

Nou registre de blocs de tsunamis a la costa rocosa de Binidali (S de Menorca, illes Balears)

José Ángel Martín-Prieto¹, Francesc Xavier Roig-Munar^{1,3}, Antonio Rodríguez-Perea² & Bernadí Gelabert³

1. Investigador independent, C/ Carribaret 18- apt. 6, es Migjorn Gran, Menorca, 07749, illes Balears.

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 S i SE de Menorca són espais susceptibles de rebre l'impacte dels tsunamis generats al N d'Àfrica. Els efectes es manifesten amb la presència de blocs sobre els seus penya-segats. En aquest treball es descriuen i analitzen blocs de tsunami a les costes rocoses del S de Menorca, a Binidali. Es tracta de 17 blocs que es troben a una altitud mitjana de 11,9 m s. n. m., a una distància de 55 m de la cornisa del penya-segat, i amb un pes mitjà de 3,8 T. A partir de les seves dimensions, disposició i de l'aplicació d'equacions hidrodinàmiques es calculen els valors necessaris pel seu desplaçament, atribuïts als efectes de sobre-elevació (*run-up*) de grans fluxos de tsunami sobre el penya-segat. El treball és una nova aportació a la presència de blocs a la Mediterrània occidental.

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

New record of tsunami boulders on the rocky coast of Binidali (Menorca, Balearic Islands)

The S and SE coasts of Menorca are areas that can be affected by the impact of tsunamis generated in North Africa. Their effects are manifested by the presence of boulders on the top of the cliffs. This paper describes and analyses a new location of tsunami boulders on the rocky southern coasts of Menorca at Binidali. A total of 17 boulders that are located at an average height of 11.9 m a. s. l., an average distance of 55 m from the edge of the cliff, and an average weight of 3.8 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. This paper is a new contribution to the presence of boulders in the western Mediterranean.

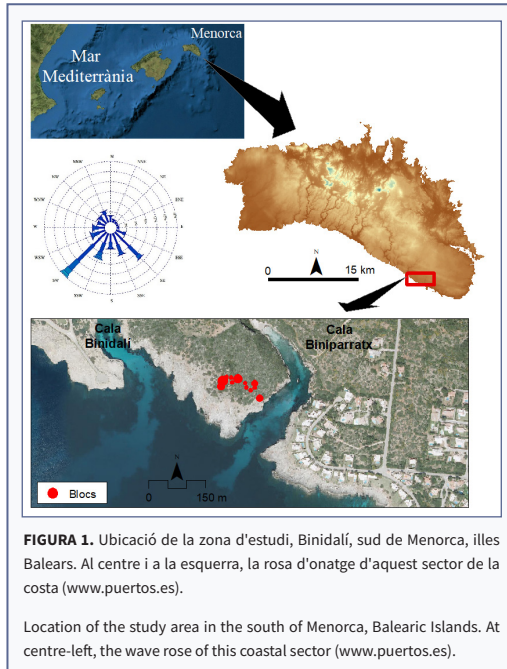
Keywords: Menorca, rocky coastline, boulders, tsunami.

Els blocs d'origen tsunamític han estat estudiats i descrits en el conjunt de la conca mediterrània per Mastronucci (2007) i Furlani et al. (2014). En el cas de la Mediterrània occidental els treballs previs sobre morfometria de blocs han estat realitzats en Algèria (Maouche et al., 2009), Mallorca (Roig-Munar et al., 2019), Eivissa i Formentera (Roig-Munar et al., 2017), la costa de Castelló (Roig-Munar et al., 2018a) i el S de França (Shah-Hosseini et al., 2013). A Menorca, Roig-Munar. (2016) va analitzar la presència de blocs en les costes rocoses aplicant l'equació de Scheffers & Kellat (2003), coneguda com *Transport Figure*. Roig-Munar et al. (2018b) van analitzar morfomètricament els blocs

de la costa rocosa de l'illa, basant-se en les modelitzacions de Roger & Hébert (2008) i d'Álvarez-Gómez et al. (2011). Per determinar l'origen tsunamític i/o de tempesta de cada bloc, a les dades de la equació d'Engel & May (2012), s'hi afegeix l'alçada dels blocs per calcular la sobre-elevació del seu *run-up* sobre l'àrea analitzada.

Àrea d'estudi

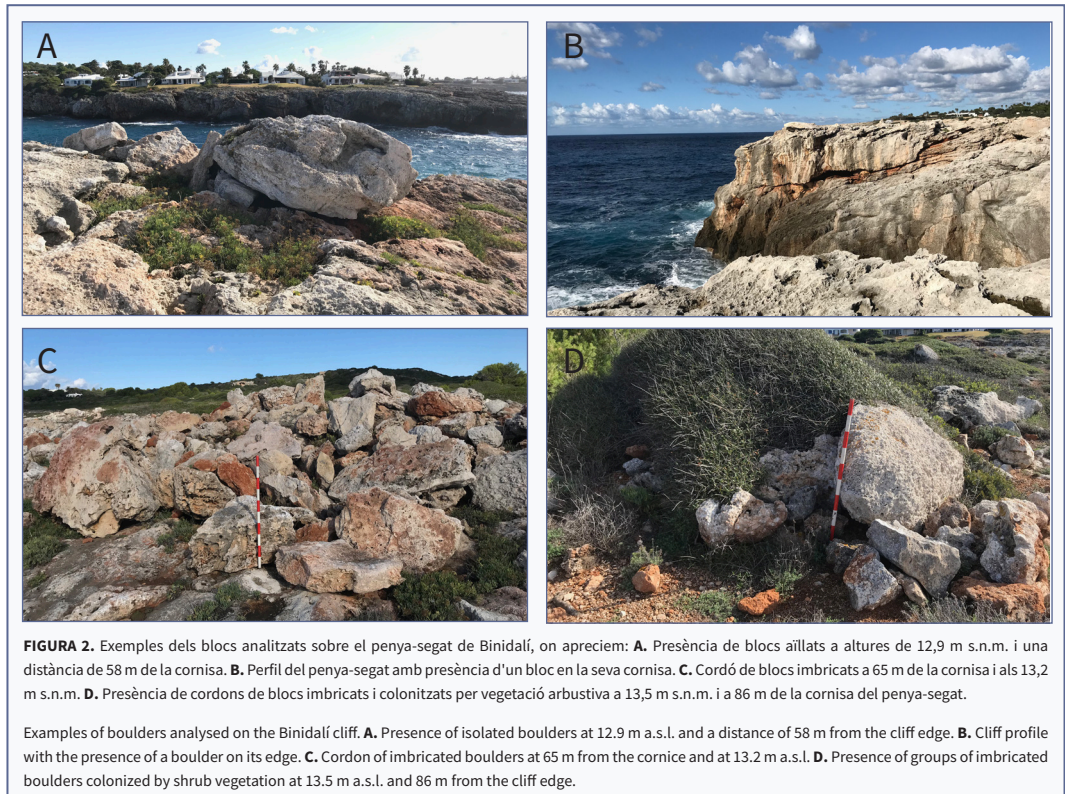
La zona d'estudi se situa al SE de l'illa de Menorca, entre els barrancs de la cala de Binidali i de la cala de Biniparratx (Fig. 1). Es tracta d'una zona de penya-segats calcaris del Miocè superior, amb una altitud mitjana superior als 10 m s. n. m., formant una extensa



plataforma tabular litoral (Bourrouilh, 1983). Aquesta plataforma, on es dipositen els blocs analitzats (Fig. 2), presenta una estratificació subhoritzontal que correspon a l'acreció d'un talús arrecifal que s'inclina suaument cap al mar (Rosell & Llompart, 2002; Gelabert, 2003). A sobre d'aquests materials se troben camps de blocs distribuïts en forma de cordons i agrupacions imbricades. A l'O de la cala de Binidali, també hi ha presència de blocs aïllats, que van ser usats en el passat com a matèria primera per a construcció (Roig-Munar et al., 2016), i en queden alguns de testimonials, que alteren les característiques sedimentològiques de l'emplaçament.

Clima marítim

L'alçada d'ona significant (H_s) és un paràmetre important per a l'estudi de la costa, també la distribució i la direcció de les ones i el seu període (Cañelles, 2010). Les dades utilitzades per a l'anàlisi del clima marítim d'aquest sector de costa han estat obtingudes a partir del punt SIMAR 2134118, amb un registre des de 1958



(www.puertos.es).

La línia de costa de la zona d'estudi s'orienta de ONO a ESE i està afectada per l'onatge procedent del S, d'on el 86,9% té una alçada igual o inferior a 1 m, i tan sols el 0,22% supera els 4 m. L'onatge de més energia té una procedència del SO, amb un 18% d'incidència (Fig. 1). L'onada màxima registrada en aquest punt, en la sèrie dels darrers 60 anys, es va registrar el 29 de novembre de 2008 amb una alçada de 5,51 m, i amb un període de 9,97 s, la procedència era del SO. Pel que fa a el període, el 73,48% és inferior als 6 s. Finalment, pel que fa a la franja mareal, es considera de baixa amplitud (0,3 m), pràcticament menyspreable per a aquest tipus de treballs, ja que no altera el resultat de les equacions aplicades sobre els blocs i el penya-segat.

Modelitzacions dels tsunamis en la mediterrània occidental

A partir del terratrèmol de Boumerdès-Zemmouri (Algèria), el 21 de maig de 2003, que va afectar la costa de les illes Balears, s'han suggerit diversos mecanismes de generació i propagació de tsunamis al N d'Algèria

amb direcció cap a l'arxipèlag balear (Alasset et al., 2006; Roger i Hébert, 2008; Sahal et al., 2009; Vela et al., 2010; Heidarzadeh et al., 2019). Álvarez-Gómez et al. (2010, 2011) modelitzaren els tsunamis generats en fonts pròximes a la península Ibèrica i a les illes Balears, amb l'objectiu d'identificar les àrees de risc i les zones d'impacte de tsunamis, establint Sahal et al. (2009) i Heidarzadeh et al. (2019) els temps de viatge d'aquests tsunamis, on un tsunami generat en una de les fonts directes que afecten Menorca arribaria a l'illa en aproximadament 30 minuts. (Fig. 3). Álvarez-Gómez et al. (2011) defineixen nou fonts de tsunami procedents del N d'Algèria, que són les que afecten principalment a les costes de les Balears, amb valors màxims d'alçada d'onada de més de 2 m. Set d'aquestes fonts afecten l'illa de Menorca.

Metodologia

S'analitzen morfològicament 17 blocs situats sobre el penya-segat de la zona d'estudi (Fig. 1 i 2), cinc dels quals es troben dins de la zona boscosa i a una distància superior als 80 m de la cornisa del penya-segat. Es

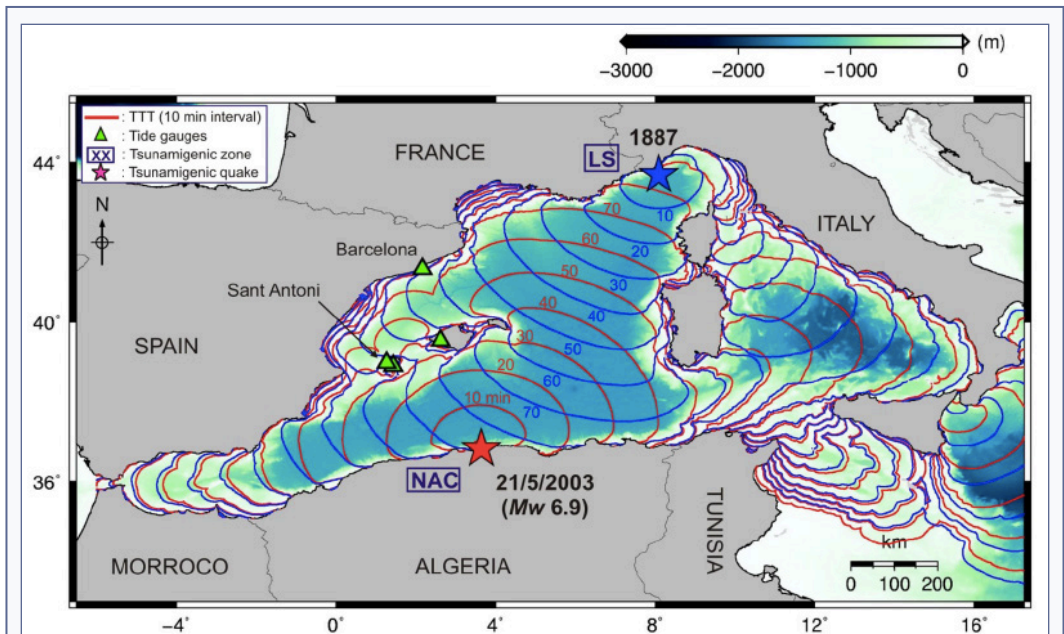


FIGURA 3. Anàlisi del temps de desplaçament pel tsunami del 21 de maig de 2003 (costa nord d'Algèria) i pel tsunami de la costa de Ligúria de 1887, amb contorns d'interval de 10 minuts. Font: Heidarzadeh et al. (2019).

Analysis of the travel time for the tsunami of May 21, 2003 (North coast of Algeria) and for the tsunami of the Ligurian coast of 1887, contours of 10-minute intervals. Source: Heidarzadeh et al. (2019).

mesuren les dimensions dels blocs, l'eix llarg (A), l'eix mitjà (B) i l'eix curt (C), la seva altitud en relació al nivell del mar, la distància a la cornisa del penya-segat, així com l'orientació. Per poder estimar el pes de cada bloc es determina primer, el volum, corregint el producte dels tres eixos en un 62%, seguint la metodologia de Roig-Munar et al. (2015), i després la densitat dels blocs.

A cada bloc s'han aplicat les següents equacions:

1. *Transport Figure* (Shefers & Kelletat, 2003): es tracta d'una equació simple que consisteix en la multiplicació del pes del bloc (P), la distància on es troba en relació amb la cornisa del penya-segat (D), i la altitud del bloc sobre el nivell de la mar (H). $TF = P \cdot D \cdot H$

L'equació planteja una aproximació de l'energia necessària per al transport de blocs. Segons Shefers & Kelletat (2003) els valors superiors a 250 de *Transport Figure* (TF) es consideren blocs desplaçats per tsunami. En aquest estudi, seguint els criteris de Roig-Munar (2016) aplicats a les illes Balears, només prenen en consideració aquells blocs superiors a la valor de TF 1000.

2. A cada bloc també se li han aplicat les equacions matemàtiques d'Engel & May (2012), per tal de calcular els valors hidrodinàmics necessaris per a l'arrabassament, desplaçament i deposició dels blocs sota diferents supòsits: bloc subaeri i bloc delimitat per fractures. Les

equacions d'Engel & May (2012) en relació a les equacions de Nott (2003) i Barbano et al. (2010), consideren també el pendent de la plataforma damunt del penya-segat, però no la seva altura. Per això, als resultats de les equacions anteriors se'ls han afegit els valors de l'altura del blocs s.n.m. per calcular la sobre-elevació o *Run-up* necessari de flux de tsunami (Ht) o de tempesta (Hs) (Roig-Munar et al., 2017; Zhao et al., 2017). D'aquesta manera s'obté una estimació de la columna d'aigua necessària per a l'arrabassament i/o desplaçament dels blocs fins a la seva posició actual, establint els diferents escenaris d'onatge i/o de tsunamis que han donat lloc a la creació d'aquests dipòsits.

Blocs desplaçats

$$H_t = 0,5 \cdot \mu \cdot V \cdot pb / CD \cdot (a \cdot c \cdot q) \cdot pw$$

$$H_s = 2 \cdot \mu \cdot V \cdot pb / CD \cdot (a \cdot c \cdot q) \cdot pw$$

Blocs arrabassats

$$H_t = (pb - pw) \cdot V \cdot (\cos \theta + \mu \sin \theta) / 2 \cdot pw Cl \cdot a \cdot b \cdot q$$

$$H_s = (pb - pw) \cdot V \cdot (\cos \theta + \mu \sin \theta) / 0,5 pw Cl \cdot a \cdot b \cdot q$$

On:

Ht: alçada del flux de tsunami; **Hs:** alçada del flux de tempesta; **ps:** densitat del bloc; **pw:** densitat de l'aigua de la mar; **V:** volum (a · b · c) del bloc; **A:** eix llarg del bloc; **B:** eix mig del bloc; **C:** eix curt del bloc; **g:** força de la gravetat; **q:** coeficient de l'àrea del bloc; **Cd:** coeficient d'arrossegament; **Cl:** coeficient de flotabilitat; **Cm:**

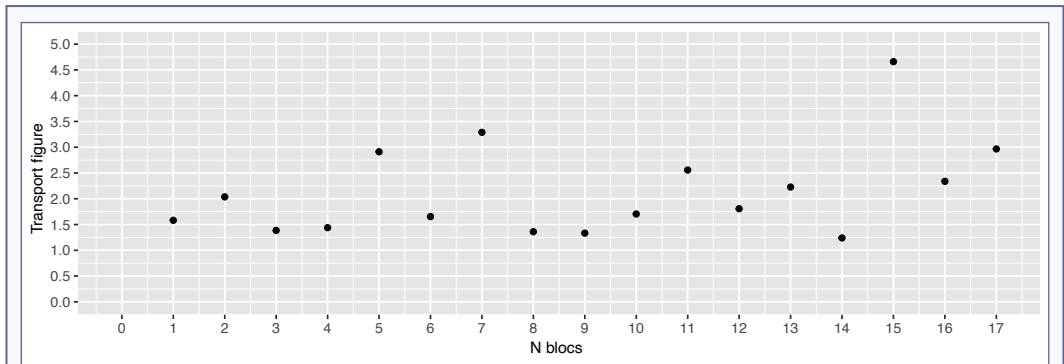


FIGURA 4. Valors del Transport Figure (Scheffers & Kelletat, 2003).

Transport Figure values (Scheffers & Kelletat, 2003).

Eix A (m)	Eix B (m)	Eix C (m)	Alçada (m)	Distància (m)	Direcció (°)	Pes (T)	TF
2	1,6	0,8	11,9	55	178	3,8	2.146

TAULA 1. Valors mitjans dels 17 blocs analitzats a la zona d'estudi.

Average data of the 17 analyzed boulders in the study area.

coeficient de massa; μ : coeficient de fricció i θ : pendent de la plataforma.

Resultats

Les dades mitjanes dels blocs analitzats es poden observar a la Taula 1, on els eixos A, B i C presenten valors mitjans de 2, 1,6 i 0,8m respectivament. El seu pes mitjà és de 3,8T i es troben a una altitud mitjana de 11.9 m.s.n.m., i a distància mitjana de 55 m de la cornisa del penya-segat. La orientació mitjana dels blocs és de 178°, que concorda amb les direccions predominants de les modelitzacions d'Álvarez-Gómez et al. (2010)

procedents del N d'Àfrica que afecten la costa S de Menorca (Fig. 3).

L'aplicació de l'equació del *Transport Figure* ens dona un valor mitjà de 2.146 (Taula 1, Fig. 4), amb un màxim de 4.660 i un mínim de 1.333, valors que segons Scheffers & Kelletat (2003) i Roig-Munar (2016) són atribuïbles a blocs de tsunami. A la Fig. 5 es mostra la distribució dels valors del TF que defineix la ubicació dels blocs analitzats.

La Fig. 6 presenta la distribució dels blocs en funció del pes i alçada sobre el nivell de la mar. S'observa una agrupació de blocs a alçades de 13 m amb un pes d'entre 1,3 i 5 T. A la Fig. 7 s'observa la distribució dels blocs en funció del seu pes i la distància a la cornisa del penya-segat. Observem una agrupació ben definida, entre els 40 i 50 m de distància i un pes entre 2 i 4,5 T, amb tres casos de blocs a distàncies superiors a 95 m, i ja ubicats dins de la massa boscosa (Fig. 2). Aquesta distribució (Fig. 6 i 7) fa necessari considerar les característiques de l'onatge i la seva influència sobre aquesta distribució, ja que les direccions dels onatges dominants no coincideixen amb l'orientació dels blocs analitzats i, tampoc, les alçades a on arriben les tempestes a la zona de Binidali.

L'aplicació de les equacions d'Engel & May (2012) permeten obtenir l'alçada mínima del flux d'aigua

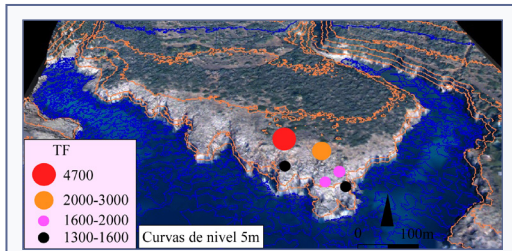


FIGURA 5. Ubicació dels blocs de la zona d'estudi sobre un model en 3-D (LIDAR PNOA 2014, www.cnig.es) i representació dels valors màxims de Transport Figure.

Location of the boulders of the study area on a 3-D model (LIDAR PNOA 2014, www.cnig.es) and representation of the maximum values of Transport Figure.

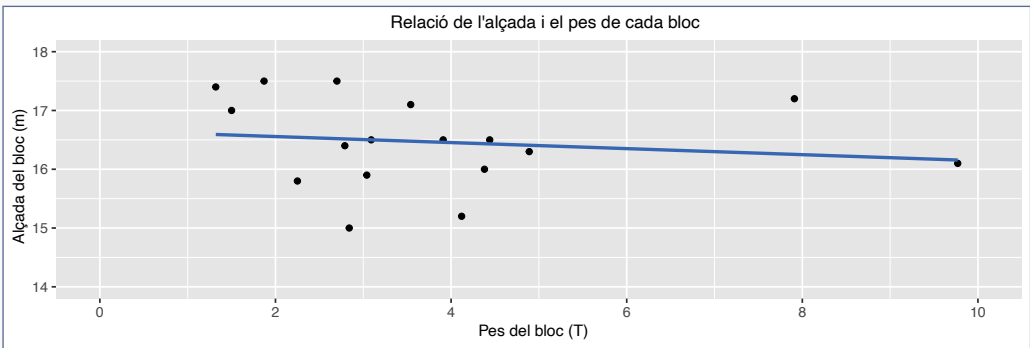


FIGURA 6. Relació entre l'alçada dels blocs sobre el nivell de la mar en metres i el seu pes en tones.

Relationship between the height of the boulders in meters and their weight in metric Tons.

Blocs Arrabassats (Rp)			Blocs Arrossegats (Rd)				
Rpt	17,9	Rps	24,8	Rdt	16	Rds	17,1

TABLA 2. Valors de sobrelevació o *run-up* necessaris sota els supòsits de blocs arrabassats i blocs arrossegats i tant per tempestes com per tsunamis.

Required run-up values under the assumptions of plucked or dragged boulders for storm and for tsunami waves.

necessari per desplaçar cada bloc per mitjà de l'onatge (Hs) i del flux de tsunami (Ht) a sobre dels penya-segats analitzats (Fig. 2 i 5; Taula 2). A ells cal afegir l'altura del bloc s. n. m. per obtenir la sobreelevació o *Run-up*, és a dir la columna d'aigua que ha donat lloc a l'arrabassament (Rp) o arrossegament (Rd) fins a la seva posició actual, i sota dos supòsits: blocs arrabassats i blocs arrossegats; es descarten en aquest treball els blocs submergits degut a la tipologia del perfil de penya-segat. Els càlculs s'han fet tant per tempestes com per tsunamis i per tant donen lloc a quatre categories.

En el cas dels blocs arrabassats o delimitats per juntes, els resultats mostren que per la seva arrencada i desplaçament es requereixen alçades d'elevació del flux de *run-up* de 17,9 m per tsunamis (Rpt), amb

una columna d'aigua superior als 1,39 m sobre el bloc i 24,8 m per tempestes (Rps), amb una columna d'aigua superior als 8,27 m sobre el bloc.

Per als blocs arrossegats els valors són inferiors a causa del factor de flotabilitat dels blocs que no estan delimitats per juntes i associats al flux, i s'obtenen valors de Rdt de 16 m i Rds de 17,1 m, amb una columna d'aigua superior als 0,62 m sobre el bloc.

Aquestes dades ens mostren uns valors de la columna d'aigua per al supòsit de tempestes molt elevats, especialment pels blocs arrabassats (Rps=24,8 m) impossibles d'assolir pels temporals. Això descarta la seva relació amb aquests fluxos i és prova, mitjançant les equacions, de l'origen tsunamític dels blocs analitzats i ubicats a Binidali.

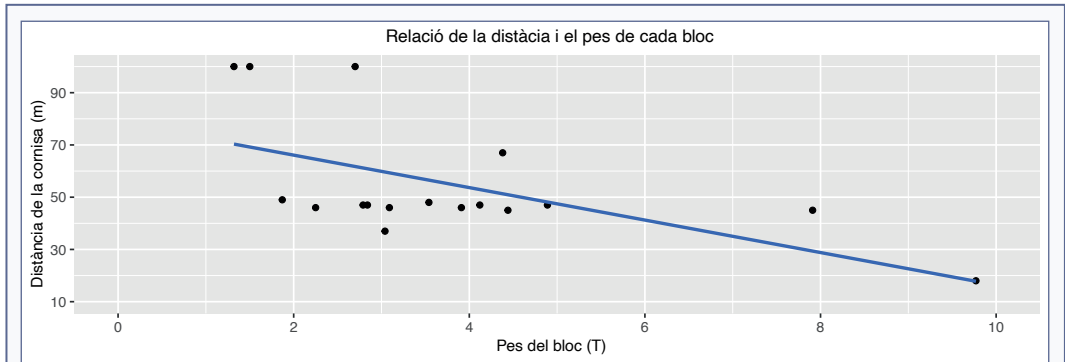


FIGURA 7. Relació entre la distància dels blocs al penya-segat en metres i el seu pes en tones.

Relationship between the distance to the cliff of the boulders in meters and their weight in metric Tons.

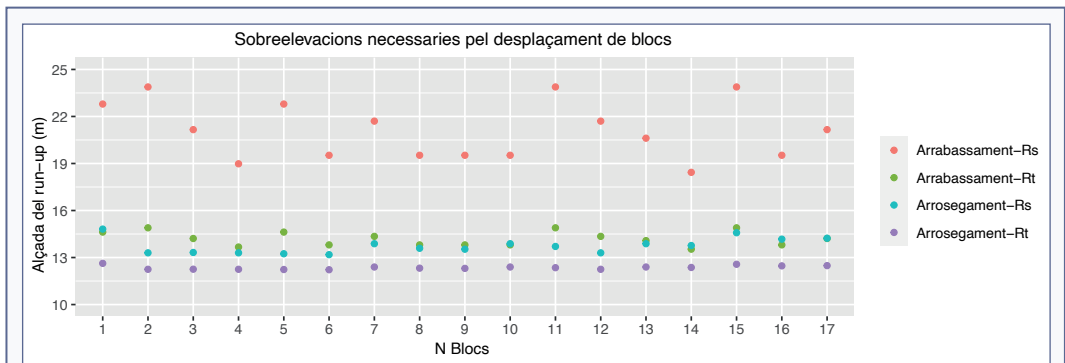


FIGURA 8. Representació gràfica de les columnes d'aigua o sobreelevacions necessàries (Run-up) per al desplaçament de blocs sota diferents escenaris: Rpt: arrabassament amb tsunamis, Rps: arrabassament amb temporals, Rdt: arrossegament amb tsunamis i Rdt: arrossegament amb temporal.

Graphical representation of the water columns or necessary lifts (Run-up) for the movement of blocks under different scenarios: Rpt: plugging with tsunamis, Rps: plugging with storms, Rdt: dragging with tsunamis i Rdt: dragging with storms.

Conclusions

La tipologia dels blocs, el seu elevat *Transport Figure*, superior al valor de 1000, la seva morfometria i la seva relació amb àrees de denudació de penya-segat, la seva imbricació, el seu pes, així com les distàncies a què es troben, fan descartar la influència de l'onatge sobre el seu emplaçament, per la qual cosa considerem que aquest dipòsit té un origen tsunamític. No tant sols pels resultats de les equacions aplicades, sinó també per les diferències entre les sobrelevacions (*run-ups*) i les series de l'onatge incident sobre el penya-segat.

El dipòsit de Binidali presenta blocs amb orientacions cap al S (178°), congruent amb les trajectòries tsunamítiques definides per Álvarez-Gómez et al. (2010) i Heidarzadeh et al. (2019). La posició dels blocs, la seva alçada mitjana (11,9 m), la seva distància sobre la cornisa del penya-segat (55 m) i la seva distribució, formant cordons i/o agrupacions de blocs, freqüentment imbricats, donen validesa dels resultats de les equacions hidrodinàmiques aplicades (Fig. 8).

Els blocs estan dipositats en una zona més enllà de la capacitat de transport de l'onatge de tempesta. La sobrelevació calculada del seu *run-up*, obtinguda pel sumatori de l'altura de el bloc i els resultats de la formulació d'Engel & May (2012), ens permet confirmar que el transport dels blocs es va produir per l'acció d'un tsunami. Aquesta distribució de cordons paral·lels i imbricats pot explicar-se per l'impacte de diferents seqüències de tsunamis sobre aquesta costa, seguint el model proposat per Roig-Munar (2016).

La situació d'aquests blocs, situats sobre la divisòria de dues cales (Fig. 1), obre de nou la porta a la recerca de sediments tsunamítics de fons de cala, ja que els resultats presentats en aquest treball posen de manifest que cal obrir línies de recerca per localitzar i analitzar sediments fins associats a tsunamis, erigint-se les cales de Binidali i Biniparratx, juntament amb les d'Escorxada i Fustam on trobem blocs a Punta Miloca-Corral Fals (Martí-Prieto et al. 2019), com espais no intervinguts per la mà de l'home, i excel·lents punts per cercar tsunamites de fons de cala mitjançant sondejos.

Els blocs de Binidali suposen l'àrea on es presenten a major alçada a la costa S de Menorca. Amb altures superiors als descrits per Martí-Prieto et al. (2019), i permeten ampliar els indrets amb presència de blocs de tsunami a les costes rocoses de les illes Balears i de la Mediterrània occidental (Roig-Munar et al., 2020).

Bibliografia

- Alasset, J. P., Hébert, H., Maouche, S., Calbini, V. & Meghraoui, M., 2006.** The tsunami induced by the 2003 Zemmouri earthquake (Mw p 6.9 Algeria): modelling and results. *Geophysical Journal International*, 166: 213-226
- 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.
- 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.
- 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, sedimentologia 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. IGME. Madrid.
- Cañelles, B. 2010.** Long-term extreme wave height events in the Balearic Sea: characterization, variability, and prediction. 71 pp. Tesi doctoral. Universitat de les Illes Balears.
- 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., Pappalaardo, M. Gómez-Pujol, Ll. & 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 i de Migjorn. En Rosselló, V., Fornós, J. J. y Gómez-Pujol, L. (eds.), *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. Mon. Societat d'Història Natural de les Balears, 10: 39-48. AGE, Universitat de València, Universitat Illes Balears, SHNB. Palma de Mallorca.
- Heidarzadeh, M., Wang, Y., Satake, K. & Mulia, I. E., 2019.** Potential deployment of offshore bottom pressure gauges and adoption of data assimilation for tsunami warning system in the western Mediterranean Sea. *Geoscience Letters*, 6: 19.
- 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.
- Martín-Prieto, J. Á., Roig-Munar, F. X., Rodríguez-Perea, A. & Gelabert, B., 2019.** Nova troballa de blocs de tsunami a les costes rocoses de sa Punta de sa Miloca-Corral Fals (Sud de Menorca, illes Balears). *Nemus. Revista de l'Ateneu de Natura* 9, 7-14
- Mastroruzzi, 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 pre-transport 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., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J. Á., 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., Martín-Prieto, J. Á., Rodríguez-Perea, A., Gelabert, B., Vilaplana, J. M. & García-Lozano, C. 2020.** 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.
- Roig-Munar, F. X., Rodríguez-Perea, A., Vilaplana, J. M., Martín-Prieto, J. Á., & Gelabert, B. 2019.** Tsunami boulders in Majorca Island (Balearic Islands, Spain). *Geomorphology*, 334, 76-90.
- 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., Martín-Prieto, J. Á., Rodríguez-Perea, A., Gelabert-Ferrer, B., & Vilaplana, J. M. 2017.** Análisis morfométrico de bloques de tsunamis en la isla de Formentera, islas Baleares. *Cuaternario y Geomorfología* (3-4): 73-96.
- Roig-Munar, F. X., Vilaplana, J. M., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J. Á., & Gelabert-Ferrer, B. 2016.** Indicadores geomorfológicos de tsunamis históricos en las costas rocosas de Baleares. *Geo-Temas*, 16: 641-644.
- 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. Á., 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., 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.
- Rosell, J. & Llompart, C. 2002.** Guia de Geologia Pràctica. El naixement d'una illa, Menorca. Institut Menorquí d'Estudis. Col·lecció Recerca, 21: 280 pp.
- Sahal, A., Roger, J. & Allgeyer, S., 2009.** The tsunami triggered by the 21 May 2003 Boumerdès-Zemmouri (Algeria) earthquake: field investigations on the French Mediterranean coast and tsunami modelling. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9: 1823-1834
- Scheffers, A. & Kelletat, D. 2003.** Sedimentologic and geomorphic tsunami imprints worldwide - a review. *Earth-Science Review*, 63: 83-92.
- Shah-Hosseini, M., Morhange, C., de Marco, A., Wante, J., Anthony, E. J., Sabatier, F., Mastronuzzi, G., Pignatelli, C. & Piscitelli, A. 2013.** Coastal boulders in Martigues, French Mediterranean: evidence for extreme storm waves during the Little Ice Age. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 57, Suppl. 4: 181-199.
- Vela, J., Pérez, B., González, M., Otero, L., Olabarrieta, M., Canals, M. & Casamor, J. L., 2010.** Tsunami resonance in the Palma de Majorca bay and harbour induced by the 2003 Boumerdes-Zemmori Algerian earthquake (Western Mediterranean). *Proceedings of 32nd International Conference on Coastal Engineering*: 1-12.
- 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.