

ESTIMACIÓ DE TAXES D'EROSIÓ PER PROCESSOS MECÀNICS (BLOCS ARRABASSATS) A LES PLATAFORMES LITORALS ROCOSSES DE MALLORCA I GIRONA. RESULTATS PRELIMINARS

Pablo Balaguer Huguet

Societat d'Història Natural de les Balears, Carrer de Margarida Xirgú, 16, 07011 Palma

Resum: L'alliberament de fragments del rocam als sectors supralitorals de les plataformes litorals o als relleixos de les antigues terrasses marines és un tret comú i fàcil d'identificar a les costes rocoses de les Illes Balears. El present treball aborda la quantificació d'aquest mecanisme d'erosió de les costes rocoses i s'ofereixen les primeres taxes d'erosió estimades per a aquest procés sobre calcàries i a ambients micromareals temperats. La quantificació de l'erosió mecànica s'ha realitzat a partir de la caracterització de les dimensions de les cicatrius deixades pels blocs rocosos despresos després que l'onatge els hagi arrabassat del substrat que continuament és alterat pels agents externs. L'aproximació s'ha desenvolupat a cinc localitats d'estudi (quatre a Mallorca i una al NE de Catalunya) i les dades corresponen a dues campanyes de mostreig separades prop de 20 anys. Les taxes d'erosió mecànica estimades i l'erosió de la costa rocosa oscil·len entre 0,0005 mm/any i 0,07 mm/any.

Paraules clau: costes rocoses, processos mecànics, blocs arrabassats, blocs perduts, taxes d'erosió a escala temporal llarga.

Abstract: Release of rock fragments on supra-tidal rock coastal platforms is a common and easy to recognise feature along Balearic Islands rocky coasts. This paper deals with the assessment of this type of mechanical erosion, not previously reported in limestone temperate microtidal settings. Erosion rates have been calculated comparing the number and dimension of rock scars left by detached rock fragments, compiled during two field campaigns separated close to 20 years. From the characterization of five study sites, four along Mallorca rock coast and one at NE Catalonia. Mechanical erosion rates ranged from 0,0005 mm/yr to 0,07 mm/yr.

Keywords: rock coasts, mechanical processes, detached blocs, lost blocs, long-term erosion rates.

A mode de justificació

“Encara record jo quan...” –com rebla la lletra d'una de les cançons del popular Tomeu Penya– el Dr. Antonio Rodríguez Perea entrava a classe amb un quadern d'espiral i fulls de quadrícules, mida DIN-A-4, i començava a explicar la lliçó de Geologia i sempre que era necessari ho feia amb dibuixos a la pissarra, esquemes d'estructures atòmiques, característiques de l'escorça, detalls de dinàmiques i processos, etc. Era el curs 1994-1995, a l'aula 3 de l'edifici Ramón Llull, al Campus de la Universitat de les Illes Balears.

Encara record jo quan... després d'haver estudiat amb força determinació i memoritzar tota la lliçó de Geologia de primer de la llicenciatura de Geografia, l'examen final va consistir en un bloc diagrama on es feia referència a diferents dinàmiques internes i externes. La qual cosa va desconcertar a tots els alumnes i, finalment, només aprovaren els que realment havien entès l'assignatura en el seu conjunt, d'una forma integral.

Encara record jo quan... al segon curs de la carrera (1995-1996), a l'assignatura de Geomorfologia, Antonio explicava la lliçó gairebé sense obrir els apunts. La pissarra “no descansava” i restava plena de dibuixos que amb traça reproduïen les formes i que completava amb esquemes de les diferents dinàmiques. Va ésser en aquest curs, al final de l'assignatura de Geomorfologia, devers el mes de gener quan va informar que ja s'havien acabat les sessions teòriques i que “si volíem més cançonetes, haviem de posar més monedes a la maquineta”. Sentència que encara comentem entre alguns companys de promoció, així com la sensació que vàrem tenir de no quedar associats de coneixements de la matèria per la que ens havia despertat tant d'interès.

Encara record jo quan... Antonio, ja en els cursos de doctorat (1998-1999), ens parlava de conceptes com la pluridisciplinarietat i també de la importància que la ciència sigui aplicable i útil a la societat.

Encara record jo quan... a l'estiu de 1999 vaig tenir un contracte a la Universitat de les Illes Balears, a temps parcial, per treballar al projecte europeu ESPED (*European Shore Platform Erosion Dynamics*) dirigit pel Dr. Joan Fornós. Un dels investigadors adjunts era Antonio i com a responsable d'una de les subtasques del projecte me va encarregar començar a supervisar l'anàlisi d'un tipus d'erosió igual d'interessant que de confusa com la del volum de roca perdut suposadament per l'acció mecànica de l'onatge.

L'estudi del volum perdut, també batiat com a de "blocs arrabassats", consistia i de fet consisteix en mesurar les cicatrius i/o evidències d'allà a on hi ha hagut una pèrdua o arrabassament de fragments de roca de la plataforma litoral. Aquestes evidències de pèrdua de roca són visibles a totes les plataformes litorals rocoses, ja siguin a àrees naturals o a àrees més urbanitzades i poden tenir dimensions d'ordre centimètric a ordre mètric. Antonio proposava, doncs, analitzar un procés visible per a tothom però que fins aleshores havia estat poc tractat dins l'àmbit de la Geomorfologia.

El mètode de treball que es va dissenyar conjuntament amb Antonio, va consistir en prendre mesures dels tres eixos principals de les cicatrius o evidències associades a la pèrdua de volum rocós a diferents localitats d'estudi.

D'aquesta manera hi havia casos en què algun dels eixos principals s'havia d'inferir de forma indirecta, fet que donava a l'anàlisi un caràcter encara més estimatiu. En quant a l'edat dels arrabassaments, Antonio va suggerir, fixar-se en el grau de coloració de la roca i així poder estimar si la cicatriu era fresca o recent i d'acord amb aquest atribut havia de classificar les evidències de pèrdua de volum com a recents, subrecents o antigues. La manera de convertir aquest indicador relatiu d'edat de les evidències de pèrdua de volum fonamentat en la coloració de la roca, en un valor d'edat absolut, es va acordar que ja es tractaria més endavant durant el decurs del projecte.

Però el 1999 a les Illes Balears es va constituir el primer govern progressista, el Pacte de Progrés i el Dr. Antonio Rodríguez Perea en va ser el Director General de Recursos Hídrics. Val a dir que –i és una opinió personal– amb prou èxit en la seva gestió. Comptat i debatut l'estimació de l'edat dels blocs arrabassats quedà només en una temptativa, en una aproximació semiquantitativa.

Els anys varen passar i la recerca relacionada en l'estudi del volum de roca perduda a les plataformes supralitorals de Mallorca es va incorporar com a un capítol més de la meua tesi de doctorat "*Tipus i Evolució de les Costes Rocoses de Mallorca*", defensada el 2006 i on es tractaven diferents processos erosius: dels catastròfics o discontinus (moviments de masses) a aquells de caràcter continu (erosió per disgregació granular o a crostes "*flacking*"), tot oferint-ne una taxa d'erosió anual (mm/any) per a cada un d'ells. Els estudis de pèrdua de volum de roca perduda o anàlisi dels blocs arrabassats es varen recollir al capítol 13 de la tesi, però com que la variable temporal del procés erosiu (recent, subrecent i antic) no es va determinar en termes absoluts, no es va poder extreure una taxa d'erosió; a diferència dels altres processos.

De fet, aquesta mancança ha estat com a una petita espina clavada, un corcó en el pensament, ja que el procés de pèrdua de volum rocós es podria ubicar entre els processos erosius discontinus o catastròfics i els processos d'erosió continua; d'aquí que sigui un tema que sempre ha restat en el calaix dels temes pendants.

L'edició d'aquest volum jubilar és l'excusa perfecta per reprendre i intentar tancar una tema, una curolla, que s'arrossega des de 1999. Així doncs, en aquest treball, després 20 anys, s'han tornat a realitzar observacions a algunes de les zones d'estudi analitzades durant el projecte ESPED tot seguint el protocol que es va dissenyar amb Antonio el 1999 i s'ofereixen unes primeres taxes d'erosió estimades associades en aquest procés purament mecànic. Valgui així, amb tota la humilitat, com a homenatge i agraïment personal a qui posà el bessó d'aquesta recerca.

Gràcies Antonio, i també, gràcies a tot el grup de geòlegs de l'antic Departament de Ciències de la Terra de la Universitat de les Illes Balears, per impulsar la recerca en geomorfologia litoral i encomanar l'interès a un considerable grup de deixebles.

Introducció

L'erosió de les costes rocoses pot donar-se en tres ordres de magnitud, micro-, meso- i macro-escalar. El processos de micro-erosió són aquells que solen ésser continus en el temps, el material arrencat és de mida fina (equivalent a les textures de les argiles, llims i arenes molt fines) i el valor de les taxes de desmantellament del substrat rocós és molt discret, inferiors al mm/any i, per tant, els seus efectes no són visibles en el curt termini. Els processos d'erosió "meso-escalar" són aquells que no operen en la seva totalitat d'una forma continua en el temps però que els seus efectes tenen una certa persistència. Sovint estan lligats a la incidència de processos com l'acció de l'onatge o l'abradió i el material remogut pot variar des de la mida equivalent a les graves, fins als còdols o blocs petits. Malgrat que les taxes d'erosió són molt variables, depenent de la incidència de les dinàmiques que hi intervenen i de les característiques litològiques i texturals de la roca, aquestes també solen ésser inferiors al mm/any. No obstant això, els seus efectes poden ser clarament visibles (cicatris o evidències d'arrabassament de fragments rocosos). Finalment, els processos d'erosió macro-escalars són aquells que solen presentar en la seva operació una discontinuïtat temporal important, afecten àrees considerables de terreny, des de l'ordre mètric fins a decamètric o en ocasions fins a centenars de metres). Per tant el volum de material, roca, afectat és de l'ordre de metres cúbics o tones i els seus efectes són clarament visibles i persistents en el temps. Els processos d'erosió macro-escalars més representatius a les costes rocoses es solen produir als penya-segats i a les àrees urbanitzades poden arribar a afectar i comprometre la continuïtat de infraestructures i habitatges.

L'estudi del volum de roca perduda a les plataformes litorals rocoses de Mallorca i NE de Catalunya s'ubica o fa referència al conjunt de processos de meso-escala, ja que la mida mitjana dels blocs arrabassats abasta des de la mida de grava fins a dimensions superiors al metre. Els episodis d'erosió poden estar lligats a dinàmiques relativament constants com són les de tipus tèrmics i l'addició de sals (efecte erosiu per haloclàstia i termoclàstia) fins a dinàmiques més esporàdiques com són l'efecte dels temporals marins i l'embat directe de l'onatge. Els temporals marins afecten les plataformes litorals rocoses per l'acció mecànica de l'impacte de l'aigua o bé a partir de processos abrasius per la remoció de material dels fons marí o de la mateixa plataforma i empès per l'onatge metralla la superfície rocosa i provoca l'erosió. Els efectes de la pèrdua de volum rocós a les plataformes rocoses sol traduir-se en la presència de cicatrius o evidències d'arrabassament de blocs, per tant, la petjada d'aquest tipus d'erosió és ben visible malgrat que, al manco a les costes de Balears, no es solen produir canvis significatius en la fisonomia i geometria de la plataforma (BALAGUER, 2006; GÓMEZ-PUJOL *et al.*, 2007).

L'erosió de les costes rocoses a les Illes Balears i concretament a l'illa de Mallorca, en el camp de la geomorfologia, ha estat tractada de manera intensa des de finals dels anys 90 arran del desenvolupament del projecte europeu "European Shore Platform Erosion Dynamics" (ESPED). L'objectiu principal del projecte era el de caracteritzar l'erosió de les costes rocoses des de les perspectives micro, meso i macro escalar, identificant tots els processos que hi intervenen i utilitzant diferents tècniques, alguna d'elles una autèntica novetat i avenç científic a finals de la dècada dels noranta (SWANTESSON *et al.*, 2006). Els primers precedents en l'estudi de volum perdut i/o blocs arrabassats a les plataformes litorals rocoses de Mallorca i NE de Catalunya estan lligats a aquest projecte (BALAGUER *et al.*, 2001; 2007; BALAGUER, 2006). L'anàlisi de l'erosió mecànica en aquests treballs descansa en la mesura de les cicatrius observades a la superfície rocosa i l'estimació del volum "perdut". La datació de les pèrdues o fragments rocosos arrabassats era de tipus qualitatiu i es desenvolupava mitjançant una classificació temporal en tres categories (blocs arrabassats o perduts recents, subrecents i antics). L'anàlisi del volum perdut es treballava aprofundint en les dimensions i el nombre dels blocs arrabassats respecte de la distància a la línia de costa, així com en funció de la resistència-duresa de les roques obtinguda amb escleròmetres (*Schmidt Hammer*), o l'estudi dels sistemes de discontinuïtats i la fracturació. Tot plegat permetia fer una descripció dels processos d'erosió predominants respecte la distància a la línia de costa a cada una de les zones d'estudi. Com a principals conclusions es determinà que els processos de pèrdua de volum presenten: 1) una certa tendència a que la mida dels blocs arrabassats és major a mesura que ens acostem a la línia de costa,

2) les àrees amb major freqüència de discontinuïtats i un sistema de fractures més complex presenten més casos de pèrdua de blocs o fragments rocosos; 3) a les àrees més properes a la línia de costa de les costes carbonatades, a les zones de *swash* i *splash* (de batuda i esquitxos de l'onatge), se sol presentar un canvi de procés erosiu, ja que hi predominen els processos de dissolució i la formació d'un rascler litoral important, que atenua o emmascara els processos d'erosió mecànica, ja que els fragments arrabassats són més petits (Fig. 1).

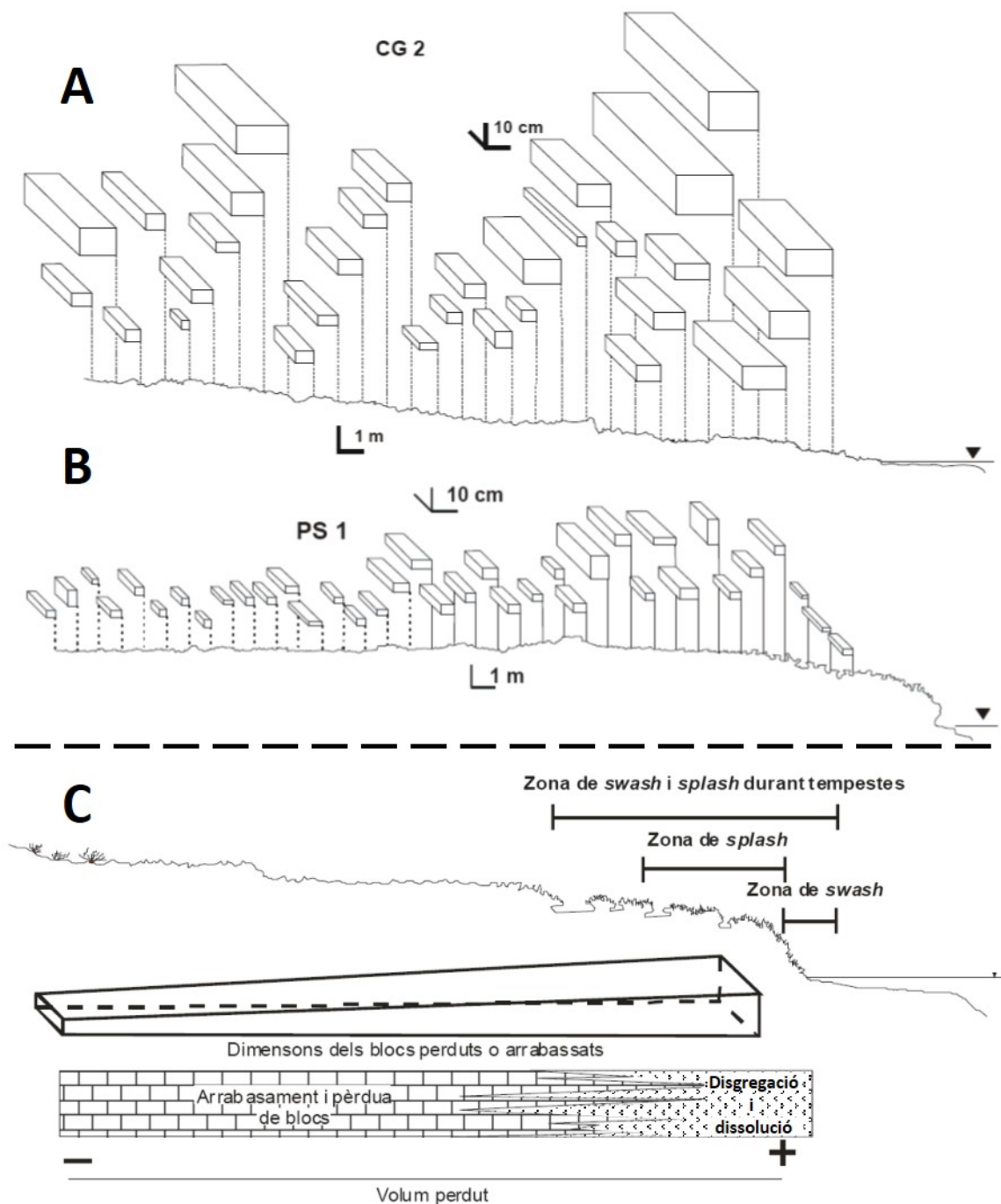


Fig. 1. Exemple de resultats i conclusions sobre l'erosió mecànica a les plataformes de Mallorca i NE de Catalunya d'acord amb els estudis previs (BALAGUER, 2006). A-B) Mida mitjana dels blocs per a cada metre dels transsectes estudiats a les zones d'estudi de: A) Cala en Guixers (CG) (transsecte 2) i Punta des Savinar (PS) transsecte 1). C) Proposta de model d'erosió mecànica de les costes rocoses de la Mediterrània occidental, els processos de dissolució solen esser protagonistes a les zones més properes de la línia de costa (BALAGUER, 2006).

Els principals treballs referents a la pèrdua de volum rocós a les plataformes litorals rocoses (NAYLOR i STEPHENSON, 2010; TRENHAILE, 2008; STEPHENSON *et al.*, 2018; BUCHANAN *et al.*, 2020), a més d'esser bastant posteriors als treballs pioners duts a terme a les Balears (BALAGUER, 2006), assenyalen que aquest procés erosiu depèn del grau d'alteració (subaeri i /o marí) del substrat rocós i de les condicions hidrodinàmiques (energia de l'onatge). En molts casos l'onatge determina l'alliberament, transport i retreballament del material solt i els episodis d'onatge més enèrgics i extraordinaris no tenen perquè donar lloc a elevades taxes de retrocés, si no que més bé contribueixen a la augmentar la fatiga del substrat rocós perquè aquest sigui desmantellat per episodis de tempestes marines menys energètiques.

D'acord amb l'anterior, la pèrdua de material rocós (blocs arrabassats) es dona de forma intermitent i erràtica en el transcurs del temps, amb episodis més erosius que d'altres (NAYLOR i STEPHENSON, 2010). En la mateixa línia i amb un caràcter més general, PHILLIPS (2006), TRENHAILE (2008) i NAYLOR *et al.* (2016) apunten que en l'eficiència dels processos que intervenen a les costes rocoses s'hi dona una combinació de processos històrics i actuals.

TRENHAILE (2008) reflexiona sobre dues maneres d'abordar el procés d'erosió mecànica el càlcul de l'erosió a les plataformes rocoses litorals: 1) el retrocés o "*backwearing*" a partir de les quals es quantifica centrat en el reculament de la costa (p.e. penya-segats) i per tant la velocitat mitjana anual de creixement (amplada) de les plataformes rocoses; i 2) l'erosió o el desmantellament ("*downwearing*") que es refereix a la pèrdua de volum o d'altura, rebaixament, de les costes rocoses (normalment centrat en plataformes litorals rocoses). Els resultats del present estudi d'erosió mecànica a les costes de Mallorca i NE de Catalunya es poden considerar com dels tipus d'erosió de desmantellament o "*downwearing*". En aquest sentit, la intenció d'aquest estudi és la de d'estimar la taxa de retrocés anual pel procés de pèrdua de fragments rocosos o blocs arrabassats degut a l'erosió mecànica a les plataformes litorals rocoses de Mallorca i NE de Catalunya.

Marc físic de les zones d'estudi

Les zones d'estudi on s'ha desenvolupat, tant el 1999-2000 com el 2021, el reconeixement d'aquest tipus desmantellament de les plataformes litorals rocoses es troben a: 1) Punta des Savinar, PS (Santanyí, Mallorca); 2) Cala Murada, CM (Felanitx, Mallorca); 3) Cala en Guixers, CG (Calvià, Mallorca); 4) Punta des Faralló, PF (Capdepera, Mallorca); 5) Cala Sant Francesc, CF (Blanes, Girona) (Fig. 2). A la descripció de les zones d'estudi s'inclouen les característiques litològiques i petrogràfiques, així com les corresponents a l'estudi de famílies de fractures i a les mesures amb el martell d'Schmidt, tot seguint les dades anteriorment presentades per BALAGUER (2006).

Punta des Savinar (PS) es troba a la costa de Llevant de l'illa de Mallorca, entre cala Figuera i cala Mondragó (Fig. 2). La zona d'estudi es troba a una plataforma litoral, al peu d'un penya-segat del 23 m d'altura. Els materials predominants són calcàries blanquinoses corresponents a les fàcies de manglar (Calcàries de Santanyí, messinià) disposades, en contacte erosiu, sobre les calcàries bio-construïdes (tortonià) que conformen la Unitat d'Esculls del miocè superior. S'han identificat fins a 3 famílies de fractures (120°-170°; 90°-110°; 60°-90°). El valor de la resistència a la compressió, avaluat mitjançant el martell d'Schmidt, és de 115 (±50) Mpa; el que es considera com a una resistència molt dura i dura (valors entre 50 i 250 Mpa).

Cala Murada (CM) es localitza a la costa de Llevant de l'illa de Mallorca al Sud de la cala que dona nom a la zona d'estudi (Fig. 2). La zona d'estudi està constituïda per calcàries esculloses corresponents a la Unitat d'Esculls del miocè superior que conformen la plataforma tabular de la Marina de Llevant. A l'àrea s'identifiquen 4 famílies de fractures (350°-10°; 20°-60°, 60°-120°, 120°-160°). El valor de la resistència a la compressió mitjançant el martell d'Schmidt és de 133 (±50) Mpa considerat com a equivalent a una resistència entre molt dura i dura (valors entre 50 i 100 Mpa).

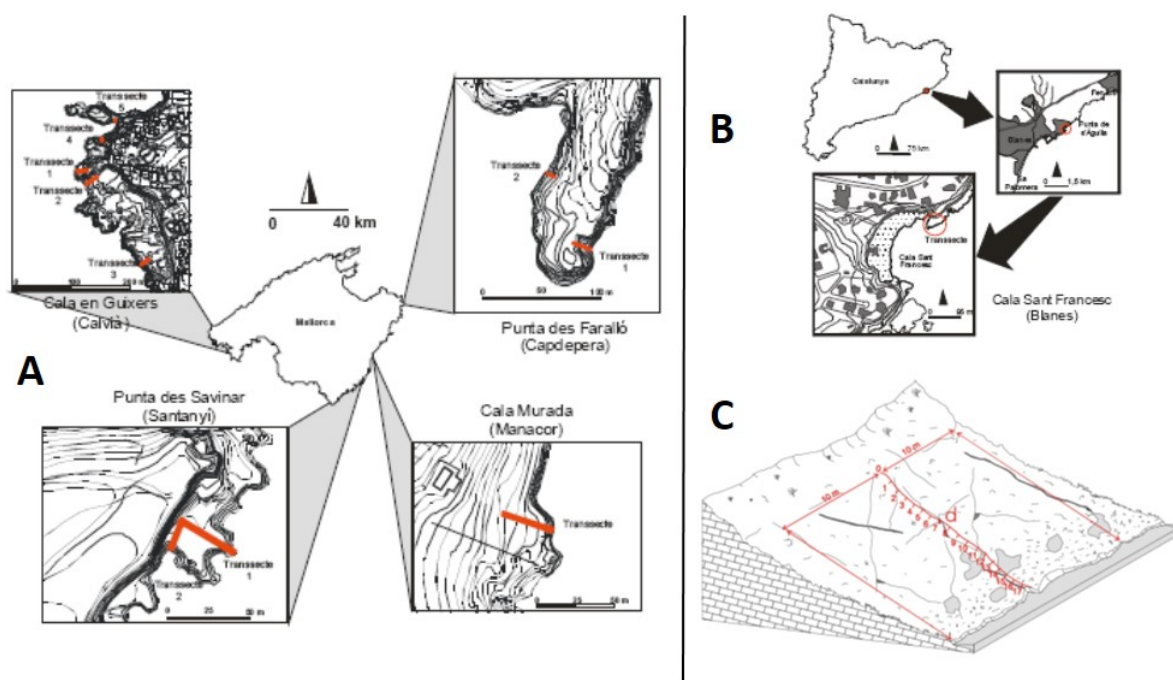


Fig. 2. Localització de les zones d'estudi i esquema d'àrea de captació de dades. A) Localització de les zones d'estudi de Mallorca. B) Localització de les zones d'estudi de NE de Catalunya. C) Esquema representatiu de la delimitació de l'àrea de mostreig per a cada transecte, al llarg del transecte s'han pres mesures fins a 10 m a banda i banda.

Cala en Guixers (CG) es troba a la costa sud-occidental de l'illa de Mallorca (Fig. 2). Els materials que trobem a la zona d'estudi són dolomies obscures molt bretxades d'edat juràssica (lias inferior) per sobre de les quals i mitjançant un contacte discordant s'hi disposen uns llims endurits, que corresponen a dipòsits típics de badia probablement del miocè inferior. A certs punts, així com s'avança en direcció oest, apareixen dipòsits d'eolianites quaternàries corresponents en forma de dunes adossades al penya-segat. A la zona es reconeixen 4 grups principals de famílies de fractures (190° - 110° ; 165° - 170° ; 60° - 70° ; 10° - 25°) amb separacions no superiors als 2 m. El valor de la resistència a la compressió dels materials mesozòics mitjançant el martell d'Schmidt és de $175 (\pm 70)$ Mpa, considerat com a resistència molt dura (valors entre 100 i 250 Mpa).

Punta des Faralló (PF) es troba a la costa nord-oriental de l'illa de Mallorca (Fig. 2). Els materials que hi afloren estan constituïts per calcàries de coloracions grises i groguenques, molt fracturades l'edat de les quals és cretaci inferior. A la zona s'identifiquen 3 famílies de fractures (90° - 140° ; 60° - 90° ; 90° - 120°). El valor de la resistència a la compressió mitjançant el martell d'Schmidt és de $170 (\pm 70)$ Mpa considerat com a resistència molt dura (valors entre 100 i 250 Mpa).

Cala Sant Francesc (CF) es troba a les costes nord de Catalunya, a Blanes, a l'extrem meridional de la Costa Brava (Fig. 2). L'àrea està constituïda per leucogranits travessats per alguns dics d'aplita d'edat paleozoica. Aquests estan afectats per una important esquistositat que condiona l'erosió i la morfologia de la costa. S'identifiquen 2 famílies de fractures (110° - 160° ; 10° - 90°). El valor de la resistència a la compressió mitjançant el martell d'Schmidt és de $102 (\pm 40)$ Mpa considerat com a resistència dura a molt dura (valors entre 50 i 100 Mpa).

Mètode

El procediment consisteix a identificar i localitzar al llarg d'un perfil perpendicular a la línia de costa la presència de cicatrius deixades per l'alliberament de fragments de roca i mesurar-ne les dimensions d'amplada, llargària i gruix a 10 metres, a banda i banda, del perfil de referència (Fig. 2).

Les dades s'han recollit en dues campanyes de mostreig separades 20 anys. Aquestes campanyes corresponem al 1999-2000 i al 2021. A la primera campanya (1999-2000) es va recollir informació a totes les zones d'estudi; en canvi a la campanya 2021 només s'han fet mesures a dues zones d'estudi: cala en Guixers i punta des Savinar.

De cada una de les cicatrius s'han mesurat la llargària, l'amplària i el gruix de la cicatriu. Paràmetres a partir dels quals s'ha calculat el volum del cos de roca arrabassat, tot multiplicant cadascun dels eixos com si es tractés d'un tetraedre. Malgrat que en tots els casos no es tracta pròpiament de cossos tetraèdrics, ni de traces ortogonals, es va adoptar aquesta mesura com a una aproximació no tant al volum absolut arrabassat per l'acció mecànica, sinó al seu ordre de magnitud.

Respecte de l'estimació de l'edat de cada arrabassament, aquesta es va determinar a partir de la coloració de les cicatrius. S'assumeix que a un tall fresc, pel cas de les calcàries objecte d'estudi mostren un color blanquinós de la roca i adquireixen coloracions més negres per la colonització del biofilm, així com més temps roman la superfície de la roca nua roman sota l'acció dels agents biòtics i abiòtics que operen en aquest ambient costaner. Com més antiga sigui la cicatriu, major o més fosca serà la coloració de la roca; fins al punt que aquesta no es pot distingir de la resta de la superfície del rocam.

Així, a la primera campanya de mostreig (1999-2000) es va diferenciar entre arrabassament recents, subrecents i antics segons el grau d'alteració i coloració aparent de la superfície estudiada (Fig.3). Les mesures es varen prendre a un total d'onze transsectes (PS 2 transsectes; CM 1 transsecte; CG 6 transsectes; PF 2 transsectes i CF 1 transsecte).

A la campanya de 2021, l'anàlisi de les dimensions de les cicatrius i de la seva coloració només s'abordà a dues zones d'estudi (PS 1 transsecte; CG 1 transsecte). Val a dir que en ambdós casos es va constatar que els casos considerats com a recents a les campanyes 1999-2000 passaven a ser classificats com a subrecents. Aquest fet va venir acompanyat per l'existència d'uns punts de control, dels quals es té un coneixement exacte del moment en què es va generar la fractura fresca de la roca. Es tracta de les perforacions associades als claus de fixació dels microerosiómetres analògics i de l'escàner làser instal·lats el 1999 i emprats per determinar les taxes d'erosió de la costa rocosa (vid. GÓMEZ-PUJOL, 2006; GÓMEZ-PUJOL *et al.*, 2007). Així doncs a partir de la coloració d'aquestes cicatrius generades artificialment el 1999, s'ha marcat el llindar entre les "fractures fresques o recents" i les "subrecents", en una franja temporal que abasta fins a 20 anys. Així doncs, perquè la coloració podria no ser un valor absolut al cent per cent, es considera un interval de 15 a 20 anys, a partir del qual per a les cicatrius i el seu volum associat classificats com a "recents", es donarà una estimació màxima d'erosió (15 anys) i una de mínima (20 anys).

Per tal d'oferir una taxa de rebaixament mitjana associada a l'arrabassament de blocs de roca o, el que és el mateix, a l'acció mecànica de l'onatge, s'ha aplicat el següent model:

$$E_{am} = \frac{VP (m^3)}{SA (m^2)}$$

on E_{am} és l'erosió associada a l'acció mecànica (m), VP és el sumatori del volum perdut (m^3) inferit de totes les cicatrius identificades al llarg del perfil de costa, dins una franja de 10 m d'amplària a costat i costat del perfil i SA és el valor de superfície mostrejada en m^2 .

Aquest valor de rebaixament si s'opera amb els intervals temporals mínim (20 anys) i màxim (15 anys) relatius a la categoria d'arrabassaments recents, descrits anteriorment, acaben donant una taxa d'erosió i la seva forquilla:

$$TE_{am} = \frac{E_{am} (mm)}{t (any)}$$

on TE_{am} és la taxa anual d'erosió associada a l'acció mecànica (mm/any). Els valors de TE_{am} podem ser màxims en el cas d'emprar el criteri temporal de 15 anys, o bé mínim si s'empra el criteri dels 20 anys.

Taula 1. Taxes estimades d'erosió/desmantellament de les plataformes litorals rocoses supralitorals de Mallorca i NE de Catalunya per processos d'erosió mecànica (volum perdut per blocs arrabassats). Taxes de retrocés anual i erosió associada a un escenari de 1000 anys. El valor màxim correspon a un criteri temporal de 15 anys i el mínim de 20 anys.

Àrea d'estudi i núm. transecte	Taxes d'erosió estimades			
	Campanya mostreig 2021		Campanya mostreig 1999	
	TE_{am} (mm/any)	E_{1000} (mm)	TE_{am} (mm/aany)	E_{1000} (mm)
CG T1 Cala en Guixers	–	–	0,0009 0,0012	0,9 – 1,2
CG T2 Cala en Guixers	0,0008 – 0,001	0,8 – 1	0,0010 – 0,0017	1,3 – 1,7
CG T3 Cala en Guixers	–	–	0,0009 0,0012	0,9 – 1,2
CG T4 Cala en Guixers	–	–	0,0011 0,0015	1,1 – 1,4
CG T5 Cala en Guixers	–	–	0,0042 – 0,0056	4,2 – 5,6
CG T6 Cala en Guixers	–	–	0,0025 – 0,0032	2,5 – 3,2
PS T1 Punta des Savinar	0,0005 – 0,0006	0,5 – 0,6	0,0009 – 0,0012	0,9 – 1,2
PS T2 Punta des Savinar	–	–	0,0006 – 0,0008	0,6 – 0,8
CM Cala Murada	–	–	0,0029 – 0,0040	2,9 – 4,0
PF T1 Punta des Faralló	–	–	0,0210 – 0,0280	21 – 28
PF T2 Punta des Faralló	–	–	0,0150 – 0,0200	15 – 20
CF Cala St. Francesc	–	–	0,0520 – 0,0680	52 – 68

A partir d'aquest punt s'ha procedit a la comparació de les taxes obtingudes als mostrejors de 2021 als dos transectes estudiats de CG i PS amb les taxes obtingudes relatives als casos d'arrabassaments recents a les campanyes de 1999-2000. En el cas d'aquelles zones d'estudi i aquells transectes a on no hi ha hagut un segon mostratge, la taxa de retrocés anual també s'ha calculat, tot i que només tenint en compte els casos recents. Addicionalment, per tal d'il·lustrar la importància i l'ordre de magnitud del procés, l'erosió (E_{am}) s'han extrapolat a un període temporal de 1.000 anys, demostrant la magnitud de l'impacte d'aquest tipus de procés erosiu sobre el relleu costaner, assumint que les condicions dominants es mantindrien durant un mil·lenni.

Resultats i discussió

En quant a anàlisi de les formes dels blocs arrabassats, es parteix dels resultats de la primera campanya realitzada el 1999-2000 (BALAGUER, 2006) dels que es conclou que la major part dels casos de blocs arrabassats tenen una mida corresponent a graves mot gruixades (32-64 mm) i còdols petits (64-128 mm) i predominen cicatrius d'arrabassament corresponents a blocs amb formes aplanades/allargades (> 40%).

Als transectes estudiats el 2021, només per als casos classificats com a arrabassaments recents, les taxes d'erosió associades implicarien un rebaixament de roca que oscil·laria entre 0,001 mm/any i 0,0008 mm/any per a GCT2 i entre 0,0006 mm/any i 0,0005 mm/any per a PST1 (Taula 1). L'extrapolació d'aquestes erosions a 1000 anys dona xifres per a CGT2 compreses entre 0,8 i 1 mm i per a PST1 entre

05 i 0,6 mm. Així doncs, malgrat que es pot apreciar visualment a partir de les cicatrius dels fragments rocosos alliberats/arrabassats que es tracta d'un procés actiu, la transcendència del mateix, en termes de denudació/erosió de la plataforma litoral és molt minsa.

Els valors extrapolats en base al criteri d'edat deduït a partir de les cicatrius generades artificialment el 1999, als transectes de totes les zones d'estudi per a les campanyes dutes a terme els anys 1999-2000, aboquen taxes d'erosió superiors als obtinguts als de la campanya 2021. Per bé que el rang de valors indicaria que es manté l'ordre de magnitud. Tanmateix, val la pena d'accentuar que pel cas de PS1, en el cas dels topalls superiors de l'interval, els valors absoluts quasi bé es doblen (Taula 1).

A nivell de localitats es pot apreciar la uniformitat dels valors d'erosió entre els diferents perfils de cala en Guixers, especialment entre els perfils de l'1 al 4, tots ells tallats en dolomies bretxades del juràssic inferior. Mentre, als perfils 5 i 6 l'increment dels valors absoluts de l'erosió es pot atribuir a un major pendent del perfil 5, malgrat estar tallat en les dolomies. En el cas del perfil 6 a la naturalesa del seu rocam, format per eolianites quaternàries i dipòsits col·luvials pliocens justificaria el comportament anòmal.

Punta des Savinar (PS) destaca per la uniformitat de les taxes d'erosió. A cala Murada (CM), amb unes característiques litològiques similars a la de punta des Savinar i amb una altura mitjana de la plataforma rocosa més elevada, el factor condicionant que afavoreix unes taxes d'erosió majors està relacionat amb la fracturació (BALAGUER, 2006).

Pel que fa a les taxes de punta des Faralló (PF) i cala Sant Francesc (CF), els elevats valors de les taxes d'erosió es poden deure a factors com la combinació de les famílies de fractures i la fatiga—alteració dels materials. En el cas de punta des Faralló l'elevat nombre i la persistència de les diàclasis destaca, mentre que a cala Sant Francesc l'alteració del leucogranit (grau de resistència de la roca) sobresurt a la influència de la fracturació.

L'extrapolació a l'erosió associada a un període d'acció de mil anys, indica que els valors obtinguts serveixen per ratificar una de les conclusions ja presentades per BALAGUER (2006) i contextualitzades posteriorment per BALAGUER *et al.* (2007), en termes de freqüència i magnitud, respecte del conjunt de processos que afecten a les costes rocoses de Mallorca. Així, els valors obtinguts atribuïbles a l'arrabassament de blocs en els casos de major impacte, amb prou feines contribuirien a una rebaixament equivalent a una desena de centímetres, mentre que el més habitual és que s'assoleixin valors al voltant del mil·límetre. Tanmateix, aquests seria un ordre de magnitud que quedaria part davall l'acció d'altres processos com la bioerosió, l'alteració per sals o els moviments de masses i que per tant implicaria, que l'arrabassament de blocs de roca per l'onatge en termes a llarg termini, no representen el principal procés de desmantellament de les costes rocoses a les localitats estudiades.

En quant al grau escalar de l'erosió que representa aquest procés, assenyalat a la introducció com a procés "meso-escalar", cal destacar que Buchanan *et al.* (2020) consideren que la magnitud escalar (micro-meso) depèn del valor de les taxes d'erosió. D'aquesta manera, valors d'erosió amb mesures inferiors a 1 mm serien considerats com a de tipus micro-escalar i els meso-escalars serien els que impliquen mesures entre 1 cm i 1 m. Considerant que els resultats presentats en aquest treball es basen en la mesura de casos a partir del cm, es pot considerar que l'alliberament de fragments rocós o blocs arrabassats és un procés meso-escalar.

L'alliberament de fragments de roca que dona lloc al volum perdut de les plataformes litorals rocoses (emergides) objecte d'estudi ve determinat principalment per les característiques litològiques del substrat rocós. La combinació del grau de fracturació i diaclasament, trets texturals i les característiques de la laminació dels estrats, determinaran el grau de desmantellament o rebaixament (*downwearing*) de les plataformes rocoses i de la magnitud de les taxes d'erosió. L'alteració del substrat tindrà lloc quan les forces "externes" tinguin prou energia per individualitzar fragments rocosos (BUCHANAN *et al.*, 2020; KENEDY i DIKSON, 2006; DICKSON *et al.*, 2004; NAYLOR i STEPHENSON, 2010; STEPHENSON i NAYLOR 2011; TRENHAILE, 2008).

Els treballs més notoris que estudien i analitzen aquest tipus d'erosió a les plataformes litorals se solen centrar a àrees amb un marcat control estructural (fracturació, diaclasament i estratificació) de tipus ortogonal en les tres dimensions i amb importants discontinuïtats litològiques o amb alternança

de nivells “resistents” i nivells més “blans”, el quals faciliten la sobre-excavació o l’erosió diferencial. Al cap i a la fi, roques amb graus de resistència a la compressió relativament baixos que finalment es localitzen a plataformes rocoses intermareals que bona part del temps romanen submergides amb influència de l’onatge gairebé constant (TRENHAILE, 2008; NAYLOR i STEPHENSON, 2010; STEPHENSON i NAYLOR, 2011; BUCHANAN *et al.*, 2020). En aquests mateixos treballs les àrees d’estudi estan exposades a ambients oceànics amb importants *fetchs* que permeten l’arribada de fortes tempestes marines. De més a més, la fatiga del material es contínua i la força “extra” que aporta l’onatge permet la individualització de fragments o blocs rocosos de forma força freqüent a gairebé tota la plataforma. En canvi, a les zones d’estudi mostrejades en aquest treball les plataformes tenen un caràcter supralitoral. Així doncs, el fet que les àrees d’estudi es trobin a un àmbit micro-mareal implica que la influència directe de l’onatge sobre les plataformes rocoses no és tant freqüent i contínua sobre la superfície rocosa, sinó més bé aleatòria ja que depèn de les tempestes marines i de la seva entitat que es pot traduir en diferents altures d’onada significant (H_s). AMORES *et al.* (2020) enumeren fins a 18 tempestes marines amb H_s superior als 6 m d’alçada que han afectat les costes del N i E de Mallorca des de 1967. Davant la baixa periodicitat de la influència de l’onatge sobre les plataformes rocoses estudiades, els agents subaeris (pluja, vent, temperatura) són els que tenen un paper més important i acaben condicionant la fatiga del rocam perquè aquest finalment pugui ésser remogut/retreballat pels trens d’ones dels esdeveniments extrems que poden arribar a agrandar la superfície de les plataformes litorals a les que ens referim. Els esdeveniments extrems del mar balear, no s’allunyen dels observats a les zones costaneres dels grans oceans (CANYELLES, 2010), però això sí, amb una freqüència temporal considerablement inferior (AMORES, *et al.*, 2020). D’entre el llistat d’esdeveniments extrems recollit per AMORES *et al.* (2020) que han afectat a la costa sud-oriental de Mallorca i que poden ser els causant de l’arrabassament dels blocs classificats com a recents, destacarien la tempesta de novembre de 2001 i la DANA Glòria de gener del 2020.

D’altra banda, els factor desencadenants dels processos d’erosió mecànica a les plataformes litorals rocoses més comuns a les zones d’estudi d’aquest treball, són l’acció de l’onatge, tant per acció pneumàtica que actua sobre esquerdes i fractures, com per l’acció abrasiva del material particulat que transportat per les onades metralla el substrat rocós i afavoreix l’alliberament de fragments (GAYLORD, 1999; TRENHAILE, 1987, 2008; TRENHAILE i LAIZELL, 1981; SUNAMURA, 1992; WOODROFE, 2003). En el cas de la plataforma de punta des Savinar s’observen graves i còdols petits arrabassat de la superfície i dipositats dins dels cocons localitzats a 10-15 m de la línia de costa (Fig. 3), així com nombrosos casos d’arrabassaments recents amb dimensions inferiors al centímetre. Tot plegat fa pensar que aquests casos, especialment els més petits, podrien haver estat generats per processos d’abrasió. TRENHAILE (2008) il·lustra a partir d’experiències de laboratori i modelització com n’és d’important l’abrasió en l’evolució de les plataformes litorals i l’acció pneumàtica de l’onatge i els corrents associats a la rotura de l’onatge quan circulen de forma preferencial dins esquerdes i canals. A les costes rocoses de les Balears també es troben algunes evidències puntuals que coincideixen amb el model proposat per dit autor. La part inferior, immediatament submergida de la plataforma litoral de la zona de s’Alavern (Llucmajor) és batuda per l’acció pneumàtica (i pot-ser també abrasiva de la mar) que juntament amb la disposició dels plans d’estratificació i els sistemes de fractures, afavoreix l’arrabassament de fragments rocosos (GÓMEZ-PUJOL *et al.*, 2007) amb mides equivalents a la textura de còdols grans (128-256 mm) i blocs petits (256-512 mm).

Les taxes d’erosió estimades per processos d’erosió mecànica o arrabassament de blocs són taxes de magnituds semblants a les taxes d’erosió calculades per a processos de bioerosió i considerablement inferiors a les quantificades a partir de la utilització micro-erosiómetres (MEMs) i tests d’exposició de pastilles de roca (*Weight Loss Rock Tablets Tests*) per GÓMEZ-PUJOL (2006) i GÓMEZ-PUJOL *et al.*, (2007). Respecte als treballs internacionals que han abordat aquesta mateixa temàtica, BUCHANAN *et al.* (2020) extreuen taxes que oscil·len entre els 0,05 i els 9,2 mm/any (el que significa un retrocés comprès entre els 5 cm a 9,2 m al cap de 1.000 anys). STEPHENSON i NAYLOR (2011) treballen a plataformes litorals amb processos d’arrabassament en què els blocs descrits tenen mides mitjanes corresponents a blocs mitjans (512-1024 mm) i el llistat de casos oscil·la entre mides de còdol gran

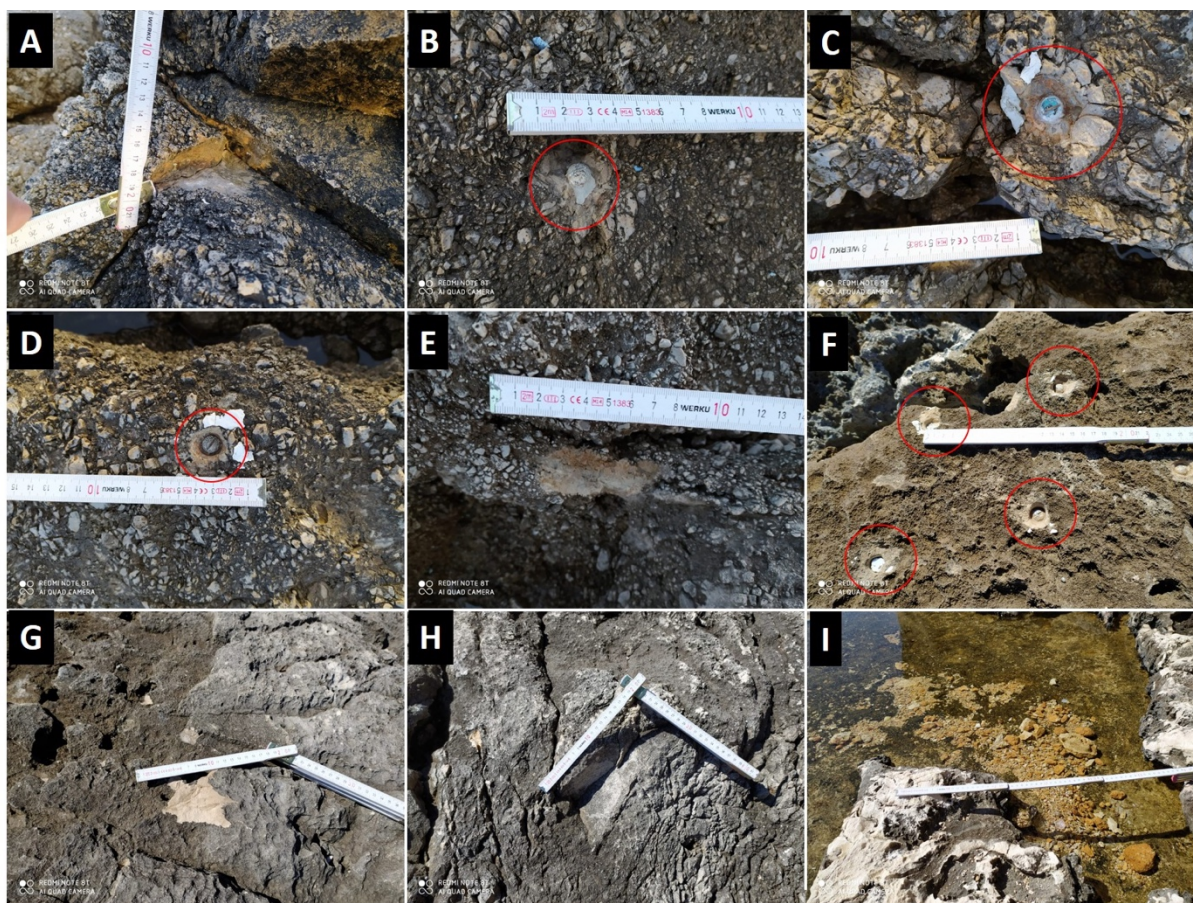


Fig. 3. Exemples de cicatrius d'arrabassaments de fragments rocosos de les plataformes litorals recollits durant la campanya de mostreig 2021 a Cala en Guixers i Punta des Savinar. A) arrabassament "subrecent" (>20 anys). B, C, D) Arrabassaments "subrecents" corresponents a les cicatrius originades a partir de la instal·lació dels cargols de llautó fa 20 anys (campanyes projecte ESPED 1999-2000) a la zona de Cala en Guixers (CG). E) Arrabassament "recent" de la zona de Cala en Guixers. F) Arrabassaments "subrecents" corresponents a les cicatrius originades a partir de la instal·lació dels cargols de llautó fa 20 anys a la zona de Punta des Savinar (PS). G) Arrabassament "recent" de la zona de Punta des Savinar (PS). H) Arrabassament "antic" de la zona de Punta des Savinar (PS), edat d'arrabassament no determinada. I) Presència de material solt dins cocons al llarg del transsecte 1 de Punta des Savinar (PS).

(128-256 mm) a bloc gran (> 1024 mm). Aquestes mides són molt superiors a les dels casos analitzats, però també cal remarcar el marcat control litològic de les àrees d'estudi. NAYLOR i STEPHENSON (2010) treballen a les mateixes zones d'estudi que les anteriors i indiquen que els valors del grau de la resistència a la compressió del substrat mitjançant la utilització del martell d'Schmidt oscil·len entre els 25 i els 80 Mpa, el que significa un rang entre roques blanques i dures, de manera que són materials considerablement menys resistents que els estudiats en aquest treball.

La comparació amb treballs de temàtiques similars però en ambients diferents dona una idea de la variabilitat respecte als ordres de magnitud que un mateix procés d'erosió mecànic pot arribar a assolir en condicions ambientals diferents. Els estudis desenvolupats a les nostres zones d'estudi suggereixen que la manifestació o impacte d'aquest tipus d'erosió, la seva magnitud és més aviat baixa, ja que no resulta en canvis importants en la fisonomia de les costes rocoses, a diferència del que passa amb altres localitats.

Tal vegada, a mode d'organitzar els estudis citats anteriorment com a referents internacionals (NAYLOR i STEPHENSON, 2010; TRENHAILE, 2008; STEPHENSON *et al.*, 2018; BUCHANAN *et al.*, 2020) estudien l'erosió/denudació de les plataformes litorals actives i en continua evolució i creixement, amb un règim mareal o una configuració topogràfica que les permet tenir la influència de l'acció marina de

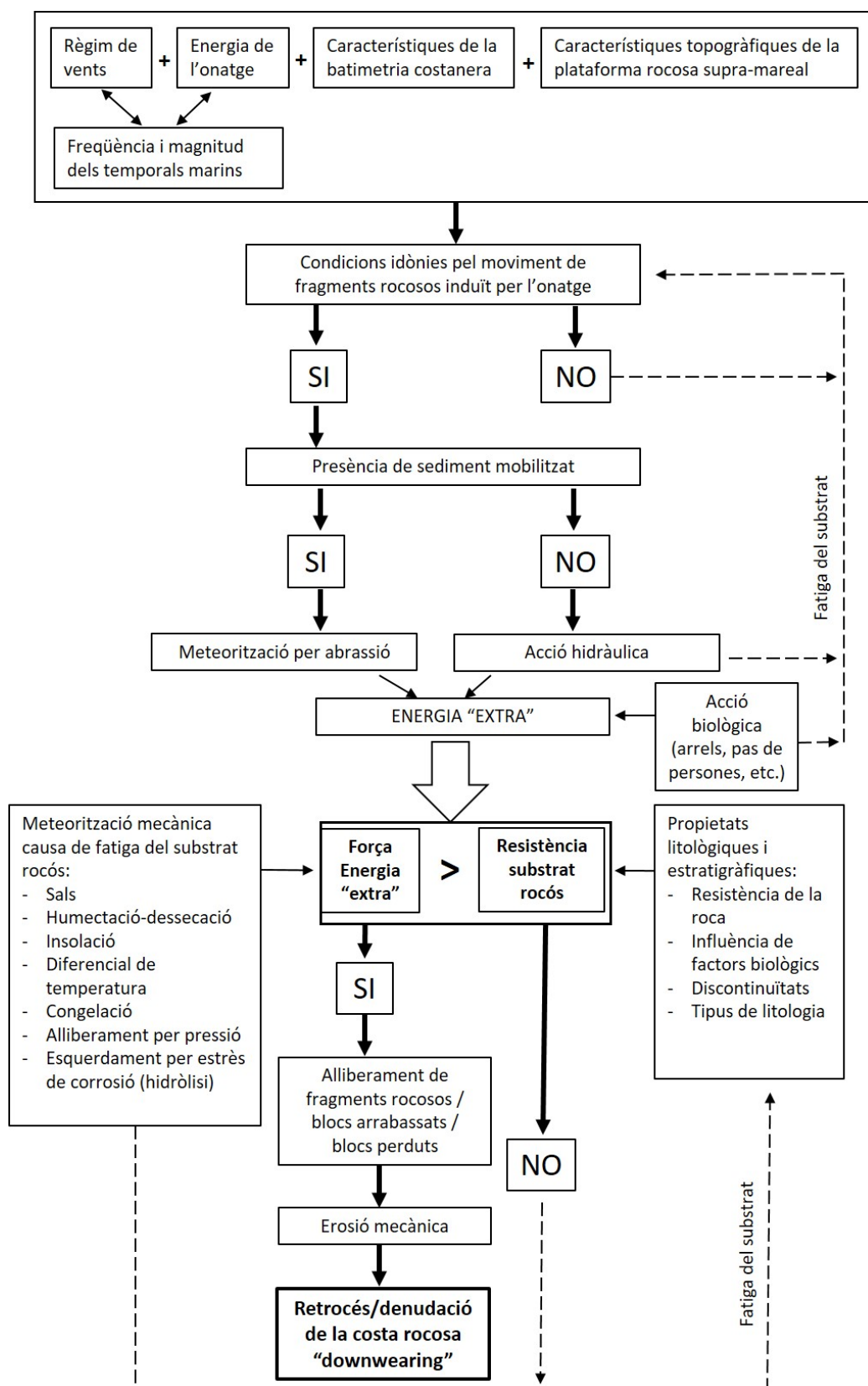


Fig. 4. Model conceptual dels factors que intervenen en els processos d'erosió mecànica a les plataformes rocoses de Mallorca i NE de Catalunya. Model elaborat a partir de l'observació directe de les plataformes i a partir de l'esquema proposat per NAYLOR i STEPHENSON (2010).

manera continua. L'acció marina es considera com a detonador de l'alliberament de material rocós. En el cas de les nostres plataformes rocoses litorals, hom considera que l'estudi de l'evolució de l'erosió s'hauria de considerar dins d'un context geològic o geomorfològic "madur", inclús relicte respecte de les estudiades en els "referents internacionals" (ibid.). Les plataformes rocoses d'aquest estudi segurament tingueren la major part de la seva evolució en unes condicions climàtiques i context geològic i geomorfològic molt diferent, segurament amb nivells de la mar superiors. De manera es possible que a les nostres plataformes rocoses l'ordre de magnitud de les taxes d'erosió més elevades per processos d'erosió mecànica /alliberament de blocs com les citades a BUCHANAN *et al.* (2020) pogueren tenir lloc als estadis inicials de la seva formació (pliocè, pleistocè, inicis d'holocè) i les taxes d'erosió estimades en el present treball siguin pròpies d'un estadi més avançat, d'evolució més lenta amb unes condicions de règim mareal (micro-mareal), meteorològiques i de clima marítim completament diferents degut a esdeveniments climàtics.

Cap a un model conceptual de l'erosió mecànica a les plataformes litorals

D'acord amb l'observat a les zones d'estudi i amb el proposat per NAYLOR i STEPHENSON (2010) i SUNAMURA (1992), l'esquema conceptual presentat a la Fig. 4 intenta sintetitzar el procés d'erosió mecànica pel qual té lloc l'alliberament de fragments rocosos a l'àmbit de la Mediterrània occidental. Així, en el procés d'alliberament de fragments rocosos o arrabassament de blocs hi intervenen 3 factors o conjunt de factors claus, aquests són:

- 1) Característiques de l'energia dels factors externs que permeten la mobilització dels fragments rocosos o que genera l'arrabassament. Aquesta energia "extra" està associada a les condicions meteorològiques i de clima marítim.
- 2) Característiques litològiques i estratigràfiques del substrat rocós.
- 3) Característiques dels processos d'alteració.

Quan aquests tres factors fan possible la individualització dels blocs de les plataformes litorals rocoses supramareals estudiades es dona lloc a la pèrdua de volum rocós i les taxes d'erosió per rebaixament (*downwearing*) calculades, d'acord amb els criteris adoptats, oscil·len entre els 0,0005 mm/any (punta des Savinar, perfil 1, campanya 2021) i els 0,07 mm/any (cala Sant Francesc, campanya 1999-2000).

Quan l'alliberament de fragments rocosos de les plataformes litorals no es produeix, els processos d'alteració, tant físics com químics (BLAND i ROLLS, 1998), continuen actuant sobre el substrat i juntament amb les fractures i discontinuïtats litològiques contribueixen a la fatiga del material fins que els agents externs tenen capacitat per a l'arrabassament (Fig. 4). En línia amb allò proposat per TRENHAILE (2008), aquest tipus d'erosió, que no sol provocar una variació topogràfica apreciable, no pot mesurar-se mitjançant tècniques a l'ús com el micro-erosiómetre, ni d'altres estratègies orientades als canvis micro-escalars.

L'estudi de la pèrdua de fragments rocosos a les plataformes litorals rocoses de Mallorca i NE de Catalunya és un repte si ho comparem amb les zones d'estudi dels treballs de referència en aquesta matèria (NAYLOR i STEPHENSON, 2010; TRENHAILE, 2008; STEPHENSON *et al.*, 2018; BUCHANAN *et al.*, 2020) ja que són zones amb un major retreballament de material de les plataformes rocoses arran de la posició de la plataforma respecte de la carrera mareal. Les zones d'estudi seleccionades en aquest treball són un tipus de costes prou representatives del litoral de Mallorca i de Catalunya i el que s'ha intentat és oferir una primera temptativa de quantificació temporal de la contribució de l'erosió per l'acció mecànica de l'onatge, en forma d'arrabassament de blocs, al conjunt de la denudació de les costes rocoses. Una erosió ben visible arreu però amb un baix impacte en la denudació de la costa rocosa d'acord amb les estimacions preliminars (Taula 1). La magnitud de les taxes d'erosió estimades són similars a cada zona d'estudi, excepte en el cas de Cala en Guixers a on hi ha una variació litològica

entre perfils. Els valors de denudació de les plataformes presenten una relació directa amb la duresa del substrat rocós, el grau de fracturació i diaclasament, tot tenint en compte que la capacitat d'arrabassament de l'onatge, normalment, es dona de forma discontinua en el temps i condicionada per les característiques energètiques dels esdeveniments de tempesta.

Bibliografia

- AMORES, A., MARCOS, M., CARRIÓ, D. S. i GÓMEZ-PUJOL, L. (2020): Coastal impacts of Storm Gloria (January 2020) over the north-western Mediterranean. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 20:, 1955-1968.
- BALAGUER, P. (2006): *Tipus i evolució de les costes rocoses de Mallorca*. Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Tesi Doctoral, inèdita. 373 pp.
- BALAGUER, P., FORNÓS, J., GÓMEZ-PUJOL, L., PONS, G.X. i VILLANUEVA, G. (2001): Processos d'erosió mecànica a les costes rocoses de la Mediterrània Occidental. In: Pons, G, X. (Ed.) *III Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears*: 72 - 73. Societat d'Història Natural de Balears, Palma.
- BALAGUER, P., FORNÓS, J.J., RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (2007): Procesos de erosión mecánica en las costas de Mallorca y NE de Catalunya: cuantificación del volumen de roca perdido. In: GÓMEZ-PUJOL, L. i FORNÓS, J.J. (eds.), *Investigaciones recientes (2005-2007) en Geomorfología litoral. Actas de la IV Reunión Nacional de Geomorfología Litoral*: 203 - 207. Sociedad Española de Geomorfología, Universitat de les Illes Balears, Palma.
- BLAND, W. i ROLLS, D. (1998) *Weathering. An introduction to the scientific principles*. Arnold (Ed.). 271 pp. ISBN: 0 340 67745 7.
- BUCHANAN, D.H., NAYLOR, L.A., HURST, M.D. i STEPHENSON, W.J. (2020): Erosion of rocky shore platforms by block detachment form layered stratigraphy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45: 1028-1037.
- CAÑELLAS, B. (2010): *Long-term extreme wave height events in the Balearic Sea: characterization, variability and prediction*. Tesis Doctoral. Universitat de les Illes Balears, Palma. 85 pp.
- DICKSON, M.E., KENEDY, D.M. i WOODROFFE, C. (2004): The influence of rock resistance on coastal morphology around Lord Howe Island, southwest Pacific. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29: 629-643.
- GAYLORD, B. (1999): Detailing agents of physical disturbance: wave-induced velocities and accelerations on a rocky shore. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 239: 85-124.
- GÓMEZ-PUJOL, L. (2006): *Patrons, taxes i formes d'erosió a les costes rocoses carbonatades de Mallorca*. Tesi de doctorat. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, Palma.
- 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: 181-199. Societat d'Història Natural de Balears, Palma.
- KENEDY, D.M. i DICKSON, M.E. (2006): Lithological control on the elevation of shore platform in a microtidal setting. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31(12): 1575-1584.
- NAYLOR, L.A. i STEPHENSON, W.J. (2010): On the role of discontinuities in mediating shore platform erosion. *Geomorphology*, 114: 89-100.
- NAYLOR, L.A., STEPHENSON, W.J., SMITH, H.C.M., WAY, O., MENDELSHOHN, J. i COWLEY, A. (2016): Geomorphological control on boulder transport and coastal erosion before, during and after an extreme extra-tropical cyclone. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41: 685-700.
- PHILIPS, J.D. 2006. Evolutionary geomorphology: thresholds and nonlinearity in landform response to environmental change. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10: 731-742.
- ROBINSON, D.A i LAGEAT, Y. (2006): *European Shore Platform Dynamics*. Zeitschrift für Geomorphologie, Supp. Bd., 144: aa-bb.
- STEPHENSON, W.J. i NAYLOR, L.A. (2011): Geological controls on boulder production in a rock coast setting: Insights from South Wales (UK). *Marine Geology*, 283: 12-24.
- STEPHENSON, W.J., NAYLOR, L. A., SMITH, H., CHEN, B. i BRAYNE, R.P. (2018): Wave transformation across a macrotidal shore platform under low to moderate energy conditions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43: 298-311.
- SUNAMURA, T. (1992): *Geomorphology of rocky coasts*. Ed. Wiley. New York, 302 pp.

- SWANTESSON, J.O.H., MOSES, C.A., BERG, G.E. i JANSSON, K.M. (2006b): Methods for measuring shoreplatform micro-erosion; a comparison of the micro-erosion meter and the laser scanner. *Zeitschrift fur Geomorphologie Supplementband*, 144: 1-17.
- TRENHAILE, A.S. (1987): *The Geomorphology of Rock Coasts*. Oxford University Press. Oxford 384 pp.
- TRENHAILE, A.S. (2008): Modeling the role of weathering in a shore platform development. *Geomorphology*, 94: 24-39.
- TRENHAILE, A.S. I LAYZELL, M.G.L (1981): Shore platform morphology and the tidal duration factor. *Transactions of the Institute of Birtish Geographers N.S.*, 6: 82-102.
- WOODROFFE, C. D. (2003): *Coasts. Form, Processes and Evolution*. Cambridge: Cambridge University Press.

Data recepció: 19.09.21

Data revisió: 30.09.21

Revisió acceptada: 18.10.21