

## NOTA BREU

**Primera cita de presència de blocs atribuïts a tsunamis a les costes rocoses de Tarragona, Catalunya****First appointment of the presence of blocks attributed to tsunamis on the rocky coasts of Tarragona, Catalonia**

Francesc Xavier Roig-Munar<sup>1</sup>, Joan Manel Vilaplana<sup>2</sup>, Joan Guimerà<sup>3</sup>, Aantonio Rodríguez-Perea<sup>4</sup>, Bernadí Gelabert Ferrer<sup>1</sup> & C. Garcia-Lozano<sup>5</sup>

- <sup>1</sup> Grup de Ciències de la Terra Departament de Biologia Universitat de les Illes Balears Crta. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Mallorca, Illes Balears).  
<sup>2</sup> Grup RISKINAT- Dept. de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà. Facultat de Ciències de la Terra. Universitat de Barcelona. Martí i Franquès, s/n, 08028 Barcelona  
<sup>3</sup> Dept. de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà. Facultat de Ciències de la Terra. Universitat de Barcelona. Martí i Franquès, s/n, 08028 Barcelona  
<sup>4</sup> Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears, Crta. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Mallorca, Illes Balears).  
<sup>5</sup> Laboratori d'Anàlisi i Gestió del Paisatge. Universitat de Girona. Plaça Ferrater Mora, 17003 Girona.

Autor per a la correspondència: Francesc Xavier Roig-Munar A/e: [xiscoroig@gmail.com](mailto:xiscoroig@gmail.com)

Rebut: 01.04.2022. Acceptat: 28.05.2022. Publicat: 30.06.2022

Les costes rocoses presenten acumulacions de blocs que permeten inferir les característiques distintives del seu transport (Etienne & París, 2010), amb dipòsits que poden tenir un origen poligènic, tempestes o tsunamis (Hall, 2011). La seva distinció es basa en un conjunt de criteris morfològics que han de ser analitzats en conjunt (Lario *et al.*, 2011). Un dels principals efectes dels tsunamis a les costes rocoses és la sedimentació de grans blocs terra endins, transportats per lliscament, rodament i/o rebot (Lorang, 2000), presentant un patró de cordons paral·lels i imbricats a la línia de costa, i orientats segons el flux de l'onada (Roig-Munar, 2016).

La Mediterrània no és aliena a fenòmens de tsunamis, amb una sismicitat fortament vinculada a les seves característiques tectòniques. Al voltant del 7 % dels terratrèmols al Mediterrani han produït un tsunami (Bryant, 2001). El Mediterrani occidental es caracteritza per una costa retallada que individualitza petites àrees, on l'energia de l'onatge està condicionada per la seva morfologia local i per la velocitat del vent (Cañelles *et al.*, 2007), i on l'onada difereix respecte als oceans en quant a l'energia i recorregut, per la qual cosa aquestes costes poden ser bons indicadors per diferenciar els fenòmens que han donat lloc a la sedimentació (Mastroruzzi *et al.*, 2007). Álvarez-Gómez *et al.* (2010, 2011) modelitzen els tsunamis generats per fonts situades al N d'Àfrica, properes a la Península Ibèrica i les illes Balears (Fig. 1), basant-se amb tsunamis històrics, i obtenint nou fonts tsunamigèniques que afecten de diferents formes i intensitat les costes. A més dels tsunamis generats per terratrèmols hi ha diversos treballs que constaten grans lliscaments submarins al front del prodelta de l'Ebre, que probablement també van generar tsunamis (Iglesias *et al.*, 2012).

A la Mediterrània occidental hi ha referenciades 82 localitats de dipòsits de tsunami (Roig-Munar *et al.*, 2020b).

D'aquest conjunt només dues localitats presenten sediments tsunamítics, mentre que la resta correspon a blocs sobre penya-segats. A les Balears Roig-Munar (2016) va analitzar blocs de tsunamis a les costes rocoses, on va aplicar l'equació Transport Figure de Scheffers & Kelletat (2003), que defineix el llindar de capacitat de transport i que permet distingir entre els blocs de tempestes i de tsunami, on valors inferiors a 250 són atribuïbles a tempestes i els superiors a tsunamis. Els resultats obtinguts per Roig-Munar *et al.* (2018b, 2019a i b) mostren que l'orientació dels blocs són concordant amb les trajectòries obtingudes per Álvarez-Gómez *et al.* (2011), concordants amb la seva orientació. Les datacions obtingudes ofereixen edats d'entre 1570 i 1813 CE, ajustant-se a tsunamis històrics, com el de 1756 (Fontserè, 1918). Els registres de presència de blocs de tsunami a la costa peninsular mediterrània es situen a Cabo Cope, Múrcia (Lario *et al.*, 2017), i les costes de la Serra d'Irta, Castelló (Roig-Munar *et al.*, 2018a). En ambdós casos l'orientació dels blocs són atribuïts a les trajectòries definides per Álvarez-Gómez *et al.* (2010), que arriben a tota la costa peninsular (Fig. 1).

En aquesta nota es presenta la identificació i l'anàlisi morfològica, per primera vegada, de diferents ubicacions amb presència de blocs sobre terrasses de la costa rocosa del S de Tarragona. L'àrea estudiada es troba als litorals rocosos dels municipis de l'Ametlla de Mar i Calafat (Fig. 2). Aquest litoral rocós està format per conglomerats poligènics ben cimentats, amb crostes calcàries a la part superior, provinents de ventalls al·luvials del Pleistocè superior. Es tracta d'una costa intensament antropitzada, fet que ha dificultat la conservació de registres tsunamítics. Atesa la moderada alçada dels penya-segats i l'estretor de les terrasses rocoses, no es poden generar estructures de blocs elevats ni amb gran recorregut terra endins, tot i que a les zones tabulars observem que,

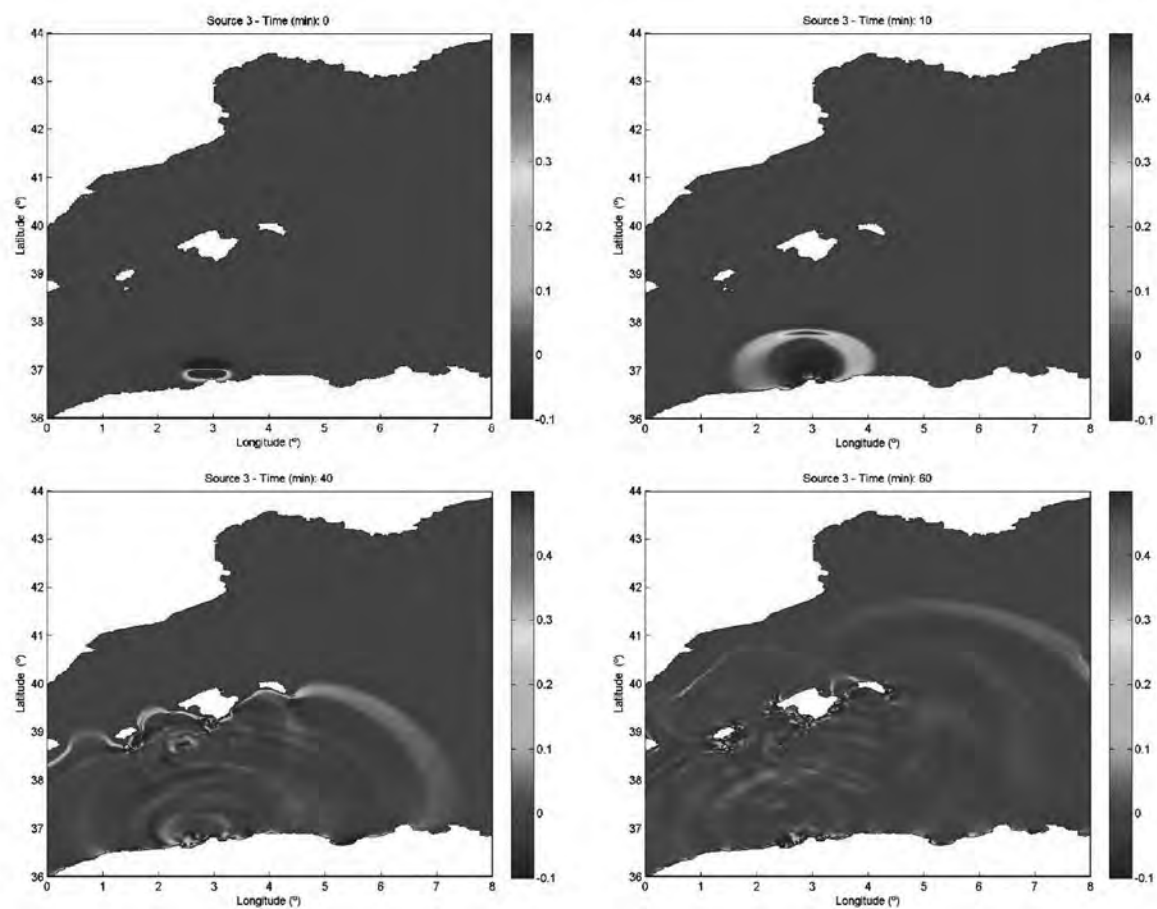


Figura 1. Modelització de les fonts tsunàmiques del N d'Algèria i l'efecte «escut» de les illes Balears en front la península Ibèrica. Font: Álvarez-Gómez *et al.* (2010).



Figura 2. Ubicació de les sis àrees analitzades amb presència de blocs atribuïts a tsunamis.



Figura 3. Exemples representatius de blocs imbricats i orientats a les costes rocoses de Tarragona: (a-b) blocs imbricats i orientats sobre una plataforma inferiors als 2 m snm a cala Calafató, (c-d) blocs arrabassats i imbricats a una alçada de 4,5 m snm a punta de l'Àliga.

tot i el seu potencial, no es conserven registres probablement per l'antropització. Es tracta doncs de penya-segats de baixa alçada amb terrasses de denudació (màxim de 5 m snm). En el present estudi s'han caracteritzat morfològicament els 31 blocs (Fig. 3) localitzats a 6 indrets de la costa, mitjançant:

1. Caracterització morfològica de blocs a partir del càlcul dels valors del *Transport Figure* (Scheffers & Kelletat, 2003). De cada bloc s'obtenen els valors d'eix llarg (A), eix intermedi (B) i eix curt (C). Per tal de determinar-ne el volum més fiable, i al ser aquestes dades una simplificació del volum del bloc, s'han aplicat els resultats de triangulació de blocs, per obtenir un volum més real, i reduint en un 20% el producte dels eixos com a factor de correcció de la massa i pes real (Roig-Munar, 2016).

2. De cada bloc, s'han obtingut valors de l'orientació, la cota s.n.m i distància a la línia de costa, prenent com a referència el centre del bloc, i s'ha realitzat el càlcul de densitats de 4 blocs, amb un valor de 2,56.

3. A cada bloc s'ha aplicat les equacions de d'Engel & May (2012), per obtenir els valors hidrodinàmics necessaris per l'arrabassament, desplaçament i sedimentació del blocs sota diferents supòsits: bloc submergit, bloc subaeri i

bloc delimitat per fractures. Per poder estimar el seu *run-up* s'ha sumat la cota real del bloc desplaçat (Roig-Munar *et al.*, 2017). Amb això s'ha obtingut una estimació de la columna d'aigua necessària per a l'arrencada i/o el desplaçament dels blocs fins a la seva posició actual, cosa que permet establir diferents escenaris d'onatge i/o de tsunamis que n'han donat lloc a la seva sedimentació.

Els resultats obtinguts dels blocs analitzats presenten un pes de 16,61 T de mitjana, es troben a una distància mitjana de la línia de costa de 19,53 m i a una alçada mitjana de 3,5 m s.n.m. Els seus patrons d'imbricació i l'orientació predominant és de 116°, coincident amb les direccions dels tsunamis procedents d'Algèria (Fig. 1) i amb les orientacions de 119,5° dels blocs de Castelló (Roig-Munar *et al.*, 2018a). La potència dels blocs analitzats es correspon en la majoria dels casos a les potències de denudació dels estrats inferiors sobre els que es sustenta cada bloc (Fig. 3D), el què n'indica la procedència. Així mateix els camps de blocs analitzats no presenten marques de fregament recents ni marques de denudació associades a l'impacte de l'onatge de tempesta.

De cadascun dels blocs s'han calculat els valors del seu *Transport Figure* (TF) i s'ha obtingut un valor mitjà de 965, tot i que la forquilla es troba entre 297 a la zona de Ribe-

## NOTA BREU

llet i valors superiors als 2000 a Sant Jordi d'Alfama. També s'han aplicat les equacions hidrodinàmiques d'Engel & May (2012) i s'ha obtingut valors d'alçada d'onatge (Hs) i de tsunami (Ht) necessaris per al seu desplaçament sota tres supòsits: blocs submergits, blocs subaeris i blocs delimitats per juntes. Les mitjanes obtingudes als blocs són 4,78 m per a l'arrabassament de blocs per fluxos de tsunami i 19,14 m per tempestes. Aquests valors demostren que les tempestes no van ser les responsables de l'arrabassament d'aquests camps de blocs, ja que molts del blocs requereixen valors superiors als màxims d'ona de tempesta històrica enregistrat a la zona d'estudi. Pel que fa a les mesures de *run-up* per arrossegar els blocs, hem obtingut valors Ht de 0,72 m i Hs de 2,27 m, els quals s'ajusten tant a ones de tsunamis com de tempesta. Les ones màximes de tempesta enregistrades a la zona poden assolir una certa capacitat d'arrossegament de blocs de petita magnitud, però no poden arrabassar els blocs de la seva posició original i dipositar-los a les distàncies analitzades. Malgrat aquesta potencial capacitat, els resultats obtinguts sobre l'afectació del temporal Glòria sobre els blocs de Castelló demostren que no sofriren canvis morfològics durant la tempesta que modificaren la seva sedimentació i imbricació (Roig-Munar *et al.*, 2020a).

La presència, mida, disposició i orientació d'aquests blocs, indica l'afectació de la costa per trajectòries de tsunamis procedents del N d'Algèria a través del canal que hi ha entre Eivissa i Mallorca, orientacions compatibles amb les simulacions de la Fig. 1 d'Álvarez-Gómez *et al.* (2010). Malgrat això, els blocs de tsunami ubicats sobre perfils baixos, plataformes tabulars i propers a la cornisa poden ser retreballats puntualment per l'onatge de tempesta de gran energia, cosa que modifica de forma puntual els graus d'imbricació (Roig-Munar *et al.*, 2016). L'aplicació de les equacions hidrodinàmiques ha permès definir columnes d'aigua; necessàries per arrabassar i moure els blocs, atribuïbles a tsunamis. Cal destacar que els blocs presenten eixos curts associats a terrasses de denudació i que mostren, per tant, que han estat arrabassats i transportats terra endins per fluxos de *run-up*. En conseqüència, les agrupacions de blocs situats en aquestes localitats del S de la costa de Tarragona es poden interpretar com a indicadors de tsunamis. L'absència de cocons i de matèria orgànica associats a la ubicació dels blocs, no permeten establir cap cronologia directa sobre l'edat del tsunami o tsunamis. Aquesta nova cita obre, com a perspectiva de futur, el camp d'estudi a la presència de tsunamites associades a costes baixes i a zones humides properes a la costa.

## Bibliografia

- Álvarez-Gómez, J. A., Olabarrieta, M., González, M., Otero, L., Carreño, E. & Martínez-Solares, J. M. 2010. The impact of tsunamis on the Island of Majorca induced by North Algerian seismic sources. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 19: 367-383.
- Álvarez-Gómez, J.A., Aniel-Quiroga, I., González & M., Otero, L. 2011. Tsunami hazard at the Western Mediterranean Spanish coast from seismic sources. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 227-240.
- Bryant, E. 2001. *Tsunami. The underrated hazard*. Cambridge University Press, Cambridge, 320 p.
- Cañelles, B., Orfila, A., Méndez, F. J., Menéndez, M. & Tintoré, J. 2007. Application of a POT model to estimate the extreme significant wave height levels around the Balearic Sea (Western Mediterranean). *Journal of Coastal Research*, SI, 50: 329-333.
- Engel, M. & May, S. M. 2012. Bonaire's boulder fields revisited: Evidence for Holocene tsunami impact on the Lee-ward Antilles. *Quaternary Science Reviews*, 54: 126-141.
- Etienne, S. & Paris, R. 2010. Boulder accumulations related to storms on the south coast of the Reykjanes Peninsula (Iceland). *Geomorphology*, 114: 55-70.
- Fontseré, E. 1918. Notas sueltas de sismología Balear. *Publicaciones de la Sección de Ciencias Naturales*, Facultad de Ciencias de la Universidad de Barcelona, 5-12.
- Hall, A. M. 2011. Storm wave currents, boulder movement and shore platform development: a case study from East Lothian, Scotland. *Marine Geology*, 283: 98-105.
- Iglesias, O., Lastras, G., Canals, M., Olabarrieta, M., González, M., Aniel-Quiroga, I., Otero, L., Durán, R., Amblas, D., Casamor, J. L., Tahchi, E., Tinti, S. & De Mol, B. 2012. The BIG'95 Submarine Landslide-Generated Tsunami: A Numerical Simulation. *Journal of Geology*, 120 (1): 31-48.
- Lario, J., Bardají, T., Spencer, C. & Marchante, A. 2017. Eventos de oleaje extremo en la costa del sureste peninsular: bloques y megabloques como indicadores de tsunamis o tormentas extremas. *Geo-Temas*, 17: 227-230.
- Lario, J., Zazo, C., Goy, J. L., Silva, P. G., Bardají, T., cabero, A. & Dabrio, C. J. 2011. Holocene palaeotsunami catalogue of SW Iberia. *Quaternary International*, 242: 196-200.
- Lorang, M. 2000. Predicting the threshold entrainment mass for a boulder. *Journal of Coastal Research*, 16 (2): 432-445.
- Mastronuzzi, G., Pignatelli, C., Sanso, P. & Selleri, G., 2007. Boulder accumulations produced by the 20th February 1743 tsunami along the coast of SouthEastern Salento (Apulia region, Italy). *Marine Geology*, 242: 191-205.
- Roig-Munar, F. X. 2016. *Blocs de tempesta i tsunami a les costes rocoses de les Illes Balears. Anàlisi geomorfològica i morfomètrica*. Tesis doctoral inèdita, Univ. Barcelona, 410 p.
- Roig-Munar, F.X., Vilaplana, J.M., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J.Á. & Gelabert, B. 2016. Indicadores geomorfológicos de tsunamis históricos en las costas rocosas de Baleares. *Geo-Temas*, 16 (1): 641-64.
- Roig-Munar, F. X., Martín-Prieto, J. Á., Rodríguez-Perea, A., Gelabert, B. & Vilaplana, J. M., 2017. Análisis morfométrico de bloques de tsunami en la isla de Formentera, islas Baleares. *Cuaternario y Geomorfología*, 31 (3-4): 73-96.
- Roig-Munar, F. X., Forner, E., Martín-Prieto, J. Á., Segura, J., Rodríguez-Perea, A., Gelabert, B. & Vilaplana, J.M. 2018a. Presència de blocs de tsunamis i tempestes a les costes rocoses de la serra d'Irta (el Baix Maestrat, País Valencià). *Nemus*, 8:7-28.
- Roig-Munar, F. X., Vilaplana, J. M., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J. Á. & Gelabert, B. 2018b. Tsunamis boulders on the rocky shores of Minorca (Balearic Islands). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18: 1985-1998.
- Roig-Munar, F. X., Rodríguez-Perea, J. M., Martín-Prieto, J. Á., Gelabert, B. & Vilaplana, J. M. 2019b. Tsunami boulders in Majorca Island (Balearic Islands, Spain). *Geomorphology*, 334: 76-90.
- Roig-Munar, F. X., Rodríguez-Perea, A., Vilaplana, J.M., Martín-Prieto, J.Á. & Gelabert, B. 2019b. Tsunami Boulders on the Rocky Coasts of Ibiza and Formentera (Balearic Islands). *Journal of Marine Science and Engineering*, 7: 327.
- Roig-Munar, F. X., Forner I Valls, E., Segura Collado, J., Gual I Ortí, V., Martín-Prieto, J. Á., Rodríguez-Perea, A., Gelabert Ferrer, B. & Vilaplana Fernández, J. M. 2020a. Efectes de la

- borrasca Glòria sobre els blocs elevats de la costa rocosa de la serra d'Irta (el Baix Maestrat, País Valencià). *Nemus* 10: 10-20.
- Roig-Munar, F. X., Martín-Prieto, J. Á., Rodríguez-Perea, A., Gelabert, B., Vilaplana, J. M. & Garcia-Lozano, C. 2020b. Revisión de los depósitos de tsunamis, bloques y tsunamitas, en las costas del Mediterráneo occidental. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 33 (2): 17-30.
- Scheffers, A. & Kelletat, D. 2003. Sedimentologic and geomorphic tsunami imprints worldwide - a review. *Earth-Science Reviews*, 63: 83-92.