

IMPACTE ECOLÒGIC DE LES LLEVANTADES SOBRE LES COMUNITATS DE FONDS ROCOSOS: EL CAS DEL TEMPORAL *GLORIA**

EMMA CEBRIÁN^a, TERESA ALCOVERRO^b, ENRIC BALLESTEROS^b, JORDI BOADA^a, ADRIEN CHEMINÉE^{c,d}, RAFAEL COMA^b, ANTONI GARCIA-RUBIES^b, JOAQUIM GARRABOU^d, BERNAT HEREU^c, DIEGO KURT KERSTING^e, CRISTINA LINARES^e, MIGUEL ÁNGEL MATEO^b I NURIA TEIXIDÓ^{f,g,*}

a. *Institut d'Ecologia Aquàtica*

Facultat de Ciències, Universitat de Girona

b. *Centre d'Estudis Avançats de Blanes - CSIC*

c. *Septentrion Environnement, Marsella*

d. *Institut de Ciències del Mar – CSIC, Barcelona*

e. *Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals, i Institut de Recerca de Biodiversitat (IRBio)*

Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona

f. *Sorbonne Université-CNRS, Laboratoire d'Océanographie de Villefranche, Villefranche-sur-mer*

g. *Stazione Zoologica Anton Dohrn*

Ischia Marine Center, Nàpols

EL TEMPORAL *GLORIA*: RISCOS, EFECTES I INVENTARI DE DANYS

L'impacte del temporal *Gloria* als fons rocosos litorals que es troben entre 0 i 50 m de fondària depèn bàsicament de l'exposició a l'onatge i de l'estabilitat del substrat, però també de la susceptibilitat dels organismes a l'abrasió per les partícules de sediment posades en moviment per les onades (Mateo i Garcia-Rubies, 2012). La vulnerabilitat dels hàbitats també està molt relacionada amb l'exposició a l'onatge (segons la localització geogràfica, l'orientació i la fondària), la tipologia del substrat (roca contínua, blocs, sorres) i les característiques morfològiques i biològiques dels organismes que el formen (Mateo i Garcia-Rubies, 2012). Això explica que els impactes siguin molt variables en funció de la fondària i dels trets vitals de les espècies dominants. Així, les comunitats dominades per espècies que presenten dinàmiques molt ràpides, amb una elevada taxa de creixement i reclu-

* E-mails dels autors pel mateix ordre en què se citen: emma.cebrian@udg.edu; teresa@ceab.csic.es; kike@ceab.csic.es; jordi.boada@udg.edu; adrien.cheminee@septentrion-env.com; coma@ceab.csic.es; tonigr@ceab.csic.es; garrabou@icm.csic.es; hereu@ub.edu; diegokersting@ub.edu; cristinalinares@ub.edu; mateo@ceab.csic.es; nuria.teixido@obs-vlfr.fr; nuria.teixidó@szn.it

tament, tindran una capacitat de recuperació més elevada que les dominades per espècies de dinàmiques més lentes com, per exemple, les espècies estructurals del coral·ligen.

ELS ECOSISTEMES LITORALS

En els estatges de la roca litoral (supralitoral, mediolitoral i els primers decímetres de l'infralitoral) es pot trobar una gran diversitat d'hàbitats, distribuïts en horitzons i adaptats a unes condicions ambientals d'una gran variabilitat (Chappuis *et al.*, 2014). Els hàbitats típics dels indrets més exposats són els que presenten una major vulnerabilitat als efectes dels temporals extrems, sobretot si creixen sobre els substrats més inestables (còdols o blocs); tot i així, el seu caràcter més efímer i oportunista, ajuda a fer que la recuperació sigui relativament ràpida (menys d'un any). Altres hàbitats típics d'indrets molt exposats, però en substrats més estables, presenten una major complexitat i estan més ben estructurats. Aquest és el cas dels horitzons de *Cystoseira* típics de mode batut. Aquests hàbitats han resistit probablement els embats del temporal *Gloria*, tal i com es va demostrar en temporals anteriors, com el del dia de Sant Esteve de 2008 (Torras i Garcia-Rubies, 2012), aprofitant l'espai lliure proporcionat per l'abrasió que patiren altres espècies litorals (per exemple, *Corallina elongata*) amb les que *Cystoseira* comparteix i competeix directament pel substrat (Torras i Garcia-Rubies, 2012).

FONS ROCOSOS INFRALITORALS

Els fons rocosos es caracteritzen per un alt recobriment d'espècies algals que, si es troben en un bon estat de conservació, formen sistemes multiestratificats amb algues arborescents, cespitoses i incrustants (Fig. 1). Val a dir que els factors ambientals que determinen la vulnerabilitat d'aquests hàbitats als temporals excepcionals són, de nou i sobretot, l'orientació, la fondària i la tipologia del substrat. Atès que la majoria dels organismes que ocupen aquests hàbitats (algues i alguns macroinvertebrats massius, com esponges, tunicats i cnidaris) han desenvolupat mecanismes d'ancoratge a la roca molt resistents, si es troben en zones arrecerades i més profundes, la pèrdua de cobertura causada pel temporal hauria de ser menyspreable o nul·la. Tot i això, algunes zones profundes es poden veure localment afectades per l'abrasió deguda al sediment. Aquest va ser el cas d'algunes poblacions de *Carpodesmia zosteroides* localitzades a uns 25 m de profunditat a les illes Medes, on el temporal de Sant Esteve de 2008 va causar el declivi del 80% de la població (Navarro *et al.*, 2011). La recuperació d'aquestes poblacions és molt lenta, i pot trigar dècades depenent, en gran part, de l'estat de conservació de les poblacions adjacents (Capdevila *et al.*, 2016). Però on aquests temporals tenen un

major impacte és en els fons de grans blocs, envoltats de sorres gruixudes o grava, orientats a l'est i poc profunds; en aquest cas, la pèrdua de cobertura algal pot ser superior al 90% (Figs. 1 i 2) (Hereu *et al.*, 2012a). En qualsevol cas, la recuperació d'aquests hàbitats acostuma a ser ràpida. Segons estudis recents s'ha demostrat que, fins i tot les zones més afectades es recuperen durant el primer o segon any (Medrano *et al.*, 2020).

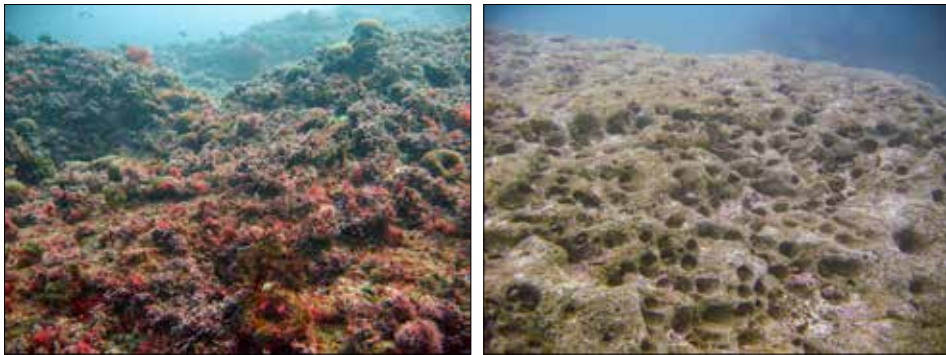


FIGURA 1. Fons rocosos litorals dominants per algues fotòfiles erectes abans del temporal (esquerra), i el mateix tipus de fons després dels impactes d'un temporal. Noteu que la cobertura algal ha desaparegut completament. També s'observen uns caus arrodonits, que són els refugis de les garotes que han estat eliminades per la força de les onades (dreta) (fotografies d'A. Cheminée).

Les algues no són, però, l'únic component que es veu afectat. Algunes espècies, com les colònies de madreporaris que es troben a poca profunditat també pateixen a causa de l'hidrodinamisme extrem. Entre elles cal destacar la presència en indrets molt localitzats de grans colònies del corall endèmic *Cladocora caespitosa*, que tot i ser rares a Catalunya poden presentar una mida considerable a la zona del Montgrí i el cap de Creus. Aquestes colònies són particularment vulnerables als temporals com el *Gloria* ja que, degut a la seva fragilitat, es trenquen i es disgreguen amb facilitat. Només que es malmetin unes poques colònies, la pèrdua a nivell patrimonial es pot considerar molt elevada en tractar-se de colònies centenàries (Kersting i Linares, 2012).

Aquests paisatges, però, no estan només determinats i modulats pels diferents factors abiòtics (llum, hidrodinamisme i nutrients), sinó també per la pressió dels herbívors, entre els quals destaca el paper de les garotes (normalment, *Paracentrotus lividus*) i dels peixos (salpes o saupes, *Sarpa salpa*). Les garotes són les que es veuen més afectades a causa de la seva escassa mobilitat (Fig. 1). En el *Gloria*, però també en altres temporals similars, com el de Sant Esteve de 2008, s'han observat

reduccions de fins a un 50% de la densitat de les poblacions de garotes, sobretot en zones on es troben en altes densitats (*obs. pers.*, Hereu *et al.*, 2012b). La recuperació de les poblacions de garotes és més lenta i pot estar també modulada per altres factors, com ara la pressió per depredació. Així, les poblacions de garotes poden trigar entre tres i quatre anys a recuperar els valors anteriors al temporal en zones sotmeses a activitat pesquera i fins a més de sis o set anys en zones protegides, com les situades dins la Reserva del Parc Natural del Montgrí, les illes Medes i Baix Ter, on la pressió per depredació per part dels peixos sobre els juvenils és molt més elevada (Medrano *et al.*, 2019). En canvi, les saupes i molts altres peixos bentònics característics d'aquests fons es valen de la seva capacitat de moviment i de la possibilitat de refugiar-se en indrets més profunds per a escapar dels efectes dels temporals (Garcia-Rubies *et al.*, 2012).

Tot i així, durant el temporal *Gloria* i en altres similars anteriors, s'han observat exemplars de peixos morts a les platges i un descens de la densitat i/o abundància d'algunes espècies (Garcia-Rubies *et al.*, 2012). Durant el temporal de Sant Esteve de 2018, les espècies més afectades varen ser les més mòbils. Malgrat tot, la recuperació d'aquestes poblacions és relativament ràpida, a través d'episodis de reclutament compensatoris els anys posteriors al temporal (Garcia-Rubies *et al.*, 2012).



FIGURA 2. Aprofundiment de més d'1 m per pèrdua de sediments sorrencs arran del temporal del dia de Sant Esteve de l'any 2008 (vegeu submarinista dempeus per escala). El canvi cap a tonalitats més clares a la part inferior del gran bloc de roca indica que va quedar al descobert i subjecte a abrasió poc abans de fer-se la fotografia. D'altra banda, l'abrasió per la sorra ha eliminat completament la cobertura algal i els invertebrats bentònics (fotografia de Jordi Regàs).

EL CORAL·LIGEN

El coral·ligen es desenvolupa en llocs amb unes condicions molt particulars, caracteritzats per rebre poca llum i per un baix hidrodinamisme. Els organismes dominants, tant algues com animals, tenen en comú una elevada longevitat i dinàmiques molt parsimonioses (Fig. 3) (Linares *et al.*, 2007; Teixidó *et al.*, 2013). Aquestes característiques fan que el coral·ligen sigui particularment vulnerable a les pertorbacions, amb una baixa capacitat de recuperació a curt i/o mitjà termini. Les pertorbacions fortes, malgrat que puguin ser poc freqüents, tenen impactes devastadors ja que empobreixen la comunitat i afavoreixen l'aparició d'espècies oportunistes. L'impacte que temporals com el *Gloria* tenen sobre el coral·ligen tampoc és homogeni, i encara un altre cop depèn principalment de la fondària, l'orientació i la tipologia de substrat. Els indrets més afectats són els que reben una forta abrasió pel sediment, que en alguns casos pot comportar la pèrdua d'entre el 22% i el 58% de la cobertura d'espècies bentòniques (Teixidó *et al.*, 2013). Els grups més afectats són nombrosos i inclouen algues calcàries, esponges, antozous, briozous i tunicats. Les espècies que presenten formes erectes i fràgils, com és el cas de les gorgònies, són particularment castigades i poden patir mortalitats fins a vuit vegades més grans que la mortalitat natural (Fig. 4) (Coma *et al.*, 2012). Cal remarcar el paper clau que té la baixa mortalitat en la dinàmica poblacional d'aquestes espècies estructurals de vida llarga, la qual atenua els efectes dels llargs episodis de baix reclutament i de l'elevada mortalitat de les colònies petites (Linares *et al.*, 2007). La recuperació d'aquests hàbitats és molt lenta a causa de la seva dinàmica parsimoniosa (desenes d'anys) i depèn de les superfícies afectades, essent les taques de dimensions més petites les que mostren una recuperació més ràpida (Teixidó *et al.*, 2013).



FIGURA 3. Aspecte típic d'un coral·ligen ben conservat amb algues calcàries i invertebrats, com ara esponges, briozous i gorgònies (*Paramuricea clavata*) (fotografia de J. Clotas).



FIGURA 4. Pre-coral·ligen amb algues gorgònies blanques (*Eunicella singularis*) i algues calcàries (esquerra), i efectes dels impactes dels temporals en aquest hàbitat, amb l'eliminació de la majoria de la cobertura algal, els invertebrats i també les gorgònies (dreta) (fotografies d'E. Ballesteros i N. Teixidó).

CONCLUSIONS

Basats en l'experiència de molts anys d'estudi i monitorització de la resposta dels hàbitats de fons durs en condicions normals, però també en situacions excepcionals (com els impactes de perturbacions lligades al canvi climàtic, a espècies invasores o a contaminació), i l'experiència adquirida arran del temporal de Sant Esteve de 2008, es pot concloure que, en la majoria dels casos, els hàbitats més visiblement afectats a escala regional són els soms dominats per algues que creixen sobre substrats inestables, com blocs rocosos, o en zones vulnerables a l'abrasió pels sediments. La dinàmica natural d'aquests hàbitats fa que tot i la pèrdua de cobertura algal, que pot ser important, es recuperin amb rapidesa. Els impactes que considerem més rellevants són els que es donen de forma més esporàdica a escala local, però que afecten hàbitats molt vulnerables per la seva reduïda capacitat de recuperació, com el coral·ligen i els boscos profunds d'algues fucals, o espècies de creixement lent i amb reclutament molt limitat, com ara la gorgònia *Paramuricea clavata* i el corall *C. caespitosa*.

RECOMANACIONS

Si bé la majoria dels hàbitats dels fons rocosos són força resistents als embats de temporals com el *Gloria*, la recurrència d'aquests fenòmens combinats amb els efectes d'altres perturbacions pot comportar conseqüències devastadores a llarg termini. Això és especialment preocupant en els hàbitats més vulnerables (de dinàmiques parsimonioses), sobre els quals hi ha nombroses evidències dels dramàtics efectes causats per l'escalfament, la contaminació i la pesca.

Cal destacar que per a avaluar els impactes d'aquest i altres fenòmens globals sobre els diferents hàbitats són imprescindibles els projectes de recerca i de seguiment a llarg termini que es duen a terme en programes paral·lels i independents. És, doncs, imprescindible fomentar tant la recerca bàsica com la monitorització per estudiar aquests fenòmens. És per això que en vista de les pressions actuals sobre les comunitats litorals, i per tal d'augmentar la resiliència d'aquests hàbitats davant de les perturbacions extremes, cada vegada més freqüents, s'hauria de garantir un bon estat de conservació dels hàbitats presents al litoral català, que els permeti d'ésser més resilient a l'increment de tot tipus de pressions.

BIBLIOGRAFIA

- CAPDEVILA, P.; HEREU, B.; RIERA, J.L., i LINARES, C. (2016). «Unraveling the natural dynamics and resilience patterns of underwater Mediterranean forests: insights from the demography of the brown alga *Cystoseira zosteroides*». *Journal of Ecology*. Vol. 104, p. 1799-1808. Doi: 10.1111/1365-2745.12625.
- CHAPPUIS, E.; TERRADAS, T.; CEFALÌ, M.E.; MARIANI, S., i BALLESTEROS, E. (2014). «Vertical zonation is the main distribution pattern of littoral assemblages on rocky shores at a regional scale». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 147, p. 113-122. Doi: 10.1016/j.ecss.2014.05.031.
- COMA, R.; SERRANO, E.; LINARES, C.; ZABALA, M., i RIBES, M. (2012). «Effects of a severe storm on the mortality rate of the gorgonian *Paramuricea clavata* on the Medes Islands Marine Reserve and the nearby Montgrí coast». A: MATEO, M.A. i GARCIA-RUBIES, A. [eds.]. *Assessment of the ecological impact of the extreme storm of Sant Esteve's Day (26 December 2008) on the littoral ecosystems of the north Mediterranean Spanish coasts*. Final Report PIEC 200430E599. Blanes: Centre d'Estudis Avançats de Blanes - Consejo Superior de Investigaciones Científicas, p. 67-78.
- GARCIA-RUBIES, A.; ZABALA, M., i HEREU, B. (2012). «Evaluation of the storm effects on highly targeted fish populations inside and outside the Medes Islands Marine Reserve». A: MATEO, M.A. i GARCIA-RUBIES, A. [eds.]. *Assessment of the ecological impact of the extreme storm of Sant Esteve's Day (26 December 2008) on the littoral ecosystems of the north Mediterranean Spanish coasts*. Final Report PIEC 200430E599, Blanes: Centre d'Estudis Avançats de Blanes - Consejo Superior de Investigaciones Científicas, p. 183- 200.
- HEREU, B.; GARCIA-RUBIES, A.; LINARES, C.; NAVARRO, L.; BONAVIRI, C.; CEBRIÁN, E.; DIAZ, D.; GARRABOU, J.; TEIXIDÓ, N., i ZABALA, M. (2012a). «Impact of the Sant Esteve's storm (2008) on the algal cover in infralittoral rocky photophilic communities». A: MATEO, M.A. i GARCIA-RUBIES, A. [eds.].

- Assessment of the ecological impact of the extreme storm of Sant Esteve's Day (26 December 2008) on the littoral ecosystems of the north Mediterranean Spanish coasts*. Final Report PIEC 200430E599, Blanes: Centre d'Estudis Avançats de Blanes - Consejo Superior de Investigaciones Científicas, p. 123-134.
- HEREU, B.; LINARES, C.; SALA, E.; GARRABOU, J.; GARCIA-RUBIES, A.; DÍAZ, D., i ZABALA, M. (2012b). «Multiple processes regulate long-term population dynamics of sea urchins on Mediterranean rocky reefs». *PLoS ONE*. Vol. 7, núm. 5, art. e36901. Doi: 10.1371/journal.pone.0036901.
- KERSTING, D. K. i LINARES, C. (2012). «*Cladocora caespitosa* bioconstructions in the Columbretes Islands Marine Reserve (Spain, NW Mediterranean): distribution, size structure and growth». *Marine Ecology*. Vol. 33, p. 427-436. Doi: 10.1111/j.1439-0485.2011.00508.x.
- LINARES, C.; DOAK, D.; COMA, R.; DÍAZ, D., i ZABALA, M. (2007). «Life history and viability of a long-lived marine invertebrate: the octocoral *Paramuricea clavata*». *Ecology*. Vol. 88, p. 918-928. Doi: 10.1890/05-1931.
- MATEO, M. A. i GARCIA-RUBIES, A. [eds]. (2012). *Assessment of the ecological impact of the extreme storm of Sant Esteve's Day (26 December 2008) on the littoral ecosystems of the north Mediterranean Spanish coasts*. Final Report PIEC 200430E599, Blanes: Centre d'Estudis Avançats de Blanes - Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- MEDRANO, A.; LINARES, C.; ASPILLAGA, E.; CAPDEVILA, P.; MONTERO-SERRA, I.; PAGÈS-ESCOLÀ, M., i HEREU, B. (2019). «No-take marine reserves control the recovery of sea urchin populations after mass mortality events». *Marine Environmental Research*. Vol. 145, p. 147-154. Doi: 10.1016/j.marenvres.2019.02.013.
- MEDRANO, A.; LINARES, C.; ASPILLAGA, E.; CAPDEVILA, P.; MONTERO-SERRA, I.; PAGÈS-ESCOLÀ, M.; ZABALA, M., i HEREU, B. (2020). «Long-term monitoring of temperate macroalgal assemblages inside and outside a No take marine reserve». *Marine Environmental Research*. Vol. 153, art. 10486. Doi: 10.1016/j.marenvres.2019.104826.
- NAVARRO, L.; BALLESTEROS, E.; LINARES, C., i HEREU, B. (2011). «Spatial and temporal variability of deep-water algal assemblages in the Northwestern Mediterranean: the effects of an exceptional storm». *Estuarine Coastal and Shelf Science*. Vol. 95, p. 52-58. Doi: 10.1016/j.ecss.2011.08.002.
- TEIXIDÓ, N.; CASAS, E.; CEBRIÁN, E.; LINARES, C., i GARRABOU, J. (2013). «Impacts on coralligenous outcrop biodiversity of a dramatic coastal storm». *PLoS ONE*. Vol. 8, núm. 1, art. e53742. Doi: 10.1371/journal.pone.0053742.
- TORRAS, X. i GARCIA-RUBIES, A. (2012). «Changes in the sublittoral algal communities after the storm of Sant Esteve 2008». A: MATEO, M.A. i GARCIA-RUBIES, A. [eds.]. *Assessment of the ecological impact of the extreme storm*

of Sant Esteve's Day (26 December 2008) on the littoral ecosystems of the north Mediterranean Spanish coasts. Final Report PIEC 200430E599, Blanes: Centre d'Estudis Avançats de Blanes - Consejo Superior de Investigaciones Científicas, p. 113-122.