

# Nova troballa de blocs de tsunami a les costes rocoses de sa Punta de sa Miloca-Corral Fals (Sud de Menorca, illes Balears)

J. Á. Martín-Prieto<sup>1</sup>, F. X. Roig-Munar<sup>1</sup>, A. Rodríguez-Perea<sup>2</sup> & B. Gelabert<sup>3</sup>

1. Investigador independent, QU4TRE consultoria ambiental, C/ Carritxaret 18- apt. 6, es Migjorn Gran, 07749 Menorca.

2. Departament de Geografia. Universitat de les illes Balears, carretera de Valldemossa, km 7,5, Palma de Mallorca.

3. Departament de Biologia. Universitat de les illes Balears, carretera de Valldemossa, km 7,5, Palma de Mallorca.

Les costes sud i sud-est de Menorca són espais susceptibles a sofrir l'impacte dels tsunamis generats al nord d'Àfrica. Els seus efectes es manifesten amb la presència de blocs a sobre dels seus penya-segats. En aquest treball es mostra la descripció i anàlisi de blocs de tsunami a les costes rocoses del Sud de Menorca, a sa Punta de sa Miloca-Corral Fals. Es tracta de 22 blocs que es troben a una alçada mitja de 8 m s. n. m. i una distància de 36 m de la cornisa del penya-segat, amb un pes mig de 2,99 T. A partir de les seves dimensions, disposició i l'aplicació d'equacions hidrodinàmiques es calculen els valors necessaris pel desplaçament d'aquests blocs, atribuïts a l'efecte de sobre-elevació (run-up) de grans fluxos de tsunami sobre el penya-segat.

*Paraules clau: Menorca, costa rocosa, penya-segats, blocs, tsunami.*

## New discovery of tsunami boulders on the rocky coasts of sa Punta de sa Miloca-Corral Fals (South of Menorca, Balearic Islands)

The southern and southeastern coasts of Menorca are areas that can be affected by the impact of tsunamis generated in North Africa. Such effects are manifested by the presence of boulders on the cliffs. This paper shows the description and analysis of a new location of tsunami boulders on the rocky coasts of southern Minorca, along the Punta de sa Miloca-Corral Fals. We analyze 22 boulders that are located at an average height of 8m a.s.l., at an average distance of 36 m from the edge of the cliff and with an average weight of 2.99 T. Based on their dimensions, disposition and the application of hydrodynamic equations, the necessary values for the displacement of these boulders are calculated and attributed to the run-up effect of large tsunami flowing onto the cliff.

*Keywords: Menorca, rocky coastline, boulders, tsunami.*

Els blocs d'origen tsunamític han estat estudiats i descrits recentment a la conca del Mediterrani per Mastronucci (2010) i Furlani et al. (2014). En el cas de Menorca el primer estudi fou realitzat per Gómez-Pujol & Roig-Munar (2013) a dos indrets del sud de Menorca, aplicant les equacions de Nott (2003) i de Barbano et al. (2010), apuntant que els blocs podrien ser atribuïbles a esdeveniments extrems de tempestes extraordinàries o bé a tsunamis. Posteriorment Roig-Munar et al. (2014a) analitzaren la presència de blocs a 14 indrets de les costes rocoses de Menorca aplicant l'equació de Scheffers & Kellat (2003) coneguda com *Transport Figure*. Roig-Munar et al. (2014b) analitzaren morfològicament els blocs de la costa SE de l'illa, basant-se amb les modelitzacions de Roger & Hébert (2008) i d'Álvarez et al. (2011) que estableixen

l'arribada de tsunamis a les costes de l'illa. Els mateixos autors aplicaren les equacions d'Engel & May (2012) per determinar el seu eventual origen tsunamític. Roig-Munar (2016) analitzà la presència de blocs de tsunami a les costes de Balears, incloent l'anàlisi de 24 indrets a les costes rocoses de Menorca. Posteriorment, Roig-Munar et al. (2016) també a Menorca, identificaren 20 indrets de blocs desapareguts o antropitzats. Roig-Munar et al. (2018) realitzaren una nova anàlisi dels blocs aportant les equacions d'Engel & May (2012) i les alçades dels blocs per determinar la sobre-elevació de la mar (*run-up*) sobre cada àrea analitzada.

Aquest treball té per objectiu donar a conèixer la presència d'una nova ubicació amb presència de blocs de tsunami a les costes rocoses del sud de l'illa de Menorca, concretament a sa Punta de sa

Miloca-Corral Fals, entre cala Escorxada i cala Trebalúger (Fig. 1). Aquest nou emplaçament aporta una dada i una nova ubicació més al coneixement de blocs de tsunami a les costes rocoses de Menorca, completant els treballs existents sobre morfometria de blocs al Mediterrani occidental com a Algèria (Maouche et al., 2009), a l'illa de Menorca (Roig-Munar et al., 2014a i 2014b, Roig-Munar et al., 2018b), a l'illa de Mallorca (Roig-Munar et al., 2015, Roig-Munar et al., 2019), a l'illa de Formentera (Roig-Munar et al., 2017), i a la costa de Castelló (Roig-Munar et al., 2018).

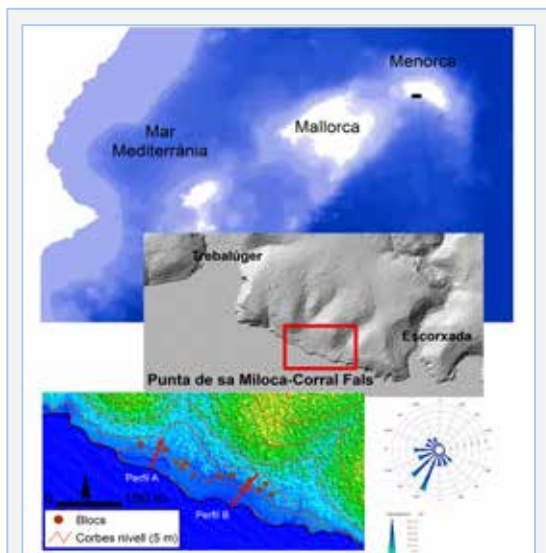
### Àrea d'estudi

La zona d'estudi, sa Punta de sa Miloca-Corral Fals, es troba situada entre cala Escorxada i cala Trebalúger (Fig. 1), al terme municipal des Migjorn Gran. Es tracta d'una zona de penya-segats amb una alçada mitjana de 5 m i amb una plataforma litoral que presenta diferents graons (Figs. 2A i B) que poden ser conseqüència d'episodis erosius atribuïbles a arrabassaments de fluxos de gran energia (Roig-Munar et al., 2014a). Sobre aquests graons hi ha dipositat un mant d'èdic format per sediment provinent de l'onatge de gran energia, sense arribar a formar morfologies (Fig. 2B). L'àrea d'estudi pertany a la plataforma miocena del sud de Menorca (Bourrouilh, 1983) i està situada sobre

el bloc central, entre cala Macarella i Son Bou. La disposició d'aquest bloc respon a la reactivació en sentit invers d'una falla normal d'orientació NNE-SSO que afectà Tramuntana al llarg del Miocè superior, constituint un anticlinal laxe que conforma l'estructura del Migjorn (Gelabert, 2003). Els blocs es troben distribuïts sobre el Miocè i una duna fòssil del Pleistocè superior, constituïda per bioclastos calcaris de gra fi, que assoleixen la zona boscosa (Fig. 2B). En el límit superior del Miocè es troba una pedrera de moles de Molí (Fig. 3) (Sánchez, 2003).

### Clima marítim

Les dades utilitzades per l'anàlisi del clima marítim d'aquest sector de la costa de Menorca han estat obtingudes a partir del punt SIMAR 2132119 ([www.puertos.es](http://www.puertos.es)) utilitzat també per a l'estimació del règim predominant a la costa de Balears. L'altura significant d'ona (Hs) és un paràmetre important per a l'estudi de la costa, no tan sols per la distribució i direcció de les ones, si no també pel seu període (Cañelles, 2010). La línia de costa de la zona d'estudi s'orienta de NO a SE, i està afectada per l'onatge procedent del sud. El 80 % té una altura igual o inferior a 1 m i tan sols el 0,032 % supera els 4 m. L'onatge de major energia té una procedència del SSO i del SO amb un 14 i 9 % respectivament (Fig. 1). L'ona màxima registrada en aquest punt els darrers 58 anys, es va registrar el 2008 amb una alçada de 5,51 m i va tenir un període de 10,48 s, amb una procedència de l'est ([www.puertos.es](http://www.puertos.es)). En quant al període, el 74 % és inferior als 6 s. Pel que fa al rang mareal, es considera de baixa amplitud (0,3 m), pràcticament negligible per aquest treball.



**FIGURA 1.** Ubicació de la zona d'estudi al sud de Menorca, illes Balears. A la part inferior dreta, la rosa d'onatge ([www.puertos.es](http://www.puertos.es)).

Location of the study area in southern Menorca, Balearic Islands. At bottom right, the wave rose ([www.puertos.es](http://www.puertos.es)).

Eix A	Eix B	Eix C	Alçada	Dist.	Dir. (°)	Pes (T)
2	1,7	0,7	8	194	2,99	911

**TAULA 1.** Valors mitjans dels 22 blocs analitzats a la zona d'estudi. Mesures en metres.

Average values of the 22 boulders analyzed in the study area. Measurers in meters.

	Rt	Rs
Arrossegaments	5,10	6,89
Arrabassaments	7,16	15,12

**TAULA 2.** Valors de sobrelevació o *run-ups* necessaris baix els supòsits de blocs arrabassats i blocs delimitats per juntes.

Elevation values or necessary run-ups under the assumptions of plucking boulders and joint-bounded boulders.

## Metodologia

S'analitzen morfològicament 22 blocs situats sobre els penya-segats de la zona d'estudi (Figs. 2 i 3), cinc dels quals es troben dins la zona boscosa i a una distància superior als 45 m de la cornisa del penya-segat. De tots els blocs es mesuren l'eix llarg (A), l'eix mig (B) i l'eix curt (C), la seva alçada en relació al nivell de la mar i la distància a la cornisa del penya-segat, així com la seva orientació. Per poder estimar la massa de cada bloc, es va determinar la densitat de dues mostres, una de cada litologia representada. A més s'ha aplicat una reducció del volum ( $A \times B \times C$ ) seguint la metodologia de Roig-Munar et al. (2015).

A cada bloc s'han aplicat les següents equacions:

1. *Transport Figure*, (Sheffers & Kelletat, 2003): es tracta d'una equació força simple que consisteix a multiplicar el pes de la roca (P), la distància on es troba la roca analitzada en relació amb la cornisa del penya-segat (D), i l'alçada del bloc sobre el nivell del mar (H). Planteja una aproximació de l'energia pel transport de blocs i segons aquests autors, els valors superiors a 250 de *Transport Figure* es consideren blocs afectat per tsunami.

$$TF = P \cdot D \cdot H$$

2. L'equació hidrodinàmica d'Engel & May (2012)

utilitza un càlcul més real del volum dels blocs, reduint els volums inicials obtinguts amb la multiplicació dels eixos A, B i C, amb un coeficient reductor obtingut per triangulació, ja que els estudis precedents sobreestimaven els volums i conseqüentment també els onatges. Aquests autors aporten la pendent de la base dels blocs, ja que el bloc se separa de la plataforma en funció de paràmetres morfològics exposats a l'ona. Als resultats d'aquesta equació se li suma l'alçada del bloc, d'aquesta manera es pot determinar la sobrelevació (run-up) necessària del flux de tsunami o tempesta (Hs i Ht) que ha desplaçat cada bloc (Zhao et al., 2017; Roig-Munar et al., 2018). Aquestes equacions determinen les altures d'ona de tempesta (Hs) i tsunami (Ht) per transportar els blocs baix dos supòsits, que hagin estat arrossegats o arrabassats:

2: Blocs arrossegats

$$Ht = 0,5 \cdot \mu \cdot V \cdot \rho_b / CD \cdot (a \cdot c \cdot q) \cdot \rho_w$$

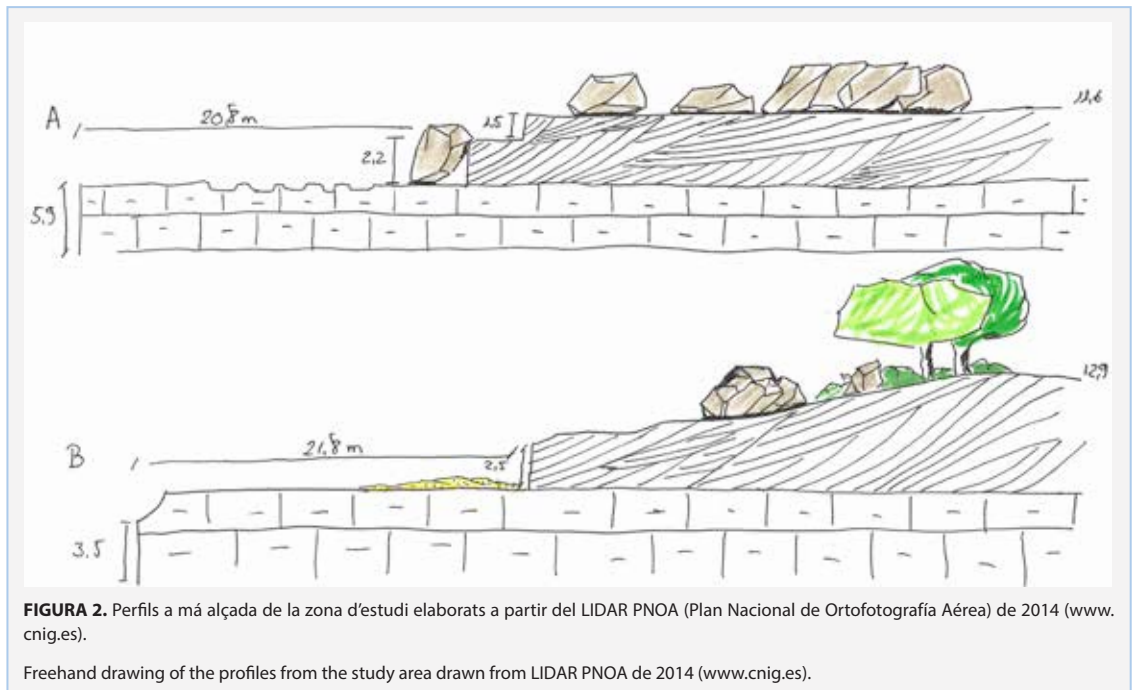
$$Hs = 2 \cdot \mu \cdot V \cdot \rho_b / CD \cdot (a \cdot c \cdot q) \cdot \rho_w$$

3: Blocs arrabassats

$$Ht = (\rho_b - \rho_w) \cdot V \cdot (\cos \theta + \mu \sin \theta) / 2 \cdot \rho_w Cl \cdot a \cdot b \cdot q$$

$$Hs = (\rho_b - \rho_w) \cdot V \cdot (\cos \theta + \mu \sin \theta) / 0,5 \rho_w Cl \cdot a \cdot b \cdot q$$

Ht: altura del flux de tsunami; a: eix llarg del bloc; Cd: coef. d'arrossegament; Hs: altura del flux de tempesta;



**FIGURA 2.** Perfils a mà alçada de la zona d'estudi elaborats a partir del LIDAR PNOA (Plan Nacional de Ortofotografia Aèrea) de 2014 ([www.cnig.es](http://www.cnig.es)).

Freehand drawing of the profiles from the study area drawn from LIDAR PNOA de 2014 ([www.cnig.es](http://www.cnig.es)).

b: eix mitja del bloc; Cl: coef. de flotabilitat; ps: densitat del bloc; c: eix curt del bloc; Cm: coeficient de massa; pw: densitat de l'aigua de mar; g: força de la gravetat;  $\mu$ : coeficient de fricció; V: volum ( $a \cdot b \cdot c$ ) del bloc; q: coeficient d'àrea del bloc;  $\theta$ : pendent de la plataforma.

### Interpretació i discussió

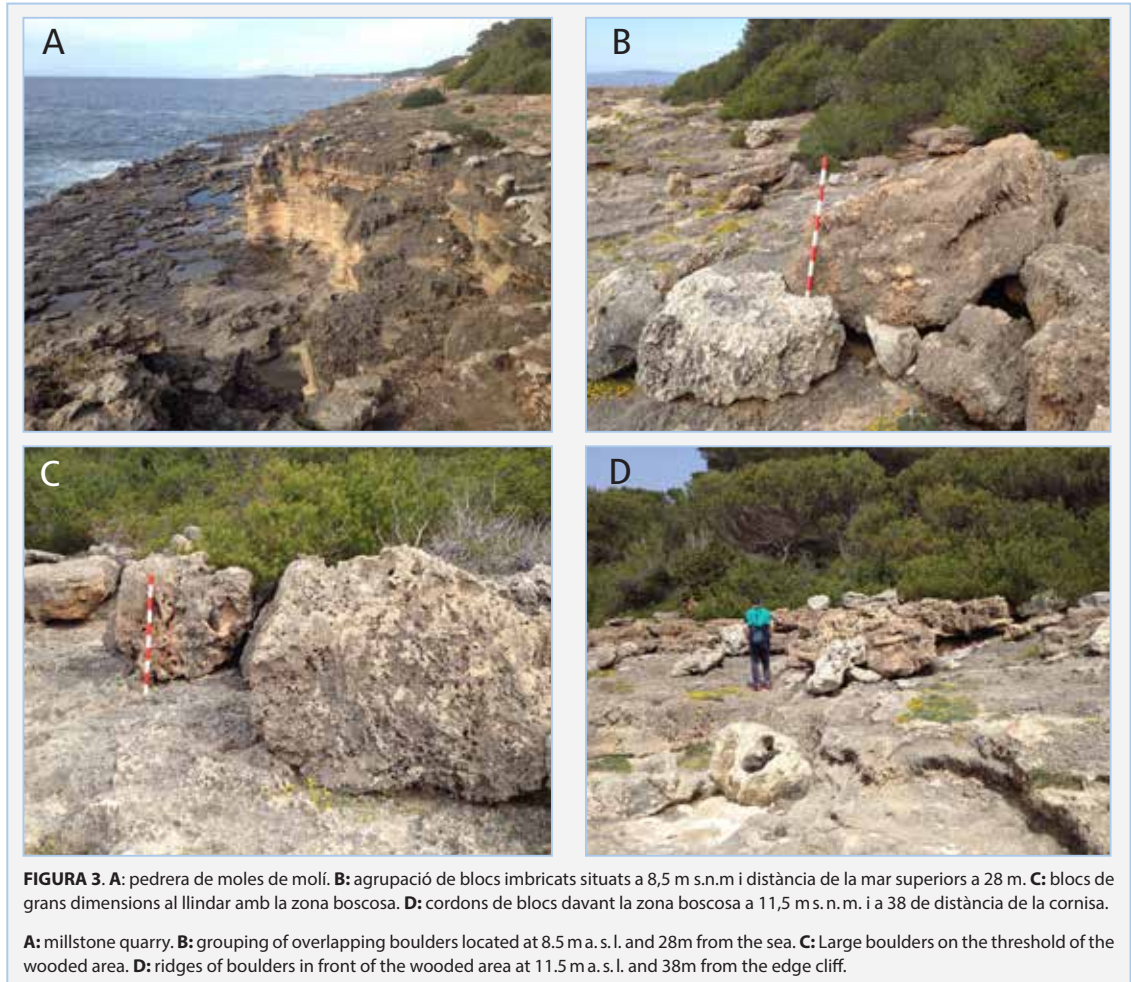
Les dades morfològiques dels blocs analitzats presenten valors de l'eix curt concordants amb els graons de denudació (Fig. 2), corresponents als arrabassament dels estrats miocens. La disposició dels blocs es presenta en cordons situats en agrupacions de blocs a les zones mitges del perfil i a les zones més altes i llunyanes, al lllindar amb la zona boscosa (Fig. 3). Aquests blocs presenten imbricacions, fet que denota la incidència de fluxos continus que els han afectat per poder obtenir aquesta distribució. La direcció dominant dels

blocs és de  $194^\circ$ , concordant amb les direccions predominants de les modelitzacions dels fluxos de tsunamis que afecten la costa sud de Menorca.

Les dades mitjanes dels blocs es poden observar a la Taula 1, on els eixos A, B i C presenten valors mitjans de 2, 1,7 i 0,7 m. El seu pes mig és de 2,99 T i es troben a una alçada mitjana de 8 m s.n.m. i a distàncies mitjanes de 39 m.

L'aplicació de l'equació del *Transport Figure* ens dona un valor mig de 911 (Taula 1), valor que segons Scheffers & Kelletat (2003), superiors a 250 de TF, són atribuïbles a blocs de tsunami (Fig. 4).

Les dades morfològiques mostren una distribució de blocs sobre la plataforma allunyada de la línia de costa, on tan sols dos blocs de grans dimensions estan sobre el graó de la primera rassa. Aquesta distribució, pot explicar-se per l'impacte de diferents seqüències de



tsunamis sobre aquesta costa, i pot explicar la manca de blocs a les rasses inferiors on hi va haver una explotació de moles de Molí, datades a l'època andalusí entre els segles IX-XIII (Sánchez, 2011).

L'aplicació de les fórmules de Engel & May (2012) permet obtenir l'alçada mínima del flux d'aigua necessari per desplaçar cada bloc per mitjà de l'onatge (Hs) i de tsunami (Ht). A ells cal afegir l'altura s. n. m. del bloc per obtenir la sobreelevació o *run-up*, és a dir la columna d'aigua que l'ha dipositat a la seva posició actual (Taula 2, Fig. 5) sota dos supòsits: blocs arrabassats i blocs arrossegats. En el cas dels blocs arrabassats (Joint Bounded Blocs-JBB) els resultats mostren que per a l'arrabassament i desplaçament dels blocs es requereixen altures de sobreelevació (*run-up*) de 7,6 m per tsunamis (Rt) i 15,12 m per tempestes (Rs). Així

mateix, els valors de la columna d'aigua pel supòsit de temporals són molt elevats i mai no han estat aconseguits per l'onatge de temporal, de manera que es descarta la seva relació amb els temporals i es prova el seu origen tsunamític (Fig. 5). Els blocs presenten una orientació al 194°, coincidint amb les direccions dominants de la trajectòria de tsunami S-3 definida per Álvarez-Gómez et al. (2011) per al SE de Menorca (Fig. 6). El sumatori de les alçades del flux obtingudes amb l'aplicació de les equacions d'Engel & May (2012) i les alçades dels blocs permeten determinar la sobre-elevació o *run-up* i els seus valors mitjans es poden observar a la Taula 2.

Aquest model de trajectòries de tsunamis desenvolupat per Álvarez-Gómez et al., (2011) també és coincident amb altres sectors de la Mediterrània occidental

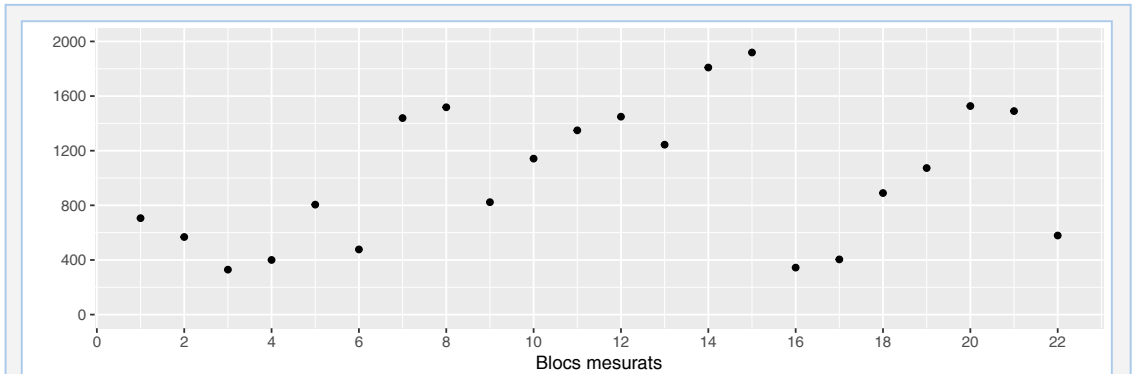


FIGURA 4. Valors de Transport Figure (Scheffers & Kelletat, 2003).

Transport Figure Values (Scheffers & Kelletat, 2003).

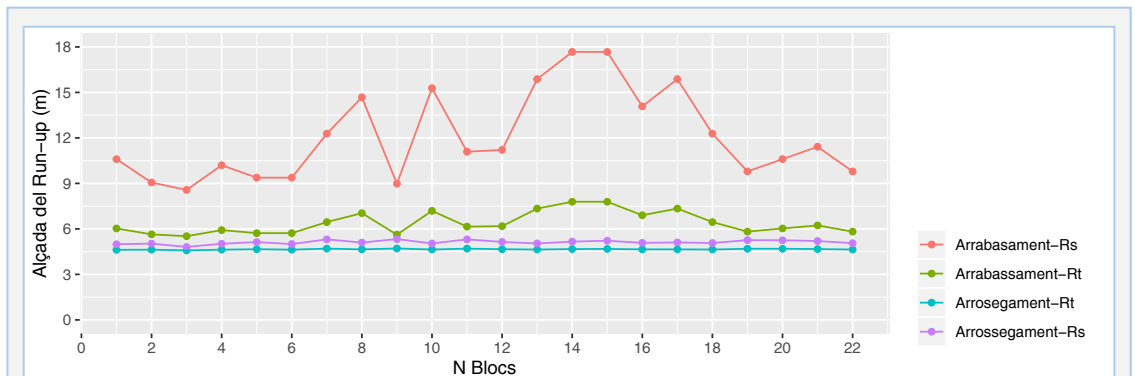
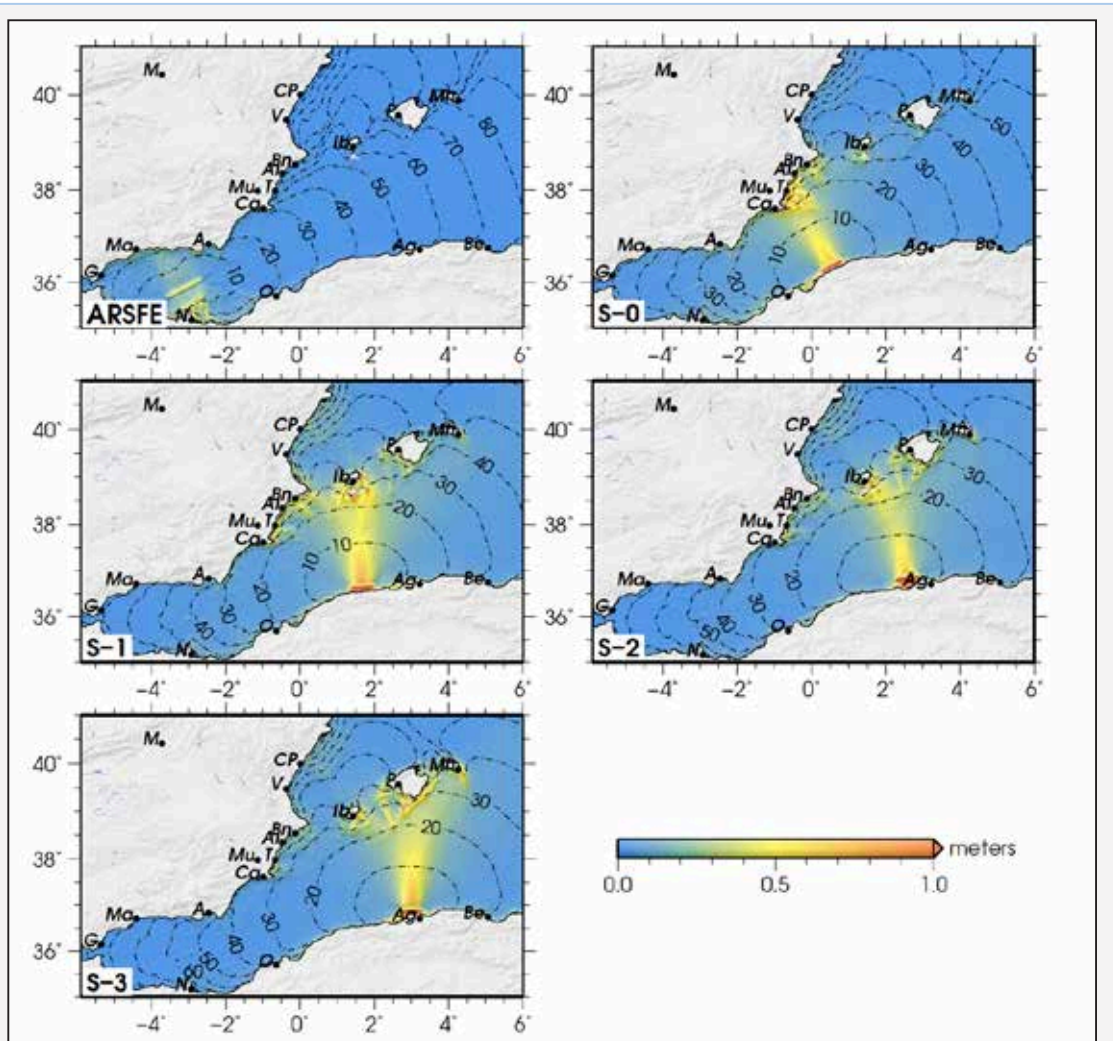


FIGURA 5. Representació gràfica de les columnes d'aigua o sobreelevacions necessàries (*run-up*) pel desplaçament de blocs fins la seva posició actual baix diferents escenari: Rt: tsunamis, Rs: temporals.

Graphic representation of the water columns or necessary elevation (*run-up*) for the movement of blocks to their current position under different scenarios: Rt: tsunamis, Rs: storm.

com és el cas dels blocs descrits al sector est de l'illa de Mallorca (Roig-Munar et al., 2015). Els resultats preliminars d'aquest treball apunten que un elevat percentatge de blocs es troben associats a una direcció tsunàmica provinent de la costa d'Algèria. Posteriorment, Roig-Munar et al., (2019) en un estudi més ampli en aquesta mateixa illa confirmaren que quatre d'aquestes fonts tsunàmiques (S-3, S-5, S-6 i S-8) són capaços de crear un considerable impacte a la costa de Mallorca, especialment a la seva costa Est, que és on es troben la

majoria dels dipòsits. L'illa de Menorca també està baix l'impacte de tsunamis procedents de la costa algeriana, com varen posar de manifest Roig-Munar et al., (2018) en una sèrie de dipòsits de blocs distribuïts al llarg de tot el perímetre de l'illa. A la Pitiüsa Menor, Roig-Munar et al., (2017) en un estudi de blocs dipositats sobre quatre penya-segats distribuïts al llarg de l'illa de Formentera, varen confirmar aquesta hipòtesi sobre la procedència dels tsunamis, arribant a la conclusió que la font principal es troba al nord d'Algèria, en aquest



**FIGURA 6.** Mapes regionals d'elevació màxima d'ona per la font tsunàmica del mar d'Alboran i les fonts nord algerianes. La variació de color indica l'elevació màxima de l'ona. Els contorns són els fronts d'ona en diferents intervals de temps des de la generació del tsunami, en minuts. Font: Álvarez-Gómez et al. (2011).

Regional maps of maximum wave elevation for the tsunamic source of the Alboran Sea and the North Algerian sources. The colour variation indicates the maximum elevation of the wave. The contours are the wave fronts at different time intervals from the tsunami generation, in minutes. Source: Álvarez-Gómez et al. (2011).

cas les fonts S-1 i S-2 són les responsables dels dipòsits de blocs. A més de l'arxipèlag balear, a la serra d'Irta (el Baix Maestrat al País Valencià), es posa de manifest que en el cas de la costa de Castelló, les fonts tsunàmiques que hi afecten corresponen a les fonts S-1 i S-2 i que poden ser les responsables dels fluxos que afecten les seves costes amb elevacions superiors a 2 m s. n. m. per (Roig-Munar et al., 2018).

## Conclusions

Sa Punta de sa Miloca-Corral Fals presenta blocs amb una orientació cap al sud (194°), congruent amb les trajectòries tsunàmiques definides per Álvarez-Gómez et al. (2010), com s'observa a la Fig. 8. La posició dels blocs, les seves alçades, les seves i distàncies sobre la cornisa del penya-segat i la seva disposició i distribució, formant cordons i agrupacions, freqüentment imbricats, donen validesa als resultats de les equacions hidrodinàmiques aplicades.

Els blocs estan dipositats en una zona més enllà de la capacitat de transport de l'onatge de tempesta. La sobrelevació o run-up obtingut, sumatori de l'altura del bloc i els resultats de la formulació d'Engel & May (2012), ens permet confirmar que el transport dels blocs es va produir per un tsunami o per les seqüències de diversos tsunamis (Roig-Munar et al., 2014a).

Els blocs de sa Punta de sa Miloca-Corral Fals són els primers blocs descrits a la costa sud del centre de Menorca i amplien els estudis de Roig-Munar et al. (2016 i 2018) sobre la presència de blocs de tsunami a les costes rocoses de les illes Balears i de la Mediterrània occidental.

## 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.
- Barbano, M. S., Pirrota, C. & Gerardi, F. 2010. Large boulders along the south-eastern Ionian coast of Sicily: Storm or tsunami deposits? *Marine Geology*, 275: 140-154.
- Bourrouilh, R. 1983. Estratigrafia, sedimentología y tectónica de la isla de Menorca y del noreste de Mallorca (Balears). La terminación nororiental de las Cordilleras Béticas en el Mediterráneo occidental. *Memorias del IGME* 99, 672 pp.
- Cañelles, B. 2010. Long-term extreme wave height events in the Balearic Sea: characterization, variability, and prediction. Ph.D. Thesis, Universitat de les Illes Balears, 71 pp.
- 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.
- Furlani, S., Pappalardo, M., Gómez-Pujol, L. & Chelli, A. 2014. The rock coast of the Mediterranean and Black seas. *Geological Society, London, Memoirs*, 40: 89-123.
- Gelabert, B. 2003. Estructura geològica de Menorca: las zonas de Tramuntana y de Migjorn. En Rosselló, V., Fornós, J. J. & Gómez-Pujol, L. (eds.), *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 10: 39-48. Palma, AGE, Universitat de València, Uiversitat Illes Balears, SHNB.
- Gómez-Pujol, L. & Roig-Munar, F. X. 2013. Acumulaciones de grandes bloques en las crestas de los acantilados del sur de Menorca (Illes Balears): observaciones preliminares. *Geo-Temas*, 14: 71-74.
- Maouche, S., Morhange, C., & Meghraoui, M. 2009. Large boulder accumulation on the Algerian coast evidence tsunami events in the western Mediterranean. *Marine Geology*, 262 (1-4), 96-104.
- Mastronuzzi, G., Pignatelli, C., Sanso, P. & Selleri, G. 2007. Boulder accumulations produced by the 20th February 1743 tsunami along the coast of South Eastern Salento (Apulia region, Italy). *Marine Geology*, 242: 191-205.
- Nott, J., 2003. Waves, coastal boulder deposits and the importance of the pretransport setting. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 210: 269-276.
- PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea): www.cnig.es.
- Puertos del estado. www.puertos.es
- Roger, J. & Hébert, H. 2008. The 1856 Djielli (Algeria) earthquake and tsunami source parameters and implications for tsunami hazard in the Balearic Islands. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8: 721-731.
- Roig-Munar, F. X. 2016. Blocs de tempesta i tsunami a les costes rocoses de les Illes Balears. Anàlisi geomorfològica i morfomètrica. Tesis doctoral. Departament de Geodinàmica i Geofísica. Universitat de Barcelona, 410 pp
- Roig-Munar, F. X., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J. A., Vilaplana, J. M., Gelabert, B., Pons, G. X. & Mir-Gual, M. 2014a. Bloques sobre acantilados marinos en la isla de Menorca (Illes Balears): tsunamis o tormentas? En: Schnabel, S. y Gómez-Gutierrez, A. (Eds.). *Avances de la Geomorfología en España 2012-2014*: 596-599.
- Roig-Munar, F. X., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J. A., Vilaplana, J. M., Gelabert, B., Pons, G. X. & Mir-Gual, M. 2014b. Presencia de bloques de tsunamis en las costas rocosas del SE de Menorca (I. Balears). En: Álvarez-Gómez, J. A. & Martín-González, F. (Eds.). *Una aproximación multidisciplinar al estudio de las fallas activas, los terremotos y el riesgo sísmico: Segunda Reunión Ibérica sobre fallas activas y paleosismología*, Lorca (Murcia, España): 125-128.
- Roig-Munar, F. X., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J. A., Vilaplana, J. M. & Gelabert, B. 2015. Morfometría de bloques de tsunami en las costas rocosas del Este de Mallorca (Islas Baleares). *Geo-Temas*, 15: 229-232.
- Roig-Munar, F. X., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J. A., Vilaplana, J. M. & Gelabert, B. 2016. El uso de bloques de tormenta y tsunami como materia prima en las Islas Baleares. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 29 (2): 79-88.
- Roig Munar, F. X., Vilaplana, J. M., Rodríguez Perea, A., Martín-Prieto, J. A., & Gelabert Ferrer, B. 2016. Indicadores

- geomorfològics de tsunamis històrics en las costas rocosas de Balears. *Geo-Temas*, 16: 641-644.
- Roig Munar, F. X., Martín Prieto, J. A., Rodríguez Perea, A., Gelabert Ferrer, B., & Vilaplana, J. M. 2017.** Anàlisis morfològic de blocs de tsunamis en la isla de Formentera, islas Balears. *Cuaternalario y Geomorfología* (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. Revista de l'Ateneu de Natura*, 8: 7-21.
- 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). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18: 1985-1998, <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1985-2018>.
- Roig-Munar, F. X., Rodríguez-Perea, A., Vilaplana, J. M., Martín-Prieto, J. A., & Gelabert, B. 2019.** Tsunami boulders in Majorca Island (Balearic Islands, Spain). *Geomorphology*, 334, 76-90.
- Sánchez Navarro J. 2003.** Estudi de les pedres de molins manuals i de les zones d'extracció a Menorca. in: M. Barceló, F. Retamero (eds), *Els barrancs trancats. L'ordre pagès al sud de Menorca en època andalusina (segles X-XIII)*, Barcelona: 235-267.
- Sánchez Navarro, J. 2011.** Les meulieres de l'île de Minorque: trente-neuf sites industriels de l'époque andalouse (Xe-XIIIe siècles). En: *Bread for the people: The archaeology of mills and milling. Proceedings of a colloquium held in the British School at Rome, 4th-7 november 2009.* (E. Peacock y D. Williams, Eds), University of Southampton, Southampton, 193-204.
- Scheffers, A. & Kelletat, D. 2003.** Sedimentologic and geomorphic tsunami imprints worldwide - a review. *Earth-Science Review*, 63: 83-92.
- Zhao, X., Chen, Y, Huang, Z &, Gao, Y, 2017.** A numerical study of tsunami wave run-up and impact on coastal cliffs using a CIP-based model. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 17: 641-655, <https://doi.org/10.5194/nhess-17-641-2017>, 2017.
- Rebut el 16.12.18. Acceptat el 15.05.19.**