

Efectes del temporal Glòria sobre el litoral¹

Josep Pintó

Laboratori d'Anàlisi i Gestió del Paisatge (LAGP). Universitat de Girona
josep.pinto@udg.edu

Carla Garcia-Lozano

Laboratori d'Anàlisi i Gestió del Paisatge (LAGP). Universitat de Girona

Rafael Sardá

Centre d'Estudis Avançats de Blanes CEAB-CSIC

Francesc Xavier Roig-Munar

Investigador independent i consultor ambiental (Qu4tre)

Carolina Martí

Laboratori d'Anàlisi i Gestió del Paisatge (LAGP). Universitat de Girona

Resum

El temporal Glòria va afectar la costa catalana entre els dies 19 i 23 de gener de 2020. En aquest treball es caracteritzen el clima d'onatge i les condicions morfodinàmiques prèvies a la llevantada, per a després presentar un recull dels impactes més notables. Aquests van consistir en l'erosió de les platges, l'afectació a les estructures de defensa portuàries, destrosses al passeigs marítims i la inundació d'àrees urbanes situades a primera línia entre d'altres. Finalment es presenten les lliçons apreses del temporal consistents en la necessitat d'avançar en un canvi del model de gestió de la costa. Es proposa incorporar les recomanacions dels organismes internacionals, basades en els principis de la gestió ecosistèmica, la qual està emergint com el paradigma dominant en la gestió dels recursos naturals i el medi ambient, i que permet transitar d'una costa molt artificialitzada com l'actual, a un litoral més natural, menys vulnerable i més resilient.

Paraules clau: costa, platges, dunes, costa catalana, temporal Glòria.

1. Aquest treball s'ha portat a terme dins el marc del projecte de referència RTI2018-095677-B-I00, de títol: "Gestión integrada de la zona costera 2.0: herramientas para implementar el enfoque ecosistémico en la gestión de playas", finançat pel Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Resumen: *Efectos del temporal Gloria sobre el litoral*

El temporal Gloria afectó a la costa catalana entre los días 19 y 23 de enero de 2020. En este trabajo se caracterizan el clima de oleaje y las condiciones morfodinámicas previas a la tempestad, para luego presentar una recopilación de los impactos más notables. Estos consistieron en la erosión de las playas, la afectación a las estructuras de defensa portuarias, destrozos en paseos marítimos y la inundación de áreas urbanas situadas en primera línea entre otros. Finalmente se presentan las lecciones aprendidas del temporal consistentes en la necesidad de avanzar en un cambio del modelo de gestión de la costa. Se propone incorporar las recomendaciones de los organismos internacionales, basadas en los principios de la gestión ecosistémica, que está emergiendo como el paradigma dominante en la gestión de los recursos naturales y el medio ambiente, la cual debe permitir transitar de una costa muy artificializada como la actual, a un litoral más natural, menos vulnerable y más resiliente.

Palabras clave: costa, playas, dunas, costa catalana, temporal Gloria.

Summary: *Effects of the Gloria storm on the coast*

The storm Gloria affected the Catalan coast between January 19th and 23rd, 2020. This work characterizes the wave climate and the morphodynamic conditions prior to the storm, and then presents a compilation of the most notable impacts. These consisted of beach erosion, damage to port defense structures, damage to seafront promenades, and the flooding of urban areas located on the front line, among others. Finally, the lessons learned from the storm are presented, consisting of the need to move forward with a change in the coastal management model. It is proposed to incorporate the recommendations of international organizations, based on the principles of ecosystem management, which is emerging as the dominant paradigm in the management of natural resources and the environment, which should allow transit from a highly artificial coast to a more natural, less vulnerable and more resilient coastline.

Keywords: coast, beaches, dunes, Catalan coast, storm Gloria.

* * *

1. Introducció

Entre el diumenge 19 i el dijous 23 de gener de 2020 l'excelsional tempesta Glòria va provocar un dels temporals de llevant més intensos, llargs i devastadors de les darreres dècades. Un onatge d'alta energia persistent al llarg de quatre dies va erosionar les platges de molts trams del litoral i va provocar destrosses i danys quantiosos als passeigs marítims i a moltes altres infraestructures costaneres. Els dics de contenció de molts ports van ser sobrepassats quan no soccavats o trencats en alguns punts.

Les llevantades són un fenomen meteorològic habitual al litoral mediterrani. Estan provocades per vents humits de component est, que provoquen fortes

ratxes de vent al litoral i al prelitoral i que afavoreixen la formació de nuvolades i pluges intenses, a més de provocar alhora un fort temporal marítim. A Catalunya les llevantades més fortes solen produir-se a la tardor, quan la temperatura del mar encara és relativament alta i facilita que el vent marítim es carregui d'humitat. També es donen, però amb menys freqüència, a la primavera i a l'hivern, i molt poc a l'estiu. En els darrers vint anys hi ha hagut temporals de magnitud superior a l'habitual, que han causat diversos danys i destrosses a la costa el 2003 (17 d'octubre), 2008 (26 de desembre), 2017 (21-22 de gener) i el temporal Glòria, del 19 al 23 de gener de 2020.

Els impactes d'aquests temporals sobre la costa s'han d'atribuir a la transformació humana del litoral, amb grans canvis en els usos i cobertes del sòl i un gran creixement urbanístic, que ha provocat una alta rigidització de la costa (Losada *et al.*, 2014). La influència que hi hagi pogut tenir el canvi climàtic global en aquests episodis és molt petita d'acord amb les dades obtingudes fins ara, encara que es pot incrementar en el futur. Mentre que a la costa atlanticocantàbrica hi ha hagut un augment del nivell mitjà del mar d'entre 2,8 i 3,6 mm/any entre 1993 i 2010, hi ha una major incertesa respecte l'ascens del nivell del mar al Mediterrani a causa d'efectes de caire regional (Losada *et al.*, 2014). Pel que fa a les tendències futures, en el darrer informe de l'IPCC (2013) s'estima un ascens del nivell del mar de 26 a 55 cm per al període 2081-2100 per a un escenari intermedi de l'AR5 (RCP2.6), però les projeccions per a la Mediterrània mostren pujades lleugerament inferiors a les mitjanes globals, de fins a un 10% de diferència. Pel que fa als potencials canvis dels patrons atmosfèrics, les variacions a partir d'escenaris de l'AR4 indiquen que els canvis en la contribució de pressió i vent sobre el nivell del mar mitjà de la Mediterrània serien petits a final d'aquest segle, amb canvis de $\pm 10\%$ per a l'altura de l'onatge significant en condicions mitjanes i d'un $\pm 20\%$ en condicions extremes (Lionello, 2008).

A continuació es caracteritza el temporal Glòria pel que fa al clima marítim i l'estat morfodinàmic i urbanístic de la costa catalana previ a la llevantada, per a després presentar un recull dels impactes més notables soferts, a partir d'observacions pròpies dels autors i de la síntesi de les notícies aparegudes als mitjans de comunicació durant i després del pas del temporal. Finalment es plantegen unes "llicons apreses" o propostes de gestió dels sistemes platja-duna que permetin transitar d'una costa molt artificialitzada com és l'actual, a un litoral menys vulnerable i més resilient.

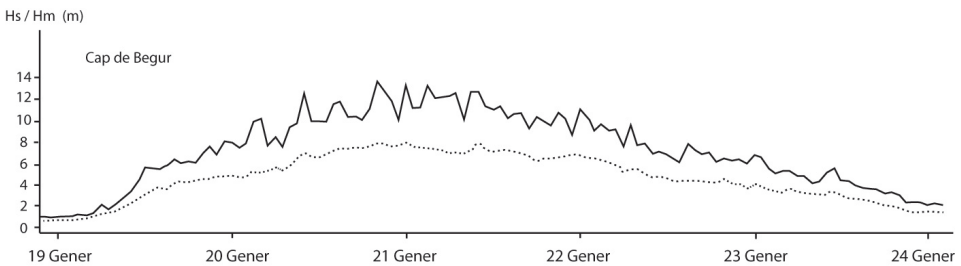
1.1. El temporal Glòria i el clima d'onatge

El temporal Glòria va ser el producte d'una borrasca o depressió atmosfèrica, no massa profunda que va afectar tot el litoral mediterrani peninsular entre els dies 19 i 23 de gener de 2020. La depressió, no massa profunda (1020-1030 mb segons dades de l'estació meteorològica de l'Estartit), va creuar el nord de la península Ibèrica fins el Mediterrani occidental i va girar cap al sud-oest fins

instal·lar-se al nord d'Àfrica, a l'alçada del Marroc, des d'on va generar un fort flux de vents de component de llevant. El fort onatge, el vent i les altes precipitacions associades, fenòmens que es van mantenir gairebé ininterrompudament al llarg de tres dies, van tenir efectes diversos sobre la costa catalana. En alguns trams de costa com al delta de Llobregat, els efectes del Glòria han estat els pitjors dels darrers 50 anys, mentre que en d'altres trams, com a la Costa Brava nord, els seus efectes no van superar els del temporal de Sant Esteve del 2008.

La velocitat màxima del vent es va assolir els dies 20 i 21 de gener, en els quals les boies del cap de Begur i de Tarragona van enregistrar altures màximes (Hm) puntuals de l'onatge que van superar els 12 m. Per a la morfodinàmica litoral és més rellevant, però, conèixer l'altura d'ona significant (Hs): l'altura mitja del terç de les ones més altes enregistrades durant 20 minuts, o les 33 més altes en un tren de 99 ones. En aquest sentit les dades de les boies citades mostren que l'onatge significant es va mantenir per sobre dels 4 m al llarg de tres dies i va arribar a pics de 8 m entre els dies 21 i 22 (fig. 1). Valors similars es van enregistrar en altres boies localitzades al llarg de tota la costa mediterrània peninsular.

Fig. 1. Altura significant (línia de punts) i altura màxima (línia continua) de l'onatge enregistrat a la boia del cap de Begur entre els dies 19 i 24 de gener del 2020



Font: *Puertos del Estado*

El vent intens generat per la borrasca va desenvolupar també una mar de fons considerable, en part a causa de la longitud del *fetch*, doncs s'ha de tenir en compte que durant gairebé tres dies es va produir un flux de vents amb un recorregut sobre el Mediterrani occidental, des del golf de Sirte, al nord de Líbia, fins a Catalunya.

Pel contrari, i degut als valors moderats de la baixa pressió atmosfèrica, l'elevació del nivell del mar, o *storm surge* que es produeix en les situacions de baixes pressions, no va ser gaire considerable. Encara que els mareògrafs de Barcelona i Tarragona van mesurar valors gens menyspreables: 0,6 i 0,7 m, respectivament, d'elevació màxima el dia 21 de gener (Puertos del Estado, 2020), aquesta elevació va ser deguda principalment a la persistència del fort onatge de temporal, més que a la influència de les baixes pressions (Berdalet *et al.*, 2020).

1.2. Una costa molt artificialitzada

La costa catalana, amb una longitud aproximada de 650 km repartida entre setanta municipis, s'ha comportat al llarg dels darrers cent anys com un pol d'atracció de població i d'activitats productives. A escala planetària, el desplaçament de la població des de les terres interiors cap al litoral és un fet contrastat, però que ha guanyat intensitat al llarg del segle passat, de manera que s'estima que el 60 % de la població mundial es concentra en una franja costanera de menys de 100 km d'amplada. A Europa, les densitats de població de les regions litorals (NUTS3) també són de mitjana un 10 % més elevades que les de les regions interiors, i en alguns casos arriben a superar el 50 % (EEA, 2006). Al conjunt de l'Estat espanyol, la franja dels primers 5 km mesurats des de la línia de costa acull el 44 % de la població (Observatorio de la Sostenibilidad, 2014). A Catalunya també s'ha constatat un procés secular de litoralització de la població. Si es prenen com a marc territorial de referència els setanta municipis que tenen façana marítima s'observa que, en un espai de 2.162 km² i que representa només el 6,7 % del territori català, l'any 2016 hi vivia un 43,3 % de la població total.

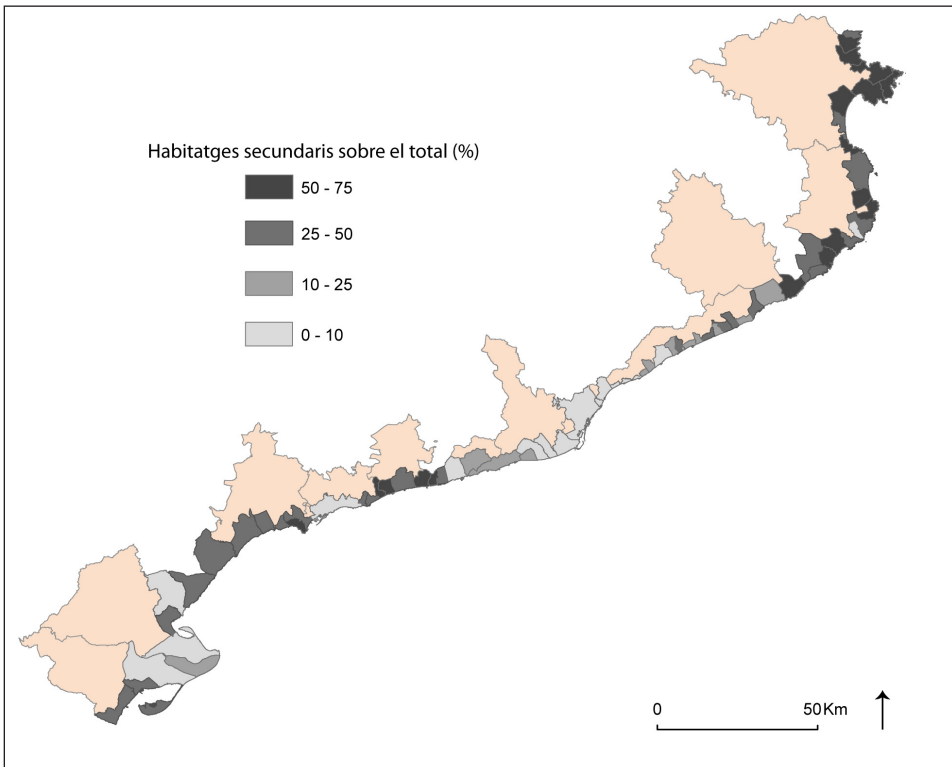
Els municipis més densament poblats se situen a l'àrea metropolitana de Barcelona amb densitats superiors als 2.000 hab./km², fet que, en conjunt, condiona que la seva costa suporti una pressió demogràfica considerable. A l'altre extrem se situen molts municipis de la Costa Brava, la Costa Daurada i el delta de l'Ebre, amb densitats inferiors als 1.000 hab./km².

Un dels factors responsables del dinamisme demogràfic, i sobretot del desenvolupament urbanístic del litoral a partir de la segona meitat del segle xx fins a l'actualitat, ha estat el turisme. Aquest és un sector estratègic dins l'economia catalana, ja que genera el 12 % del PIB i el 15 % de l'ocupació (Llurdés *et al.*, 2007). La importància que ha pres el turisme residencial a la costa catalana ha comportat el creixement desmesurat de la superfície urbanitzada de la majoria dels municipis litorals, la urbanització extensiva de les planes costaneres i la dispersió d'edificacions pels vessants de les muntanyes baixes properes a la costa. El pes de les residències secundàries en el total del parc d'habitatges a molts municipis litorals és enorme. La mitjana de la proporció d'habitatges no permanents en als municipis litorals és del 32 %. El ventall va des de Sant Adrià de Besòs, amb un 0,62 % d'habitatges secundaris, fins a Llançà, amb un 73,8 %. En total, hi ha disset municipis en els quals les segones residències superen el 50 % del parc total d'habitatges (fig. 2). El més preocupant des del punt de vista del paisatge ha estat la dispersió, a voltes caòtica, de l'espai construït, que ha tendit a ocupar de forma extensiva la primera línia, sobretot als trams de costa baixa, però també superfícies de conreu i molts vessants encarats a mar en els trams de costa alta.

Els paisatges agrícoles i forestals han estat els més perjudicats per l'expansió urbana. En el període 1993-2009, es van perdre més de 16.000 hectàrees de

sòl agrícola a causa de l'abandonament de conreus i de la urbanització. En canvi, la pèrdua d'espai forestal per la construcció d'urbanitzacions ha estat compensada amb escreix per la recolonització dels camps abandonats per part de la vegetació. Així, en el conjunt dels municipis litorals, l'espai forestal es va incrementar en més de 3.000 hectàrees (Pintó *et al.*, 2018).

Figura 2. Percentatge de segones residències als municipis litorals en relació al parc d'habitatges total



Font: Pintó *et al.*, 2018

Pel que fa a la primera línia de costa, la Llei de costes de 1988 hauria d'haver estat un instrument essencial en la contenció de la urbanització i la transformació de la façana costanera. Malauradament no ha estat així. Les concessions de trenta anys, prorrogables trenta anys més, que la llei preveia per a les edificacions construïdes legalment en el seu moment, però que ocupaven el domini públic marítim, ha dilatat en el temps la seva retirada, més encara amb l'ampliació a setanta-cinc anys que es va establir en la modificació de la llei el 2013. Una modificació que també va incloure la reducció de l'amplada del domini públic marítim terrestre (DPMT) en els trams de costa rocosa, en disminuir fins als darrers cinc anys el període de temps de referència per fer el càlcul del punt

fins on arriben les ones en els temporals. També va deixar fora del DPMT les dunes que no interaccionen amb la platja i va reduir l'amplada de la servitud de protecció de cent a vint metres en zones no urbanitzades totalment.

Els retards d'anys en les tasques de delimitació del DPMT, la no assignació de recursos econòmics suficients per a acomplir els objectius d'ordenació i conservació del litoral assenyalats en la llei i la manca de voluntat política en la seva aplicació estricta han propiciat que la privatització de facto de molts trams de costa per part de càmpings i urbanitzacions continués avançant, juntament amb la degradació dels hàbitats costaners, entre els quals els paisatges dunars han estat dels més afectats (Pintó *et al.*, 2014; Pintó i Garcia-Lozano, 2016)

1.3. Una costa arenosa mancada de sediments

La costa es pot concebre com un sistema altament dinàmic sotmès a la interacció de factors atmosfèrics, marins i continentals, als quals s'afegeix la intervenció humana i la seva capacitat de transformació del medi. A la costa catalana, el vent, l'onatge i els corrents proporcionen l'energia necessària per modelar i modificar les formes de relleu costaner per mitjà de l'erosió, el transport i la deposició de sediments.

Els sediments que constitueixen la platja han estat mobilitzats, transportats, retreballats i finalment dipositats en un tram de costa pels corrents generats per l'onatge. La font dels sediments és diversa segons el tipus de costa: erosió del rocam costaner, aportacions fluvio-torrencials, transport longitudinal i acumulació de bioclastes d'origen marí, entre els més destacats.

En el cas de la costa catalana la font principal de sediments són les aportacions de rius i rieres, sobretot en els episodis de pluges intenses. El fet que en un tram de costa existeixi una platja indica que a mig termini les aportacions de sediment contraresten les pèrdues que provoca l'onatge en els episodis de temporal i que el balanç sedimentari ha estat positiu, si s'ha produït acreció, o almenys en equilibri, si la platja es manté estable.

Les aportacions sedimentàries d'origen fluvial han estat suficients en el passat per mantenir les platges sota un balanç sedimentari positiu o en equilibri que garantia la seva estabilitat en el temps. En les darreres dècades però s'han succeït tot un conjunt de transformacions paisatgístiques que han fet disminuir el volum de sediments que arriben al mar. Per una banda la regulació dels cabals fluvials per mitjà de la construcció d'embassaments i rescloses de tota mena és una de les causes més conegudes de la penúria sedimentària que actualment afecta la costa. L'impacte de les grans obres hidràuliques ha estat analitzat en el cas del delta de l'Ebre on s'estima que hi ha hagut una disminució del 99% en el volum dels sediments descarregats a la costa des de la construcció dels embassaments del complex Riba-roja-Mequinensa a la dècada dels anys 60 del segle passat (Guillén i Palanques, 1992). Aquest fet unit a la sobreexplotació dels aquífers per abastir els usos agrícoles, industrials i domèstics ha provocat

una reducció tan severa del cabal de molts cursos fluvials que, durant molts mesos de l'any, el cabal és tant minso que l'aigua del riu no té la força suficient per obrir-se pas a través del cordó litoral, tal i com passa, per exemple, en els casos de la Tordera, el Foix i el Gaià.

Per altra banda, les cobertes agrícoles, predominants en el passat, han disminuït la seva extensió en benefici de les cobertes forestals que protegeixen molt més el sòl de l'erosió. L'augment de l'espai urbanitzat també ha contribuït a impermeabilitzar la superfície del sòl i a reduir l'erosió, de manera que a més de disminuir la càrrega sedimentària de rius i rieres, també es dificulta la percolació i la infiltració de l'aigua en els aquífers subterranis, fet que col·labora en l'augment sobtat dels cabals en els episodis de fortes pluges.

La penúria sedimentària que afecta la costa catalana és coneguda des de molts anys enrere. El *Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya* (CIIRC, 2009) estima que aproximadament el 70% de la costa catalana és erosiva, amb una taxa mitjana d'erosió de -1,13 m/a, sense tenir en compte les platges del delta de l'Ebre que presenten una taxa d'erosió molt més gran (-5,2 m/a).

En aquest context de manca de sediments s'hi ha d'afegir les previsions d'augment del nivell del mar vinculades al canvi climàtic global. Les projeccions del cinquè informe d'avaluació (AR5) de l'IPCC (2013) per a un escenari més aviat benigne (RCP 2.6) indiquen increments del nivell del mar de 17 a 31 cm per al període 2046-2061, i de 26 a 55 cm per al període 2081-2100, els quals suposarien un augment del nivell del mar d'entre 2,7 i 5,8 mm/any.

1.4. El temporal i la morfodinàmica litoral

La platja és una forma de relleu d'acumulació que presenta una part emergida: la platja alta o seca, i una part submergida: l'avantplatja. En els episodis de temporal com ara el Glòria, l'onatge mobilitza volums importants de sediments des de la platja emergida fins a l'avantplatja, on l'onatge dona forma a barres de sorra. La sorra que és dipositada en la platja submergida és esperable que es vagi incorporant a la platja alta en les setmanes posteriors al temporal, sota unes condicions d'onatge moderat. Més problemàtica és la mobilització de la sorra que ha estat desplaçada més enllà del límit de tancament, ja que romandrà en una fondària inabastable pel transport transversal induït per l'onatge. La profunditat de tancament és la fondària màxima fins la qual és possible que hi hagi interacció i transport de sorra des de l'avantplatja a la platja emergida. Encara que la profunditat de tancament difereix poc entre les platges de la Costa Brava (entre 7,7 i 8,89 m) i les de la Costa Daurada (entre 6,9 m i 8,07 m) segons les dades del CIIRC (2009), el menor pendent de la plataforma continental a la Costa Daurada fa que es comportin com platges dissipatives, on la longitud de la platja submergida és molt més gran.

Un altre procés morfodinàmic de gran importància per valorar els efectes del temporal és el transport longitudinal efectuat pel corrent de deriva. Aquest

està induït per l'angle d'incidència de l'onatge i l'orientació de la costa. En el cas del Glòria es va generar un transport longitudinal d'alta intensitat, de direcció nord-est-sud-oest, que per altra banda és la direcció que predomina al llarg de l'any en la costa catalana. Així, les boies de Begur i Tarragona van mesurar valors de velocitat del corrent longitudinal d'entre 0,5 i 0,8 m/s durant el període comprès entre el 19 i 23 de gener (Puertos del Estado, 2020). La sorra mobilitzada pel transport longitudinal es manté dins el sistema tancat de cada cèl·lula litoral però provoca canvis en la distribució espacial del sediment. La sorra s'acumula en trobar un obstacle al transport, ja sigui un promontori rocós que limita la platja en un dels seus extrems, ja sigui contra un espigó portuari o una escullera de protecció.

Una part dels materials erosionats de la platja són també desplaçats per l'onatge cap el límit interior de la platja i més enllà, terra endins, si és que això és possible. A les platges urbanes aquests sediments s'acumulen contra el mur dels passejos marítims i fins i tot poden arribar a sobrepassar-lo. En les platges situades en entorns no urbanitzats el sediment mobilitzat per l'onatge es pot trobar formant llengües de sorra que recobreixen sectors del paisatge de maresma o els camps de conreu que limiten amb el cordó litoral.

2. Impactes del temporal sobre la costa

Els efectes del temporal Glòria sobre la costa catalana van ser diversos. En aquells llocs on la platja era menys ampla es va produir una fallada de la funció de protecció i l'onatge va afectar els passejos marítims i les infraestructures situades a primera línia. Varis ports van patir danys considerables en els dics de contenció i es van veure afectades algunes dàrsenes. També en alguns municipis la inundació dels sectors propers a la costa es va veure acompanyada de la producció d'abundant escuma.

2.1. Erosió i reducció de l'amplada de platja

El temporal va comportar una gran erosió a moltes platges a conseqüència del fort onatge sostingut durant tres dies i la sobreelevació del nivell del mar. En general, les platges menys amples són les que van patir una erosió més intensa però fins i tot platges d'amplada superior als 50 m, llindar que, d'acord amb les característiques del clima d'onatge dels temporals a la costa catalana, es considera suficient per efectuar una funció de protecció efectiva (CIIRC, 2009), van ser ultrapassades per les ones.

L'afectació a les platges va ser gairebé general, encara que les platges situades al nord del cap de Begur en aquesta ocasió van resistir millor els efectes del temporal. L'erosió de les platges va ser molt gran al Maresme, la costa de Barcelona, el Garraf i tota la Costa Daurada, sobretot en els trams de costa més

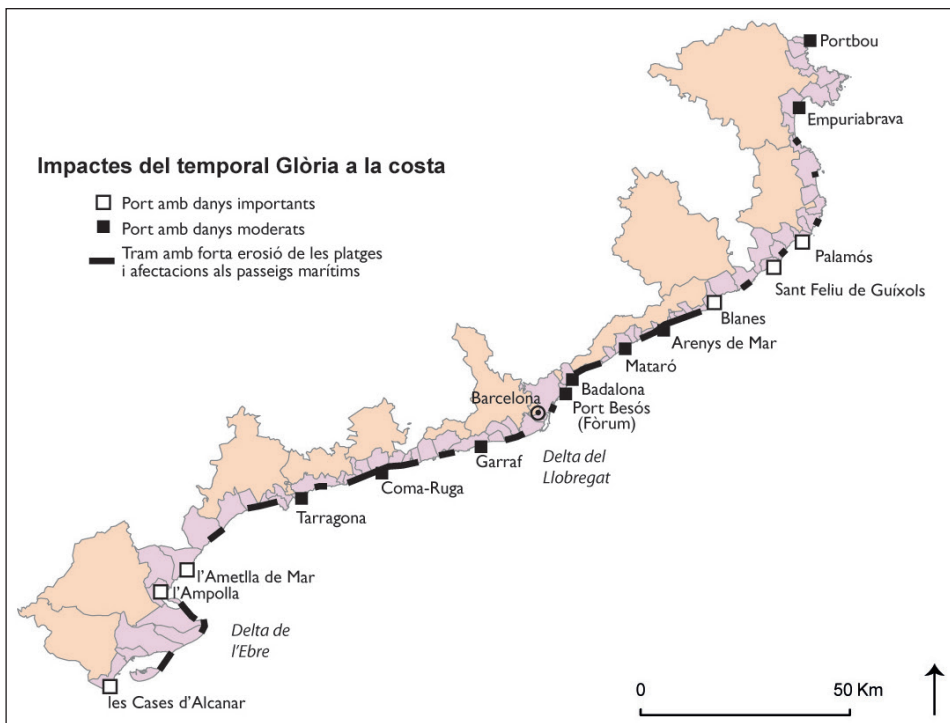
artificialitzats. En aquest temporal es van veure afectades per un igual tant les platges llargues, rectilínies i obertes com les platges encaixades de menors dimensions (fig. 3).

Així per exemple, a la Costa Brava sud es van veure afectades cales com les de Calella de Palafrugell, Tamariu i la Conca, i platges encaixada com la de Llafranc. En algunes platges com a Lloret i Platja d'Aro el transport longitudinal originat pel temporal va desplaçar una gran quantitat de sorra cap a l'extrem de ponent, un fet que és habitual en aquest tipus de platges (*Gerió Digital*, 2020).

En algunes cales com la de Salionç, a Tossa de Mar, l'erosió va estar provocada per l'aigua de la riera que hi desemboca i que és la principal font de materials sedimentaris. Algunes d'aquestes rieres presenten forts pendents (en el cas de Salionç, la riera dels Eucaliptus, presenta un 17% de pendent mitjà). L'observació de l'estat actual de la platja, amb una forta erosió sobretot a la part central, fa pensar que l'agent erosiu principal ha estat la força de l'aigua de la riera que, a més d'arrossegar la sorra cap a mar, ha dipositat a la platja un nombre considerable de blocs de gran diàmetre, superior als 20 cm, a més de còdols i graves.

L'onatge també es va endur la sorra de platges que originàriament eren de còdols o blocs i que la gestió municipal havia reblert amb sorres per a un ús turístic més confortable. Aquest és el cas per exemple, de les platges del Codolar, a Tossa de Mar, i de les cales de Sant Roc i el Golfet a Palafrugell.

Figura 3. Impactes del temporal Glòria als ports i les platges



Al Maresme les platges que van patir una erosió més gran van ser les de Malgrat de Mar, Pineda de Mar, Sant Pol de Mar, Arenys de Mar, Cabrera de Mar, Premià de Mar, el Masnou i Montgat. En alguns casos, la sorra es va acumular a les platges que es recolzen en l'espigó de protecció del ports o en petits promontoris de roca, com és el cas de la platja del Cavaió d'Arenys de Mar i de la platja de les Roques de Calella de Mar (fig. 4).

Les platges del front marítim de Barcelona van sofrir un retrocés però menor del provocat per temporals anteriors.

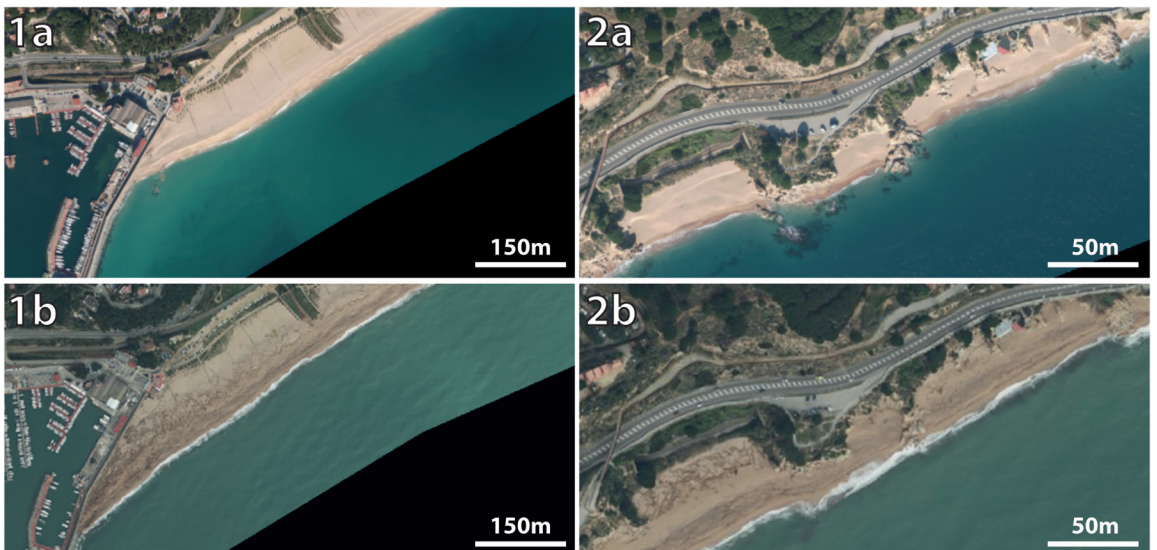
Al delta del Llobregat l'afectació va ser general i molt intensa, sobretot a les platges de Viladecans i Gavà que ja estaven sotmeses a dinàmiques erosives prèvies.

En sectors on la costa està molt artificialitzada, amb proliferació de dics de protecció i espigons perpendiculars o paral·lels a la línia de costa, la protecció de les platges ha estat molt baixa i s'han perdut volums considerables de sorra. Així per exemple, a Sitges el temporal es calcula que es va emportar més 80.000 m³ de sorra (*La Ciutat*, 2020), i a Cubelles i a Cunit l'erosió de la platges va ser general (fig. 5).

A la costa del Baix Penedès les afectacions més grans van ser a les platges del municipi del Vendrell: Coma-Ruga, amb pèrdua del sector de platja enfront de la Marina Blanca, i erosió total de la sorra de la cala Berenguer del Francàs.

A la resta de la Costa Daurada es va produir una erosió important i generalitzada de les platges, amb una pèrdua considerable de sorra, fet que va comportar que el *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico* declarés d'emergència les obres per reparar els danys, i destinés 3,5 milions d'euros per

Figura 4. Platja de Calella de Mar (1) i d'Arenys de Mar (2)
el febrer del 2019 (a) i després del temporal Glòria (b)



actuacions a les platges de tots els municipis de la demarcació de Tarragona, des de Cunit fins a Alcanar (*Diari de Tarragona*, 2020).

Fig. 5. Platja de Cunit el febrer del 2019 (A) i després del temporal Glòria (B). Els espigons paral·lels a la costa formen un seguit de tómbols molt susceptibles als temporals de llevant.



Font: visor de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

2.2. Danys als passeigs marítims i inundació de sectors propers a la costa

A les platges urbanes, la fallada de la funció de protecció de la platja ha comportat l'impacte directe de l'onatge sobre els passeigs marítims que han patit destrosses diverses: esfondraments per descalçament dels murs, esvorancs, aixecament del paviment i mobiliari urbà malmès. Els més afectats han estat aquells passeigs construïts directament sobre la sorra de la platja ja que el temporal els ha descalçat deixant l'estructura del passeig en fals. A Platja d'Aro, per exemple, l'extrem sud del passeig marítim va ser el més perjudicat, al descalçar-se la llosa uns 500 metres al desaparèixer la sorra de la platja que el sostenia. L'esfondrament va afectar l'enllumenat i el mobiliari.

La fallada de la platja junt amb la sobreelevació del nivell del mar i l'energia de l'onatge van provocar la inundació dels carrers i els sectors urbans adjacents a la costa, amb danys materials a cases i negocis. Una de les localitats més afectades va ser Tossa de Mar on l'aigua i l'escuma de mar que va generar el temporal va afectar un total de 162 botigues, restaurants, hotels i altres negocis, situats als carrers de primera línia, causant uns danys que s'han valorat en prop de 2 milions d'euros (*Diari de Girona*, 2020).

Al barri marítim de Torredembarra, al barri de la Salut de Salou i al barri de Vilafortuny de Cambrils, els carrers de primera i segona línia van quedar inundats per l'aigua de mar, que va deixar sorra i restes vegetals acumulades arreu.

Un altre cas destacable és el de la platja Llarga de Tarragona en la qual els càmpings estan emplaçats parcialment sobre les dunes. El temporal va afectar severament aquest sector i es va endur gairebé la totalitat de la platja emergida i bona part del sistema dunar va quedar erosionat. El fort onatge va deixar al descobert l'escullera artificial que es trobava sota les dunes, construïda temps enrere pels gestors dels càmpings per reforçar-ne els seus límits (fig. 6).

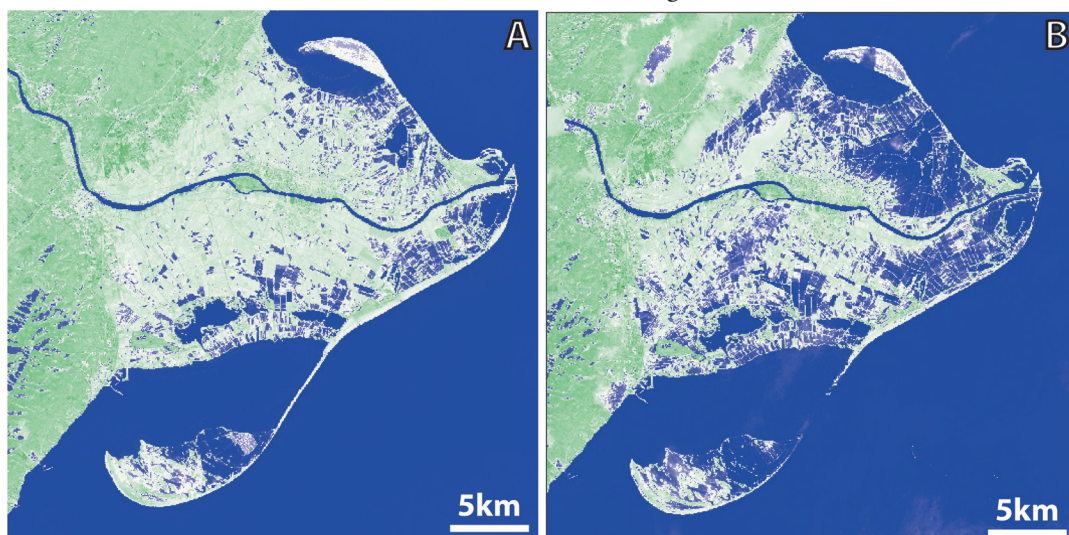
Fig. 6. Platja Llarga de Tarragona el febrer de 2019 (A) i després del temporal Glòria (B). El punt vermell il·lustra el lloc exacte des d'on es va fer la fotografia de la dreta just després del temporal.



Fotografia cedida per SOS Costa Daurada.

Un dels efectes més notoris del temporal va ser la inundació parcial del delta de l'Ebre. El temporal de llevant va comportar també un fort augment del cabal del riu de manera que el delta va sofrir una inundació per partida doble: per una banda el desbordament del riu en alguns punts i, per l'altra, la inundació de la costa per les ones de tempesta i l'*storm surge* provocats per la llevantada.

Fig. 7. Delta de l'Ebre el 16 (A) i el 26 de gener de 2020 (B) segons les imatges de satèl·lit Sentinel 2 processades per a obtenir l'NDVI (*normalized difference vegetation index*). En blau es mostren les zones amb presència d'aigua i en tons verdosos les zones sense aigua.



Dies després del temporal el delta seguia parcialment inundat (fig. 7) i la meitat de la barra del Trabucador havia desaparegut per complet. L'erosió del delta és un fet que té els seus orígens en la construcció dels embassaments de Flix, Mequinensa i Riba-roja, que van tenir lloc entre l'any 1948 i 1969, i han provocat que el delta retrocedís a una taxa de 22 m/any de mitjana (Jiménez, 1996). Els embassaments han comportat una disminució de la quantitat de sediments transportats fins a la desembocadura, però també una minva del cabal, el qual ha disminuït un 15% en els darrers segle a causa de les regulacions. Així, entre el 1957 i el 1990 el delta havia retrocedit més de 1.500 m al cap de Tortosa (Sanchez-Arcilla *et al.*, 1998). La disminució en el subministrament de sediments agreuja el problema de la elevació del nivell del mar, que combinada amb la subsidència que pateix el delta, s'estima en uns 3 mm/any (Ibáñez *et al.* 1997).

2.3. Impactes en els ports

El temporal va comportar greus afectacions a diversos ports. L'efecte combinat de la sobrelevació del nivell del mar i una alçada d'ona significant considerable, superior als 4 m durant tres dies va provocar l'ultrapassament de les estructures de defensa de molts ports i va provocar danys en dàrsenes esportives o pesqueres, instal·lacions portuàries i vaixells. L'onatge de temporal i la variació del nivell del mar modifica la profunditat de l'aigua als voltants dels dics portuaris i, per tant, els patrons de propagació de l'onatge, cosa que afecta, potencialment, l'estabilitat i el socavament dels dics (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2016). Els informes sobre la vulnerabilitat dels ports ja contempnen els efectes del canvi climàtic (Sierra *et al.*, 2015) i es considera que l'ascens del nivell del mar previst en els diferents escenaris augmentaria el risc d'ultrapassament, fet que afectaria entre deu i vint ports segons quin sigui l'escenari i el període de retorn de la tempesta. En aquest temporal però s'han vist afectats molts altres ports a més dels considerats com de més alt risc (fig. 3). Així, els ports que més van patir l'efecte del temporal van ser els de les Cases d'Alcanar, l'Ampolla, l'Ametlla de Mar, Blanes, Sant Feliu de Guíxols i Palamós. L'empresa pública Ports de la Generalitat, adscrita al Departament de Territori i Sostenibilitat, va avaluar en 7 milions d'euros el valor de les obres d'emergència necessàries per reparar les destrosses provocades pel temporal. També van patir danys materials encara que de menor quantia els ports de Portbou, Mataró, Arenys de Mar, Badalona i Tarragona entre molts d'altres.

2.4. Acumulació de restes vegetals i altres materials a la platja

El temporal Glòria ha deixat a moltes platges, sobretot les situades a les proximitats de la desembocadura de rius i rieres, una gran quantitat de troncs, branques, algues, peixos morts, plàstics i altres objectes de tot tipus.

Nombrosos grups de ciutadans mobilitzats sota l'espontani reclam de *Voluntaris del Glòria*, es van organitzar per retirar els materials més nocius com els plàstics i els objectes de metall i vidre. Dies més tard, molts ajuntaments van organitzar jornades de neteja per retirar els materials acumulats a les platges. Les restes vegetals més voluminoses, es van retirar amb maquinària pesant i generalment es van acumular en pilots al llarg de les platges per a ser cremades sobre el sorral mateix. A Blanes, per exemple, es van recollir més de 30 tones de residus que es van separar en fraccions diferents per facilitar-ne el posterior reciclatge (*Gerió Digital*, 2020). Entre les restes més nombroses destaquen les vegetals: canyes, fulles, troncs, branques i pinyes, tot i que també s'han dipositat una important quantitat de plàstics i microplàstics. Els residus vegetals més abundants van ser les canyes i els troncs o branques d'arbres i d'arbusts que van ser arrossegats per les fortes avingudes dels rius i rieres. Una de les imatges més impactant va ser la de la platja del Cavaió, d'Arenys de Mar, on la matèria orgànica superava el metre d'acumulació (fig. 8).

Figura 8. Voluntaris retirant restes de matèria orgànica i plàstics a la platja del Cavaió d'Arenys de Mar després del temporal Glòria



Fotografia cedida per l'associació ecologista Arenys pel Món

2.5. Afectació a les praderies de posidònia

L'onatge del temporal ha afectat greument algunes de les praderies de posidònia localitzades en front de la costa catalana. La posidònia (*Posidonia oceanica*) és una planta fanerògama que arrela en els fons marins sorrencs o fangosos propers a la costa, entre els 5 i els 25 m de profunditat. A vegades va acompanyada de la cimodocea (*Cymodocea nodosa*) i la zostera (*Zostera*

marina), també fanerògames marines però que actuen com a plantes pioneres de la colonització vegetal d'aquests substrats. Les praderies, a més de retenir sediments, constitueixen un hàbitat de gran valor com a refugi de crustacis, mol·luscs i alevins de moltes espècies de peixos.

El fort onatge dels temporals com el Glòria té la capacitat de descalçar i arrencar les plantes, cosa que provoca una regressió de la superfície de les praderies. Una de les més afectades ha estat la praderia de Mataró, que ocupa unes 600 ha davant les costes d'aquesta localitat, i que hauria sofert el retrocés més important en els 23 anys que està sotmesa a seguiment (AM, 2020). A can Comes (Castelló d'Empúries) en canvi, van ser les restes de *Cymodocea nodosa* les que es van trobar a bastament sobre la platja.

2.6. Formació d'escuma de mar

El fort onatge de llevant generat pel temporal Glòria va tenir, entre les seves repercussions sorprenents, la presència d'una notable bromera d'escuma en molts punts del litoral de la Costa Brava. El volum d'escuma va prendre dimensions notables a Tossa de Mar, on va envair diversos carrers del poble, i també va ser força aparent a Llançà i Roses.

L'escuma a l'aigua es forma per la presència de matèria orgànica dissolta que funciona com un tensioactiu. L'agitació de l'aigua per l'onatge forma petites bombolles d'aire que generalment són efímeres, però quan hi ha substàncies tensioactives aquestes afavoreixen la persistència de les bombolles o escuma. La matèria orgànica pot procedir de diverses fonts: l'aigua de les rieres que desguassen a la platja, com podria ser el cas de Tossa de Mar, un augment de la densitat del plàncton marí, o provenir d'abocaments accidentals d'aigües residuals.

3. Costes resilients: el sistema platja-duna enfront el temporal

Les formes dunars ocupen la part alta de les platges i formen, juntament amb aquestes, un únic sistema que ofereix protecció als béns i serveis ubicats a primera línia de mar. Al llarg de les darreres dècades la major part de dunes del litoral català han estat reemplaçades per construccions o altres elements rígids (Garcia-Lozano i Pintó, 2017; Garcia-Lozano *et al.*, 2020), fet que compromet l'estabilitat de tot el sistema platja-duna. Actualment la major part de sistemes dunars es troben en trams de costes naturals, espais que ocupen una porció de la costa catalana molt minsa en comparació als trams urbanitzats (Pintó *et al.*, 2018).

El temporal Glòria va afectar de forma més moderada els indrets protegits per les barreres naturals que formen les dunes en bon estat de conservació. El sector sud del golf de Roses i la badia de Pals exemplifiquen com la gestió contribueix

Fig. 9. Platja de la Pletera (Torroella de Montgrí) a finals de gener, poc després del temporal Glòria. A la part superior s'observa la fuga de sediment cap a l'espai de maresma a causa de la ruptura del cordó dunar. La part inferior mostra la gran resiliència dels cordons dunars ben gestionats, sense discontinuïtats i reforçats per trames de sorra.



a conservar i millorar l'estat geomorfològic del sistema dunar (Roig-Munar *et al.*, 2020). La gestió del sistema platja-duna ha reforçat la resiliència de les dunes en les platges de Sant Pere Pescador i la Pletera (Torroella de Montgrí) (fig. 9). Les trames de sorra implementades no només han contribuït a incrementar la sorra disponible per fer front als temporals de mar, sinó que permeten la ràpida recuperació del sistema una vegada ha passat el temporal.

Els cordons dunars són un reforç per pal·liar els efectes del temporal i evitar la fuga de sediment terra endins. La presència d'un cordó dunar o *foredune* evita que l'erosió causi estralls irreversibles en el sistema platja-duna. Els lòbuls de deflació o *blowouts* que s'observen a la figura 9 són espais de debilitat del cordó dunar i propicien la pèrdua de sediment del sistema cap a la zona de maresmes. Aquesta pèrdua de sediment és irreversible i no es veu compensada per l'arribada de nou sediment a la platja que, des d'unes dècades ençà, ha disminuït molt a causa de varis factors ja comentats anteriorment, la qual cosa aboca tant les platges com les dunes a una erosió permanent.

4. Lliçons apreses del temporal

És un fet comunament acceptat que les platges executen tres tipus de funcions. En la seva funció de protecció, la platja dissipa l'energia de l'onatge incident durant l'impacte dels temporals. La platja emergida ha de ser prou ampla com

perquè durant i després de l'impacte de la tempesta quedi una franja de platja protegint les infraestructures existents, per exemple el passeig i els edificis de primera línia ja que si això no succeeix, aquestes queden exposades o afectades i es produeix una fallada de la platja. En la seva funció recreativa la platja serveix com a zona d'esplai i oci per als usuaris. Quan les platges es prioritzen per a ús recreatiu, la platja ha de proveir els recursos, els serveis i la seguretat perquè es puguin desenvolupar aquestes activitats de forma òptima. Si la platja no compleix les condicions físiques necessàries o el gestor no proveeix els serveis necessaris, també es produeix una fallada de la platja. Finalment en la seva funció natural, la platja i les dunes són l'hàbitat d'un conjunt de comunitats que en condicions naturals colonitzen aquests ambients. Si els ecosistemes es degraden o es veuen impossibilitats de prosperar a causa d'una gestió de la platja que només contempla la perspectiva de protecció o recreativa es produeix també una fallada de la platja.

Actualment, les polítiques internacionals per a la gestió dels mars i la costa, com el *Mediterranean Action Plan* (MAP), proposen estratègies de sostenibilitat basades en els principis de la gestió ecosistèmica, les quals estan emergint com el paradigma dominant en la gestió dels recursos naturals i el medi ambient. Durant les dues últimes dècades, a partir de recomanacions internacionals de Nacions Unides, han proliferat un conjunt de noves normatives (noves Directives Europees integrades) que obliguen a canviar la forma en què ens relacionem amb el medi natural. La societat està alterant determinats processos sistèmics del planeta i provocant-ne canvis notables; el procés d'erosió de les platges n'és un bon exemple. S'han d'acomodar els processos de gestió a aquestes noves necessitats. És per això que es recomana adoptar a mig i llarg termini un nou model de gestió integral de platges basat en l'enfocament ecosistèmic seguint aquestes noves normatives.

L'enfocament ecosistèmic (*Ecosystem Approach*) és l'estratègia proposada per Nacions Unida i recollida en la legislació internacional i europea, per a la relació de les societats humanes amb el medi natural. L'instrument de gestió per desenvolupar aquesta estratègia es coneix com gestió per ecosistemes (*Ecosystem-Based Management*) (Sardà *et al.*, 2013). Un cop coneguda la informació sobre l'evolució de les platges i la seva problemàtica, el canvi de model està basat en els 12 principis bàsics de l'enfocament ecosistèmic així com en els principis bàsics de la gestió integrada de zones costaneres (taula 1).

Un dels principis de l'enfocament ecosistèmic és entendre l'ecosistema en un context econòmic, cosa que implicaria contemplar el conjunt d'accions d'adaptació als possibles temporals futurs derivats de la variable climàtica mitjançant una anàlisi cost/benefici per a la població. Les funcions de la platja solen complir-se de forma integrada i, en alguns casos de forma sinèrgica. Així, una platja que mantingui els seus ecosistemes naturals, per exemple els cordons dunars darrere de la platja, o les barres naturals i les praderies de fanerògames davant la platja submergida, presentarà una millor funció de protecció que

aquella platja en què aquests sistemes hagin desaparegut. No obstant això, l'estat actual de la costa fa que, la major part de les vegades, aquestes no compleixin totes les funcions i, sobretot en el cas de les funcions recreativa i natural, donat el tipus de gestió aplicat, siguin excloents: platges orientades a l'oci i platges naturals o seminaturals.

Taula 1. Principis bàsics del enfocament ecosistèmic (Convention Biological Diversity, 1998) i de la Gestió integrada de zones costaneres (EC, 2000).

Gestió per ecosistemes (Convention Biological Diversity, 1998. Principis de Malawi)

- Objectius de la gestió com visió desitjada (*societal choice*)
- Gestió descentralitzada (*lowest appropriate level*)
- Centrar-se en els efectes ecosistèmics (*effects, actual or potential*)
- Entendre l'ecosistema en un context econòmic que: (i) redueix les distorsions del mercat que repercuteixen negativament en la diversitat biològica; (ii) promou la conservació de la biodiversitat i l'ús sostenible; i, (iii) internalitza els costos i beneficis en l'ecosistema
- Conservar l'estructura i funcionament per mantenir el serveis dels ecosistemes (*ecosystem services*)
- Gestió segons el funcionament de l'ecosistema (*limits of their functioning*)
- Gestió escalar (*appropriate spatial and temporal scales*)
- Reconèixer la necessitat de gestionar en el llarg termini (*long-term objectives*)
- Acceptar el canvi (*change is inevitable*)
- Equilibri entre conservació i utilització de la diversitat biològica (*biological diversity*)
- Treballar amb la informació disponible (*all forms of relevant information*)
- Participació social (*involve all relevant sectors of society and science*)

Gestió integrada de zones Costaneres (EC, 2000. Gestió integrada de zones costaneres)

- Perspectiva àmplia (*wide ranging perspective*)
- Entendre l'àrea en la qual es realitza (*understanding specific conditions*)
- Centrar-se en els processos naturals (*work with natural processes*)
- Participació pública (*use participatory processes*)
- Implicació de totes les administracions (*all relevant administrative bodies*)
- Combinació d'instruments i enfocaments (*combination of them*)
- Gestió escalar (*considering spatial and temporal issues*)

5. Conclusions

La solució al problema de l'erosió de la costa causada pels temporals passa per analitzar aquest problema des de la perspectiva de la Gestió Integrada de la Costa (GIC) a una escala temporal de mig i llarg termini. Per assegurar un correcte funcionament de les platges com sistemes naturals que garanteixin les seves funcions ambientals és necessari que es consideri la implementació d'un nou model de gestió basat en l'enfocament ecosistèmic.

Aquest nou model comporta que les actuacions a la costa s'hagin de plantejar amb una visió més estratègica, basada en la renaturalització de la costa, restaurant els sistemes dunars a les platges on sigui possible, i orientada a adquirir unes capacitats més altes d'adaptació i resiliència als nous patrons climàtics i a les noves condicions del clima d'onatge que es preveuen en un futur no massa llunyà. Així, per exemple, tendir a recuperar els perfils de platja històrics, evitant en la mesura del possible la rigidització i artificialització de la costa, relocalitzant alguns dels elements que fins ara es situen sobre la platja. I corregir, també fins on es pugui, el dèficit sedimentari que les platges presenten en l'actualitat per aconseguir un ample de platja capaç de dissipar l'energia dels temporals, en el benentès que en els temporals de període de retorn llarg, fins i tot podria no ser suficient i s'hauria de disposar com a precaució d'altres mesures de reforç per seguretat.

Per plantejar aquestes mesures és indispensable disposar d'un bon sistema d'informació, basat en la recollida de dades d'indicadors clau sobre el funcionament del sistema platja-duna.

Bibliografia

- AJUNTAMENT DE MATARÓ (2020). <http://www.mataro.cat> (consulta 20/04/2020).
- BERDALET, E.; C. MARRASÉ; J. L. PELEGRÍ [ed.] (2020). *Resum sobre la formació i conseqüències de la borrasca Glòria (19-24 gener 2020)*. Barcelona: Institut de Ciències del Mar.
- CENTRE INTERNACIONAL D'INVESTIGACIÓ DELS RECURSOS COSTANERS (CIIRC) (2009). *Llibre verd sobre l'estat de la zona costanera a Catalunya*. Informe inèdit: <http://territori.gencat.cat/> (consulta: 12/04/2020).
- Diari de Girona* (2020). <http://diaridegirona.cat> (consulta 24/02/2020).
- Diari de Tarragona* (2020). <http://www.diaridetarragona.com> (consulta 27/04/2020).
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2006). *The changing faces of Europe's coastal areas*. EEA Report No 6/2006. Copenhagen: European Environment Agency.
- GARCIA-LOZANO, Carla; JOSEP PINTÓ (2017). "Current status and future restoration of coastal dune systems on the Catalan shoreline." *Journal of Coastal Conservation*. DOI 10.1007/s11852-017-0518-4.
- GARCIA-LOZANO, Carla; JOSEP PINTÓ; FRANCESC X. ROIG-MUNAR (2020). "Set of indices to assess dune development and dune restoration potential in beach-dune systems on Mediterranean developed coasts". *Journal of Environmental Management*, vol. 259. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109754>
- Gerió Digital, El* (2020). <http://www.gerio.cat> (consulta 18/03/2020).

- GUILLÉN, J.; A. PALANQUES (1992). "Sediment dynamics and hydrodynamics in the lower course of a river highly regulated by dams: the Ebro River". *Sedimentology*, núm. 39 (4), p. 567-579. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1992.tb02137.x>
- IBÁÑEZ, C.; A. CANICIO; J. W. DAY; A. CURCÓ (1997). "Morphologic development, relative sea level rise and sustainable management of water and sediment in the Ebre Delta, Spain". *Journal of Coastal Conservation*, núm. 3, p. 191-202.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013. The Physical Science Basis*. Suïssa: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- JIMÉNEZ, J. A.; A. SÁNCHEZ-ARCILLA; H. I. VALDEMORO; V. GRACIA; F. NIETO (1997). "Processes reshaping the Ebro delta". *Marine Geology*, núm. 144, p. 59-79.
- La Ciutat*. <http://www.laciutat.cat> (consulta 16/02/2020).
- LIONELLO, P.; S. COGO; A. GALATI (2008). "The Mediterranean surface wave climate inferred from future scenario simulations". *Global and Planetary Change*, núm. 63, p. 152-162.
- LLURDÉS, Joan Carles; Gerda K. PRIESTLEY; Francesc ROMAGOSA (2007). *Informe del sector del turisme. 2026.CAT. Estratègia per al desenvolupament sostenible de Catalunya*. Generalitat de Catalunya.
- LOSADA, I.; C. IZAGUIRRE; P. DIAZ (2014). *Cambio climático en la costa española*. Madrid: Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- OBSERVATORIO DE LA SOSTENIBILIDAD (2014). *Sostenibilidad en España, SOS 14*. <http://www.observatoriosostenibilidad.com/SOS%202014%20v22.pdf> (consulta: 14/04/2020).
- PINTÓ, Josep; Carolina MARTÍ; Rosa M. FRAGUELL (2014). "Assessing current conditions of coastal dune systems of Mediterranean developed shores". *Journal of Coastal Research*, núm. 30 (4), p. 832-842.
- PINTÓ, Josep; Carla GARCIA-LOZANO (2016). "Transformació històrica recent i situació actual del paisatge dunar a Catalunya", dins: Francesc X. ROIG-MUNAR [ed.]. *Restauració i gestió de sistemes dunars. Estudi de casos*. Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis; Ajuntament de Torroella de Montgrí (Recerca i Territori; 8), p. 82-98.
- PINTÓ, Josep; Carla GARCIA-LOZANO; Francesc X. ROIG-MUNAR (2018). "L'espai litoral", dins: R. FOLCH; J. PEÑUELAS; D. SERRAT [ed.]. *Natura: ús o abús?* Barcelona: Institució Catalana d'Història Natural; Institut d'Estudis Catalans. <https://doi.org/10.2436/15.0110.22.14>
- PUERTOS DEL ESTADO (2020). *Datos de la boya de cabo Begur i de la boya de Tarragona*. <http://www.portus.puertos.es> (consulta 20/02/2020).
- ROIG-MUNAR, Francesc X.; Carla GARCIA-LOZANO; Josep PINTÓ; José A. MARTÍN-PRÍETO (2020). "Spatiotemporal evaluation of the geomorphological state of beach-dune systems using management criteria". *Land Degradation and Development* (en premsa). <https://doi.org/10.1002/ldr.3677>
- SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; J. A. JIMÉNEZ; H. I. VALDEMORO (1998). "The Ebro delta: Morphodynamics and vulnerability". *Journal of Coastal Research*, núm. 14 (3), p. 754-772.
- SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; V. GRACIA; J. P. SIERRA; M. GARCIA-LEÓN; C. MOSSO (2016). "Sistemes costaners i dinàmica litoral", dins: *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans i Generalitat de Catalunya.
- SARDÁ, Rafael; Josep PINTÓ; Josep Francesc VALLS [ed.] (2013). *Hacia un nuevo modelo integral de gestión de playas*. Girona: Documenta universitaria.
- SIERRA, J. P.; I. CASANOVAS; C. MOSSO; M. MESTRES; A. SÁNCHEZ-ARCILLA (2015). "Vulnerability of Catalan (NW Mediterranean) ports to overtopping due to diferent scenarios of sea level rise". *Regional Environmental Change*, núm. 16 (5), p. 1457-1468.