

DELS “CAMELLONES DE TORMENTA” I “HURACANOLITOS” A CUBA, ALS BLOCS DE TEMPESTA I TSUNAMI DE LES ILLES BALEARS

Francesc X. ROIG-MUNAR¹, José Ángel MARTÍN-PRIETO¹, Bernadí GELABERT², Carme GARRIGA¹

¹ Investigador independent, consultor ambiental. c/ Carrixaret 19, apt. 6, 07749 es Migjorn Gran, Menorca

² Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, Ctra. Valldemossa, km 7,5, 07121 Palma

Resum: La presència de blocs de tsunami i de tempesta a les costes rocoses de les Illes Balears fou un tema desconegut una dècada enrere. L'estudi i caracterització dels “camellones de tormenta” i “huracanolitos” al Carib plantejà la seva comparativa amb els blocs acumulats a la cresta dels penya-segats de les illes Balears. Aquest treball fa un recull a propòsit de l'estudi de blocs tant al Carib com a les illes Balears. A partir del seu anàlisi i estudi morfològic, així com de l'estimació del tipus d'ones associades al seu transport, s'ha arribat a la conclusió que els blocs dels penya-segats de les Illes Balears estan associats a tsunamis provinents de les costes d'Algèria, sense menysprear el paper complementari de l'onatge d'alta energia, que ha retreballat i modelat part d'aquests blocs.

Paraules clau: blocs de tempesta, blocs de tsunami, Cuba, Illes Balears.

Abstract: The presence of tsunami and storm boulders on the rocky shores of the Balearic Islands was an unknown topic until a decade ago. As a result of several trips to the Caribbean, we observed deposits of boulders called "camellones de tormenta" and "huracanolitos" that resemble those located at the top of the Balearic Islands cliffs. Inspired on those caribbean blocks, we started to analyse the Balearic ones. This paper summarizes the state of the art on both: cliff-top boulders from Caribbean and those from Balearic Islands. We characterise their shape, dimensions and weight, as well as the type of wave necessary for their emplacement at the cliff-top. We conclude that most of the cliff-top boulders present along the Balearic Islands rocky coasts are related to tsunami events generated by seaquakes along the Algerian coast. All of that without underestimating the action of the high-energy wave events that rework part of these boulders.

Keywords: storm blocks, tsunamic blocks, Cuba, Balearic Islands.

Introducció

De tots els medis terrestres, les costes representen un dels àmbits més atractius des del punt de la perspectiva geogràfica, resultant un espai especialment interessant per la seva condició limítrofa, ja que el litoral és el prisma d'interacció entre l'atmosfera, la criosfera, la hidrosfera, la litosfera i la biosfera en què es donen fenòmens complexos; cada un d'ells de característiques molt específiques (PARDO i ROSSELLÓ, 2001). L'elevat dinamisme al qual estan sotmesos aquests sistemes i la multiplicitat de processos que els influeixen, expliquen perquè els mecanismes de control litoral es troben dins un equilibri delicat, difícil i complex, que permet definir la major part d'aquest espai com a fràgils, dinàmics, rics i variats, presentant des de la perspectiva geomorfològica gran quantitat de formes, processos i ambients.

La geomorfologia litoral centra el seu interès en l'explicació de la formació i evolució del relleu costaner mitjançant l'estudi de les formes, els sediments i els processos que es donen a la línia de costa (WOODROFFE, 2003). Aquesta disciplina inclou des dels ambients marins poc profunds, influïts pels factors terrestres, fins a terra endins, allà on la influència de la mar es fa palesa a l'actualitat.

Les costes rocoses han estat definides com a una tipologia de costa, constituïda per materials consolidats amb independència de la seva duresa, que es caracteritza per una certa ruptura del pendent (SUNAMURA, 1992).

Segons GOMÉZ-PUJOL (2006) són moltes les classificacions que s'apliquen als ambients costaners des de perspectives diverses; unes posen l'èmfasi en aspectes estructurals, altres en trets oceanogràfics, geomorfològics o en l'escala de treball i l'ambigüitat és palesa en aquestes classificacions, fins i tot en la confusió terminològica (FAIRBRIDGE, 2004; FINKL, 2004), arran de la multiplicitat de processos que

interactuen amb diferents ritmes d'intensitat i diferents escales. Alguns dels processos de gran intensitat i rapidesa poden emmascarar tendències evolutives de les formes de ritmes més lents i de signes en ocasions contraris al llarg de l'espai-temps (COWELL i THON, 1994; LARSON i KRAUS, 1995). Segons GÓMEZ-PUJOL (2006) existeix un acord general pel qual la geomorfologia litoral se separa en tres camps de treball que s'ocupen de: a) la configuració i dinàmica associada a les costes arenoses, b) els processos i formes dels penya-segats, i c) l'evolució espai-temps en medis arenosos o rocosos. Tanmateix a la darrera dècada, els estudis associats a la pràctica d'una geomorfologia orientada a la gestió litoral han incrementat de forma considerable.

Així doncs, en funció del balanç sedimentari, segons hi predomini l'erosió o l'acumulació de sediments, es distingeixen entre costes d'erosió i costes d'acreció (BOYD *et al.*, 1992). Dins la categoria de costes d'erosió s'identifiquen les costes amb presència de penya-segats i plataformes litorals actives. Les múltiples combinacions entre els dos tipus d'ambients dificulten encara més la separació entre ambdues categories (FINKL, 2004). No és senzill considerar les costes rocoses com a sistemes on sols hi predomina l'erosió, ja que s'ha de tenir presents les bioconstruccions, o bé els moviments de masses que generen grans volums de materials que queden estabilitzats enfront dels penya-segats (BALAGUER i FORNÓS, 2004; POMAR *et al.*, 2013).

Els camellones de tormenta com a font d'inspiració: antecedents a la recerca sobre blocs de tsunami a les Illes Balears

L'any 2007 realitzàrem una visita a la província de Matanzas, Cuba, per assistir a un seminari sobre gestió integrada de platges, dins el marc d'un encontre bilateral entre Varadero i Balears. L'any 2008, assistíem al *IV Simposio de Manejo Integrado de playas y ecosistemas costeros, Varaplayas 2008*, realitzat a Varadero. Dins el marc d'aquests dos intercanvis visitarem nombroses platges de la regió, mentre recorriem en cotxe la carretera paral·lela a la costa que uneix el nucli turístic de Varadero i la ciutat de Matanzas, al llarg d'aquesta carretera cridà l'atenció la presència d'estructures de blocs rocosos associats a terrasses litorals. A un dels nostres amfitrions, el Dr. Alfredo Cabrera, li férem preguntes a propòsit d'aquelles acumulacions, responent que eren "camellones de tormenta", associats a grans onatges o a huracans. I així quedà la cosa sense fer cap aturada ni cap visita a les acumulacions divisades al llarg de la costa rocosa de Matanzas. Anys després, en una campanya de mostreig de platges de República Dominicana, i poc després del terratrèmol del 12 de gener de 2010 a Haití, observarem dipòsits de blocs de coralls en forma de barres imbricades a les platges de Pedernales (SE de República Dominicana) (Fig. 1).



Fig. 1. "Camellones de tormenta" a Pedernales, República Dominicana.

Acumulacions de blocs dipositats a costes rocoses del Carib

Segons JIMÉNEZ (1988), la zona costanera augmenta la intensitat de l'onatge i els materials de el fons marí són expulsats a terra creant noves formes de relleu (huracanolitos aïllats i/o camellones de tormenta). La part oriental de la badia de Cochinos, i en general l'est de Cuba, es troba exposada al mar obert i la plataforma continental és relativament estreta i no massa enfora de la costa assoleix profunditats significatives. Tot plegat explica les raons per les quals hi ha un fort onatge de caràcter permanent i sostingut. Aquest factor és el principal responsable del procés de regularització a què està sotmesa la línia de costa i també la raó per a la formació dels camps de “camellones de tormenta” i de la presència de “huracanolitos”.

“Camellones de tormenta”

Segons PEÑALVER *et al.* (2008) els “camellones de tormenta” són les arenes i còdols que es troben en dependència directa amb les roques que formen la costa. De manera general, es pot assenyalar que els “camellones de tormenta” s'acumulen a les costes de penya-segats, on l'onatge trenca violentament contra les roques fent que l'aigua penetri desenes de metres terra endins, arrossegant i aglomerant materials diversos. Es situen a una altura que oscil·la entre 2 m i 5 m respecte el nivell del mar i separats de la línia de costa actual entre 40 i 60 m, tot sovint resten coberts per vegetació. PEÑALVER *et al.* (2009) van diferenciar-ne tres tipus principals a l'illa de Cuba:

a) *Camellones* antics: holocens, probablement correlacionats amb la transgressió flandriana. El material constituent és arena carbonàtica de granulometria variable, de vegades amb material clàstic integrat per blocs de coralls i calcàries de la Fm. Jaimanitas. Arriben a alçades de 5 m s.n.m. i no presenten relacions amb la direcció actual dels trens d'onatge.

b) *Camellones* recents: amb una edat que pot oscil·lar entre 200 i 3000 anys. La seva composició és variable i inclou arena carbonàtica de diverses granulometries, amb o sense detritus de conquilles, petxines, esquelets de mol·luscs marins, coralls i blocs de la Fm. Jaimanitas, fins a arena no carbonàtica de gran fi i mitjà. Hi ha acumulacions que poden contenir graves, còdols i blocs, i arriben fins a 3 m d'alçada s.n.m. Acostumen a presentar una disposició congruent amb la direcció d'arribada de l'onatge actual.

c) *Camellones* actuals: els constitueixen petxines, conquilles i arena carbonàtica amb textura de fina a gruixuda. Apareixen sobre relleus molt aplanats a la pròpia línia de costa; solen ser molt estrets i arriben a menys de 1 m d'altura s.n.m. El seu basament són dipòsits palustres. A la regió de Cabaniguán existeix testimoni oral que els *camellones* es van formar amb un dels ciclons de l'any 2008.

Segons CABRERA (2011) els “camellones de tormenta” estan constituïts, generalment, per arenes biogèniques, argiles i petxines, així com blocs i fragments de coralls i calcàries no cimentades, arribant a constituir *cayos* complets o parts d'aquests; tant en costes de graó, com sobre platges. Especialment en aquelles localitats situades cap a sobrevent. S'emplacen discordants sobre superfícies de calcàries de la Fm. Jaimanitas i estan formades per coralls morts o bancs de sorres i altres sediments. Es dipositen en condicions d'onatge energètic i associats a corrents litorals que transporten materials des del fons marí cap a les parts emergides. La màxima potència coneguda d'aquest tipus de dipòsit és de 12 m, segons sondejos en la plataforma nord-occidental de Cuba.

Segons BATISTA *et al.* (2015) un tret distintiu de la regió del Pantà es vincula amb l'existència d'alguns “camellones de tormenta” que arriben a tenir una distribució territorial àmplia, des del NE de platja Girón fins a prop de la badia de Cienfuegos. Constitueixen, en tots els casos, petites elevacions arenoses associades a les terrasses marines. Estan representats principalment per arenes i còdols, acumulats en platges com a “camellones de tormenta”, de vegades cimentats per carbonat, formant *beach rocks*, i són un tret distintiu de la costa S, des dels voltants de Platja Girón fins Guasasas. En general aquestes acumulacions envolten grans blocs de coralls rodats, fragments de *Strombus* i blocs calcaris i ocasionalment predominen absolutament les arenes. Aquests dipòsits poden arribar a tenir fins a 5 m de potència.



Fig. 2. “Huracanolitos” a la costa rocosa de Cuba. Imatges cedides pel Dr. Iturralde-Vinent.

Huracanolitos

El primer treball realitzat a Cuba sobre aquesta temàtica fou desenvolupat per NÚÑEZ JIMÉNEZ (1959). Aquest autor utilitzà el terme "huracanolitos" per identificar els blocs dipositats a les costes, tenint en compte els huracans com la causa principal de transport i deposició. Aquest terme s'usa exclusivament a Cuba. JIMÉNEZ (1988) defineix els “huracanolitos” com a megablocs i blocs grans (> 1 m) dipositats a la zona costanera com a resultat de tempestes tropicals. ITURRALDE-VINENT (2017) explica els “huracanolitos” com a resultat de la força de l'onatge, que és capaç de mobilitzar grans blocs de roques coral·lines a varis desenes de metres terra endins, així com deixalles sòlides de més de 70 Tn, tot aquest conjunt acumulat a les costes (Fig. 2). Els blocs estan associats a esdeveniments d'onatge extrem, però la majoria de la sedimentació d'aquests blocs es relaciona amb fluxs de tsunami. Aquests blocs es poden trobar en gairebé tots els trams costaners rocosos de Cuba. Es tracta de blocs de roca calcària, de dimensions variades i formes molt irregulars, localitzats tant sobre la superfície de les terrasses litorals llavorades a 2 m d'alçada, com sobre la superfície d'una segona terrassa llavorada entre 5 i 8 m d'alçada. Aquests dipòsits es poden arribar a emplaçar a una distància de la línia de costa de 30 i, excepcionalment, fins a 80 m. També s'utilitza el terme "huracanolitos antròpicos" pels fragments i arrabassaments d'estructures antròpiques (ITURRALDE-VINENT, 2017). Un aspecte a destacar dels “huracanolitos” a Cuba és la seva distribució geogràfica i les seves dimensions. així BLANCO-QUINTERO *et al.* (2010) assenyalen que hi ha un major nombre de blocs a la costa S de Cuba, mentre que a la costa N, aquests només apareixen en el tram costaner d'Havana-Matanzas. Així mateix els mateixos autors també constaten que els de majors dimensions són els de la costa meridional.

COTILLA (2011) analitzà blocs associats a “huracanolitos” i “camellones de tormenta” i posa en dubte que els tsunamis interpretats com a mecanisme de deposició en algunes regions de Cuba hagin afectat realment a l'illa, atès que molts d'ells no estan documentats per experts, ni tampoc es compta amb testimonis presencials. Així mateix els tsunamis de Jamaica no han afectat les costes de Cuba, malgrat la seva proximitat a l'illa germana. Tampoc hi ha influència de fonts tsunamigèniques dels sectors meridional i occidental del Carib, ni d'el Golf de Mèxic i Cuba. És per açò que COTILLA (2011) manifesta

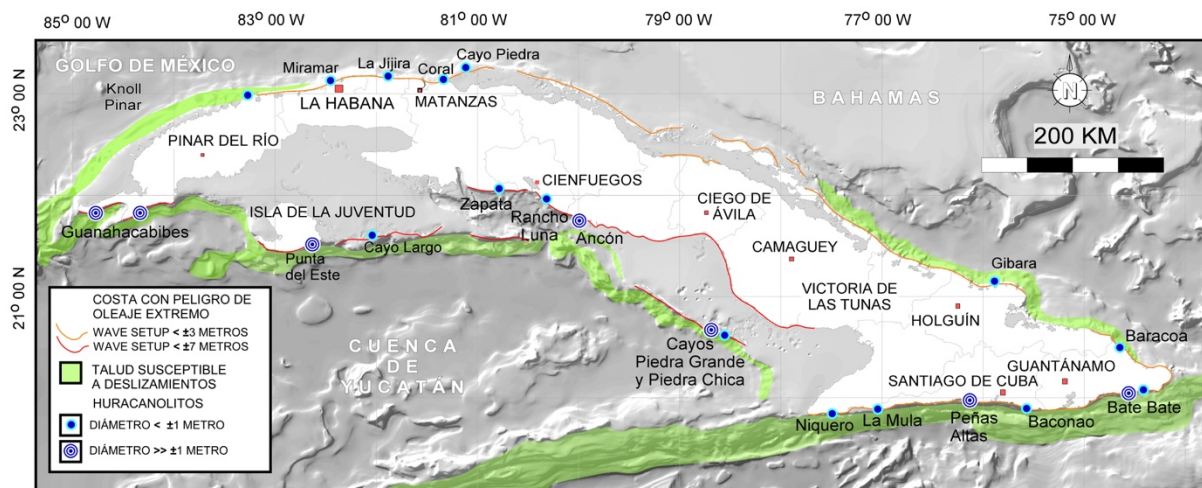


Fig. 3. Distribució d’“Huracanolitos” a l’illa de Cuba. Reproducció del mapa per cortesia del Dr. Iturralde-Vinent.

els seus dubtes a propòsit de la influència dels tsunamis d’Haití i República Dominicana a Guantánamo, badia que està més a prop de les possibles fonts i en la mateixa latitud.

Altrament, segons RODRÍGUEZ-VIDAL *et al.* (2011) hi ha diverses evidències de l’impacte del tsunami de Lisboa de 1755 a les costes atlàntiques d’Amèrica, principalment a les illes del Carib. Els impactes es descriuen a Antigua i Barbados, on les onades van inundar ports i algunes cases, amb un *run-up* de 3,7 m. Altres autors els identifiquen a Dominica amb 3,7 m, a Saba amb 6,4 m i a Sant Martí amb 4,5 m (LANDER *et al.* 2002). També hi ha referències de l’efecte del tsunami a les illes Espanyola i Cuba (O’LOUGHLIN i LANDER, 2003).

Segons SHAW i BENSON (2015) tots els tsunamis del Carib registrats i verificats es troben relacionats amb terratrèmols d’aquesta regió, associats a les parts central i oriental de la placa del Carib. La conca occidental del Carib, inclòs l’W de Cuba, Yucatàn i el golf de Mèxic, i la placa nord-americana.

HISAMATU *et al.* (2017) estudiaven els blocs distribuïts sobre terrasses paral·leles a la línia de costa de la platja d’Ancón, província de Santi Cristi (Cuba), tot avaluant les característiques d’antics huracans o esdeveniments d’onatge extrem, realitzant un mapa de paleotempesteologia al voltant de l’illa de Cuba (Fig. 3). RODRÍGUEZ-VALDÉS i ACOSTA-RODRÍGUEZ (2017) aplicaren les equacions de *Transport Figure* (SCHEFFERS Y KELLETAT, 2003) a “huracanolitos” que presentaven distribucions i imbricacions pròpies de tsunami, arribant a la conclusió que les dades morfomètriques d’aquests blocs es deu a huracans; encara que alguns blocs poden haver estat emplaçats per tsunamis. AGUIRRE *et al.* (2021) a un estudi bibliomètric sobre els dipòsits costaners a Cuba, constaten la preocupació per a la comunitat científica per la gènesi i significat dels “huracanolitos”. A Cuba també han estat estudiats diferents espais geogràfics, tractant igualment els huracans i els tsunamis com a causes d’acumulació d’aquest tipus de registre. No obstant això, hi ha més incertesa sobre la causa del moviment d’aquests blocs al litoral cubà (MATOS, 2017), perquè les dimensions d’aquests blocs en alguns casos es força significativa, i per altra banda, perquè hi ha un buit de coneixement sobre el comportament general del paleoclima cubà, principalment els paleohuracans així com també dels paleotsunamis. En qualsevol cas, tant pel que fa a “camellones de tormenta” com als “huracanolitos”, es pot plantejar que el paisatge costaner va ser modelat i també és el producte de diversos esdeveniments d’onatge extrem que han afectar la regió del Carib, essent l’acumulació de blocs de grans dimensions un dels principals testimonis.

L’estudi dels blocs a les illes Balears

Arribats a Balears dels primers viatges a Cuba i amb la imatge de les formes d’acumulació de les costes de República Dominicana al cap, després de varies converses i debats respecte de processos

similars a les costes rocoses de Mallorca i Menorca, i també després de realitzar algunes visites puntuals per visualitzar camps de blocs a les crestes dels penya-segats, s'encetà un debat i establí una línia de recerca associada a la presència de blocs de grans dimensions a les costes de Balears, ja que tant la seva distribució com les seves similituds morfològiques indicaven processos similars d'alta energia que afectaven la costa rocosa del Carib.

Els antecedents de l'estudi de la costa rocosa a Balears amb identificació de diferents agents i processos implicats en l'erosió dels penya-segats, morfologies resultants i taxes d'erosió, mostraven taxes moderades al litoral, i no implicaven a curt termini un canvi en la seva morfologia (BALAGUER *et al.* 2007; GÓMEZ-PUJOL *et al.* 2007, POMAR *et al.* 2012). Aquests treballs culminaren en dues tesis doctorals (BALAGUER, 2005 i GÓMEZ-PUJOL, 2006). També s'inventariaren les costes rocoses de Mallorca (BALAGUER, 2007) i caracteritzaren les zones afectades per processos de col·lapse càrstic actuals i heretats (FORNÓS, 1999; GINÉS, 2000; ROBLEDO, 2005). Segons BALAGUER (2005), qui recorre a les cartografies de sismologia recent de GIMÉNEZ (2001) i GIMÉNEZ *et al.* (2002), la relació entre processos de moviments de masses i l'esdeveniment d'un moviment sísmic és un factor important a tenir present en els estudis d'àmbit comarcal que contemplen aspectes relacionats amb caigudes de blocs i esllavissades. CUERDA *et al.* (1991) i CUERDA i SACARÉS (1992) ja citaven la presència de blocs associats a l'erosió marina de les capes inferiors dels estrats de plataformes litorals a Mallorca. Amb posterioritat, Antonio Rodríguez-Perea, seguint aquests arguments i durant els transcurso de les pràctiques de les matèries de geologia y geomorfologia dels estudis de geografia de la Universitat de les Illes Balears, durant la dècada dels anys 90, cartografià a es Bancals (Llucmajor, Mallorca) els cordons de blocs als penya-segats com a blocs de desprendiments (Fig. 4a i b). A la Fig. 4b es presenta el detall de la cartografia del sector de màxima acumulació de blocs al dipòsit d'es Bancals així com també els perfils, on apareix el bloc ubicat a major altura de tot l'arxipèlag, tot assolint els 25 m s.n.m.

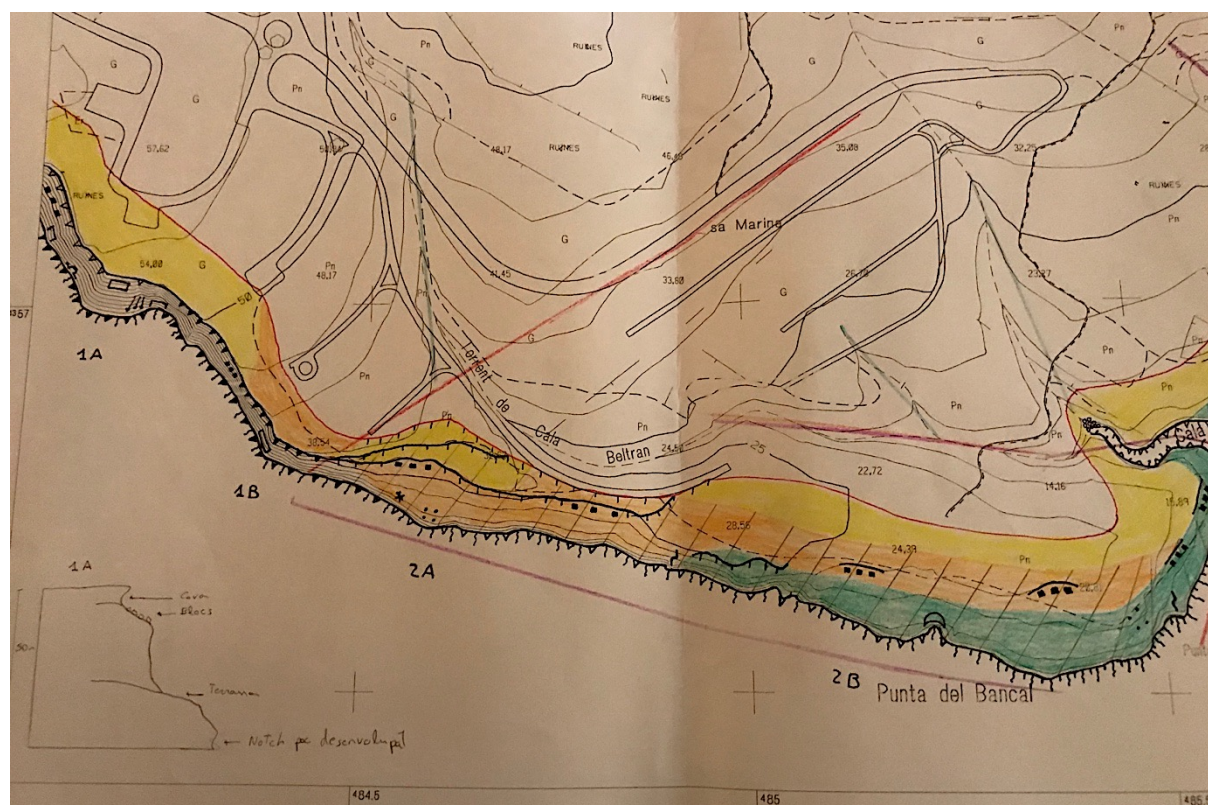


Fig. 4a. Esquemes representats dels blocs de es Bancals, interpretats com a blocs caiguts per CUERDA I SACARÉS (1992), i assumits com a tals als treballs de camp dels alumnes de la assignatura Geomorfologia impartida per Antonio Rodríguez-Perea. Es pot observar la cartografia de blocs, així com les diferents tipologies de penya-segat.

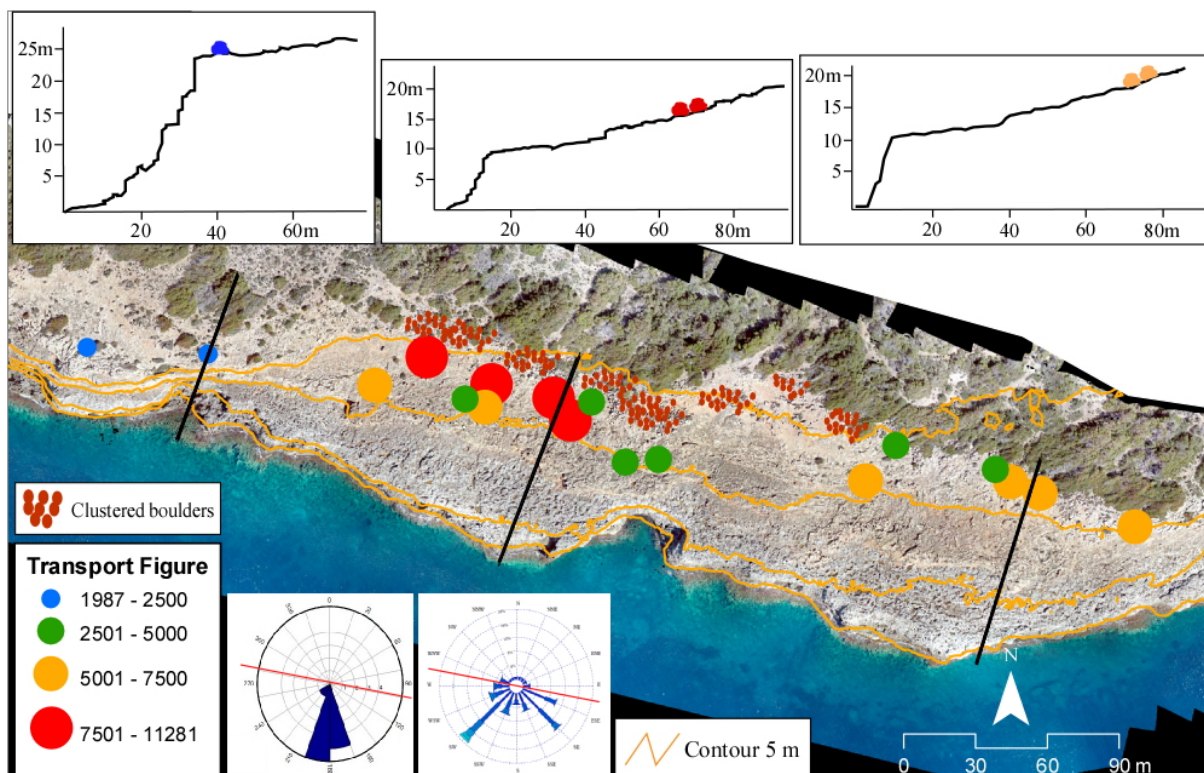


Fig. 4b. Ubicació i distribució dels blocs de es Bancals mostrant els valors del *Transport Figure*. Els perfils s’han obtingut partir del MDT LIDAR (2014). La rosa de direccions de l’esquerra mostra la direcció dels blocs i la dreta la direcció de l’onatge; la recta vermella sobre ambdues mostra la direcció del penya-segat.

Tsunamis: modelitzacions i dipòsits

A la conca mediterrània occidental s’han realitzat diverses modelitzacions de trajectòries de tsunamis, coincidint amb les regions descrites per TINTI *et al.* (2005). Les modelitzacions realitzades en base al terratrèmol de Boumerdès-Zemmouri, del 2003, han suggerit diversos mecanismes de generació, segons diferents paràmetres de la font tsunamigènica. HÉBERT i ALASSET (2003) presenten un model de propagació de tsunamis per a les illes Balears, en relació al de 2003, tot d’observant que les majors pendents de la batimetria que es troben mar endins, afavoreixen una reflexió de l’ona enlloc d’una amplificació de la mateixa. ROGER i HÉBERT (2008) se centren en la modelització del tsunami del 1856 i la seva propagació cap a les illes Balears, mostrant que la posició de la falla va ser discriminatòria respecte al conjunt de les àrees potencials d’impacte i de les àrees finalment afectades. En aquesta simulació, la propagació del tsunami s’orientà preferentment cap al S de França i cap a les Illes Balears. ÁLVAREZ-GÓMEZ *et al.* (2010) realitzen una modelització de tsunamis cap a l’illa de Mallorca, i posteriorment ÁLVAREZ-GÓMEZ *et al.* (2011) modelitzen els possibles tsunamis generats per fonts properes a la península Ibèrica i les Illes Balears, basant-se en diversos tsunamis històrics i en una simulació de l’àrea de propagació que cobreix la conca Balear, la mar d’Alborà i Algèria. Els resultats identifiquen nou fonts tsunamigèniques que afecten de diferents formes i amb diferents intensitat a les costes de la regió (ÁLVAREZ-GÓMEZ *et al.* 2011). Els models d’ÁLVAREZ-GÓMEZ *et al.* (2010 i 2011) conclouen, que les fonts del N d’Algèria suposen el major risc per a la costa sud-oriental de la península Ibèrica i de les illes Balears, mostrant característiques similars a les responsables dels terratrèmols d’al-Asnam de 1980 i de Boumerdès-Zemmouri de 2003. SCHINDELÉ *et al.* (2015) i posteriorment HEIDARZADEH *et al.* (2019), modelitzen i estableixen el temps de viatge de l’ona de tsunami a la Mediterrània occidental, tot coincidint amb ÁLVAREZ-GÓMEZ *et al.* (2011), destaquen que els canons submarins semblen jugar un paper important en l’amplificació de l’ona i que la morfologia de la

plataforma ha de ser determinant de cara a l'amplificació de l'ona de tsunami a diverses localitats al llarg del litoral del llevant de la Península Ibèrica i del Golf de Lleó.

La identificació de blocs transportats per tsunami i/o tempesta és important per al reconeixement de diferents esdeveniments, així com per estimar les seves propietats hidràuliques (NOTT, 2003; IMAMURA *et al.* 2008). Les característiques morfològiques dels dipòsits poden indicar diferències sedimentològiques entre tsunamis i tempestes (PARIS *et al.* 2011). IMAMURA *et al.* (2008) analitzaren quantitativament el procés de transport per proposar els caràcters que defineixen els blocs afectats per tsunami i estimaren el patró de fluxs i propietats de l'onatge. En aquesta línia MICHETTI *et al.* (2007), posteriorment ampliat per LARIO *et al.* (2016), realitzaren la descripció dels efectes geo-ambientals de tsunamis actualment inclosos en els efectes macrosísmics de l'escala *Environmental Seismic Intensity Scale* (ESI-07) (MICHETTI *et al.*, 2007), extrets per a la categoria més àmplia de l'*Earthquake Environmental Effect* (EEE) d'onades anòmales i tsunamis.

Tanmateix, les onades de tempesta també tenen la capacitat de desplaçar grans blocs (MASTRONUZZI i SANSO, 2004; GOTO *et al.* 2010), és per això que cal definir els tipus de sediments associats a tots dos esdeveniments. Les onades de tempestes extremes són un mecanisme probable de transport de blocs, cada vegada més reconegut en latituds altes, com l'Atlàntic N, on són capaços de transportar blocs a altures i distàncies considerables (HALL *et al.* 2008; COX *et al.* 2018; COX, 2020). Tot i que els blocs de majors dimensions no poden per ells mateixos ser utilitzats com a indicadors climàtics, ja que testimonien esdeveniments poc freqüents i no estrictament climàtics (LORANG, 2000), els blocs de menor mida poden utilitzar-se com a registre de les condicions climàtiques d'onatge i poden ser mesurats i monitoritzats a escales temporals relativament curtes (PÉREZ-ALBERTI i TRENHAILE, 2015).

La temàtica que aborda la presència de blocs a les costes rocoses ha estat un tema recent en la producció científica a nivell mundial. L'evidència de tsunamis es conserva en el registre estratigràfic en zones costaneres com a àrees amb blocs i/o amb dipòsits d'arenas, tsunamites. Tot i que no hi ha unes característiques sedimentològiques que identifiquin de manera inequívoca el sediment resultat d'un tsunami, ja que poden dipositar sediments des sorra a grava i blocs, ja sigui durant el flux d'entrada o durant el flux de retorn (MACINNES *et al.* 2009). No obstant això, un dels principals efectes dels tsunamis a les costes rocoses és la sedimentació de grans blocs terra endins, tot i que hi ha pocs exemples documentats de blocs que hagin estat clarament desplaçats per tsunamis contemporanis (GOTO *et al.* 2007). En general es diferencien dos tipus de dipòsits associats a tsunamis: tsunamites i dipòsits de blocs. Les costes rocoses presenten acumulacions de blocs que permeten inferir les característiques distintives del seu transport (ETIENNE i PARÍS, 2010). Molts dipòsits de blocs poden tenir un origen poligènic associat a tempestes severes i a tsunamis (HALL, 2011). No obstant això, la distinció entre dipòsits de tsunami i d'onatge es basa en un conjunt de criteris sedimentològics, morfològics, cronològics, estratigràfics i d'organització que han de ser analitzats en conjunt (LARIO *et al.* 2010, 2011; ROIG-MUNAR *et al.* 2015).

La conca de la Mediterrània occidental es caracteritza per una costa retallada que individualitza petites subconques, on l'energia de l'onatge està condicionada per la velocitat de vent i per la forma de la conca (CAÑELLES *et al.* 2007). Com a conseqüència, a la Mediterrània l'onatge difereix respecte als oceans pel que fa a energia i recorregut, de manera que les seves costes poden presentar bons indicadors per diferenciar els efectes excepcionals que han donat lloc a la sedimentació i disposició de blocs o sediments tsunamigènics (MASTRONUZZI *et al.* 2006, 2007; ROIG-MUNAR *et al.* 2016).

La presència de blocs a les costes rocoses de Balears és un aspecte que ha estat tractat per BARTEL i KELLETAT (2003), SHEFERS i KELLETAT (2003) i KELLETAT *et al.* (2005) a algunes àrees de Mallorca, on relacionen els blocs sobre plataformes tallades al rocam carbonàtic amb processos mixtes d'onatge i tsunamis, establint indicadors analítics per discernir els blocs desplaçats per fenòmens climàtic-oceanogràfics, dels eventuals o geològics. Posteriorment FEMENIAS (2007) realitzà una anàlisi de blocs de grans dimensions del Cap Salines, S Mallorca, amb l'aplicació de diferents equacions, arribant a la conclusió que aquests eren blocs de tsunami i proposant un estudi batimètric per detectar blocs a la zona submergida. GÓMEZ-PUJOL i ROIG-MUNAR (2013) realitzaren una primera aproximació a l'origen dels blocs a la costa meridional de Menorca, atribuint-los a processos d'onatge de tempesta. Poc

després ROIG-MUNAR *et al.* (2013) realitzaren una aproximació sobre blocs a les costes de Menorca i Mallorca i la relació d'aquests darrers amb trajectòries de tsunamis provinents del nord d'Àfrica, tot i que obriren la possibilitat a fenòmens de caràcter mixt. CORRALES (2015) analitzà, seguint les propostes de FEMENIAS (2007), la possible presència de blocs a la zona submergida de cap Salines, detectant diferents blocs de grans dimensions amb l'escaneig batimètric, tot i que no descartà que fossin blocs agrupats no associats a tsunamis.

No fou fins el 2012, en base als viatges realitzats a Cuba i República Dominicana, que s'establí la hipòtesi de partida que els blocs aïllats i/o en forma de cordons dipositats sobre les costes rocoses de les quatre illes podien tenir un origen mixt per processos de tsunami i per processos de tempesta. Es prenien el testimoni de ROGER i HÉBERT (2008) qui, sobre la base de la modelització de tsunamis, conclougué que es requeria un estudi de dipòsits de tsunamis a la Mediterrània occidental amb especial atenció a les illes Balears, per tal d'identificar paleo-tsunamis i distingir aquests dipòsits dels de tempestes i proposar, així, els períodes corresponents de retorn. En aquest sentit PARIS *et al.* (2010) realitzaren estudis de camp al llarg de les costes de Mallorca i Menorca, on van trobar poques evidències de tsunamis, identificant petits nivells d'arenas amb bioclastes marins en tres àrees per sota dels 2 m s.n.m., tot atribuint-los un origen tsunamigènic. Així mateix identificaren blocs al llarg de la costa meridional de Mallorca que també podrien haver estat dipositats per tempestes.

Els autors del present treball, juntament amb Antonio Rodríguez-Perea, es marcaren com a punt de partida la identificació i caracterització de dipòsits de blocs al litoral rocós de les illes Balears (Fig. 5), tot emprant indicadors geomorfològics, l'ús d'equacions hidrodinàmiques associades al transport dels blocs i la caracterització sedimentològica dels mateixos, especialment allò relatiu a l'orientació i la imbricació. Considerant les indicacions de ROGER i HEBERT (2008), on esmenten que els models numèrics de les trajectòries tsunamíques realitzats per HEBERT i ALASSET (2003), i ÁLVAREZ *et al.* (2010, 2011), reque-

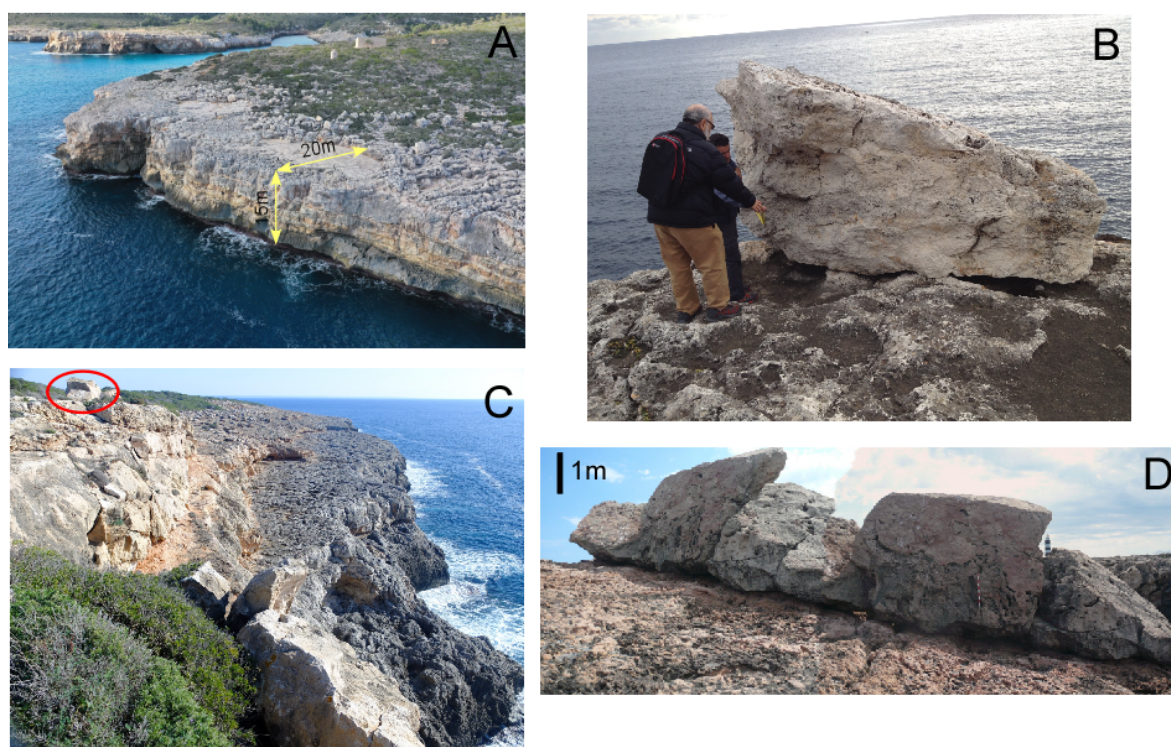


Fig. 5. Exemples de blocs de tsunamis a les costes de les illes Balears. A: caló den Serral, costa E de Mallorca. B: Bloc dipositat a la costa E de Mallorca, a cala Morlanda (El Dr. Antonio Rodríguez en primer terme). C: Penya-segat de la costa S de Mallorca, es Bancals, el bloc encerclat és el que es troba a major altura de tot l'arxipèlag, a 25 m s.n.m. D: Blocs dipositats a l'illa de l'Aire, costa SE de Menorca.

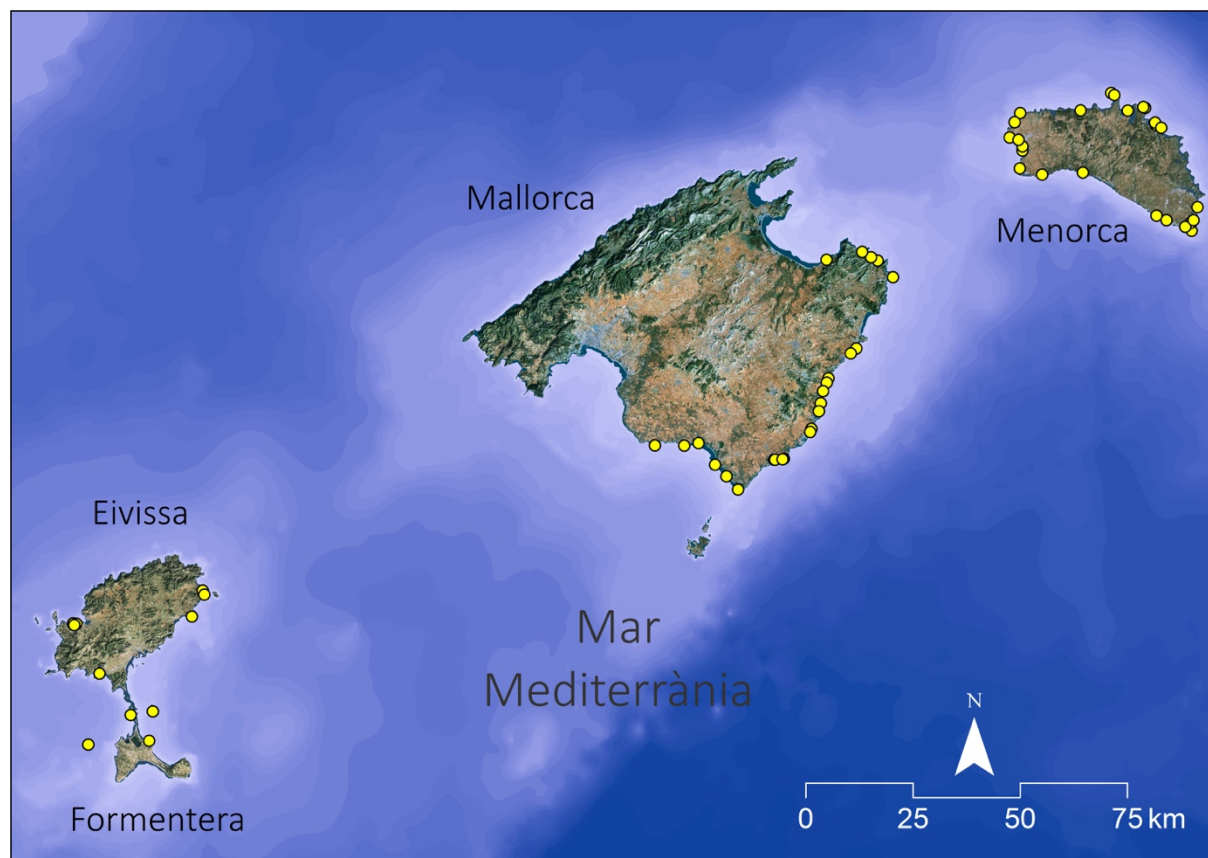


Fig. 6. Distribució de blocs de tsunamis a les costes de les illes Balears.

reixen un estudi detallat relacionat amb la possibilitat de l'existència de dipòsits de tsunamis a la Mediterrània occidental, amb especial atenció a les Illes Balears, que posteriorment van ser ampliat a Castelló (ROIG-MUNAR *et al.* 2018).

ROIG-MUNAR (2016) analitzà 50 àrees al llarg de tot l'arxipèlag que implicà un extens treball de camp, realitzat conjuntament pels que subscriuen el treball i Antonio Rodríguez-Perea (Fig. 6). De cada bloc es caracteritzà la forma, l'alçada, la seva ubicació, la morfologia de l'àrea on s'emplaça i la seva litologia. A partir de les dimensions i la forma dels blocs es s'assajaren diferents equacions relatives al transport associat a un onatge de temporal o a una ona de tsunami (NOTT, 2003; SHEFFERS & KELLETAT, 2003; PIGNATELLI *et al.* 2009; ENGEL & MAY, 2012), de més a més d'aplicar un factor de correcció a partir la seva massa, l'altura del bloc desplaçat per determinar el *run-up* associat. A més dels dipòsits existents, es van identificar localitats on aquests havien desaparegut o es trobaven modificats per causes antròpiques (ROIG-MUNAR *et al.* 2016b). Sens dubte, els indrets que resultaren més aclaridors i representatius i als que s'ha dedicat nombroses visites i campanyes de camp, foren sant Esteve i illa de l'Aire, a Menorca, i es Bancals i es caló den Serral a Mallorca. Aquests estudis serviren per a la proposta de Llocs d'Interès Geològic (LIG) a les costes Pitiüses i les de Menorca. Amb posterioritat es realitzà una revisió de blocs i tsumamites as l'àmbit del mediterrani occidental (ROIG-MUNAR *et al.* 2020).

La fórmula del *Transport Figure* (TF) de SCHEFFERS i KELLETAT, (2003) s'utilitzà per avaluar la capacitat necessària de l'onatge per transportar cada bloc. El TF es calcula com el producte d'alçada sobre el nivell del mar, distància del bloc respecte de la vora del penya-segat i la massa del bloc. Aquests autors consideren el llindar $TF > 250$ per classifica els blocs com a de tsunami. A Balears es determinà que aquest límit s'aplicaria quan $TF > 1000$, per destriar més nítidament entre blocs de tsunami i de tempesta. A més a més del TF, es calcularen diferents equacions per als blocs de totes les localitats. Amb l'objecte de calcular l'alçada de la columna d'aigua necessària per desallotjar i/o moure cada bloc i obtenir el seu *run-up*. NOTT (2003) té paràmetres predefinits per a blocs transportats (submergits,

subaeris i arrabassats de la façana del penya-segat), i per a cada tipus de bloc, una equació diferent tant per al tsunami com per a la tempesta. PIGNATELLI *et al.* (2009) definí una nova equació per obtenir l'alçada mínima del tsunami (HT) que pot moure cada bloc. L'equació derivada de Nott difereix de l'original en relació amb l'eix C, que indica el gruix del bloc directament exposat a l'impacte de l'ona. ENGEL i MAY (2012) reconsideren les equacions de NOTT (2003), però utilitzant mesures de volum i densitat més precises. Posteriorment ROIG-MUNAR *et al.* (2018, 2019a i b) amplien els emplaçaments analitzats a tot l'arxipèlag el 2016 a 65 localitzacions (15 localitats d'estudi més) (Fig. 6), tot aplicant modificacions en les equacions de SHEFERS i KELLETAT (2003), NOTT (2003) i ENGEL i MAY (2012) per determinar el *run-up* de de l'onada-flux associats als tsunamis sobre les costes i els penya-segats, alguns d'ells amb alçàries superiors a 20 s.n.m.

Els resultats obtinguts determinen que els blocs es localitzen sobre la costa segons les trajectòries definides per ROGER i HÉBERT (2008) i per ÁLVAREZ-GÓMEZ *et al.* (2011) i són concordants amb l'orientació de desplaçament de l'ona de tsunami procedent del nord d'Àfrica. Així mateix, les datacions obtingudes en els blocs analitzats a les quatre illes, mitjançant ^{14}C o altres indicadors indirectes com la profunditat de les cubetes de dissolució exocàrstica o les fonts escrites, resulten en estimacions d'edat entre 1570 i 1813. Tanmateix la majoria d'observacions estarien relacionades amb el tsunami històric de 1756 (FONTSERÉ, 1918). En base a les fonts escrites del tsunami de 1756 (FONTSERÉ, 1918), ROIG-MUNAR *et al.* (2017b) realitzen una reconstrucció dels fets basant-se en les cròniques de la premsa local del tsunami de 2003, coincidint en els fenòmens descrits i establint nombrosos paral·lelismes.

L'escassa bibliografia associada a tsunamis a les costes de la Mediterrània occidental ens porta a replantejar una reinterpretació dels treballs sedimentològics existents, especialment en aquells treballs focalitzats en sondejos en zones humides i costes baixes, i també en treballs dels dipòsits pleistocens i quaternaris. Hi ha la possibilitat que alguns nivells estudiats a Balears analitzats com a tempestites indueixin a confusió. Molts treballs han identificat i descrit sediments costaners com a tempestites (CUERDA, 1975; CUERDA i SACARÉS, 1991; BUTZER i CUERDA, 1961; HEARTY, 1987), tot i trobar-se a àrees que coincideixen amb espais amb presència de blocs de tsunamis (ROIG-MUNAR, 2016). Malgrat d'aquesta evidència i l'extensa publicació de treballs al respecte, els darrers estudis paleontològics (VICENS, 2015 o MOREY, 2020) no han contemplat aquesta possibilitat.

El present treball dona una visió sobre els sediments associats a tsunamis a la Mediterrània occidental, on totes les localitzacions descrites són compatibles amb les modelitzacions realitzades amb fonts tsunamigèniques procedents del nord d'Algèria, que s'emmarcarien dins d'un marc cronològic que aniria des del s. IV BCE fins el 1700 CE. La presència d'aquests dipòsits no invalida l'existència d'altres acumulacions que han pogut ser destruïdes per accions antròpiques o per posteriors esdeveniments de tsunamis de major intensitat que han modificat el registre precedent, o bé que no han estat identificats. Al llarg de tota la costa mediterrània, l'evidència morfològica i sedimentològica, així com les fonts escrites i registres arqueològics, testifiquen l'impacte generat per esdeveniments de tsunamis, molts d'ells catalogats i estudiats mitjançant modelitzacions numèriques. Tot seguint els suggeriments de ROGER i HÉBERT (2008), cal seguir amb els estudis de dipòsits de tsunami al conjunt de la costa rocosa i sedimentària de la Mediterrània occidental, per tal d'identificar i datar paleo-tsunamis, per així estimar períodes de retorn més precisos. Així mateix, s'obre la porta a noves línies d'investigació relacionades amb sediments associats a zones litorals arenoses, zones humides o jaciments arqueològics litorals, ja que aquest sediment, segons SCHEFFERS i KELLETAT (2003), han estat àmpliament ignorats.

Bibliografia

- AGUIRRE FERIA, G.M., MATOS PUPO, F. i SÁNCHEZ LOYOLA, A. (2021): Estudio bibliométrico sobre la producción científica de huracanolitos en la costa de Cuba. *Avances*, 23(1): 40-60.
- ÁLVAREZ-GÓMEZ, J. A., ANIEL-QUIROGA, I., GONZÁLEZ, M. i 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. i 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.
- BALAGUER, P. (2005): *Tipus i evolució de les costes rocoses de Mallorca*. Tesi Doctoral. Universitat de les Illes Balears. Palma, 387 pp.
- BALAGUER, P. (2007): Inventari quantitatiu de les costes rocoses de Mallorca. In: PONS, G. X. i VICENS, D. (eds.). *Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló*. Monografies Societat Història Natural de les Balears, 14: 201-230. Societat d'Història Natural de les Balears, Palma.
- BALAGUER, P. i FORNÓS, J.J. (2004): Erosión continua a partir de la desintegración granular en los acantilados costeros del SE de Mallorca. (Islas Baleares. Mediterráneo occidental). In: *Actas II Reunión de Geomorfología Litoral*: 347-358. Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.
- BATISTA, R. i RODRÍGUEZGONZÁLEZ, L. (2015): Caracterización geólogo-geomorfológica del territorio emergido del area protegida Ciénaga de Zapata. *XI Congreso Cubano de Geología Geomorfología*.
- BLANCO-QUINTERO, I.F., GARCÍA-CASCO, A., ROJAS-AGRAMONTE, Y., RODRÍGUEZ-VEGA, A., LÁZARO, C. i ITURRALDE-VINENT, M. A. (2010): Metamorphic evolution of subducted hot oceanic crust (La Corea Melange, Cuba). *American Journal of Science*, 310: 889-915.
- BOYD, R., DALRYMPLE, R. i ZAITLIN, B. A. 1992. Classification of clastic coastal depositional environments. *Sedimentary Geology*, 80: 139-150.
- BUTZER, K.W. i CUERDA, J. (1961): Formacions cuaternaries del litoral Este de Mallorca (Canyamel-PortoCristo). *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 7: 3- 29.
- CABRERA, M. (2011): Los depósitos cuaternarios del territorio marino de Cuba. *Minería y Geología*, 27 (3): 1-25.
- CAÑELLES, B., ORFILA, A., MÉNDEZ, F.J., MENÉNDEZ, M. i 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.
- CORRALES, O. (2015): *Geomorfologia submarina de la plataforma continental davant del cap de Ses Salines, Mallorca*. Memòria del Treball de Final de Grau, Universitat de Barcelona, 35 p.
- COTILLA, M. (2011). ¿Tsunamis en Cuba?. *Física de la Tierra*, 23: 173-197.
- COWELL, P.J. i THON, B.G. 1994. Morphodynamics of coastal evolution. In: CARTER, R.W.G. i WOODROFE, C. D. (eds.), *Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*: 33-86. Cambridge University Press, Cambridge.
- COX, R. (2020): Megagravel deposits on the west coast of Ireland show the impacts of severe storms. *Weather*, 75 (3): 72-77.
- COX, R., JAHN, K.L., WATKINS, O. i COX, P. (2018): Extraordinary boulder transport by storm waves (west of Ireland, Winter 2013–2014), and criteria for analysing coastal boulder deposits. *Earth Science Reviews*, 177: 623-636.
- CUERDA, J. (1975): *Los tiempos Cuaternarios en Baleares*. Instituto de Estudios Baleáricos, Palma. 304 pp.
- CUERDA, J. i SACARÉS, J. (1991): *El Quaternari al Migjorn de Mallorca*. Conselleria de Cultura, Educació i Esports. Govern Balear, Palma, 130 pp.
- CUERDA, J. i SACARÈS, J. (1992): *El Quaternari al Migjorn de Mallorca*. Direcció General de Cultura. Conselleria de Cultura, Educació i Esports. Govern Balear, Palma. 130 pp.
- CUERDA, J., VICENS, D. i GRÀCIA, F. 1991. Malacofauna y estratigrafía del Pleistoceno Superior marino de Son Real (Santa Margalida, Mallorca). *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 34: 99-108.
- ENGEL, M. i 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. i PARIS, R. (2010): Boulder accumulations related to storms on the south coast of the Reykjanes Peninsula (Iceland). *Geomorphology*, 114: 55-70.
- FAIRBRIDGE, R. W. (2004): Classification of coasts. *Journal of Coastal Research*, 20: 155-165.
- FEMENIAS, J., 2007. *Els grans blocs de Cap de Salines (Mallorca): Estudi sedimentològic i dinàmic*. Treball Final de Carrera. Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Barcelona. 39 pp.
- FINKL, C. W. (2013): *Coastal Hazards*. Coastal Research Library. Springer. 831 pp.
- FONTSERÉ, E. (1918): Notas sueltas de sismología Balear. *Publicaciones de la Sección de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias de la Universidad de Barcelona*, XIII: 5-12.
- FORNÓS, J.J. (1999): Karst collapse phenomena in the Upper Miocene of Mallorca (Balearic islands, Western Mediterranean). *Acta Geologica Hungarica*, 42 (2): 237-250. Budapest.
- GIMÉNEZ, J. (2001): La fracturació miocena al SE de Mallorca i la seva influència en l'evolució morfològica. A: PONS, G. X. (ed.), *III Jornades del Medi Ambient de les Illes Balears*: 98-99. Societat d'Història Natural de Balears, Palma.

- GIMÉNEZ, J., FORNÓS, J. J. i GELABERT, B. (2002): Análisis de la fracturación de los materiales calcáreos neógenos de la costa sudoriental de Mallorca. *Geogaceta*, 31, 91-94.
- GINÉS, J. (2000b): *El karst litoral en el levante de Mallorca: una aproximación al conocimiento de su morfogénesis y cronología*. Tesis Doctoral. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 595 pàgs + 29 làms.
- GÓMEZ-PUJOL, L. (2006): *Patrons, taxes i formes d'erosió a les costes rocoses carbonatades de Mallorca*. Tesis Doctoral, Universitat de les Illes Balears. Palma, 220 pp.
- GÓMEZ-PUJOL, L. i 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.
- GÓMEZ-PUJOL, L., BALAGUER, P. i FORNÓS, J.J. (2007): Freqüència, magnitud i escala en la morfodinàmica de les costes rocoses: observacions a s'Alavern (S de Mallorca, Mediterrània occidental). In: PONS, G.X. i VICENS, D. (eds.), *Geomorfologia litoral i quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 181-191. Societat d'Història Natural de Balears, Palma
- GOTO, K., SHINOZAKI, T., MINOURA, K., OKADA, K., SUGAWARA, D. i IMAMURA, F. (2010): Distribution of boulders at Miyara Bay of Ishigaki Island, Japan: A flow characteristic indicator of tsunami and storm waves. *Island Arc*, 19: 412-426.
- 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.
- HALL, A.M., HANSOM, J.D. i JARVIS, J. (2008): Patterns and rates of erosion produced by high energy wave processes on hard rock headlands: The Grind of the Navir, Shetland, Scotland. *Marine Geology*, 248: 28-46.
- HEARTY, P. J. (1987): New data on the Pleistocene of Mallorca. *Quaternary Science Reviews*, 6: 245- 257.
- HEBERT, H. i ALASSET, P. J. (2003): The Tsunami Triggered by the 21 May 2003 Algiers Earthquake. *EMSC Newsletter, Centre Sismologique Euro-Méditerranéen*, 20: 10-12.
- HEIDARZADEH, M., WANG, Y., SATAKE, K. i 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*, 6:19-35.
- HISAMATSU, A. GOTO, K, ROJAS R., ACOSTA-RODRÍGUEZ, E., RODRÍGUEZ-VALDÉS. A. R., MORI, N. i IMAMURA, F. (2017): Potential risk of extreme wave in Trinidad of Cuba inferred from coastal boulders. II *Simposio sobre Riesgos de Desastres y Riesgos Climáticos "Los peligros hidrometeorológicos y la reducción de riesgos de desastres"*. XI Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, .PVR 023. La Habana.
- ITURRALDE-VINENT, M. (2017): Huracanólitos, eventos de oleaje extremo y protección de las obras costeras. *Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 7 (2): 1-7.
- JIMÉNEZ, A. N. (1988): *La Habana, Cuba*, Editorial Letras Cubanas, La Habana, 123 pp.
- KELLETAT, D., WHELAN, F., BARTEL, P. i SCHEFFERS, A. (2005): New Tsunami evidences in Southern Spain Cabo de Trafalgar and Mallorca Island. In: SANJAUME, E. i MATEU, J.F. (eds.), *Geomorfologia Litoral i Quaternari, Homenatge al professor Vincenç M. Rosselló i Verger*: 215-222. Universitat de València, València.
- LANDER, J. F., WHITESIDE, L. S. i LOCKRIDGE, P. A. (2002): Brief history of Tsunamis in the Caribbean Sea. *Science of Tsunami Hazards*, 20 (2): 57-94.
- LARIO, J., LUQUE, L., ZAZO, C. GOY, J.L., SPENCER, C., CABERO, A., BARDAJÍ, T., BORJA, F., DABRIO, C.J., CIVIS, J., GONZÁLEZ-DELGADO, J.A., BORJA, C. i ALONSO-AZCÁRATE, J. (2010): Tsunami vs. Storm surge depósitos: a review of the sedimentological and geomorphological recuerdos of extreme wave eventos (EWE) during the Holocene in the Gulf of Cádiz, Spain. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 54, Suppl.3: 301-316.
- LARSON, M. i KRAUS, N. C. (1995): Predictions of cross-shore sediment transport at different spatial an temporal scales. *Marine Geology*, 126: 111-127.
- LORANG, M. (2000): Predicting the threshold entrainment mass for a boulder. *Journal of Coastal Research*,16 (2): 432-445.
- MACINNES, B.T., BOURGEOIS, J., PINEGINA, T. i KRAVCHUNOVSKAYA, E.A. (2009): Tsunami geomorphology: Erosion and deposition from the 15 November 2006 Kuril Island tsunami. *Geology*, 37: 995-998.
- MASTRONUZZI, G. i SANZO, P. (2004): Large Boulder Accumulations by Extreme Waves along the Adriatic Coast of Southern Apulia (Italy). *Quaternary International*, 120: 173-184.
- MASTRONUZZI, G., PIGNATELLI, C. i SANZO, P. (2006): Boulder Fields: A valuable morphological indicator of paleotsunami in the mediterranean sea. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Suppl., 146: 173-194.
- MASTRONUZZI, G., PIGNATELLI, C., SANZO, P. i 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.

- MATOS, F. (2017): *Boulders in Cuba: hurricanes or tsunamis?*, *Project Paleotempestología en Cuba: variabilidad espacio-temporal de la actividad de Huracan*. doi.org/10.13140/rg.2.2.17717.88809.
- MICHELLI, A.M., ESPOSITO, E., GUERRIERI, L., PORFIDO, S., SERVA, L., TATEVOSSIAN, R., VITTORI, E., AUDEMARD, F., AZUMA, T., CLAGUE, J., COMERCI, V., GURPINAR, A., MCCALPIN, J., MOHAMMADIOUN, B., MORNER, N.A., OTA, Y. i ROGHOSIN, E. (2007): Intensity Scale ESI 2007. In: Guerrieri, L. i Vittori, E. (eds.), *Memorie Descrittive Carta Geologica d'Italia, 74*. Servizio Geologico d'Italia – Dipartimento Difesa del Suolo, APAT, Roma, 53 pp.
- MOREY, B. (2020): *El patrimoni paleontològic de Mallorca. Catalogació, caracterització, valoració. Propostes de gestió i conservació*. Universitat de les Illes Balears, Tesi doctoral inèdita, 412 pp.
- NOTT, J. (2003): Tsunami or storm waves? Determining the origin of a spectacular field of wave emplaced boulders using numerical storm surge and wave models and hydrodynamic transport equations. *Journal of Coastal Research*, 19: 348-356.
- NÚÑEZ-JIMÉNEZ, A., 1959. *Geografía de Cuba*. Editorial Lex, La Habana, 545 pp.
- O'LOUGHLIN, K. F. i LANDER, J. F. (2003): *Caribbean tsunamis; a 500 year history from 1498–1998*. Kluwer Academic, Dordrecht. 199 pp.
- PANTALEÓN, G., PEÑALVER L.L., VALLE, R., NÚÑEZ, A., CABRERA, M., TRIFF, J., IZQUIERDO, D., PÉREZ-PÉREZ, C., PARDO, J. E. i ROSSELLÓ, V. M. (2001): El medio litoral en una perspectiva geográfica y aplicada. In: PÉREZ-ALBERTI *et al.* (eds.). *Los espacios litorales y emergentes: lectura geográfica*. XV Congreso de Geógrafos Españoles: 15-37. Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.
- PARIS, R., NAYLOR, L. i STEPHENSON, W. (2011): Boulders as a signature of storms on rock coasts. *Marine Geology*, 283: 1-11.
- PARIS, R., WASSMER, P., ROGER, J. i LOEVENBRUCK, A. (2010): Tsunami deposits in the Balearic Islands (Western Mediterranean) and implications for hazard assessment. *Geophysical Research Abstracts*, 12: 1896.
- PEÑALVER, L., CABRERA, M., DELGADO, R., RODRÍGUEZ, L., PANTALEÓN, G., UGALDE, C., PÉREZ, C. y DENIS, R. (2008): *Mapa Digital de los Depósitos Cuaternarios del Archipiélago Cubano a escala 1:250.000*. Instituto de Geología y Paleontología, La Habana.
- PEÑALVER, L., PÉREZ, C. i CABRERA, M. (2009): Camellones de tormenta en Cuba. Su explotación local. *Congreso cubano de Ciencias del Mar- Colacmar 2009*. La Habana.
- PÉREZ-ALBERTI, A. i TRENHAILE, A.S. (2015): Clast mobility within boulder beaches over two winters in Galicia, northwestern Spain. *Geomorphology*, 248: 411-426.
- PEROS, M.C., GREGORY, B.R., MATOS, F., REINHARDT, E.G. i DESLOGES, J.P. (2015): Late Holocene record of lagoon evolution, climate change, and hurricane activity from southeastern Cuba. *The Holocene*, 25:1483-1497.
- PIGNATELLI, C., SANSO, P. i MASTRONUZZI, G. (2009): Evaluation of tsunami flooding using geomorphologic evidence. *Marine Geology*, 260, 6-18.
- POMAR, F., FORNÓS, J. J., GÓMEZ-PUJOL, L. i DEL VALLE, L. (2013): Noves aportacions sobre la interferència entre dunes costaneres i ventalls al·luvials durant el Pleistocè superior: l'exemple del ventall al·luvial del Caló (Artà, Mallorca, Illes Balears). In: PONS, G. X., GINARD, A. i VICENS, D. (eds.), *VI Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears. Ponències i Resums*: 86-89. Societat d'Història Natural de les Illes Balears, Palma.
- POMAR, F., FORNÓS, J.J., GÓMEZ-PUJOL, L. i DEL VALLE, L. (2012): Microformas de erosión por cianobacterias en rocas carbonatadas litorales y su relación con parámetros ambientales (Mallorca, Mediterráneo occidental). In: GONZÁLEZ, A. (Coord.) *Avances de la Geomorfología en España 2010-2012. Actas de la XII Reunión Nacional de Geomorfología*. Universidad de Cantabria., Santander.
- ROBLEDO, P. A. (2005). *Los Paleocolapsos kársticos en las plataformas carbonatadas del Mioceno superior de Mallorca: análisis geográfico, genético, geológico y evolutivo*. Tesis doctoral inèdita, Departament Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, 303 pp.
- RODRÍGUEZ-VALDÉS, A.R. i ACOSTA-RODRÍGUEZ, E. (2017): Megabloques en Trinidad: Generalidades de su Morfometría, *Serie Oceanológica*, 16: 1-7.
- RODRÍGUEZ-VIDAL, J., CÁCERES, L. M., ABAD, M., RUIZ, F., GONZÁLEZ-REGALADO, M. L., FINLAYSON, C., FINLAYSON, G., D., RODRÍGUEZ-LLANES, J. M. i BAILEY, G. (2011): The recorded evidence of AD 1755 Atlantic tsunami on the Gibraltar coast. *Journal of Iberian Geology*, 37 (2): 177-193.
- ROGER, J. i HÉBERT, H. (2008): The 1856 Djiielli (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. VILLAPLANA, J. M. MARTÍN PRIETO, J. A. PONS, G. X. GELABERT, B. i MIR- GUAL, M. (2013): Presència de blocs acumulats a terrasses i penya- segats marins a les illes de Menorca i Mallorca: tsunamis o tempestes?. In: PONS, G. X., GINARD, A. i VICENS, D. (eds.), *VI Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears. Ponències i Resums*: 62-65. Societat d'Història Natural de les Illes Balears, Palma.

- ROIG-MUNAR, F. X., RODRÍGUEZ-PEREA, A., MARTÍN-PRÍETO, J. A., VILAPLANA, J. M. i 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. (2016): *Blocs de tempesta i tsunami a les costes rocoses de les Illes Balears. Anàlisi geomorfològica i morfomètrica*. Tesis doctoral, Universitat de Barcelona, Barcelona 410 pp.
- ROIG-MUNAR, F.X., FORNER, E., MARTÍN-PRÍETO, J.Á., SEGURA, J., RODRÍGUEZ-PEREA, A., GELABERT, B. i VILAPLANA, J.M. (2018b): 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., MARTÍN-PRÍETO, J.Á., RODRÍGUEZ-PEREA, A., GELABERT, B., VILAPLANA, J.M. i GARCIA-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., MARTÍN-PRÍETO, J.Á., VILAPLANA, J.M. i GELABERT B. (2017b): Bloques en plataformes rocosas y acantilados del SE de Menorca: tipologia y procesos. In: GÓMEZ-PUJOL, L. I PONS, G.X. (eds.), Geomorfología litoral de Menorca: dinámica, evolución y prácticas de gestión. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 25: 47-66. Societat d'Història Natural de les Balears, Palma.
- ROIG-MUNAR, F.X., RODRÍGUEZ-PEREA, A., MARTÍN-PRÍETO, J.Á., VILAPLANA, J.M. i GELABERT, B. (2016b). El uso de bloques de tormenta y de tsunami como materia prima en las islas Baleares. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 29 (2): 79-88.
- ROIG-MUNAR, F.X., RODRÍGUEZ-PEREA, A., VILAPLANA, J.M., MARTÍN-PRÍETO, J.Á. i 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., RODRÍGUEZ-PEREA, J.M., MARTÍN-PRÍETO, J.Á., GELABERT, B. i VILAPLANA, N. (2019a). Tsunami boulders in Majorca Island (Balearic Islands, Spain). *Geomorphology*, 334: 76-90.
- ROIG-MUNAR, F.X., VILAPLANA, J.M., RODRÍGUEZ-PEREA, A., MARTÍN-PRÍETO, J.Á. i GELABERT, B. (2016a). Indicadores geomorfológicos de tsunamis históricos en las costas rocosas de Baleares. *Geo-Temas*, 16 (1): 641-64.
- ROIG-MUNAR, F.X., VILAPLANA, J.M., RODRÍGUEZ-PEREA, A., MARTÍN-PRÍETO, J.Á. i GELABERT, B. (2018a): Tsunamis boulders on the rocky shores of Minorca (Balearic Islands). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18: 1985-1998.
- SCHEFFERS, A. i KELLETAT, D. (2003): Sedimentologic and geomorphic tsunami imprints worldwide - a review. *Earth-Science Review*, 63: 83-92.
- SHAW, C.E. i BENSON, L., (2015): Possible tsunami deposits on the Caribbean coast of the Yucatán peninsula. *Journal of Coastal Research*, 31(6): 1306–1316.
- SUNAMURA, T. (1992): *Geomorphology of rocky coasts*. John Wiley & Sons, Chichester. 302 pp.
- TINTI, S., ARMIGLIATO, A., PAGNONI, G. i ZANIBONI, F. (2005): Scenarios of giant tsunamis of tectonic origin in the mediterranean. *Journal of Earthquake Technology*, 42(4): 71-188.
- VICENS, D. (2015): *El registre paleontològic dels dipòsits litorals quaternaris a l'illa de Mallorca (illes Balears, mediterrània occidental)*. Universitat de les Illes Balears, Tesi doctoral inèdita. Palma, 985 pp.
- WOODROFFE, C. D. (2003): *Coasts. Form, Process and Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge. 640 pp.

Data recepció: 04.03.21

Data revisió: 01.06.21

Revisió acceptada: 06.07.21