CANALS, M.; PUIG, P.; DURRIEU DE MADRON, X.; HEUSSNER, S.; PALANQUES, A., i FABRES, J. (2006). «Flushing submarine canyons». *Nature*. Vol. 444, p. 354-357. Doi: 10.1038/nature05271.
- GUERRERO, Q. (2013). *Morfodinàmica d'una rasa de dragatge entre Premià de Mar i el Masnou*. Treball de finalització del Màster d'Oceanografia i Gestió del Medi Marí (Directors: M. Canals i D. Amblàs). Universitat de Barcelona, 69 p.
- HALLERMEIER, R.J. (1980). «A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate». *Coastal Engineering*. Vol. 4, p. 253-277.
- ICES (2016). «Effects of extraction of marine sediments on the marine environment 2005–2011». *ICES Cooperative Research Report*, núm. 330, 206 p. Doi: /10.17895/ices.pub.5498.
- ICES (2019a). «Workshop on scoping for benthic pressure layers D6C2 - from methods to operational data product (WKBEDPRES1)». *ICES HQ*, Copenhagen, Dinamarca, 24-26 d'octubre de 2018, *ICES CM 2018/ACOM*, núm. 59, 69 p.
- ICES (2019b). «Workshop on scoping of physical pressure layers causing loss of benthic habitats D6C1 - Methods to operational data products (WKBED-LOSS)». *ICES Scientific Reports*. Vol. 1, núm. 15, 49 p. Doi: 10.17895/ices.pub.5138.

- ICES (2019c). «Workshop to evaluate and test operational assessment of human activities causing physical disturbance and loss to seabed habitats (MSFD D6 C1, C2 and C4) (WKBEDPRES2)». *ICES Scientific Reports*. Vol. 1, núm. 69, 87 p. Doi: 10.17895/ices.pub.5611.
- MARKUS, T.; HUHN, K., i BISCHOF, K. (2015). «The quest for sea-floor integrity». *Nature Geoscience*. Vol. 8, p. 163-164. Doi: 10.1038/ngeo2380.
- SÁNCHEZ-VIDAL, A.; CANALS, M.; CALAFAT, A.M.; LASTRAS, G.; PEDROSA-PÀMIES, R.; MENÉNDEZ, M.; MEDINA, R.; COMPANY, J.B.; HEREU, B.; ROMERO, J., i ALCOVERRO, T. (2012). «Impacts on the deep-sea ecosystem by a severe coastal storm». *PLoS ONE*. Vol. 7, núm. 1, art. e30395. Doi: 10.1371/journal.pone.0030395.
- UE (2008). «Directiva 2008/56/CE del Parlament Europeu i del Consell de 17 de juny de 2008 per la qual s'estableix un marc d'acció comunitària per a la política del medi marí (Directiva Marc sobre l'Estratègia Marina)». *Diari Oficial de la Unió Europea*, 25 de juny de 2008, L 164/19-40.
- UE (2010). «Decisió de la Comissió d'1 de setembre de 2010 sobre els criteris i les normes metodològiques aplicables al bon estat ambiental de les aigües marines (2010/477/UE)». *Diari Oficial de la Unió Europea*, 2 de setembre de 2010, L 232/14-24.
- UE (2017). «Decisió (UE) 2017/848 de la Comissió de 17 de maig de 2017 per la qual s'estableixen els criteris i les normes metodològiques aplicables al bon estat ambiental de les aigües marines, així com especificacions i mètodes normalitzats de seguiment i avaluació, i per la qual es deroga la Decisió 2010/477/UE». *Diari Oficial de la Unió Europea*, 18 de maig de 2017, L 125/44-74.