

DINÀMICA LITORAL, EFECTES DELS TEMPORALS I COMPORTAMENT DE LES PLATGES

JOSÉ A. JIMÉNEZ*
*Laboratori d'Enginyeria Marítima
Universitat Politècnica de Catalunya
- BarcelonaTech*

INTRODUCCIÓ: LA SITUACIÓ A CATALUNYA AVUI

La línia de costa de Catalunya, d'uns 600 km lineals (915 km si es compten mitjançant l'anomenada *escala econòmica*, 1:5.000), es caracteritza per una gran geodiversitat, ja que inclou la pràctica totalitat dels ambients característics de les zones micromareals de latituds mitjanes, des de deltes fins a penya-segats. Pel que fa als ambients més dinàmics, les platges, Jiménez i Valdemoro (2019) detecten durant les darreres dècades (de 1995 a 2015) un comportament de conjunt erosiu, amb un retrocés mitjà d'uns 0,4 m/any, tot i que amb una gran variabilitat al llarg del territori. Així, assenyalen que el 65% de la costa sedimentària catalana és erosiva, amb una taxa mitjana d'erosió superior a 1 m/any, havent-hi alguns indrets crítics (*hotspots*) on les taxes de retrocés anual excedeixen significativament aquest valor. Entre elles hi ha part de la costa del delta de l'Ebre i el Maresme, on emergeixen com a *hotspots*, cap Tortosa (20 m/any), la platja de la Marquesa (3,5 m/any) i la punta de la Tordera (4 m/any).

Si a aquest retrocés més o menys generalitzat li afegim l'absència d'espai d'acomodació degut a l'increment del nivell de desenvolupament i ocupació de la costa, el resultat és un litoral català amb platges progressivament més estretes i amb menys capacitat de protecció del rerepaís. Segons l'anàlisi feta per Jiménez *et al.* (2012), aquesta combinació és la responsable principal de l'increment de danys observats les darreres dècades.

Aquesta franja costanera suporta, a més, un gran nombre d'infraestructures, entre les quals destaquen 47 ports i marines, i la via ferroviària al llarg del Maresme, les quals es veuen afectades en major o menor grau per l'impacte dels temporals. Sierra *et al.* (2016) avaluaren la vulnerabilitat d'aquests ports i n'identificaren un mínim de deu que serien ultrapassats de manera significativa per l'acció de

* E-mail: jose.jimenez@upc.edu

temporals extrems. Aquesta vulnerabilitat a l'ultrapassament també és aplicable a la via del tren del Maresme (Jiménez *et al.*, 2018), la qual en resulta afectada periòdicament en els trams que no estan protegits per platges.

En aquest context, el litoral català pot ésser caracteritzat com una costa altament desenvolupada i a la vegada vulnerable a l'impacte de temporals, la qual és afectada periòdicament per aquests esdeveniments, i que pateix danys significatius que, en alguns trams, es produeixen de manera recurrent i amb major intensitat.

EL TEMPORAL *GLORIA*

Des del punt de vista marítim, el temporal *Gloria* a la costa catalana es desenvolupà entre els dies 19 i 23 de gener de 2020 quan l'altura d'ona significant, *Hs*, ultrapassà un llindar d'1,5 m, tot i assolint el pic el dia 20. El temporal va ser fruit d'unes condicions sinòptiques que generaren un gradient de pressió molt intens sobre la façana mediterrània, que es traduí en la generació de vents i d'un onatge de gran intensitat de component NE-E al mar Català¹ (Fig. 1).

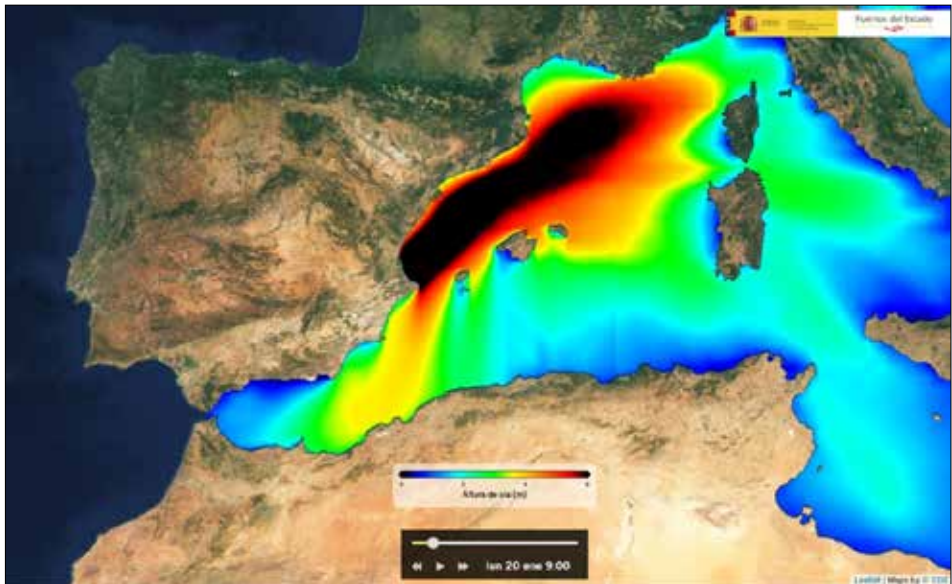


FIGURA 1. Previsió de l'altura d'ona significant (*Hs*) a la Mediterrània occidental durant el temporal *Gloria* (20 de gener de 2020) (de Puertos del Estado).

1. Vegeu Javier Martín-Vide, «Precipitacions torrencials a Catalunya: el temporal *Gloria* i perspectives de futur», en aquest volum.

Les condicions d'onatge durant el temporal en diferents punts del litoral català es mostren a la Taula 1, i són indicadores d'un temporal extrem (classe V) d'acord amb la classificació de temporals per al litoral català de Mendoza *et al.* (2011). De fet, és l'esdeveniment en què s'ha enregistrat o simulat l'altura d'ona més gran a tota la costa. Això fa que l'esdeveniment sigui excepcional en termes de probabilitat d'ocurrència.

<i>Lloc</i>	<i>Tipus</i>	<i>Hs (m)</i>	<i>Tp (s)</i>	<i>Tmed (s)</i>	<i>Dur (h)</i>	<i>Direc (°)</i>	<i>Dia</i>	<i>Hora</i>	<i>Tr (a)</i>
Cap Begur	Boia	7,85	12,5 <i>13,1</i>	9,1 <i>9,1</i>	104	67 <i>68-113</i>	21.01.20	00:00	195*§
Tordera 2119140	Model	6,99	12,1 <i>12,1</i>	8,9 <i>9,2</i>	99	79 <i>46-114</i>	20.01.20	18:00	> 500
Barcelona 2112137	Model	6,60	12,1 <i>12,1</i>	8,5 <i>8,9</i>	101	80 <i>63-110</i>	20.01.20	23:00	> 500
Ebre 2095219	Model	7,90	13,3 <i>13,3</i>	8,5 <i>9,1</i>	96	73 <i>65-93</i>	20.01.20	21:00	> 500
Tarragona	Boia	7,62	11,9 <i>13,7</i>	8,9 <i>9,1</i>	101	84 <i>60-100</i>	20.01.20	13:00	235*

TAULA 1. Característiques principals del temporal *Gloria* enregistrades en diferents punts del litoral català. *Lloc*: zona representativa/denominació del punt. *Tipus*: registre instrumental (boia) o simulat mitjançant un model numèric les sortides del qual són recollides a la base de dades SIMAR (model); *Hs*: altura d'ona significant en el pic del temporal en metres (*m*); *Tp*: període de pic en el moment de major *Hs* i, en cursiva, valor màxim de *Tp* durant el temporal, en segons (*s*); *Tmed*: període mitjà en el moment de l'*Hs* més gran i, en cursiva, valor màxim durant el temporal, en segons (*s*); *Dur*: durada del temporal, definida como el període de temps en què *Hs* > 2 m, en hores (*h*); *Direc*: direcció mitjana durant el pic del temporal i, en cursiva, rang de direccions durant el seu desenvolupament, en graus (°); *Dia* i *Hora*: data i hora del pic del temporal a cada localització; *Tr*: període de retorn calculat a partir de la sèrie de temporals anteriors al *Gloria*, en anys (*a*) [*boia*: POT+Weibull ajustada per *Puertos del Estado* pels períodes 2001-2017 (Begur) i 2004-2017 (Tarragona); *model*: GEV amb màxims anuals ajustats pel període 1957-2019]; *: sèries amb interrupcions durant condicions de temporal; §: per temporals de l'est]. La base de dades SIMAR —Simulació MARítima— recull els valors generats per un model numèric operat per *Puertos del Estado* sobre les condicions d'onatge i vent en un gran nombre de punts—punts SIMAR— distribuïts aigües enfora de les costes espanyoles, que s'estén des de 1958 fins a l'actualitat i que s'actualitza contínuament.

Així, el període de retorn (Tr) més curt, d'uns 200 anys, es correspon amb les condicions mesurades a la boia de cap Begur, que és la zona on habitualment s'enregistren les H_s més grans. A la resta del litoral, sobretot prop de la costa (punts del model), els Tr s'incrementen significativament fins a superar els 500 anys. Altres característiques rellevants del temporal han estat la seva llarga durada (al voltant de 100 hores) i els grans períodes d'onatge assolits, que es tradueixen en un flux d'energia molt alt.

Per posar en perspectiva la intensitat i els efectes del *Gloria*, la figura 2 mostra l' H_s del temporal màxim anual durant els darrers vint anys a les tres localitzacions més properes a la costa incloses en la Taula 1, i també l'ocurrència de danys importants. Com es pot veure, l'aparició de danys generalitzats al llarg de la costa (en més de deu municipis) es molt freqüent, uns deu cops en els darrers vint anys. Aquestes situacions es produeixen sota l'acció de temporals significatius (classe III o superiors), segons la classificació de temporals de Mendoza *et al.* (2011), en les quals l' H_s supera un valor de 4,5 m, amb durades mitjanes del temporal de més de 75 hores.

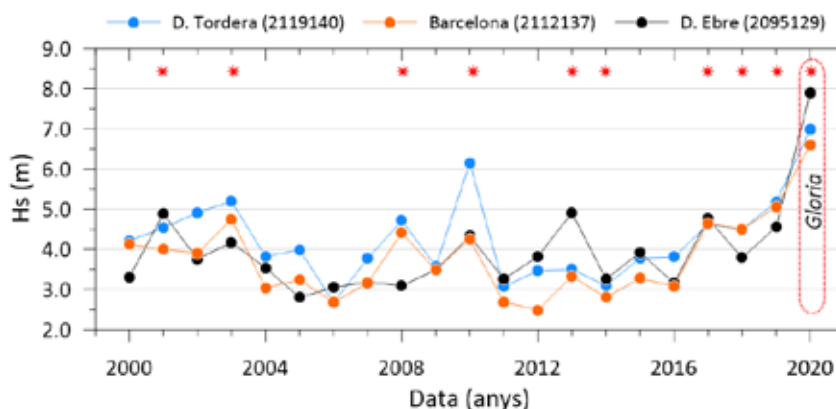


FIGURA 2. Altura d'onatge significativa durant el temporal màxim anual en tres punts del litoral català al llarg dels darrers vint anys. * : danys significatius al llarg de la costa. S'indiquen entre parèntesis els codis numèrics dels punts SIMAR als quals corresponen els valors d' H_s (cf. Taula 1).

Per tant, si des del punt de vista de les característiques meteorològiques i oceanogràfiques del temporal, hom pot qualificar *Gloria* d' excepcional, des del punt de vista dels impactes generats això no es tan evident. Així, en època recent destaquen especialment els hiverns dels anys 2001, 2003 i 2017, amb temporals que afectaren pràcticament la totalitat de la costa catalana, i de l'any 2008, quan el conegut com a *temporal de Sant Esteve* afectà greument la Costa Brava. En el seu moment, aquests temporals, causants d'impactes semblants als provocats pel *Gloria* al llarg de la costa catalana, foren qualificats de devastadors.

EL TEMPORAL GLORIA: RISCOS, EFECTES I INVENTARI DE DANYS

L'impacte del *Gloria* donà lloc al llarg de tot el litoral a un seguit de processos físics esperables per a un esdeveniment de les seves característiques, concretament inundació i erosió.

El procés costaner més distintiu del temporal *Gloria* fou l'ultrapassament massiu de platges i dics al llarg de pràcticament tot el litoral, degut a l'arribada de les ones més altes mai enregistrades, les quals, a més, tenien un període molt gran, fet que provoca una remuntada (*run-up*) de gran magnitud. A més, la presència de vents intensos que bufaven cap a la costa i d'una marea meteorològica alta (fins a 0,66 m al mareògraf de Tarragona) afavoriren encara més l'ultrapassament del vorell costaner (Fig. 3). Aquest ultrapassament fou el responsable de les nombroses inundacions produïdes, de l'apilament d'arena en passejos marítims i zones interiors, i de l'acumulació de residus a les platges. El procés fou pràcticament general a tota la costa, de nord a sud, i una de les seves conseqüències va ser que la major part del sediment erosionat en platges ultrapassades fos transportat cap a l'interior, on era de fàcil recuperació en zones urbanitzades (Fig. 4).

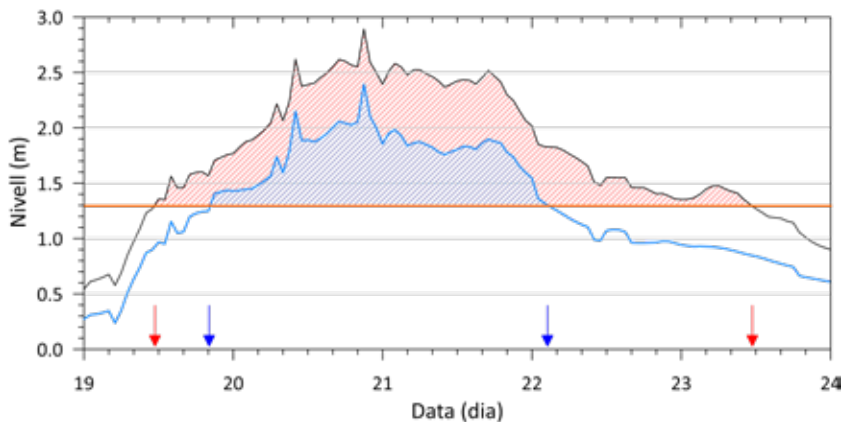


FIGURA 3. Estimació de l'elevació assolida per la remuntada (*run-up*) de l'onatge durant el *Gloria* a la platja de la Marquesa, al delta de l'Ebre, sense considerar i considerant les variacions del nivell mitjà del mar per la marea. La línia horitzontal indica l'elevació de la platja en un dels trams ultrapassats i la zona ombrejada indica la durada de les condicions d'ultrapassament de la platja i, per tant, quan el sediment era transportat cap a l'interior per a formar els dipòsits que es poden veure a la figura 6. El càlcul s'ha fet amb la fórmula de remuntada per a platges d'*Stockdon et al.* (2016) per a un tram representatiu de la platja de la Marquesa obtingut de les dades LIDAR (LIDAR v2) de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). Les dades d'onatge s'han obtingut dels registres del punt SIMAR 2095219 de *Puertos del Estado* (Taula 1).



FIGURA 4. Dalt: Inundació de platges i passejos per ultrapassament de l'onatge: inundació a Castelldefels (esq.) i acumulació d'arena a Torredembarra (dreta). Sota: Acumulació d'arena a la platja de la Barceloneta (esq.) i treballs de retirada de l'arena dipositada a Salou (dreta) (de Ramon Josa; *Diari de Tarragona*; Albert Garcia/*El País*; i Olívia Molet/*Diari Més Digital*, respectivament).

En zones no humanitzades, l'ultrapassament és el procés que permet el manteniment de la platja encara que s'erosioni el seu vorell exterior. Per a donar una idea de la magnitud d'aquest transport cap a terra (*overwash*), en llocs sense obstacles, al marge esquerre de la Tordera aquesta mena de dipòsits (*overwash fans*) s'arriben a trobar a més de 65 m de la riba (Fig. 5) i a la platja de la Marquesa, al delta de l'Ebre, a més de 100 m de la riba (Fig. 6). La conseqüència més extrema de l'ultrapassament fou el trencament de platges barrera. A la meitat nord de l'illa de Buda es formà una bretxa d'uns 300 m (Fig. 7). Al Trabucador, també al delta de l'Ebre, la bretxa abastà pràcticament tota la seva meitat sud, al llarg d'uns 2,7 km. En ambdós casos, el trencament es va produir en llocs on la platja presentava una bretxa inicial i/o havia perdut cota després de l'impacte del temporal de desembre de 2019. Com a resultat de l'ultrapassament i el trencament, totes dues platges barrera migraren cap a l'interior (*barrier rollover*) fins a uns 150 m en els indrets més crítics, essent aquest el procés pel qual les platges barrera mantenen llur equilibri (McBride *et al.*, 1995). Aquesta situació, de fet, no és infreqüent a la costa del delta de l'Ebre (Jiménez *et al.*, 2012).



FIGURA 5. Configuració de la costa a la desembocadura de la Tordera després de l'impacte del *Gloria*. Es poden observar els dipòsits per ultrapassament (*overwash fans*) al nord de la gola i la formació d'un banc o illot d'arena amb una superfície de 1,4 ha just davant la gola. La fotografia és del vol efectuat per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) els dies 24 a 27 de gener de 2020. Les línies de colors mostren la línia de riba a les dates que s'indiquen i han estat digitalitzades a partir de les imatges obtingudes en els vols realitzats per l'ICGC. Escala gràfica en metres.

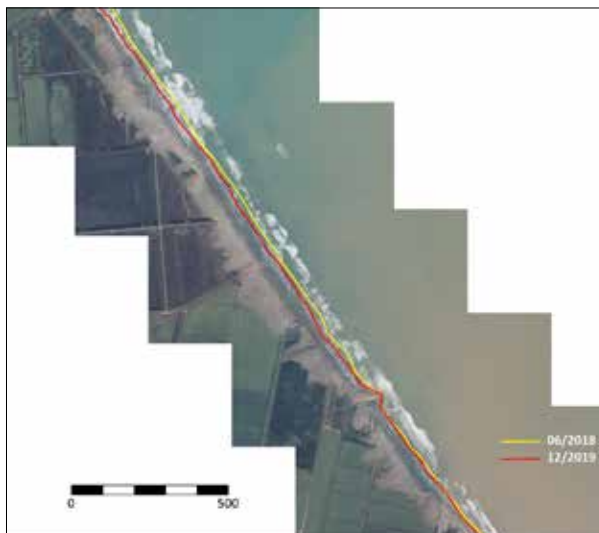


FIGURA 6. Configuració de la costa a la platja de la Marquesa, al delta de l'Ebre, després de l'impacte del *Gloria*. S'observen els dipòsits per ultrapassament (*overwash fans*) al llarg de pràcticament tota la riba. La fotografia és del vol efectuat per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) els dies 24 a 27 de gener de 2020. Les línies de colors mostren la línia de riba a les dates que s'indiquen i han estat digitalitzades a partir de les imatges obtingudes en els vols realitzats per l'ICGC. Escala gràfica en metres.

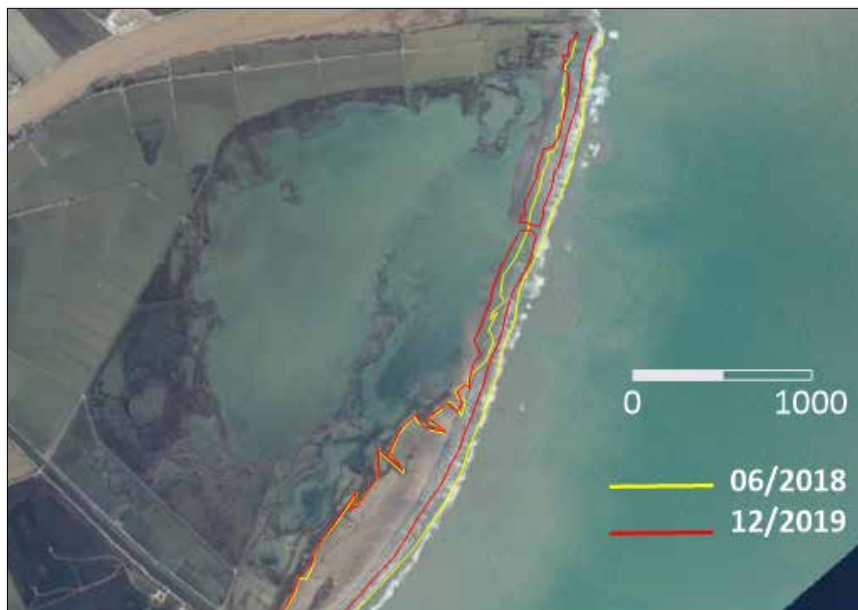


FIGURA 7. Configuració de la costa a l'illa de Buda, al delta de l'Ebre, després de l'impacte del *Gloria*. S'observa la formació d'una bretxa d'uns 300 m arran del temporal, en un indret que ja presentava un trencament després del temporal de desembre de 2019. La fotografia és del vol efectuat per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) els dies 24 a 27 de gener de 2020. Les línies de colors mostren la línia de riba a les dates que s'indiquen i han estat digitalitzades a partir de les imatges obtingudes en els vols realitzats per l'ICGC. Escala gràfica en metres.

Una de les conseqüències de l'ultrapassament és la disminució de la intensitat del corrent de retorn cap a mar (*undertow*), o ressaca, que es genera en trencar les onades, la qual cosa causa una reducció del transport d'arena mar endins. Aquest és un dels factors pels quals, per a un temporal tan extraordinari, la pèrdua de platja tot i ser més o menys generalitzada, no hagi estat tan excepcional, excepte en alguns indrets concrets. Un altre element que ha contribuït a aquesta *erosió menor de lesperada* és que la costa ja havia sofert els efectes de l'impacte de un temporal intens (categoria IV) el desembre de 2019 i, per tant, gran part de les platges tenia una configuració més eficient per a dissipar l'energia de l'onatge. Les platges on aquests processos no foren tan significatius patiren un retrocés important de la riba, en alguns casos fins a la pràctica desaparició de la mateixa platja. Això succeí bàsicament en platges encaixonades amb un volum limitat de sediment i que ja presentaven un equilibri més o menys precari, com la platja Llarga i cala Lllenguadets a Salou (Fig. 8), la Savinosa a Tarragona, i Bassa Rodona a Sitges.



FIGURA 8. Configuració de la platja Llargueta i cala Llangadets a Salou després de l'impacte del *Gloria*. S'observa la pràctica desaparició de totes dues platges. La fotografia és del vol efectuat per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) els dies 24 a 27 de gener de 2020. La línia vermella mostra la posició de la línia de riba abans del temporal i ha estat digitalitzada a partir de les imatges obtingudes en els vols realitzats per l'ICGC. Escala gràfica en metres.

A la major part de la costa, l'erosió soferta per les platges depengué de llur configuració, grau d'exposició, disponibilitat sedimentària i intensitat de la dinàmica local durant el temporal. De manera general, es pot dir que la intensitat dels processos erosius fou més gran a les platges de la província de Tarragona, amb un lloc destacat per a les del delta de l'Ebre, del Cristall a Mont-roig del Camp, la Llargueta i la Mora a Tarragona (Figs. 9 i 10), la Pineda a Vila-seca, i el Francès a Coma-ruga. A la Taula 2 es mostra la magnitud del retrocés de la línia de riba en algunes platges seleccionades. Convé destacar que, en algunes platges protegides per dics exempts, com és el cas de Cambrils i Cunit, la protecció que van oferir no fou particularment eficient, i algunes de les seves cel·les es van erosionar de manera significativa (Fig. 11). En alguns indrets, la incidència obliqua de l'onatge i l'existència d'obstacles al pas del sediment feren que el transport longitudinal quedés reflectit en la morfologia resultant, com en el cas de l'acumulació de sediment i l'augment de superfície a ponent de la platja Gran de Calella, al sector de la Roca Grossa, i en el cas del basculament extrem cap a ponent sofert per la platja de Lloret de Mar (Fig. 12).



FIGURA 9. Configuració de la part central de la platja Llarga de Tarragona després de l'impacte del *Gloria*. La fotografia és del vol efectuat per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) els dies 24 a 27 de gener de 2020. Les línies de colors mostren la línia de riba a les dates que s'indiquen i han estat digitalitzades a partir de les imatges obtingudes en els vols realitzats per l'ICGC. S'assenyala la localització dels càmpings *Las Palmeras* i *Las Salinas*, que van ser afectats per l'impacte del temporal. Escala gràfica en metres. D.P.M.T.: línia de partió del Domini Públic Marítim-terrestre.



FIGURA 10. Detall de l'estat de la platja davant la zona dels càmpings a la platja Llarga de Tarragona després de l'impacte del *Gloria* (de Tarragona Ràdio).

Platja	Retrocés (m)
Illa de Buda (delta de l'Ebre)	80-90
La Marquesa (delta de l'Ebre)	20-25
del Cristall (Mont-roig)	15-20
La Pineda (Vila-seca)	25
Llarga (Tarragona)	15
Castelldefels	25
d'Aro	15

TAULA 2. Retrocés representatiu de la riba en diferents platges del litoral català després de l'impacte del *Gloria*. L'estima s'ha fet comparant la línia de riba del vol efectuat per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) els dies 24 a 27 de gener de 2020 amb la del mes de desembre de 2019. Cal tenir en compte que la data de comparació es molt propera a la del temporal, per la qual cosa la recuperació natural del sediment de la platja encara no era gaire visible.



FIGURA 11. Configuració de les platges a Cunit després de l'impacte del *Gloria*. S'observa l'erosió dels tómbols a redós dels dics paral·lels. La fotografia és del vol efectuat per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) els dies 24 a 27 de gener de 2020. La línia vermella mostra la posició de la línia de riba abans del temporal, l'octubre de 2019, i ha estat digitalitzada a partir de les imatges obtingudes en el vol realitzat per l'ICGC en aquella data. Escala gràfica en metres.

Una altra característica distintiva del *Gloria* fou la coincidència del temporal marítim amb fortes pluges al llarg de tot el territori,¹ un fet que comportà crescudes a la major part dels rius i rieres del país i que, a la costa, es traduí en la modificació de les platges properes a les desembocadures.



FIGURA 12. Configuració de la platja de Lloret de Mar després de l'impacte del *Gloria*. S'observa el basculament de la línia de riba cap a ponent. La fotografia és del vol efectuat per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) els dies 24 a 27 de gener de 2020. La línia vermella mostra la posició de la línia de riba abans del temporal, el desembre de 2019, i ha estat digitalitzada a partir de les imatges obtingudes en el vol realitzat per l'ICGC en aquella data. Escala gràfica en metres.

Una de les conseqüències directes d'aquesta situació fou la inundació de les àrees costaneres més baixes, com ara els cursos baixos de la Tordera, el Fluvià i el Ter, entre d'altres (Fig. 13). D'altra banda, l'efecte positiu d'aquestes crescudes fou l'aportació de material sedimentari a la franja costanera, la conseqüència més visible de la qual fou la formació d'un banc o illot d'arena davant la gola de la Tordera, amb una superfície emergida d'aproximadament 1,4 ha i un perímetre d'uns 830 m (Fig. 5). Aquest illot es va formar damunt la barra submergida, situada a una fondària mitjana d'uns 4 m en aquest indret, que discorre paral·lela a la costa al llarg d'uns 1,5 km des de la gola cap al sud. Una primera estimació del volum mínim de sediment necessari per a formar l'illot emergit dona una xifra de 64.000 m³ d'arena, aproximadament, dada que demostra per ella mateixa el paper que ha tingut la Tordera en el balanç sedimentari del Maresme Nord i la importància de les riuades en el balanç sedimentari costaner.

La combinació dels processos descrits fins aquí i els usos i graus d'ocupació dels diferents trams de costa són els factors que determinaren la magnitud dels danys ocasionats a escala local. Als indrets menys modificats i amb espai d'acomodació cap a l'interior, com ara gran part de la costa de la badia de Roses, la badia de Pals o l'illa de Sant Antoni, al delta de l'Ebre, aquests processos impactaren sobre una costa amb dunes (Garcia-Lozano i Pintó, 2018) i zones inundables sense generar cap mena de dany material, donant-se el cas que alguns cordons dunars actuaren

com a barrera davant la inundació, al mateix temps que subministraren sediment a la platja. Aquesta mena de resposta és habitual sobretot en temporals extrems (Durán *et al.*, 2016).



FIGURA 13. Inundació costanera a la riba dreta del delta de la Tordera a causa de l'acció combinada del riu i la mar. La inundació provocada pel mar es concentrà a la zona més propera a la platja, on aquesta fou ultrapassada per les onades. La major part de la gran inundació que s'observa, però, es deguda principalment al sobreiximent del riu (del Cos d'Agents Rurals).

L'ultrapassament de l'onatge i la inundació són els responsables dels danys en el mobiliari urbà dels sectors propers a la platja, així com en les infraestructures menors de platja (per exemple, passarel·les, escales d'accés, dutxes, àrees de jocs i altres), atès que estan situades en una franja susceptible de veure's afectada per l'acció de les onades durant l'hivern (Fig. 14). Aquesta mena de destrosses es produïren pràcticament al llarg de tot el litoral. Tot i que no de manera tan generalitzada en un únic esdeveniment, aquest tipus de danys ha estat identificat com el més freqüent als municipis costaners catalans (CIIRC, 2010).



FIGURA 14. Diferents danys en mobiliari urbà i de platja, infraestructures menors i passejos marítims causats pel temporal *Gloria*. De dalt a baix i d'esquerra a dreta: platja de Gavà, platja de la Pineda, Malgrat de Mar nord, Llafranc, Platja d'Aro i l'Ampolla (de Jordi Ramírez; Ajuntament de Gavà; Ajuntament de Malgrat de Mar; Agència Catalana de Notícies (ACN); RPANews; i Ebredigital.cat, respectivament).

L'erosió en platges estretes durant el temporal afavorí l'acció directa de l'onatge a redós de la platja, franja que en zones urbanitzades està ocupada o bé per un passeig marítim o per alguna mena de desenvolupament més *tou*, com ara càmpings de platja. En aquests llocs es produïren danys ben habituals, com el malmetement de passejos marítims (Fig. 14) i afectacions diverses sobre les instal·lacions dels càmpings més propers a la platja (Figs. 5, 9, 10 i 13). En molts casos, el trencament dels passejos va ser perquè no han estat dissenyats per a resistir l'embat directe de l'onatge atès que en el seu moment la platja era prou ampla com per a protegir-los de l'acció dels temporals. Convé destacar que aquesta mena de danys són força freqüents al nostre litoral (Jiménez *et al.*, 2011, 2012).

Finalment, a més dels danys associats a l'ultrapassament de l'onatge que també es produïren de forma generalitzada als ports del litoral català, l'impacte directe de les onades causà danys estructurals en alguns d'ells (Fig. 15), com ara la Marina de Palamós, Sant Feliu de Guíxols, Arenys de Mar, Blanes, Fòrum de Barcelona, l'Ametlla de Mar, l'Ampolla i les Cases d'Alcanar. Un cas diferent fou l'afectació del port del Masnou, que quedà inoperatiu però no per danys estructurals sinó funcionals, en haver quedat reblerta la seva bocana per la formació d'un banc d'arena emergit (Fig. 15). A banda dels ports, també cal assenyalar l'alt nombre de dics i espigons costaners que quedaren malmesos, com ara els espigons del Morro de Gos al Perelló, sud i nord de la Pineda a Vila-seca, la Mar Bella i la Nova Mar Bella a Barcelona, i els dics paral·lels de l'Ardiaca, a Cambrils, i de Calonge (Fig. 15). Una altra infraestructura marítima afectada greument fou el Pont del Petroli a Badalona (Fig. 15). Una infraestructura de transport terrestre també afectada va ser la via ferroviària que discorre pel Maresme, la qual tingué afectacions per ultrapassament a tocar de la costa que dificultaren el tràfic, tot i que el dany principal que patí es degué a l'enfonsament d'un pont per la crescuda de la Tordera.

QUÈ ENS PORTARÀ EL FUTUR PROPER?

Atesa la seva extensió i intensitat, el temporal *Gloria* ha deixat un catàleg de processos costaners i d'impactes associats que reflecteixen la variabilitat espacial de la geomorfologia, el clima marítim i els tipus d'usos i graus d'ocupació de la costa de Catalunya. Per les seves característiques, hom pot considerar aquest esdeveniment com un avançament del que ens oferirà el futur en un context de canvi climàtic i escalfament global, combinats amb una gestió del litoral que requereix un replantejament seriós.

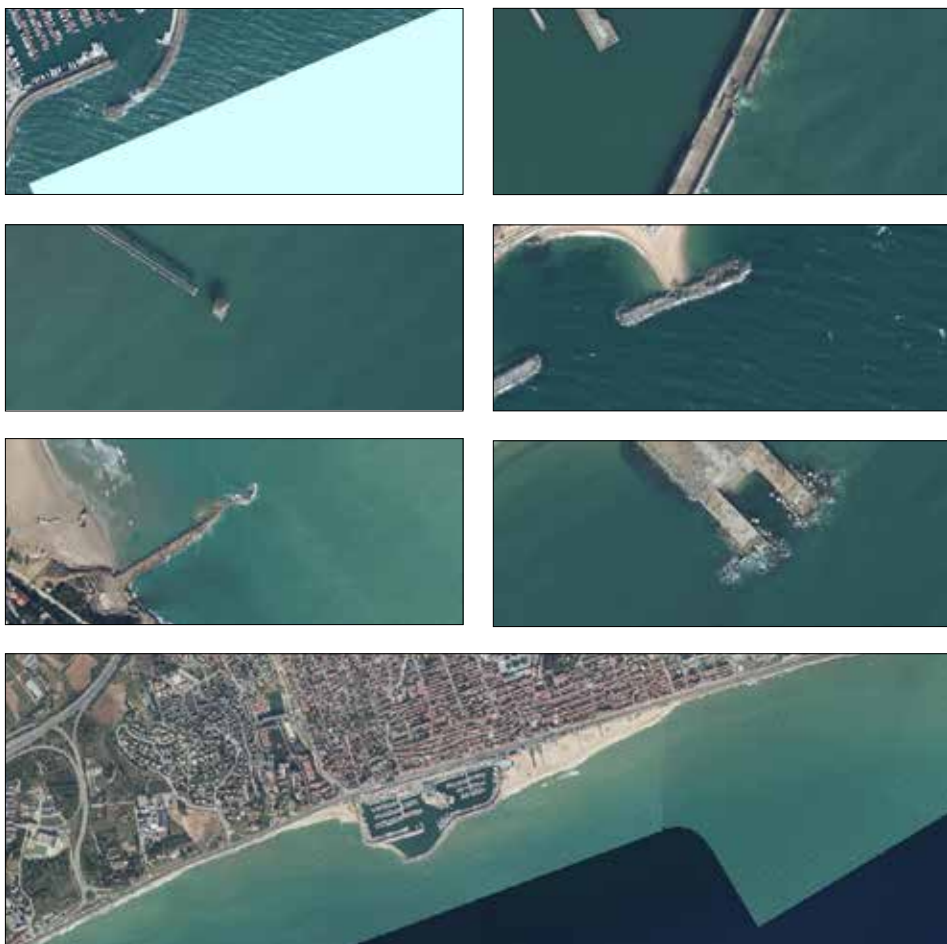


FIGURA 15. Danys i afectacions en diferents infraestructures marítimes causats pel temporal *Gloria*. Les fotografies són del vol efectuat per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) els dies 24 a 27 de gener de 2020. De dalt a baix i d'esquerra a dreta: dic d'abric del port esportiu Marina de Palamós, dic d'abric del port del Fòrum a Barcelona, pont del Petroli a Badalona, dic paral·lel a Calonge i Sant Antoni, espigó sud de la platja de la Pineda a Vila-seca, espigó de la Mar Bella a Barcelona, i rebliment de la bocana del port del Masnou.

L'ultrapassament generalitzat de platges i estructures que es va produir fou el resultat de l'acció de les onades amb un nivell del mar elevat que permeteren, d'una banda, l'impacte directe sobre la part més interna de les platges i, de l'altra, disminuir l'elevació relativa dels passejos marítics i altres estructures fixes, afavorint així la inundació.

L'impacte del temporal sobre una costa en gran part ja erosionada després del temporal de desembre de 2019 mostra les conseqüències de la pèrdua de la capacitat de protecció de les platges a mesura que van erosionant-se, de manera que com més estreta sigui la platja més gran serà l'impacte. Això té una importància cabdal per al nostre litoral donat el comportament erosiu a llarg termini que presenta i els nivells d'usos i ocupacions de la franja costanera.

En aquest context, la costa catalana pot ésser caracteritzada com una costa vulnerable a l'impacte de temporals marítims; una costa la qual, atesa la seva evolució a llarg termini, sofrirà amb més freqüència i major intensitat en el futur proper danys com els ocorreguts a causa del *Gloria*. Addicionalment, davant les perspectives del canvi climàtic, els estudis existents tant per a platges (Jiménez *et al.*, 2017) com per a ports (Sierra *et al.*, 2016) prediuen un augment significatiu de la seva vulnerabilitat a les properes dècades, no tant per un increment de la intensitat o la freqüència dels temporals, sinó senzillament com a conseqüència de la pujada del nivell del mar. Aquest ascens acreixerà el nivell d'acció de les onades i farà decreïxer la cota relativa de les proteccions existents, al mateix temps que reduirà l'amplada de les platges en un context de falta d'espai d'acomodació terra endins.

BIBLIOGRAFIA

- CIIRC (2010). *Estat de la zona costanera a Catalunya*. Barcelona: Departament de Política Territorial i Obres Públiques, Generalitat de Catalunya. Disponible en línia a: <<https://icgc.cat/Administracio-i-empresa/Serveis/Riscos-geologics/Dinamica-de-la-costa/Llibre-verd-de-l-Estat-de-la-zona-costanera-a-Catalunya-2010>> [Consulta: 26 de maig de 2020].
- DURÁN, R.; GUILLÉN, J.; RUIZ, A.; JIMÉNEZ, J.A., i SAGRISTÁ, E. (2016). «Morphological changes, beach inundation and overwash caused by an extreme storm on a low-lying embayed beach bounded by a dune system (NW Mediterranean)». *Geomorphology*. Vol. 274, p. 129-142. Doi: 10.1016/j.geomorph.2016.09.012.
- GARCIA-LOZANO, C. i PINTÓ, J. (2018). «Current status and future restoration of coastal dune systems on the Catalan shoreline (Spain, NW Mediterranean Sea)». *Journal of Coastal Conservation*. Vol. 22, p. 519-532. Doi: 10.1007/s11852-017-0518-4.
- JIMÉNEZ, J.A. i VALDEMORO, H.I. (2019). «Shoreline evolution and its management implications in beaches along the Catalan coast». A: MORALES, J.A. [ed.]: *The Spanish Coastal Systems Dynamic Processes, Sediments and Management*. Springer, p. 745-764. Doi: 10.1007/978-3-319-93169-2_32.
- JIMÉNEZ, J.A.; GRACIA, V.; VALDEMORO, H.I.; MENDOZA, E. T., i SÁNCHEZ-ARCILLA, A. (2011). «Managing erosion-induced problems in NW Mediterranean

- urban beaches». *Ocean & Coastal Management*. Vol. 54, p. 907-918. Doi: 10.1016/j.ocecoaman.2011.05.003.
- JIMÉNEZ, J.A.; SANCHO, A.; BOSOM, E.; VALDEMORO, H.I., i GUILLÉN, J. (2012). «Storm-induced damages along the Catalan coast (NW Mediterranean) during the period 1958-2008». *Geomorphology*. Vol. 143-144, p. 24-33. Doi: 10.1016/j.geomorph.2011.07.034.
- JIMÉNEZ, J.A.; SANUY, M.; BALLESTEROS, C., i VALDEMORO, H.I. (2018). «The Tordera Delta, a hotspot to storm impacts in the coast northwards of Barcelona (NW Mediterranean)». *Coastal Engineering*. Vol. 134, p. 148-158. Doi: 10.1016/j.coastaleng.2017.08.012.
- JIMÉNEZ, J.A.; VALDEMORO, H. I.; BOSOM, E.; SÁNCHEZ-ARCILLA, A., i NICHOLLS, R. (2017). «Impacts of sea-level rise-induced erosion on the Catalan coast». *Regional Environmental Change*. Vol. 17, p. 593-603. Doi: 10.1007/s10113-016-1052-x.
- MCBRIDE, R.A.; BYRNES, M. R., i HILAND, M.W. (1995). «Geomorphic response-type model for barrier coastlines: a regional perspective». *Marine Geology*. Vol. 126, p. 143-159. Doi: 10.1016/0025-3227(95)00070-F.
- MENDOZA, E.T.; JIMÉNEZ, J.A., i MATEO, J. (2011). «A coastal storms intensity scale for the Catalan Sea (NW Mediterranean)». *Natural Hazards and Earth System Sciences*. Vol. 11, p. 2453-2462. Doi: 10.5194/nhess-11-2453-2011.
- SIERRA, J.P.; CASANOVAS, I.; MÖSSO, C.; MESTRES, M., i SÁNCHEZ-ARCILLA, A. (2016). «Vulnerability of Catalan (NW Mediterranean) ports to wave overtopping due to different scenarios of sea level rise». *Regional Environmental Change*. Vol. 16, núm. 5, p. 1457-1468. Doi: 10.1007/s10113-015-0879-x.
- STOCKDON, H.F.; HOLMAN, R.A.; HOWD, P.A., i SALLENGER JR, A.H. (2006). «Empirical parameterization of setup, swash, and runup». *Coastal Engineering*. Vol. 53, núm. 7, p. 573-588. Doi: 10.1016/j.coastaleng.2005.12.005.