

**Resum sobre la  
Formació i  
Conseqüències de la  
Borrasca Glòria**  
(19-24 gener 2020)

**Institut de Ciències del Mar**

Editors: Elisa Berdalet, Cèlia Marrasé, Josep L. Pelegrí

Autors (en ordre alfabètic): Belén Alonso, Laura Arin, Elisa Berdalet, Jordi Camp, Joan B. Company, Gemma Ercilla, Esther Garcés, Emili García-Ladona, Jorge Guillén, Antoni Lombarte, Josep L. Pelegrí, Francesc Peters, Laura Recasens, Jordi Salat, Nagore Sampedro, Magda Vila

20 de març de 2020

Institut de Ciències del Mar, CSIC  
Institut Català de Recerca per a la Governança del Mar

Resum sobre la Formació i Conseqüències de la Borrasca Glòria (19-24 gener 2020). Elisa Berdalet, Cèlia Marrasé, Josep L. Pelegrí (eds.), Institut de Ciències del Mar, CSIC, 20 de març de 2020, 38 pp, DOI: 10.20350/digitalCSIC/12496.



# Índex

	Pàgina
<b>Resum executiu . . . . .</b>	<b>1</b>
<b>1. Aparició i evolució de la borrasca Glòria . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>2. Característiques sobre el litoral català . . . . .</b>	<b>5</b>
1.1 Vents i precipitació	
1.2 Nivell del mar, onatge i corrents	
<b>3. Impacte sobre la franja litoral . . . . .</b>	<b>15</b>
3.1 Introducció	
3.2 Vulnerabilitat a la costa catalana: exemples de dinàmica litoral	
3.3 Pèrdues i aportacions de sediments a la platja	
3.4 Gestió integral del sediment	
<b>4. Impacte sobre l'ecosistema marí . . . . .</b>	<b>25</b>
4.1 Plàncton	
4.2 Proliferacions de microalgues bentòniques	
4.3 Formació d'escuma marina	
4.4 Impactes sobre les comunitats de megafauna	
<b>5. Impactes en l'activitat pesquera i l'aqüicultura . . . . .</b>	<b>33</b>
5.1 Impactes en l'activitat pesquera	
5.2 Impactes en l'aqüicultura	
<b>Reflexions finals . . . . .</b>	<b>37</b>

La Borrasca Glòria – 19-24 gener 2020

## **Resum sobre la Formació i Conseqüències de la Borrasca Glòria (19-24 gener 2020)**

### **Resum executiu**

La borrasca o tempesta Glòria, que va néixer el 17 de gener de 2020 a l'Atlàntic Nord com una petita perturbació, va tenir un important impacte sobre les Illes Balears i tot el litoral llevantí de la Península Ibèrica, entre el Cap de Creus i el Cap de la Nao. Del 19 al 24 de gener, tota la part oriental de la Península Ibèrica va experimentar fortes precipitacions (valors màxims de més de 400 litres/m<sup>2</sup>), i al llarg de tota la costa llevantina van bufar forts vents (amb valors mitjans de 15 m/s i ratxes de fins a 36 m/s), es va produir un notable increment en el nivell de la mar (fins a més de 0,6 m), forts corrents (amb valors màxims per sobre de 0,8 m/s) i onatge extrem (altura significant màxima al voltant dels 8 m). Tot això va impactar severament la costa, on les platges van experimentar una reculada significativa, particularment les obertes amb orientació est i nord-est. També va causar notables inundacions que van afectar tant estructures costaneres com formacions naturals, molt especialment, el Delta del Ebre.

La importància del temporal i el seu efecte sobre el fons marí pot comportar futurs canvis, detectables a primavera i l'estiu per exemple, en l'estructura i composició de les comunitats bentòniques, incloses les macroalgues, macròfits i microbentos. En canvi, d'altres efectes van ser immediats. Entre ells destaca la presència de més de mig metre d'escuma marina als carrers de Tossa de Mar, empesa del mar cap a terra, originada per la forta agitació de matèria orgànica provinent dels sediments marins i de fonts continentals. D'altra banda, la gran suspensió i arrossegament de sediments costaners va representar una significativa pèrdua d'hàbitats d'organismes sèssils a la zona litoral i la plataforma continental més costanera.

L'activitat pesquera va cessar totalment durant el temporal i, com a mínim en la setmana següent, els pescadors van tenir serioses dificultats per a desenvolupar la seva feina per culpa dels sediments aportats pels rius i al trasllat, per l'onatge i els corrents marins, d'aquests sediments, així com tota mena de residus, al llarg de la zona litoral i la plataforma continental més pròxima a costa. A més, les gàbies d'engreixament de tonyina i estris de pesca instal·lats al mar van sofrir importants danys.

La notable pèrdua de sediments a les platges es va contraposar als guanys per aportacions fluvials i continentals, que van resultar per exemple en la formació de barres a la desembocadura de rius. La descàrrega d'aigües continentals també va representar una important entrada de nutrients cap a la franja costanera, que va ocasionar un posterior increment en l'abundància de fitoplàncton. Això es va ratificar amb dades de la concentració de clorofil·la en aigües costaneres davant la ciutat de Barcelona, la qual va augmentar unes dues setmanes després de l'inici del temporal. Aquest increment en la comunitat fitoplanctònica s'hauria de transmetre a través de les xarxes tròfiques fins a les pesqueries. Cal suposar que en els pròxims mesos augmentin les captures d'algunes espècies comercials de nivells tròfics baixos i mitjans.

La borrasca Glòria il·lustra un escenari de risc natural molt intens, però no extrem. Per exemple, una borrasca amb un nucli de pressió 20 o 30 hPa menor que el del Glòria, característic dels forts temporals de llevant, hagués tingut efectes encara més devastadors. Es tracta d'una lliçó clara sobre de la vulnerabilitat del litoral mediterrani a pertorbacions atmosfèriques intenses, amb molt importants afectacions no sols a les comunicacions terrestre-marítimes i a les infraestructures turístiques, sinó també a gran part de l'ecosistema marí i litoral, i de retruc a les pesqueries i l'aqüicultura.

Les prediccions de canvi climàtic indiquen que el nivell mitjà de la mar augmentarà i les tempestes extremes podrien ser més freqüents en les pròximes dècades. Per tant, és indispensable millorar la nostra capacitat de predicció d'aquests esdeveniments i de les seves conseqüències. Això requereix establir i mantenir sèries temporals d'observació de les variables oceanogràfiques i ecosistèmiques essencials en diferents punts de la costa, així com estudiar la dinàmica que controla l'evolució del medi físic i les comunitats del medi marí, especialment les bentòniques i costaneres. Aquests estudis hauran de venir acompanyats dels anàlisis de sensibilitat i resiliència dels sistemes litorals i marins, així com de l'estudi de les possibles mesures preventives i pal·liatives, que inclouran des d'una millor capacitat d'observació i predicció a curt i llarg termini fins al desenvolupament d'una gestió integral i naturalitzada de la conca hidrogràfica dels rius, la línia de costa i la plataforma continental.

## 1. Aparició i evolució de la borrasca Glòria

Josep L. Pelegrí

La borrasca Glòria fou batejada per l'Agència Espanyola de Meteorologia el divendres 17 de gener de 2020, com una pertorbació relativament superficial i petita (uns 600 km de diàmetre) localitzada a la part central de l'Oceà Atlàntic Nord (29°O, 49°N a les 12:00 UTM del 17 de gener) (Fig. 1). Aquesta pertorbació es va anar desenvolupant en alçada alhora que es desplaçava ràpidament cap a l'est. Només 24 hores més tard (12:00 UTM del 18 de gener) la borrasca havia pràcticament doblat la seva mida i s'havia endinsat fins a l'extrem exterior del Mar Cantàbric (9°O), mentre que més al sud (centrat a 14°O, 33°N) es reforçava una regió d'alta pressió (Fig. 1).

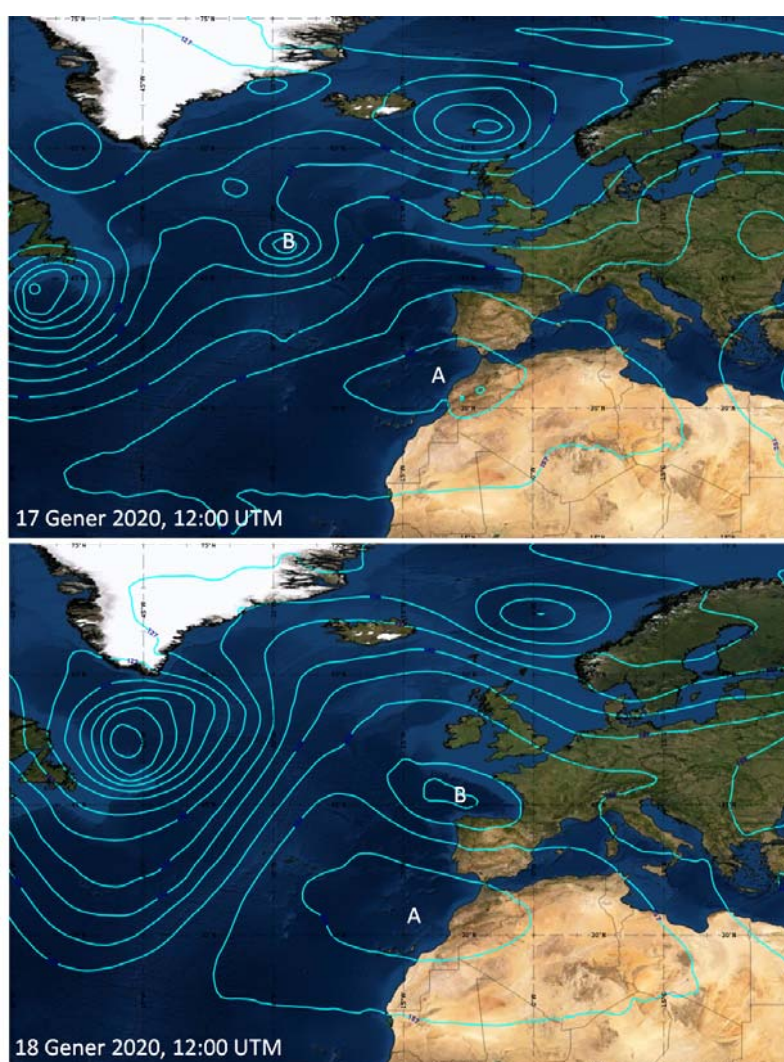


Figura 1. Distribució de l'altura geopotencial a 850 hPa els dies 17 i 18 de gener de 2020, que identifica la regió de baixes pressions de la borrasca Glòria (B) i la zona d'alta de pressió que la va acompanyar durant tot l'esdeveniment (A). Durant aquests primers dies, la zona d'alta pressió es va localitzar al sud de la borrasca. Mapes produïts amb Eumetrain.



## La Borrasca Glòria – 19-24 gener 2020

Des de la tarda del 18 de gener i durant tot el 19 de gener, la depressió va continuar movent-se molt ràpidament cap al Mediterrani occidental mentre que l'alta (anticicló) entrava cap a les Illes Britàniques; més a l'oest, a l'Atlàntic central apareixia una segona depressió que es va anar conformant com una estructura tipus omega, amb una zona d'altres pressions penetrant cap al nord envoltada de dues regions de baixes pressions (00:00 del 19 de gener). El dipol format per l'anticicló central i la borrasca Glòria va continuar la seva rotació ciclònica, de manera que els dies 19 i 20 de gener es va situar al nord de la baixa, en forma d'estructura tipus *Rex block* (Fig. 2).

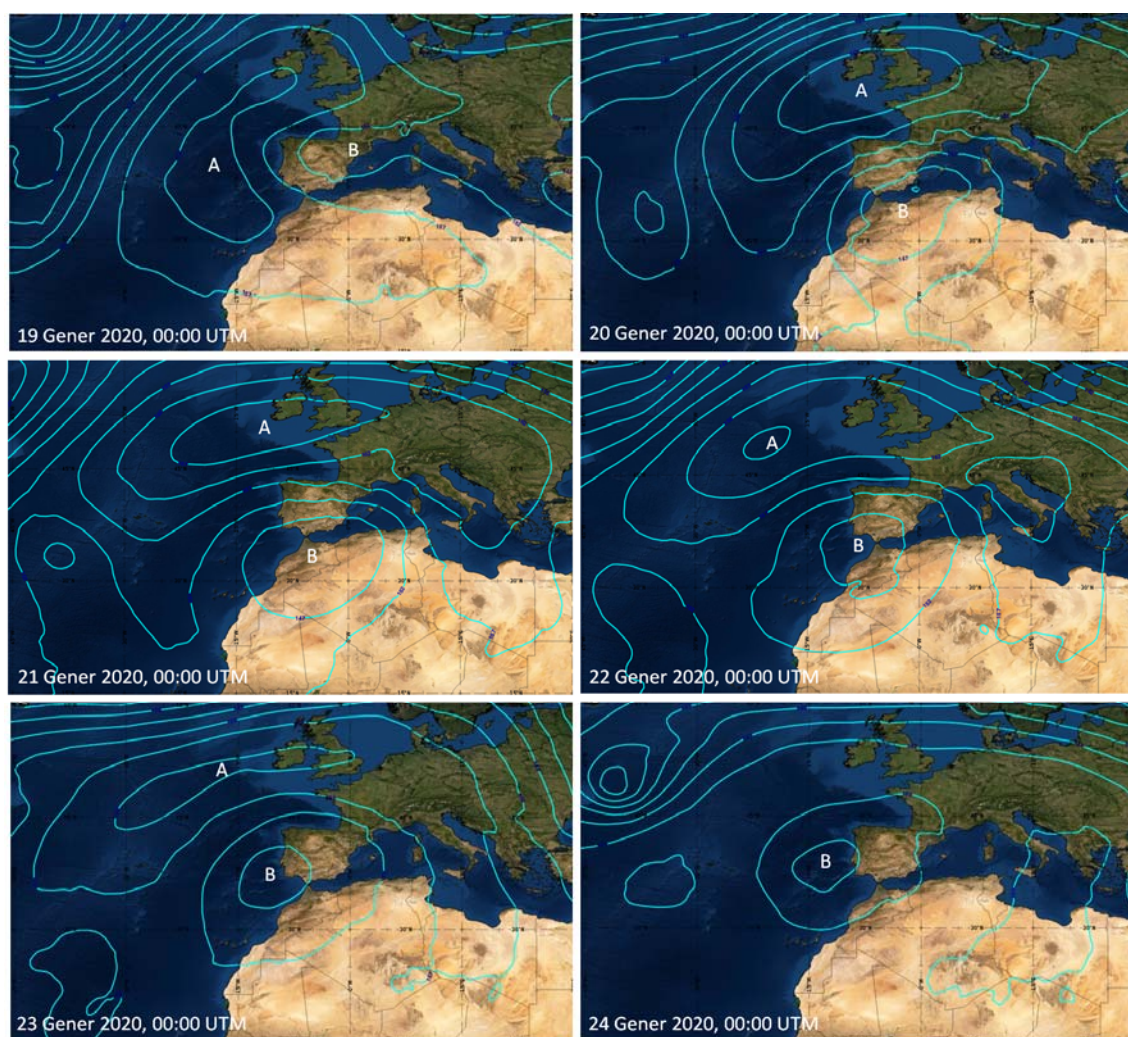


Figura 2. Distribució de l'altura geopotencial a 850 hPa entre el 19 i el 24 de gener de 2020. El dies 19 i 20 de gener la zona anticiclònica d'altres pressions (A) es va desplaçar cap al nord de la borrasca Glòria (B). Entre el 20 i 23 de gener totes dues zones estaven ben delimitades, en forma de dipol, i el 24 de gener l'anticicló ja havia desaparegut. Mapes produïts amb Eumetrain.

A partir del 21 de gener la baixa sobre el nord d'Àfrica es va anar afeblint, malgrat que l'anticicló encara va romandre bastant intens un dia més. El 23 de gener el dipol ja es veia molt més dèbil i el 24 de gener l'alta va desaparèixer i la baixa ja restava molt afeblida (Fig. 2).



## 2. Característiques sobre el litoral català

Josep L. Pelegrí, Emili García-Ladona, Jordi Salat

### 2.1 Vents i precipitació

Els vents màxims sobre la Península Ibèrica es van desenvolupar el 20 i 21 de gener, quan la diferència de pressió entre l'alta ubicada al sud de les Illes Britàniques i la baixa localitzada al nord d'Àfrica eren màxims (Figs. 2 i 3).

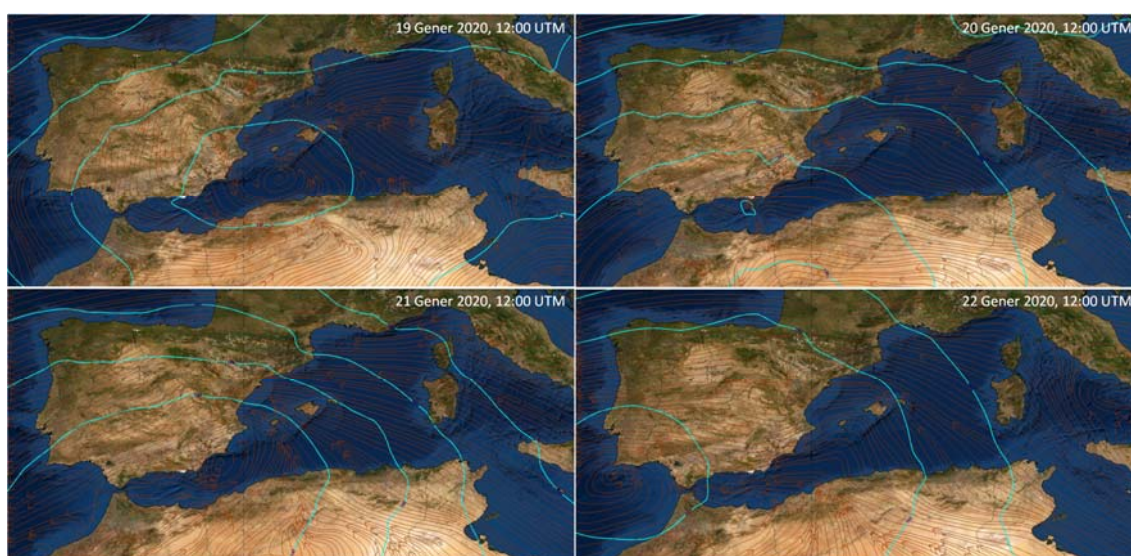


Figura 3. Distribució de l'altura geopotencial a 850 hPa entre el 19 i 22 de gener de 2020 en el Mar Mediterrani occidental (línies blaves), amb línies de flux del vent a superfície (línies vectorials marrons). Mapes produïts amb Eumetrain.

La Figura 4 mostra la intensitat del vent (mitjanes horàries) entre els dies 15 i 27 de gener de 2020 en una boia localitzada sobre la plataforma continental del Cap de Begur. La sèrie temporal mostra valors màxims durant els dies 20 i 21 de gener, amb vents de llevant d'uns 15 m/s.

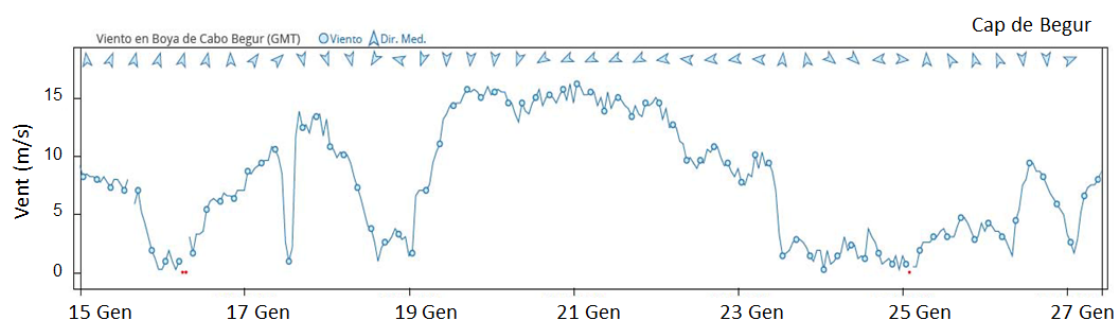


Figura 4. Velocitat i direcció dels vents mitjans horaris a Cap de Begur, 21 a 27 de gener de 2020 (dates a les 20:00 hores GMT) (Puertos del Estado).

Els valors màxims dels vents mitjans, inicialment del nord-est i finalment del sud, van ser ocasionats per diferències de pressió d'uns 40 hPa sobre una distància d'uns 1500 km (Fig. 5). Els valors màxims absoluts, en forma de ratxes de vent, van assolir els 31 m/s sobre el litoral mediterrani i uns 36 m/s a la part central de la Península Ibèrica.

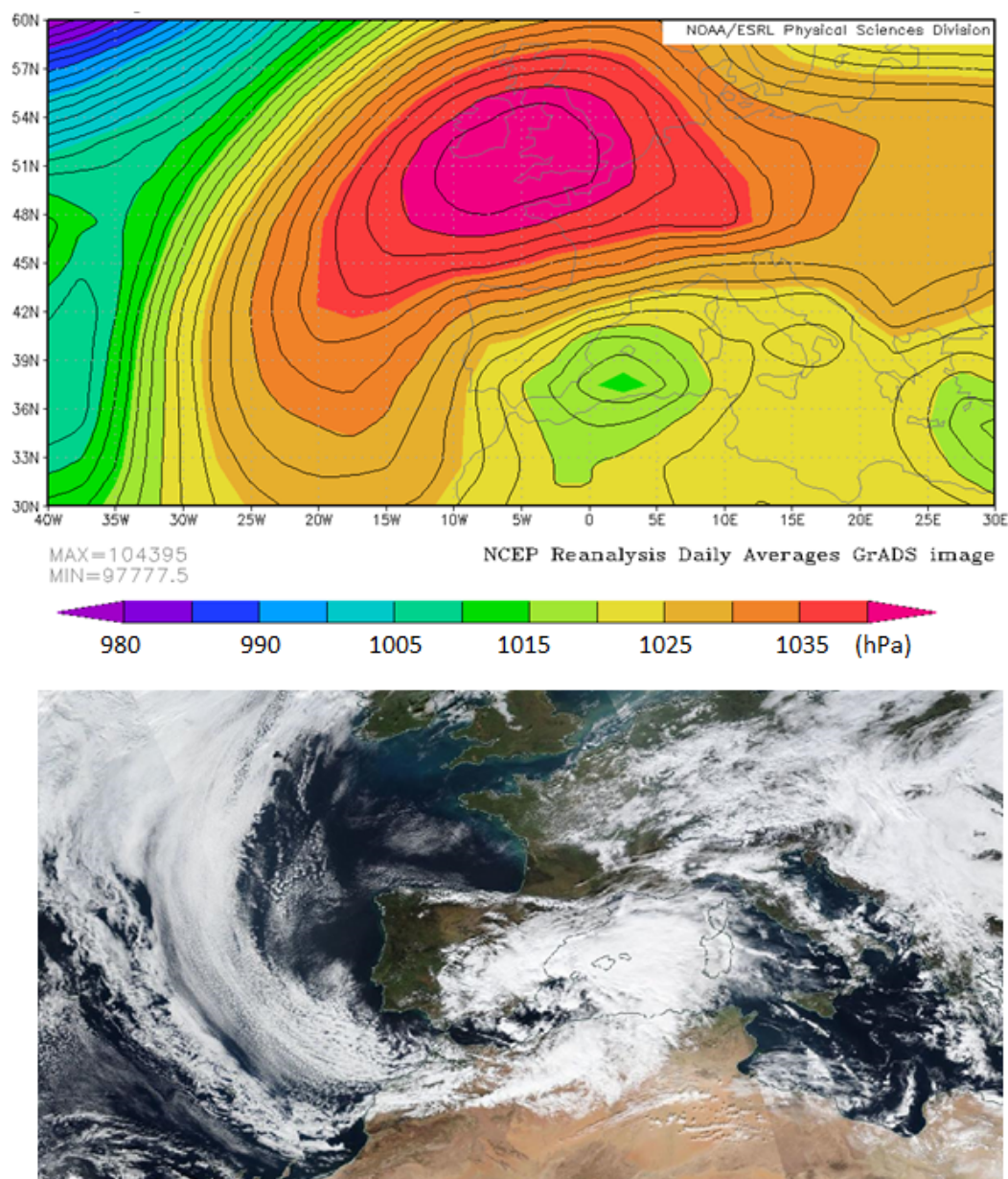


Figura 5. Situació al 19 de gener de 2020. (Superior) Distribució de la pressió en superfície (hPa) (reanàlisi NCEP, valor mitja diari, ESRL-NOA). (Inferior) Imatge visible amb el sensor MODIS a bord del satèl·lit SUOMI-NPP.

La Figura 5, corresponent al dia 19 de gener, combina el camp de pressió en superfície, amb valors baixos al sud de les Illes Balears, amb una imatge de satèl·lit en l'espectre visible que destaca el nucli de núvols associat a la borrasca sobre tot el Mediterrani occidental. Simultàniament, al marge atlàntic de la Península Ibèrica, s'aprecia una banda de núvols associada a l'entrada de l'anticicló des de l'extrem nord-oest d'Àfrica (veure també la Fig. 2).

La borrasca Glòria va venir acompanyada d'una cobertura de núvols molt notable, que portaren importants precipitacions sobre tot el litoral Mediterrani entre el 19 i el 23 de gener. Durant aquest període, en alguns punts de Catalunya es van superar els 400 litres/m<sup>2</sup> (Fig. 6).

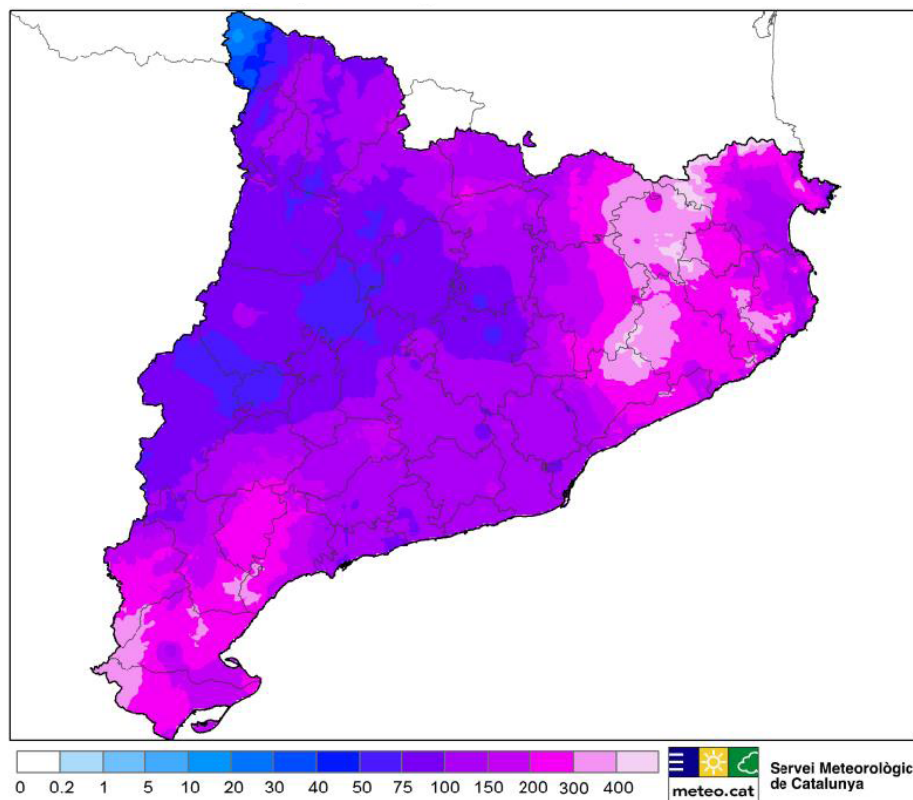


Figura 6. Precipitació acumulada (litres/m<sup>2</sup>) entre el 19 i el 23 de gener de 2020 sobre Catalunya (Servei Meteorològic de Catalunya).

La localització de la baixa de pressió (Figs. 2 i 3) va ocasionar, entre el 21 i el 23 de gener, vents intensos sobre el nord d'Àfrica, responsables del transport de grans quantitats de pols en suspensió que van cobrir la major part del Mediterrani occidental (Fig. 7).



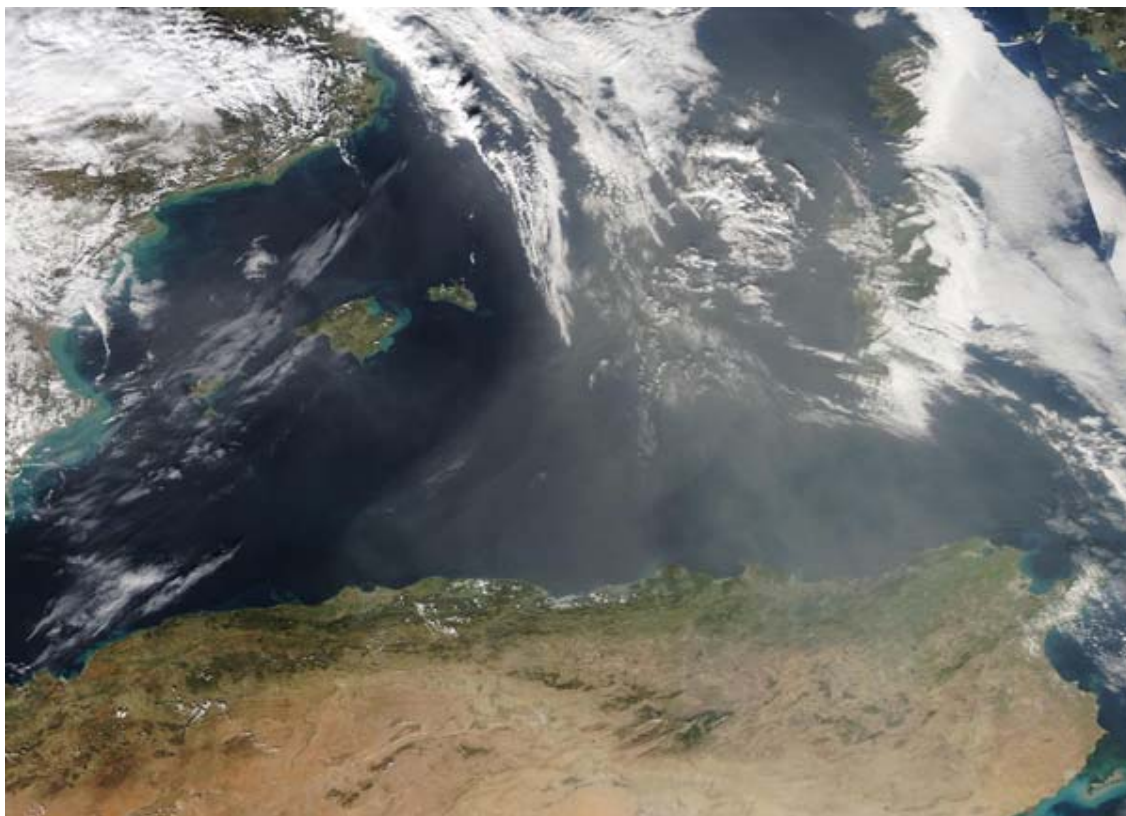


Figura 7. Imatge de color obtinguda amb el sensor MODIS a bord del satèl·lit Terra durant el dia 23 de gener de 2020.

## 2.2 Nivell del mar, onatge i corrents

La presència de borrasques amb vents provinents del mar sol portar associada una pujada del nivell del mar prop de la costa, el que en anglès es denomina un *storm surge*. En el cas de la borrasca Glòria la baixada de la pressió atmosfèrica associada a la borrasca va ser moderada (uns 1010 hPa a nivell de mar, que equivalen a 1010 mbar; Fig. 5) i, per tant, la pujada del nivell mitjà del mar sobre la plataforma continental del litoral Mediterrani de la Península Ibèrica va ser ocasionada principalment pels vents amb una component provinent de l'est (Figs. 3 i 4).

Els mapes d'altura dinàmica de la superfície del mar, obtinguts per altimetria amb radar, il·lustren aquesta acumulació d'aigua, amb valors màxims entre el 21 i el 23 de gener (Fig. 8). Cal destacar que aquests mapes de satèl·lit només van detectar uns 0,2 m d'acumulació d'aigua, molt menys que els valors màxims mesurats al llarg de la costa mediterrània, de fins a 0,6 m a Gandia (Fig. 9). Això mostra que la major part d'aquesta acumulació d'aigua estava relacionada amb el trencament de les grans onades generades prop de la costa.

## La Borrasca Glòria – 19-24 gener 2020

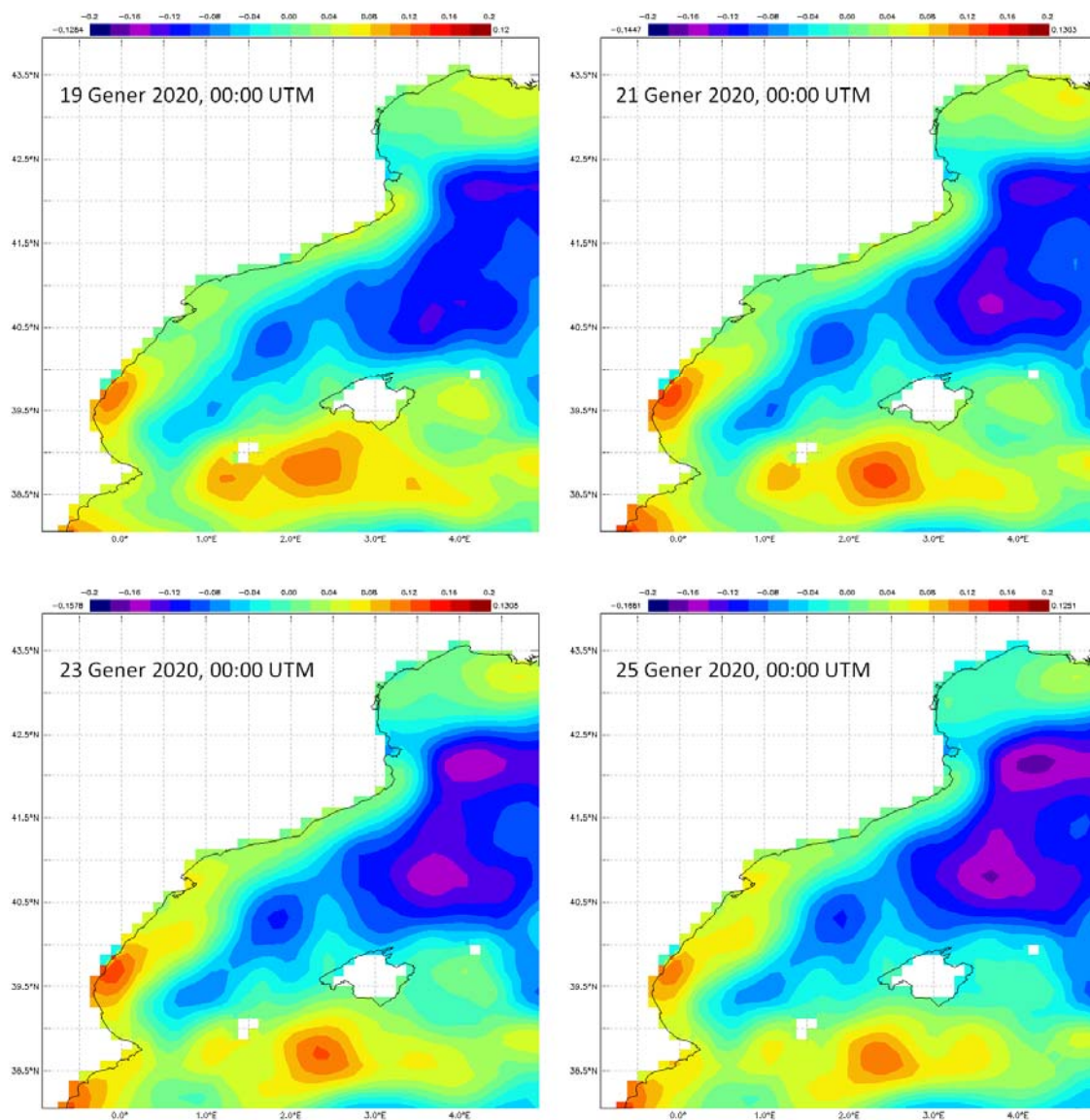


Figura 8. Topografia dinàmica absoluta (m) entre el 19 i el 25 de gener de 2020 al nord-oest del Mar Mediterrani (altimetria en temps real, LAS 8./Ferret 7.1 NOAA/PMEL). Mapes produïts per Copernicus/AVISO.

Les sèries temporals del nivell del mar també il·lustren una important oscil·lació diürna, amb valors fins a 0,2 m superiors a primera hora del matí (prop del trenc d'alba), possiblement deguda a efectes de marea i de la intensificació del vent nocturn de llevant, aquest darrer associat al sistema de brises mar-terra (Fig. 9).



## La Borrasca Glòria – 19-24 gener 2020

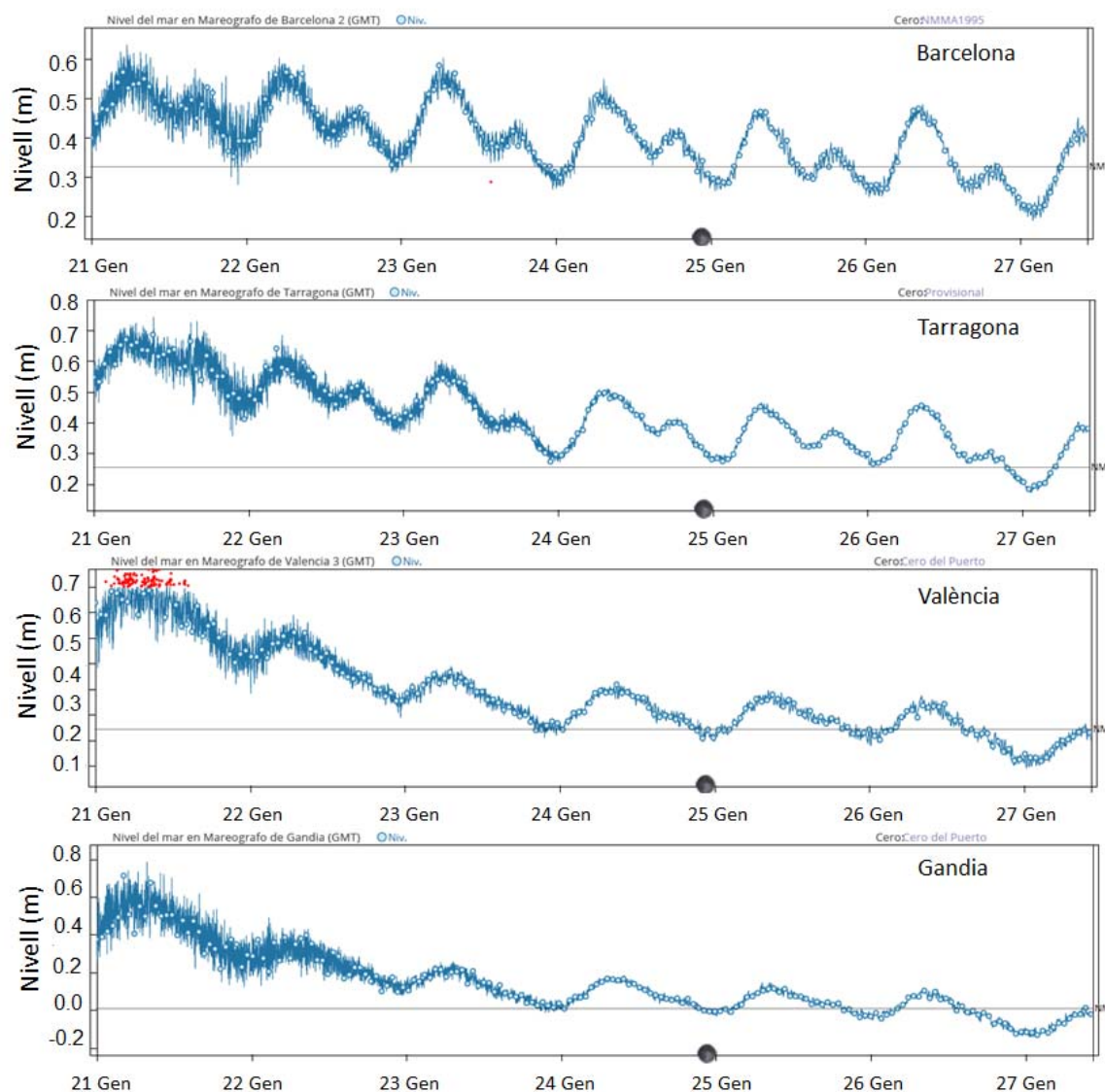


Figura 9. Nivell del mar a Barcelona, Tarragona, València y Gandia, 21 a 27 de gener de 2020 (les dates corresponen a las 20:00 hores GMT); els punts vermells indiquen valors poc fiables (Puertos del Estado).

És molt significatiu que des del 19 fins al 24 de gener hi va haver vents de llevant sobre tot el Mediterrani occidental. Aquesta persistència va ser responsable que es generés una mar de fons força notable, ocasionada per la gran distància de generació (*fetch*) de l'onatge (Fig. 10).

Aquesta mar de fons es reflecteix en les prediccions de l'altura significativa mitjana diària a partir del model utilitzat per l'ECMWF (valors màxims de 6 m, Fig. 10) i les observacions horàries a les boies de Puertos del Estado (amb valors màxims per sobre dels 7 m, Fig. 11). Les boies també van enregistrar valors màxims absoluts per sobre de 12 m (Fig. 11).

## La Borrasca Glòria – 19-24 gener 2020

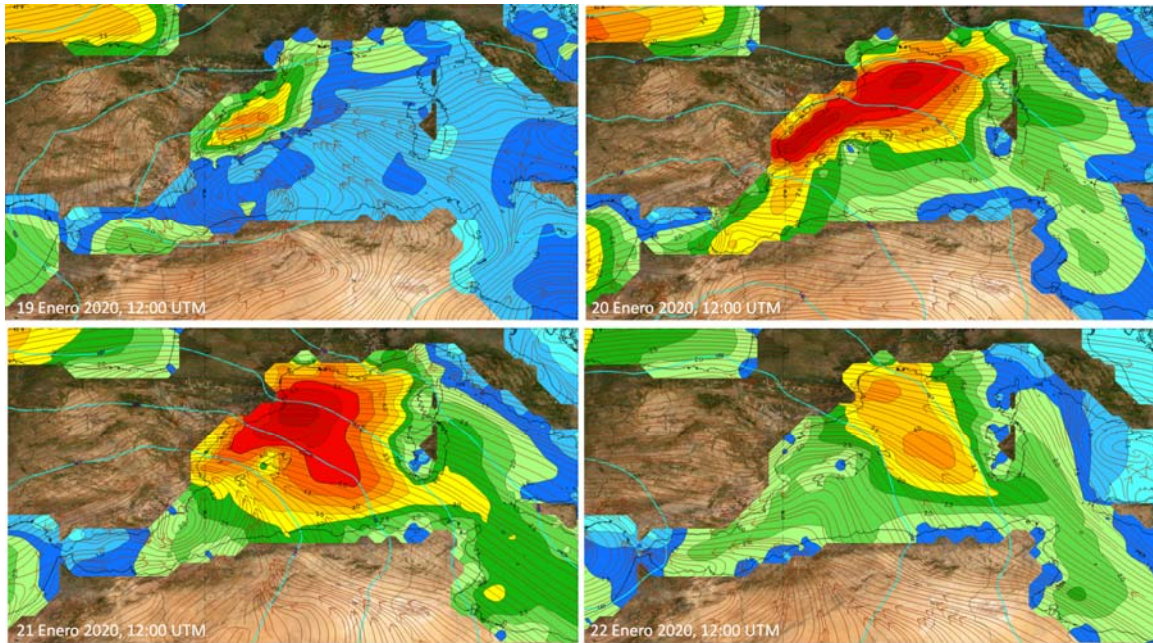


Figura 10. Prediccions d'altura significativa de l'onatge del 19 al 22 de gener de 2020. Mapes produïts amb Eumetrain a partir del model utilitzat pel ECMWF.

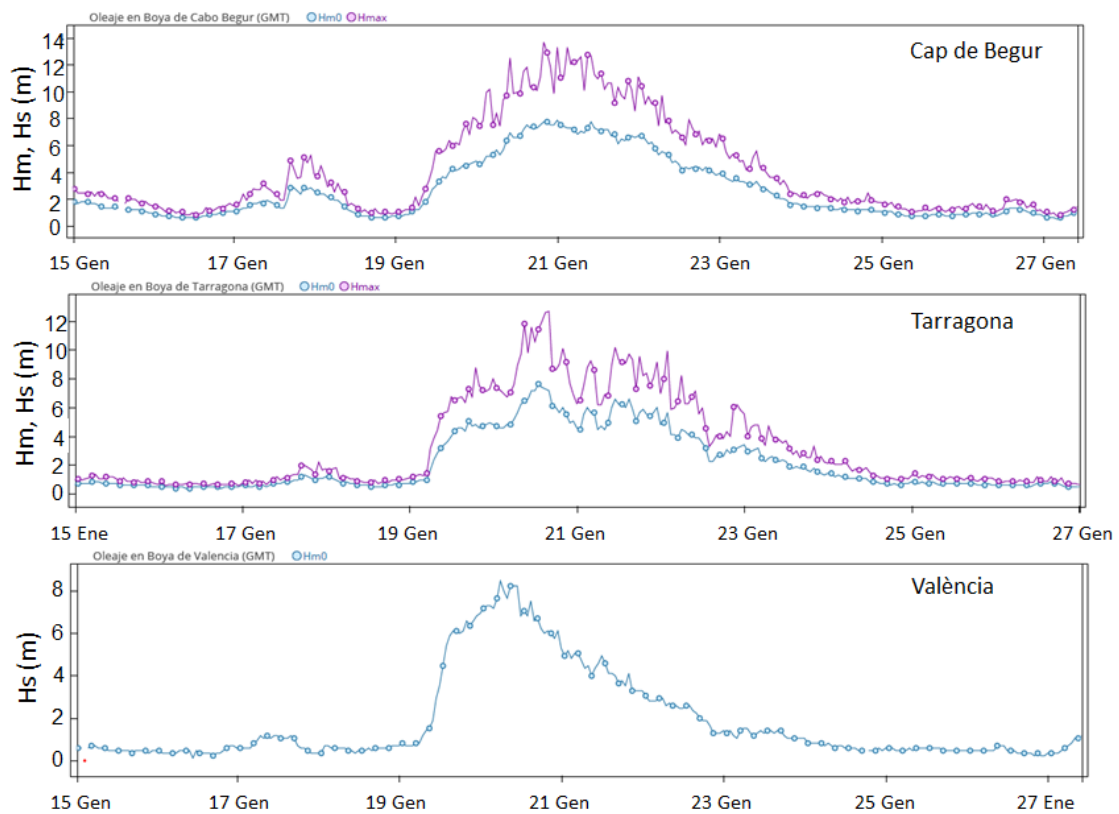


Figura 11. Altura significativa (Hs, línia blava) i l'altura màxima (Hm, línia lila) de l'onatge a la plataforma continental de Cap de Begur, Tarragona i València, del 21 al 27 de gener de 2020 (les dates corresponen a les 20:00 hores GMT) (Puertos del Estado).

Els valors tan elevats d'onatge sobre el litoral mediterrani estan relacionats amb el fet que els vents bufessin durant diversos dies tot al llarg del Mediterrani occidental. Aquest efecte es pot apreciar en la trajectòria (durant 48 hores) de les masses d'aire que arriben a la costa catalana (Fig. 12). Es pot apreciar que l'onatge s'hauria produït per l'acció dels vents sobre tot el mediterrani occidental, i fins i tot part de l'oriental. Els valors màxims de l'onatge, observats entre els dies 21 i 22 de gener (Figs. 10 i 11), són el resultat dels vents bufant sobre el Mediterrani durant els dies anteriors, amb una component est entre els dies 19 i 23 de gener (Figs. 3 i 4).

La Figura 12 (panel inferior) també il·lustra com una part important de les masses d'aire que van arribar a Barcelona a un nivell de 850 hPa (uns 1400 m d'alçada) es van originar en nivells pròxims a la superfície del mar. Aquest origen en superfície i posterior ascens en alçada va permetre que el vapor d'aigua es condensés a l'arribada a la costa lleuantina de la Península Ibèrica, on hi va ocasionar les quantioses precipitacions observades (Fig. 6).

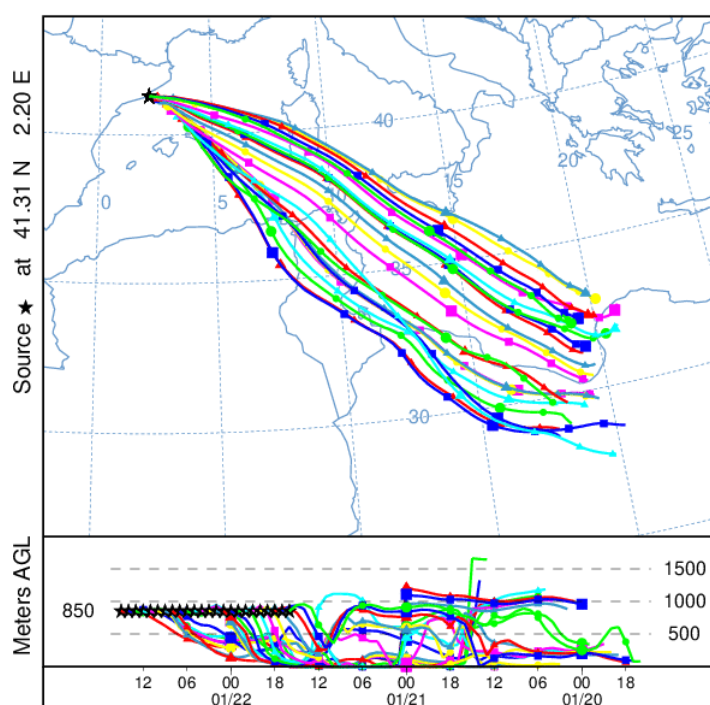


Figura 12. Trajectòries de les masses d'aire que arribaren a Barcelona a 850 hPa entre les 17 hores del 21 de gener i les 15 hores del 22 de gener; les 24 trajectòries mostrades (il·lustrades amb colors i símbols diversos) corresponen a trajectes de 48 hores, calculades amb dades de reanàlisi a partir del model HYSPLIT. La part inferior del gràfic mostra el canvi en alçada experimentat per les parcel·les d'aire al llarg de la seva trajectòria.

Els intensos vents de llevant entre el 20 i el 23 de gener van causar un enfortiment del Corrent Català sobre la plataforma continental, paral·lela a la costa en direcció sud-oest. El Corrent Català apareix amb una gran coherència espacial entre el Cap de Creus i el Cap de la Nau, amb valors màxims propers als 0,5 m/s (Fig. 13).



## La Borrasca Glòria – 19-24 gener 2020

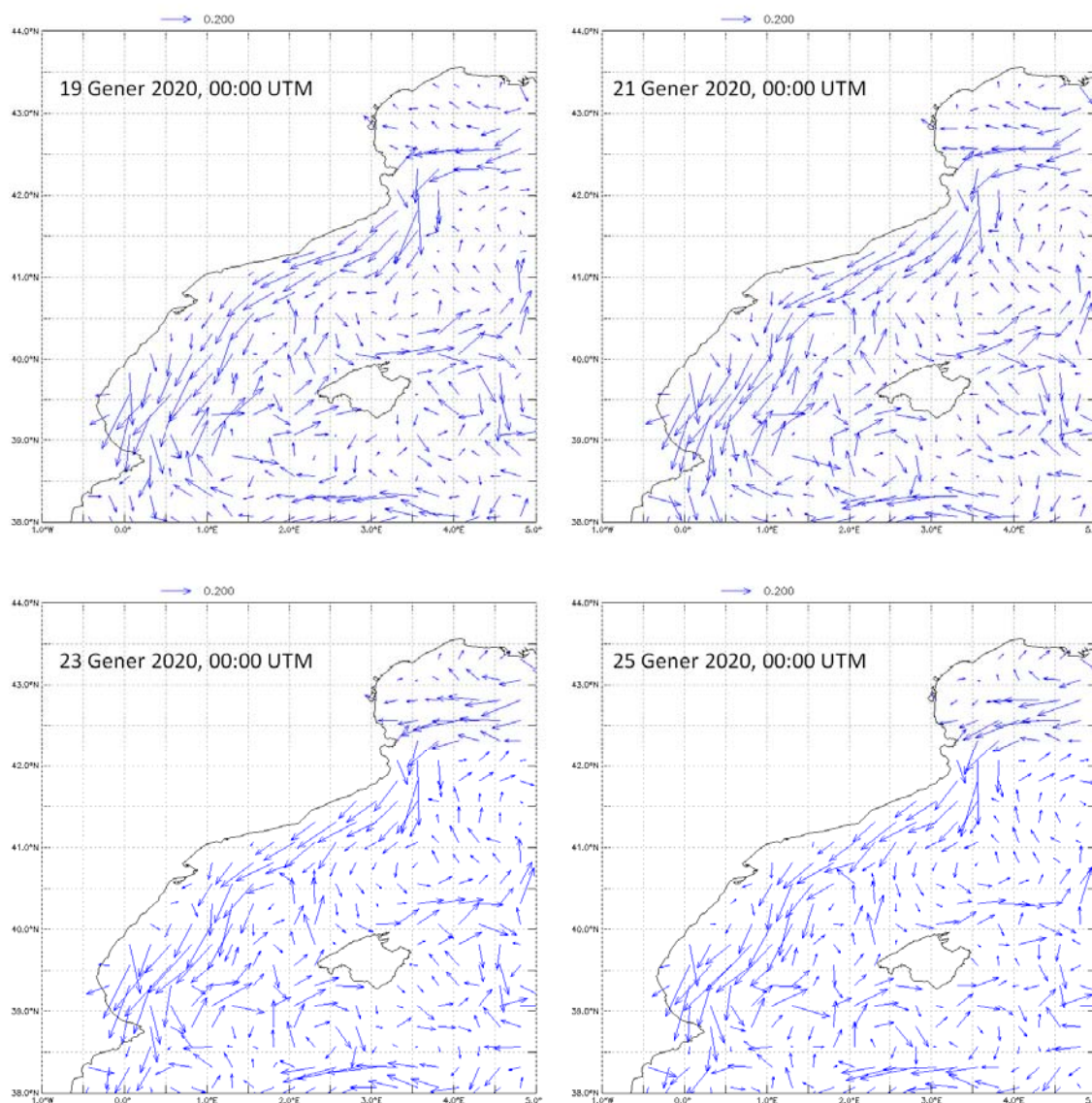


Figura 13. Vectors de corrents superficials en el Mediterrani nord-occidental a entre el 19 i el 25 de gener. Valors calculats a partir de models i altimetria en temps real (LAS 8./Ferret 7.1 NOAA/PMEL). Mapes produïts per Copernicus/AVISO.

Les sèries temporals de corrents a les boies localitzades sobre la plataforma continental, prop de Tarragona i València, mostren valors horaris que van excedir els 0,8 m/s entre el 19 i 23 de gener a Tarragona, i els 0,5 m/s entre el 19 i 26 de gener a València (Fig. 14).

La combinació de la pujada del nivell del mar i especialment el fort onatge i els intensos corrents va tenir un important efecte sobre la costa, sobre tot en aquelles zones més vulnerables, tal com s'explica en la següent secció.

## La Borrasca Glòria – 19-24 gener 2020

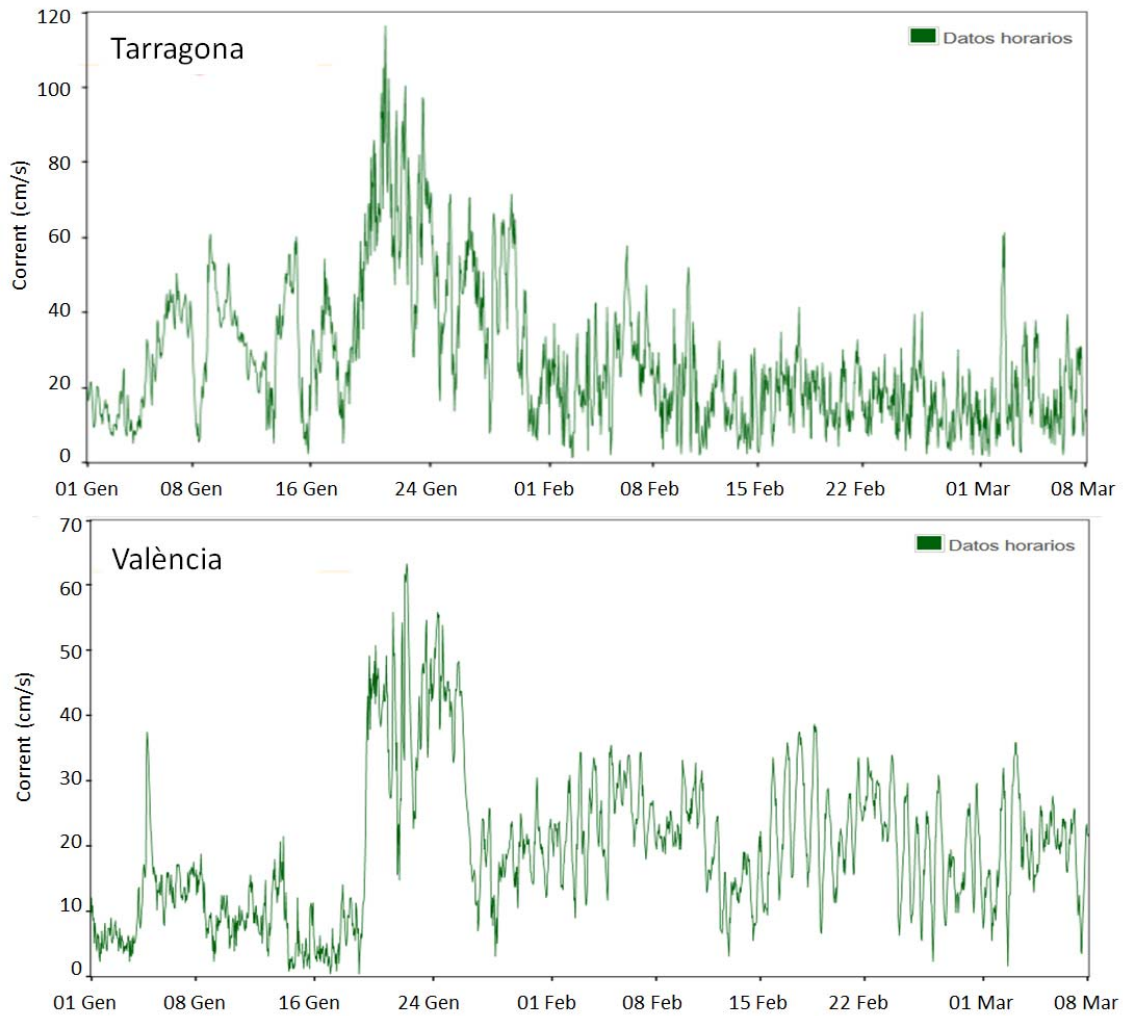


Figura 14. Intensitat del corrent superficial a la plataforma continental de Tarragona i València, gener i febrer de 2020 (les dates corresponen a les 20:00 hores GMT) (Puertos del Estado).



### 3. Impacte sobre la franja litoral

#### 3.1 Introducció

Jorge Guillén

La borrasca Glòria va impactar severament la franja litoral des de Cap de Creus fins al Cap de la Nau i les illes Balears, on hi va causar una forta erosió a les platges i inundacions a molts trams costaners, a més de la destrucció d'infraestructures situades a la costa (esculleres, mobiliari urbà, passejos marítims, etc.). L'impacte del temporal va ser desigual al llarg de la costa perquè depèn bàsicament de les condicions de l'onatge i nivell del mar (descrites en la secció anterior) i de les característiques geomorfològiques del tram de costa,.

Per caracteritzar l'onatge es considera l'alçada de l'ona (habitualment mesurada com alçada significant, Hs), el període (temps entre cada cresta d'ona) i la seva direcció d'aproximació a la costa. La tempesta Glòria va generar un onatge des del Mar Lígur cap al sud-oest, amb una direcció d'aproximadament 55 °N. Això va generar unes onades molt grans a la Costa Brava (Hs màxima = 7,9 m, similars a la d'altres grans temporals anteriors), onades excepcionals al delta de l'Ebre (Hs màxima = 7,6 m) i, molt especialment, al Golf de València (Hs màxima = 8,4 m) on el recorregut de l'onatge gairebé tenia 1000 kilòmetres i les onades van aconseguir un període superior als 11,5 segons (Figs. 10 i 11).

El nivell del mar durant el temporal també es va elevar per sobre dels valors habituals. La sobrelevació del nivell del mar va seguir unes pautes similars a les de l'onatge, amb un increment de NE a SO (Figs. 8 i 9). Els mareògrafs de Gandia, València, Tarragona i Barcelona van donar sobrelevacions màximes durant el pic de la tempesta de gairebé 60, 54, 40 i 26 centímetres respectivament (Fig. 9). Aquesta pujada del nivell del mar va ser causada fonamentalment pels vents i el mateix efecte de l'onatge. Afortunadament, la pressió atmosfèrica no era molt baixa i per tant, la seva contribució a la sobrelevació del nivell del mar va ser petita.

#### 3.2 Vulnerabilitat a la costa catalana: exemples de dinàmica litoral

Jorge Guillén

La vulnerabilitat costanera enfront dels temporals es pot analitzar considerant dos efectes que estan interrelacionats: l'erosió i la inundació. L'erosió i la inundació a la costa augmenten amb l'alçada i el període d'ona, així com amb el nivell del mar. Per tant, les grans onades i l'elevat nivell del mar durant la borrasca Glòria van comportar impactes molt severos a la costa.

El litoral de Catalunya té una longitud aproximada de 600 km i es caracteritza per una gran diversitat geomorfològica, amb dos tipus de costes definides en base a la morfologia i dinàmica sedimentària: costes baixes o sedimentàries i costes abruptes. Les costes baixes o sedimentàries es caracteritzen per pendents

suaus o moderats, estan afectades per diferents graus d'urbanització i són molt vulnerables a l'erosió i inundació. Dintre d'aquesta categoria poden diferenciar-se platges obertes, platges encaixades (incloses les platges urbanes) i les platges formades en les desembocadures dels grans rius (deltes). Les costes abruptes estan constituïdes per un substrat rocós consolidat que genera forts pendents, fenòmens d'erosió relativament lents i baix risc d'inundació. Intercalats en aquesta costa poden desenvolupar-se petits cossos sedimentaris denominats cales o platges encaixades, amb característiques mixtes entre les costes abruptes i les sedimentàries.

Durant la borrasca Glòria, l'erosió es va manifestar en forma d'un retrocés de la línia de costa com a conseqüència de les onades i la sobreelevació del nivell del mar. Aquesta erosió va afectar totes les platges en general però va ser més intensa en platges obertes, orientades cap a l'est i nord-est. Un exemple de l'evolució de la línia de costa és el de platja de Nova Icària a Barcelona, on s'observa una platja gairebé totalment inundada durant el pic del temporal i una certa erosió després del temporal si es compara amb la situació prèvia (Fig. 15)



Figura 15. Imatges de la platja de Nova Icària abans (esquerra), durant (centre) i després (dreta) de la tempesta Glòria. Malgrat la presència dels espigons de protecció, la platja va quedar inundada durant el temporal i s'aprecia un retrocés de línia de costa.

Pel que fa als fenòmens d'inundació a la costa catalana, poden diferenciar-s'hi dos escenaris: (a) els que afecten les planes deltaïques i les planes costaneres, que impliquen un ultrapassament (*overwash*) del cordó sedimentari i la inundació del territori situat darrere (habitualment zones de cultiu, reserves naturals, etc.), i (b) els ultrapassaments que afecten estructures costaneres o passejos marítims, que solen estar precedits de l'erosió de la platja i que impliquen un trencament total o parcial d'aquestes estructures i la inundació d'un territori urbanitzat. Exemple del primer és el delta de l'Ebre (Fig. 16), mentre que el segon tipus és característic de moltes poblacions costaneres (Badia de Palamós, Blanes, localitats de la Costa Daurada, etc.) (Figs. 17 i 18).



Figura 16. Ultrapassament de la barra del Trabucaador durant la borrasca Glòria. Les fortes onades i una sobreelevació del nivell del mar de gairebé 50 cm van afavorir aquest fenomen (imatge de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya).



Figura 17. Impacte de la tempesta Glòria a Platja d'Aro. S'aprecia erosió a la platja emergida, afectacions al mobiliari urbà i al passeig marítim, on també s'hi va acumular sorra.





Figura 18. La platja de Castelldefels abans, durant i després de la borrasca Glòria. Aquesta platja forma part del delta del Llobregat. La inundació afectà gairebé tota la platja i parcialment la zona de dunes. A la imatge posterior al temporal també s'aprecia un retrocés de la línia de costa.

L'impacte del temporal a platges protegides de l'onatge (cales, platges molt al resguard pel fet d'estar entre caps o roques) va estar menys intens però no menyspreable. N'és exemple, la Platja de Castell (Palamós), d'uns 300 m de longitud, on es van fer topografies abans i després de la tempesta. La comparació d'aquestes topografies mostra una forta pèrdua de sediment a la primera línia de platja, especialment evident al costat sud (Fig. 19). També és molt important en la morfologia d'aquesta platja la presència de la riera, la qual va canviar la seva posició amb el temps (vegeu més endavant la Fig. 23).

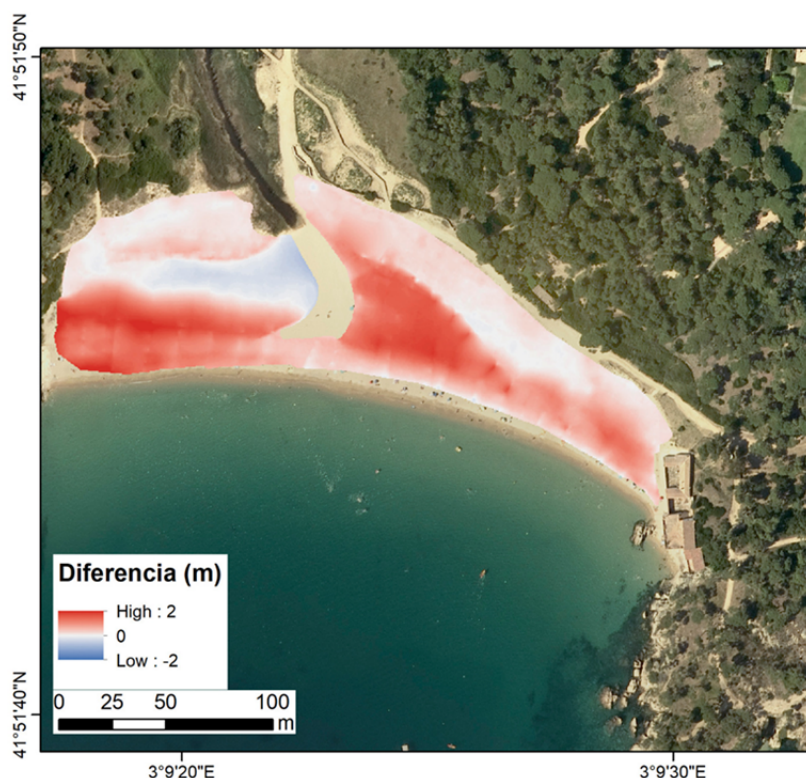


Figura 19. Platja de Castell (Palamós). Diferència entre la topografia de la platja abans del temporal i després. El color vermell indica pèrdua de sediment a la platja, especialment a la part esquerra de la figura. El color blau indica una certa acumulació de sediments a la part alta de la platja (elaborat per Ruth Durán).

### 3.3 Pèrdues i aportacions de sediments a la platja

Jorge Guillén

Els sediments que desapareixen de la platja emergida són arrossegats i finalment dipositats seguint tres camins diferents: (a) la major part són transportats paral·lelament a la costa i dipositats quan troben un obstacle al seu camí; (b) altres són transportats transversalment a la platja i dipositats a una certa fondària i distància de la línia de costa, dintre de la plataforma continental, on hi formen barres de sorra o dipòsits efímers; i (c) una part del sediment (normalment es tracta de sorres, còdols, blocs o restes vegetals com ara branques i restes de rizomes) és transportat transversalment a la platja però terra endins.

Gran part del sediment transportat paral·lelament a la costa no es perd dins el sistema litoral, però suposa una redistribució que a vegades pot dificultar la gestió costanera (Fig. 20). Una part del sediment transportat cap a fondàries més grans pot tornar a la platja en condicions d'onades suaus o moderades, mentre que una altra part romandrà submergida a la plataforma continental. Finalment, el sediment que s'acumula a la part alta de la platja és molt important perquè no es perd per al sistema litoral. Aquest sediment s'acumula més en platges relativament amples, amb dunes o maresmes, o, en el cas de platges urbanes, quan el mateix passeig marítim actua com un receptor de sorra.



Figura 20. Acumulació de còdols i blocs llançats per l'onatge durant la tempesta Glòria contra les casetes de la Cala de S'Alguer (Palamós).



Les fortes onades i la pujada del nivell del mar durant la borrasca Glòria han ocasionat una pèrdua considerable de sediment a les platges catalanes. Per contra, el temporal ha vingut acompanyat de fortes pluges que han suposat crescudes en rius i rieres i una elevada descàrrega al mar de sediments, una part dels quals alimentaran les platges, contrarestant, si més no parcialment, el balanç sedimentari negatiu provocat pel temporal.

La Figura 21 mostra l'arribada al mar de la descàrrega d'aigua i sediments dels rius més grans com l'Ebre, el Llobregat o la Tordera i dels rius més petits i rieres. La zona d'alta concentració de sediments costaners també és deguda al sediment dels fons marí posat en suspensió a causa de l'onatge. Gran part del component del sediment fluvial, que té grandària de sorra, s'integrarà en el sistema platja i contribuirà a equilibrar el balanç sedimentari. Un exemple molt clar ha estat la formació d'una barra de desembocadura al Riu Tordera, que podrà contribuir al subministrament de sediment a les platges veïnes (Fig. 22). Aquestes aportacions són encara més vitals a rieres que alimenten platges petites amb sediments. Un exemple és la Riera d'Aubi a la Platja del Castell (Fig. 23), on la descàrrega associada a la borrasca Glòria ha estat molt important. S'hi ha format un nou llit de la riera que travessa la platja i genera una acumulació de sediments que pot arribar a més de 20 m de fondària.



Figura 21. Imatge de satèl·lit durant la borrasca Glòria (MODIS Land Rapid Response Team, NASA GSFC).



Figura 22. Formació d'una barra de desembocadura al riu Tordera durant la tempesta Glòria a conseqüència de la gran quantitat de sediments transportats pel riu (Foto: Joan Pujolar).



Figura 23. La platja de Castell (Palamós) el 23 de gener de 2020. Aquesta platja té estabilitat gràcies als sediments que porta la riera en situacions de pluges intenses, com la que va passar durant la tempesta Glòria.



### 3.4 Gestió integral del sediment

Belén Alonso, Gemma Ercilla

Com ja s'ha explicat prèviament, la intensa erosió soferta per la costa catalana arran de la borrasca Glòria ha provocat la reducció considerable de l'amplada de moltes platges i en alguns casos, la seva desaparició. Això afecta la capacitat de les platges d'exercir les funcions de protecció i recreació. Una de les possibles actuacions per a pal·liar aquesta situació és la regeneració de platges mitjançant l'aportació de grans volums de sorra a les àrees afectades. Tradicionalment, això s'ha realitzat mitjançant aportacions de dipòsits arenosos d'origen artificial, provinents en gran part dels sediments interceptats per infraestructures costaneres (ports). En el passat, el Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya ha desenvolupat nombrosos programes de transvasament de sediments durant les últimes dècades. Simultàniament, la Demarcació de Costes del Ministeri de Medi Ambient i Medi Rural i Marí ha realitzat diverses actuacions de regeneració del litoral.

En aquest context, també es pot contemplar la utilització de reservoris arenosos naturals existents a la franja infralitoral i la plataforma continental catalana. La cartografia i descripció de la distribució detallada de les àrees amb aquests recursos sorrencs (Fig. 24) és un primer pas per a una gestió estratègica dels sediments, que permeti un desenvolupament sostenible de les zones costaneres de la Mediterrània.

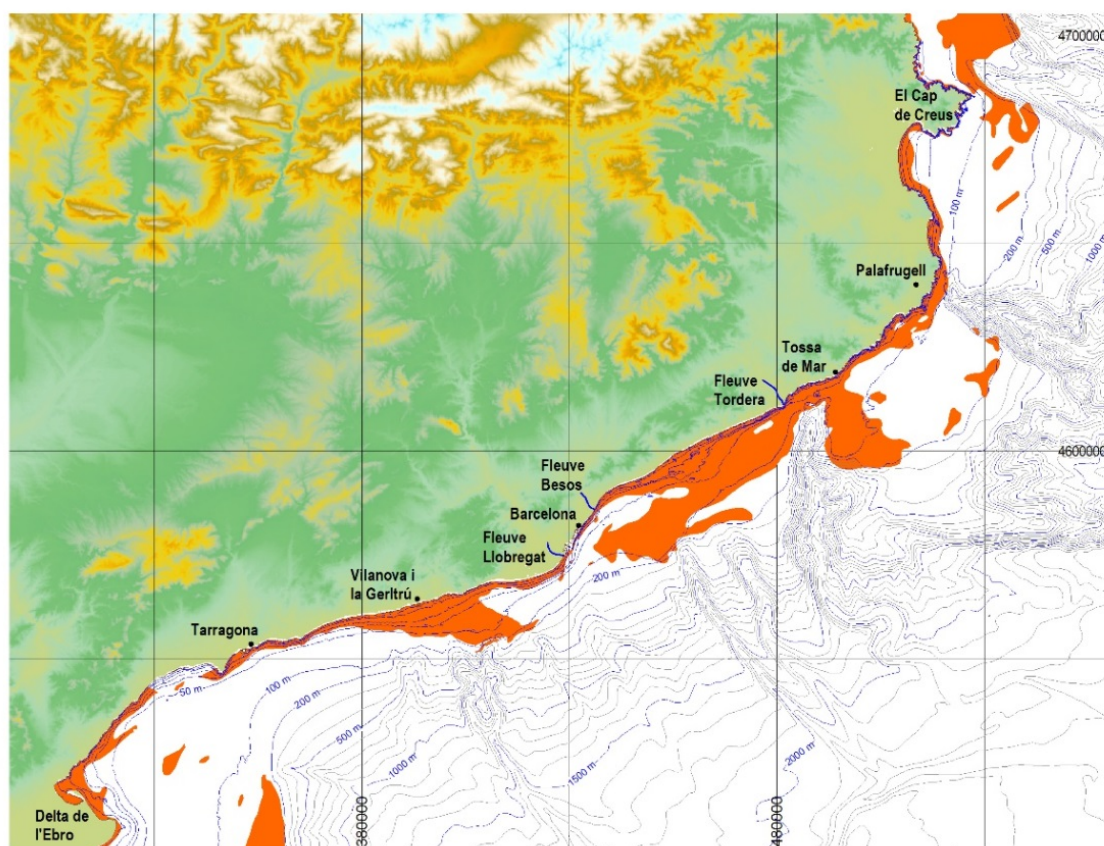


Figura 24. Mapa general de cossos arenosos superficials (en vermell) identificats a la costa catalana (elaborat pel Grup de Marges Continentals, ICM-CSIC).

La Figura 24 mostra que existeixen àrees amb un elevat contingut de sorra (fins al 75% del sediment), que es localitzen en la superfície d'abrasió formada durant la transgressió Versiliense (Holocè, fa uns 10000 anys) a la plataforma continental, així com a les franges infralitorals relictos i actuals.

S'identifiquen quatre grans àrees localitzades davant de Barcelona, Vilanova i la Geltrú, Figueres i Tarragona. La zona arenosa de Barcelona és la més gran, amb una àrea de 668 km<sup>2</sup>, i s'estén entre 10 i 100 m de profunditat. La segona zona més extensa és la de Vilanova i la Geltrú, la qual comprèn una àrea de 174 km<sup>2</sup>, entre 10 i 50 m de profunditat. Les àrees de Figueres i Tarragona tenen una extensió de 77 km<sup>2</sup> i 57 km<sup>2</sup> respectivament, i se situen entre 10 i 50 m i entre 10 i 30 m de profunditat, en cada cas.





## 4. Impacte sobre l'ecosistema marí

### 4.1 Plàncton

Francesc Peters

Quant a l'efecte de la borrasca Glòria sobre l'estat del plàncton en el litoral, no tenim dades per saber si produirà un efecte significatiu de cara al balanç anual de producció de l'ecosistema. S'ha de tenir en compte que el plàncton és la base de la xarxa tròfica marina i els nivells tròfics superiors (crustacis, mol·luscs, peixos, aus marines) en depenen en gran mesura.

El plàncton és un conjunt heterogeni d'organismes, en general petits i amb poca capacitat natatòria, que viuen en l'aigua i que inclouen, entre altres bacteris, fitoplàncton (que fa la funció de les plantes terrestres) i zooplàncton (petits animals). El creixement del fitoplàncton ve determinat fonamentalment per la disponibilitat de llum i de nutrients (sals minerals com els nitrats, fosfats i silicats). La llum és present en les capes superficials, mentre que els nutrients són abundants en capes fondes i escassos en superfície.

En el Mediterrani, la dinàmica del plàncton presenta una marcada estacionalitat. A l'hivern, la barreja de l'aigua és intensa des de la superfície fins al fons, la qual cosa facilita la disponibilitat de nutrients per tota la columna d'aigua i el creixement del fitoplàncton en la superfície il·luminada. A la primavera, amb l'increment de temperatura, l'aigua superficial es va escalfant, i forma una capa diferenciada. En la capa superficial, el fitoplàncton va creixent i esgotant els nutrients que ara ja només poden arribar de manera lenta, per difusió entre les dues capes i quan el vent o l'onatge aporten l'energia que incrementa aquesta difusió. A la tardor o principis de l'hivern, el refredament de la capa superficial fa que l'aigua de capes fondes, riques en nutrients, es torni a barrejar amb les superficials, començant un nou cicle.

Dins del cicle estacional, els forts temporals faciliten la disponibilitat de nutrients per al plàncton, afavorint-ne pics de producció importants. A les zones costaneres a més, les aportacions d'aigua dolça també hi proporcionen nutrients, de tal manera que si el temporal va acompanyat de pluges sobre el territori, també s'incrementen les concentracions. Les plantes de tractament d'aigües residuals, a través dels emissaris submarins, i les descàrregues de determinades indústries, també fan aportacions importants de nutrients inorgànics i orgànics en el litoral. Quan les pluges són importants, com en el cas de la borrasca Glòria, la capacitat dels sistemes col·lectors d'aigües pluvials i les depuradores sol veure's sobrepasada. Per seguretat de les instal·lacions, i mitjançant sistemes de bypass, s'aboca una part de les aigües sense tractar, la qual cosa repercuteix sobretot en un increment de la quantitat de matèria orgànica al litoral. En fons poc profunds, l'onatge posa en suspensió el material sedimentat, que conté nutrients i matèria orgànica, la qual cosa constitueix una aportació nutritiva addicional a la columna d'aigua. Tot plegat fa augmentar la disponibilitat de nutrients per al plàncton, que d'aquesta manera pot tenir pics de creixement.

En estudis de sèries temporals de plàncton costaner en relació amb el desguàs de rius i d'onatge, es veu un patró de seqüència d'esdeveniments. En primer lloc, els temporals i pluges fortes comporten la suspensió de materials del sediment i l'aportació de sediment per part de rius, amb una disminució de la transparència de l'aigua. Simultàniament, disminueix la salinitat de l'aigua del mar, degut a l'aportació d'aigua dolça a la zona costanera. La temperatura de l'aigua també disminueix, ja que l'aigua d'origen terrestre sol estar més freda que no pas la marina. Alhora, van incrementant de manera clara alguns nutrients inorgànics com els nitrats i els silicats. Tot seguit, amb un decalatge d'entre una i dues setmanes, es produeix un increment significatiu de la clorofil·la, el pigment que permet al fitoplàncton de realitzar la fotosíntesi, i que constitueix un indicador d'aquests organismes a l'aigua (Fig. 25). Aquest creixement concorda amb un increment dels nitrats a l'aigua, que resulten de l'ús dels nitrats per part del fitoplàncton. Posteriorment, després d'unes dues setmanes s'observa l'augment de la concentració de bacteris naturals que aprofiten part de la matèria orgànica produïda pel fitoplàncton i dissolta a l'aigua. El creixement de tots aquests microorganismes és fonamental per al desenvolupament dels altres organismes de la xarxa tròfica microbiana, i d'aquí, a nivells superiors.

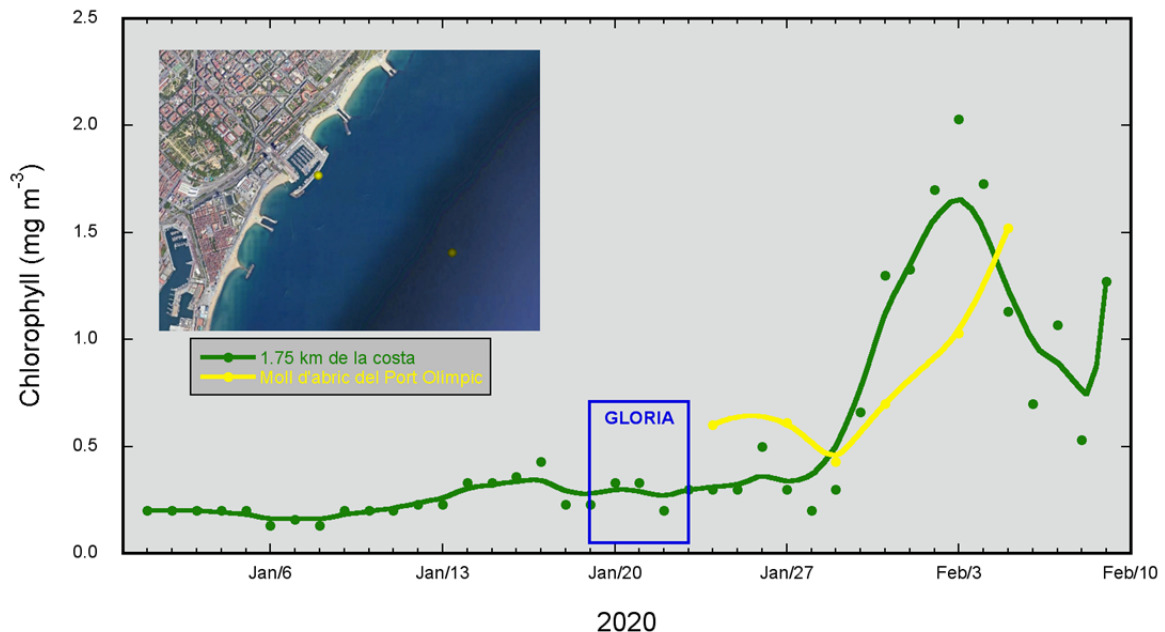


Figura 25. Variació temporal de la clorofil·la en la costa de Barcelona. Les dades obtingudes amb imatges de satèl·lit (Copernicus Marine Environment Monitoring Service) s'indiquen en color verd i corresponen a una àrea de 2 x 2 km i a una distància d'1,7 km perpendicular a la línia de costa a l'altura del Port Olímpic. Les dades provinents de l'anàlisi de mostres d'aigua agafades en el Port Olímpic es mostren en color groc. El marc blau indica la duració del temporal.

Què podem esperar de la tempesta Glòria? Les dades de la Figura 25 mostren clarament un pic de clorofil·la dues setmanes després del temporal. En mostres d'aigua agafades des del moll d'abric del Port Olímpic, s'ha observat el creixement de diatomees i també de dinoflagel·lades grans. El dia 24 de gener de 2020, la salinitat a l'aigua a prop del Port Olímpic de Barcelona era de 36,6

quan normalment està a 38. Per tant, es confirmen els patrons derivats dels estudis anteriors que acabem de descriure.

L'impacte que aquesta producció de plàncton pugui tenir a altres nivells tròfics i en el sistema no el podem saber encara. Sovint, els organismes marins invertebrats realitzen postes o desenvolupen estadis larvaris en moments concrets. Si això es produeix en un moment que es pugui aprofitar aquesta producció de plàncton, de ben segur que el reclutament dels invertebrats també se'n veurà beneficiat. I possiblement també el reclutament larvari de moltes poblacions de peixos o fins i tot directament els adults de petits peixos.

En un territori on el cicle de l'aigua està en gran part sotmès al ritme del consum humà, l'entrada de nutrients terrestres a la zona costanera sol estar deslligada de l'entrada d'energia, la qual cosa afavoreix el creixement de bacteris i fitoplàncton més petit, no tan aptes per a la transferència de matèria cap a nivells tròfics superiors. Els grans temporals reverteixen, encara que sigui breument, a estadis naturals el funcionament dels sistemes costaners, on l'entrada del nutrients ve acompanyada d'una forta entrada d'energia. Això optimitza la producció de fitoplàncton, especialment diatomees.

La comparació de les dades de clorofil·la entre la zona adjacent al port Olímpic i més enfora semblen indicar un efecte menor i uns dies de retard més prop de la costa. Això podria estar passant per tenir unes condicions més favorables al creixement de bacteris que competirien amb el fitoplàncton pels nutrients, deixant menys nutrients disponibles per aquests organismes.

També s'ha de destacar que l'aportació d'aigua dolça des del Golf de Lleó fins a les nostres costes ajuda a crear una barrera, gairebé imperceptible, de masses d'aigua i corrents en paral·lel a la costa. Hi ha investigadors que hipotetitzen que això dificultaria l'arribada a les platges d'organismes que es deixen portar pels corrents, i que han crescut en mar obert, com les meduses.

## 4.2 Proliferacions de microalgues bentòniques

Elisa Berdalet, Magda Vila

La tempesta Glòria es va produir a l'hivern, quan l'activitat biològica és mínima i molts organismes es troben en fase de letargia. Aquest és el cas de les comunitats bentòniques (les que viuen adherides a un "terra" o substrat) de macroalgues i macròfits, que són arrencades amb els temporals de tardor, i les seves formes de resistència passen l'hivern en aigües profundes no exposades a l'onatge intens de la costa o bé soterrades en els sediments. Quan el temps millora a la primavera, les formes de resistència germinen i es produeix la colonització dels substrats costaners (roques o sorres). A més de contribuir a la producció d'oxigen i la incorporació del CO<sub>2</sub> en forma de matèria orgànica mitjançant la fotosíntesi, les macroalgues i macròfits constituïran el ric hàbitat d'altres organismes aquàtics, bacteris, microalgues, microzooplàncton, crustacis, mol·luscs, cucs, peixos, etc.

Entre les microalgues que creixen adherides a macroalgues, roques i sorra, es troba la dinoflagel·lada *Ostreopsis*. Aquesta microalga mesura unes 20 a 50



micres, té forma de llàgrima, dos flagells que li permeten nedar i produeix una substància mucosa mitjançant la qual se subjecta a la macroalga (Fig. 26). *Ostreopsis* creix en aigües poc profundes i ben il·luminades, molt a prop de la costa, i resisteix nivells de nutrients relativament alts (eutròfics). Des de fa uns 20 anys, aquesta microalga d'origen tropical sembla estar expandint-se en aigües més temperades.

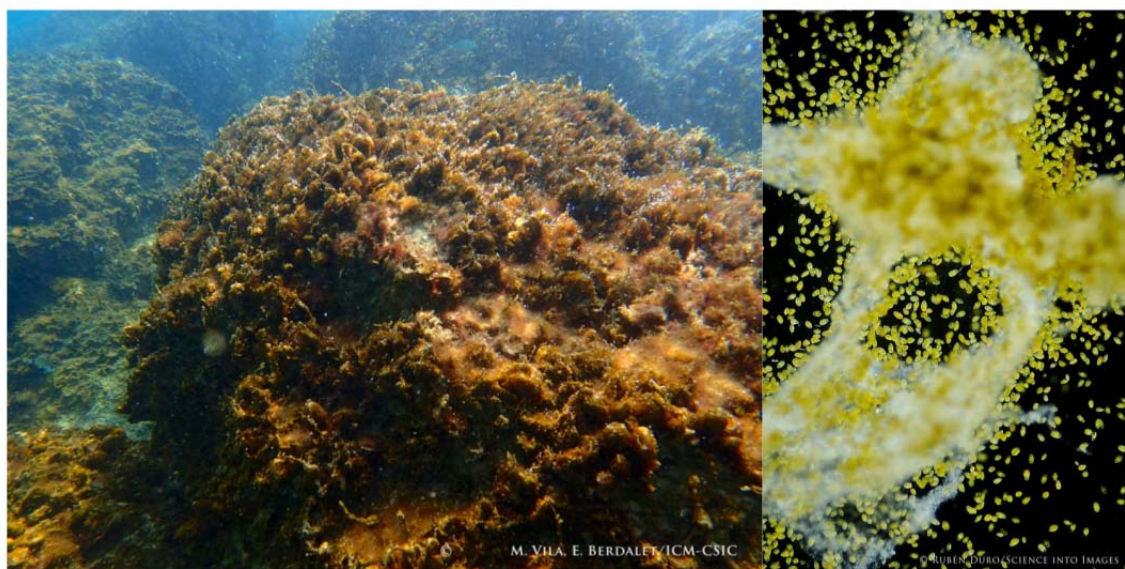


Figura 26. (Esquerra) Macroalgues cobertes pel mucil·lag d'*Ostreopsis*, durant la proliferació d'estiu. (Dreta) Detall de la massa mucil·laginosa en què s'engloben multitud de cèl·lules d'*Ostreopsis*.

A la Mediterrània es produeixen proliferacions recurrents d'*Ostreopsis* a l'estiu. Grans concentracions són visibles cobrint les macroalgues (Fig. 26), i en ocasions agregats de cèl·lules es desprenen i es troben surant a la superfície de l'aigua. Aquestes proliferacions s'han relacionat amb mortalitats massives de fauna marina amb poca mobilitat (eriçons, musclos), potser degudes a la limitació d'oxigen associada a la gran capa mucil·laginosa, o bé a la producció de certes substàncies tòxiques. Efectivament, *Ostreopsis*, produeix anàlegs de la palytoxina, les ovatoxinas. La palytoxina s'ha relacionat amb casos letals d'intoxicació alimentària a l'Oceà Índic en persones que havien consumit aliments marins contaminats amb aquests compostos. Sembla ser que les toxines entren a la xarxa tròfica quan la fauna consumeix macroalgues recobertes per *Ostreopsis*, i es transmeten fins a nivells tròfics superiors incloent-hi l'home. A la Mediterrània, aquestes intoxicacions no s'han documentat, afortunadament, si bé les toxines s'han detectat en fauna marina diversa. En canvi, les proliferacions d'*Ostreopsis* s'han associat a irritacions cutànies i respiratòries lleus en banyistes i persones exposades a aerosol en diverses platges de la Mediterrània. Si bé els símptomes s'han relacionat amb les toxines d'*Ostreopsis*, aquestes s'han detectat molt rarament en els aerosols. Hi ha molts dubtes sobre què controla la producció de toxines i la seva aerosolització en el medi natural, i quins són els seus efectes en les persones.

En aquest punt, ¿quina és la relació amb la tempesta Glòria? En el moment de la borrasca, *Ostreopsis* es trobava en fase de hivernació, així com les macroalgues que constitueixen el seu principal substrat. Algunes de les preguntes obertes són:

Quina serà la dinàmica de les macroalgues en aquest 2020, després de les destrosses causades pel Glòria amb la pèrdua de sediment i el canvi de la línia de costa, tal com s'ha explicat en la secció 3?

Creixeran les mateixes macroalgues i amb la mateixa fenologia i intensitat, facilitant-hi el creixement de l'*Ostreopsis*?

En el cas que les comunitats de macroalgues no es desenvolupessin, creixerà *Ostreopsis* sobre còdols i pedres a la costa? O serà un any sense proliferacions d'*Ostreopsis*?

A causa dels canvis en la línia de costa, canviarà la ubicació dels blooms de *Ostreopsis* i apareixerà a nous llocs?

Respondre a aquestes preguntes requereix un mostreig de la costa Mediterrània integrant paràmetres biològics, fisicoquímics i geològics, i, de manera molt important, demana la implicació de les agències de salut pública i de qualitat de l'aigua. Les proliferacions d'*Ostreopsis* es consideren un problema emergent per a la salut pública i dels ecosistemes marins en costes temperades.

#### 4.3 Formació d'escuma marina

Francesc Peters, Laura Arin, Elisa Berdalet, Jordi Camp, Esther Garcés, Albert Reñé, Nagore Sampedro, Magda Vila

La tempesta Glòria va deixar unes imatges insòlites a Tossa de Mar, amb una gran quantitat d'escuma que el mar va empènyer cap a terra inundant carrers fins a una alçada de ca. 0,75 m (Fig. 27). Les escumes a l'aigua es formen quan hi ha substàncies, com ara matèria orgànica dissolta o particulada molt petita, que actuen com a tensioactius. Quan l'aigua s'agita en contacte amb l'aire, s'omple de petites bombolletes d'aire, que solen ser efímeres. Els tensioactius precisament fan que aquestes bombolletes d'aire no es trenquin tan fàcilment i persisteixin, formant l'escuma. La matèria orgànica a l'aigua es troba de forma natural i fins i tot pot incrementar molt degut a creixements massius d'organismes del plàncton acompanyats o no de la producció de substàncies mucilaginoses. També s'aporta matèria orgànica de manera massiva amb el desguàs de rius, rieres i torrents, així com amb el simple escolament en superfície cap a mar quan plou. Altres fonts de matèria orgànica al mar, d'origen antropogènic, són abocaments industrials o d'aigües residuals.

Fenòmens tan massius com el de l'escuma de Tossa de Mar durant la tempesta Glòria no es donen habitualment, especialment a les nostres costes, però s'han vist a altres localitats marines, especialment de Gran Bretanya, Queensland (Austràlia) i la costa est d'Estats Units, unes 10 vegades en els últims 10 anys.



Figura 27. Escuma de mar en els carrers de Tossa de Mar durant la borrasca Glòria.  
@silviaragolta.

L'Agència Catalana de l'Aigua, a través del seu programa de platges, va recollir una mostra d'escuma de Tossa de Mar, un cop ja era a terra. Primeres observacions microscòpiques hi van detectar pocs organismes, alguna diatomea (microalga) i força nemàtodes, un tipus de cucs que se solen trobar en els sediments, indicant que l'onatge hauria mobilitzat aquests sediments a la columna d'aigua. Els sediments contenen una quantitat variable de matèria orgànica, segons la granulometria i altres aspectes.

No es pot determinar quina va ser la combinació de variables que es van donar a Tossa de Mar perquè es produís escuma de manera tant exagerada però, tenint en compte que aquest fenomen és força rar i que no es va observar en platges o cales adjacents, haurien de ser unes condicions molt específiques. Segurament les aportacions de matèria orgànica a la Badia de Tossa, incloent-hi desguassos de rieres, sediments en suspensió, i potser també sortides d'emergència d'aigües residuals a través d'emissaris submarins, devien confluïr per resultar en una elevada concentració de matèria orgànica a l'aigua de la badia que es va combinar amb una agitació constant i molt energètica en aquesta platja de poca fondària. Finalment el vent, bufant de terra a mar, va portar l'escuma produïda als carrers del poble.



#### 4.4 Impactes sobre les comunitats de megafauna

Laura Recasens, Antoni Lombarte, Joan B. Company

L'impacte en les comunitats de megafauna es va centrar a la zona litoral i de plataforma més costanera. En aquests àmbits, els organismes sèssils (els que viuen adherits a les superfícies del fons i a les roques) es van veure perjudicats pels sediments en suspensió i la pèrdua del seu hàbitat, mentre que els de major mobilitat com els peixos es van veure poc afectats en conjunt. De tota manera, en els primers dies després del temporal es van capturar algunes espècies de peixos fora de la seva àrea habitual de distribució. Espècies d'àmbits rocosos van ser capturades en fons fangosos, com ara el balancí amb tres barbes (*Gaidropsarus vulgaris*). Espècies que habitualment es capturen a gran profunditat van ser pescades a plataforma o trobades en platges, per exemple el bisbe (*Trachyrincus scabrus*) que es distribueix habitualment a fondàries de més de 500 m i que va ser trobat a les platges de Sant Pere Pescador. Espècies de riu van ser capturades a més de 100 m de profunditat, com ara la carpa de riu (*Cyprinus carpio*), pescada per la barca d'arrossegament Juan y Virgilio de Palamós (Fig. 28).

Segons comunicació personal de pescadors del litoral català, les espècies objectiu de la pesca d'arrossegament en el talús continental a més de 300 m de profunditat no es van veure afectades pel temporal. Això fa referència a peixos com el lluç o el rap, i a crustacis decàpodes com l'escamarlà o la gamba vermella.

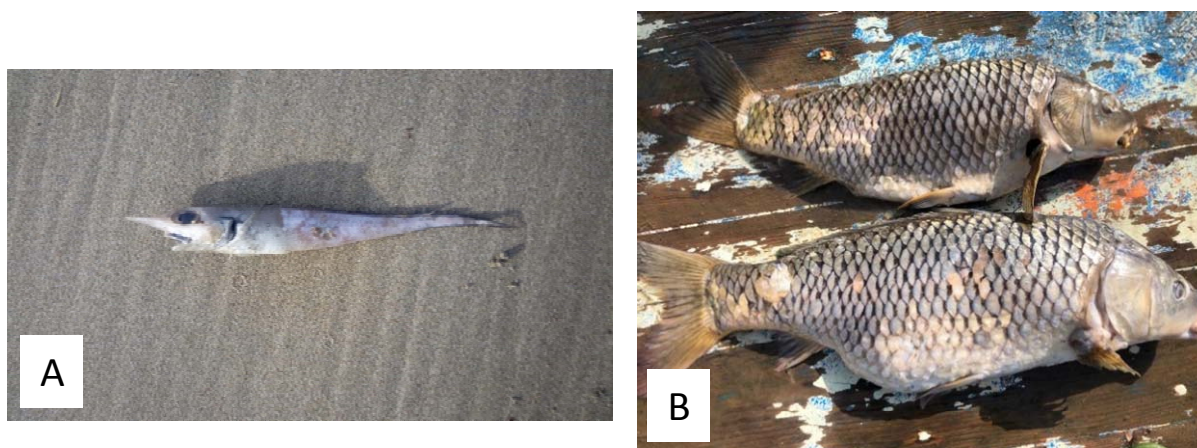


Figura 28. Espècies trobades fora del seu hàbitat natural. (A) *Trachyrincus scabrus* (bisbe) (foto: Sergi Romero de Tejada); (B) *Cyprinus carpio* (carpa de riu) (foto: Josep Antoni Cruz, patró de l'embarcació Juan y Virgilio).





## 5. Impactes en l'activitat pesquera i l'aqüicultura

Laura Recasens, Antoni Lombarte, Joan B. Company

### 5.1 Impactes en l'activitat pesquera

Durant la borrasca Glòria es va aturar tota l'activitat pesquera. A aquesta interrupció total, se li ha d'afegir una setmana més de dificultats en la realització de la pesca, tant pel desplaçament dels sediments a la zona litoral i de plataforma com per l'acumulació de residus arrossegats pels rius i els corrents marins. Aquest canvi va afectar, en particular, l'activitat de pesca dels vaixells artesanals que habitualment fan servir nanses o cadups per a la captura dels pops o espècies similars, ja que van haver de canviar els seus caladors habituals marcats en els seus sistemes de posicionament GPS i en els seus mapes. En fondàries de només 20-30 m aquests canvis batimètrics van arribar a ser de 2 i 3 m.

Els ormeigs de pesca que eren al mar en el moment de la borrasca (fondejos d'arts fixos tipus nanses i cadups, principalment) van ser desplaçats, arrossegats i en gran part destruïts pel temporal. En la majoria dels casos va ser impossible tornar a utilitzar aquests estris, ja fos per estar malmesos o per la impossibilitat de desfer els embolics dels caps (Fig. 29). Tots els arts calats al litoral entre la costa i uns 20-25 metres de profunditat van córrer distàncies de fins a diversos quilòmetres, altres van desaparèixer i encara no s'han trobat, i altres van quedar enfonsats sota molta sorra, essent alguns impossibles de recuperar. Això ha implicat un greu perjudici en el col·lectiu de pescadors artesanals d'aquests arts, que es van veure obligats a reparar-los o tornar a construir-ne de nous. És a dir, al perjudici econòmic de no poder pescar durant un període de temps, se li ha de sumar la inversió en arts nous i la nova distribució de caladors i fons de pesca.

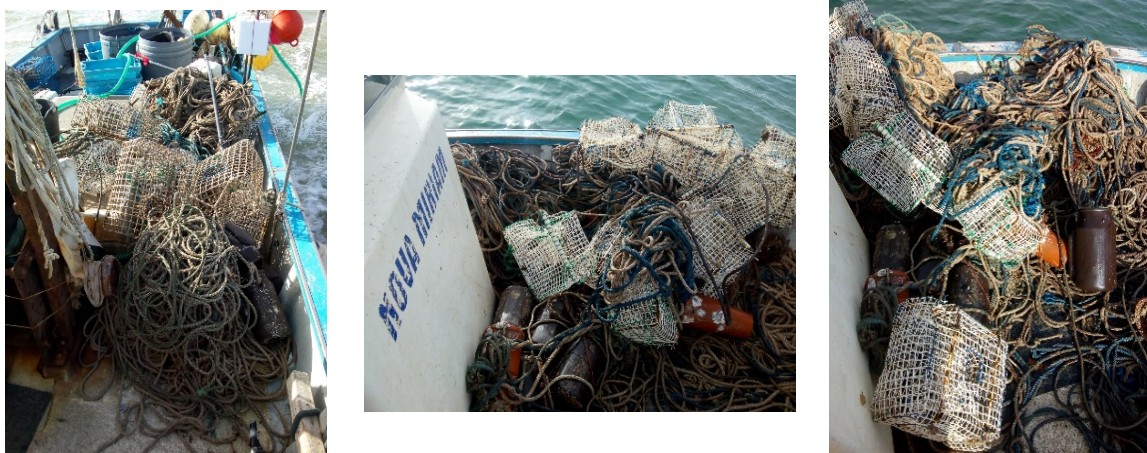


Figura 29. Efecte directe de la borrasca Glòria a les nanses i cadups de l'embarcació Nova Miriam, calats davant de les costes de Vilanova i la Geltrú (fotos: Òscar Escolar).

D'altra banda, durant la setmana posterior a la borrasca, els pescadors d'arrossegament van tenir evidents dificultats en l'exercici de la seva activitat a causa de la gran quantitat de residus aportats pels rius (troncs, plàstics, etc.) i que quedaven atrapats en els arts de pesca (Fig. 30). Això va afectar tota la flota, tant la que treballa a la zona de plataforma, com els que pesquen en les zones de talús més profundes. L'elevada presència de residus va causar avaries a algunes barques i va trencar arts de pesca, amb els conseqüents costos econòmics.



Figura 30. Residus pescats per les barques de pesca d'arrossegament al litoral català entre 5 i 15 dies després de la borrasca Glòria: (A) residus en una pesca per l'embarcació Juan y Virgilio a 100 m de profunditat (foto: Josep Antoni Cruz, patró de l'embarcació Juan y Virgilio); (B) caixes de tovalloletes pescades per l'embarcació Maireta IV a 100 m de profunditat el 10 de març (foto: David Albiol, patró de l'embarcació Maireta IV); (C) pesca de l'embarcació Maireta IV a 250-300 m profunditat el 18 de febrer (foto: David Albiol, patró de l'embarcació Maireta IV).

Malgrat els impactes negatius inicials, es pot esperar que l'efecte a mig termini de la borrasca Glòria sigui més aviat positiu per a determinats components dels ecosistemes marins. Els rius Fluvià, Tordera i Besòs no tenen sistemes artificials de regulació del seu cabal i per tant porten la seva càrrega de sediments i nutrients directament a la plataforma pròxima al litoral. Aquest subministrament de sediments i nutrients podrà ser distribuït, gràcies a l'acció dels corrents marins i dels temporals habituals en primavera, cap a d'altres zones litorals i de la plataforma costanera.

D'altra banda, durant les últimes dècades, l'aportació de sediments i nutrients a la costa pels Rius Ter, Llobregat i Ebre s'ha reduït progressivament degut a la regulació artificial dels seus cabdals. Ja s'ha comentat (secció 4.1) que la injecció de nutrients durant la borrasca Glòria ha causat un primer increment en l'abundància de fitoplàncton (Fig. 25). Es d'esperar que aquest augment afavorirà el creixement d'altres components de la xarxa tròfica i conduirà, per tant, a un increment en les captures d'algunes espècies comercials de nivells tròfics baixos i mitjans durant l'any 2020.

## 5.2 Impactes en l'aqüicultura

La borrasca Glòria va tenir afectacions greus en les gàbies d'engreix de tonyina (*Thunnus thynnus*) situades davant de les costes de l'Ametlla de Mar (a una distància d'unes 3 mn de la costa). El resultat va ser que milers de tonyines van morir o van quedar greument ferides, de manera que en els dies posteriors a la borrasca se'n van detectar centenars de mortes a les platges i ports des de l'Ametlla de Mar fins a Sant Carles de la Ràpita. Una part d'exemplars morts van ser capturats per les xarxes d'arrossegament, fins un mes després del temporal (Figura 31A i 31B), el que ens indica que centenars d'aquests animals morts s'havien dipositat al fons del mar. Aquest fet probablement va ocasionar una alteració significativa de l'ecosistema, ja que va representar un gran increment de material orgànic en descomposició i que, localment, va poder generar zones anòxiques en els dies següents a la borrasca.

Es calcula, tot i que no són dades oficials, que més de 3000 individus de l'espècie de tonyina *Thunnus thynnus* de diverses mides van ser expulsats de la xarxa (o gàbia) a causa del fort onatge, de més de 7 m d'altura significativa (secció 2.2). Aquesta xarxa no tenia coberta superficial i l'onatge sobrepassava els laterals de la gàbia expulsant-ne les tonyines. Es van perdre la majoria dels exemplars que es mantenien en les gàbies, la qual cosa va comportar importants pèrdues econòmiques. La mort de les tonyines a més d'impactar negativament en la venda dels propis exemplars, va tenir impacte també en l'economia local de l'Ametlla de Mar, especialment en els sectors turístics i de restauració. Altres afectacions es van donar en piscifactories al sud del Delta de l'Ebre, principalment a Borriana (província de Castelló) on multitud de llobarros, daurades i corballs van ser trobats morts a les platges de les comarques de Castelló (Fig. 31C).

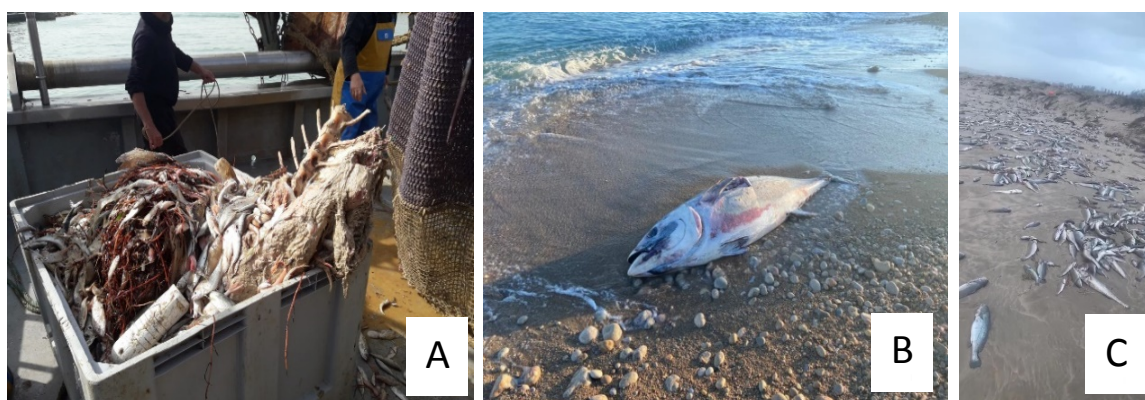


Figura 31. Efectes en l'aqüicultura: (A) tonyina en fase de descomposició capturada en una pesca del 19 de març de 2020; (B) una tonyina morta a les costes de l'Ampolla; (C) llobarros morts en platges de les costes de la província de Castelló. Fotos cedides pels ports de les Confraries de Pescadors de les comarques de Tarragona.





## Reflexions finals

La borrasca Glòria és un clar exemple de l'exposició i vulnerabilitat del litoral a esdeveniments naturals sobtats, d'origen meteorològic. D'una situació aparentment normal el dia 16 de gener de 2020, es va passar a unes condicions meteorològiques i oceanogràfiques molt adverses entre els dies 20 i 23 de gener, sobre el litoral i plataforma llewantina de la Península Ibèrica, des del Cap de Creus fins al Cap de la Nau. Als intensos vents i fortes precipitacions se li va sumar l'acció d'un gran onatge, forts corrents i un important increment en el nivell de la mar, ocasionant un gran impacte en la línia de costa i també, encara que menys perceptible, en els fons marins litorals. Entre les afectacions físiques més clares destaquen les inundacions i la reculada de la línia de costa, les quals van deteriorar infraestructures turístiques i de comunicació (terrestre i marítima), així com instal·lacions i dispositius utilitzats per la flota pesquera i la indústria d'aqüicultura.

En el context actual d'emergència climàtica, la tempesta Glòria apunta a la imperiosa necessitat de millorar la nostra capacitat per a predir la freqüència i intensitat d'esdeveniments meteorològics i oceanogràfics extrems, explorar les seves possibles conseqüències, i proposar possibles mesures preventives i pal·liatives. Això requereix establir i consolidar sèries temporals llargues d'observació marina i estudiar els processos dinàmics de resposta i reajustament dels sistemes del litoral i la plataforma continental. Les sèries temporals són fonamentals per a caracteritzar els ecosistemes litoral i marí, identificant tant el seu estat mitjà actual (*baseline*) com les tendències a mitjà i llarg termini (p. ex. la pujada del nivell de la mar) i els períodes de retorn d'esdeveniments singulars (p. ex. borrasques extremes). A més, l'estudi dels processos permet identificar els mecanismes i seqüències d'interacció entre les diferents variables físiques i biològiques. La premissa és que els mecanismes dinàmics són fonamentalment invariables, mantenint-se similars en l'actualitat i en un futur, mentre que els tipus de resposta poden ser molt diferents.

L'estudi de la dinàmica i desenvolupament de la pròpia borrasca i el seu efecte sobre el medi físic i l'ecosistema marí ha d'anar acompanyat d'una anàlisi de la sensibilitat i resiliència de la línia de costa i la plataforma continental. Només mitjançant l'estudi integral dels forçaments externs i de la resiliència de l'ecosistema costaner, es podran identificar les mesures preventives i pal·liatives que s'ajustin millor a les dinàmiques naturals del sistema litoral. Aquestes seran, sens dubte, les que garantiran la seva pervivència futura.

Resum sobre la Formació i Conseqüències de la Borrasca Glòria (19-24 gener 2020). Elisa Berdalet, Cèlia Marrasé, Josep L. Pelegrí (eds.), Institut de Ciències del Mar, CSIC, 20 de març de 2020, 38 pp, DOI: 10.20350/digitalCSIC/12496.

