

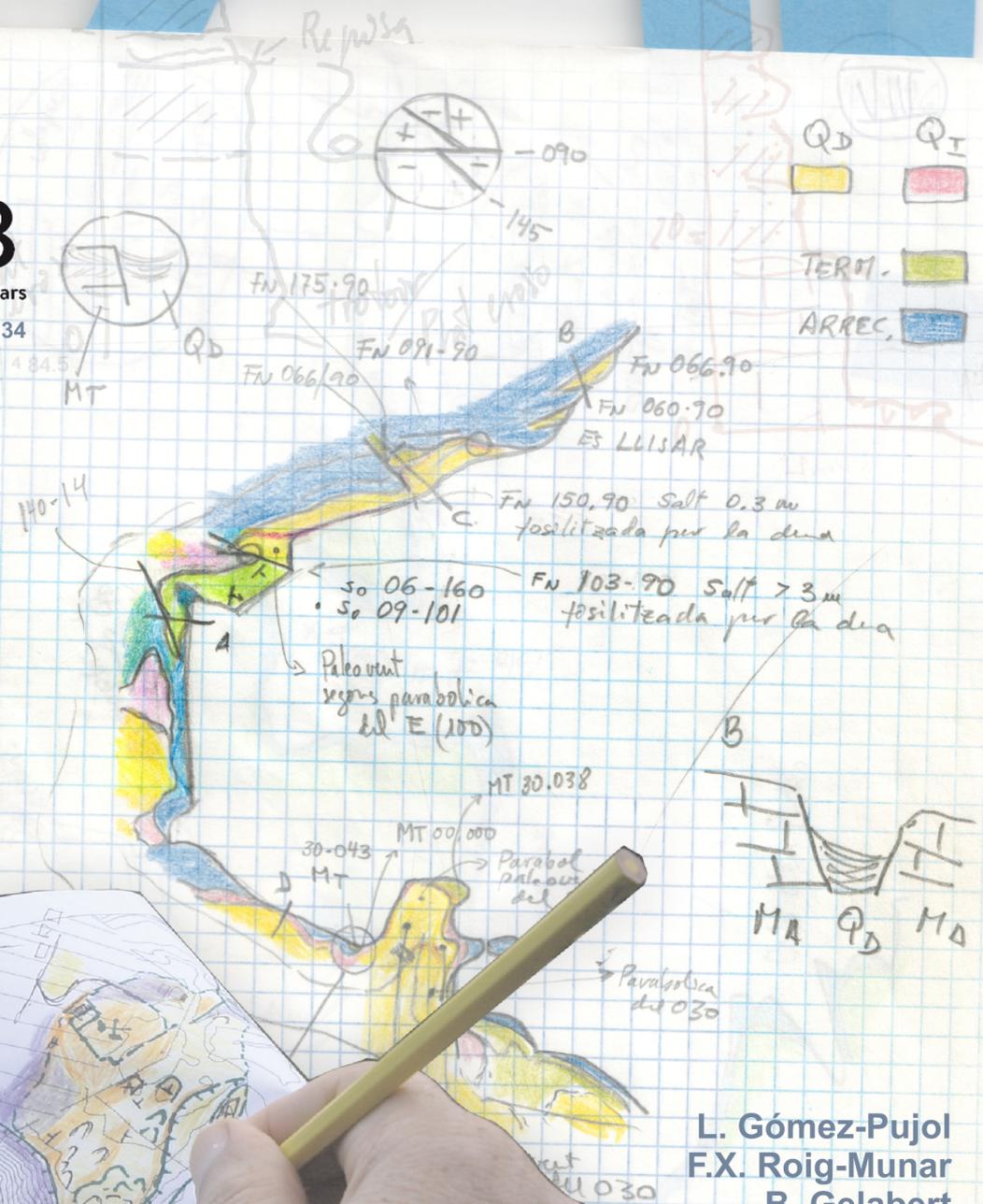
# De la terra a la mar i de la mar a la terra

Homenatge a Antonio Rodríguez-Perea



## SHNB

Societat d'Història Natural de les Balears  
MON. SOC. HIST. NAT. BALEARS, 34



L. Gómez-Pujol  
F.X. Roig-Munar  
B. Gelabert  
J.A. Martín  
(Eds.)





# DE LA TERRA A LA MAR I DE LA MAR A LA TERRA

Homenatge a Antonio Rodríguez-Perea



Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, 34

2021

**Edició a cura de:**

Lluís Gómez-Pujol  
Francesc X. Roig-Munar  
Bernadí Gelabert  
José Ángel Martín

**Comitè científic:**

Dr. Cosme Aguiló, Institut d'Estudis Catalans.  
Sr. Antoni A. Artigues, Universitat de les Illes Balears.  
Dr. Pau Balaguer, Sistema d'Observació i Predicció Costaner de les Illes Balears.  
Dr. Macià Blàzquez, Universitat de les Illes Balears.  
Dra. Laura del Valle, Universitat de les Illes Balears.  
Dr. Joan J. Fornós Astó, Universitat de les Illes Balears.  
Dr. Celso Garcia, Universitat de les Illes Balears.  
Dr. Bernadí Gelabert, Universitat de les Illes Balears.  
Dr. Jordi Giménez, Direcció General de Recursos Hídrics, Govern Balear.  
Dr. Lluís Gómez-Pujol, Universitat de les Illes Balears.  
Sr. José Ángel Martín, Societat d'Història Natural de les Balears.  
Sr. Rafel Matamales-Andreu, Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont.  
Dr. Francesc X. Niell Castanera, Universitat de Màlaga.  
Dr. Augusto Pérez-Alberti, Universitat de Santiago de Compostela.  
Dr. Francesc Pomar, Universitat de les Illes Balears.  
Dr. Guillem X. Pons, Universitat de les Illes Balears.  
Dr. Josep Quintana, Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont.  
Dra. Francesca Segura, Universitat de València.  
Dr. Francesc X. Roig Munar, Consultor Ambiental, Menorca.  
Dr. Vicenç M. Rosselló i Verger, Universitat de València.  
Dr. Onofre Rullan, Universitat de les Illes Balears.

**Primera edició:** novembre 2021

© del text: els autors

© de l'edició: Societat d'Història Natural de les Balears  
c/ Margalida Xirgú, 16 baixos  
07011 Palma (Illes Balears)

**ISBN:** 978-84-09-34554-0

**DL:** PM 00742-2021

**Impressió:** Fullcolor Printcolor S.L.

Ctra. de Mollet a Sabadell Km 4,3 Pol Ind. Can Vinyals, Nau 18  
08130 - Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

# DE LA TERRA A LA MAR I DE LA MAR A LA TERRA

Homenatge a Antonio Rodríguez-Perea



Societat d'Història Natural de les Balears

2021

**Cita recomanada per al volum:**

Gómez-Pujol, L., Roig-Munar, F.X., Gelabert, B. i Martín, J.A. (eds) (2021): *De la terra a la mar i de la mar a la terra. Homenatge a Antonio Rodríguez-Perea*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 34. Societat d'Història Natural de les Balears, Palma. 400 pp. ISBN 978-84-09-34554-0.

**Cita recomanada per a les contribucions:**

Brotons, M.M. (2021): Antoni Rodríguez Pera, geòleg "pel·liculero", geòleg de pel·lícula. In: Gómez-Pujol, L., Roig-Munar, F.X., Gelabert, B. i Martín, J.A. (eds.), *De la terra a la mar i de la mar a la terra. Homenatge a Antonio Rodríguez-Perea*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 34: 389-394. Societat d'Història Natural de les Balears, Palma.

# ÍNDEX

ÍNDEX .....	7
DAVANTAL .....	11

## BLOC 1: ESTRATIGRAFIA I TECTÒNICA

PALEOECOSISTEMES DEL PERMIÀ I EL TRIÀSIC CONTINENTAL DE MALLORCA (ILLES BALEARS, MEDITERRÀNIA OCCIDENTAL): SÍNTESI I PERSPECTIVES FUTURES R. Matamales-Andreu, O. Oms i J. Fortuny .....	17
THE EARLY-MIDDLE TRIASSIC OF ARRAN (SCOTLAND): A DRYLAND TERMINAL FLUVIAL-PLAYA LAKE SYSTEM L.B. Clemmensen, C.F. Hansen .....	41
EL MIOCÈ SINOROGÈNIC DE MALLORCA, FORMACIONS CALCARENÍTICA DE SANT ELM I TURBIDÍTICA DE BANYALBUFAR (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), ANÀLEG DE <i>PLAY PRE-SAL</i> A LA MEDITERRÀNIA NORD-OCCIDENTAL G. Mas Gornals .....	55
DIPÒSITS QUATERNARIS COSTANERS D'ALCANADA (BADIA D'ALCÚDIA, NORD DE MALLORCA): PROCESSOS GEOMORFOLÒGICS, SEDIMENTOLÒGICS I EVOLUCIÓ AMBIENTAL L. del Valle, F. Pomar, G.X. Pons .....	69
EOLIANITES A LA PART SEPTENTRIONAL DE LA SERRA DE TRAMUNTANA: LA PENÍNSULA DE FORMENTOR (POLLENÇA, MALLORCA) D. Vicens, G.X. Pons, Vicens, G., L. del Valle .....	81
DIDÀCTICA DE FORMACIÓ DELS ARC D'ILLES MITJANÇANT "CHOCHO MONEDEROS" I PLASTILINA B. Gelabert, F. Sàbat, F.X. Roig-Munar, J.A. Martín-Prieto .....	91
EL MEDITERRANI: ORIGEN GEOLÒGIC F. Sàbat, B. Gelabert .....	99

## BLOC 2: GEOMORFOLOGIA LITORAL

LES INVESTIGACIONS SOBRE EL CARST I LES COVES DE MALLORCA: EVOLUCIÓ DELS CONEIXEMENTS I PERSPECTIVES ACTUALS J. Ginés, A. Ginés, J.J. Fornós .....	111
---	-----



ESTIMACIÓ DE TAXES D'EROSIÓ PER PROCESSOS MECÀNICS (BLOCS ARRABASSATS) A LES PLATAFORMES LITORALS ROCOSOS DE MALLORCA I GIRONA. RESULTATS PRELIMINARS P. Balaguer .....	133
SOBRE EL ORIGEN DE LAS RÍAS GALLEGAS: VIEJAS TEORÍAS Y NUEVAS REFLEXIONES A. Pérez-Alberti .....	149
DELS "CAMELLONES DE TORMENTA" I "HURACANOLITOS" A CUBA, ALS BLOCS DE TEMPESTA I TSUNAMI DE LES ILLES BALEARS F.X. Roig-Munar, J.A. Martín-Prieto, B. Gelabert, C. Garriga .....	165
ESTUDIS GEOMORFOLÒGICS I GESTIÓ LITORAL AL SISTEMA PLATJA-DUNA DE TIRANT, NORD DE MENORCA (1998 – 2021) F.X. Roig-Munar, J.A. Martín-Prieto, B. Gelabert .....	181
DESEMBOCADURES FLUVIALS: ENTRE EL MAR I LA TERRA. EL CAS DEL RIU MILLARS F. Segura-Beltran, P. Martínez Pardo .....	199
ELS GEORISCOS A CATALUNYA: UNA REVISIÓ DE L'IMPACTE I DE LA GESTIÓ J.M. Vilaplana .....	221
APLICACIÓN DE LA INTERFEROMETRÍA DE IMÁGENES RADAR PARA LA MONITORIZACIÓN DE PROCESOS RECIENTES DE SUBSIDENCIA EN MALLORCA J. Lorenzo-Lacruz, C. Garcia, E. Morán-Tejada, A. Capó, C. Mestre-Runge .....	243

### BLOC 3: MEDI, TERRITORI I SOCIETAT

LA PLANIFICACIÓ HIDROLÒGICA A LES ILLES BALEARS J. Giménez, A. Barón .....	261
REFLEXIONS SOBRE COOPERACIÓ NATURAL A SISTEMES OBERTS A. Martínez Taberner .....	285
EL FETITXE ECOTURÍSTIC. CAPITAL, TURISME, NATURESA A.A. Artigues, M. Blázquez-Salom .....	297
DUES OROGÈNIES Onofre Rullan .....	308
LES ILLES TURISTIFICATEDES. CLASSIFICACIÓ PER TIPOLOGIES D'ALLOTJAMENT TURÍSTIC A ESCALA MUNICIPAL DE LES ILLES BALEARS M.A. Martínez-Caldentey, I. Murray .....	325
LA DENOMINACIÓ DE LES CALES DE MALLORCA V.M. Rosselló i Verger .....	333
NOTA SOBRE ELS TOPÒNIMS BALEÀRICS FORMATS AMB CALA + ARTICLE + NOM C. Aguiló .....	341
MAPES D'ALTRI: MARTÍ MARIA BONEO I VILLALONGA (1759-1805) UN CARTÒGRAF I EXPLORADOR MALLORQUÍ A L'OMBRA DE FÈLIX D'AZARA L. Gómez-Pujol .....	345

**BLOC 4: TESTIMONIATGES**

ARP. L'ENGINY DOCENT	
M. Blázquez-Salom .....	365
L'ART DE VIURE UNES QUANTES VIDES	
M. Canals .....	377
ANTONIO RODRÍGUEZ-PEREA, GEÒLEG "PEL·LICULERO", GEÒLEG DE PEL·LÍCULA	
M. Brotons Capó .....	387
SOBRE FÒSSILS I TSUNAMIS	
J. Juárez-Ruiz .....	393
EL CAPI	
R.M. Mateos .....	397





# Davantal

Aquest volum recull una vintena llarga de treballs manufacturats en homenatge a l'amic, company, col·lega i/o mestre Antonio Rodríguez-Perea, quan acaba el seu període de professor emèrit i tanca –només formalment– un cicle de quasi quaranta anys de vinculació a la Universitat de les Illes Balears.

Per a aquells que duem l'acadèmia ben endins, el terme jubilació és ingrat. Des del moment que amb la tesi, de vegades amb la tesina, iniciarem les nostres nuviàncies amb la universitat; la recerca, la docència i la comunicació no són només una feina, sinó que també es converteixen en un estil de vida. “Realment es pot jubilar una persona com l'Antonio?” es demana un dels autors d'un dels treballs que integren la miscel·lània. Gairebé tots els que hi hem participat sabem que la resposta és negativa. Una persona com Antonio no deixarà de fer-se preguntes, d'associar la seva curiositat amb observacions, lectures, experiències... També, perquè això és consubstancial a la persona al voltant de la qual ens arremolinem avui en aquest volum-homenatge, Antonio no podrà deixar de compartir-ho, d'explicar-ho, ni d'il·lustrar-ho perquè és un docent innat. Per ventura sí que canvia el marc, l'aspecte formal i el lloc des del qual es dona cos a l'esperit acadèmic, però no la pràctica d'un estil vital.

Tanmateix la universitat balearica ha crescut força des d'aquells anys vuitanta en què Antonio feu les primeres armes d'estratigrafia mallorquina i acompanyà el professor Lluís Pomar en la gestació del nucli de geòlegs de la Universitat de les Illes Balears. Les universitats de certes dimensions tendeixen a considerar els seus membres com a simples treballadors quan, al cap i a la fi, són molt més que obrers del coneixement i els problemes del dia a dia, emmascaren la perspectiva a llarga-escala de la contribució dels seus membres a la institució i al coneixement. Aquesta visió a curt termini duu associat el risc d'invisibilitzar el pas i l'obra d'aquelles persones que donen cos i sentit a la missió de la Universitat. Acabar quasi quaranta anys de vida acadèmica com qui fon el ble d'una espelma, és una cosa contra la qual ens hauríem de conjurar tots els que integrem l'*alma mater*. Si això és cert per a qualsevol membre de la comunitat universitària, encara ho és molt més per a algú com Antonio Rodríguez-Perea, perquè la seva pràctica acadèmica, el seu estil de recerca o el seu estil docent han deixat petjada. És per aquest motiu que, a iniciativa de Francesc X. Roig-Munar, un grup en el qual hi ha deixebles, col·laboradors en temes de recerca, companys de departament i/o antics alumnes, ens acomboïarem perquè el fi d'etapa a la Universitat d'Antonio fos una festa, un reconeixement i una mostra de gratitud per tot allò que d'ell hem après, per tot allò que hem compartit i per la manera com ha enriquit la nostra forma d'entendre la docència, la recerca o la vida.

El títol de la monografia “De la terra a la mar i de la mar a la terra” és una aclucada d'ull a la trajectòria vital d'Antonio. Nat a Tarragona, d'una família treballadora que tenia una tenda de gra i llegum sec, la seva curiositat natural l'acabarà arrossegant a iniciar els estudis de Biologia a la Universitat de Barcelona. Una època convulsa, les ànsies d'una experiència pràctica i unes ganes

de veure món l'arrossegaran als estudis de nàutica i marina mercant. Un cop embarcat, combinarà la vida de marí amb els estudis, ara sí, de Geologia. Són anys on, de més a més de solcar els oceans, participarà activament en l'organització sindical dels marins. Navega per finançar-se els estudis de Geologia, així que serà la tesina la que el durà cap a Mallorca. L'estudi sedimentològic del miocè basal transgressiu de la Serra Nord de Mallorca (1982) serà el seu primer cavall de batalla. Llavors l'ampliarà amb la tesi de doctorat (1984) i entrarà com a professor a la Universitat de les Illes Balears. Són uns primers anys centrats en els treballs d'estratigrafia i sedimentologia on juntament amb Lluís Pomar i Joan J. Fornós integraran el bessó de geòlegs de la Universitat de les Illes Balears. El final dels vuitanta-principis dels noranta són un període estimulants per als geòlegs baleàrics ja que incorporen al seu equipament un submarí d'aigües costaneres, únic a tot l'Estat, i arrenquen dos projectes ben singulars: la caracterització dels sediments de la plataforma balear i la seva comparació amb les seqüències de les plataformes del miocè superior; així com la comparació dels paleonivells marins inferits a les terrasses litorals amb els recreixements d'espeleotemes que també en podrien ser un indicador a la cova de sa Bassa Blanca a Alcúdia.

El 1986 es produirà un fet important que tindrà la seva repercussió en la línia de recerca i els camps de treball d'Antonio. L'antic departament de Geologia de la Universitat de les Illes Balears, vinculat –principalment– als estudis de Biologia, de la mà de la llei de reforma universitària i de la visió i/o acció política del Rector Nadal Batle, es refundrà juntament amb l'antic departament de Geografia, en el de Ciències de la Terra i tindrà en els estudis de Geografia un nou nínxol. En aquest nou escenari, Antonio no es torbarà a establir ponts amb els geògrafs, tant els físics com els humans, i aviat arrencarà recerca en temes de geomorfologia fluvial i esdeveniments extrems, planificació territorial (bastint amb altres companys els fonaments del que llavors seria el Laboratori de Sistemes d'Informació Geogràfica de la UIB) o arrencant el que seria una fecundíssima línia de recerca orientada a la geomorfologia litoral. Durant aquest període tampoc no faltaran aproximacions a la hidrologia i la gestió dels recursos hídrics. Els geògrafs físics baleàrics, i també els humans, són deutors de la visió i la pràctica de la geomorfologia d'Antonio. Sense la seva generositat i una habilitat pedagògica innata, no s'entendria l'allau de vocacions "geomorfològiques" i la reorientació de professors i doctorands o l'adopció del treball de camp com una component indispensable en la geografia humana i regional.

Certament "*De la terra a la mar i de la mar a la terra*", de la seva Tarragona natal a la marina mercant amb base a Barcelona i després la vida acadèmica a Mallorca. Però també podríem estirar el fil i embastar un "*de la mar a la terra i de la terra a la mar*" perquè de marí mercant passà a estratígraf i geòleg terrestre i finalment ha acabat orientant-se als temes de geomorfologia litoral. Val a dir que sempre amb una visió utilitarista de la ciència i el coneixement, orientada al bé comú i a l'eficiència de la gestió. És per això que la seva potent veu ha estat disponible per a qualsevol que tingués interès o s'ha fet sentir quan ha estat necessari. Particularment intensa ha estat la seva petjada en la crítica a obres que restaren lligades a la mala gestió i la corrupció, com en el cas del túnel de Sóller, o a la sobreexplotació i salinització dels aqüífers i molt especialment a la gestió litoral i conservació dels sistemes dunars.

Val la pena de recalcar en aquest darrer punt. Per ventura Antonio, a la seva manera rebec a qualsevol mercantilització de la ciència, no apareixerà com un autor amb índexs d'impacte o d'influència científica elevats. No hi ha cregut, ni mai ho ha cercat! Però sí que deixa un pòsit i una estela ben evidents sobre la temàtica a l'àmbit balear. La base teòrica i els coneixements que avui són un lloc comú per als gestors litorals a Balears la devem a Antonio, que feu de mestre i fou l'*alma mater* d'un grup de geògrafs (Jaume Servera, José Ángel Martín Prieto, Amadeu Corbí...) que posà les primeres bases perquè la visió integral i el terme "sistema platja-duna", les restauracions dunars, i tot allò que implica, quallés i esdevingués senyera del moviment conservacionista. L'impacte del seu "*Informe Metadona: Alternatives a la dependència de les*

*platges de les Balears de la regeneració artificial continuada*" (2000), que encara avui retruny, aconseguí paraitzar una visió artificialitzadora d'aquests sistemes naturals de tanta transcendència a casa nostra, o bé marcà a foc les pràctiques de gestió de platges. Després del "Metadona" les regeneracions quasi bé han desaparegut del panorama de la gestió costanera de Balears i la cura per la duna d'avantplatja és una realitat arreu, per bé que de vegades francament millorable. No és d'estranyar, doncs, que Antonio projectés la seva activitat al camp de la política i la legislatura 1999–2003 fos convidat a fer part del primer pacte de progrés com a Director General de Recursos Hídrics i amb posterioritat també el 2010-2011. Durant aquesta etapa, de la mà del Pla Hidrològic i de l'aplicació de la Directiva Marc de l'Aigua deixaria una petjada notòria, així com el valuós llegat del Monument Natural de les Fonts Ufanas de Gabellí.

De retorn a l'acadèmia, després del pas per la política, i agombolat per Bernadí Gelabert, Francesc X. Roig-Munar, José Ángel Martín, Guillem X. Pons i Miquel Mir consolidaren una recerca primer orientada a la gestió i conservació dels sistemes platja-duna o a la caracterització dels mantells dunars holocènics, per acabar, els darrers anys, entrant en el món dels tsunamis i el seu registre a les costes rocoses.

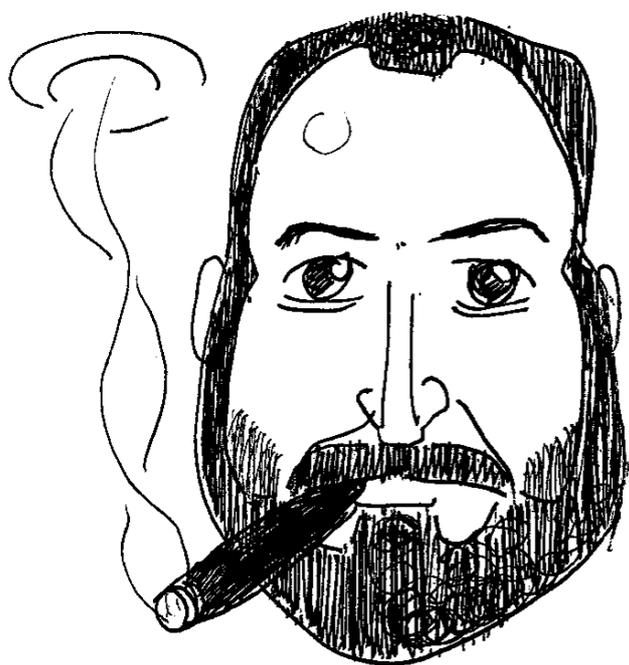
Hi ha un darrer aspecte que no es pot deixar d'esmentar i que també apareix en molts dels comentaris que els autors dels articles de la miscel·lània li dediquen. Antonio és un curiós de mena, no només en la cosa científica... La tecnològica l'apassiona i no hi ha *gadget* que no hagi explorat. Li hauríeu de veure la cara dissenyant i implementant els mecanismes per reproduir el moviment de les plaques i les formacions d'estructures o en els artefactes per a la realització d'experiments de transport de blocs per onades de tsunamis a les síquies del Prat de Sant Jordi. Els darrers anys embarcat en l'aventura de la producció d'energia solar n'ha fet testimoniatge i a les sobretaulas ha il·lustrat els contertulians amb tota mena de detalls sobre els aparells, els procediments i el cicle de producció d'energia solar.

La *joie de vivre*, el gust per la bona taula i durant molts d'anys pels seus característics cigars havans, són de sobres coneguts. Serien tantes les anècdotes de les jornades de treball de camp o dels congressos on aprofitant l'avinentesa es recorren itineraris insòlits per trobar aquella fonda que li han recomanat o de la qual ha llegit un comentari, o bé anar a la recerca d'aquell botigó de tota la vida per comprar qualsevol exquisidesa... Els que conviuen amb Antonio no només aprenen de geologia i geomorfologia!

I vet aquí un dels termes claus en relació a Antonio: l'aprenentatge, sí, l'aprenentatge! Antonio és sobretot un gran pedagog: de geologia, de geomorfologia, de política, de la vida... Els que hem tingut la sort de ser els seus alumnes recordem aquella veu potent i segura, el somriure sorneguer que ens captivava, o aquelles lliçons que sense apunts deixaven una pissarra plena d'esquemes, blocs-diagrames i gràfics. Encara servem la sensació de buit, de neguit, quan ens anunciava que el curs havia acabat i protestàvem dient que no podia ser, que en volíem més... Quants de professors universitaris vendrien l'ànima per deixar en els seus alumnes aquest neguit? I aquells que hem estat els seus col·laboradors ens hem amarat de la seva manera de fer, acompanyant-lo en la confecció dels seus mapes, croquis de camps, columnes, en les seves reflexions en veu alta. Hem après i hem gaudit d'aprendre.

Antonio acaba l'etapa d'emèrit, i ho fa ple de projectes i aventures com a company, com a pare i com a amantíssim avi. Esperem que tots aquests projectes siguin amb salut i empenta, i que ell, la seva curiositat, el seu compromís i esperit crític ens segueixin acompanyant i siguin un exemple i referent en la nostra tasca.

Gràcies, Antonio!



Amue

Bloc 1  
Estratigrafia i tectònica



Societat d'Història Natural de les Balears





# PALEOECOSISTEMES DEL PERMIÀ I EL TRIÀSIC CONTINENTAL DE MALLORCA (ILLES BALEARS, MEDITERRÀNIA OCCIDENTAL): SÍNTESI I PERSPECTIVES FUTURES

Rafel Matamales-Andreu <sup>1,2</sup>, Oriol Oms <sup>3</sup> i Josep Fortuny <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont, Universitat Autònoma de Barcelona, Edifici ICTA-ICP, Carrer de les Columnes s/n, Campus de la UAB, 08193 Cerdanyola del Vallès (Catalunya)

<sup>2</sup> Museu Balear de Ciències Naturals, Carretera Palma-Port de Sóller Km. 30, 07100, Sóller (Illes Balears)

<sup>3</sup> Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, Avinguda de l'eix Central s/n, Campus de la UAB, 08193 Cerdanyola del Vallès (Catalunya)

**Resum:** El present article ofereix una revisió exhaustiva de tots els antecedents bibliogràfics sobre el permí i el triàsic de Mallorca en fàcies continentals, sintetitzant les dades més importants pel que fa a la geologia, paleontologia i datacions. Així, es destriuen tres unitats litostratigràfiques del permí inferior–mitjà i quatre del triàsic inferior(?)–mitjà, amb un abundant registre fòssil que representa uns rics ecosistemes a la vorera de grans rius, situats a una paleolatitud equatorial amb un clima tropical. Aquesta publicació pretén servir de base per a futurs estudis sobre aquest tema, ressaltant la potencial gran importància del registre mallorquí en l'àmbit mundial per entendre com era la Terra fa més de 240 milions d'anys.

**Paraules clau:** permí, triàsic, estratigrafia, paleontologia, Mallorca.

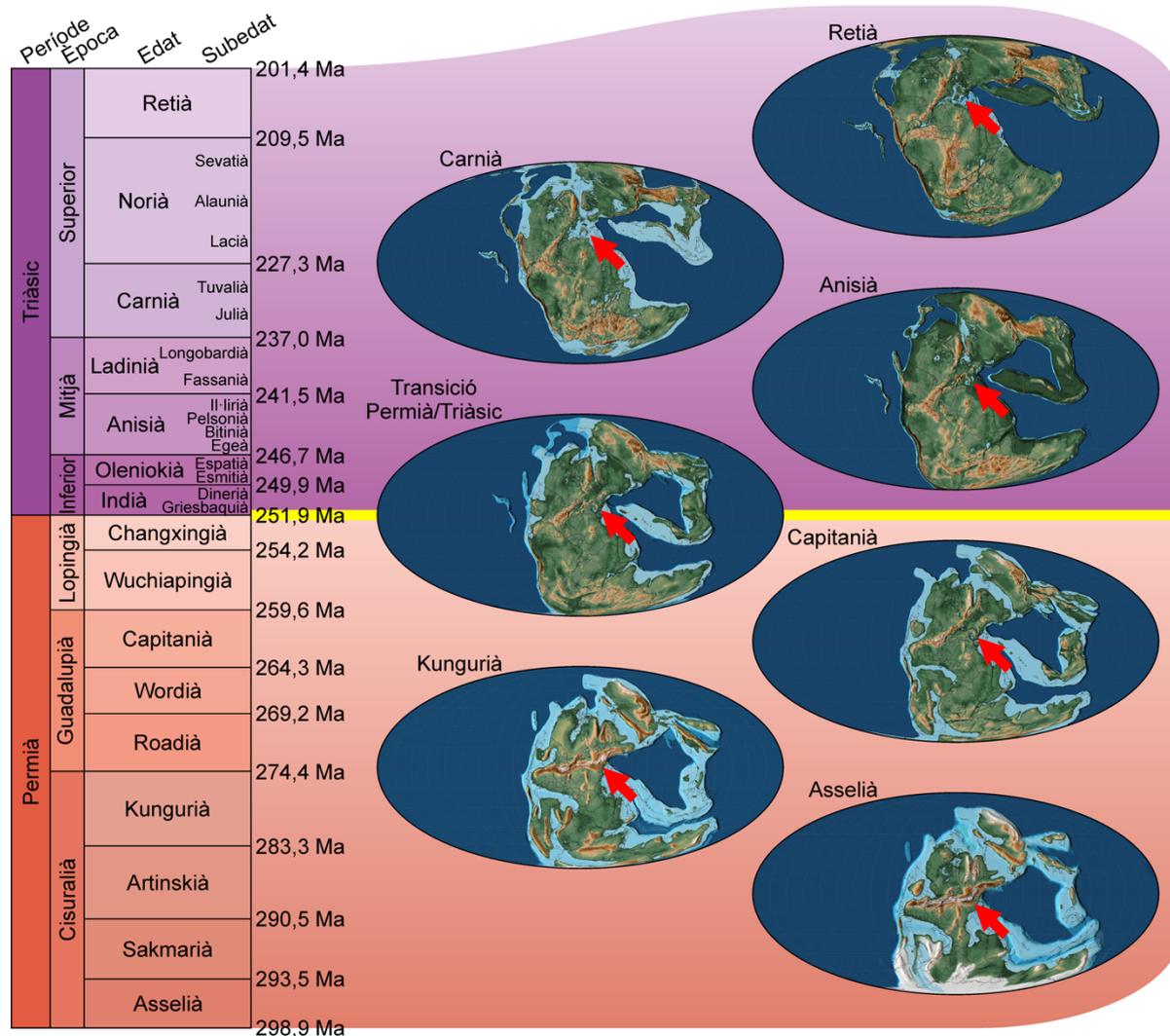
**Abstract:** The present paper offers an exhaustive review of all the previous works on the continental Permian and Triassic of Mallorca, synthesising all the relevant data regarding their geology, palaeontology and age attributions. This makes it possible to recognise three lithostratigraphic units for the lower–middle Permian and four for the Lower(?)–Middle Triassic, with an abundant fossil record representing rich ecosystems on the banks of large rivers, located in an equatorial palaeolatitude and under a tropical climate. This work aims to serve as a basis for future studies to be built on, highlighting the potentially great international importance of the Mallorcan record to understand how the Earth looked like more than 240 million years ago.

**Keywords:** Permian, Triassic, stratigraphy, palaeontology, Mallorca.

## Introducció

El permí i el triàsic (Fig. 1) són dos períodes geològics clau en la història de la vida a la Terra, separats per l'extinció massiva més grossa que hi ha haguda mai (fa  $251,902 \pm 0,024$  milions d'anys), que va fer desaparèixer més del 90% de les espècies marines i terrestres del món (ROMANO *et al.*, 2020, i referències que s'hi esmenten). En aquell temps, quasi tots els continents estaven confegits en una única massa de terra anomenada Pangea, que tenia un gran golf en el seu marge oriental ocupat per l'oceà de Tetis (Fig. 1). Durant el permí, els ecosistemes tenien una complexitat comparable a l'actual, i hi ha autors que el consideren la “primera edat dels mamífers”, per mor que els sinàpsids eren els vertebrats dominants a la majoria de regions del món (*e.g.*, BENTON, 2008). Després del gran cataclisme, els ecosistemes es torbaren molts de milions d'anys a recuperar-se, i quan ho feren, en el triàsic mitjà, les faunes de vertebrats terrestres dominants ja havien estat substituïdes per representants del grup dels “rèptils”, amb llinatges que evolucionarien cap als dinosaures (*e.g.*, BENTON, 2008; ROMANO *et al.*, 2020).

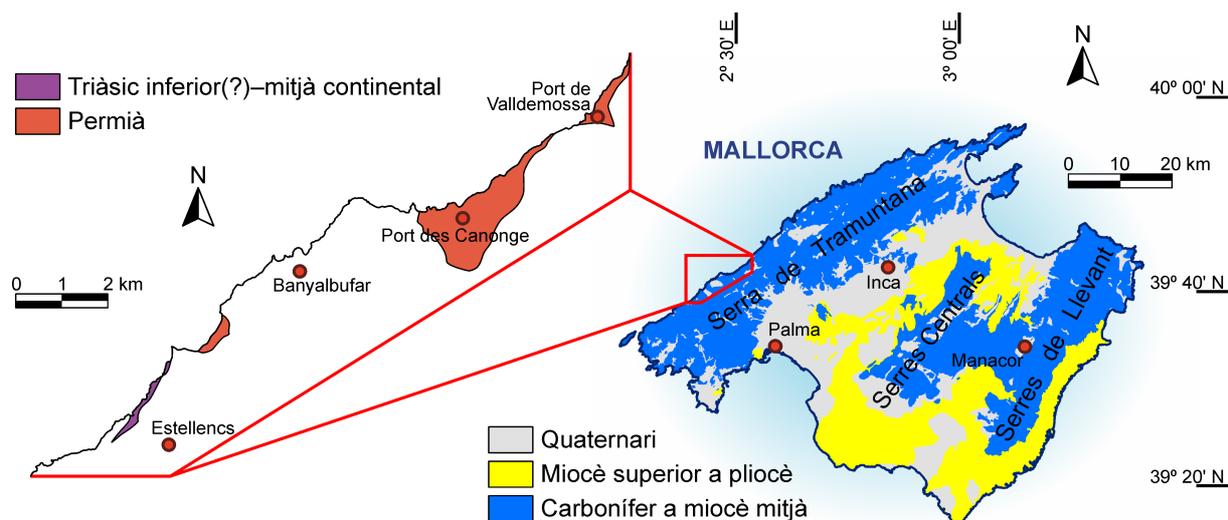
A la península Ibèrica, excloent les conques pirinenques, les seqüències continentals del permí i del triàsic corresponen als dipòsits de grans rius que fluïen cap al sud–est, dins conques de *semirift* que s'obriren en la mateixa direcció (LÓPEZ-GÓMEZ *et al.*, 2019). Aquestes conques s'enfonsaren com a resultat del relaxament de l'orogen varisc a partir del carbonífer superior, sumat a una diferència de rotació de les dues meitats de Pangea que va provocar una zona de megacisalla a la regió occidental del



**Fig. 1.** Taula cronostratigràfica del permí i del triàsic (modificada de COHEN *et al.*, 2013, amb datacions actualitzades a partir de HENDERSON *et al.*, 2020, i OGG *et al.*, 2020) amb la nomenclatura que s'emprarà en aquest article, i mapes paleogeogràfics (extrets de SCOTese, 2014a, 2014b, amb permís de l'autor) amb fletxes vermelles que indiquen la paleoposició aproximada de Mallorca. Ma = milions d'anys.

peri-Tetis (McCANN *et al.*, 2006; LÓPEZ-GÓMEZ *et al.*, 2019). A la majoria de conques ibèriques s'hi han reconegut entre dos i tres intervals principals de sedimentació continental, que coincideixen amb moments de reactivació tectònica devers el permí inferior, el permí superior i el triàsic inferior-mitjà (LÓPEZ-GÓMEZ *et al.*, 2019). Durant tot aquest temps, la zona d'Ibèria era pràcticament a l'equador de Pangea (Fig. 1) i el seu clima era tropical, més o manco àrid (*e.g.*, ROSCHER *et al.*, 2011). Correlacionant les seqüències de diferents afloraments del triàsic i observant-hi tendències comunes, BORRUEL-ABADÍA *et al.* (2015) varen concloure que el clima era un dels factors principals que determinava el paleoambient deposicional. Mentre que les unitats més inferiors eren dominades per sediments eòlics, indicadors d'un clima molt àrid, les unitats més superiors tenien associacions típicament fluvials, que juntament amb un registre fòssil més ric (i altres criteris) indicaven uns climes més humits (BORRUEL-ABADÍA *et al.*, 2015).

Per paga, les correlacions tornen més males de fer quan hom vol considerar l'extrem més distal d'aquells sistemes, és a dir, les Balears. Tan sols es poden trobar roques del permí i triàsic continental a les Gimnèsies, i a on afloren més extensament és al sector de Tramuntana de Menorca. Allà s'hi reconegueren tres unitats del permí i tres més del triàsic inferior-mitjà (GÓMEZ-GRAS, 1987, 1992, 1993; ROSELL *et al.*, 1988, 1989a, 1989b; LINOL *et al.*, 2009) amb un contingut fòssil molt escàs, que no



**Fig. 2.** Mapa geològic simplificat de Mallorca amb una ampliació de la zona del vessant nord-occidental de la serra de Tramuntana on hi aflora el permià i el triàsic inferior(?)–mitjà continental.

va permetre datar la majoria d'unitats amb seguretat. Tan sols es va datar la unitat més superior del permià ('P3'), mitjançant esporomorfs i palinomorfs, dins l'interval wordià–changxingià (permià mitjà–superior) (BERCOVICI *et al.*, 2009). D'aquesta unitat en destaquen també les restes vegetals relativament ben conservades (BERCOVICI *et al.*, 2009) i els ossos de vertebrats, alguns de mida molt grossa (PRETUS & OBRADOR, 1987; CARMONA, 2004), que recentment s'han estudiat en detall (MATAMALES-ANDREU *et al.*, 2021d).

D'altra banda, a l'illa de Mallorca, els afloraments del permià i del triàsic inferior(?)–mitjà que representen paleoambients continentals es troben restringits a una partida de localitats a vorera de mar en el vessant nord-oest de la serra de Tramuntana, en els municipis d'Estellencs, Banyalbufar i Valldemossa (Fig. 2). No obstant això, moltes d'elles són de difícil accés, per mor que tan sols s'hi pot arribar per la mar o fent servir cordes. Històricament, això ha fet que els estudis detallats fossin escassos i de vegades pobrament contextualitzats, afegint confusió tant a l'hora d'aclarir la seqüència estratigràfica general com a les datacions de les diferents unitats i fòssils. La present contribució pretén oferir una revisió crítica de tots els antecedents del permià i triàsic continental de Mallorca, endegant i sintetitzant el coneixement sobre aquestes edats que es té actualment.

### Unitats litostratigràfiques i paleoambients que representen

A final del segle XIX i durant la primera meitat del segle XX es varen publicar els primers estudis sobre la geologia del permià i triàsic continental de Mallorca. HERMITE (1879, 1888) va ser el primer autor que va reconèixer la presència de roques del triàsic prop de la cala d'Estellencs, i les va correlacionar amb la fàcies *Buntsandstein* (= 'gresos bigarrats') d'Europa central, proposant-los una edat triàsic inferior. Els autors posteriors, com NOLAN (1887, 1888), DARDER (1914) i FALLOT (1922), varen documentar unitats litològicament equivalents de gresos bigarrats i lutites a la costa sud-occidental de Banyalbufar, per devora el Port des Canonge i al Port de Valldemossa, emperò no varen proporcionar noves dades que aclarissin la seva estratigrafia o edat. No va esser fins més de tres dècades més tard, que CUEVAS-LÓPEZ (1958a, 1958b) va suggerir que per ventura sols una part dels gresos bigarrats eren del triàsic, essent la majoria d'ells del permià, correlacionant-los amb les fàcies *Rothliegende* (= 'vermell infrajacent'), *Zechstein* (= 'roca forta') i *Kupferschiefer* (= 'lutites amb coure') d'Europa central (Taula 1A–i B).

**Taula 1A.** Noms i equivalències entre les unitats del permian i triàsic continental de Mallorca.

CUEVAS-LÓPEZ (1958a, 1958b)	POMAR-GOMÀ (1979)	MARTÍ <i>et al.</i> (1985)	RAMOS <i>et al.</i> (1985), RAMOS & DOUBINGER (1989)	CALVET & MARZO <i>in</i> SANTANACH (1986)	CALAFAT (1986), CALAFAT <i>et al.</i> (1986–1987)	CALAFAT (1987)
Fàcies <i>Muschelkalk</i> del triàsic mitjà						
Nivell V, sostre (100 m)	(no es va estudiar)	(no es va estudiar)	Lutites i Gresos de Son Serralta (65 m)	(no es va estudiar)	Unitat de trànsit (25 m)	“Formació” Lutites de Son Serralta (27 m)
Nivell IV (40 m)					Unitat superior (100 m)	“Formació” Gresos i Lutites d’Estellencs (124 m)
Nivell III (50–60 m)			Unitat intermèdia (100 m)		“Formació” Gresos de la Pedra de s’Ase (150 m)	“Membre” Gresos de la Punta Roja (25 m)
Nivell V, base (30–40 m)						“Membre” Gresos de la Pedra de s’Ase (125 m)
Nivell III (50–60 m)	Darrera secció lutítica (≈80 m)	Tram gresós	Gresos de “Asá” [sic.] (140 m)	Lutites i Gresos de Son Serralta (120 m)	Unitat intermèdia (100 m)	“Formació” Gresos de la Pedra de s’Ase (150 m)
Nivell II (200 m)	Gresos de colors clar (127 m)		Gresos de la Pedra de s’Ase (100 m)			
Nivell I (800 m)	Secció lutítica inferior (213 m)	Tram inferior pelític	Gresos i Lutites del Port des Canonge (176 m)	Gresos i Lutites del Port d’es Canonge (260 m)	Unitat inferior (150–250 m)	“Formació” Gresos i Lutites del Racó de s’Algar (144 m)
		Bretxa poligènica			Unitat basal (10 m)	“Formació” Gresos i Conglomerats del Bec de s’Àguila (25 m)
Fàcies <i>Culm</i> del carbonífer						

La proposta de CUEVAS-LÓPEZ (1958a, 1958b) la varen seguir, en part, estudis posteriors com COLOM (1975), POMAR-GOMÀ (1979), OBRADOR (1983), MARTÍ *et al.* (1985), CALVET & MARZO *in* SANTANACH *et al.* (1986), RODRÍGUEZ-PEREA *et al.* (1987) i BARNOLAS (1991a, 1991b), acceptant que les unitats més inferiors podien pertànyer al permian, tot i que sense aportar noves dades pel que fa a la seva datació. No obstant això, alguns d’ells sí que varen presentar noves divisions preliminars en unitats litostratigràfiques (Taula 1A–B), però basades tan sols en la secció entre el racó de s’Algar i el port de sa pedra de s’Ase (Banyalbufar), on la seqüència que hi aflora no és completa. Paral·lelament, RAMOS *et al.* (1985) també varen intentar delimitar unitats litostratigràfiques (Taula 1A–B), però la gran conseqüència litològica entre les unitats del permian i del triàsic va resultar en la correlació de litosomes d’edats diferents, limitant la utilitat de la proposta. BANDA *et al.* (1986) varen fer un estudi paleomagnètic preliminar, analitzant mostres de la cala d’Estellencs i del Port des Canonge, i varen concloure que les direccions de la magnetització romanent característica s’assemblaven a les de la fàcies *Buntsandstein* de Menorca i les serralades costaneres Catalanes. PARÉS *et al.* (1989, 1992a, 1992b) varen discutir aquests resultats amb una mica més de detall.

CALAFAT (1986, 1987, 1988) va dur a terme el primer estudi exhaustiu de l’estratigrafia i la sedimentologia d’aquestes unitats, distingint-n’hi cinc (Taula 1A–B). Segons aquest autor, la unitat més inferior, els ‘Gresos i Conglomerats del Bec de s’Àguila’, corresponia a dipòsits de rius entrunyellats (també coneguts com a ‘trenats’ o ‘braided’) efimers que s’estenien damunt la fàcies *Culm* (=‘carbó’) del carbonífer infrajacent (Fig. 3A–B). Segons Calafat (1988), la segona unitat, els ‘Gresos i Lutites del Racó de s’Algar’, havia estat dipositada per rius amb una morfologia intermèdia entre entrunyellat i meandriforme, que solcaven grans planes d’inundació (Fig. 3C–D). Tot seguit apareixia la tercera unitat, els ‘Gresos de la Pedra de s’Ase’, que es podia atribuir a la sedimentació en rius entrunyellats (Fig. 3E–

**Taula 1B.** Noms i equivalències entre les unitats del permia i triàsic continental de Mallorca (continuació).

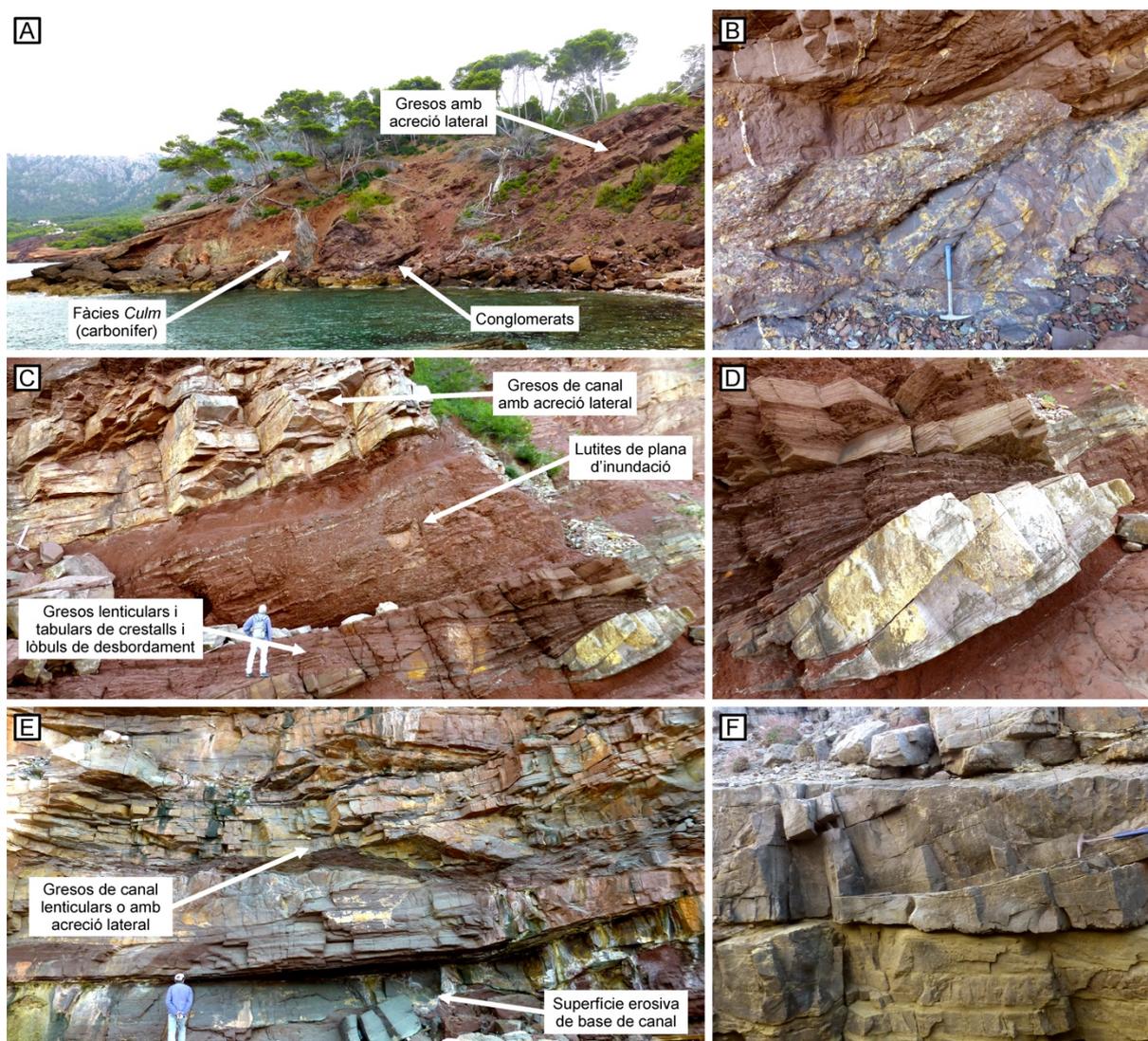
RODRÍGUEZ-PEREA <i>et al.</i> (1987)	CALAFAT (1988), ÁLVAREZ-RAMIS <i>et al.</i> (1995), GRAUVOGEL-STAMM & ÁLVAREZ-RAMIS (1996), DIEZ (2000), JUÁREZ-RUIZ & WACHTLER (2015)	BARNOLAS (1991a, 1991b)	GÓMEZ-GRAS (1992, 1993)	RAMOS (1995), ARCHE <i>et al.</i> (2002), LÓPEZ-GÓMEZ <i>et al.</i> (2002, 2019), VERA <i>et al.</i> (2004), BOURQUIN <i>et al.</i> (2007, 2011), CASSINIS <i>et al.</i> (2012), JUNCAL (2019)	Nomenclatura del present treball	
Fàcies <i>Muschelkalk</i> del triàsic mitjà						
(no es va estudiar)	Unitat Lutites de Son Serralta (27 m)	(no es va estudiar)	Tram e) (160 m)	Pelites i gresos superiors	Lutites i Gresos de Son Serralta (65 m)	Unitat G
	Unitat Gresos i Lutites d'Estellencs (124 m)			Gresos intermedis		Unitat F
Tram pelític-gresós superior (≈80 m)		Sub-unitat Gresos de la Punta Roja (25 m)	Lutites vermelles i verdes (>20 m)	Tram c) (135 m)	Gresos de "Asá" [sic.] (110 m)	Unitat C
	Sub-unitat Gresos de la Pedra de s'Ase (150 m)	Gresos blancs i vermells (120 m)				
Tram intermedi de gresos (127 m)	Unitat Gresos de la Pedra de s'Ase (150 m)	Gresos blancs i vermells (120 m)	Tram b) (110 m)	Tram a) (403 m)	Gresos i Lutites del Port des Canonge (160 m)	Unitat B
Tram gresós-pelític inferior (213 m)	Unitat Gresos i Lutites del Racó de s'Algar (144 m)	Lutites vermelles (>100 m)	Tram a) (403 m)			Unitat A
Tram basal conglomeràtic-gresós (<20 m)	Unitat Gresos i Conglomerats del Bec de s'Àguila (25 m)	(no es va estudiar)				
Fàcies <i>Culm</i> del carbonífer						

F), i la seva subunitat superior, els 'Gresos de la Punta Roja', de rius entrunyellats que remobilitzaven sediments eòlics (Fig. 4A–B). Per damunt hi havia la quarta unitat, els 'Gresos i Lutites d'Estellencs', que presentaven un terme inferior corresponent a planes d'inundació i un de superior de dipòsits de rius entrunyellats (Fig. 4C–F). Finalment, la unitat més superior, les 'Lutites de Son Serralta', va esser interpretada com una plana d'inundació vora la mar (Fig. 4G–H).

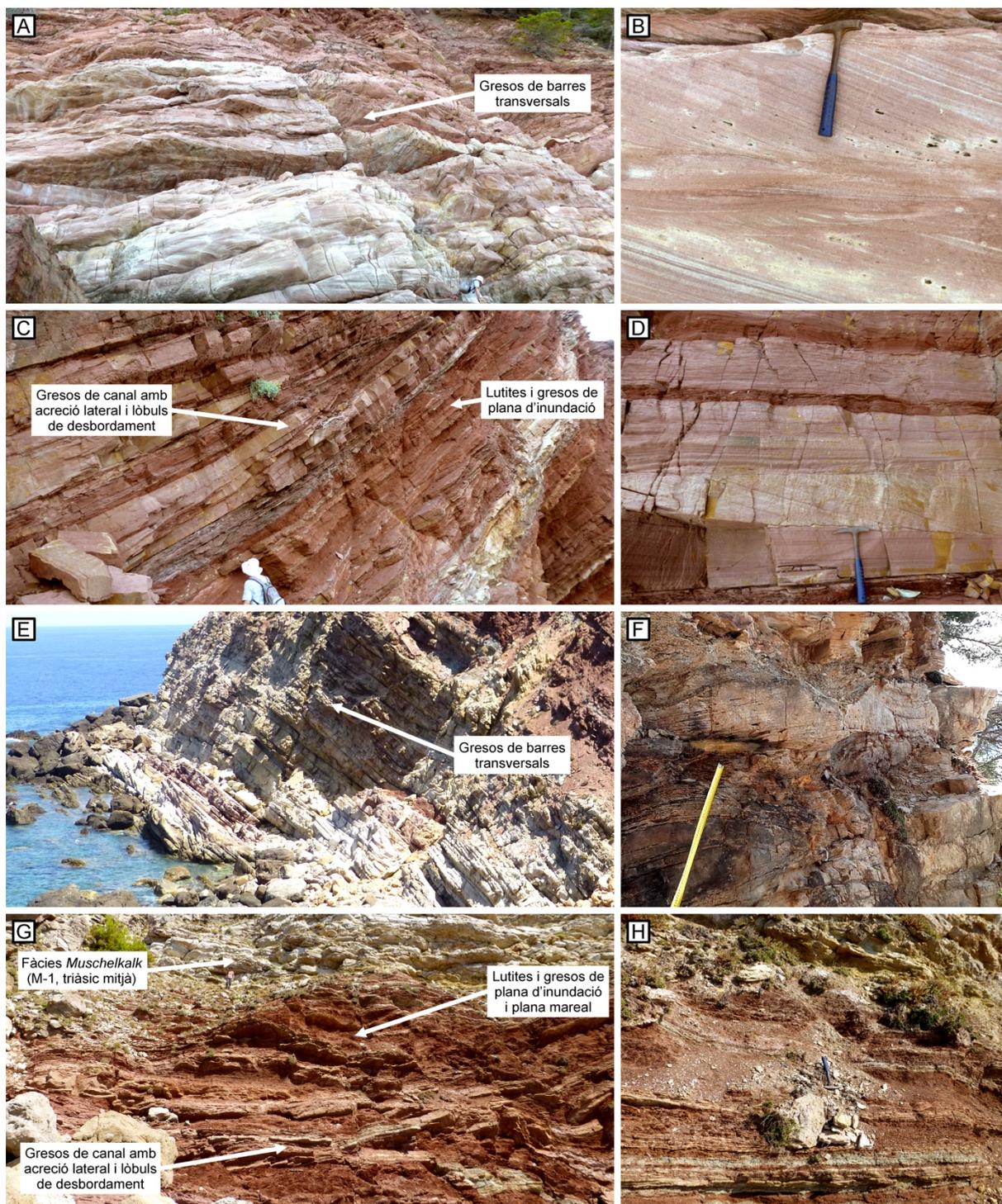
Poc temps després d'aquests estudis, GÓMEZ-GRAS (1992, 1993) va publicar una nova investigació que incloïa la reinterpretació de la geologia del permia i el triàsic continental de Mallorca, distingint-hi també cinc unitats litostratigràfiques informals (Taula 1A–B), considerant una partida d'afloraments que CALAFAT (1988) no havia estudiat per mor de la seva mala accessibilitat. Específicament, el seu 'Tram A' corresponia a les dues unitats més inferiors de CALAFAT (1988), que foren reinterpretades com a dipòsits de rius meandriformes (Fig. 3A–D). Els trams B, C i D equivalien a la tercera unitat de CALAFAT (1988): el 'Tram B' presentava una interpretació difícil, amb possibles trets mareals (Fig. 3E–F); el 'Tram C' corresponia a dipòsits de canals meandriformes o anastomosats, també amb influència mareal (Fig. 3E–F); i el 'Tram D' (subunitat 'Punta Roja' de CALAFAT, 1988) representava rius entrunyellats que funcionaven durant una fase tectònicament activa (Fig. 4A–B). El 'Tram E', el més superior, es dividia en tres subtrams: els dos més inferiors equivalien a la quarta unitat de CALAFAT (1988) i es varen interpretar com dipòsits de rius meandriformes durant períodes de major i menor subsidència, respectivament (Fig. 4C–F), mentre que el subtram més superior corresponia a la cinquena unitat de CALAFAT (1988), dipositat a una plana mareal mixta (Fig. 4G–H). Mitjançant l'estudi petrològic dels gresos de cadascun dels trams, GÓMEZ-GRAS (1992, 1993) va concloure que el 'Tram A', el 'Tram B' i el 'Tram C' s'assemblaven notablement entre ells, mentre que el 'Tram D' era el que tenia la maduresa composicional i textural més elevada, possiblement perquè remobilitzava dipòsits anteriors. Finalment,

el 'Tram E' era clarament diferent dels anteriors pel que fa a la seva composició. Això, juntament amb les datacions que s'havien fetes fins a aquell moment, li va permetre suggerir que el 'Tram A', el 'Tram B' i el 'Tram C' podrien ésser del permia i el 'Tram D' i el 'Tram E' del triàsic. Basant-se en la consemblança de les sèries mallorquines amb les d'altres localitats de la península Ibèrica, aquest autor va proposar que la conca on es varen dipositar aquests materials era la mateixa que aflora a les serralades Ibèriques.

El darrer estudi detallat que es va publicar sobre l'estratigrafia i la sedimentologia dels afloraments del permia i el triàsic continental de Mallorca va ser el de RAMOS (1995), desenvolupant la proposta preliminar de RAMOS *et al.* (1985). Per paga, no va desfer l'errada de correlació de l'estudi original, i per tant les tres unitats litostratigràfiques que va descriure (Taula 1A–B) tenen utilitat limitada. La seva unitat de 'Gresos i Lutites del Port des Canonge', interpretada com a dipòsits de rius meandriformes,



**Fig. 3.** Unitats del permia de Mallorca. **A–B:** Unitat A; **A:** vista general d'una sèrie típica, amb conglomerats i gresos amb acreció lateral (canals) damunt el carbonífer, de la platja de sa Pedrera; **B:** detall dels nivells de conglomerats, de la platja de sa Pedrera. **C–D:** Unitat B; **C:** vista general d'una seqüència d'intercalació de gresos amb acreció lateral (canals) i lutites i gresos fins (plana d'inundació), del racó de s'Algar; **D:** detall dels dipòsits de barra de meandre d'un canal petit, del racó de s'Algar. **E–F:** Unitat C; **E:** vista general dels gresos clars de gra mitjà amb poques lutites intercalades, que poden tenir acreció lateral (canals) o ser lenticulars (dipòsits de torrentades), del comellar de can Xitx; **F:** detall d'un nivell de gres corresponent a una barra de meandre, de la platja de sa Pedrera.



**Fig. 4.** Unitats del triàsic continental de Mallorca. **A–B:** Unitat D; **A:** vista general d'una seqüència de superposició de capes tabulars de gres, de punta Roja; **B:** detall dels dipòsits de barres fluvials transversals, de punta Roja. **C–D:** Unitat E; **C:** vista general dels gresos fins tabulars (lòbuls de desbordament) o amb accreió lateral (canals) i lutites (plana d'inundació), de punta Roja; **D:** detall d'uns gresos de canal amb els dipòsits de dunes submergides, de punta Roja. **E–F:** Unitat F; **E:** vista general d'una seqüència típica de superposició de capes lenticulars de gres (barres fluvials transversals) i escasses lutites, de la tenassa de sa Tanca; **F:** detall d'uns gresos corresponents a dunes submergides tapades de lutites blavoses de quan es va abandonar el canal, de la pedra Alta. **G–H:** Unitat G; **G:** vista general d'aquesta unitat de gresos i lutites i el seu contacte superior amb els carbonats de la fàcies *Muschelkalk* (triàsic mitjà), de la tenassa de sa Tanca; **H:** detall dels nivells de plana mareal lutítica i el contacte *Buntsandstein*–*Muschelkalk*, de la tenassa de sa Tanca.



correspon a parts de les unitats ‘Bec de s’Àguila’, ‘Racó de s’Algar’ i la part inferior de la unitat ‘Estellencs’ de CALAFAT (1988). La unitat de ‘Gresos de Asá’ [sic.] és una mescla de les unitats ‘Pedra de s’Ase’ (incloent-hi ‘Punta Roja’) i la part mitjana de la unitat ‘Estellencs’ de CALAFAT (1988). Aquesta unitat es va interpretar com a dipòsits de rius meandriformes amb episodis puntuals de pluges torrencials amb fluxos d’alt règim que generaven estructures tractives. Finalment, la unitat de ‘Lutites i Gresos de Son Serralta’, corresponent a la part superior de la unitat ‘Estellencs’ i tota la unitat ‘Son Serralta’ de CALAFAT (1988), va ser interpretada com una plana entrunyellada distal que evolucionava cap a una plana mareal. Dissortadament, totes les publicacions de síntesi posteriors (ARCHE *et al.*, 2002; LÓPEZ-GÓMEZ *et al.*, 2002, 2019; VERA *et al.*, 2004; BOURQUIN *et al.*, 2007, 2011; CASSINIS *et al.*, 2012; JUNCAL, 2019) s’han basat en aquesta concepció errònia per interpretar el registre d’aquests períodes geològics a Mallorca (Taula 1A–B).

En resum, la divisió més fina que es pot fer de la sèrie del permí i triàsic continental de Mallorca consisteix en set unitats litostratigràfiques diferents. Per simplificar-ho, en el present article, a partir d’aquest apartat, s’anomenaran amb les lletres consecutives A–G de més inferior a més superior (Taula 1A–B; Figs. 3–4).

## Registre fòssil

### *Plantes del permí*

En el permí de Mallorca, les macrorestes vegetals normalment compareixen en forma de bocins impossibles d’identificar. No obstant això, FREEMAN & OBRADOR (1974, 1979), CALAFAT (1988), RAMOS (1995) i DIEZ (2000) varen esmentar i il·lustrar grans troncs carbonitzats a la base de canals fluvials a la part alta de la Unitat C (Fig. 5A). A més a més, a totes les unitats també hi abunden els nòduls carbonatats i les restes de rels (rizocrecions) corresponents a paleosòls que es varen formar a les planes d’inundació en un clima àrid (CALAFAT, 1988; GÓMEZ-GRAS, 1992, 1993; RAMOS, 1995) (Fig. 5B).

La microflora és abundant en segons quins nivells de la Unitat C en forma de diferents castes d’esporomorfs i de palinomorfs, descrits per RAMOS i DOUBINGER (1989), DIEZ (2000), DIEZ *et al.* (2005) i JUNCAL (2019), que aquí es llisten a la Taula 2.

### *Traces d’invertebrats del permí*

Baldament les traces fòssils d’invertebrats són molt habituals en les seqüències del permí (i del triàsic) de Mallorca (*e.g.*, CALAFAT, 1988) (Fig. 5C), hi ha hagut molt poques investigacions que les hagin estudiades en detall. Tan sols hi ha dues publicacions, RAMOS i GARCÍA-RAMOS (1992) i RAMOS (1995), que identificaren aquests icnofòssils, emperò de manera molt general. Concretament, esmentaren la presència dels icnogèneres *Planolites* i *Palaeophycus* a les unitats B i C (també podria incloure la Unitat E, vegeu l’apartat ‘Unitats litostratigràfiques i paleoambients que representen’), i destacaren l’icnogènere *Ancorichnus* a la Unitat C. Argumentaren que aquestes traces, fetes per cucs o artròpodes, eren indicadores d’ambients esporàdicament amarats que estarien eixuts durant una bona part de l’any.

### *“Rèptils” del permí*

Els sediments fins de les planes d’inundació de la Unitat B són els més adients per conservar les potades dels animals que hi capllevaven. Les impressions en el fang quedaven tapades per l’arena dipositada pels lòbuls de desbordament dels rius, fent que les potades es conservassin com a motlles naturals a les bases de les capes de gres (Fig. 5D). A més, els dipòsits dels crestalls dels rius (també coneguts com a ‘dics naturals’ o ‘levées’) també eren un ambient propici per la conservació d’ossos de vertebrats, que normalment solen desaparèixer (BEHRENSMEYER, 1982). Així, en aquesta unitat s’estrevé la situació poc freqüent que s’hi poden trobar potades quasi associades amb els ossos de les

**Taula 2.** Esporomorfs i palinomorfs del permia de Mallorca esmentats en els diferents estudis. **A:** RAMOS & DOUBINGER (1989), **B:** mostra “MA-1” de DIEZ (2000), **C1:** mostra “Mallorca” de DIEZ *et al.* (2005), **C2:** mostra “Racó de s’Algar – Sa pedra de s’Ase” de DIEZ *et al.* (2005), **D:** mostra “MA-1” de JUNCAL (2019). Les cel·les omplides de negre indiquen la presència del tàxon a la localitat.

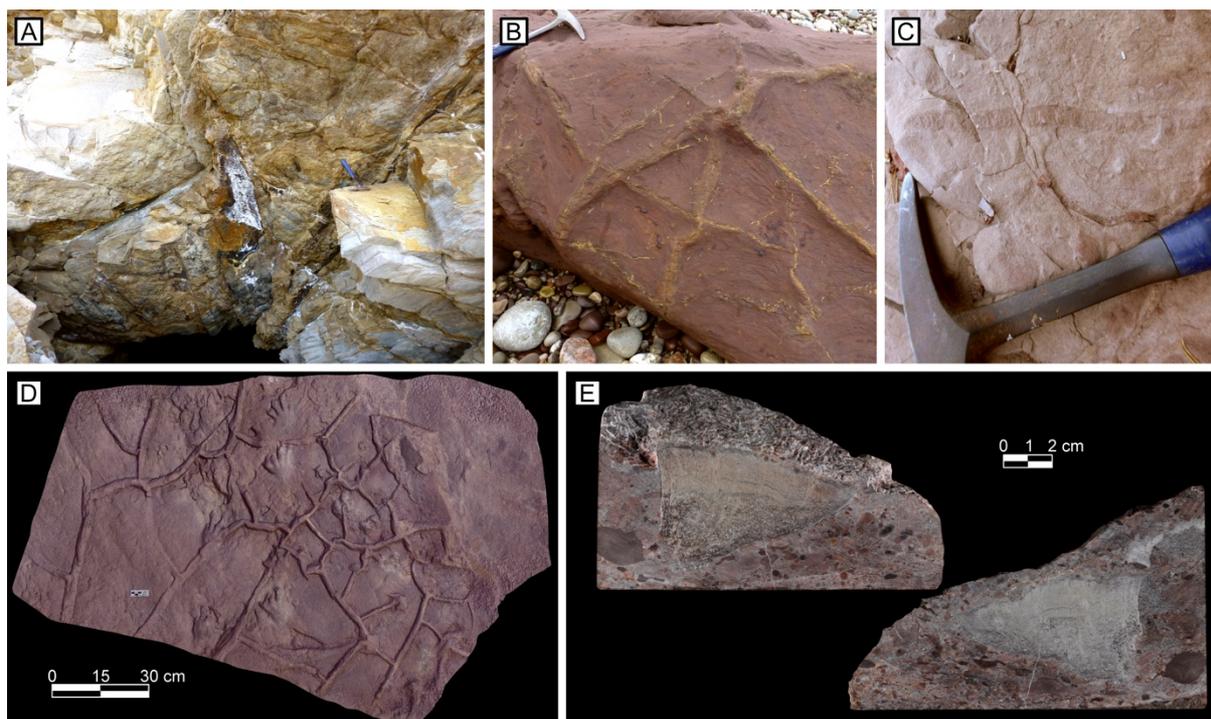
Espècie	A	B	C		D
			C1	C2	
<i>Alisporites opii</i>					
<i>Alisporites splendens</i>					
<i>Alisporites</i> sp.					
<i>Bascanisporites</i> sp.					
cf. <i>Bascanisporites</i> sp.					
<i>Calamospora</i> sp.					
<i>Chordasporites</i> sp.					
<i>Cordaitina</i> sp.					
<i>Crucisaccites variusulcatus</i>					
<i>Crustasporites</i> sp.					
<i>Densiosporites</i> sp.					
<i>Endosporites</i> cf. <i>velatus</i>					
<i>Endosporites</i> sp.					
<i>Falcisporites zapfei</i>					
<i>Falcisporites</i> sp.					
<i>Gardenasporites heisseli</i>					
<i>Gardenasporites</i> sp.					
<i>Jugasporites delasaucei</i>					
<i>Klausipollenites schaubergeri</i>					
<i>Klausipollenites</i> sp.					
<i>Kraeuselisporites</i> cf. <i>spinus</i>					
<i>Leiotriletes</i> sp.					
<i>Limitisporites</i> sp.					
<i>Lueckisporites globosus</i>					
<i>Lueckisporites</i> cf. <i>hyalinus</i>					
<i>Lueckisporites singhii</i>					
<i>Lueckisporites virkkiae</i>					
<i>Lueckisporites</i> sp.					
<i>Lunatisporites albertae</i>					

Espècie	A	B	C		D
			C1	C2	
<i>Lunatisporites noviaulensis</i>					
<i>Lunatisporites pellucidus</i>					
<i>Lunatisporites variosectus</i>					
<i>Lunatisporites</i> sp.					
<i>Lundbladispota</i> sp.					
<i>Maculatasporites amplus</i>					
<i>Maculatasporites</i> sp.					
<i>Nuskosporites dulhuntyi</i>					
<i>Nuskosporites klausii</i>					
<i>Nuskosporites</i> cf. <i>klausii</i>					
<i>Nuskosporites</i> sp.					
<i>Paravesicaspora splendens</i>					
<i>Paravesicaspora</i> cf. <i>splendens</i>					
<i>Paravesicaspora</i> sp.					
<i>Platysaccus papilionis</i>					
<i>Playfordiaspora</i> sp.					
<i>Potonieisporites novicus</i>					
<i>Potonieisporites</i> sp.					
<i>Protohaploxylinus microcorpus</i>					
<i>Protohaploxylinus</i> sp.					
<i>Sahnisporites saarensis</i>					
<i>Sahnisporites</i> cf. <i>saarensis</i>					
<i>Striatoporocarpidites</i> sp.					
<i>Uvasporites</i> sp.					
<i>Verrucosporites</i> sp.					
<i>Vesicaspora wilsoni</i>					
Espores indeterminades					
Bisacats indeterminats					
Monosacats indeterminats					

espècies productores, la qual cosa proporciona informació no només anatòmica, sinó també de l'ecologia d'aquests animals.

CALAFAT *et al.* (1986, 1986–1987) i CALAFAT (1988) foren els primers autors que esmentaren fòssils de vertebrats del permia de Mallorca, tant icnites (potades) com restes òssies. CALAFAT *et al.* (1986) distingiren una casta d'icnita pentadàctila de mida grossa, bastant freqüent, unes altres de més petites i amb els dits primers, i un tercer tipus que formava un carrerany de traces mal definides. Els tres tipus eren a la Unitat B. A més, varen esmentar un possible fragment ossi provinent de la base de la Unitat C (il·lustrat aquí a la Fig. 5E). CALAFAT *et al.* (1986–1987) aprofundiren en l'estudi de les icnites, i varen distingir les de 'Tipus A' (equivalents a les del primer tipus de CALAFAT *et al.*, 1986), les de 'Tipus B' (equivalents a les del tercer tipus de CALAFAT *et al.*, 1986), les del 'Tipus Ca', pentadàctils i de mida petita, i la del 'Tipus Cb', una icnita aïllada, pentadàctila i de mida molt grossa que mai no es va figurar. Totes aquestes icnites provenien de la Unitat B, juntament amb “abundants restes òssies (vèrtebres, etc.)”, que no es varen arribar a estudiar mai. CALAFAT (1988) bàsicament reproduí allò que s'havia dit a la publicació anterior, distingint el 'Tipus A', el 'Tipus B', el 'Tipus C' (equivalent al 'Tipus Ca' de CALAFAT *et al.*, 1986–1987) i el 'Tipus D' (equivalent al 'Tipus Cb' de CALAFAT *et al.*, 1986–1987). També va esmentar les vèrtebres i el fragment ossi provinents de la Unitat B i de la base de la Unitat C, respectivament, que havia anomenat en les publicacions anteriors. CALAFAT *et al.* (1986–1987) i CALAFAT (1988) identificaren les icnites del 'Tipus A' (il·lustrades aquí a la Fig. 5D) com a *Cheirotherium* [sic.], típicament triàsic, emperò GAND *et al.* (2010) les redeterminà dins l'icnogènere *Hyloidichnus*, feta per rèptils captorinomorfs, possiblement captorínids moradisaurins, del permia.



**Fig. 5.** Exemples de fòssils del permia de Mallorca. **A:** troncs carbonitzats a la base d'un canal orientats segons el paleocorrent, de la cova des Carbó. **B:** rizocrecions, de la platja de son Bunyola. **C:** traces fòssils d'invertebrats, de la pesquera d'en Sabino. **D:** icnites de tetràpodes (UIB174620), del racó de s'Algar. **E:** fragment d'os indeterminable (MBCN21305a i MBCN21305b), del comellar de can Xitx.

Recentment, LIEBRECHT *et al.* (2017) varen descriure un fragment de maxil·la i parts del paladar atribuïble a un rèptil captorínid moradisaurí, que per mida podria correspondre a les potades esmentades anteriorment. El varen datar dins el permia superior basant-se en les datacions de RAMOS i DOUBINGER (1989) per la Unitat C, emperò el fòssil en realitat provenia de la unitat infrajacent, la Unitat B, que en aquell moment encara mai no s'havia datada.

Finalment, MATAMALES-ANDREU *et al.* (2019) varen presentar unes identificacions preliminars de tot el material de potades de tetràpodes del permia de Mallorca, considerant tot allò que havia figurat CALAFAT *et al.* (1986–1987), les fotografies que mai no s'havien publicades i noves troballes als jaciments. De manera provisional, es varen reconèixer els icnogèneres *Dimetropus*, *Hyloidichnus* i, tot i que més dubtosos, *Amphisauropus*, cf. *Ichniotherium*, *Varanopus* i *Dromopus*. Aquests corresponen, respectivament, a sinàpsids esfenacodòntids, rèptils captorinomorfs (possiblement captorínids moradisaurins), possibles seimuriomorfs, diadectomorfs, rèptils captorinomorfs i rèptils areoscelidís (*e.g.*, LUCAS, 2019). MATAMALES-ANDREU *et al.* (2021a) varen estudiar en detall una morfologia identificada com a cf. *Dimetropus* isp., i varen proposar que corresponia a potades fetes per sinàpsids del grup dels caseids.

#### *Plantes del triàsic inferior(?)–mitjà*

En el triàsic continental de Mallorca les macrorestes vegetals són més abundants que no a les roques del permia, tot i que també hi solen sortir en forma de bocins indeterminables (Fig. 6A–B). No obstant això, hi ha nivells concrets de les unitats E i F, tant de lutites verdes com de gresos blancs, on les restes vegetals que hi compareixen tenen un estat de conservació bo o molt bo.

Els primers autors que varen esmentar plantes del triàsic mallorquí foren HERMITE (1879, 1888) i LOZANO (1884), a partir d'uns fòssils trobats prop de la cala d'Estellencs, que varen determinar com a *Equisetum arenaceum*. Un segle després, BAUZÁ (1971, 1981) va publicar noves restes paleobotàniques d'aquesta localitat, amb la mateixa identificació que la dels autors anteriors.

CALAFAT (1988) va il·lustrar, per primera vegada, fòssils ben conservats provinents de la Unitat E, que es varen publicar en uns estudis preliminars d'ÁLVAREZ-RAMIS *et al.* (1989, 1995). Aquests autors hi varen reconèixer espècies dels grups de les coes de cavall (*Equisetites mougeotii*, *Equisetites* spp. i *Schizoneura-Echinostachys paradoxa*), les falgueres (*Anomopteris mougeotii*, *Neuropteridium* aff. *intermedium*, *Neuropteridium* sp. i aff. *Pecopteris* sp.), les cícades (restes indeterminades), els ginkgòfits (*Ginkgophyllum* sp.?), les coníferes (*Aetophyllum stipulare*, *Yuccites* cf. *vogesiacus*, *Albertia* sp., *Voltzia heterophylla*, *Voltzia walchiaeformis* i *Endolepis* sp.) i òrgans reproductors de coníferes (*Willsiostrobus hexasacciphorus*, *Willsiostrobus* sp.). Probablement, allò que anomenaren *Equisetites mougeotii* correspon a l'*Equisetum arenaceum* dels autors clàssics, que és una espècie normalment més moderna. A més a més, GRAUVOGEL-STAMM i ÁLVAREZ-RAMIS (1994, 1996) varen dar a conèixer exemplars de *Willsiostrobus rhomboidalis* i *Willsiostrobus hexasacciphorus* (que varen descriure com una espècie nova) amb el pol·len encara *in situ*, corresponent a les espècies de palinomorfs *Voltziaceasporites heteromorpha* per la primera i *Stellapollenites thiergartii* i *Hexasaccites muelleri* (actualment considerades sinònimes) en el cas de la segona.

JUÁREZ-RUIZ i WACHTLER (2015) és l'estudi més recent d'aquesta associació paleobotànica, on es consideraren tant una part dels exemplars de les col·leccions clàssiques com nous fòssils trobats a les unitats E i F, revisant la majoria d'atribucions taxonòmiques i descrivint nous gèneres i espècies. De coes de cavall n'esmentaren tan sols una espècie, *Equisetites mougeotii*, i de falgueres també una, *Anomopteris mougeotii*, ja conegudes d'aquests jaciments. De "falgueres amb llavor" (pteridospermatòfits) en varen descriure una espècie nova, *Sagenopteris nadalii*, corresponent a allò que ÁLVAREZ-RAMIS *et al.* (1995) havien considerat restes de ginkgòfits. Pel que fa a les coníferes no arborescents, es va reconèixer *Aethophyllum stipulare* (descrita dins la nova *balearica*) amb els seus estròbils masculins anomenats *Willsiostrobus acuminatus*; *Pelourdea vogesiaca*, amb estròbils masculins anomenats *Willsiostrobus rhomboidalis*; i *Estellenscia saezii*, que va ésser el nom triat per al nou gènere i espècie de conífera que ÁLVAREZ-RAMIS *et al.* (1995) havien inclòs dins el gènere *Albertia*. Una nova espècie de conífera arborescent va ser *Ortiseia collii*, que corresponia a allò que ÁLVAREZ-RAMIS *et al.* (1995) havien determinat com a diferents espècies del gènere *Voltzia*, que compareixia juntament amb el seu estròbil masculí *Willsiostrobus hexasacciphorus*. Amb aquestes dades, JUÁREZ-RUIZ i WACHTLER (2015) varen distingir dues fitoassociacions principals: una de dominada per *Equisetites*, *Sagenopteris*, *Aethophyllum*, *Pelourdea* i *Ortiseia*, i una altra amb *Anomopteris*, *Pelourdea* i *Estellenscia*, que possiblement representaven dues paleocomunitats diferents, una de més higrofítica i una altra de més xerofítica, respectivament.

La microflora (esporomorfs i palinomorfs) és abundant a una partida de nivells de les unitats E, F i G, i va ser estudiada per primer pic per SOLÉ DE PORTA *in* CALAFAT (1988). No obstant això, posteriorment hi ha hagut diverses publicacions que han revisat les determinacions conegudes i han afegit mostres de nous nivells, com és el cas de RAMOS i DOUBINGER (1989), DIEZ (2000) i DIEZ *et al.* (2005, 2010), que es resumeixen a la Taula 3A–B. A més a més, CALAFAT (1988) va esmentar també la presència de micro-



**Fig. 6.** Exemples de fòssils del triàsic continental de Mallorca. **A–B:** restes vegetals, de la platja de sa Marina i la tenassa de sa Tanca. **C:** icnita de tetràpode, de la platja de sa Marina.

**Taula 3A.** Esporomorfs i palinomorfs del triàsic continental de Mallorca esmentats en els diferents estudis. **A1:** mostra “4481” de CALAFAT (1988), **A2:** mostra “4389” de CALAFAT (1988), **B:** RAMOS i DOUBINGER (1989), **C:** GRAUVOGEL-STAMM i ÀLVAREZ-RAMIS (1994, 1996), **D1–D8:** mostres “ME0” a “ME7” de DIEZ (2000), **E1:** mostra “Sa pedra Alta” de DIEZ *et al.* (2005), **E2:** mostra “Punta de son Serralta” de DIEZ *et al.* (2005), **E3:** mostra “Moll d’Estellencs” de DIEZ *et al.* (2005), **E4:** mostra “Mallorca” de DIEZ *et al.* (2005), **F1:** mostra “Mallorca” de DIEZ *et al.* (2010), **F2:** mostra “Sa pedra Alta” de DIEZ *et al.* (2010), **F3:** mostra “Punta de son Serralta” de DIEZ *et al.* (2010), **F4:** mostra “Moll d’Estellencs” de DIEZ *et al.* (2010). Les cel·les omplides de negre indiquen la presència del tàxon a la localitat.

Espècie	A		B	C	D								E				F			
	1	2			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	1	2	3	4
<i>Aequitriradites</i> sp.																				
<i>Alisporites cacheutensis</i>																				
<i>Alisporites grauvogeli</i>																				
<i>Alisporites magnus</i>																				
<i>Alisporites opii</i>																				
<i>Alisporites toralis</i>																				
<i>Alisporites townrovi</i>																				
<i>Alisporites</i> sp.																				
<i>Angustisulcites</i> cf. <i>klausii</i>																				
<i>Angustisulcites</i> sp.																				
<i>Baltisphaeridium</i> sp.																				
<i>Brachysaccus ovalis</i>																				
<i>Brachysaccus</i> cf. <i>ovalis</i>																				
<i>Brachysaccus</i> sp.																				
<i>Calamospora tener</i>																				
<i>Calamospora</i> sp.																				
<i>Camarozonosporites</i> sp.																				
<i>Cannanoropollis</i> sp.																				
<i>Chordasporites singulichorda</i>																				
<i>Chordasporites</i> sp.																				
<i>Convolutispora</i> sp.																				
<i>Cuneatisporites</i> sp.																				
cf. <i>Cuneatisporites</i> sp.																				
<i>Cycadopites acerrimus</i>																				
<i>Cycadopites subgranulosus</i>																				
<i>Cycadopites</i> sp.																				
<i>Densoisporites</i> sp.																				
<i>Dictyotidium reticulatum</i>																				
<i>Endosporites papillatus</i>																				
<i>Falcisporites snopkova</i>																				
<i>Falcisporites</i> sp.																				
cf. <i>Falcisporites</i> sp.																				
<i>Fuldaesporites</i> sp.																				
<i>Heliosaccus dimorphus</i>																				
cf. <i>Heliosaccus</i> sp.																				
<i>Hexasaccites muelleri</i>																				
<i>Illinites kosankei</i>																				
<i>Illinites</i> sp.																				
<i>Klausipollenites</i> sp.																				
<i>Limitisporites</i> sp.																				

foraminífers a un nivell amb esporomorfs i palinomorfs de la Unitat G, que mai no varen ésser estudiats en detall.

#### *Crustacis, insectes i peixos del triàsic inferior(?)—mitjà*

Les unitats E i F presenten esporàdicament nivells d’origen lacunar consistents en lutites molt fines i de colors verdosos i blavosos, indicadores d’un medi reductor. Dins aquestes lutites s’hi troba una fauna de petits animals excepcionalment ben preservats (*Konservat-Lagerstätte* = ‘jaciment de preservació excepcional’), que conserven restes de les parts blanques i fins i tot el contingut de les butzes.



que hi havia al manco dues espècies de nimfes d'efemeròpters, i que una d'elles feia llorigueres. A més dels artròpodes, CALAFAT i SÁEZ (1987) i CALAFAT (1988) també varen esmentar la presència d'un peix molt menut, que es va identificar preliminarment dins el grup dels paleoniscoides (T. SÁEZ, com. pers., 2020). GALLEMÍ *in* GALLEMÍ *et al.* (1988), MARTÍNEZ *in* GALLEMÍ *et al.* (1988) i JUÁREZ-RUIZ i WACHTLER (2015) varen refigurar alguns d'aquests espècimens, emperò sense aportar-ne informació nova.

Els nivells fossilífers foren remostrejats per ANSORGE (1997), qui va esmentar la presència de tres ales de cuques molles (blataris), que mai no va estudiar en detall ni figurar. Una dècada després, ZESSIN (2008a, 2008b) hi va agafar més fòssils, entre els que, preliminarment, hi va identificar crustacis "concostracis" (*Euestheria*), insectes dels grups de les cuques molles (blataris), escarabats (coleòpters), mosquits (dípters), xinxes (hemípters), cigales (homòpters), (?)megalòpters i (?)ortopteroïdeus, traces fòssils indeterminades d'insectes i càpsules d'ous de taurons hibodòntids d'aigua dolça (*Palaeoxyris*). Dels mateixos nivells, ARISTOV i ZESSIN (2009) també varen descriure una espècie nova d'insecte gril·loblàtid: *Mallorcagryllus hispanicus*. Recentment, SCHOLZE i MATAMALES-ANDREU (2021) esmentaren una partida de morfotips de valves de "concostracis" provinents de quatre nivells diferents: *Hornestheria* aff. *sollingensis* (que corresponia a allò que els autors anteriors havien anomenat *Estheria* o *Euestheria*) dels nivells de la Unitat E amb insectes (CALAFAT, 1988); *Hornestheria?* morfotip 1 i *Hornestheria?* morfotip 2 d'un mateix nivell al sostre de la Unitat F; i dos morfotips indeterminats provinents de la part mitjana de la Unitat E i de la base de la Unitat F, respectivament. Aquests darrers també podrien ésser *Hornestheria* aff. *sollingensis* perquè s'hi avenen per mida i forma general, emperò estan massa mal conservats per poder-ho saber cert.

#### "Rèptils" del triàsic inferior(?)—mitjà

Els ambients de plana d'inundació de la Unitat E oferien unes condicions òptimes per la preservació de les icnites (potades) de rèptils. A diferència de la Unitat B del permian, però, aquí les icnites compareixen enmig dels nivells de gres, conservant tant la impressió original com el seu motlle natural (Fig. 6C).

L'únic estudi que ha figurat aquestes icnites ha estat JUÁREZ-RUIZ i WACHTLER (2015), il·lustrant una parella de mà i peu atribuïble a l'icnogènere *Rhynchosauroides*. El productor d'aquesta casta de traces era un petit rèptil diàpsid (*e.g.*, AVANZINI i RENESTO, 2002). Les altres icnites que surten retratades, suposadament pertanyents a l'icnogènere *Rodotactylus*, no ho són, per mor que provenen de la Unitat B (T. SÁEZ, com. pers., 2020) i corresponen a l'icnogènere *Dimetropus* esmentat per MATAMALES-ANDREU *et al.* (2019, 2021a) per al permian.

CALAFAT *et al.* (1986, 1986–1987) trobaren unes suposades icnites de la Unitat F, que anomenaren 'Tipus D'. CALAFAT (1988) en tornà a parlar, anomenant-les 'Tipus E' i figurant-les per primera vegada, descrivint-les com a una partida de clots circulars d'un diàmetre molt gros (30–40 cm) que no formaven cap carrerany clar. Després d'haver-les examinades en directe (R.M.A., obs. pers., 2019), s'ha pogut concloure que són qualche casta d'estructura sedimentària, que també és present a les unitats del permian, per mor que tenen una mida molt més grossa que cap altra icnita coetània coneguda, no s'organitzen en cap patró (rastre) i no s'hi reconeix cap estructura anatòmica (dits, call/sola, etc.).

## Datacions i edats

### Permian

El primer estudi que va demostrar inqüestionablement la presència de roques d'edat permiana a Mallorca va ser el de RAMOS i DOUBINGER (1989), que varen analitzar els esporomorfs i palinomorfs de dues mostres de la Unitat C (Taula 2), emperò de posició exacta desconeguda. Varen considerar que la majoria d'espècies eren característiques de les palinoassociacions del "turingià" dels Alps i del Nord d'Europa, que en aquell temps se'ls atribuïa una edat de permian superior (lopingià) (Taula 4). Aquesta

Taula 4. Datacions de les diferents unitats del permia i triàsic continental de Mallorca.

Posició estratigràfica	PERMIÀ			TRIÀSIC			
	Part alta Unitat B	Part mitjana/alta Unitat C (?)	Part alta Unitat C	Part alta Unitat E	Base Unitat F	Part baixa Unitat G (?)	Part mitjana Unitat G
Fòssils índex	Ichites de tetràpodes	Esporomorfs i palinomorfs	Esporomorfs i palinomorfs	Esporomorfs i palinomorfs	Esporomorfs i palinomorfs	Esporomorfs i palinomorfs	Esporomorfs i palinomorfs
CALAFAT (1988)				Anisià			Anisià
RAMOS & DOUBINGER (1989)		“Turingià”*				Anisià mitjà–superior**	
GRAUVOGEL-STAMM & ÁLVAREZ-RAMIS (1996)				Anisià (anisià inferior**?)			
DIEZ (2000)		“Turingià”*	“Turingià”*	Egeà–pelsonià	Egeà (egeà superior?)	Egeà–pelsonià	Egeà–pelsonià
DIEZ <i>et al.</i> (2005)		“Turingià”*	“Turingià”*	Anisià	Egeà	Egeà–pelsonià	Anisià
DIEZ <i>et al.</i> (2010)				Anisià inferior**	Egeà	Egeà–pelsonià	Anisià
JUNCAL (2019)			Guadalupià (wordià–capitanià)				
MATAMALES-ANDREU <i>et al.</i> (2019)	Cisuralià (artinskià–kungurià)						

\*El “turingià” és una palinoassociació (biofàcies) sense gaire valor cronostatigràfic que es creu que pot variar d’edat entre el permia mitjà (guadalupià) i el permia superior (lopingià) (JUNCAL 2019).

\*\*L’anisià inferior correspon al subestatge egeà, el mitjà correspon al bitinià i pelsonià i el superior correspon a l’il-irià (vegeu OGG *et al.*, 2020).

palinoassociació va ser revisada per DIEZ (2000) i DIEZ *et al.* (2005), que varen estar d’acord en el fet que pertanyia al “turingià”, i aquest al permia superior.

DIEZ (2000) va estudiar una altra mostra paleopalinoalògica (MA-1) agafada de la part alta de la Unitat C, molt més rica que l’anterior (Taula 2), però que també era clarament atribuïble al “turingià” (Taula 4), que va considerar com a permia superior. DIEZ *et al.* (2005) varen tornar a revisar aquesta mostra, confirmant l’assignació anterior i, baldament encara afirmaven que el “turingià” equivalia al permia superior, admeteren que la correlació entre conques diferents és impossible de fer, i que podria ser una biofàcies diacrònica. JUNCAL (2019) tornà a estudiar la mostra MA-1 de DIEZ (2000) i afirmà que pertany al permia mitjà (guadalupià), amb afinat al wordià–capitanià, per mor de la presència de les espècies *Crucisaccites variosulcatus* i *Potonieisporites novicus* i l’absència de *Vittatina costabilis*. Per tant, per primer pic es datà aquesta palinoassociació del “turingià” fora del permia superior.

D’altra banda, MATAMALES-ANDREU *et al.* (2019) varen presentar una comunicació preliminar on s’estudiaven les icnites (potades) de vertebrats de la Unitat B, reconeixent-hi diferents icnogènere. Aquesta icnoassociació va permetre proposar, per primera vegada, una datació de permia inferior (cisuralià) per aquesta unitat causa la presència de l’icnogènere *Dimetropus*, i concretament es podria correspondre a l’artinskià o al kungurià per mor de l’abundància d’icnites de rèptils (*Hyloidichnus*) i l’absència d’icnites d’anamniotes.

### Triàsic

SOLÉ DE PORTA *in* CALAFAT (1988) va donar les primeres determinacions d’espomorfs i palinomorfs de les unitats E i G (Taula 3A–B), i en els dos casos va afirmar que pertanyien al triàsic mitjà (anisià) (Taula 4). Tot seguit, RAMOS i DOUBINGER (1989) varen estudiar la palinoassociació d’un altre nivell, possiblement de la part baixa de la Unitat G (la posició exacta és desconeguda i fins i tot podria esser de la Unitat F) (Taula 3A–B), i hi varen determinar formes característicament anisanes,



concretament de l'anisià mitjà–superior o fins i tot del ladinia inferior (triàsic mitjà) (Taula 4). GRAUVOGEL-STAMM i ÁLVAREZ-RAMIS (1994, 1996), en el seu estudi dels grans de pol·len de dins els estròbils de conífera de la Unitat E, varen argumentar que l'associació de Mallorca es podia comparar amb la del *Grès à Voltzia* (=‘gres amb *Voltzia*’) dels Vosges (França), proposant una datació d'anisià inferior per als jaciments mallorquins.

DIEZ (2000) va agafar vuit mostres noves de la base de la Unitat F (Taula 3A–B) i les va considerar conjuntament per afirmar que, per superposició de biozones de les diferents espècies d'espormorfs i palinomorfs, aquells nivells eren de l'egeà (anisià inferior). A més a més, va afegir que la presència de *Triadispora suspecta*, que normalment sol comparèixer a partir del pelsonià (anisià mitjà), podria indicar que les mostres estudiades per ventura eren de la part alta de l'egeà (Taula 4). DIEZ *et al.* (2005) revisaren tots els estudis anteriors, i assignaren les mostres de CALAFAT (1988) a un anisià indeterminat, la de RAMOS i DOUBINGER (1989) a un egeà–pelsonià (anisià inferior–mitjà) i les de DIEZ (2000) a l'egeà (Taula 4). Finalment, DIEZ *et al.* (2010) tornaren a revisar-les totes, i en el cas de les de CALAFAT (1988) mantengueren la datació d'anisià indeterminat per la mostra de la Unitat G, mentre que la de la Unitat E la pogueren datar temptativament com a anisià inferior (=egeà) per mor de la presència d'*Illinites kosankei* (Taula 4). En el cas de la mostra de RAMOS i DOUBINGER (1989), es mantengué l'assignació d'egeà–pelsonià, i es confirmà la datació d'egeà per les mostres de DIEZ (2000) (Taula 4).

### Discussió, síntesi i perspectives futures

Les roques del permia i del triàsic continental de Mallorca es poden dividir en set unitats litostratigràfiques principals, que aquí s'han anomenat amb lletres consecutives de la A a la G (Figs. 3–4). Cadascuna d'aquestes té uns trets sedimentològics propis, que permeten inferir-ne el paleoambient deposicional on es varen formar. Aquest, juntament amb la informació que es pot extreure de les restes fòssils, fa possible reconstruir l'ecosistema i, en segons quins casos, proporciona informació de la seva edat.

La Unitat A (Fig. 3A–B) consisteix en gresos i conglomerats extraformacionals disposats en làmines irregulars o en unitats amb acreció lateral que corresponen als primers estadis de rebliment de la conca amb sistemes predominantment al·luvials/col·luvials. Just s'hi han trobat fòssils de rels de mida grossa, que indiquen que s'hi varen formar sòls. No se sap l'edat d'aquesta unitat, però possiblement es trobi entre el carbonífer superior i la part baixa del permia inferior, que és quan moltes de conques del peri-Tetis es varen començar a obrir (*e.g.*, McCANN *et al.*, 2006).

La Unitat B (Fig. 3C–D) és formada per intervals de gresos amb superfícies d'acreció lateral i lutites amb intercalacions de gresos tabulars, i es pot interpretar com a dipòsits de grans rius d'alta sinuositat (meandriformes) que solcaven una plana d'inundació periòdicament negada. Per devora els rius hi creixien plantes de manera abundant, que han quedat enregistrades en forma de paleosòls i restes de rels (rizocrecions) carbonatats, el que indica un clima àrid. Entremig d'aquesta vegetació hi havia una important comunitat de vertebrats, que es coneixen tant pel seu abundant registre icnològic (potades) com per qualche os. En destaquen els rèptils captorínids moradisaurins, dels que se n'han trobat tant les potades com els ossos. Els seus depredadors possiblement eren del grup dels sinàpsids (avantpassats dels mamífers), dels que també se n'hi han trobat potades. L'estudi biostratigràfic de les potades ha permès de proposar preliminarment que aquesta unitat és de la part alta del permia inferior.

La Unitat C (Fig. 3E–F) és representada per paquets potents de gresos de colors clars, organitzats internament en unitats d'acreció lateral amb capes tabulars intercalades. Entremig dels gresos, adesiara hi compareixen intervals predominantment lutífics. Aquesta associació de fàcies correspon a grans rius sinuosos (meandriformes) amb una remobilització constant de les planes d'inundació, que durant les estacions més ploueres quedaven tapats per dipòsits tabulars (desconfinats) d'arena arrossegada per torrentades. Devora aquests rius hi creixia una vegetació de coes de cavall, falgueres i coníferes, reconegudes a partir de les seves espores, pol·len, troncs fòssils i restes de carbó. També hi havia

vertebrats, dels que se n'ha trobat un bocí d'os. L'estudi dels esporomorfs i dels palinomorfs de la part alta de la unitat ha revelat una edat dins la part superior del permí mitjà.

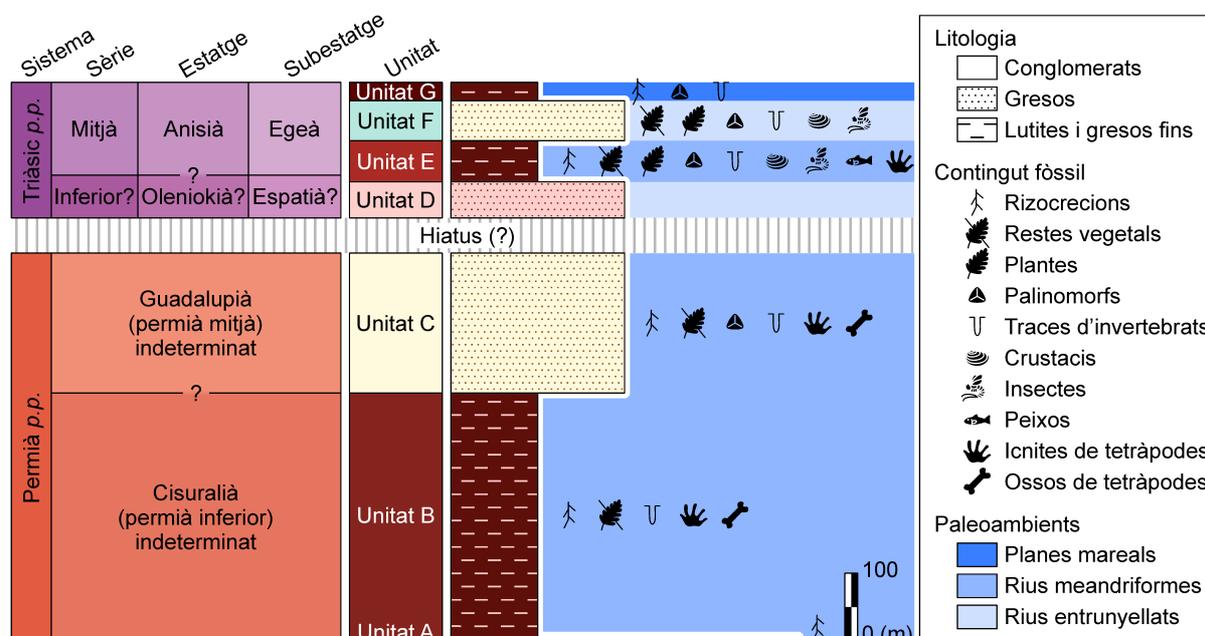
La Unitat D (Fig. 4A–B) es caracteritza pels nivells de gresos tabulars amb molt pocs intervals lutítics, que representen els dipòsits de grans rius entrunyellats. No s'hi coneix registre fòssil, i per això no s'ha poguda datar. Per correlació amb altres unitats litostratigràfiques de la península Ibèrica més o manco equivalents, podria pertànyer a la part alta del triàsic inferior.

La Unitat E (Fig. 4C–D) té nivells de gres amb acreció lateral o de forma tabular, intercalats amb paquets de lutites, que corresponen a rius amb canals sinuosos, lòbuls de desbordament i planes d'inundació. Aquesta unitat és la que presenta un registre fòssil més divers, amb una comunitat de plantes de ribera amb coes de cavall, falgueres, coníferes no arborescents i qualque conifera arborescent. Dins l'aigua hi vivien crustacis del grup parafilètic dels "concostracis", larves d'insectes i peixos, i per la vorera dels rius hi havia insectes de diferents grups i petits rèptils diàpsids que hi varen deixar impreses les seves potades. Un poc més enfora, es desenvolupaven brolles de coníferes i falgueres. De les plantes d'aquesta unitat també se n'han trobat les espores i el pol·len, que han permès datar-la dins la base del triàsic mitjà.

La Unitat F (Fig. 4E–F) consisteix en gresos organitzats en estrats tabulars o lenticulars, amb molt poques lutites intercalades. Representa els dipòsits de grans rius entrunyellats i els bassiots dins els canals abandonats. La comunitat biològica s'assemblava a la de la unitat infrajacent, amb diverses castes de plantes, crustacis, insectes i peixos. L'estudi de les espores i del pol·len ha revelat una edat dins la base del triàsic mitjà.

La Unitat G (Fig. 4G–H), la més superior de totes, és formada per lutites amb qualque intercalació de gres. En general, correspon a planes mareals fangoses i mixtes, que la mar negava periòdicament, fins que al sostre donen pas a les rampes carbonatades marines poc fondes de la fàcies *Muschelkalk* (= 'calcària amb copinyes'). Dins nivells lutítics d'aquesta unitat s'hi han trobat foraminífers marins, i esporomorfs i palinomorfs que han permès datar-la com a triàsic mitjà indeterminat.

En resum, la seqüència del permí i triàsic continental de Mallorca conté un grup inferior de tres unitats fluvio-al·luvials del permí i un grup superior de quatre unitats fluvio-al·luvials del triàsic inferior(?) i mitjà, probablement separades per un hiatus que comprèn part del permí superior i del



**Figura 7.** Columna estratigràfica sintètica del permí i el triàsic inferior(?)–mitjà continental de Mallorca, simplificada i modificada de GÓMEZ-GRAS (1993) amb dades de paleontologia de CALAFAT (1988), DIEZ (2000), ZESSIN (2008b) i JUÁREZ-RUIZ i WACHTLER (2015).

triàsic inferior (Fig. 7), com a la resta del peri-Tetis occidental (e.g., BOURQUIN *et al.*, 2011). El seu registre fòssil és molt ric, consistint en esporomorfs, palinomorfs, restes vegetals, potades i ossos de vertebrats en el permia, i esporomorfs, palinomorfs, plantes, artròpodes i potades de vertebrats en el triàsic (Fig. 7). Aquesta gran diversitat fa que els jaciments de Mallorca siguin dels més rics de tota la zona paleoequatorial de Pangea, essent de gran rellevància en l'àmbit mundial.

En els darrers anys, la feina per a la tesi doctoral d'un dels autors del present article (R.M.A.) ha permès revisar tota l'estratigrafia i la sedimentologia d'aquests períodes. També s'han trobat nous jaciments fòssils, que s'han pogut prospectar i excavar en una partida de campanyes de camp, obtenint una gran quantitat de material fòssil que ara es troba en estudi. Amb tot això, es preveu que en els anys que vénen es podrà donar a conèixer una visió molt més completa dels ecosistemes del permia i triàsic de Mallorca, des del refinament de la caracterització geològica, fins a datacions més precises i noves dades sobre la flora i fauna que hi capllevava (MATAMALES-ANDREU *et al.*, 2021a, 2021b, 2021c, en preparació).

## Agraïments

Els autors del present article agraïm l'ajuda de Sebastià Matamalas, Àngel Galobart, Josep Juárez Antoni Pasqual i Francesc Baiget en la feina de camp. A Antonio Rodríguez-Perea, Feliu Calafat, David Gómez-Gras i Tomeu Sáez per proporcionar-nos bibliografia i entresenyas de qualque localitat. A Eudald Mujal per la discussió de l'estratigrafia, sedimentologia i icnologia. A Carol Constantino per l'accés als fòssils de les col·leccions del Museu Balear de Ciències Naturals. A Lluís Gómez-Pujol, editor, i a dos revisors anònims pels comentaris sobre el manuscrit. Al Consell de Mallorca pels permisos de prospecció i excavació. Agraïm també el suport del programa CERCA (Generalitat de Catalunya). R.M.A. compta amb el contracte predoctoral FPU17/01922 (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades). O.O. és membre del grup de recerca consolidat 2017 SGR 1666 GRC (Generalitat de Catalunya). J.F. és membre del grup de recerca consolidat 2017 SGR 086 GRC (Generalitat de Catalunya) i també reconeix el suport de l'Agencia Estatal de Investigación i l'European Regional Development Fund AEI/FEDER EU, projecte CGL2017-82654-P (Unió Europea). Aquest estudi s'emmarca en el projecte "Mallorca abans dels dinosaures: estudi dels ecosistemes continentals del Permian i Triàsic amb especial èmfasi en les restes de vertebrats" (ref. 15 - 619/2020), amb base a l'ICP i finançat pel Departament de Cultura, Patrimoni i Política Lingüística (Consell Insular de Mallorca).

## Bibliografia

- ÁLVAREZ-RAMIS, C., SOLÉ, N. i CALAFAT, F. (1989): Paleoflora del Triàsic inferior de Mallorca. In: *Abstracts of the II European Paleobotanical Conference*: p. 12. Madrid.
- ÁLVAREZ-RAMIS, C., FERNÁNDEZ-MARRÓN, T. i CALAFAT, F. (1995): Avance sobre la megaflore triásica, en facies germánica, de Estellencs (sector noroccidental de la sierra de Tramontana, Mallorca). *Revista Española de Paleontología*, nº homenaje al Dr. Guillermo Colom: 55-58.
- ANSORGE, J. (1997): Insekten aus dem Buntsandstein (Untere Trias) von Mallorca (Spanien). In: *Abstracts für 4. Fachgespräch, "Fossile Insekten"*: 1 pp. Clausthal-Zellerfeld.
- ARCHE, A., LÓPEZ-GÓMEZ, J. i VARGAS, H. (2002): Propuesta de correlación entre los sedimentos Pérmicos y Triásicos de la Cordillera Ibérica Este y de las Islas Baleares. *Geogaceta*, 32: 275-278.
- ARISTOV, D. i ZEISSIN, W. (2009): *Mallorcagryllus hispanicus* n. gen. et sp. - eine neue Grylloblattide (Insecta: Grylloblattida: Blattogryllidae) aus dem Buntsandstein der Insel Mallorca, Spanien. *Virgo, Mitteilungsblatt des Entomologischen Vereins Mecklenburg*, 12(1): 30-34.
- AVANZINI, M. i RENESTO, S. (2002): A review of *Rhynchosauroides tirolicus* Abel, 1926 ichnospecies (Middle Triassic: Anisian-Ladinian) and some inference on *Rhynchosauroides* trackmaker. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 108(1): 51-66.
- BANDA, E., PARÉS, J.M. i FREEMAN, R. (1986): La técnica del paleomagnetismo. Estudio piloto en los bordes de la cuenca balear. *Estudios Geológicos*, 42: 147-165.

- BARNOLAS, A. (1991a): *Mapa Geològic de Espanya. Escala 1:50.000. Andraitx*. Segona sèrie, primera edició. Instituto Tecnològic GeoMinero de Espanya, Madrid. 56 pp. + 1 mapa + 5 columnes estratigràfiques.
- BARNOLAS, A. (1991b): *Mapa Geològic de Espanya. Escala 1:50.000. Sóller*. Segona sèrie, primera edició. Instituto Tecnològic GeoMinero de Espanya, Madrid. 62 pp. + 1 mapa + 8 columnes estratigràfiques.
- BAUZÀ, J. (1971): Ciento ochenta millones de años de la flora y fauna de Mallorca. In: MASCARÓ, J. (coord.), *Historia de Mallorca*: 331-430. Gráficas Miralles, Palma.
- BAUZÀ, J. (1981): Contribuciones a la paleontología de Mallorca. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de Balears*, 25: 7-20.
- BEHRENSMEYER, A.K. (1982): Time resolution in fluvial vertebrate assemblages. *Paleobiology*, 8(3): 211-227.
- BENTON, M.J. (2008): *When life nearly died. The greatest mass extinction of all time*. Thames & Hudson, Londres. 336 pp.
- BERCOVICI, A., DIEZ, J.B., BROUTIN, J., BOURQUIN, S., LINOL, B., VILLANUEVA-AMADOZ, U., LÓPEZ-GÓMEZ, J. i DURAND, M. (2009): A palaeoenvironmental analysis of Permian sediments in Minorca (Balearic Islands, Spain) with new palynological and megafloral data. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 158: 14-28.
- BORRUEL-ABADÍA, V., LÓPEZ-GÓMEZ, J., DE LA HORRA, R., GALÁN-ABELLÁN, B., BARRENECHEA, J.F., ARCHE, A., RONCHI, A., GRETTNER, N. i MARZO, M. (2015): Climate changes during the Early–Middle Triassic transition in the E. Iberian plate and their palaeogeographic significance in the western Tethys continental domain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 440: 671-689.
- BOURQUIN, S., DURAND, M., DIEZ, J.B., BROUTIN, J. i FLUTEAU, F. (2007): The Permian-Triassic boundary and Early Triassic sedimentation in Western European Basins: an overview. *Journal of Iberian Geology*, 33(2): 221-236.
- BOURQUIN, S., BERCOVICI, A., LÓPEZ-GÓMEZ, J., DIEZ, J.B., BROUTIN, J., RONCHI, A., DURAND, M., ARCHE, A., LINOL, B. i AMOUR, F. (2011): The Permian–Triassic transition and the onset of Mesozoic sedimentation at the northwestern peri-Tethyan domain scale: Palaeogeographic maps and geodynamic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 299: 265-280.
- CALAFAT, F. (1986): Estratigrafia y sedimentología de la litofacies Buntsandstein de Mallorca. In: CABRERA, L. (ed.), *Libro de Resúmenes del XI Congreso Español de Sedimentología*: p. 39. Grupo Español de Sedimentología, Barcelona.
- CALAFAT, F. (1987): Paleoambients de les facies Buntsandstein de Mallorca. In: *Llibre de Resums de les I Jornades del Medi Ambient de les Illes Balears*: 16-17. Societat d'Història Natural de les Balears, Palma.
- CALAFAT, F. (1988): *Estratigrafia y sedimentología de la litofacies Buntsandstein de Mallorca*. Tesina de Llicenciatura. Universitat de Barcelona, Barcelona. 127 pp. + 31 columnes estratigràfiques annexes. Inèdita.
- CALAFAT, F. i SÁEZ, B. (1987): Paleofauna lacustre del Triàsic Inferior de Mallorca. In: *Llibre de Resums de les I Jornades del Medi Ambient de les Illes Balears*: 18-19. Societat d'Història Natural de les Balears, Palma.
- CALAFAT, F., FORNÓS, J.J., MARZO, M., RAMOS, E. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1986): Icnología de vertebrados de las facies Buntsandstein de Mallorca. *Libro de Resúmenes del XI Congreso Español de Sedimentología*: p. 40. Grupo Español de Sedimentología, Barcelona.
- CALAFAT, F., FORNÓS, J.J., MARZO, M., RAMOS-GUERRERO, E. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1986–1987): Icnología de vertebrados de las facies Buntsandstein de Mallorca. *Acta Geològica Hispànica*, 21-22: 515-520.
- CARMONA, R. (2004): *Estudi d'un seimuriamorfe (Amphibia: Batrachosauria) del Permià superior de Menorca*. Tesina de Llicenciatura. Universitat de Barcelona, Barcelona. 56 pp. Inèdita.
- CASSINIS, G., PEROTTI, C.R. i RONCHI, A. (2012): Permian continental basins in the Southern Alps (Italy) and perimediterranean correlations. *International Journal of Earth Sciences/GR Geologische Rundschau*, 101: 129-157.
- COHEN, K.M., FINNEY, S.C., GIBBARD, P.L. & FAN, J.-X. (2013; actualitzada): The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes*, 36: 199-204.
- COLOM, G. (1975): *Geología de Mallorca*. Gráficas Miramar, Diputació Provincial de Balears, Palma. 2 vols., 552 pp.
- CUEVAS-LÓPEZ, F. (1958a): *Informe geológico y minero de los yacimientos de cobre de Banyalbufar y Estallenchs, Mallorca*. Barcelona. 37 pp. + 8 figs. Inèdit.
- CUEVAS-LÓPEZ, F. (1958b): *Informe geológico y minero de los yacimientos de cobre de Banyalbufar y Valldemosa, Mallorca*. Barcelona. 23 pp. + 7 figs. Inèdit.
- DARDER, B. (1914): El Triàsic de Mallorca. *Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales, Serie Geológica*, 7: 85 pp. + 1 mapa + 1 taula.
- DIEZ, J.B. (2000): *Geología y Paleobotánica de la Facies Buntsandstein en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica. Implicaciones paleogeográficas en el Peritethys Occidental*. Tesi doctoral. Universidad de Zaragoza–Université Pierre & Marie Curie, Paris VI, Saragossa i París. 424 pp.

- DIEZ, J.B., BROUTIN, J. i FERRER, J. (2005): Difficulties encountered in defining the Permian–Triassic boundary in Buntsandstein facies of the western Peritethyan domain based on palynological data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 229: 40-53.
- DIEZ, J.B., BROUTIN, J., GRAUVOGEL-STAMM, L., BOURQUIN, S., BERCOVICI, A. i FERRER, J. (2010): Anisian floras from the NE Iberian Peninsula and Balearic Islands: A synthesis. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 162: 522-542.
- FALLOT, P. (1922): *Étude Géologique de la Sierra de Majorque*. Librairie Polytechnique Ch. Béranger, París i Lieja. 16 pp. + 8 làms. + 476 pp. + 9 làms.
- FREEMAN, T. i OBRADOR, A. (1974): Paleosuelos y carbón en la zona distal del Buntsandstein español (Menorca, Mallorca, Islas Baleares). In: *Resúmenes del VII Congreso del Grupo Español de Sedimentología*: p. 56. Grupo Español de sedimentología, Bellaterra-Tremp.
- FREEMAN, T. i OBRADOR, A. (1979): Paleosoils and coal in the distal part of the Spanish Buntsandstein (Menorca and Mallorca, Balearic Islands). *Boletín de la Sociedad de Historia Natural de Baleares*, 23: 47-50.
- GALLEMÍ, J., RIBA, O., REGUANT, S., AGUSTÍ, J., ÁLVAREZ, G., CALZADA, S., CAUS, M., LÓPEZ, C., MARTINELL, J., MARTÍNEZ, R., MARTÍNEZ, X., PORTA, J. de; SANZ DE SIRIA, A., SOLÉ, N., TRUYOLS, J., TRUYOLS, M. i VIA, L.I. (eds.) (1988): *Història Natural dels Països Catalans, 15: Registre Fòssil*. Enciclopèdia Catalana, Barcelona. 478 pp.
- GAND, G., DE LA HORRA, R., GALÁN-ABELLÁN, B., LÓPEZ-GÓMEZ, J., BARRENECHEA, J.F., ARCHE, A. i BENITO, M.I. (2010): New ichnites from the Middle Triassic of the Iberian Ranges (Spain): paleoenvironmental and paleogeographical implications. *Historical Biology*, 22(1-3): 40-56.
- GÓMEZ-GRAS, D.M. (1987): *Estratigrafia física y petrología sedimentaria del Pérmico y Buntsandstein de la isla de Menorca*. Tesina de Llicenciatura. Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona. XIV + 117 pp. Inèdita.
- GÓMEZ-GRAS, D.M. (1992): *El Permotriás de las Baleares, de la Cordillera Costero Catalana y de la vertiente mediterránea de la Cordillera Ibérica: Facies y Petrología Sedimentaria*. Tesi doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona. XIX + 242 pp. + 55 figs. + 7 taules.
- GÓMEZ-GRAS, D. (1993): El Permotriás de las Baleares y de la vertiente mediterránea de la Cordillera Ibérica y del Maestrat: Facies y Petrología Sedimentaria (Parte II). *Boletín Geológico y Minero*, 104: 467-515.
- GRAUVOGEL-STAMM, L. i ÁLVAREZ-RAMIS, C. (1994): Macroflora et microflore in situ du Buntsandstein de l'île de Majorque (Baléares, Espagne). In: *Resúmenes del III Coloquio de Estratigrafía y Paleogeografía del Pérmico y Triásico de España*: 51-53. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- GRAUVOGEL-STAMM, L. i ÁLVAREZ-RAMIS, C. (1996): Conifères et pollen in situ du Buntsandstein de l'île de Majorque (Baléares, Espagne). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 20: 229-243.
- HENDERSON, C.M., SHEN, S.Z., GRADSTEIN, F.M. i AGTERBERG, F.P. (2020): Chapter 24 - The Permian Period. In: GRADSTEIN, F.M., OGG, J.G., SCHMITZ, M.D. i OGG, G.M. (eds.), *Geologic Time Scale 2020*: 875-902. Elsevier.
- HERMITE, H. (1879): *Études géologiques sur les îles Baléares. Première partie: Majorque et Minorque*. Pichon et Savy, París. 362 pp. + 5 làms.
- HERMITE, H. (1888): Estudios Geológicos de las Islas Baleares. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico*, 15: 1-244 + 4 làms.
- JUÁREZ-RUIZ, J. i WACHTLER, M. (2015): Early–middle Triassic (Anisian) fossil flora from Majorca (Spain). *Dolomythos*, 2015: 1-49.
- JUNCAL, M. (2019): *Nuevas aportaciones a la palinoestratigrafía pérmica del dominio peritético occidental*. Tesi doctoral. Universidade de Vigo, Vigo. 361 pp. Inèdita.
- LIEBRECHT, T., FORTUNY, J., GALOBART, A., MÜLLER, J. i SANDER, P.M. (2017): A large, multiple-tooth-rowed captorhinid reptile (Amniota: Eureptilia) from the Upper Permian of Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 37(1): e1251936, 1-6.
- LINOL, B., BERCOVICI, A., BOURQUIN, S., DIEZ, J.B., LÓPEZ-GÓMEZ, J., BROUTIN, J., DURAND, M. i VILLANUEVA-AMADOZ, U. (2009): Late Permian to Middle Triassic correlations and palaeogeographical reconstructions in south-western European basins: New sedimentological data from Minorca (Balearic Islands, Spain). *Sedimentary Geology*, 220: 77-94.
- LÓPEZ-GÓMEZ, J., ARCHE, A. i PÉREZ-LÓPEZ, A. (2002): Permian and Triassic. In: GIBBONS, W. & MORENO, M.T. (eds.), *The Geology of Spain*: 185-212. Geological Society, Londres.
- LÓPEZ-GÓMEZ, J., ALONSO-AZCÁRATE, J., ARCHE, A., ARRIBAS, J., FERNÁNDEZ-BARRENECHEA, J., BORRUEL-ABADÍA, V., BOURQUIN, S., CADENAS, P., CUEVAS, J., DE LA HORRA, R., DIEZ, J.B., ESCUDERO-MOZO, M.J., FERNÁNDEZ-VIEJO, G., GALÁN-ABELLÁN, B., GALÉ, C., GASPAR-ESCRIBANO, J., GISBERT-AGUILAR, J., GÓMEZ-GRAS, D., GOY, A., GREYTER, N., HEREDIA-CARBALLO, N., LAGO, M., LLORET, J., LUQUE, J., MÁRQUEZ, L.,

- MÁRQUEZ-ALIAGA, A., MARTÍN-ALGARRA, A., MARTÍN-CHIVELET, J., MARTÍN-GONZÁLEZ, F., MARZO, M., MERCEDES-MARTÍN, R., ORTÍ, F., PÉREZ-LÓPEZ, A., PÉREZ-VALERA, F., PÉREZ-VALERA, J.A., PLASENCIA, P., RAMOS, E., RODRÍGUEZ-MÉNDEZ, L., RONCHI, A., SALAS, R., SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, D., SÁNCHEZ-MOYA, Y., SOPEÑA, A., SUÁREZ-RODRÍGUEZ, Á., TUBÍA, J.M., UBIDE, T., VALERO-GARCÉS, B., VARGAS, H. i VISERAS, C. (2019): Permian-Triassic rifting stage. In: VERGÉS, J. i KULLBERG, J.C. (coord.), *The Geology of Iberia: A Geodynamic Approach. Volume 3: The Alpine Cycle*: 29–112. Springer, Cham.
- LOZANO, R. (1884): *Anotaciones físicas y geológicas de la isla de Mallorca para las aplicaciones del mapa: dedicado á la Excma. Diputación Provincial de Baleares*. Imprenta de la Casa de la Misericordia, Palma. 68 pp.
- LUCAS, S.G. (2019): An ichnological perspective on some major events of Paleozoic tetrapod evolution. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 58(3): 223-266.
- MARTÍ, J., PANIELLO, X., POMAR, L., RAMOS, E. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1985): El Triásico de las Baleares. In: MATEU IBARS, F. i MARZO, M. (eds.), *Resúmenes del II Coloquio de Estratigrafía y Paleogeografía del Pérmico y Triásico de España*: 84-85. Institut d'Estudis Ilerdencs i Grupo Español del Mesozoico, La Seu d'Urgell.
- MATAMALES-ANDREU, R., FORTUNY, J., MUJAL, E. i GALOBART, À. (2019): Tetrapod tracks from the Permian of Mallorca (western Mediterranean): preliminary data, biostratigraphic and biogeographic inferences. In: *The Palaeontological Association, 63rd annual meeting, 15th–21st December 2019*: p. 107. The Palaeontological Association, València.
- MATAMALES-ANDREU, R., MUJAL, E., DINARÈS-TURELL, J., KUSTATSCHER, E., ROGHI, G., OMS, O., GALOBART, À. i FORTUNY, J. (en preparació): Early–middle Permian ecosystems of equatorial Pangaea: integrated multi-stratigraphic and palaeontological review of the Permian of Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean).
- MATAMALES-ANDREU, R., MUJAL, R., GALOBART, À. i FORTUNY, J. (2021a): Insights on the evolution of synapsid locomotion based on tetrapod tracks from the lower Permian of Mallorca (Balearic Islands, western Mediterranean). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 579: 110589.
- MATAMALES-ANDREU, R., OMS, O., GALOBART, À. i FORTUNY, J. (2021b): Middle–Upper Triassic marine vertebrates of Mallorca (Balearic Islands, western Mediterranean). *Historical Biology*, 33(10): 2520-2533.
- MATAMALES-ANDREU, R., PEÑALVER, E., MUJAL, E., OMS, O., SCHOLZE, F., JUÁREZ, J., GALOBART, À. i FORTUNY, J. (2021c): Early–Middle Triassic fluvial ecosystems of Mallorca (Balearic Islands): Biotic communities and environmental evolution in the equatorial western peri-Tethys. *Earth-Science Reviews*, 222: 103783.
- MATAMALES-ANDREU, R., ROIG-MUNAR, F.X., OMS, O., GALOBART, À. i FORTUNY, J. (2021d): A captorhinid-dominated assemblage from the palaeoequatorial Permian of Menorca (Balearic Islands, western Mediterranean). *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 112(2): 125-145.
- MCCANN, T., PASCAL, C., TIMMERMAN, M.J., KRZYWIEC, P., LÓPEZ-GÓMEZ, J., WETZEL, A., KRAWCZYK, C.M., RIEKE, H. i LAMARCHE, J. (2006): Post-Variscan (end Carboniferous–Early Permian) basin evolution in Western and Central Europe. *Geological Society, London, Memoirs*, 32: 355-388.
- NOLAN, H. (1887): Note sur le Trias de Minorque et Majorque. *Bulletin de la Société géologique de France*, 15: 592-599.
- NOLAN, H. (1888): El Trias de Mallorca y Menorca. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico*, 15: 234-241.
- OBRADOR, A. (1983): El Pérmico de las Baleares. In: MARTÍNEZ-DÍAZ, C. (ed.), *Carbonífero y Pérmico de España, X Congreso Internacional de Estratigrafía y Geología del Carbonífero*: 463-470. Ministerio de Industria y Energía i Instituto Geológico Minero de España, Madrid.
- OGG, J.G., CHEN, Z.-Q., ORCHARD, M.J. i JIANG, H.S. (2020): Chapter 25 - The Triassic Period. In: GRADSTEIN, F.M., OGG, J.G., SCHMITZ, M.D. i OGG, G.M. (eds.), *Geologic Time Scale 2020*: 903-953. Elsevier.
- PARÉS, J.M., FREEMAN, R. i SÀBAT, F. (1989): Síntesis de los resultados paleomagnéticos de los bordes de la Cuenca Catalano-Balear. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 12: 59-74.
- PARÉS, J.M., FREEMAN, R. i ROCA, E. (1992a): Neogene structural development in the Valencia trough margins from palaeomagnetic data. *Tectonophysics*, 203: 111-124.
- PARÉS, J.M., ROCA, E. i FREEMAN, R. (1992b): Datos paleomagnéticos de los márgenes del surco de Valencia. Papel de las rotaciones en la estructuración neógena. *Física de la Tierra*, 4: 231-246.
- PEÑALVER, E., MARTÍNEZ-DELCLÒS, X. i ARILLO, A. (1999): Yacimientos con insectos fósiles en España. *Revista Española de Paleontología*, 14(2): 231-245.
- POMAR-GOMÀ, L. (1979): *The Triassic of the Balearic Islands*. Geology Department, Palma de Mallorca University, Palma. 49 pp. + 7 columnes estratigràfiques. Inèdit.
- PRETUS, J.L. i OBRADOR, A. (1987): Presencia de restos óseos en el Pérmico de Menorca (nota previa). *Bolletí de la Societat d'Història Natural de Balears*, 31: 149-152.

- RAMOS, A. (1995): Transition from alluvial to coastal deposits (Permian–Triassic) on the Island of Mallorca, western Mediterranean. *Geological Magazine*, 132(4): 435-447.
- RAMOS, A. i DOUBINGER, J. (1989): Premières datations palynologiques dans le facies Buntsandstein de l'île de Majorque (Baléares, Espagne). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, segona sèrie, 309: 1089-1094.
- RAMOS, A. i GARCÍA-RAMOS, S. (1992): Niveles de bioturbación en las facies tipo Buntsandstein del Pérmico-Triásico de Mallorca. In: GARCÍA-RAMOS, J.C. (ed.), *Reunión Monográfica sobre Biosedimentación*: 41-43.
- RAMOS, A., OLMO, P. del i ALVARO, M. (1985): El Buntsandstein de la isla de Mallorca. In: MATEU IBARS, F. & MARZO, M. (eds.), *II Coloquio de Estratigrafía y Paleogeografía del Pérmico y Triásico de España*: 103-104.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A., RAMOS-GUERRERO, E., POMAR, L., PANIELLO, X., OBRADOR, A. i MARTÍ, J. (1987): El Triásico de las Baleares. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 11: 295-321.
- ROMANO, M., BERNARDI, M., PETTI, F.M., RUBIDGE, B., HANCOX, J. i BENTON, M.J. (2020; *en premsa*): Early Triassic terrestrial tetrapod fauna: a review. *Earth-Science Reviews*, 210: 103331.
- ROSCHER, M., STORDAL, F. i SVENSEN, H. (2011): The effect of global warming and global cooling on the distribution of the latest Permian climate zones. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 309: 186-200.
- ROSELL, J., ARRIBAS, J., ELÍZAGA, E. i GÓMEZ-GRAS, D. (1988): Caracterización sedimentológica y petrográfica de la serie roja permo-triásica de la isla de Menorca. *Boletín Geológico y Minero*, 99(1): 71-82.
- ROSELL, J., GÓMEZ-GRAS, D. i ELÍZAGA, E. (1989a): *Mapa Geológico de España. Escala 1:25.000. Isla de Menorca. Cap Menorca y Ciutadella*. Segona sèrie, primera edició. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Madrid. 51 pp. + 3 mapes.
- ROSELL, J., GÓMEZ-GRAS, D. i ELÍZAGA, E. (1989b): *Mapa Geológico de España. Escala 1:25.000. Isla de Menorca. Cala en Brut i Alaior*. Segona sèrie, primera edició. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Madrid. 38 pp. + 3 mapes.
- SANTANACH, P., BANDA, E., CALVET, F., CARRERAS, J., CASAS, J.M., FONTBOTÉ, J.M., FORNÓS, J., GISBERT, J., JULIVERT, M., MARZO, M., RODRÍGUEZ-PEREA, A., SALAS, R. i SOUQUET, P. (eds.) (1986): *Història Natural dels Països Catalans, 1: Geologia (I)*. Enciclopèdia Catalana, Barcelona. 439 pp.
- SCOTESE, C.R. (2014a): Atlas of Permo-Carboniferous Paleogeographic Maps, maps 53 – 64 from Volume 4 of the PALEOMAP Atlas for ArcGIS (Late Paleozoic), Mollweide Projection, PALEOMAP Project, Evanston, Illinois.
- SCOTESE, C.R. (2014b): Atlas of Middle & Late Permian and Triassic Paleogeographic Maps, maps 43 – 48 from Volume 3 of the PALEOMAP Atlas for ArcGIS (Jurassic and Triassic) and maps 49 – 52 from Volume 4 of the PALEOMAP Atlas for ArcGIS (Late Paleozoic), Mollweide Projection, PALEOMAP Project, Evanston, Illinois.
- SHCHERBAKOV, D.E., LUKASHEVICH, E.D. i BLAGODEROV, V.A. (1995): Triassic Diptera and initial radiation of the order. *Journal of Dipterological Research*, 6(2): 75-115.
- SCHOLZE, F. i MATAMALES-ANDREU, R. (2021). Triassic clam shrimps ("Conchostraca"; Branchiopoda: Diplostraca) from Mallorca: Taxonomic description and interregional comparisons. *Zootaxa*, 4964(3): 471-496.
- SINITSHENKOVA, N.D. (2000): A review of Triassic mayflies, with the description of new species from Western Siberia and Ukraine (Ephemera = Ephemeroptera). *Paleontological Journal*, 34 (3): S275-S283.
- VERA, J.-A., ALONSO-CHAVES, F.M., ANDREO, B., ARIAS, C., AZAÑÓN, J.M., BALANYÁ, J.C., BARÓN, A., BOOTH-REA, G., CASTRO, J.M., CHACÓN, B., COMPANY, M., CRESPO-BLANC, A., DELGADO, F., DÍAZ DE FEDERICO, A., ESTERAS, M., ESTÉVEZ, A., FERNÁNDEZ, J., FORNÓS, J.J., GALINDO-ZALDÍVAR, J., GARCÍA-CASCO, A., GARCÍA-DUEÑAS, V., GARCÍA-HERNÁNDEZ, M., GARRIDO, C.J., GEA, G.A. de; GELABERT, B., GERVILLA, F., GONZÁLEZ-LODEIRO, F., JABALOY, A., LÓPEZ-GARRIDO, A.C., LUJÁN, M., MARTÍN-ALGARRA, A., MARTÍN-CHIVELET, J., MARTÍN-MARTÍN, M., MOLINA, J.M., MORATA, D., NIETO, J.M., OBRADOR, A., O'DOGHERTY, L., OROZCO, M., PÉREZ-LÓPEZ, A., POMAR, L., PUGA, E., RAMOS, E., REY, J., RIVAS, P., RODRÍGUEZ-CAÑERO, R., RUIZ-CRUZ, M.D., RUIZ-ORTIZ, P.A., SÀBAT, F., SÁNCHEZ-GÓMEZ, M., SÁNCHEZ-NAVAS, A., SANDOVAL, J., SANZ DE GALDEANO, C., SOTO, J.I., TORRES-ROLDÁN, R.L. i VILLAS, L. (2004): Cordillera Bética y Baleares. In: VERA, J.-A. (ed.), *Geología de España*: 346-464. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- ZESSIN, W. (2008a): Einige neue Insekten aus der Unteren Trias (Buntsandstein) von Mallorca, Spanien (Blattaria, Coleoptera, Diptera, Heteroptera und Megaloptera). *Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie – Nachrichten*, 22(1): 20-21.
- ZESSIN, W. (2008b): Neue Insekten aus der Unteren Trias (Buntsadstein) von Mallorca, Spanien (Blattaria, Coleoptera, Diptera, Heteroptera, Orthopteroidea und Homoptera). *Virgo, Mitteilungsblatt des Entomologischen Vereins Mecklenburg*, 11(1): 99-101.

*Nota: Els autors volen fer constar que per indicació dels editors –els quals s’acullen als criteris de l’Institut d’Estudis Catalans i allò que recomanen els manuals d’estil a l’ús (cf. Optimot), de més a més de mantenir la unitat d’estil de tota la monografia– i en contra de l’opinió dels autors, la terminologia cronoestratigràfica i geocronològica s’ha posat sempre en minúscula.*

---

Data recepció: 30.03.21

Data revisió: 08.06.21

Revisió acceptada: 26.06.21





# THE EARLY-MIDDLE TRIASSIC OF ARRAN (SCOTLAND): A DRYLAND TERMINAL FLUVIAL-PLAYA LAKE SYSTEM

Lars B. Clemmensen <sup>1</sup> and Carina F. Hansen <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Geosciences and Natural Resource Management, University of Copenhagen,  
Øster Voldgade 10, Dk-1350 Copenhagen K, Denmark

<sup>2</sup> Skovhøget 4, DK-3460 Birkerød, Denmark

**Abstract:** The Early-Middle Triassic sediments at Largybeg point on the isle of Arran (southwestern Scotland) were deposited on northern Pangaea at about 25° N. The sediments comprise a retrogradational dryland terminal fluvial system (Lamlash Sandstone Formation) overlain by a playa lake system (Auchenhew Mudstone formation). The proximal part of the dryland terminal fluvial system is composed of clast-rich channel sandstones, while the distal part of this system is dominated by sheetflood sandstones. The distal fluvial sediments are associated with red siliciclastic sabkha deposits, and thin sandstone sheets of aeolian origin. The overlying playa lake deposits are composed of red mudstones and heterolithic sediments with abundant wave ripples and evidence of common subaerial exposure. The playa lake sediments form thin shallowing-upward successions topped by aeolian or mixed aeolian and wave-reworked sand sheets. The studied sediments have many features in common with other Early-Middle Triassic terrestrial systems in Europe, which were deposited during an overall arid climate; monsoons brought precipitation to the Scottish Highlands and drove fluvial transport southwards into the Arran Basin. North-northeasterly winds blew sand across the sabkhas and dry playa surfaces.

**Key words:** *Triassic, sandstone, fluvial, playa-lake, aeolian, Arran, Scotland.*

**Resum:** Els sediments del triàsic mitjà de Largybeg a l'illa d'Arran (SW d'Escòcia) es depositaren al nord de Pangea; a una latitud estimada de 25°N. Es tracta d'un conjunt de dipòsits característics d'un sistema fluvial terminal retrogradacional d'ambient àrid (Fm de gresos Lamlash) als que se superposa un sistema de *playa-lake* (Fm lutítica d'Auchenhew). La part proximal del sistema fluvial està formada per gresos canalitzats amb abundants clasts, mentre que les zones distals del sistema es caracteritzen pel domini de gresos resultat de l'acció de l'escolament en mantell. Aquests dipòsits fluvials distals duen associats dipòsits siliciclàstics vermellosos típics d'ambient de sabkha, així com paquets d'escassa potència de gresos d'origen eòlic. Tot el conjunt està recobert per sediments polimíctics i lutites vermelles corresponents a un ambient de *playa-lake*, amb abundants ripples d'onatge i evidències de períodes d'exposició subaèria. En conjunt, la seqüència presenta una successió cap a aigües de cada cop més somes, a sostre queda recoberta per capes d'arenas eòliques o bé d'arenas remanegades per l'onatge i el vent. Les seqüències descrites tenen moltes característiques en comú amb altres sistemes de deposició terrestre del triàsic inferior i mitjà d'Europa, que foren depositades en un context de clima àrid, amb períodes humits associats al monsó que descarregant sobre les Terres Altes escoceses menaren el transport fluvial cap el sud vers la conca d'Arran. Els vents procedents del nord i el nord-est transportaren arreu les arenas tot creuant els sebkhas y les superfícies d'inundació properes.

**Paraules clau:** *Trias, gres, fluvials, playa-lake, eòlic, Arran, Scotland.*

## Introduction

Early Triassic fluvial depositional systems are widely distributed in southern, central and northwestern Europe. Well-exposed localities are present on the Balearic Islands (Fig. 1; RAMOS, 1995; LINOL *et al.* 2009), Sardinia (COSTAMAGNA, 2012), in Spain (e.g. GALÁN-ABELLÁN *et al.*, 2013), SE France and Germany (e.g. BURQUIN *et al.*, 2009), and in the UK (e.g. JONES & AMBROSE, 1994). These Early Triassic fluvial systems in Europe all formed on the northern hemisphere on the super continent Pangaea. Palaeolatitude 20° N ran through northern France and southernmost England (BOURQUIN *et al.*, 2011). Climate modelling suggests that most parts of Europe had annual surface temperatures of more than 30° C and an arid climate (PERON *et al.*, 2005). Although precipitation was scarce over large parts of low-lying areas in Europe, enhanced precipitation in the mountains over Fennoscandia and the Scottish Highlands has been proposed (PERON *et al.*, 2005; MCKIE & WILLIAMS, 2009; MCKIE, 2014).



**Fig. 1.** Lower Triassic, fluvial deposits; costal exposure on north coast of Mallorca, 1 km NW of Cala Estellencs. The cross-bedded sandstones are fine- to medium-grained and well sorted, which might indicate fluvial reworking of aeolian deposits. Pencil as scale.

Precipitation was related to summer monsoons and this precipitation drove terminal fluvial systems across large part of northern and central Europe (MCKIE, 2014).

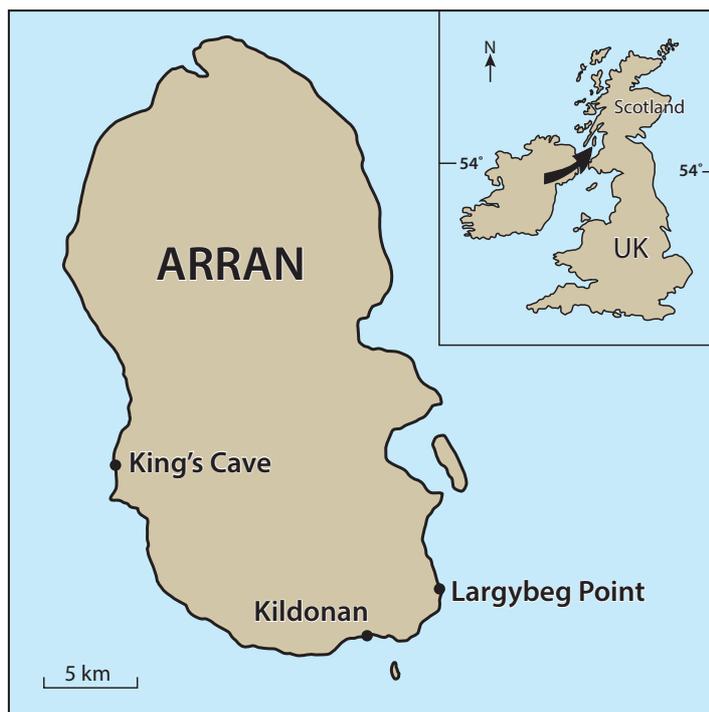
In this study we will give a first detailed description of Early Triassic fluvial and overlying Middle Triassic playa lake deposits on Arran, SW Scotland (Fig. 2) and relate the characteristics of the sedimentary deposits to those described from Triassic dryland terminal fluvial and associated playa lake systems in northwest Europe (MCKIE & WILLIAMS, 2009; MCKIE, 2014). New data on past fluvial transport direction as well as local palaeowind directions deduced from aeolian sandstones and wave ripple mark orientations are given.

### Geological setting

The sedimentary basin on Arran contains up to 900 m of Permo-Triassic (New Red Sandstone) deposits (WARRINGTON, 1973). While the sedimentary characteristics, depositional environments, and palaeoclimatic framework of the Permian deposits have been described in some details (e.g. CLEMMENSEN & ABRAHAMSEN, 1983; FREDERIKSEN *et al.*, 1998), the sedimentology of the Triassic deposits has so far received less attention. The Triassic sediments are exposed at several sites along the shores of the southeastern, southern and western part of the island (Fig. 2). At most sites, however, these sedimentary successions are repeatedly broken by dykes and sills (e.g. POLLARD & STEEL, 1978).

The Early Triassic Sherwood Sandstone Group is present in large parts of England, Wales and SW Scotland (AMBROSE *et al.*, 2014); it is overlain by the Middle Triassic Mercia Mudstone Group. At Largybeg Point at the southeast coast of Arran, sediments of the Early Triassic Sherwood Group is represented by the Lamlash Sandstone Formation (Lamlash Beds), (WARRINGTON *et al.*, 1980; CLARK

& CORRANCE, 2009; AMBROSE *et al.*, 2014), which here has a thickness of 53 m. It is overlain by sediments of the Mercia Mudstone Group represented here by the Auchenhew Mudstone Formation (Auchenhew Beds), (WARRINGTON *et al.*, 1980; CLARK & CORRANCE, 2009). These latter sediments have here an exposed thickness of approximately 13 m. Deposits of the Auchenhew Mudstone Formation are also seen at several sites on the south and west coast of Arran (POLLARD & STEEL, 1978). The Lamlash Sandstone Formation is considered to be of Early Triassic age while the overlying Auchenhew Mudstone Formation is mostly of Middle Triassic age; miospores obtained at the base of the Auchenhew Mudstone Formation close to the study locality at Largybeg Point give at late Scythian (Early Triassic) to Anisian (early Middle Triassic) age (WARRINGTON, 1973).



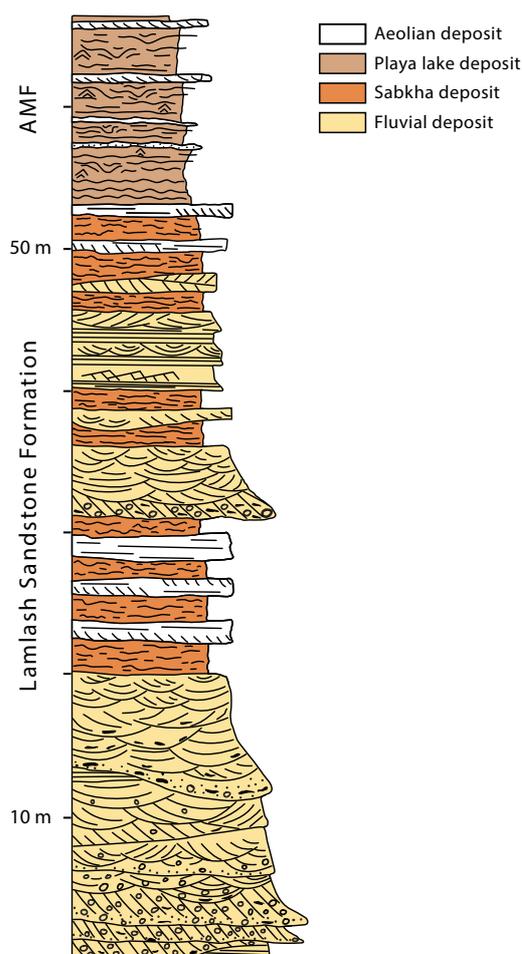
**Fig. 2.** Map showing Arran in SW Scotland with main Triassic localities. At Largybeg Point both the Lamlash Sandstone Formation and the Auchenhew Mudstone Formation are seen. At Kildonan and King's Cave only the Auchenhew Mudstone Formation is present.

## Methods

The deposits of the Lamlash Sandstone and Auchenhew Mudstone Formations have been studied in detail at the coastal exposures at Largybeg Point at the southeast coast of Arran (Fig. 2); supplementary studies of the Auchenhew Mudstone Formation were carried out at exposures on the south and west coast of the island (Fig. 2). A sedimentary log was measured at Largybeg Point and sediments divided into characteristic sedimentary facies. Cross beds in fluvial deposits were measured to obtain data on fluvial palaeo-transport directions, and crossbeds in wind-deposited sandstones were likewise used to obtain data on palaeowind directions. Supplementary information on palaeowind directions were obtained from orientation of wave ripple marks seen on exposed bedding surfaces in the playa lake deposits. Ten sediment samples from presumed aeolian sandstones were collected and after disintegration of the loosely cemented sediment, grain-size analysis was carried out.

## Results

The sediments at Largybeg Point form a dryland terminal fluvial system (0–53 m) overlain by a playa lake system (53–66 m), (Fig. 3). The section is initiated by a basic dyke and four more dykes interrupt the succession; however, little sediment appears to be missing in the measured section. In more detail the succession is composed of the following sedimentary units: channel deposits (0–20 m), interbedded sabkha and aeolian sand sheet deposits (20–31 m), channel deposits (31–36 m), interbedded sheetflood and sabkha deposits (36–47 m), interbedded sabkha and aeolian sand sheet deposits (47–53 m), and playa lake deposits with subordinate aeolian sand sheet deposits (53–66 m), (Fig. 3).



**Fig. 3.** Simplified log of depositional systems at Largybeg Point. Note the overall fining-upward of the succession with fluvial and sabkha deposits of a dryland terminal fluvial system at the base (Lamlash Sandstone Formation) and deposits of a playa lake system at the top in the Auchenhew Mudstone Formation, AMF. The dryland terminal fluvial systems display two smaller-scale fining-upward successions. The lower one (0-31 m) is composed of channel deposits overlain by interbedded sabkha and aeolian sand sheet deposits. The second one (31-53 m) is composed of channel deposits overlain by interbedded sheetflood and sabkha deposits with two aeolian sand sheet deposits at the top.

#### *Sheetflood deposits*

These deposits are composed of horizontally laminated sandstone, large-scale cross-bedded sandstone, small-scale (ripple) cross-laminated muddy sandstone, and wavy to irregularly laminated muddy sandstone. The sandstones form units with thicknesses between 1 and 5 m that are separated by sabkha deposits; sandstone units can be traced laterally across most of the outcrops. Mud clasts are common in the sandstones, while extraformational clasts are rare. In the more mud-rich deposits likely adhesion ripple as well as irregular structures possibly formed by aeolian deposition on a salt-crust

#### *Dryland terminal fluvial system*

Sediments of this system are composed of channel deposits, sheetflood deposits, aeolian sand sheet deposits, and sabkha deposits (Fig. 3). Sediments of the dryland terminal fluvial system belongs to the Lamlash Sandstone Formation.

#### *Channel deposits*

These deposits are primarily composed of clast-rich sandstones displaying large-scale tabular and trough cross bedding (Figs. 4, 5, 6). Cross beds indicate dominant sediment transport towards the south (see later). Clasts are both of extraformational and intraformational origin. Extraformational clasts are up to 12 cm large and typically rounded, while intraformational clasts are dominated by angular red and green mudstone fragments. The clasts-rich sandstones form units up to a few m in thickness. Associated facies are very fine- to medium-grained sandstones with horizontal lamination, and red mudstone that are massive or display wavy bedding, and/or incipient small-scale (ripple) cross lamination. The horizontally laminated sandstones occur in layers with thicknesses between 5 and 100 cm, while the mudstones occur in layers with thicknesses between a few and 30 cm. The channel facies are typically arranged in crude fining-upward succession with thicknesses from less than 1 m to almost 4 m. These successions are initiated by an erosion surface overlain by a conglomerate. The fining-upward successions are arranged in two multi-storey units forming a lower unit with channel deposits (0-20 m) and an overlying unit with channel deposits (31-36 m) separated by around 12 m of sabkha deposits with subordinate aeolian sand sheet deposits (Fig. 3). There is a complete lack of bioturbation, and no soil features were observed in the channel deposits.

The channel deposits are here interpreted to represent low-sinuosity, bedload-dominated streams; they share many characteristics with the conglomeratic fluvial and sand-prone, channel confined successions of MCKIE & WILLIAMS (2009).



**Fig. 4** Channel deposits; Largybeg Point. Cross-bedded pebbly sandstones overlie, with an erosive contact, flat-bedded to structureless sandstones. Outcrop viewed from the NNE. Ruler is 20 cm long.

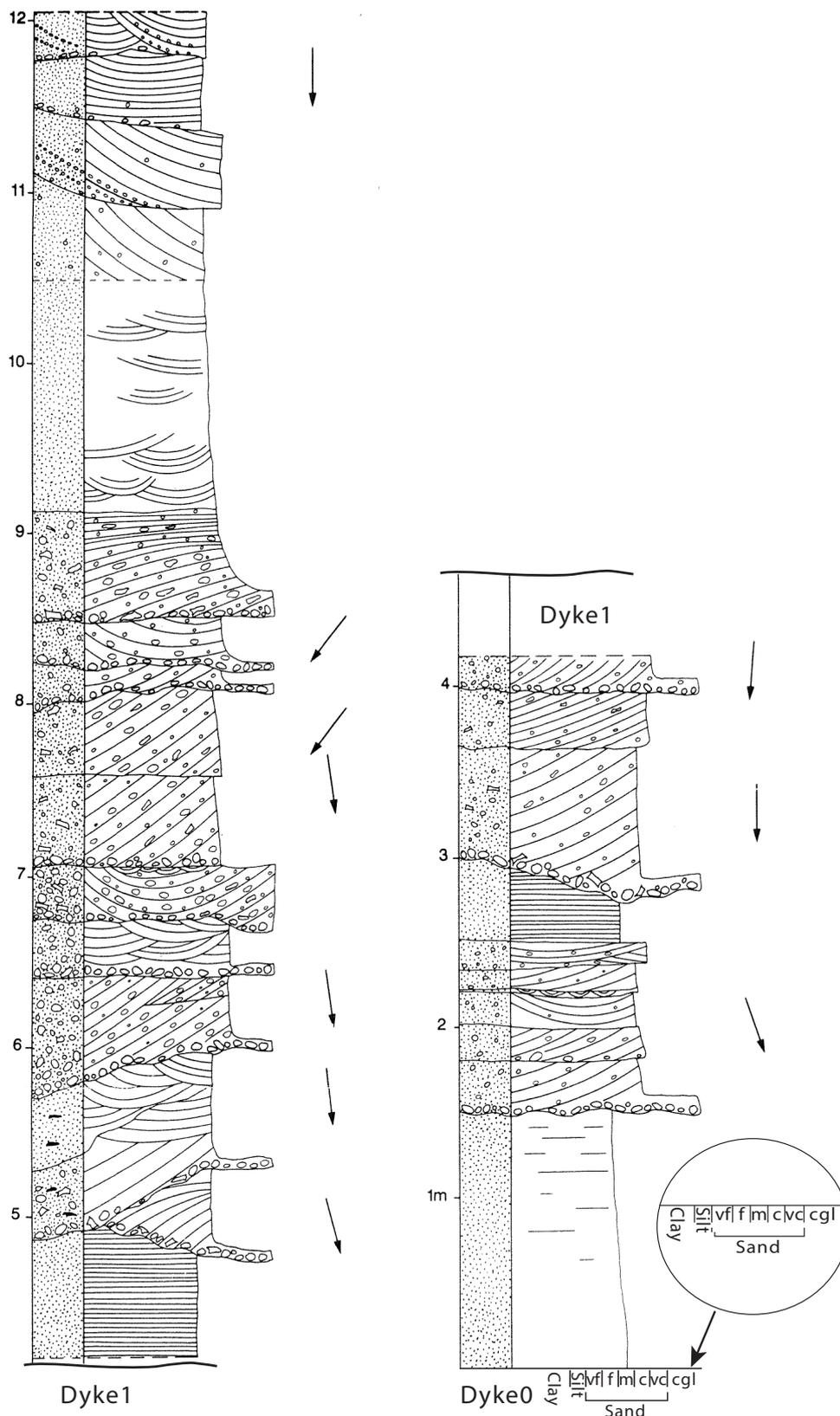
surface are present. Horizons with deformation structures are present. The sheetflood deposits occur in close association with sabkha deposits and form the middle part of the succession (36–47 m), (Figs 3, 7). No soil features have been observed.

These sediments are interpreted to represent largely unconfined stream flows that deposited sediments on relatively dry sabkha surfaces. The deposits share many characteristics with the terminal splay and associated distal fluvial deposits of MCKIE (2014). Only few of the fluvial and associated sediments, however, displays coarsening-upward units, a feature that according to MCKIE (2014) should characterize terminal splay deposits. Overall arid conditions during deposition of the sediments are indicated by possible adhesion structures and/or salt-crust structures in the more mud-rich facies.

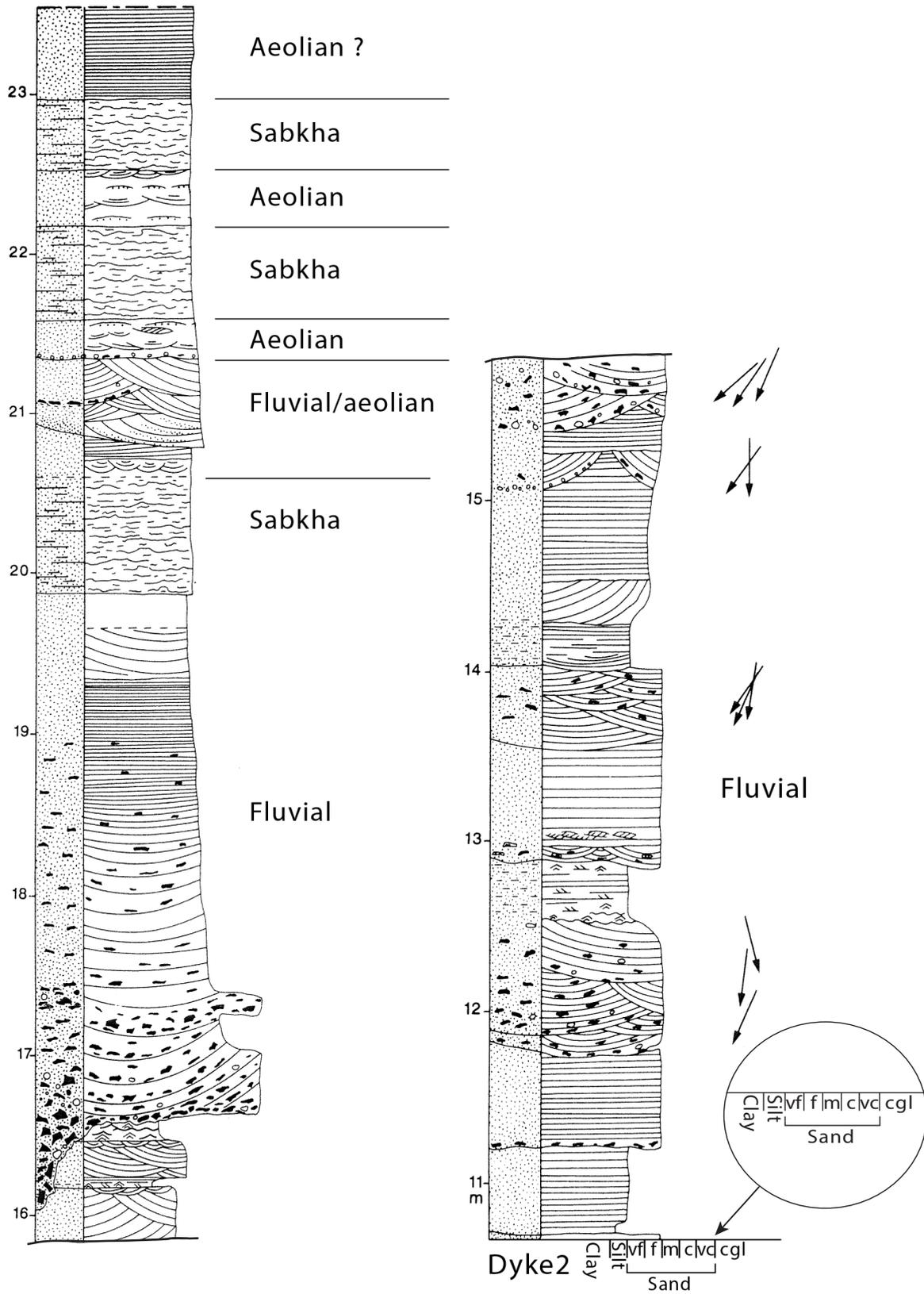
#### *Sabkha deposits*

These deposits constitute red and variegated mud-rich to heterolithic, fine-grained sandstone beds with typical bed thicknesses between 40 and 70 cm. Most of the sand is composed of quartz grains. Sedimentary structures include irregular and wavy bedding (Fig. 8), and possible adhesion ripple structures together with likely salt ridge and crust structures. Deformation structures of varying sizes are common (Fig. 9). Sabkha deposits are associated with thin aeolian sand sheet deposits (20–31 m and 47–53 m) or with sheetflood deposits (36–47 m), (Figs 3, 6, 7).

These sediments share a number of characteristics with the dry playa deposits of MCKIE (2014), but in the present context we prefer to classify this environment as a detrital-dominant inland sabkha (FRYBERGER *et al.*, 1983). The sabkha deposits are arenaceous and the quartz grains are primarily of aeolian origin. During longer dry periods, wind transported sand across the sabkha surface and formed thin aeolian sand sheets. Many of the deformation structures in these sediments probably formed by



**Fig. 5.** Detailed log of channel deposits in the dryland terminal fluvial system (1-12 m); Largybeg Point. The succession shows a number of channel sequences; the best developed of these are initiated by a lag conglomerate overlain by trough and/or planar cross-bedded pebbly sandstone. Palaeocurrents are consistently directed towards the south.



**Fig. 6.** Detailed log of channel deposits (11-20 m) overlain by interbedded sabkha and aeolian sand sheet deposits (20-23.5 m); Largybeg Point. One major channel succession is seen between 16 and 20 m. Small overlap in thickness between the two logs is due to shifting of line of measurement due to crossing of a dyke.





**Fig. 7.** Interbedded sabkha and fluvial sheetflood deposits (dyke in background); Largybeg Point. Outcrop viewed from the NNE.

reptilian animals crossing the sabkha surface. On exposed bedding planes in the overlying Auchenhew Mudstone Formation trackways and individual chirotheriid footprints are relatively common (CLARK & CORRANCE, 2009).

#### *Aeolian sand sheet deposits*

These deposits form five discrete sandstone units with thicknesses between 20 and 110 cm (an additional four of these aeolian sandstone beds are present in the overlying playa lake system; Fig. 3). The sandstones are white or light grey, relatively loosely cemented and composed of fine- to medium-grained, relatively well-sorted quartz sand. Individual sandstone beds are sheet-like in geometry with well-defined upper and lower boundaries (Fig. 8). They are closely associated with red or variegated sabkha deposits (20-31 m and 47-53 m; Figs 6, 8), but are also present in association with playa lake deposits (53-66 m). Sedimentary structures in the sandstone beds include high- and low-angle cross bedding (Fig. 8), and horizontal lamination; a few beds appear structureless. Both sandflow and wind-ripple (pinstripe) stratification are present in the cross-bedded units. A few sandstone beds contain thin intervals with mud clasts. Most of the aeolian sandstones with cross beds indicate aeolian sand movement towards southwesterly directions (see later).

Sand in this facies was brought to the area by wind; it strongly resembles the aeolian sand sheet deposits described from the Lower Triassic on the isle of Helgoland in the German Bight (CLEMMENSEN, 1991) as well as the small-scale, isolated dune deposit in cores from the Lower Triassic in the Dutch North Sea (MCKIE, 2014). Local and intermittent water reworking of the aeolian deposits is indicated by the surfaces lined with mud clasts. Similar features related to occasional water reworking are also seen in the aeolian sand sheet deposits on Helgoland (CLEMMENSEN, 1991). The presence of this facies indicates repeated episodes of aeolian sand transport across a dry sabkha surface. Sand transport resulted sometimes in the formation of small aeolian sand dunes; larger-scale aeolian sand dune accumulation was inhibited probably by general high water tables and by a low sand supply.

*Playa lake system*

Sediments of this system are composed primarily of lake deposits and aeolian sand sheet deposits (Fig. 3). Sediments of the playa lake system belongs to the Auchenhew Mudstone Formation.

*Lake deposits*

These deposits form closely associated beds of mudstone, heterolithic sediments and muddy sandstone; beds vary in thickness between 5 and 200 cm and are of large lateral persistence. The mudstones typically display faint horizontal lamination and contain casts after halite crystals. The heterolithic sediments have wave ripple structures, and exposed bedding planes show symmetrical to slightly asymmetrical wave ripples mostly trending north-south (see later). Desiccation features including polygonal desiccation patterns on bedding planes are common in these deposits. The muddy sandstones are massive or have irregular to wavy lamination; locally cm-large nodules primarily filled with calcite are present. Deformation structures are rather common in these sediments.

These sediments are interpreted as playa lake deposits; they share many characteristics with the playa deposits of MCKIE & WILLIAMS (2009) and the wet playa deposits of MCKIE (2014). While most of the facies were deposited in shallow lake water, repeated episodes of subaerial exposure are given by the desiccation features; during these periods with a dry (or almost dry lake bottom) reptilian animals seemingly crossed the area creating deformation structures in the soft lake sediments. A few trackways similar to those described by CLARK & CORRANCE (2009) were observed by the authors. Gypsum/anhydrite nodules (now replaced by calcite) and halite crystal formed during periods of lake low stands from evaporation of saline pore water. This interpretation of the sediments as playa-lake deposits is new; POLLARD & STEEL (1978) saw these sediments as tidal flat deposits.



**Fig. 8.** Whitish aeolian sand sheet deposit over- and underlain by red, wavy bedded, muddy sandstones of the sabkha facies. The aeolian sandstone shows high-angle cross-bedding formed by the migration of a small dune; Largybeg point. Outcrop viewed from the NNE. Photo cap as scale.

*Aeolian sand sheet deposits*

The sedimentary characteristics of these deposits have already been described above from the Lamash Sandstone Formation. In the Auchenhew Mudstone Formation exposed at Largybeg Point four of these thin aeolian sandstone beds are observed (Fig. 3). At the south and west coast of Arran similar thin aeolian sandstones are recognized at several sites with sediment exposures of the Auchenhew Mudstone Formation. Some of them display sedimentary structures like high-angle and low-angle cross-bedding indicative of aeolian sand transport, while others contain intervals with wave ripple structures. The aeolian sediments frequently occur on top of small-scale shallowing-upward successions (typical thicknesses are between 0.5 to 1.5 m); fine examples are seen on the south and west coast of Arran (Fig. 9). These deposits formed by aeolian sand transport across a dry playa surface. The wave-rippled intervals indicate that some aeolian sand flats repeatedly were inundated by lake water. The repeated presence of the aeolian deposits (and/or water-reworked aeolian sediments) at the top of the shallowing-upward successions probably indicates climatic control of water level in the playa lake. Mud was deposited during lake highstands and heterolithic sabkha sediment during falling water stages until aeolian sedimentation prevailed (at times interrupted by brief period of wave reworking) during lake low stands. This interpretation of the sandstone bodies as aeolian is new; POLLARD & STEEL (1978) saw these sediments as sandy tidal flat deposits.

**Palaeocurrents and palaeowinds**

Cross-bed data in the channel facies ( $n = 127$ ) indicate consistent fluvial transport towards the south (present coordinates). The rivers drained off the Scottish Highlands, probably driven by Tethyan monsoons, and flowed into the playa system in the Arran Basin. Similar endorheic discharge also characterized nearby Early Triassic basins in northwest Europe (MCKIE, 2014).



**Fig. 9.** Isolated outcrop of sediments from the Auchenhew Mudstone Formation, Kildonan (south coast of Arran).

The playa system was influenced by aeolian processes and during dry periods aeolian sand deposits formed. Cross beds in aeolian dune deposits ( $n = 36$ ) indicate prevailing wind transport towards southwesterly directions (present coordinates); a few cross beds indicate wind transport towards north- The deposits show a shallowing- upward succession composed of the following facies from the base and upwards: playa mudstone (red), sabkha deposit (green), interbedded wet aeolian sand sheet and sabkha deposits (white with thin green layers), and dry aeolian sand sheet deposit with low-angle cross bedding (white). Note deformation structures in the green sabkha deposit. Photo cap for scale.

easterly or northwesterly directions. As Europe has been rotated about  $18^\circ$  clockwise since the Late Permian (POCHAT *et al.*, 2005), it is inferred that dominant palaeowinds blew from north-northeasterly directions. Arran was situated at approximately  $25^\circ$  N in the Early Triassic (Bourquin *et al.*, 2011). This would imply that the deduced palaeowinds probably were dry season trade winds.

Orientation of wave ripples in ancient shallow lacustrine deposits has been used as a proxy for palaeowind direction (e.g. POCHAT *et al.*, 2005). The wave ripples ( $n = 127$ ) in the playa lake deposits at Largybeg Point are trending N-S ( $350^\circ$ - $170^\circ$ ) with only little variation. Corrected for clockwise rotation of  $18^\circ$ , it can be inferred that winds forming the wave ripples in shallow water blew either from west-southwesterly or from east-northeasterly directions.

## Discussion and Conclusions

The Lamlash Sandstone and Auchenhew Mudstone Formations at Largybeg Point form an overall fining-upward succession of sediments from a dryland terminal fluvial system overlain by sediments from a playa lake system (Fig. 3). This trend could indicate a retrogradation of the fluvial system with time probably connected to a long-term shift in climate towards more arid. A similar climatic trend is observed in Lower Triassic terrestrial sediments in core data from the Central North Sea, here fluvial sandstones from the Early Triassic (Olenikian) are gradually replaced by playa mudstones in the late Early Triassic and early Middle Triassic (Anisian), (MCKIE, 2014).

The overall characteristics of the fluvial deposits in the Early Triassic Lamlash Sandstone Formation resemble those given for a dryland terminal fluvial system by MCKIE (2014). The channelled deposits presumably formed in the more proximal part of the system, while the sheetflood deposits formed in the distal part of the system at the fringe of the inland sabkha/playa lake. A lack of coarsening-upward successions in the presumed terminal splay deposits is tentatively explained by relatively low water levels in the adjacent playa lake. Repeated aeolian activity is evidence of an overall dry climate. It is envisaged that summer monsoon brought precipitation to the Scottish Highlands and that rivers draining this highland transported sand southwards into the Arran Basin. Aeolian sand transport across the basin took place in the dry season and resulted in the formation of thin aeolian sand sheet deposits with local development of small aeolian dunes. Sand-transporting winds were primarily from northeasterly directions (present coordinates) and north-northeasterly directions in an Early Triassic context.

The origin of sediments in the Middle-Late Triassic Mercia Mudstone Group and time equivalent deposits in the UK and nearby areas has long been an issue of debate (e.g. TALBOT *et al.*, 1994; RUFFELS & HOUNSLOW, 2006; MCKIE & WILLIAMS, 2009). While some have regarded the sediments as marine or influenced by marine water, most now consider the sediments as strictly continental. In addition the origin of the Auchenhew Mudstone Formation on Arran has received different views. WARRINGTON (1973) suggested marine influence based on the occurrence of miospores with marine affinity at the base of this unit, and POLLARD & STEEL (1978) interpreted these sediments as intertidal. While it is possible that the basin occasionally was influenced by marine water, we see no evidence for persistent tidal conditions in the sediments. The coarsening-upward successions topped by sandy deposits interpreted as prograding intertidal flat sequences by POLLARD & STEEL (1978) are here shown to represent shallowing-up successions in a playa lake that eventually dried up and was covered with a thin sand sheet of aeolian or mixed aeolian and water-lain origin.

## References

- AMBROSE, K., HOUGH, E., SMITH, N.J.P. & WARRINGTON, G. (2014): Lithostratigraphy of the Sherwood Sandstone Group of England, Wales and south-west Scotland. *Geology and Regional Geophysics Directorate. Research Report RR/14/01*: 50 pp.
- BURQUIN, S., GUILLOCHEAU, F. & PÉRON, S. (2009): Braided rivers within an arid alluvial plain (example from the Lower Triassic, western German Basin): recognition criteria and expression of stratigraphic cycles. *Sedimentology*, 56: 2235-2264.
- BURQUIN, S., BERCOVICI, A., LÓPEZ-GÓMEZ, J., DIEZ, J.B., BROUTIN, J., RONCHI, A., DURAND, M., ARCHÉ, A., LINOL, B. & AMOUR, F. (2011): The Permian-Triassic transition and the onset of Mesozoic sedimentation at the northwestern peri-Tethyan domain scale: Palaeogeographical maps and geodynamic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 299: 265-280.
- CLARK, N.D.L. & CORRANCE, H. (2009): New discoveries of *Isochirotherium herculis* (Egerton 1938) and a reassessment of chirotherid footprints from the Triassic of the Isle of Arran, Scotland. *Scottish Journal of Geology*, 45: 69-82.
- CLEMMENSEN, L.B. (1991): Controls on aeolian sand sheet formation exemplified by the Lower Triassic of Helgoland. *Acta Mechanica, Suppl. 2*: 161-170.
- CLEMMENSEN, L.B. & ABRAHAMSEN, K. (1983): Aeolian stratification and facies association in desert sediments, Arrand basin (Permian) Scotland. *Sedimentology*, 30: 311-339.
- COSTAMAGNA, L.G. (2012): Alluvial, aeolian and tidal deposits in the Lower to Middle Triassic "Buntsandstein" of NW Sardinia (Italy): a new interpretation of the Neo-Tethys transgression. *Z. dt. Ges. Geowis.*, 163: 165-183.
- FREDERIKSEN, K.S., CLEMMENSEN, L.B. & LAWÆTZ, H.S. (1998): Sequential architecture and cyclicity in Permian desert deposits, Brodick Beds, Arran, Scotland. *Journal of the Geological Society, London*, 155: 677-683.
- FRYBERGER, S.G., AL-SARI, A. & CLISHAM, T.J. (1983): Eolian dune, interdune, sand sheet, and siliciclastic sabkha sediments of an offshore prograding sand sea, Dharan area, Saudi Arabia. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 67: 280-312.
- GALLÁN-ABELLÁN, B., LÓPEZ-GÓMEZ, J., BARRENECHA, J.F., MARZO, M., DE LA HORRA, R. & ARCHE, A. (2013): The beginning of the Buntsandstein cycle (Early-Middle Triassic) in the Catalan ranges, NE Spain: Sedimentary and palaeogeographic implications. *Sedimentary Geology*, 296: 86-102.
- JONES, N.S. & AMBROSE, K. (1994): Triassic sandy braidplain and aeolian sedimentation in the Sherwood Sandstone Group of the Sellafeld area, west Cumbria. *Proceeding of the Yorkshire Geological Society*, 50: 61-76
- LINOL, B., BERCOVICI, A., BOURQUIN, S., DIEZ, J.B., LÓPEZ-GÓMEZ, J., BROUTIN, J., DURAND, M. & VILLANUEVA-AMADOZ, U. (2009): Late Permian to Middle Triassic correlations and palaeogeographical reconstructions in south-western European basins: New sedimentological data from Minorca (Balearic Islands, Spain). *Sedimentary Geology*, 220: 77-94.
- MCKIE, T. (2014): Climatic and tectonic controls on Triassic dryland terminal fluvial system architecture. *Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ.*, 46, 19-58.
- MCKIE, T. & WILLIAMS, B. (2009): Triassic palaeogeography and fluvial dispersal systems across the northwest European Basins. *Geological Journal*, 44. 711-741.
- PERON, S., BOURQUIN, S., FLUTEAU, F. & GUILLOCHEAU, F. (2005): Paleoenvironment reconstructions and climate simulations of the Early Triassic. Impact of water and sediment supply on the preservation of fluvial systems. *Geodinamica Acta*, 18: 431-446.
- POCHAT, S., VAN DEN DRIESSE, J., MOUTON, V. & GUILLOCHEAU, F. (2005): Identification of Permian palaeowinds direction from wave-dominated lacustrine sediments (Lodève basin, France). *Sedimentology*, 52: 809-825.
- POLLARD, J.E. & STEEL, R. (1978): Intertidal sediments in the Auchenheew Beds (Triassic) of Arran. *Scottish Journal of Geology*, 14: 317-328.
- RAMOS, A. (1995): Transition from alluvial to coastal deposits (Permian-Triassic) on the Island of Mallorca, western Mediterranean. *Geological Magazine*, 132: 435-447.

- RUFFEL, A. & HOUNSLOW, M. (2002): Triassic: seasonal rivers, dusty deserts and saline lakes. In RAWSON, P.F. & BRENCHLEY, P. (Eds.) *The Geology of England & Wales*: 295-325. Geological Society of London, London.
- TALBOT, M.R., HOLM, K. & WILLIAMS, M.A.J. (1994): Sedimentation in low-gradient desert margin systems. A comparison of the Late Triassic of northwest Somerset (England) and the late Quaternary of east-central Australia. *Geological Society of America. Special Paper*, 289: 97-117.
- WARRINGTON, G. (1973): Miospores of Triassic age and organic-walled microplanton from the Auchenhew Beds, south-east Arran. *Scottish Journal of Geology*, 9: 109-116.
- WARRINGTON, G., AUDLEY-CHALES, M.G., ELLIOTT, R.E., EVANS, W.B., IVIMEY-COOK, H.C., KENT, P.E., ROBINSON, P.L., SHOTTON, F.W. & TAYLOR, F.M. (1980): A correlation of the Triassic rocks in the British Isles. *Special Report of the Geological Society of London*, 13: 78 pp.

---

Data recepció: 03.06.21

Data revisió: 14.06.21

Revisió acceptada: 24.06.21



# EL MIOCÈ SINOROGÈNIC DE MALLORCA, FORMACIONS CALCARENÍTICA DE SANT ELM I TURBIDÍFICA DE BANYALBUFAR (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), ANÀLEG DE *PLAY* PRE-SAL A LA MEDITERRÀNIA NORD-OCCIDENTAL

Guillem Mas Gornals

Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears.  
Ctra. Valldemossa, km 7.5, 07122 Palma, Mallorca (Illes Balears)

**Resum:** La present aportació, pretén ésser un homenatge al Dr. Antonio Rodríguez Perea amb motiu de la seva jubilació, oferint unes breus pinzellades sobre l'analogia observada entre la Formació Calcarenítica de Sant Elm i la Formació Turbidítica de Banyalbufar, establertes pel Dr. Rodríguez Perea a la seva tesi doctoral sobre el miocè sinorogènic de Mallorca, confrontant-les amb possibles *plays* de l'oligocè-miocè pre-crisi de salinitat a la Mediterrània nord-occidental. Ateses (i) l'equivalència cronoestratigràfica, (ii) la similitud en la tipologia i diversitat de fàcies, així com (iii) la coincidència de patrons estratigràfics, hem de concloure necessàriament, que ens trobem davant un cas excepcional d'analogisme, podent considerar les formacions miocenes sinorogèniques de l'illa de Mallorca, calcarenítica de Sant Elm i turbidítica de Banyalbufar, com un anàleg *on-shore* del *play* miocè pre-sal de la depressió de València.

**Paraules clau:** calcarenites, turbidites, miocè sinorogènic, anàlisi d'anàlegs, Mallorca .

**Abstract:** This contribution is intended to be a tribute to Antonio Rodríguez Perea (PhD) on his forthcoming retirement, offering brief sketches on the analogy observed between the synorogenic Miocene formations of Mallorca, the Calcarenitic Formation of Sant Elm and the Turbiditic Formation of Banyalbufar, established by the Dr Rodríguez Perea in his PhD thesis, confronting them with a possible play of the Miocene pre-crisis salinity in the Northwest Mediterranean. Given (i) the chronostratigraphic equivalence, (ii) the similarity in the typology and diversity of facies, as well as (iii) the coincidence of stratigraphic patterns, we must conclude that we are facing an exceptional case of analogy, consider the Miocene synorogenic formations of the island of Mallorca an *on-shore* analogue of hydrocarbon play from the pre-salt Miocene of the Valencia Trough.

**Keywords:** calcarenites, turbidites, synorogenic Miocene, analogues analysis, Mallorca..

*Venim del nord, venim del sud,  
de terra endins, de mar enllà,  
i no creiem en les fronteres  
si darrera hi ha un company  
amb les seves mans esteses  
a un pervindre alliberat ...*

Lluís Llach  
(Venim del nord, venim del sud, 1987)

## Introducció

Les tècniques d'anàlisi d'anàlegs i reservoris s'han convertit en una nova i potent eina per optimitzar l'estimació i explotació d'hidrocarburs (CABELLO *et al.*, 2006). L'estudi d'afloraments de qualitat, en anàlegs de reservoris sedimentaris proporciona una àmplia i completa base de dades que descriu la geometria i disposició dels elements sedimentaris com la geometria de cossos sedimentaris i la seva continuïtat en les diferents direccions de l'espai, els angles d'apilament que descriuen tendències progradants i retrogradants, etc.

Aquestes dades es poden utilitzar per construir models de fàcies en l'anàleg (DREYER *et al.*, 1993; ÇİFTÇİ *et al.*, 2004; LARUE, 2004) que juntament amb les dades *on-shore* utilitzades per a la seva construcció proporcionen informació complementària *off-shore* reduint la incertesa en la modelització de reservoris en el subsòl, relacionada amb l'escassetat d'informació disponible (limitada generalment a dades de pous i sísmiques *on-shore*).



La present aportació, pretén ésser un homenatge a la persona i obra del Dr. Antonio Rodríguez Perea, oferint unes breus pinzellades que fan palesa l'analogia observada entre les formacions del miocè sinorogènic de Mallorca: Formació Calcarenites de Sant Elm i Formació Turbidítica de Banyalbufar, descrites a la tesi doctoral del propi homenagejat (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), en relació a determinats sistemes i extensions d'hidrocarburs del miocè pre-crisi de salinitat de la Mediterrània nord-occidental. Ja fa algun temps que m'havia fixat en aquesta similitud, que ara aprofito per desenvolupar, aprendre un poc més i retre homenatge al jubileu de n'Antonio.

### Sistemes d'hidrocarburs vs. *play concepts*

Un sistema d'hidrocarburs està format pels components i processos necessaris per generar i emmagatzemar hidrocarburs, això inclou una roca generadora, un trajecte de migració, una trampa o parany geològic, una roca magatzem i un segell (ALLEN i ALLEN, 2013).

Una correcta seqüència cronològica d'aquests elements, així com els corresponents processos de generació, migració i acumulació (roca generadora madura, un trajecte de migració practicable, una, una roca magatzem amb suficient capacitat-porositat, una trampa geològica i un segell efectius), són necessaris per a la formació i preservació dels hidrocarburs. A diferència del *play* i les prospeccions, que aborden les acumulacions comercials que encara no s'han descobert, el sistema d'hidrocarburs només inclou els esdeveniments descoberts (MAGOON, 1995).

Per altra part, el neologisme-anglicisme *play concept*, *hydrocarbon play* o simplement *play*, fa referència al conjunt de camps i/o prospeccions en una determinada regió, que estan controlats per les mateixes característiques geològiques generals (roca magatzem, segell, roca generadora i tipus de trampa). Així, mentre que en un sistema d'hidrocarburs, només es quantifiquen les aparicions d'hidrocarburs que ja han estat descobertes, en el *play*, les acumulacions d'hidrocarburs potencials, encara no descobertes, són comercials.

### Hidrocarburs de la conca nord-occidental mediterrània

Els sistemes d'hidrocarburs de la conca nord-occidental mediterrània es poden classificar en dues tipologies principals: sistemes comprovats i sistemes especulatiu. Altres classificacions aplicades a aquests sistemes els defineixen entre sistemes d'aigües poc profundes vs. sistemes d'aigües profundes o també entre sistemes pre-sal, messinians o post-sal. La relació temporal entre sistemes anàlegs pot ésser de tipus sincrònic o diacrònic (GRANADO *et al.*, 2016).

El sistema d'hidrocarburs comprovats de la depressió de València es conserva en els alts estructurals dels blocs de falles inclinats del domini proximal (CLAVELL i BERASTEGUI, 1991; VARELA *et al.*, 2005). El reservori principal està constituït per bretxes i conglomerats carbonatats ressedimentats, fracturats, carstificats i dolomititzats de carbonats de diverses edats.

Aquestes unitats estan sobreposades al substrat mesozoic, també fracturat i carstificat, que en si mateix constitueix un altre tipus de reservori (ESTEBAN, 2013; M. ESTEBAN com. pers., *in* ESESTIME *et al.*, 2015).

En aquest cas, la migració d'hidrocarburs es va produir per ascens des de la formació juràssica de margues del mas d'Ascla (Salzadella, Maestrat) fins a la formació d'esquistos del miocè (Formació Casablanca), a través del sistema de falles extensionals (CLAVELL BERASTEGUI, 1991).

Els sistemes especulatiu pre-sal estan constituïts per (GRANADO *et al.*, 2016): (i) conques mesozoiques dels dominis proximal i marginal, (ii) falques continentals a marines de l'oligocè-miocè als dominis litoral i distals de conca; mentre que els messinians i post-sal, es corresponen amb (iii) tota una sèrie de sistemes associats a l'estratigrafia seqüencial dels models de Crisi de Salinitat Messiniana i depòsits plioquaternaris (depòsits de transport massiu, gresos deltaics, al·luvials i fluvials dels sistemes pre-sal, i gresos deltaics i turbidítics dels sistemes post-sal).

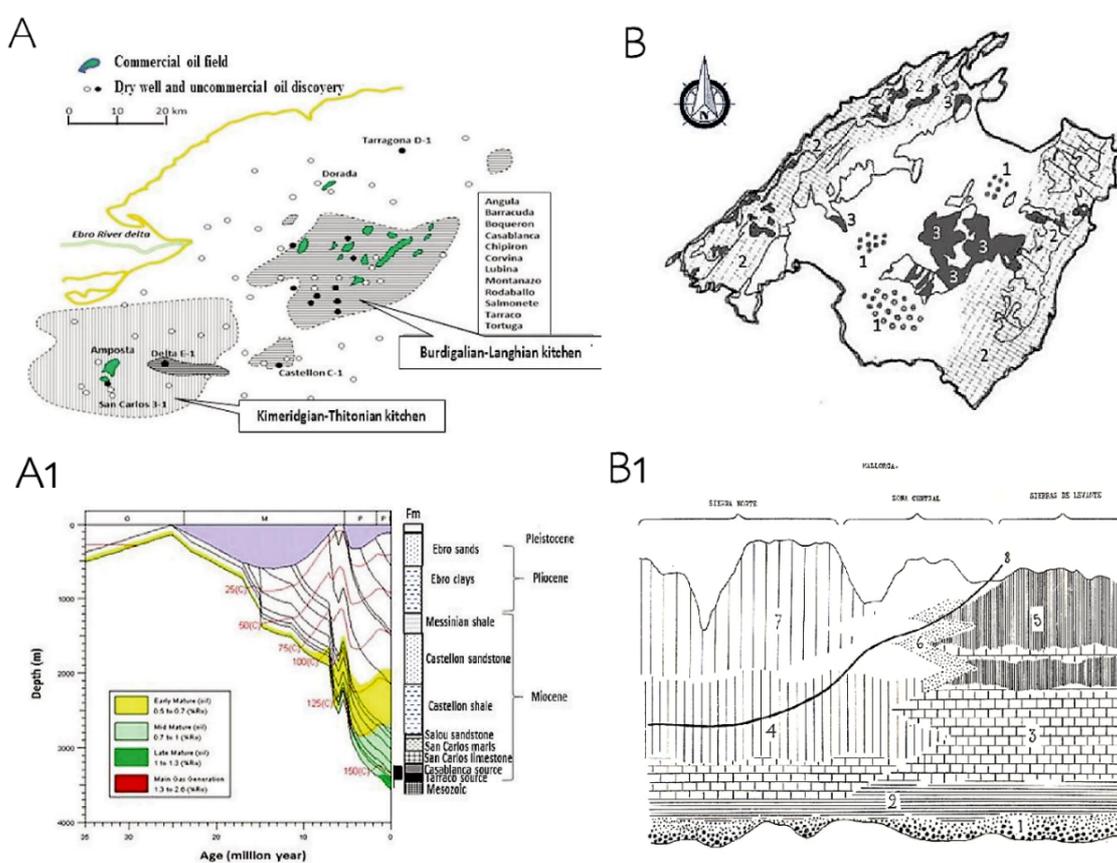
*El sistema especulatiu de l'oligocè-miocè de la depressió de València*

La denominada depressió de València (CANALS *et al.*, 1982) ha d'ésser considerada com una autèntica província geològica (Fig. 1A), on dos tipus de roques d'origen marí, del juràssic i de l'oligocè-miocè) que constitueixen dues cuines d'hidrocarburs diferents que estableixen dos sistemes d'hidrocarburs amb diferents models de maduresa de roca font i models de migració diferents (ESESTIME *et al.*, 2015; GRANADO *et al.*, 2016; MARTÍNEZ DEL OLMO, 2019):

a) una cuina d'hidrocarburs juràssica, que ha donat lloc al sistema petrolífer d'edat kimmeridgià-titònica de la formació de margues del mas d'Ascla (Maestrat), que ha proporcionant un cru lleuger.

b) una cuina d'hidrocarburs miocena, que ha donat lloc al sistema d'hidrocarburs de l'oligocè final-miocè mitjà (grup Alcanar *s.l.*).

Ens interessa aquí bàsicament el sistema d'hidrocarburs de l'oligocè final- miocè mitjà, atesa la seva coincidència cronoestratigràfica, correlació de superfícies i igualtat de fàcies amb les formacions del miocè sinorògènic de Mallorca (Fig. 2).



**Fig. 1.** A. Localització del sistema d'hidrocarburs de la depressió de València (segons MARTÍNEZ DEL OLMO, 2019). A1. Tall estratigràfic del sistema d'hidrocarburs de la depressió de València (segons MARTÍNEZ DEL OLMO, 2019); B. Distribució *on-shore* de les formacions sinorògèniques Calcarenítica de Sant Elm (1 i 2) i Turbidítica de Banyalbufar (3), proposades com a anàleg de pre-sal *play* (a partir d'ÀLVARO *et al.*, 1986). Llegendra: 1. conglomerats de base, 2. calcàries de la unitat de conglomerats i calcàries, d'edat aquitània-burdigalià inferior (segons ÀLVARO *et al.*, 1986) equivalent a la Formació Calcarenítica de Sant Elm (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984); 3. Turbidites de la unitat turbidítica-calcària, d'edat burdigalià-languià (segons ÀLVARO *et al.*, 1986) equivalent a la Formació Turbidítica de Banyalbufar (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984); B1. Distribució estratigràfica del registre del miocè sinorògènic de l'illa de Mallorca (a partir d'ÀLVARO *et al.*, 1986 i COLOM, 1969): 1. conglomerats de base, 2. calcàries i gresos, 3. calcàries zoogèniques, 4. margues arenoses, 5. calcàries i margues arenoses de les serres de Llevant, 6. zona glauconítica i de moronites, 7. margues grises amb abundants globigerínids.

El grup Alcanar es disposa sobre la discordança erosiva del sostre del mesozoic, omplint les cubetes i amb relacions de tipus *on+amb lap* cap als alts mesozoics o del basament varisc. Les dades de pou indiquen una edat variable per aquesta unitat, que va des del paleocè al miocè mitjà. La part inferior de el grup Alcanar està formada per uns conglomerats poligènics coneguts com "la bretxa Alcanar". Cap a sostre es troben lutites riques en matèria orgànica d'edat burdigalià (v.g. Formació Casablanca). Sobre aquestes successions es troben altres successions margós-argiloses amb nivells de calcarenites d'edat miocè mitjà (KLIMOWITZ *et al.*, 2018).

Els principals trets del sistema petrolífer de l'oligocè tardà-miocè mitja venen definits pels següents ítems (MARTÍNEZ DEL OLMO & MOTIS, 2012; ESESTIME *et al.*, 2015; GRANADO *et al.*, 2016; MARTÍNEZ DEL OLMO, 2019):

- Denominació: Sistema especulatiu de l'oligocè-miocè de la depressió de València (Grup Alcanar s.l.)
- Classificació: Sistema especulatiu
- Relació amb MSC: Pre-sal
- Situació: *Off-shore*
- Província/conca: Avant país (*foreland*) de la depressió de València
- Roca generadora: Formació Casablanca (burdigalià-languià). Històricament, l'exploració d'hidrocarburs s'ha centrat en aquest interval degut a la presència de lutites riques en

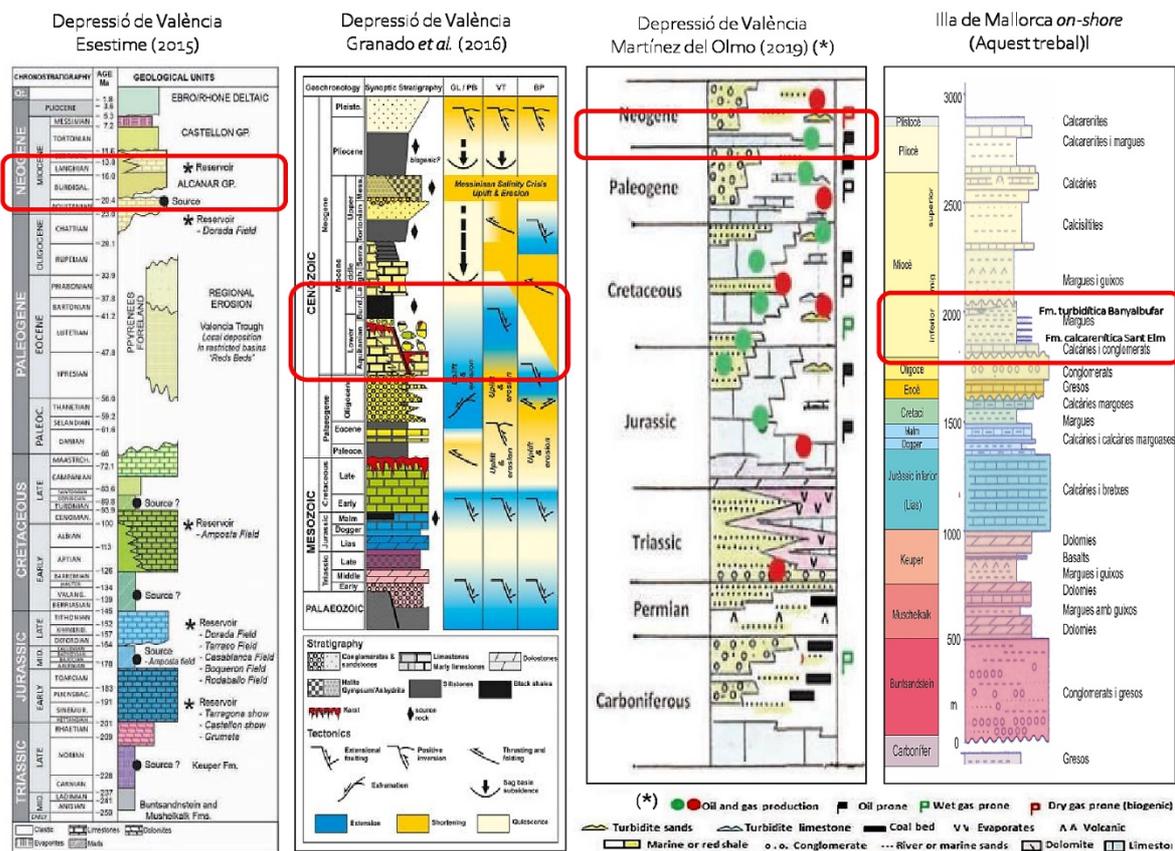


Fig. 2. Correlació (requadres vermells) entre columnes cronoestratigràfiques i sistemes d'hidrocarburs de la depressió de València amb el possible anàleg del miocè sinorogènic de l'illa de Mallorca: A. Depressió de València segons ESESTIME *et al.*, 2015 a partir de GELABERT *et al.*, 1992; B. Depressió de València segons GRANADO *et al.*, 2016, a partir de CLAVELL i BERASTEGUI, 1991 (llegenda: GL/PB, golf de Lió i conca Provençal; VT, depressió de València; BP, promontori Balear); C. Depressió de València segons MARTÍNEZ DEL OLMO, 2019, a partir de MARTINEZ DEL OLMO i MOTIS, 2012; D. Illa de Mallorca segons MAS, 2015, a partir de RODRIGUEZ-PEREA i GELABERT, 1989 i GELABERT *et al.*, 1992.

matèria orgànica, provades roques propenses a la generació d'hidrocarburs en els camps i descoberts a la depressió de València (ESESTIME *et al.*, 2015)

- Trajecte migratori: Calcàries i gresos del miocè amb clar potencial de migració horitzontal, a través del nivell portador coincident amb de la inconformitat miocè-mesozoic
- Roca magatzem (reservori): Paleo-relleus de la inconformitat miocena-mesozoica
- Trampa sedimentaria: Paleorelleus de la inconformitat mesozoic-miocè
- Segell sedimentari: Argiles i esquistos del miocè

L'inici de depòsits de l'oligocè tardà-miocè mitja està controlat per la topografia erosiva irregular de la conca heretada de l'activitat tectònica anterior (Fig. 1-A1). El sistema basal transgressiu del miocè se situa en *on-lap* sobre inconformitat regional està compost per conglomerats i bretxes carbonatades (*bretxa d'Alcanar*), que també formen part del dipòsit.

### El miocè sinorogènic de Mallorca

Podem dividir els depòsits miocens de Mallorca en dos grans grups: els depòsits sinorogènics i els postorogènics (POMAR *et al.*, 1983; FORNÓS *et al.*, 1991; FORNÓS i GELABERT *in* VERA, 2004). Els sediments miocens sinorogènics es van depositar coincidint amb els moviments tectònics i es disposen discordants formant una superfície irregular sobre el mesozoic o el paleogen.

L'actual estructura de la l'illa de Mallorca és el resultat d'un conjunt d'esforços extensionals de direcció principal NE-SW que van donar origen a un sistema d'alternança de *horsts* (zones elevades: serralades i relleus) i *grabens* (zones enfonsades: conques i plataformes). Els materials que conformen el basament pre-miocè i les seqüències miocenes sinorogèniques afloren en els relleus estructurats que constitueixen els *horsts*, mentre que les seqüències postorogèniques afloren com a materials de rebliment dels *grabens*.

El miocè sinorogènic de Mallorca presenta tres seqüències deposicionals, formades per un total de 6 unitats, que registren des de sedimentació inicial sobre el relleu irregular fins la sedimentació continental finorogènica. Entre aquestes unitats sinorogèniques, les 2 inferiors han estat proposades amb categoria de formació (FORNÓS *et al.*, 1991) i que són les que aquí ens ocupen: formació Calcarenítica de Sant Elm i la formació Turbidítica de Banyalbufar (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984).

No ens interessa aquí repetir l'estudi detallat a la menuda realitzat pel descriptor en la formulació d'aquestes formacions (Fig. 3) dins de la seva tesi doctoral (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), sinó destacar els trets diferencials més significatius que ens puguin ajudar a confrontar aquestes unitats amb altres de similars.

#### *Formació Calcarenítica de Sant Elm (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984)*

La Formació calcarenítica de Sant Elm, formulada a la tesi del Dr. Rodríguez-Perea (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), en ocasions també denominada *unitat basal* (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), està formada essencialment per calcàries bioclàstiques, i en menor mida conglomerats, calcàries esculloses i paleosòls (Figs. 3 i 4). Presenta potència i distribució irregulars al llarg de tota l'illa (POMAR *et al.*, 1983; FORNÓS *et al.*, 1991; FORNÓS & GELABERT *in* VERA, 2004).

La sedimentació s'atribueix en general a ambients de plataforma somera i mitjans litorals, amb petites aportacions de sediments terrígens. S'hi poden distingir 5 associacions de fàcies diferents: (i) depòsits continentals (bretxes calcàries i paleosòls), (ii) ambients restringits (calcisiltites arenoses i calcàries lacunars amb cadenes algals i restes vegetals) (Fig. 4A-B), (iii) sediments litorals (conglomerats i calcarenites amb foraminífers bentònics, bivalves, equinoderms, rodofícies, peixos i cocodrils) (Figures 3 i 4C), (iv) fàcies esculloses (*framestone* de creixement de coralls, de reduït volum i predomini del gènere *Porites*) (Figura 4D) i (v) plataforma oberta (calcisiltites amb foraminífers planctònics, rodofícies, poliquets, esponges, briozous i equinoïdeus).

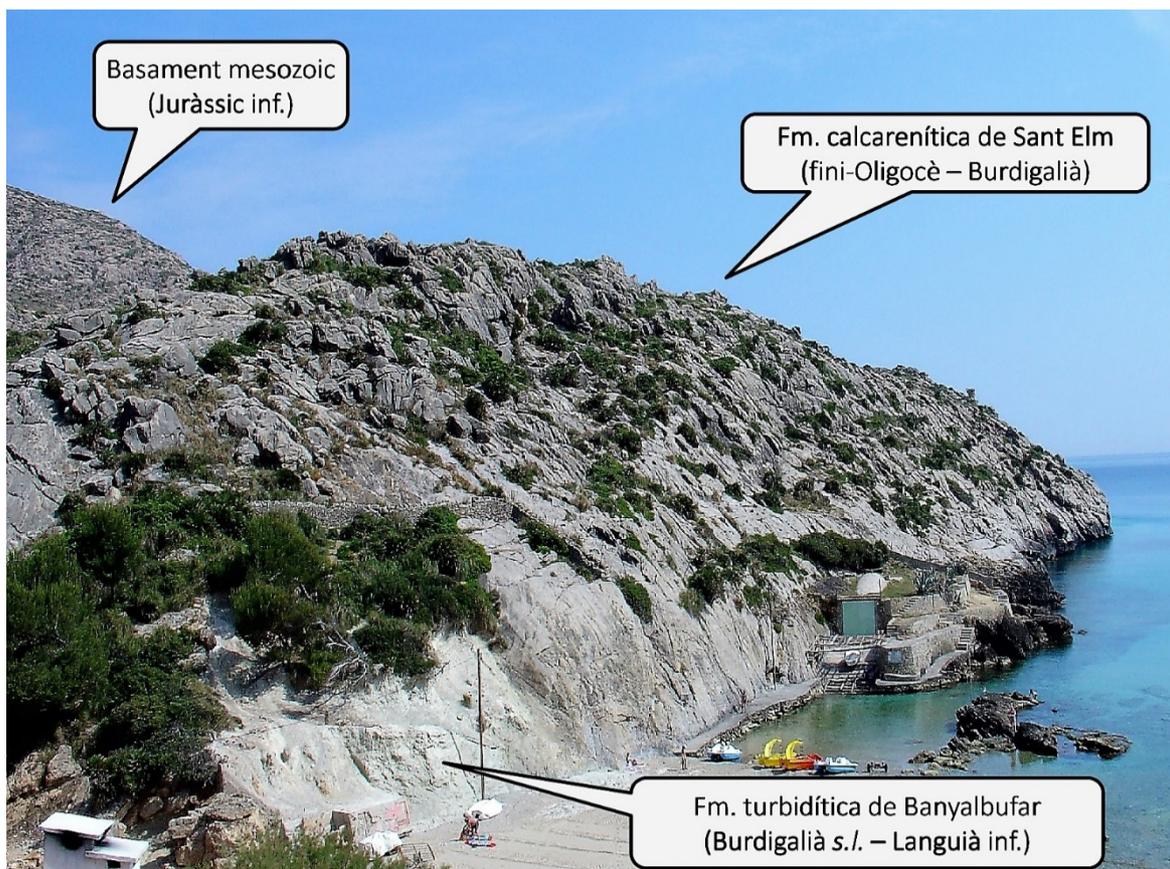


Fig. 3. Relació cronoestratigràfica del miocè sinorogènic de l'illa de Mallorca (cala Sant Vicenç. Pollença).

L'anàlisi de la fauna ictiològica i herpetològica de l'associació de fàcies litorals, ha indicat l'existència d'un paleoambient corresponent a un clima de caire subtropical (VICENS i RODRÍGUEZ-PEREA, 2003; MAS i ANTUNES, 2008; MAS i FIOL, 2009; MARTORELL, 2012).

La presència de roques piroclàstiques associades als dipòsits litorals de la Formació Calcarenítica de Sant Elm a permès evidenciar l'existència a la zona de Mallorca d'un episodi volcànic eruptiu correlacionable amb el cicle volcànic calcoalcalí que va ocórrer a la depressió de València durant el miocè inferior (RYAN *et al.*, 1972).

Com a curiositat, indicar que coincidint amb la celebració del Geolodia 2011, vaig tenir ocasió de poder identificar, amb la presència del Dr. Antonio Rodríguez Perea i altres participants, un aflorament inèdit (Fig. 4A i B) format per un tram de margocalcaries lacunars tallades pel desmunt de la carretera M-10 (Valldemossa-Deià) situat just al front del camí de sortida cap a la finca de Miramar (km 68, sentit Deià). Contenen fauna paràlica, restes de vegetals i litologia molt semblant a la descrita a les fàcies lacunars-paràliques del burdigalià inferior (OLIVEIROS *et al.*, 1960b, COLOM, 1967, 1968).

#### *Formació Turbidítica de Banyalbufar (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984)*

La Formació Turbidítica de Banyalbufar (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), formulada a la tesi del Dr. Rodríguez-Perea (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), es disposa discordant sobre l'anterior unitat (formació Calcarenítica de Sant Elm) (Fig. 3) o sobre el substrat mesozoic i paleogen. Estan compostes per margues grises amb fauna planctònica (Fig. 5AB), que situa aquestes unitats entre el burdigalià superior i el languià (GONZÁLEZ-DONOSO *et al.*, 1982). Presenten una estratificació molt definida, amb intercalació de nivells de conglomerats, calcarenites i bretxes amb olistostomes i *slumps*. A la zona de Tramuntana (Fig. 5) arriben a potències de 450 m, en els solcs de avantpaís relacionats amb



**Fig. 4.** Formació Calcarenítica de Sant Elm (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), A. Fàcies paraliques d'ambients restringits; B. Detall de A; C. Sediments litorals amb *Ostrea* sp., força bretxificats, D. Fàcies esculloses amb clapes de *Porites*.

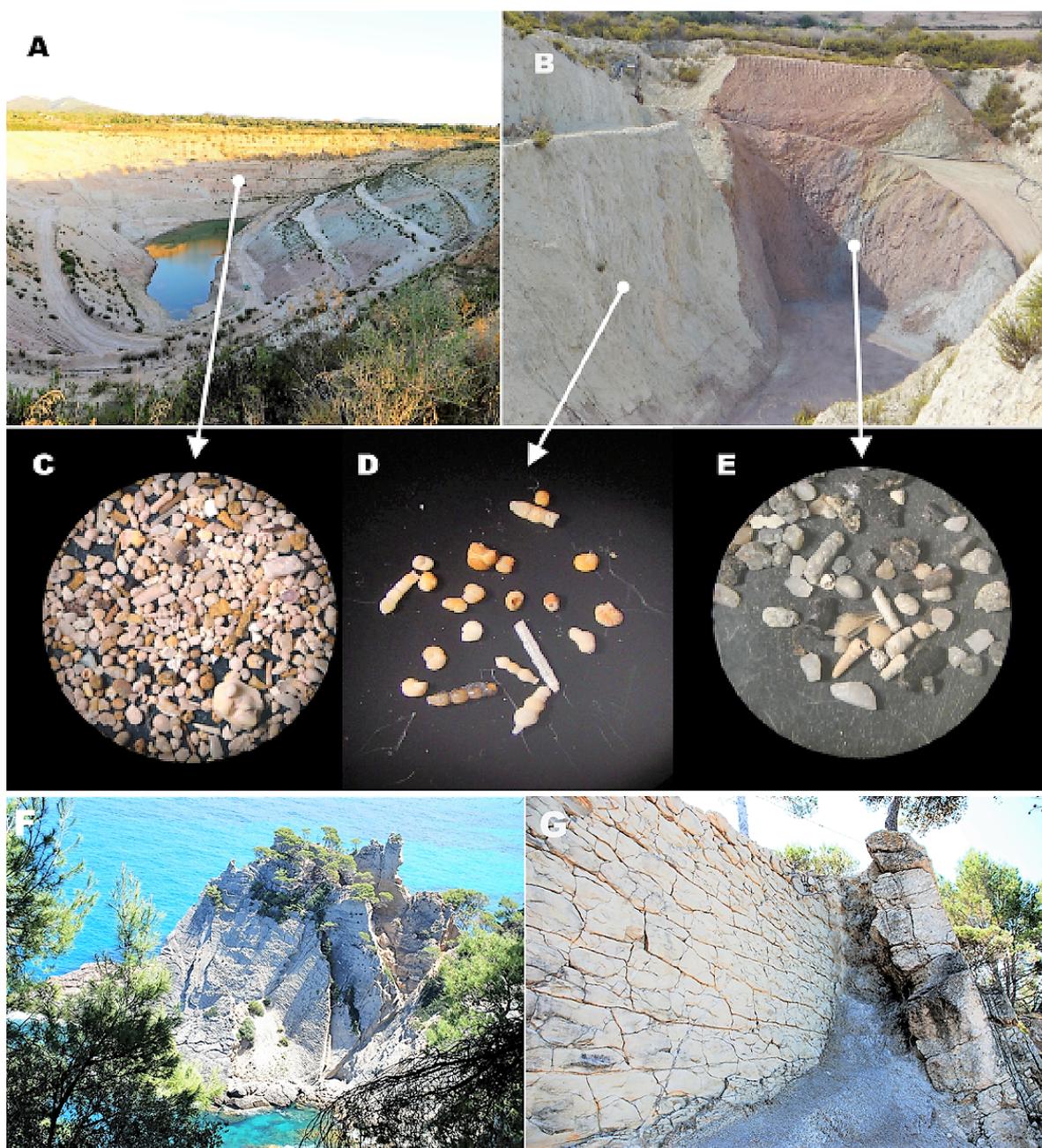
l'emplaçament dels encavalcaments, els quals trunquen el límit superior d'aquesta seqüència. En el seu conjunt s'interpreten com turbidites dipositades durant l'emplaçament dels encavalcaments (GELABERT, 1988).

Aquesta unitat es correspon amb el miocè inferior marí d'OLIVEROS *et al.* (1960a) i COLOM (1975), on distingeixen tres zones de sedimentació diferents dels depòsits corresponents a la gran transgressió del burdigalià a l'illa de Mallorca (Fig. 1B1 i 5), acompanyades sempre dels corresponents termes de transició entre les mateixes: i) la zona de la serra de Tramuntana, caracteritzada bàsicament per depòsits margosos profunds amb gran quantitat de globigerínids (Fig. 5D,F,G) la regió central de l'illa, amb depòsits gresosos-margosos rics en diatomees, radiolaris i espícules d'esponges, corresponent a una sedimentació de talús; i) la serra de Llevant, caracteritzada per depòsits més calcaris i detrítics corresponents a una sedimentació molt més litoral (Fig. 5C).

Els nivells corresponents a canals i lòbuls turbidítics de colors ocres-marronencs embeguts entre sedimentació profunda de colors grisencs (Fig. 5AB) cap a la regió central de illa (Felanitx, Vilafranca de Bonany, Petra) han estat els més cercats i explotats per a l'extracció de la denominada "terra de gerrer", utilitzada com a matèria primera per les múltiples teuleres antigament operatives en aquesta zona (MAS *et al.*, 2013).

#### La conca de Mersin - Andara (Anatòlia, Turquia) possible anàleg a la Mediterrània oriental

La conca sedimentaria de Mersin-Andara (Anatòlia, Turquia) correspon a una zona geològicament complexa de la Mediterrània oriental, situada a l'E de la Mediterrània turca (Fig. 6). Aquesta comple-



**Fig. 5.** Formació Turbidítica de Banyalbufar (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984). Canals i lòbuls turbidítics (colors marronencs) intercalats entre sedimentació profunda (colors grisencs). A. Som Colom (Felanitx); B. Alcúdia-Arrom (Vilafranca de Bonany); C. Barreja de foraminífers planctònics profunds amb multitud de formes bentolitorals (turbidita de gra fi); D. Foraminífers planctònics i radiolaris (fàcies sedimentació profunda Interlòbuls); E. Bioclasts corresponents a microfauna marginal rodada (foraminífers bentolitorals, ostracodes, briozous, peixos) acompanyats de litoclasts d'origen marginal-continental (lignit, aportació terrígena) (turbidita de gra gruixat); F i G. Turbidites potents amb alternança de capes calcàries i margues, corresponents a fàcies de ventall distal (port des Canonge, serra de Tramuntana).

xitat resultat de la convergència de les plaques africana, àrab i eurasiàtica del Triàsic al recent (GEZE-KALANYUVA *et al.*, 2013; YILTZ-ÇIFTÇI *et al.*, 2004, 2013; YILDIZ-ÇIFTÇI i GEZE-KALANYUVA, 2013.).

La signatura sísmica reflecteix geometries aïllades de carbonats on l'efecte d'emascament de la sal és menor o absent. Les turbidites sorrenca del miocè mitjà és un dels dipòsits clàstics de la conca del Mersin-Andara. Aquests reservoris de gres es van formar entre diferents blocs del basament.

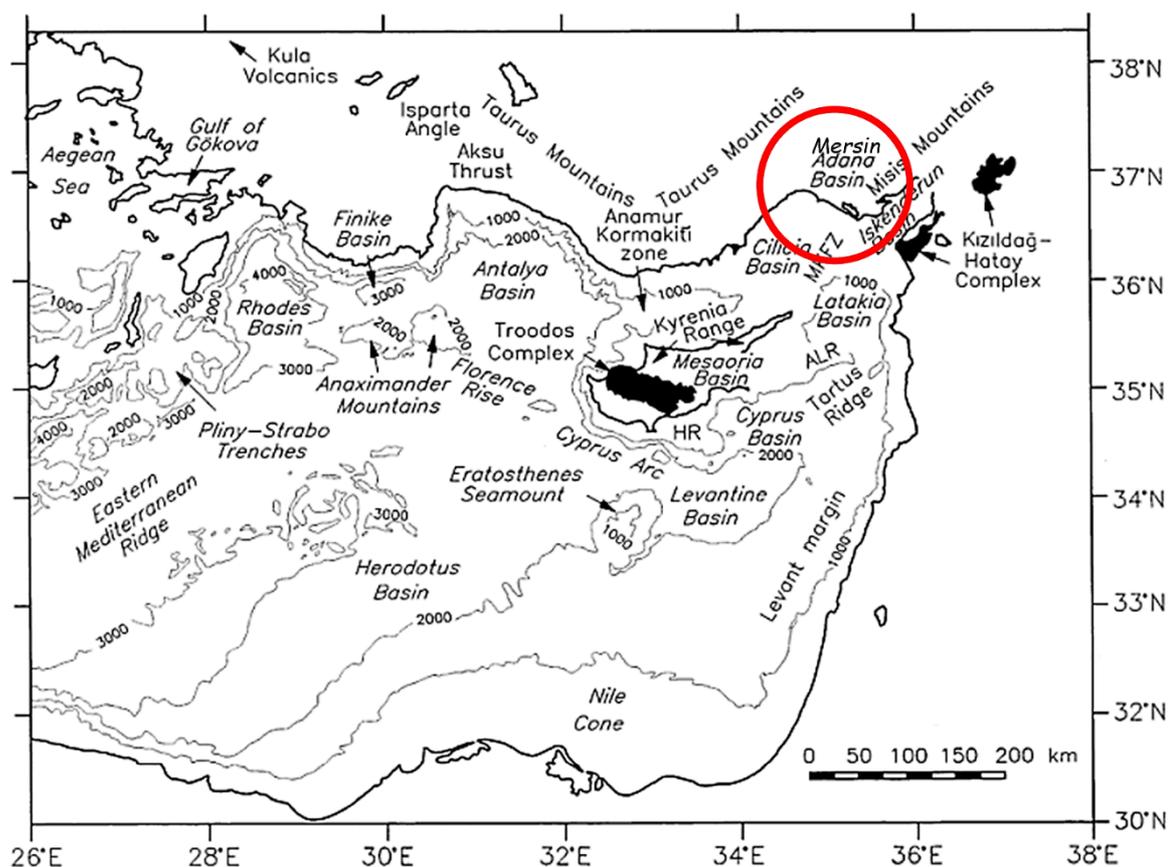


Fig. 6. Ubicació de la conca sedimentària de Mersin-Adana (Anatòlia, Turquia) sobre mapa batimètric simplificat de la mar Mediterrània oriental (modificat a partir d'AKSU *et al.*, 2005).

Taula 1. Comparació d'anàlegs de play Oligocè-Miocè mitjà pre-sal a la Mediterrània nord-occidental.

Denominació	Descripció	Edat / MSC	Roca font	Migració	Trampa	Segell	Referència
Sistema especulatiu de l'oligocè-miocè de la depressió de València Grup Alcanar s.l.	Depòsits carbonatats litorals i distals <i>Off-shore</i>	paleogen miocè mitjà Pre-sal	Formació Casablanca Lutites riques amb matèria orgànica burdigalià	Calcàries i gresos burdigalià	Paleorrelleus de la inconformitat miocena-mesozoica	Argiles i esquistos miocens	Esestime, 2015 Granado <i>et al.</i> , 2016 Martínez del Olmo, 2019
Miocè sinorogènic de l'illa de Mallorca. Formacions Calcarenítica de Sant Elm i Turbidítica de Banyalbufar (Rodríguez-Perea, 1984)	Depòsits detrítics, carbonats i turbidites <i>On-shore</i>	oligocè final - aquitània inferior Pre-sal	Anàleg: Formació Calcarenítica de Sant Elm	? Calcàries i gresos de la Formació Calcarenítica de Sant Elm	Anàleg: Paleorrelleu heretat de la topografia irregular-del límit oligocè-miocè	Anàleg: Turbidites	Mas (Aquest treball)

Les calcarenites deltaïques del miocè superior són l'altre reservori clàssic de la conca de Mersin-Adana. Com a resultat, els dipòsits de gres carbonatat, turbidític i deltaic són els objectius prominents de les obres d'exploració del miocè a la Mediterrani turc.

La presència de diferents sistemes d'hidrocarburs suposa un canvi en la interacció entre diversos controls principals sobre el marc dipositant de l'ompliment de la conca, el més important és factor



estructural o tectònic, la ubicació dels alts soterranis, la taxa de sedimentació/procedència i el nivell relatiu del mar a través del temps. Les primeres acumulacions d'esculls del miocè mitjà estaven creixent en diferents blocs que conformen el basament. La signatura sísmica reflecteix geometries aïllades de carbonats on l'efecte d'emascament de la sal és menor o absent. Les turbidites de gra gruixut del miocè mitjà és un dels dipòsits clàstics de la conca de Mersin-Andara. Aquests reservoris de gresos es van formar entre diferents blocs del basament que mostren diferents característiques de canal que tendeixen de nord-oest a sud-est.

El gres deltaic superior del miocè és l'altre reservori clàssic de la conca del Mersin-Andara. La depressió creada tectònicament es va omplir per una ràpida deposició de successió deltaica i les signatures sísmiques d'aquests sediments tortonians es caracteritzen per baixades. Per a tot això, els dipòsits de gres carbonatat, turbidític i deltaic són els objectius prominents de les obres d'exploració del miocè a la Mediterrània turca.

## Discussió

Un ràpid cop d'ull sobre la descripció de les unitats objecte d'estudi (Figures 1 i 2) és suficient per adonar-se de l'alt nivell d'analogia existent entre les formacions de miocè sinorogènic de Mallorca i els dipòsits de l'oligocè final-miocè mitjà de la depressió de València (grup Alcanar *s.l.*). L'anàlisi exhaustiva de les característiques que defineixen el registre sedimentari, estratigràfic i estructural d'ambdós sistemes, ens du necessàriament a observar les següents analogies evidents entre les formacions regionals (Fig. 2, Taula 1):

- a) L'inici d'ambdós sistemes coincideix en el temps (oligocè superior).
- b) Ambdós sistemes s'inicien amb dipòsits detrítics guixats, conglomerats poligènics de "bretxa Alcanar" a la depressió de València i conglomerats de base de la formació calcarenítica de Sant Elm a l'illa de Mallorca).
- c) L'inici de la sedimentació en ambdós sistemes està controlat per una topografia força irregular, heretada de l'activitat tectònica i erosió anterior, que coincideix amb el límit oligocè-miocè. Sincronia cronoestratigràfica en la durada i processos. Mentre que a la depressió de València el grup Alcanar ocupa el tram paleogen-miocè mitjà, a Mallorca el miocè sinorogènic ocupa el tram oligocè final-aquitanià inferior
- d) Coincidència en la tipologia i diversitat de fàcies.
- e) Similitud de patrons (*patterns*) i límits de seqüència (*sequence boundaries*).
- f) Històricament, l'exploració d'hidrocarburs s'ha centrat en aquest interval degut a la presència de lutites riques en matèria orgànica; roques generadores provades propenses al petroli dels camps i descobriments en la depressió de València. La forta aportació de material detrític i matèria orgànica associada als lòbuls turbidítics de la Formació Turbidítica de Banyalbufar assimila aquesta formació a les lutites riques en matèria orgànica roques generadores provades.

De totes maneres, cal tenir en compte, que la generació i migració d'hidrocarburs, és un fet actualment evidenciat per la detecció de filtracions de petroli a la conca balear profunda (*Deepwater Balearic Basin*), que han pogut observar-se en forma de pel·lícula tenyida o taques en la superfície del mar visibles a les imatges satèl·lit (HARGREAVES *et al.*, 2014).

Per a tot això, hem de considerar les formacions miocenes sinorogèniques de l'illa de Mallorca com un anàleg *on-shore* sincrònic del *play* del miocè pre-crisi de salinitat de la província geològica de la depressió de València.

La possibilitat d'un segon anàleg, localitzat a la Mediterrània oriental a la conca de Mersin Turquia (ÇİFTÇİ *et al.*, 2013a,b,c), serà abordat en major profunditat en una propera publicació específica al respecte (Mas *et al.*, en preparació), ja que aquest no és l'objecte d'aquesta comunicació d'homenatge al Dr. Antonio Rodríguez Perea.

La disponibilitat d'anàlegs de bona qualitat, assequibles *on-shore*, facilita l'anàlisi i millora el coneixement de sistemes d'hidrocarburs *off-shore*, anteriorment descrits només a partir de dades

fragmentaries proporcionades per pous o la sísmica, permeten una millor observació-avaluació directe, proporcionant una major objectivitat en la investigació d'hidrocarburs.

### Conclusió

Ateses (i) l'equivalència cronoestratigràfica (coincidència de processos idèntics en el temps), (ii) la similitud en la tipologia i diversitat de fàcies (litologies, paleoambient, evolució lateral de fàcies, etc.), així com (iii) la idèntica posició/seqüència estratigràfica (patrons estratigràfics i evolució estructural), s'ha de concloure necessàriament que es resta davant un cas excepcional d'analogisme, podent considerar les formacions miocenes sinorogèniques de l'illa de Mallorca, com són la Formació Calcarenítica de Sant Elm i la Formació Turbidítica de Banyalbufar, formulades a la tesi de doctorat del Dr. Antonio Rodríguez Perea (RODRÍGUEZ-PEREA, 1984), un anàleg *on-shore* d'extensions productives d'hidrocarburs del miocè pre-crisi de salinitat de la província de la depressió de València a la Mediterrània nord-occidental.

L'anàlisi d'anàlegs de bona qualitat, assequibles *on-shore*, facilita un millor coneixement dels sistemes anteriorment descrits només a partir de dades fragmentaries de pous o sísmica, permeten una millor observació-avaluació de la diversitat i detall.



**Fig. 7.** A) El Dr. Antonio Rodríguez Perea, primer per l'esquerra, actuant con a secretari de tribunal qualificador de tesi de l'autor, amb la Dra. Isabel Cacho Lascorz i el Dr. Mateu Esteban Cerdà (membres vocals del tribunal qualificador de tesi), el Dr. Joan J. Fornós Astó (director de tesi) i Guillem Mas Gornals (doctorant), a la sessió de defensa pública de la tesi de doctorat de l'autor d'aquesta col·laboració (Sala de Graus, EDUIB, febrer 2016). B) *A espatlles de gegants...* Andreu Muntaner, Antonio Rodríguez i Alfredo Barón, a l'Escola de Doctorat el dia de la defensa de la tesi doctoral de l'autor d'aquesta col·laboració (EDUIB, febrer 2016). C) Antonio Rodríguez i l'autor de la present col·laboració, en plena dialèctica sobre temes geològics d'interès, en una reunió a estovalles prèvia a una sortida de camp (Petra, febrer 2019, Foto: Francesc X. Roig Munar). D) Antonio Rodríguez amb Bernardí Gelabert, Guillem Mas, Jose Angel Martin i Francesc X. Roig en una sortida de camp d'observació de nivells d'estabilització de sistemes dunars tallats pels desmuntats d'algunes carreteres properes a Son Serra de Marina (febrer 2019, Foto: Francesc X. Roig Munar).

## Agraïments

Agrair i reconèixer al Dr. Antonio Rodríguez Perea, professor i amic, la sempre bona disponibilitat per a consultes, pràctiques o discussions intenses sobre temes geològics o d'interès general (Fig. 7). Esperant que pugui gaudir d'un bon jubileu que li permeti desenvolupar i compartir les inexorables currolles pròpies. Agrair a Joan J. Fornós i Francesc X. Roig la revisió del manuscrit inicial, millorant així la qualitat de l'original finalment presentat. Als editors, especialment a Lluís Gómez-Pujol, pels comentaris i la paciència en la gestió dels manuscrits.

## Bibliografia

- AKSU, A.E., HALL, J. i YALTIRAK, C. (2005): Miocene to Recent tectonic evolution of the eastern Mediterranean: New pieces of the old Mediterranean puzzle. *Marine Geology*, 221: 1-13.
- ALLEN, P.A. i ALLEN, J.R. (2013): *Basin Analysis: Principles and Application to Petroleum Play Assessment*. Wiley-Blackwell, New Jersey, 632 pp.
- ALVARO, M., BARNOLAS, A., DEL OLMO, P., RAMÍREZ DEL POZO, J. i SIMÓ, A. (1984): El Neógeno de Mallorca: Caracterización sedimentológica y bioestratigráfica. *Bol. Geol. Miner.*, 95(1): 3-25.
- CABELLO, P., LÓPEZ-BLANCO, M., FALIVENE, O., ARBUÉS, P., RAMOS-GUERRERO, E., CABRERA, L. i MARZO, M. (2006): Modelos 3D de análogos de reservorios sedimentarios: Aplicación al abanico costero eoceno de Sant Llorenç del Munt (Cuenca del Ebro). *Geo-Temas*, 9: 45-48.
- CANALS, M., SERRA, J. i RIBA, O. (1982): Toponímia de la mar catalano-balear (amb un glossari de termes generics). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 26: 169-194.
- COLOM, G. (1967): Los depósitos lacustres del Burdigalense superior de Mallorca. *Mem. R. Acad. Cien. Art., Barcelona*, 58, (5): 69 pp.
- COLOM, G. (1968): El Burdigaliense inferior, parálico, de la ladera Norte del Puig Mayor (Mallorca). *Mem. R. Acad. de Ciencias Exac. Fis. y Nat., (C)*, 24: 1-44.
- COLOM, G. (1975): *Geologia de Mallorca*. Diput. Prov. Bal. Inst. Estudios Baleáricos. Patronato "J. M<sup>a</sup> Quadrado". CSIC. Palma de Mallorca, 2 vols. 519 pp.
- DREYER, T., FALT, L.M., MØY, T., KNARUD, R.; STEEL, R.J. i CUEVAS, J.L. (1993): Sedimentary architecture of field analogues for reservoir information (SAFARI): a case study of the fluvial Escandía Formation, Spanish Pyrenees. In: FLINT, S. i BRYANT, I.D. (eds.), *The geological modelling of hydrocarbon reservoirs and outcrop analogues*. IAS, Spec. Pub., 15: 57-80.
- ESESTIME, P., WRIGLEY, R. i HODGSON, N., 2015. The Western Mediterranean: established concepts and new insights. *EAGE First Break*, 33: 71-79.
- ESTEBAN, M. (2013): Outcrop Analogs of the Gulf of Valencia Oil Fields (Western Mediterranean). AAPG European Regional, Conference & Exhibition. Barcelona, Spain, April 2013 Post-Conference Field Trip.
- FORNÓS, J.J., MARZO, M., POMAR, L., RAMOS-GUERRERO, E. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1991): *Evolución tectono-sedimentaria y análisis estratigráfico del Terciario de la Isla de Mallorca*. I Congreso del Grupo Español del Terciario. Libro-Guía Excursión nº 2. Ed. F. Colombo. 145 pp. Vic.
- GELABERT, B., SÀBAT, F. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1992): A structural outline of the Serra the Tramontana of Majorca (Balearic Islands). *Tectonophysics*, 203: 167-183.
- GONZALEZ-DONOSO, J.M., LINARES, D., PASCUAL, I. i SERRANO, F. (1982): Datos sobre la edad de las secciones del Mioceno Inferior de Es Port d'es Canonge y de Randa (Mallorca). *Bol. Soc. Hist. Nat. Balears*, 26: 229-232.
- GEZE-KALANYUVA, Y., YILDIZ-ÇİFTÇİ, S., TEMEL, O.R. i KANSU, E. (2013): Carbonates of Miocene Mersin Basin, Turkish Mediterranean. In: *AAPG European Region 2013 Annual Conference, Exploring the Mediterranean: New Concepts in an Ancient Seaway*, 8-10 April 2013, Barcelona, Spain, p 17.
- KLIMOWITZ, J., ESCALANTE, S., HERNÁNDEZ, E. i SOTO, J.I. (2018): Estructuración tectónica alpina del margen occidental del Surco de Valencia (Mediterráneo occidental). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 31(2): 83-100.

- LARUE, D.K. (2004): Outcrop and Waterflood Simulation Modeling of the 100-Foot Channel Complex, Texas, and the Ainsa II Channel Complex, Spain: Analogs to Multistorey and Multilateral Channelized Slope Reservoirs. *AAPG Memoir*, 80: 337-364.
- MAGOON, L.B. (1995): The play that complements the petroleum System - a new exploration equation. *Oil & Gas Journal*, 93 (40): 85-87.
- MARTÍNEZ DEL OLMO, W. i MOTIS, K. (2012): Lo aprendido de la pasada exploración y un vistazo a su futuro. VIII Congreso Geológico de España. Oviedo, *Geotemas*, 13: 582-586.
- MARTÍNEZ DEL OLMO, W. (2019): The Spanish petroleum systems and the overlooked areas and targets. *Boletín Geológico y Minero*, 130 (2): 289-315.
- MARTORELL, J. (2012): Primera cita de *Acanthurus* sp. (Osteichtyes) en el Burdigaliense de las Illes Balears. *Batalleria*, 17: 80-83.
- MAS, G. (2015): *El registre estratigràfic del Messinià terminal i del Pliocè a l'illa de Mallorca. Relacions amb la crisi de salinitat de la Mediterrània*. Tesi doctoral. Universitat de les Illes Balears. 534 pp.
- MAS, G. i ANTUNES, M.T. (2008): Presència de *Tomistoma* cf. *lusitanica* (Vianna i Moraes, 1945) (Reptilia: Crocodylia) al Burdigalià inferior de Mallorca (Illes Balears, Mediterrània occidental). Implicacions paleoambientals. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 51: 131-146.
- MAS, G. i FIOL, G. 2009. Ictiofauna del Burdigalià inferior de cala Sant Vicenç (Illes Balears, Mediterrània occidental). Una aproximació paleoecològica. *Batalleria*, 14: 67-84.
- MAS, G., MORAGUES, L., MESTRE, J. i ESPINOSA, M. (2013): El patrimoni geoindustrial de Felanitx (Mallorca). In: Pons, G.X., Ginard, A. i Vicens, D. (eds.) *VI Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears. Ponències i Resums*: 53-55. Palma, Soc. Hist. Nat. Balears.
- ELÉNDEZ-HEVIA, F. i ÀLVAREZ DEL BUERGO, E. (1996): Oil and gas resources of the Tertiary basins of Spain. In: FRIEND, P.F. i DABRIO, C.J. (eds.), *Tertiary Basins of Spain*: 20-25. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- OLIVEROS, J.M., ESCANDELL, B. i COLOM, G. (1960a). Estudio de los terrenos postburdigalienses en el llano central de la Isla de Mallorca. *Mem. del Inst. Geolog. y Min. de España*, 61: 349-394.
- OLIVEROS, J.M., ESCANDELL, B. i COLOM, G. (1960b): El Burdigaliense superior salobre-lacustre en Mallorca. *Mem. del Inst. Geolog. y Min. de España*, 61: 265-348.
- POMAR, L., POMAR, L., MARZO, M. i BARÓN, A. (1983): El Terciario de Mallorca. In: *El Terciario de las Baleares/10 Congreso nacional de Sedimentología. Guía de las excursiones. Menorca*, 26-30 septiembre 1983 (pp. 21-44).
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1984): *El Mioceno de la Serra Nord de Mallorca. Estratigrafia, sedimentologia e implicacions estructurals*. Tesi Doctoral. Universitat de Barcelona y Palma de Mallorca. 532 pp (inèdit).
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. i POMAR, L. (1983): El Mioceno de la Sierra Norte de Mallorca (Sector centro-occidental). *Acta Geològica Hispànica*, 18(2): 105-116.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. i GELABERT, B. 1998. Geologia de Mallorca. In: Fornós, J. (ed.): *Aspectes geològics de les Balears (Mallorca, Menorca i Cabrera)*: 11-38. Universitat de les Illes Balears. Palma.
- RYAN, W. B. F., HSÜ, K. J., HONNOREZ, J., WEIBEL, M., CANN, J. R., FENARA G., BIGAZZI, G., BONADONNA, F. P. i GIULIANI, O. (1972): Petrology and geochemistry of the Valencia Trough volcanic rocks. *Init. Rep. DSDP*, 13: 767-773.
- VARELA, J., VICENTE BRAVO, J. C., NAVARRO, J., ESTEBAN, M. i MARTÍNEZ DEL OLMO, W. 2005. *The oil fields in the Spanish Mediterranean Sea*. In: MARTÍNEZ DEL OLMO, W. (ed). *Asociación de Geólogos y Geofísicos Españoles del Petróleo. 25 Aniversario*: 121-129. AGGPE. Madrid.
- VICENS, D. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (2003): Vertebrats fòssils (Pisces i Reptilia) del Burdigalià de cala Sant Vicenç (Pollença, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 46: 117-130.
- YILDIZ-ÇİFTÇİ, B.N., AVIANTARA, Y., A.A., HURLEY, N.F. i KERR, D.R. (2004): Outcrop-based Three dimensional Modeling of the Tensleep Sandstone at Alcali Creek, Bighorn Basin, Wyoming. *AAPG Memoir*, 80: 235-259.
- YILDIZ-ÇİFTÇİ, S. i GEZE-KALANYUVA, Y. 2013. Miocene Exploration Plays in the Mersin Basin, Turkish Mediterranean Sea. In: *AAPG European. Regional 2013. Conference & Exhibition, Exploring the Mediterranean: New Concepts in an Ancient Seaway*. Abstract Book. 8-10 April 2013, Barcelona, Spain, p. 43.

---

Data recepció: 13.10.21

Data revisió: 20.10.21

Revisió acceptada: 25.10.21



# DIPÒSITS QUATERNARIS COSTANERS D'ALCANADA (BADIA D'ALCÚDIA, NORD DE MALLORCA): PROCESSOS GEOMORFOLÒGICS, SEDIMENTOLÒGICS I EVOLUCIÓ AMBIENTAL

Laura del Valle Villalonga <sup>1</sup>, Francesc Pomar Bauzá <sup>1</sup> i Guillem X. Pons <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears).

<sup>2</sup> Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears, Ctra. de Valldemossa km 7,5, 0122 Palma (Illes Balears).

**Resum:** Es presenta la descripció sedimentològica dels dipòsits costaners d'Alcanada com un exemple dels materials pleistocens que es poden trobar arreu dels sectors costaners de les Illes Balears. Es tracta de dipòsits eòlics, dipòsits col·luvials, dipòsits d'interferència eòlic-col·luvial i paleosòls. La seva formació ha estat estretament lligada a l'alternança dels cicles glacials i interglacials i a les fluctuacions eustàtiques que s'han succeït del pliocè ençà. Les seqüències descrites a Alcanada encaixen en el model definit per al plio-quaternari de Balears. Així els moments de refredament i descens del nivell marí han afavorit el desenvolupament de camps dunars costaners, mentre que durant els períodes d'escalfament han predominat la formació de dipòsits col·luvials i durant les transicions d'un període a l'altre, la interacció de processos d'escolament superficial amb els camps de dunes.

**Paraules clau:** *eolianites, dipòsits d'interferència eòlic-col·luvial, paleosòls, Mallorca.*

**Abstract:** Sedimentological description of coastal deposits of Alcanada is presented as an example of the coastal Pleistocene materials that can be found throughout the Balearic Islands. These are aeolian deposits, colluvial deposits, aeolian-colluvial interference deposits and paleosoils. Its formation has been strongly linked to succession of glacial and interglacial cycles and the related eustatic fluctuations. In this sense, cooling events and sea level dropping have favoured the development of coastal dune fields, while during warming periods; formation of colluvial deposits has predominated with the interaction of runoff processes and the dune dynamics.

**Key words:** *eolianites, interference deposits, paleosoils, Mallorca.*

## Introducció

Les Illes Balears es caracteritzen per presentar una àmplia varietat de dipòsits quaternaris, relacionats amb els grans cicles glacials i interglacials vinculats amb les fluctuacions del nivell marí (FORNÓS *et al.*, 2009; POMAR, 2016; DEL VALLE, 2016; POMAR *et al.*, 2018; DEL VALLE *et al.*, 2020a,b). Aquesta variabilitat climàtica va ser la responsable de la formació de les successions sedimentàries pleistocenes que en els afloraments costaners estan caracteritzades per una alternança entre nivells eòlics, col·luvials i paleosòls (FORNÓS *et al.*, 2012; POMAR *et al.*, 2018; DEL VALLE *et al.*, 2020b).

Els nivells eòlics consisteixen en antigues dunes eòliques poc litificades, formades per gresos de gra fi a mitjà ben classificat (BROOKE, 2001). La composició majoritària dels seus grans és bioclàstica (FORNÓS *et al.*, 2012). La seva formació a les costes de Balears ha estat vinculada als períodes de refredament global del clima i descensos del nivell de la mar (CUERDA, 1989; CLEMMENSEN *et al.*, 1997; ROSE *et al.*, 1999; FORNÓS *et al.*, 2009; POMAR *et al.*, 2018; DEL VALLE *et al.*, 2020a,b).

Els nivells col·luvials corresponen a antics moviments de vessant costaners o restes de ventalls al·luvials i/o col·luvials parcialment desmantellats per l'erosió. Consisteixen en paquets sedimentaris de potència variable composts per conglomerats i bretxes heteromètriques. La matriu d'aquests dipòsits pot ser llimosa, areno-llimosa o completament arenosa. En aquest sentit, els darrers anys s'han descrit una sèrie de dipòsits d'interpretació controvertida per mostrar estructures sedimentàries típicament col·luvials i al·luvials però que contenen sediments d'origen eòlic costaner i que reciclen arenes biogèniques marines. És a dir, sediments amb estructures sedimentàries típiques d'ambients terrestres, però amb sediments típicament costaners-marins. La construcció d'aquests dipòsits col·luvials ha estat

vinculada a períodes càlids del clima però encara dins un context de nivell marí baix (MACKLIN *et al.* 1995; POMAR *et al.*, 2015; 2018).

Cal dir que en un treball com el que es presenta en aquest volum, no es pot deixar d'esmentar com Antonio Rodríguez-Perea fou un precursor dels estudis sobre ventalls al·luvials a l'illa de Mallorca. En aquest sentit, s'ha generat un debat científic durant les dues darreres dècades, que probablement no hagués existit sense l'article sobre els ventalls de la zona de Betlem en el qual fa una descripció dels ventalls al·luvials, els identifica per primera vegada com a tals, així com dóna indicis dels materials que els componen (RODRÍGUEZ-PEREA, 1998). Aquest treball fou el precedent d'altres treballs que han aparegut i generat debat al voltant del paper que juga la interacció entre processos eòlics i els relacionats amb la formació dels ventalls al·luvials (GÓMEZ-PUJOL, 1999; GÓMEZ-PUJOL *et al.*, 2008; FORNÓS *et al.*, 2009; POMAR, 2016; POMAR i DEL VALLE, 2018, POMAR *et al.*, 2018; DEL VALLE *et al.*, 2020a), així com el paper que juga aquesta interacció en la construcció i desmantellament de camps dunars o els ventalls al·luvials costaners, i quina és la seva significació paleoclimàtica.

En el present treball es fa una descripció sedimentològica i estratigràfica dels afloraments presents a Alcanada (Badia d'Alcúdia, Nord de Mallorca), els quals estan constituïts per una successió de dipòsits col·luvials, dipòsits eòlics i paleosòls. Es presenten aquests afloraments com un exemple clàssic de dipòsits costaners pleistocens de les costes de Balears, així com dels agents i processos que participaren en la seva formació. A més a més, es discuteix breument sobre el paper que va jugar la variabilitat climàtica i les fluctuacions eustàtiques per al desenvolupament dels processos d'interacció entre els diferents ambients deposicionals.

## Àrea d'estudi

L'àrea d'estudi es localitza a la part nord-oriental de l'illa de Mallorca, pertany al municipi d'Alcúdia i en gran part està a una Àrea Natural d'Especial Interès (ANEI), així com també entra dins el LIC (Llocs d'Importància Comunitària) i ZEPA (Zones d'Especial Protecció per a les Aus) de la Victòria (ES0000079) (Fig. 1).

La costa presenta un traçat i una morfologia totalment alterada per l'home. Ara bé, tota la zona litoral correspon a una costa baixa, en forma de graó amb acumulacions d'arenes i graves a l'extrem

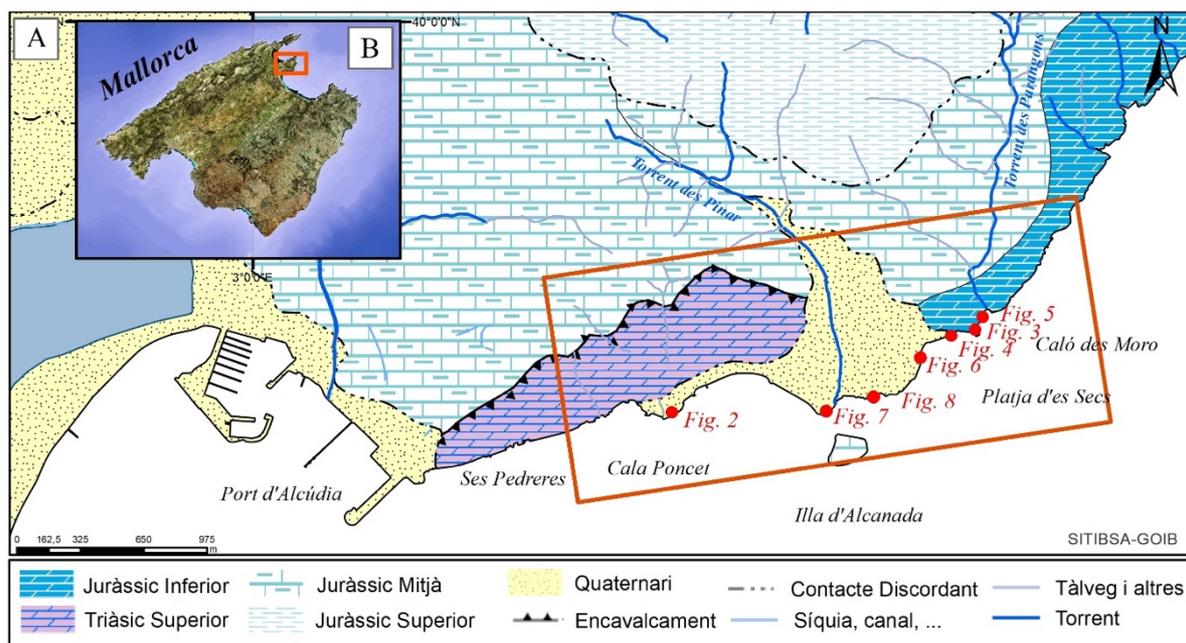
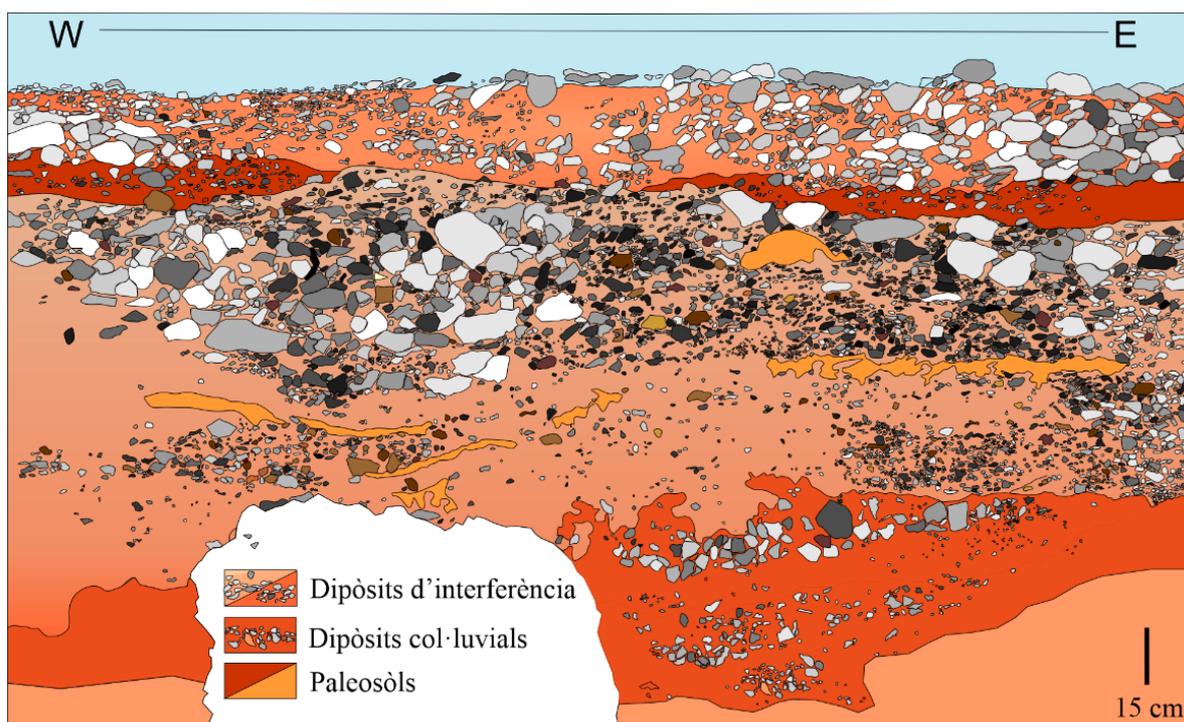


Fig. 1. A) Mapa Geològic i hidrològic de la zona d'estudi, B) Emplaçament de l'àrea d'estudi.



**Fig. 2.** Tall estratigràfic representatiu de la zona d'estudi. Observeu la interacció de diversos cossos sedimentaris separats per contactes erosius. Es tracta de paleosòls, dipòsits col·luvials i dipòsits d'interferència eòlic-col·luvial.

nord occidental, i des del cap de Menorca en direcció sud occidental, afloraments de calcarenites quaternàries. Destaca la desembocadura del torrent des Pinar just al mig de l'aflorament estudiat (davant de l'illot d'Alcanada).

Aquesta zona presenta materials compresos entre el juràssic inferior (lias), juràssic mitjà (dogger) i juràssic superior (malm), recoberts en la majoria dels casos de materials quaternaris. Les platges estan compostes per materials detrítics constituïts per arenes i principalment còdols rodats de les calcàries juràssiques. Les arenes són bioclàstiques amb fragments d'organismes principalment associats a l'habitat de praderes de *Posidonia oceanica* (FORNÓS i AHR, 1997). Per altra banda, el sediment litoclàstic té el seu origen en l'erosió dels relleus juràssics que delimiten la costa d'Alcanada i la posterior aportació per part de la xarxa fluvio-torrencial. El fons marí d'Alcanada, entre el tram comprès entre es Castell des Moro (Cap de Menorca) fins l'antiga central elèctrica, devora del port comercial, està cobert majoritàriament per *Posidonia oceanica*.

## Materials i mètodes

Per a dur a terme el present estudi s'ha realitzat una anàlisi estratigràfica a partir de l'aixecament de diversos talls estratigràfics (Fig. 2). A més a més, els talls estratigràfics han servit per destriar els principals nivells per realitzar anàlisis sedimentològiques, així com posicionar les disconformitats i superfícies erosives que defineixen les principals unitats estratigràfiques i cossos sedimentaris. D'aquesta manera, s'han identificat els nivells més representatius i s'han recollit mostres per a les seves posteriors anàlisis textural, mineralògiques i de composició.

## Anàlisi sedimentològica

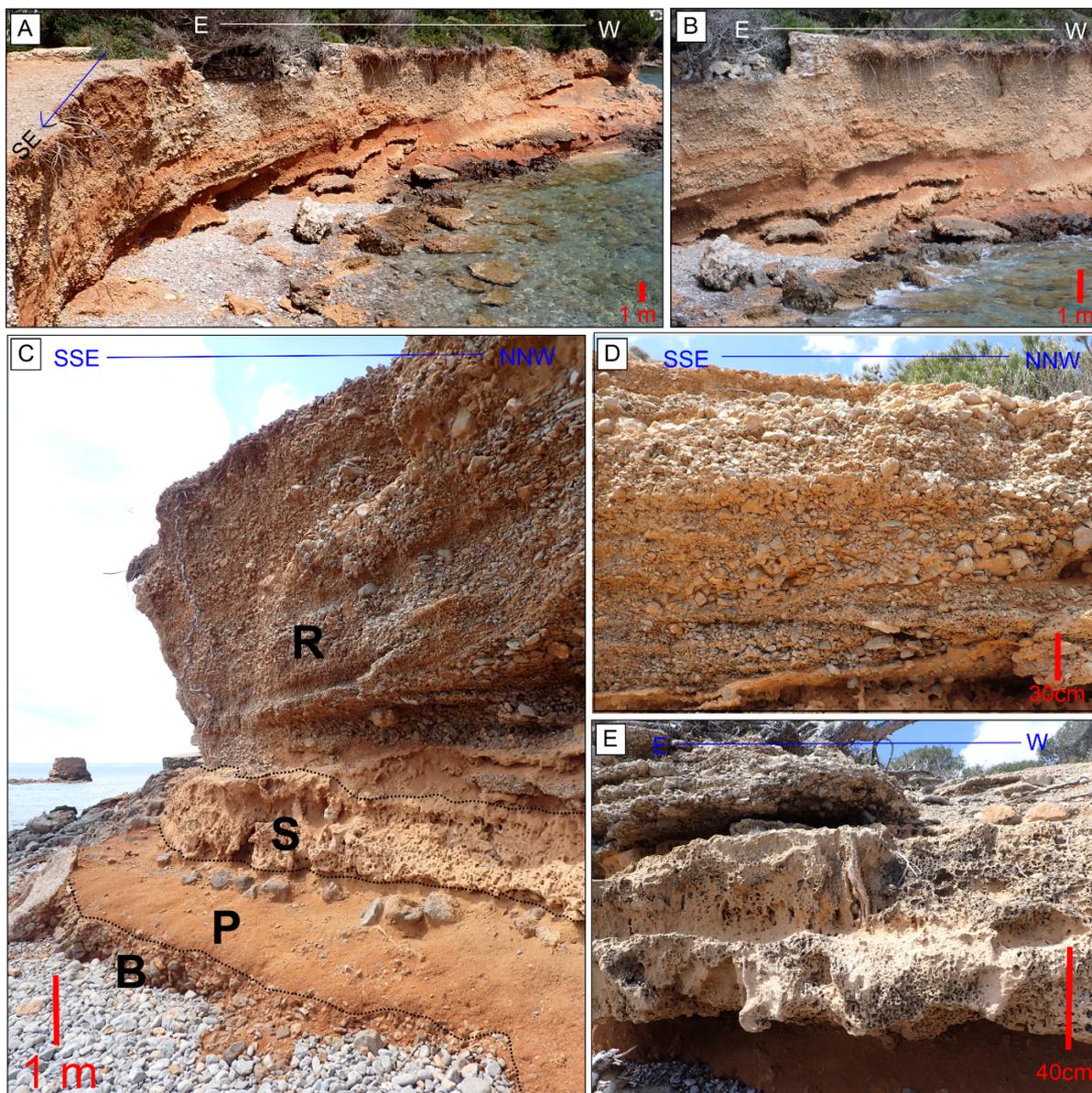
A partir de les característiques texturals i de composició dels sediments s'han diferenciat tres associacions de fàcies principals: col·luvial (B), interferència eòlic-col·luvial (R) i eòliques (S), així com



dos tipus de paleosòls diferents, que formen a trets generals la seqüència estudiada (Fig. 3). Aquesta seqüència es caracteritza per l'apilament de diversos cossos sedimentaris (Fig. 2) que s'inicia a la base amb nivells de fàcies col·luvials i paleosòls per, a continuació, acabar, al sostre de la seqüència, amb la interacció de nivells de fàcies eòliques i col·luvials.

#### *Fàcies col·luvials (B)*

Les fàcies col·luvials es componen principalment de nivells de bretxa caracteritzats per mostrar



**Fig. 3.** Detalls de les fàcies i l'estratigrafia dels dipòsits estudiats. A) Vista panoràmica de l'àrea d'estudi on s'observa la intercalació de nivells de dipòsits col·luvials amb paleosòls, B) Imatge detall dels contactes dels diferents nivells, C) Vista del punt de l'àrea d'estudi on s'hi observa la successió dels diversos dipòsits, (B) dipòsits col·luvials/al·luvials, (P) paleosòls, (S) eolianites, (R) dipòsits d'interferència; de baix a dalt nivells composts per bretxes heteromètriques amb matriu llimosa que canvien a nivells llimosos amb passades de clasts angulosos, fàcies d'interferència eòlic-col·luvial amb un elevat grau de bioturbació per vegetació i fàcies col·luvials compostes per bretxes amb matriu areno-llimosa, D) Detall de les fàcies d'interferència eòlic-col·luvial amb presència d'arena bioclàstica a la matriu i E) Imatge detall de les fàcies eòliques amb abundant evidències de bioturbació per vegetació com rizoconcrecions.

localment un aspecte clast-suportat però en general es disposen suportades per la matriu amb una presència mitjana de clasts d'un 35%. Les capes presenten una potència variable que va de 30 cm a 1,5 m. Els clasts són fragments heteromètrics -d'1 cm a 20 cm- del basament juràssic d'aspecte molt sub-angulós a angulós. La matriu està constituïda en la seva totalitat per llims vermellosos, o bé per una mescla de llims de colors marronosos o ataronjats i arenes bioclàstiques amb predominança dels primers (Fig. 3A i B). En general aquests nivells mostren un aspecte massiu però lateralment poden canviar a capes d'estratificació horitzontal, encreuada de baix angle o encreuada en forma de canal (Fig. 3C, D i E). Aquests nivells de fàcies corresponen a un ambient típicament al·luvial, construït per sediments arrossegats des dels vessants cap a la plana per corrents laminars que a mesura que descendien pel vessant es concentraven i anaven formant xaragalls i canals.

#### *Fàcies eòliques (S)*

Calcarenites compostes per arenes majoritàriament bioclàstiques amb una mida de gra fina (125-250  $\mu\text{m}$ ) alternant amb passades d'arenes mitjanes (250-500  $\mu\text{m}$ ). Presenten una coloració marró pàl·lid HUE 10YR 8/2- HUE 10YR 8/3 i una laminació subhoritzontal, amb un elevat grau de bioturbació per vegetació que li confereix, localment, un aspecte massiu (Fig. 3 E, Fig. 4) i una elevada presència d'estructures verticals interpretades com a rizoconcrecions (1 a 3,5 cm d'amplada i de 5 a 30 cm de llargada) (Fig. 5). El contacte amb el nivell superior, habitualment fàcies col·luvials, és erosiu, molt irregular i localment en forma de canal. De manera local i ja arribant al Caló des Moro, es poden observar part de les calcarenites adossades al basament, que han quedat penjades en forma de visera degut a l'erosió marina i l'erosió diferencial dels nivells inferiors (Fig. 4). Aquestes fàcies representen un ambient costaner dominat per l'avanç d'un camp dunar cap a l'interior.



**Fig. 4.** Fàcies eòliques. Dunes fòssils.

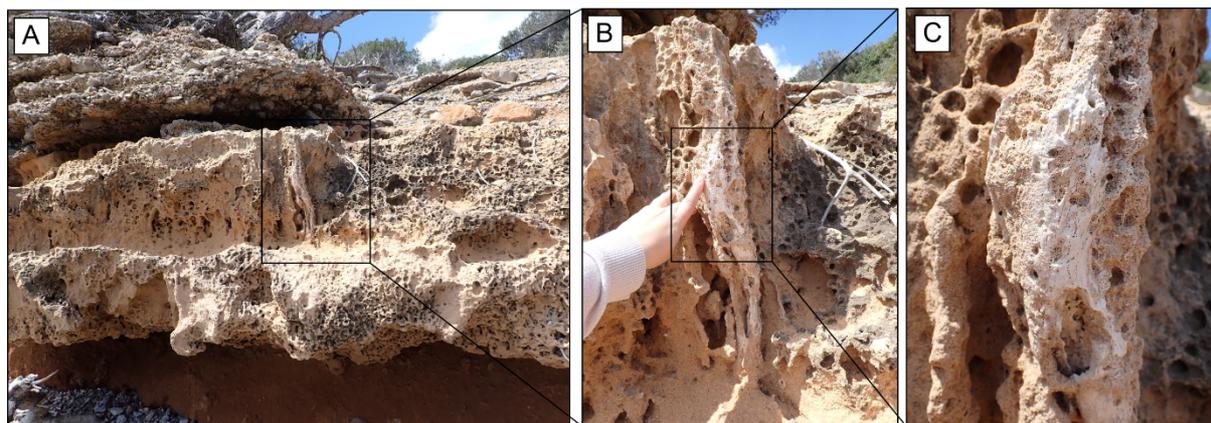


Fig. 5. Rizoconcrecions presents als nivells d'eolianites.

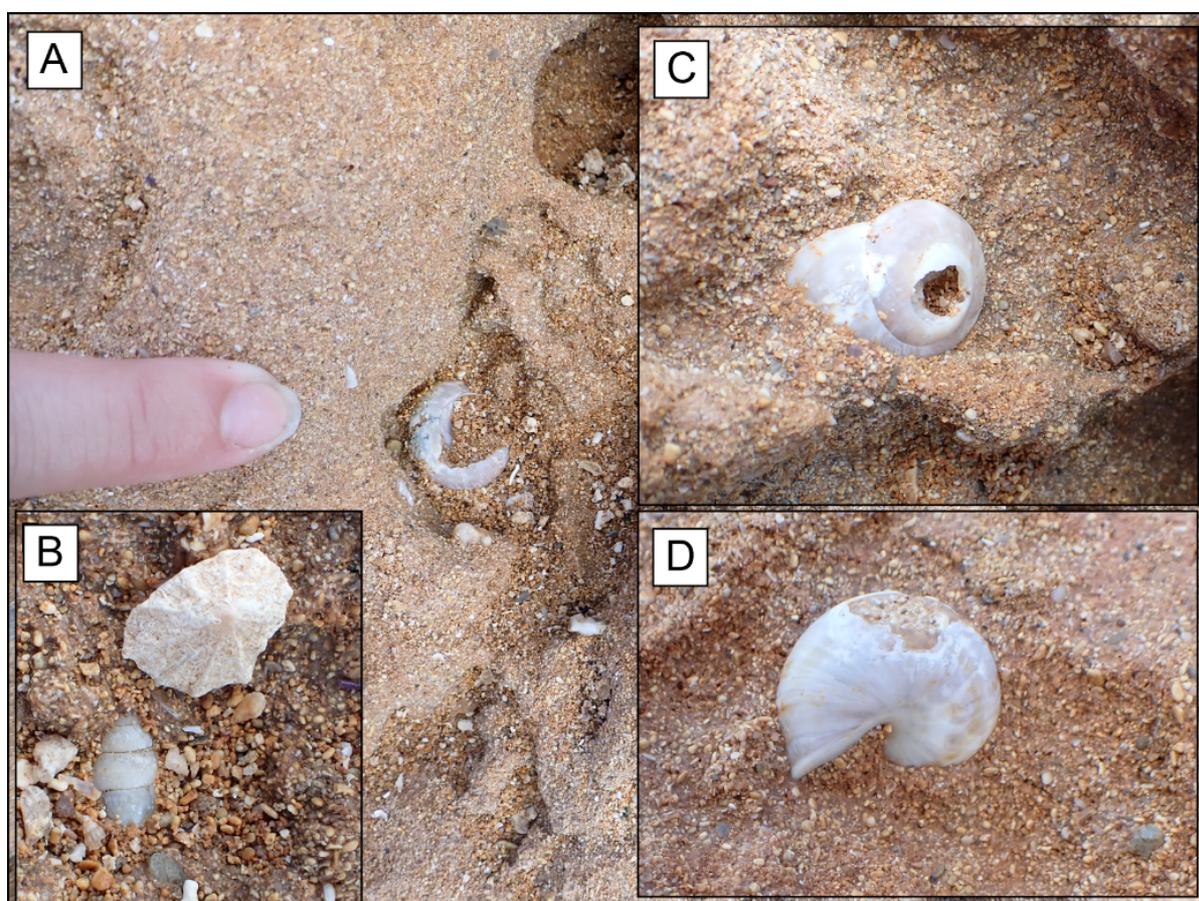
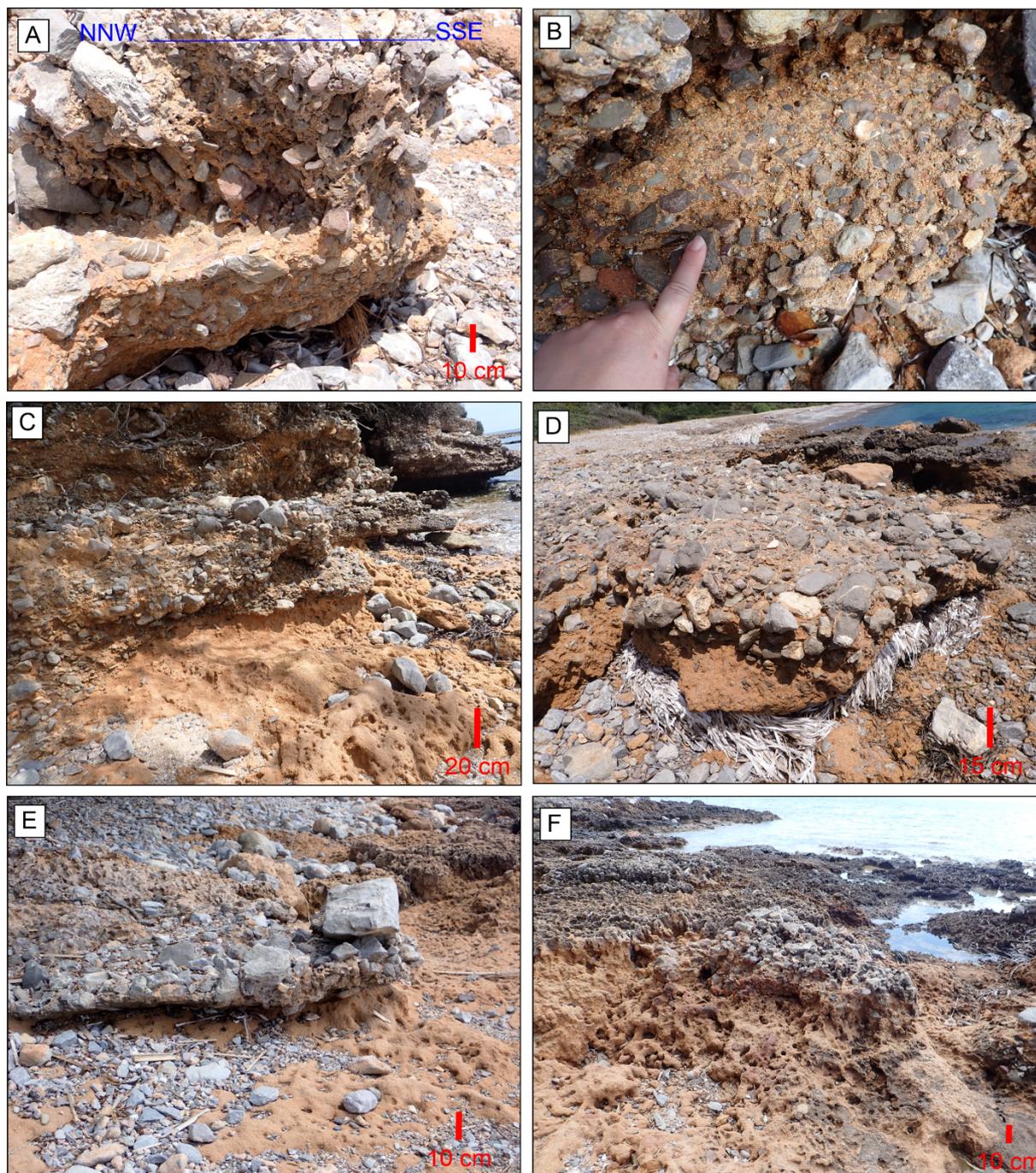


Fig. 6. Fauna terrestre present als nivells d'interferència eòlic-col·luvial de la zona d'estudi. A), C) i D) *Iberellus companyonii* B) *Chondrula gymnesica* (descrita per Quintana, 2006, abans anomenada *Mastus pupa*). Es tracta d'un Enidae avui extint a les Illes Balears i per consegüent de valor estratigràfic, ja que és comú en els llims, sòls d'alteració i formacions eòliques del Pleistocè superior de les Balears orientals. La seva extinció se va donar als inicis de la darrera glaciació del MIS 2 (CUERDA *et al.*, 1982; VICENS *et al.*, 2001).

#### *Fàcies d'interferència eòlic-col·luvial (R)*

Els nivells d'interferència eòlic-col·luvial estan formats per gresos que presenten nivells amb capes de potència variable 0,3 a 3,5 m, composts per arenas bioclàstiques amb una mida de gra mitjana i de color marró pàl·lid. Mostren un aspecte massiu amb abundant bioturbació per vegetació, amb presència de restes de gasteròpodes terrestres (Fig. 6). Les successions de fàcies d'interferència eòlic-col·luvial

poden mostrar capes de nivells horitzontals intercalats de bretxa amb clasts angulosos amb una mida de gra mitjana de 3 a 25 cm, que localment poden assolir forma de petita llentia allargassada (Fig. 7A, B, C i D). La matriu està composta per arenas bioclàstiques amb una mida de gra mitjana i presència de llims de color vermell (Fig. 7E). Presenten canvis laterals cap a una estratificació horitzontal i estructures en forma de solc amb la presència d'alguns clasts surant dins la matriu (Fig. 7F). Aquesta fàcies representa un ambient relacionat amb processos de vessant, on predominen el transport en massa controlats per la gravetat com la reptació o els *debris flows*.

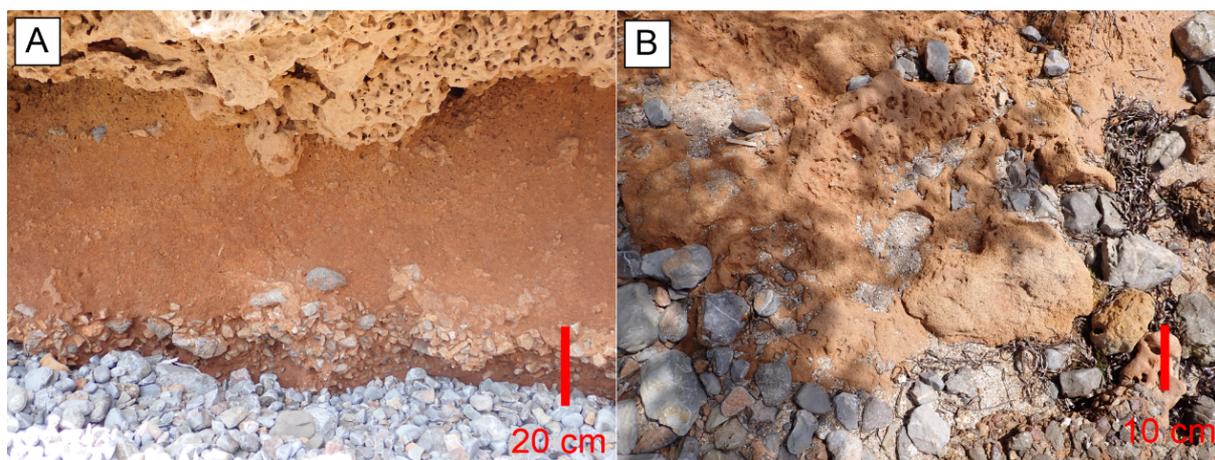


**Fig. 7.** Dipòsits d'Interferència eòlic-col·luvial caracteritzats per bretxes massives heteromètriques que poden canviar a estratificació encreuada de baix angle (A i B) i nivells en forma de llentia o canal (C i D). Poden contenir nivells amb poca presència de clasts que deixen veure clarament una matriu arenosa amb presència de llims vermellosos (E i F).

### Paleosòls

S'han diferenciat dos tipus de paleosòls (Fig. 8). Per una banda es troben els nivells formats per argiles i llims de color vermell HUE 10YR 6/6 de 0,15 a 1 m de potència, amb alguns nivells de crostes calcàries fines (màx. 1,5 cm de gruixa). La composició mineralògica és principalment silícica, amb la presència de minerals de quars, feldspats, caolinita, etc.

Per altra banda, s'han identificat nivells de 10 a 50 cm de gruixa composts principalment per llims de color marró pàl·lid HUE 10YR 8/4 amb nivells arenosos. Presenten una gran abundància de rizoconcrecions de mida mil·limètrica en tot el nivell, però augmenten la seva presència a la zona cap a sostre. La seva composició és majoritàriament carbonatada amb una presència moderada de minerals silícis. Poden observar-se a tots els nivells algunes passades horitzontals de petits clasts angulosos de potència centimètrica (Fig. 3C, Fig. 8).



**Fig. 8.** A) Paleosòls argilo-llimosos. B) Paleosòls areno-llimosos.

### Implicacions paleoambientals per a l'evolució de l'ambient deposicional durant el pleistocè

L'anàlisi sedimentològica mostra una deposició típica de ventall al·luvial caracteritzada per la presència d'abundants estructures sedimentàries com l'estratificació horitzontal encreuada de baix angle i una elevada presència de paleocanals. La intercalació de les diferents fàcies dins la seqüència pleistocena així com la complexa arquitectura estratigràfica permet desxifrar l'evolució de la seqüència deposicional. Aquests canvis en les successions estratigràfiques pareixen estar relacionats amb els canvis climàtics pleistocens. Per altra banda, l'anàlisi sedimentològica mostra que la mida mitjana dels grans que constitueixen els dipòsits arenosos varia des d'arena mitjana a gruixada ben classificada, cosa que indicaria que aquest sediment prové d'un ambient eòlic (BROOKE, 2001; PYE i TSOAR, 2009; FORNÓS *et al.*, 2012). A més a més, les observacions de composició mitjançant microscopi binocular mostren sediments composts principalment per arenas bioclàstiques, així com l'anàlisi mineralògica indica un gran predomini de la calcita, suggerint la procedència marina del sediment (FORNÓS i AHR, 1997; ABEGG *et al.*, 2001; FORNÓS i AHR, 2006; GÓMEZ-PUJOL *et al.*, 2013). Els clasts presents als nivells de bretxa i conglomerat provenen de l'erosió del basament de l'àrea d'estudi.

Durant el pleistocè es produïren diversos períodes d'ascens i descens del nivell marí relacionats amb canvis climàtics càlids i freds que se poden relacionar amb la seqüència estudiada i permet analitzar l'evolució paleoambiental d'aquest aflorament (PAVELIC *et al.*, 2011; FORNÓS *et al.*, 2012; POMAR *et al.*, 2016). Els períodes àrids i freds estan relacionats amb el descens del nivell de la mar, no obstant això, els períodes de clima càlid i humit es caracteritzen per nivells iguals o superiors al nivell actual (ZAZO, 1999; VESICA *et al.*, 2000; SIDDALL *et al.*, 2003; LOWE i WALKER, 2015). Per altra banda, els períodes de clima fred provocaren l'exposició de grans zones de la plataforma continental degut al

descens del nivell de la mar que afavorí la formació d'extensos camps dunars i facilità el transport eòlic cap a l'interior (CLEMMENSEN *et al.*, 1997; CAREW i MYLROIE, 2001; ANDREUCCI *et al.*, 2010; ELMEJDOUB *et al.*, 2011; DEL VALLE, 2016; DEL VALLE *et al.*, 2020a,b). Les cronologies d'altres treballs que han estudiat dipòsits anàlegs presents a les costes del nord de Mallorca i a la resta de les Illes Balears posen de manifest importants moments de deposició eòlica durant períodes de refredament climàtic (ROSE *et al.*, 1999; FORNÓS *et al.*, 2009; THOMPSON, 2017; POMAR, 2016). Per altra banda, durant períodes interglacials o d'escalfament relatiu del clima dins un context general glacial, els ambients deposicionals predominants han estat la formació de dipòsits col·luvials, ventalls al·luvials i paleosòls (FORNÓS *et al.*, 2009; DEL VALLE *et al.*, 2016; POMAR, 2016; DEL VALLE *et al.*, 2020a).

La localització d'aquests dipòsits d'aspecte netament col·luvial però que incorporen importants quantitats de sediment eòlic a la desembocadura d'una petita conca fluvial, així com la seva arquitectura estratigràfica permeten concloure que la deposició d'aquests cossos sedimentaris és producte de processos d'interferència entre ambients sedimentaris eòlics i col·luvials. Aquesta interferència fou especialment activa durant les regressions marines del pleistocè que coincideixen amb importants episodis de refredament global (FORNÓS *et al.*, 2009; PAPPALARDO *et al.*, 2013; PASCUCCI *et al.*, 2014; POMAR *et al.*, 2017; POMAR *et al.*, 2018; DEL VALLE *et al.*, 2020a,b). En aquestes condicions, la plataforma continental estava coberta per grans extensions d'arena bioclàstica exposada a l'acció del vent. Al mateix temps, la disminució de les temperatures ambientals generà les condicions adequades per a l'inici d'episodis d'intenses precipitacions que es traduïren en revingudes sobtades capaces de desmantellar total o parcialment els camps dunars costaners i reciclar i incorporar el sediment eòlic al sistema col·luvial.

## Agraïments

Aquest treball vol ser una contribució a l'homenatge a n'Antonio Rodríguez-Perea pel seu mestratge a diverses generacions de geomorfòlegs de les Balears. Ell fou una de les espurnes que encengué el nostre amor pels ambients sedimentaris, moltes gràcies.

GXP agraeix el finançament del projecte de recerca: *Overtourism in Spanish Coastal Destinations. Tourism Degrowth Strategies* (RTI2018-094844-B-C31) finançat per FEDER/Ministerio de Ciencia e Innovación – Agencia Estatal de Investigación. LDV agraeix el finançament de l'Agencia Estatal de Investigación (AEI), PID2020-112720GB-I00/AEI/10.13039/501100011033. LDV és beneficiària del Programa Postdoctoral Vicenç Mut (CAIB) Govern de les Illes Balears.

## Bibliografia

- ABEGG, F.E., LOOPE, D.B. i HARRIS, P.M. (eds.) (2001): Carbonate eolianites-Depositional models and diagenesis. *SEPM Special Publications*, 71: 17-30.
- ANDREUCCI, S., CLEMMENSEN, L.B., MURRAY, A.S. i PASCUCCI, V. (2010): Middle to Late Pleistocene coastal depòsits of Alghero, northwest Sardinia (Italy): Chronology and Evolution. *Quaternary International*, 222: 3-16.
- BROOKE, B. (2001): The Distribution of carbonate eolianite. *Earth-Science Reviews*, 55: 135-164.
- CAREW, J.L. i MYLROIE, J.E. (2001): Quaternary carbonate eolianites of the Bahamas: Useful analogues for the interpretation of ancient rocks? In: ABEGG, F.E., HARRIS, P.M. i LOOPE, D.B. (Eds.): *Modern and Ancient Carbonate Eolianites: Sedimentology, Sequence Stratigraphy and Diagenesis*. *SEPM Special Publication*, 71: 33-45.
- CLEMMENSEN, L.B., FORNÓS, J.J., i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1997): Morphology and architecture of a late Pleistocene cliff-front dune, Mallorca, Western Mediterranean. *Terra Nova*, 9: 251-254.
- CUERDA J. ANTICH, S. i SOLER A. (1982): La secuencia pleistocénica dunar de Son Moson (Mallorca) y sus correlaciones faunísticas y estratigráficas. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 26: 13-35.
- CUERDA, J. (1989): Los Tiempos Cuaternarios en Baleares. Direcció General de Cultura. CAIB. 310 pp.

- DEL VALLE, L. (2016): *El registre sedimentari eòlic del Plistocè litoral d'Eivissa*. Tesi Doctoral. Universitat de les Illes Balears. 286 pp.
- DEL VALLE, L., FORNÓS, J.J., POMAR, F., PONS, G.X. i TIMAR-GABOR, A. (2020a): Aeolian-alluvial interactions at Formentera (Balearic Islands Western Mediterranean): The Late Pleistocene evolution of a coastal System. *Quaternary International*, 566-567: 271-283.
- DEL VALLE, L., GÓMEZ-PUJOL, L., FORNÓS, J.J., TIMAR-GABOR, A., ANECHITEI-DEACU, V. i POMAR, F. (2016): Middle to Late Pleistocene dunefields in rocky coast Settings at Cala Xuclar (Eivissa, Western Mediterranean): Recognition, architecture and luminescence chronology. *Quaternary International*, 407: 4-13.
- DEL VALLE, L., POMAR, F., FORNÓS, J.J., GÓMEZ-PUJOL, L. i TIMAR-GABOR, A. (2020b): Lower to middle Pleistocene coastal dune fields formation in the Western Mediterranean (Western Eivissa, Balearic Archipelago): Chronology and landscape evolution. *Aeolian Research*, 45: 100595.
- ELMEJDOUN, N., MAUZ, B. i JEDOU, Y. (2011): Sea-level and climatic controls on Late Pleistocene coastal aeolianites in the Cap Bon península, northeastern Tunisia. *Boreas*, 40: 198-207.
- FORNÓS, J.J. i AHR, W.M. (1997): Temperate carbonates on a modern, low-energy, isolated ramp: The Balearic Platform, Spain. *Journal of Sedimentary Research*, 67: 364-373.
- FORNÓS, J.J. i AHR, W.M. (2006): Present-day temperate carbonate sedimentation on the Balearic Platform, western Mediterranean: compositional and textural variation along a low-energy isolated ramp. In: PEDLEY, H.M. i CARANNANTE, G. (eds.): *Cool-water carbonates: Depositional Systems and Paleoenvironmental controls*. Geological Society, London, Special Publications, 255: 71-84.
- FORNÓS, J.J., CLEMMENSEN, L.B., GÓMEZ-PUJOL, L. i MURRAY, A.S. (2009). Late Pleistocene carbonate aeolianites on Mallorca, western Mediterranean: a luminescence chronology. *Quaternary Science Reviews*, 28: 2697-2709.
- FORNÓS, J.J., GINÉS, A., GINÉS, J., GÓMEZ-PUJOL, L., GRÀCIA, F., MERINO, A. ONAC, B.P., TUCCIMEI, P. i VICENS, D. (2012). Upper Pleistocene deposits and karst features in the litoral landscape of Mallorca Island (Western Mediterranean): A field trip. In: GINÉS, A., GINÉS, J., GÓMEZ-PUJOL, L., ONAC, B.P. i FORNÓS, J.J. (Eds). *Mallorca: A Mediterranean Benchmark for Quaternary studies*. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, 18: 163-220.
- GINÉS, A. i GINÉS, J. (2011a): El modelat exocàrstic de les Balears i els camps de lapiaz de mitjana muntanya mediterrània a la Serra de Tramuntana de Mallorca. *Endins*, 35 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 17: 85-102.
- GÓMEZ-PUJOL, L. (1999): Sedimentologia i evolució geomorfològica quaternària del ventall al·luvial des Caló (Betlem, Arta, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 42: 107-124.
- GÓMEZ-PUJOL, L., FORNÓS, J.J., POPE, R.J. i CLEMMENSEN L.B. (2008): Los abanicos aluviales litorales del NE de Mallorca: morfometría y arquitectura de facies. In: BENAVENTE, J. i GRACIA F.J. (Eds). *Trabajos de Geomorfología en España*, 2006-2008: 343-436.
- GÓMEZ-PUJOL, L., ROIG-MUNAR, F.X., FORNÓS, J.J., BALAGUER, P. i MATEU, J. (2013): Provenance-related characteristics of beach sediments around the island of Menorca, Balearic Islands (western Mediterranean). *Geo-Marine Letters*, 33: 195-208.
- LOWE, J.J. i WALKER, M.J.C. (2015): *Reconstructing Quaternary Environments*. Routledge. 568 pp.
- MACKLIN, M.G., LEWIN, J., i WOODWARD, J.C. (1995): Quaternary fluvial Systems in the Mediterranean basin. In: MACKLIN, M.G., LEWIN, J., i WOODWARD, J.C. (eds.): *Mediterranean Quaternary River Environments*. Referred Proceedings on an International conference. University of Cambridge: 1-25.
- PAPPALARDO, M., CHELI, A., CIAMPALINI, A., RELLINI, I., BIAGIONI, F., BRÜCKNER, H., FÜLLING, A. i FIRPO, M. (2013): Evolution of an Upper Pleistocene aeolianite in the northern Mediterranean (Liguria, NW Italy). *Ital. J. Geosci.*, 132: 290-303.
- PASCUCCI, V., SECHI, D. i ANDREUCCI, S. (2014): Middle Pleistocene to Holocene coastal evolution of NW Sardinia (Mediterranean Sea, Italy). *Quaternary International*, 328-329:3-20.
- PAVELIC, D., KOVACIC, M., VLAHOVIC, I. i WACHA, L. (2011): Pleistocene calcareous aeolian-alluvial deposition in a steep relief karstic coastal belt (island of Hvar, eastern Adriatic, Croatia). *Sedimentary Geology*, 239: 64-79.
- POMAR, F. (2016). *Arquitectura i fàcies deposicionals de la interferència entre sedimentació al·luvial, col·luvial i eòlica a les Illes Balears durant el Pleistocè superior: implicacions paleoclimàtiques*. Tesis Doctoral, Universitat de les Illes Balears, 377 pp.
- POMAR, F. i DEL VALLE, L. (2018): Terrasses al·luvials i processos d'incisió durant l'Holocè: caracterització de ventalls al·luvials mitjançant models digitals d'elevacions a partir de dades LIDAR. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 61: 57-77.
- POMAR, F., DEL VALLE, L., FORNÓS, J.J. i GÓMEZ-PUJOL, L. (2018): Late Pleistocene dune-sourced alluvial fans in coastal Settings: Sedimentary fàcies and related processes. *Sedimentology*, 367: 48-68.

- POMAR, F., FORNÓS, J.J., GÓMEZ-PUJOL, L. i DEL VALLE, L. (2016): Dipòsits d'interferència eòlic-al·luvial al Pleistocè superior de les Illes Balears (Mallorca i Menorca), Mediterrània occidental): sedimentologia i implicacions paleoambientals. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 59: 147-185.
- POMAR, F., FORNÓS, J.J., GÓMEZ-PUJOL, L. i DEL VALLE, L. (2017): Las eolianitas cuaternarias de Menorca y los depósitos asociados. 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: 111-136.
- POMAR, F., FORNÓS, J.J., GÓMEZ-PUJOL, L. i DEL VALLE, L. (2015): Interferència entre sedimentació eòlica i al·luvial. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 58: 127-157.
- PYE, K. i TSOAR, H. (2009): *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 458 pp.
- QUINTANA, J. (2006): Reconsideració taxonòmica de *Chondrula (Mastus)* fòssil de Mallorca i Menorca (Gastropoda: Pulmonata: Enidae). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 49: 21-38.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1998): Ventalls al·luvials i sistemes dunars a Betlem: Artà, Mallorca. In: FORNÓS ASTÓ, J.J. (Ed.). Aspectes geològics de les Balears. Mallorca, Menorca i Cabrera: 169-189. Universitat de les Illes Balears, Palma.
- ROSE, J., MENG, X. i WATSON, C. (1999): Paleoclimate and palaeoenvironmental responses in the western Mediterranean over the last 140 ka: evidence from Mallorca, Spain. *Journal of the Geological Society*, London, 156:435-448.
- SIDDALL, M., ROHLING, E.J., ALMOGI-LABIN, A., HEMLEBEN, C.H., MELSCHNER, D., SCHMELZER, I. i SMEED, D.A. (2003): Sea-level fluctuations during the Last glacial cycle. *Nature*, 423: 853-858.
- THOMPSON, W. (2017): *Late Quaternary Fluvial System Response to climatic change over the past 200 ka on Mallorca, Illes Balears*. Tesi Doctoral. Universitat de Derby. 303 pp.
- VESICA, P.L., TUCCIMEI, P., TURI, B., FORNÓS, J.J. GINÉS, A. i GINÉS, J. (2000): Late Pleistocene paleoclimatesa and sea-level change in the Mediterranean as inferred from stable isotope and U-series studies of overgrowths on speleothems, Mallorca, Spain. *Quaternary Science Reviews*, 19: 865-879.
- VICENS, D., PONS, G.X., BOVER, P. i GRACIA, F. (2001). Eis tàxons amb valor biogeogràfic i cronoestratigràfic: bioindicadors climàtics del Quaternari de les Illes Balears. In: PONS, G.X. i GUIJARRO, J.A. (eds.). *El canvi climàtic: passat, present i futur. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 9: 121-146.
- ZAZO, C. (1999): Interglacial Sea levels. *Quaternary International*, 55: 101-113.

---

Data recepció: 16.07.21

Data revisió: 04.09.21

Revisió acceptada: 20.09.21





# EOLIANITES A LA PART SEPTENTRIONAL DE LA SERRA DE TRAMUNTANA: LA PENÍNSULA DE FORMENTOR (POLLENÇA, MALLORCA)

Damià Vicens <sup>1</sup>, Guillem X. Pons <sup>1,2</sup>, Guillem Vicens <sup>1</sup> i Laura del Valle <sup>1,3,4</sup>

<sup>1</sup> Societat d'Història Natural de les Balears. Carrer Margarida Xirgu, 16 baixos. 07011 Palma.

<sup>2</sup> Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears, Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears).

<sup>3</sup> Faculty of Environmental Sciences and Engineering, Babes-Bolyai University, Cluj-Napoca, Romania.

<sup>4</sup> Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears).

**Resum:** Es presenta un estat de la qüestió descriptiu sobre les eolianites quaternàries de la península de Formentor (Illa de Mallorca). Moltes es troben dins cales que donen cap el NO, com són cala Sant Vicenç, Cala Bóquer i cala Figuera. N'hi ha d'altres que es troben a la badia de Pollença. Malgrat la presència de dunes fòssils, actualment no hi ha sistemes dunars a la zona. També es comenta breument les cavitats que hi ha a les eolianites i els maressars de la zona.

**Paraules clau:** eolianita, península de Formentor, Pollença, Mallorca.

**Abstract:** A state of the art is presented on the Quaternary aeolianites of the Formentor Peninsula (Island of Mallorca). Many are located in coves that face to the NW, such as Cala Sant Vicenç, Cala Bóquer and Cala Figuera. There are others in the Bay of Pollença. Despite the presence of fossil dunes, there are currently no dune systems in the area. The cavities in the Aeolianites and quarries in the area are also briefly discussed.

**Keywords:** eolianite, Formentor peninsula, Pollença, Mallorca.

## Introducció

La península de Formentor es troba situada a la part septentrional de la serra de Tramuntana (Mallorca). Estructuralment està composta per un sistema imbricat d'encavalcaments amb un sentit principal de transport vers el NO. L'evolució geomorfològica ve marcada per una estructuració prèvia al miocè inferior i a una posterior compressió miocena SE-NO donant lloc a encavalcaments (GELABERT *et al.*, 1991; GELABERT 1997). Els materials que afloren són dolomies i margues del triàsic superior, calcàries i dolomies massives dels lias, miocè discordant sobre els materials anteriors format per dues unitats (RODRÍGUEZ-PEREA 1984). La unitat inferior constituïda per calcarenites i conglomerats de fàcies continentals, litorals i de plataforma, amb una edat corresponent a l'aquitanià-burdigalià inferior (Formació Calcarenites de Sant Elm). La unitat superior, està formada per una alternança, principalment de, calcarenites i margues, i esta datada com burdigalià superior-langià (Formació Turbidites de Banyalbufar). Una revisió la podem trobar a NICHOLSON (2006), on es presenten alguns talls geològics.

No presenta diferències notables respecte la costa que continua cap el SO fins a Sóller, a excepció del contacte lateral de les valls longitudinals que queden entre els diferents encavalcaments o que estan associades a sinclinals (GÓMEZ-PUJOL *et al.*, 2007). Tal n'és el cas de cala Castell (aquesta cala ja es no es trobaria a la península de Formentor), cala Sant Vicenç, cala Bóquer o cala Figuera. Una altra qüestió és que la posició relativament enfora dels entrants respecta a la isòbata de -50 m, poden explicar en un marc de fluctuacions glacioeustàtiques al quaternari, la presència d'eolianites carbonatades als vessants i flancs d'aquestes cales.

D'altra banda, a part de les eolianites, també hi ha altres materials no deformats del quaternari, com són els dipòsits de vessant de muntanya, paleosòls (VICENS i PONS, 2007; VICENS, 2015) i toves (VICENS *et al.*, 2014).



Fig. 1. Localitats amb eolianites a la península de Formentor.

Encara que sí hi ha platges arenoses, com són les de Cala Sant Vicenç, la Platjola, Formentor, etc., actualment no hi ha camps dunars al terme municipal de Pollença (veure SERVERA 1997, SERVERA *et al.*, 2014). Malgrat això, sí hi ha eolianites a Cala Bóquer, Cala Figuera, Formentor, Cala Sant Vicenç, entre d'altres.

Cal recordar que, segons GÓMEZ-PUJOL (en premsa), els primers en donar valor a les eolianites de Mallorca i el seu significat ambiental són BUTZER (1962) i BUTZER i CUERDA (1962). FORNÓS (2014) comenta el significat històric d'eolianita, defineixen les principals característiques texturals i sedimentològiques, els dipòsits associats i les característiques paleogeogràfiques i paleoambientals que representen dintre de la complexa evolució sedimentària del Quaternari, mostrant exemples de les Illes Balears. A POMAR (2016) podem trobar exemples de Mallorca i de Menorca i a DEL VALLE (2016) d'Eivissa, així com una extensa bibliografia sobre el tema.

Una eolianita és una calcària costanera que registra el retreballament de grans quantitats de sediment marí d'aigües someres (litoral i de plataforma) majoritàriament d'origen biogènic. La cimentació és carbonatada i la seva deposició va ser en un ambient costaner durant el Quaternari. La seva localització, extensió i grau de cimentació fa que siguin unes roques fàcils de treballar i això fa que s'hagin utilitzat com a material de construcció des de fa temps als llocs on aflora. A nivell regional té diferents noms (consultar FORNÓS 2014); a Mallorca i Menorca se la coneix per marès i a Eivissa per pedra maresa (ALCOVER & MOLL 2021).

El fet d'haver una informació escassa sobre les eolianites i maressars d'aquesta zona de la serra de Tramuntana, ha fet que presentàssim aquest escrit, que seria més bé un estat de la qüestió. El treball s'estructura en tres apartats, el primer situa les eolianites (Fig.1), el segon les cavitats a les eolianites i el tercer els maressars.

### Localització

Les eolianites a Cala Sant Vicenç es localitzen a totes les cales que conformen aquest indret: Cala Barques, Cala Clara, Cala Molins i Cala Carbó. Ara bé, a Cala Molins, les eolianites es troben prop de la punta de la Torre i entre Cala Molins i Cala Carbó. Els dipòsits que hi ha dintre d'aquesta Cala són dipòsits tovacis. A Cala Carbó els dipòsits eòlics arriben fins uns 400 m al NO de la Cala i rere d'aquesta desapareixen, al contrari que Cala Barques, Cala Clara i Cala Molins, on els dipòsits eòlics s'estenen fins uns 1300 m terra endins, ocupant la major part de la urbanització de Cala Sant Vicenç, fins als alzinars de Can Botana. A Cala Sant Vicenç hi ha maressars a molts indrets.



**Fig. 2.** Eolianites molt alterades i en procés de desmantellament per l'erosió a cala Bóquer. La presència de materials tous del miocè pre-orogènic per davall ha estat un factor condicionant.

A cala Bóquer les eolianites, se situen al marge occidental de la cala i es troben molt desmantellades degut a l'erosió (Fig. 2). A uns 775 m rere la cala, cap el SO i a uns 69 m snm, hi ha una zona on hi ha una taca d'eolianites, on ENCINAS (1994) va topografiar una cavitat.

A cala Figuera, se situen al mateix marge que la cala anterior, a l'occidental. Degut a l'erosió hi ha en l'actualitat a la cala dues zones d'eolianites. Una just a la cala i l'altra a uns 500 m al NE (Fig. 3). També presenta una taca d'eolianites a uns 1100 m cap l'E-SO i a uns 92 m snm, on hi ha tres cavitats excavades dins aquest tipus de material (ENCINAS 1994). A uns 600 m de la cala, al cap de Catalunya, hi ha la cova Negra, on GRÀCIA *et al.* (2001) documenten la presència d'eolianites. A la badia de Pollença, on hi ha eolianites és a la platja de Formentor i a darrera d'aquesta. També n'hi ha a la punta de l'Avançada.

### Eolianites i cavitats

Les eolianites, moltes de vegades a ran del nivell de la mar, són susceptibles de ser erosionades i contenir coves d'abradió marina. També pel fet de ser una roca no tant dura com altres, l'home les ha excavat per a diferents usos. Tot seguit, comentam breument les cavitats excavades a les eolianites, tant artificials com naturals.

#### *Necròpolis de cala Sant Vicenç*

La necròpolis de cala Sant Vicenç, juntament amb la de Son Sunyer en el terme municipal de Palma i la de Son Toni Amer a Campos, són les necròpolis més importants constituïdes per hipogeus de tipus mediterrani excavades en la roca (ROSSELLÓ *et al.*, 1994), de l'illa de Mallorca.

A ROSSELLÓ *et al.* (1994) hi ha la història de l'estudi d'aquestes coves artificials d'enterrament de l'edat del bronze, envoltades d'enterraments paleocristians. Les coves artificials presenten topografies aixecades per diversos autors i es poden consultar a l'obra citada. L'única planimetria de les tombes paleocristianes que hi ha als voltants, és l'aixecada per ENCINAS (1981), abans de la remodelació del lloc degut a la urbanització. Aquestes tombes a l'igual que les coves de l'edat del bronze estan excavades dins eolianites.



**Fig. 3.** Eolianites de cala Figuera adossades als materials plegats. No presenten vegetació prop de la mar.



**Fig. 4.** Entada de la cova 6 (esquerra) i cova 7 (dreta) de la necròpolis de cala Sant Vicenç, excavades dins les eolianites quaternàries.

Una de les cavitats més representades a articles d'arqueologia és la núm. 7, descrita per Hemp (1927). La interpretació que dona ENCINAS (2007) d'aquesta cova (Fig. 4), excavada segons l'autor a partir de la remodelació d'una cova natural formada per dissolució, trobam que és arriscada, més quan no aporta proves.

#### *Cova Negra*

Cavitat molt interessant, descrita per GRÀCIA *et al.* (2001) al cap de Catalunya. Aquesta cavitat amb un recorregut d'uns 400 m, no apareix per oblit a l'inventari del 2011 de cavitats de les Illes Balears malgrat els seus més de 300 m de recorregut (GRÀCIA *et al.* 2011). Encara què la cavitat es troba instal·lada dins les calcàries del mesozoic, si val la pena parlar-ne ja que durant el pleistocè es va veure reblida per dunes, i la cimentació d'aquestes i posteriors erosions ha donat com a resultat la morfologia actual. Donat el seu interès, també és esmentada per VICENS *et al.* (2011).

La boca de dimensions notòries, té 50 m d'amplària i 44 d'alçada (on 24 són subaquàtics), dona pas a una sala de 70 m de longitud. La cavitat de direcció general N-S, segueix per una galeria amb el fons cobert d'arena amb *ripplemarks* que penetren cova endins fins quasi el final de la cavitat. La fondària va dels -23,5 m al començament de la galeria fins als -20,5 m al final de la zona coberta per arena. La distància màxima entre l'entrada i el final de la gruta és de 200 m (125 subaquàtics). No hi ha dipòsits litoquímics, exceptuant una cambra aèria al final, on hi ha colades de poca rellevància. Per tot arreu hi ha eolianites erosionades.

#### *Cova del Tresor*

Caverna que presenta una àmplia sala, on tot el sòtil són eolianites. La cavitat es va formar degut a l'abrasió marina que va actua sobre les eolianites i col·luvions basals. Ara per ara, l'arena present al trespol, tapa els blocs que dècada rere dècada s'han anat desprenent de la volta. La cavitat va ser topografiada per J. A. Encinas el 1993 (ENCINAS 1994; 2014) i presenta una planta de 56 x 25 m i una alçada de 14,5 m.

#### *Altres cavitats*

Hi ha una sèrie de cavitats d'abrasió marina situades a les eolianites de cala Figuera, aquestes són la cova de l'Amo, la cova Marina de l'Alba i la cova Marina de cala Figuera (ENCINAS 1994; 2014). Són coves de petites dimensions i d'edat holocena. També a uns 90 m snm hi ha tres cavitats topografiades pel mateix autor, i que es troben dins eolianites, aquestes són la cova Baixa, la cova de les Paretis i la cova de les Arenes.

Ja a la vall de Bóquer hi ha la cova del Pi de Bóquer, a uns 60 m snm, cavitat de modestes dimensions, dins eolianites.

### **Maressars**

Els maressars són llocs on hi ha marès i que sobretot s'ha treballat per extreure'l, és a dir, pedreres.

Segons MAS (2017a) hi havia una certa mancança de publicacions específiques sobre el tipus de marès existent a Mallorca, no obstant ressorgia l'interès tècnic-aplicat i patrimonial pel marès i per això citava a ALONSO *et al.* (1996), GARCIA-INYESTA i OLIVER (1997), AMENGUAL & SERRA (2008), SÁNCHEZ-CUENCA (2010), MATEOS *et al.* (2011) i el blog de Salvà. Respecte el tipus de marès en l'actualitat poden trobar tot una sèrie d'articles, escrits majoritàriament per MAS (2011, 2017a, 2017b), on es realitza una classificació tipològica a partir del context geològic i cronoestratigràfic i s'expliquen els usos tradicionals i aspectes històric-etnològics, entre d'altres. També cal destacar les aportacions de SALVÀ (2014, 2018)

sobre les pedreres de marès, i el seu blog (SALVÀ 2011-2021) on es pot trobar més informació al respecte.

MAS (2017a) assenyalava en un mapa la presència de pedreres amb marès del litotipus Q de cronologia entre el pleistocè mitjà-superior a cala Sant Vicenç. Aquest mateix autor, havia explicat amb tot detall les característiques d'aquest marès uns quants anys abans (MAS 2011), així d'on es troba generalment, a la costa sud de l'illa, i també a molts d'altres indrets. Les pedreres, excavades a cel obert, són nombroses però poc extenses, a les zones de costa baixa (Palma, Campos, Ses Salines, Alcúdia), els illots, i formacions dunars fòssils tipus *cliff-front* (adossades) i *cliff-top* (sobreposades) als penya-segats (Andratx, Calvià, Lluçmajor, Santanyí).

Les làmines d'aquestes eolianites poden presentar bioturbació per icnites de *Myotragus balearicus*, rizolites (Fig. 5) i traces d'insectes (MAS 2017a).

Respecte a la informació referent als maressars al terme de Pollença, aquesta és escassa. Així, a un treball recent sobre materials de la construcció a través de la documentació històrica entre els segles XIV i XVIII realitzat per BALLESTER (2015), no se cita cap maressar del municipi. Tal volta perquè no hi havia maressars al terme de Pollença, però trobam que el més probable és que n'hi havia, ja que hi ha edificis anteriors al s. XVIII construïts total o parcialment amb marès. Aquests marès, per proximitat, ha de ser de cala Sant Vicenç o de la zona d'Alcúdia.



**Fig. 5.** Rizòlits a les eolianites del Pleistocè superior de cala Carbó.

*Cala Sant Vicenç*

A cala Sant Vicenç hi ha molts de petits maressars, així n'hi ha entre cala Barques i cala Clara, actualment emmascarats per la terrassa d'un hotel (Fig. 6), al N de cala Clara a un indret denominat actualment el Maressar, al NO de cala Carbó (Fig. 7), a l'actual urbanització de cala Sant Vicenç i pels alzinars de Can Botana fins uns 1300 m terra endins.

Creiem que molts de maressars eren arrendats per finques més grans a trencadors a nivell individual. Així tenim constància que Guillem Cladera Totxo, mestre d'obres, treia marès d'una petita pedrera dins can Botana a la dècada dels anys 30 del s. XX. Als voltants hi havia més pedreres petites actives (*pers. com.* Pep Vicenç).

*El Maressar*, surt als topònims costaners de TORRES (2010) i el posa com a sinònim de *Les Pedreres*, si bé l'autor diu textualment: "es podria tractar de". Actualment es coneix amb aquest topònim una zona molt coneguda pels banyistes a un 200 m al NE de cala Clara. Ara bé, s'ha d'anar alerta quan es parla de "les pedreres vers la mar" en algun text històric, ja que hi ha pedreres a uns 300 al NE de cala Carbó i entre cala Molins i cala Clara, encara que aquest darrer no es pugui veure completament degut a la terrassa d'un hotel (Fig. 6).

VICENS i PONS (2007) al seu article sobre mol·luscs terrestres a la zona N de Mallorca presenten tres tallis de cala Sant Vicenç, què també es varen presentar a VICENS (2015). Als tallis si es designen, per la seva gènesi, les eolianites, no així els paleosòls i els derrubis de vessant de muntanya, què és denominen pel tipus de material, com són els llims i les bretxes. El registre paleontològic a un aflorament uns 600 m terra endins consta de mol·luscs, tots ells endèmics, com són *Iberellus balearicus*, *Tudorella ferruginea*, *Xerocrassa frater* i *Xerocrassa claudinae* –aquesta darrera fou nova cita per a la fauna del pleistocè superior de les Balears–. A cala Carbó, el registre paleontològic és més nombrós i així hi ha icnites de *Myotragus balearicus*, rizòlits i mol·luscs, com són: *Iberellus balearicus*, *Tudorella ferruginea*, *Xerocrassa frater*, *Chondrula gymnesica* i *Oxychilus lentiformis*, també tots ells endèmics. Els autors



**Fig. 6.** Antic maressar entre cala Molins i cala Clara dins la terrassa d'un hotel.



**Fig. 7.** Antic maressar a uns 300 m al NO de cala Carbó.





**Fig. 8.** Antic maressar a la cara E de la punta de l'Avançada.

anteriori no són els únics en citar mol·luscs fòssils en aquesta zona, així GASULL (1963a) cita *Iberellus balearicus* i *Bithynia tentaculata* a cala Molins a uns llims vermells del Quaternari i VICENS *et al.* (2001) citen cf *Melania tuberculata* a un dipòsits travertínics que hi ha a cala Sant Vicenç. *Bithynia tentaculata* i cf *Melanoides tuberculata*, vinculades a ambients d'aigües dolces, actualment desapareguts. Referent a jaciments pleistocens amb fauna marina de cala Sant Vicenç, CUERDA i GALIANA (1976) en citen un a l'oest de la cala, entre aquesta i coves Blanques amb un registre paleontològic que s'incrementa amb dos tàxons a partir de la revisió feta per VICENS (2015) de la col·lecció Cuerda. Es desconeix la localització exacte d'aquest jaciment.



#### *Punta de l'Avançada*

També coneguda com a Punta de l'Albercuix (TORRES 2009). A la part E hi ha una pedrera notòria, que al mapa de l'IDEIB apareix amb el topònim de "el Maressar". Es tracta d'eolianites adossades a un antic paleo-penya-segat (Fig. 8).

#### *Formentor*

A la zona N de la platja es poden observar eolianites on afloren escassament i no se sap si són o no d'una potència considerable. On si hi havia pedreres, era més terra endins, com així consta a una fotografia de Muntaner (Fig. 9).

**Fig. 9** (esquerra). Maressar a Formentor a l'any 1954 (Foto Andreu Muntaner).

## Agraïments

A Pep Vicens Cladera per la informació subministrada al respecte dels maressars de cala Sant Vicenç.  
A Andreu Muntaner per aportar, entre altres coses, la fotografia del maressar de Formentor.

Al Dr. Francesc Pomar i a José Angel Martín Prieto per la lectura crítica del manuscrit i pels seus suggeriments per millorar-ho.

A Antonio Rodríguez-Perea per ser professor nostre fa anys i posteriorment company de batalla. Creiem que l'equilibri entre docent i després company demostra què és una persona que brilla per ella mateixa i sempre li estarem agraïts pel seu guiatge, per la qual cosa ha estat un honor participar en aquesta monografia homenatge.

Aquest treball és una contribució del projecte: *Overtourism in Spanish Coastal Destinations. Tourism Degrowth Strategies* (RTI2018-094844-B-C31) finançat per: FEDER/Ministerio de Ciencia e Innovación – Agencia Estatal de Investigación.

## Bibliografia

- ALONSO, F.J., ORDAZ, J. i ESBERT, R.M. (1996): Deterioro selectivo de la piedra de construcción de la catedral de Palma de Mallorca. *Geogaceta*, 20 (5): 1228-1231.
- AMENGUAL, C. i SERRA, M.M. (2008): *El marés y la piedra de Santanyí en Mallorca: Canteras y caracterización básica. Proyecto de final de carrera*. Arquitectura Tècnica. Escola Politècnica Superior. Universitat de les Illes Balears. 560 pp.
- ALCOVER, A. M. i MOLL, F. (2021): <https://dcvb.iec.cat/> Diccionari català-valencià-balear. Consultat el 02-09-2021.
- BALLESTER, M. (2015): *Els materials de construcció a Mallorca a través de la documentació històrica (segles XIV-XVIII)*. Memòria de Treball de Fi de Màster. UIB. 189 pp.
- BUTZER, K.W. (1962): Coastal geomorphology of Majorca. *Annals of the Association of American Geographers*, 52 (2): 191 - 212.
- BUTZER, K. W. i CUERDA, J. (1962): Coastal stratigraphy of Southern Mallorca and its implications for the Pleistocene chronology of the Mediterranean Sea. *Journal of Geology*, 70, 4: 398-416.
- CUERDA, J. i GALIANA, R. (1967): Nota sobre un nuevo yacimiento de cuaternario marino localizado en Cala San Vicente (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears.*, 13: 133-136.
- DEL VALLE, L. (2016): El registre sedimentari eòlic del Plistocè litoral d'Eivissa. Tesis Doctoral, Universitat de les Illes Balears, 286 pp.
- ENCINAS, J. A. (1981): *Pollença. Semblaça d'un poble*. Ed. J. A. Encinas. 206 pp.
- ENCINAS, J. A. (1994): *501 grutas del término de Pollensa (Mallorca)*. Ed. Punt Gràfic. 609 pp.
- ENCINAS, J.A. (2007): La incidencia antrópica en las cavernas balearicas. Colección Tarsilbet, 5. Pollença. 285 pp.
- ENCINAS, J. A. (2014): *Corpus Cavernario Mayoricense*. Pollença. El Gall Editor. 1360 pp.
- FORNÓS, J. J. (2014) Eolianitas y dunas cuaternarias en las Islas Baleares. In: SANJAUME, E. i GRACIA-PRIETO, F.J. (eds.). *Las dunas en España: 307-328*. Sociedad Española de Geomorfología, Madrid.
- GARCIA-INYESTA, N. i OLIVER, G. (1997): *Construir en Marès*. Col·legi Oficial d'Arquitectes de Balears. 270 pp.
- GELABERT, B. (1997): *La estructura geológica de la mitad occidental de la Isla de Mallorca*. Inst. Tec. Geominero de España. 129 pàgs. Madrid.
- GELABERT, B., SABAT, F. i RODRÍGUEZ-PEREA A. (1991): Estructura geológica de la península de Formentor (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 34: 85-94.
- GÓMEZ-PUJOL, L. (en premsa): Platges, dunes, i col·luvions: clima i un madadís nivell marí durant el plistocè a la mediterrània. Els cicles sedimentaris litorals de K. W. Butzer 40 anys després.
- GÓMEZ-PUJOL, L., BALAGUER, P. i FORNÓS, J.J. (2007): El litoral de Mallorca: síntesis geomórfica. In: FORNÓS, J.J., GINÉS, J. i GÓMEZ-PUJOL, L. (eds.), Geomorfología litoral: Migjorn y Llevant de Mallorca. *Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 15: 39-59.
- GRÀCIA, F., GINÉS, J., PONS, G.X., GINARD, A. i VICENS, D. (2011): Cavitats de major recorregut i de major fondària de les Balears. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 17/Endins, 36: 367-368.
- GRÀCIA, F., LANDRETH, R., GUAL, M. i CLAMOR, B. (2001): La cova Negra (Pollença, Mallorca): presència de dunes fòssils dins una cavitat submarina. *Endins*, 24: 137-142.
- HEMP, W. (1927): Some Rock-cut Tombs and Habitation Caves in Mallorca. *Archaeologia*, 66: 119-160.

- IDEIB. Infraestructura de dades espacials de les Illes Balears. Govern de les Illes Balears. <http://www.caib.es/sites/sitibsa/ca/ideib-81258/>
- MAS, G. (2011): El marès de Mallorca: concepte, caracterització i tipologia. *Estudis Baleàrics*, 100/101: 151-171.
- MAS, G. (2017a): La piedra de marès de Mallorca, patrimonio natural y cultural. In: L. Carcavilla, J. Duque-Macías, J. Giménez, A. Hilario, M. Monge-Ganuzas, J. Vegas i A. Rodríguez (eds.), *Patrimonio geológico, gestionando la parte abiótica del patrimonio natural. Cuadernos del Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España*, 21: 413-419.
- MAS, G. (2017b): Hacia una tipología de la piedra de marés de Mallorca. Concepto, caracterización y estratigrafía. *Boletín Geológico y Minero* (Monográfico Piedra Natural: Geología, economía y medioambiente), 128 (2): 301-328.
- MATEOS, R.M., DURÁN, J.J. i ROBLEDO, P.A. (2011): Mares Quarries on the Majorcan Coast (Spain) as Geological Heritage Sites. *Geoheritage*, 3: 41-54.
- NICHOLSON, R. (2006): Geological map of the Formentor Peninsula, Island of Mallorca. *Journal of Maps*, 2(1): 94-102.
- POMAR, F. (2016): *Arquitectura i fàcies deposicionals de la interferència entre sedimentació al·luvial, col·luvial i eòlica a les Illes Balears durant el Pleistocè superior: implicacions paleoclimàtiques*. Tesi Doctoral. Universitat de les Illes Balears, 377 pp.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1984): *El Mioceno de la Serra Nord de Mallorca. Estratigrafia, sedimentología e implicaciones estructurales*. Tesis Doctoral. Univ. de Barcelona i Palma de Mallorca. 532 pp.
- ROSSELLÓ, G., PLANTALAMOR, LI. i MURILLO, J. (1994): Cala de Sant Vicenç: Una necrópolis de cuevas artificiales de tipo mediterráneo en Mallorca. *Bull. Soc. Arqueol. Lul.*, 50: 3-56.
- SALVÀ, C. (2014): El descobriment d'un paisatge desconegut. Les pedreres de marès, rastres oblidats en el territori de Mallorca. *Boll. Soc. Arqueol. Lul-liana*, 70: 235-255.
- SALVÀ, C. (2018): Les pedreres de marès. Identitat oblidada del paisatge de Mallorca. Palma: Leonard Muntaner Editor.
- SALVÀ, C. (2011-2021): <http://paisatgestransformats.blogspot.com.es> (consultat el 09/05/2021).
- SÁNCHEZ-CUENCA, R. (2010): *El marés. El material, su origen, historia, propiedades, canteras y calidades disponibles actualmente*. Ramón Sánchez-Cuenca (ed.). 124 pp.
- SERVERA, J. (1997): *Els sistemes dunares litorals de les Illes Balears*. Tesi. Universitat de les Illes Balears. 904 pp.
- SERVERA, J., RODRÍGUEZ-PEREA, A. i MARTÍN, J. A. (2014): Las dunas costeras de las Islas Baleares. A: SANJAUME, E. i GRACIA-PRIETO, F.J. (eds.). *Las dunas en España*: 285-304. Sociedad Española de Geomorfología, Madrid.
- TORRES, J. M. (2010): Topònims costaners de Pollença des de la conquesta fins al segle XIX. A: BASSA, R & LATORRE, F. (Coordinadors), *XXII Jornada d'Antroponímia i Toponímia (Pollença, 2009)*, 59-74. UIB, Palma.
- VICENS, D. (2015): *El registre paleontològic dels dipòsits litorals quaternaris a l'illa de Mallorca (Illes Balears, Mediterrània occidental)*. Tesi Doctoral. Universitat de les Illes Balears, 985 pp.
- VICENS, D. i PONS, G. X. (2007): Els mol·luscs terrestres del Pleistocè superior a jaciments costaners de la zona septentrional de Mallorca (Artà, Alcúdia i Pollença). In: PONS, G.X. i VICENS, D. (eds.). *Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 14: 231-258.
- VICENS, D., FORNÓS, J. J. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (2014): Acumulaciones tobáceas en las Islas Baleares. Algunos ejemplos de Mallorca. A: GONZÁLEZ, J.A i GONZÁLEZ, M.J. (eds). *Las tobas en España*, 303-314. Sociedad Española de Geomorfología, Madrid.

---

Data recepció: 08.09.21

Data revisió: 15.09.21

Revisió acceptada: 24.09.21

# DIDÀCTICA DE FORMACIÓ DELS ARC D'ILLES MITJANÇANT "CHOCHO MONEDEROS" I PLASTILINA

Bernadí Gelabert <sup>1</sup>, Francesc Sàbat <sup>2</sup>, Francesc X. Roig-Munar <sup>3</sup>, José Ángel Martín-Prieto <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears)

<sup>2</sup> Carrer Mollerò, 3. 08415 Bigues i Riells (Catalunya)

<sup>3</sup> QU4TRE Concultria Ambiental, c. Carritxaret, 18. Apt. 6. 07749 es Migjorn Gran (Menorca)

<sup>4</sup> Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears, Ctra. Valldemossa, km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears)

**Resum:** Les explicacions vigents sobre l'origen dels arcs d'illes del Pacífic oriental no responen a dues qüestions bàsiques: 1) Per què els arcs d'illes són arcs? i 2) Per què la nova escorça oceànica que es crea darrera dels arcs d'illes és més recent que l'escorça oceànica que subdueix a l'altra costat dels arcs d'illes?. En aquest article, partint d'una teoria antiga defensada per Wegener, es proposa una nova teoria sobre la formació dels arcs d'illes i la conca de rere-arc associada, a partir d'una compressió paral·lela al marge continental, que respon a les dues preguntes anteriors. A més, es proposen dues modelitzacions analògiques, una mitjançant plastilina i l'altra mitjançant antics moneders (anomenats "chocho-monederos") que expliquen amb claredat i d'una manera didàctica com es formen els arcs d'illes.

**Paraules clau:** arcs d'illes, models analògics, Pacífic, "chocho-monederos", plastilina.

**Abstract:** Current explanations about the origin of island arcs in the eastern Pacific do not answer two basic questions: 1) Why are island-arcs arcs? and 2) Why is the new oceanic crust created behind the island arcs more recent than the oceanic crust that subducts to the other side of the island arcs? In this article, based on an old theory defended by Wegener, a new theory is proposed on the formation of island arcs and the associated back-arc basin, based on a compression parallel to the continental margin, which answer the two previous questions. In addition, two analogical models are proposed, one using plasticine and the other using old purses (called "chocho-purses") that explain clearly and in a didactic way how island arches are formed.

**Keywords:** island-arcs, analogical models, Pacific, "chocho" purses- plasticiline.

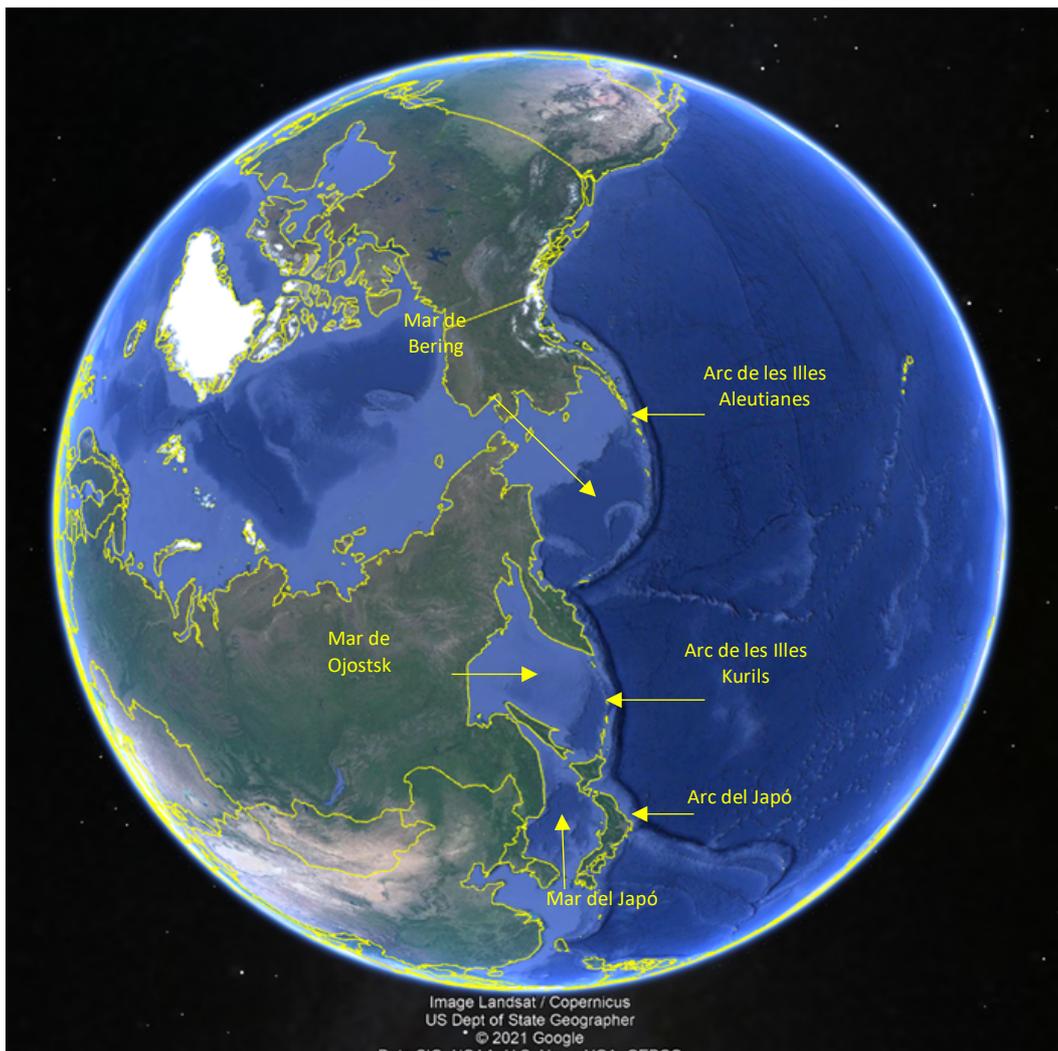
## Introducció: els arc d'illes del Pacífic occidental

Els arcs d'illes són diversos conjunts d'illes oceàniques que s'ordenen en forma d'arc i es troben adjacents a zones de subducció. Es troben a tots els oceans però són especialment vistosos a l'oceà Pacífic i, més concretament, a la zona limítrofa del continent asiàtic amb l'oceà Pacífic. En aquesta zona trobem, de S a N, l'arc d'illes del Japó, l'arc de les Illes Kurils i l'arc de les Illes Aleutianes (Fig. 1). L'origen d'aquests tres arcs serà el tema de discussió d'aquest article.

Cadascun dels tres arcs constitueix un límit entre l'oceà Pacífic i una conca oceànica adjacent al continent asiàtic. La conca associada a l'arc de les Aleutianes s'anomena mar de Bering; la conca associada a l'arc de les Illes Kurils s'anomena mar d'Ojotsk i la conca associada a l'arc del Japó és el mar de Japó.

Que l'origen dels arcs d'illes no està encara perfectament definit està demostrat en el tractament que en fan manuals de Geologia propis d'un primer curs d'Universitat. Aquí mostrarem com expliquen l'origen dels arcs d'illes els manuals de TARBUCK i LUTGENS (Ciències de la Terra, 2005, 8ena edició), SKINNER, PORTER i PARK (Dynamic Earth. An Introduction to Physical Geology, 2004, 5ena edició) i PRESS i SIEVER (Understanding Earth, 1998, 2ona edició).

Segons TARBUCK i LUTGENS (2005) i PRESS i SIEVER (1998), on convergeixen dues plaques oceàniques, una subdueix davall de l'altra i s'inicia una fusió parcial del tascó de mantell situat sobre la placa que subdueix ( Figa. 2A i 2C). Aquest fet acaba generant la formació d'un arc d'illes volcàniques



**Fig. 1.** Arcs d’illes del Pacífic. Vista de la Terra des de la vertical del pol N. Amb aquesta vista es comprova com els costats americà i asiàtic del Pacífic són, en definitiva, un mateix costat.

sobre el fons oceànic. Més que una explicació es tracta d’una descripció parcial de la zona. La pregunta que es genera és, perquè aquesta subducció ha de donar lloc a una morfologia arquejada de l’arc d’illes? L’esquema del llibre de SKINNER, PORTER i PARK (Fig. 2B) mostra, a diferència dels anteriors, el marge continental adjacent a la conca de rere-arc. Segons aquest esquema, l’escorça oceànica que conforma la conca de rere-arc és més antiga que la de la part oceànica (a l’altra costat de la subducció), la qual cosa ja se sap actualment que no és cert que la conca de rere arc té una edat més moderna que l’escorça oceànica que subdueix. En definitiva, si bé les descripcions que donen dels arcs d’illes els tres treballs esmentats són correctes, no donen resposta a dues preguntes fonamentals: 1) Per què els arcs d’illes són arcs? i 2) Per què l’escorça oceànica de les conques de rere-arc és més moderna que l’escorça oceànica que subdueix sota l’arc d’illes?.

### Per què els arcs d’illes són arcs?

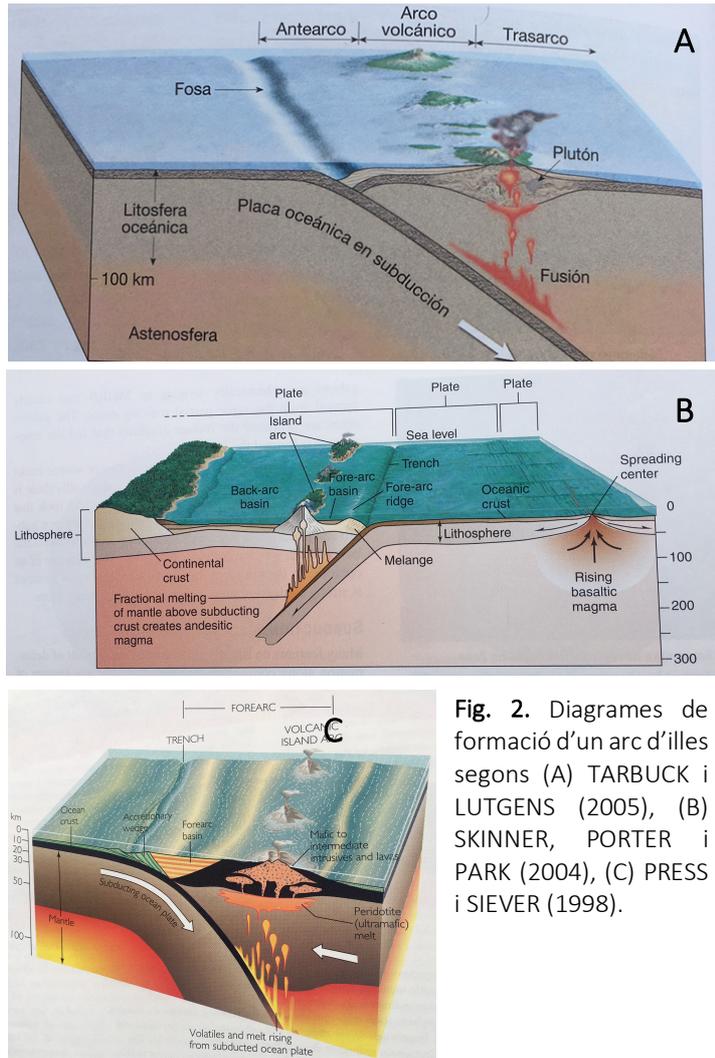
És ben sabut des de la dècada dels 60 que les zones de subducció de la terra, i en particular els arcs d’illes, es poden representar geomètricament mitjançant petits arcs de cercle que tenen una curvatura que és una funció de l’angle de la subducció, o millor dir, de l’angle entre la llosa que està en subducció i la que no hi està. FRANK (1968) fou el primer en proposar el model de “pilota de ping-pong” que

assimila la flexió cap baix de la litosfera (és a dir, una zona de subducció) a l'abonyegadura d'un pilota de ping-pong espenyada.

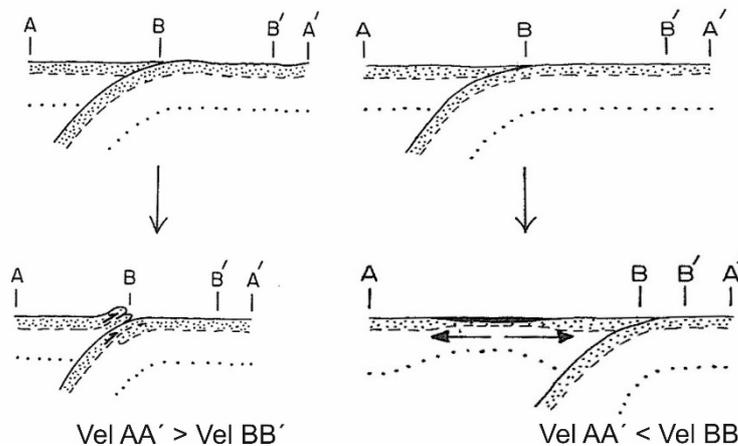
Diversos autors han provat la hipòtesi de Frank (TOVISH i SCHUBERT, 1978) i han trobat que és una aproximació justa en alguns casos i una aproximació deficient a d'altres. Generalment s'accepta que l'estructura arquejada dels arcs de les illes es pot atribuir a la rigidesa de la placa descendent, però el mecanisme detallat continua sent controvertit. YAMAOKA *et al.* (1986) atribueixen les cúspides que representen els arcs d'illes a flexions litosfèriques.

**Les conques de rere-arc**

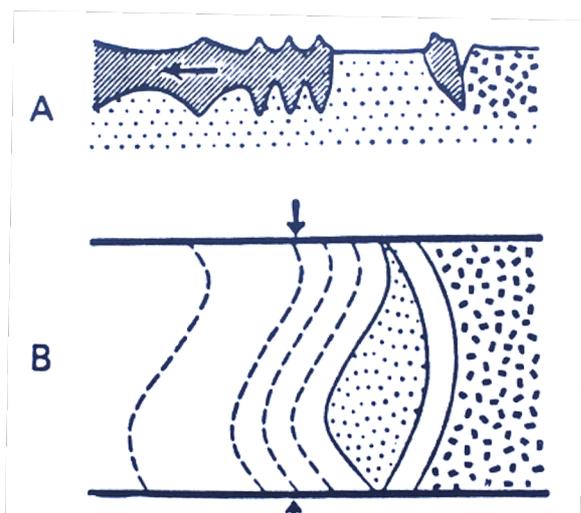
La formació de les conques de rere-arc del Pacífic Oriental va ser explicada per ROYDEN i BURCHFIEL (1989). Segons aquests autors les conques de rere-arc d'aquesta zona es formen perquè la velocitat de convergència entre les plaques del Pacífic i d'Àsia és més petita que la velocitat de la subducció de la llosa de l'oceà Pacífic (Fig. 3). Aquesta menor velocitat de subducció respecte de convergència, implica que la distància AB de la Fig. 3 (esquema inferior) augmenta amb el temps i es forma una conca. Si la velocitat de convergència (vel. AA') fos més gran que la velocitat de subducció (vel. BB') implicaria que la distància AB disminueix en el temps (figura 3 esquema superior) i es produiria una compressió. En qualsevol cas, aquesta hipòtesi explica la formació de la conca i el fet que aquesta sigui simultània a la subducció, però no explica la formació dels diferents arcs.



**Fig. 2.** Diagrames de formació d'un arc d'illes segons (A) TARBUCK i LUTGENS (2005), (B) SKINNER, PORTER i PARK (2004), (C) PRESS i SIEVER (1998).



**Fig. 3.** Relació entre la velocitat de convergència i la velocitat de subducció i els seus efectes en la tectònica de la placa encavalcant (Royden i Burchfiel, 1989).



**Fig. 4.** Esquema de l'origen d'un arc d'illes, segons Wegener (1922). A) Secció transversal. B) Vista en planta. Els guions de la vista en planta corresponen a l'alineació de la part de l'escorça continental.

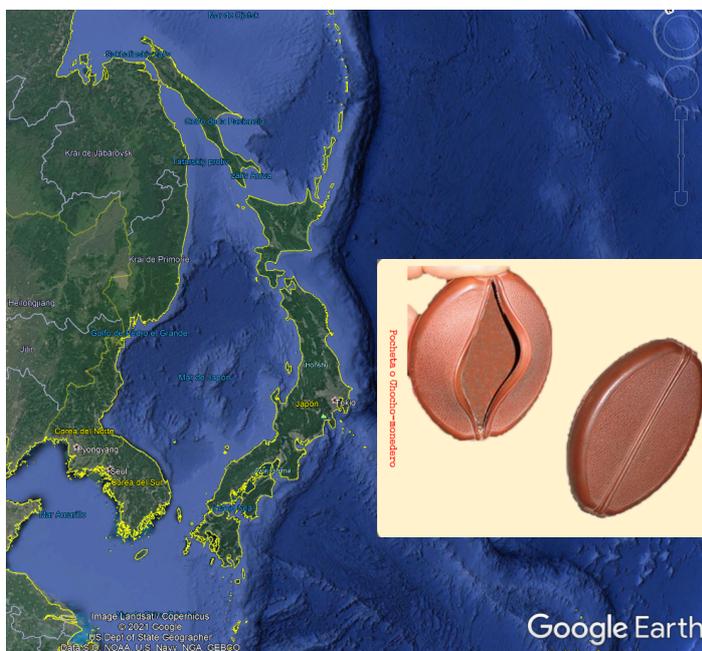
### La hipòtesi de Wegener

“Les formes protuberants de les vores continentals situats enfront dels arcs d'illes són un aspecte curiós. Concretament, quan a més de la línia de costa estudiem la isòbata de 200 m, veiem que la vora continental forma sempre la imatge especular de una “S”, mentre que l'arc insular situat enfront forma un arc convex simple. Aquesta geometria està representada esquemàticament a la Fig. 4. Aquestes línies de costa sortints són característiques d'una compressió paral·lela a la costa i també a la direcció de les cadenes costaneres. Per tot això han de ser considerades com grans plects horitzontals. Es tracta d'un aspecte subsidiari de les grans compressions experimentades per tota Àsia Oriental en direcció NE-SW. Si se prova de rectificar aquesta línia ondulada de la costa del continent asiàtic oriental, la separació entre Indoxina i l'estret de Bering creix

des dels 9100 km actuals fins a uns 11000 km. Així doncs, els arcs insulars i especialment els de l'Àsia oriental, són cadenes marginals que es varen desprendre dels continents a conseqüència del desplaçament d'aquests cap a l'oest, quedant adherits al fons oceànic antic i rígid. Entre ells i la vora continental sortiren a la superfície finestres de fons oceànic més recents i fluides.” La persona que diu aquestes paraules no som els autors de l'article, sinó Alfred WEGENER (1922), el pare (o l'avi) de la geologia moderna, la persona que va descobrir la deriva continental. És molt important tenir aquesta idea de Wegener en compte, perquè explica satisfactòriament com es formen els arcs i també la simultaneïtat entre la formació dels arcs i les conques de rere-arc.

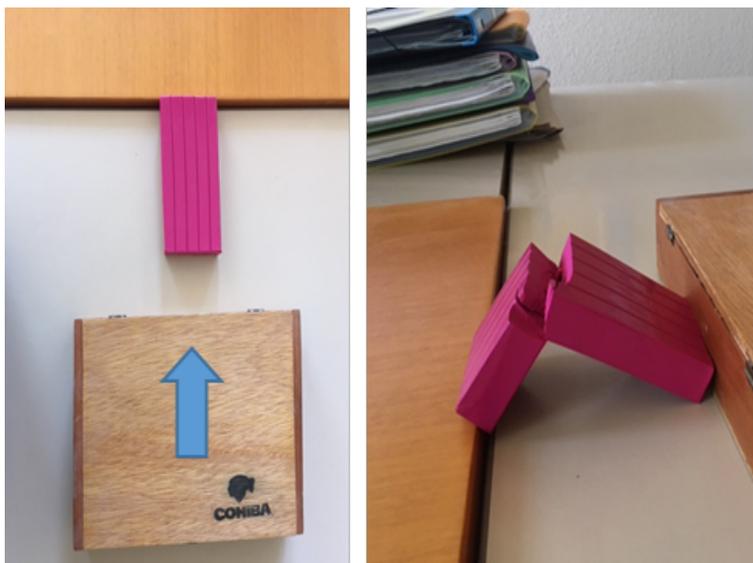
### La hipòtesi d'Antonio

Sense tenir coneixement previ del que havia escrit el Wegener sobre els arcs d'illes, la intuïció de l'Antonio va fer que pensés que els arcs d'illes es formen a partir d'una compressió paral·lela a l'eix llarg de l'arc. La hipòtesi d'Antonio va ser anomenada col·loquialment la hipòtesis del “chochito”. Els “chochitos”, també anomenats “chocho-monederos”, és el terme col·loquial que fa referència a unes carteres de plàstic que s'usaven antigament (fa més de quaranta anys) per posar-hi únicament les monedes (Fig. 5). Aquests moneders tenen forma ovalada, amb una ranura central longitudinal. En comprimir paral·lelament a la ranura, el moneder s'obri formant dos arcs i un espai central que s'obri al mateix temps que es formen els



**Fig. 5.** Comparació entre la creació de dos arcs i un buit central en un “chocho-monedero” i els dos arcs del Japó -oest de la Xina i el mar del Japó.

arcs. D'una manera similar es formen els arcs d'illes i les conques de rere arc: mitjançant una compressió paral·lela a l'antic marge continental es formen, simultàniament, les dues morfologies arquejades i la conca de rere arc. Òbviament l'edat de la conca que es forma és més moderna que l'edat de la litosfera oceànica que subdueix. Aquesta hipòtesis explica, d'una manera molt didàctica i eficient les dues grans preguntes relatives als arcs d'illes, és a dir, l'edat de la conca i la morfologia arquejada. La subducció, en definitiva, no hi té res a veure, ni en la forma d'arc ni en la creació de la conca de rere-arc.



**Fig. 6.** Compressió d'una massa de plastilina (esquerra) i deformació perpendicular a la direcció de compressió (dreta).

### Els models en plastilina

La mateixa dinàmica litosfèrica i les mateixes morfologies es poden simular utilitzant plastilina. Simulem una escorça continental mitjançant una placa de plastilina uniforme. Si comprimim aquesta massa compacta, uniforme, el que es forma és un bombament o una fractura de direcció perpendicular a la direcció de compressió (Fig. 6). Però si fem un tall lateral d'aquesta massa de plastilina, de tal manera que es creï una franja lateral prima i llarga, quan es comprimeix en la mateixa direcció que l'experiment anterior, apareix un arc i un buit, es a dir un arc d'illes i una conca de rere arc al marge ("continental") que suposa aquesta massa de plastilina (Fig. 7).

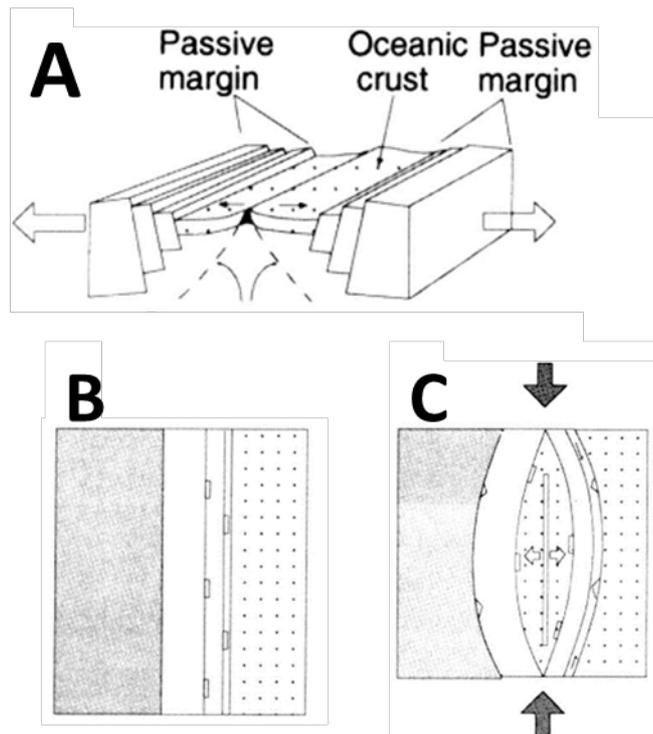
### El model real

El nostre model de formació dels arcs d'illes de la vora oriental del continent asiàtic és el d'una compressió paral·lela al marge continental. A la Fig. 8A es mostra un model de marge continental passiu. Al marge s'hi troben làmines allargades i primes (d'escorça continental), paral·leles al marge i que estan delimitades per fractures. La Fig. 8B mostra la vista en planta d'aquest marge continental que presenta franges continentals allargades i primes (en comparació amb el centre continental). La figura 8C mostra el resultat de la compressió paral·lela al marge continental: dos arcs oposats i una conca oceànica central, ambdues morfologies formades simultàniament.



**Fig.7.** La mateixa compressió que a la figura 6, però s'ha definit una fractura allargada al marge de la massa de plastilina. El resultat ha estat la formació d'un arc i un "forat".

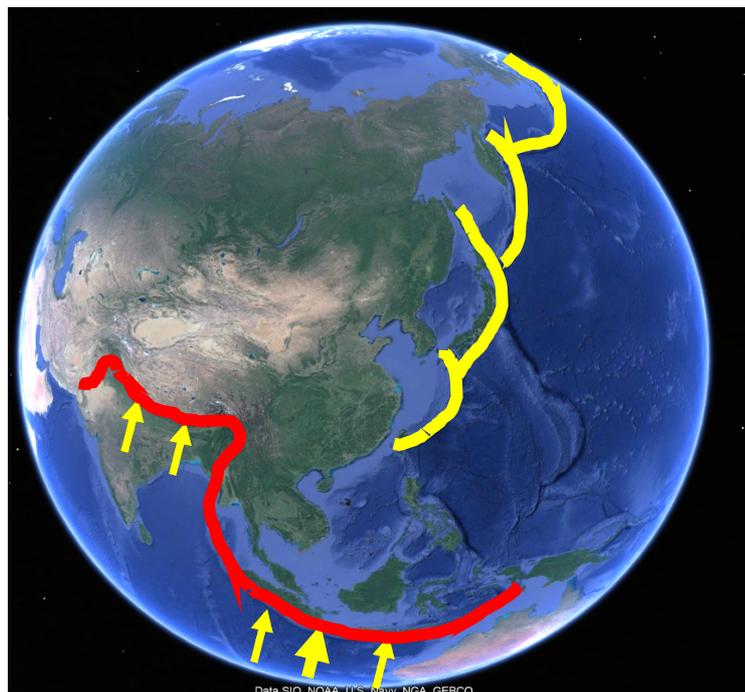




**Fig. 8.** A) Model de marge continental. B) Vista en planta del marge continental. C) Compressió paral·lela al marge continental amb formació de dos arcs oposats i una conca oceànica central.

### La formació dels arcs d'illes del marge oriental asiàtic

Ja s'ha esmentat que la idea principal del nostre model és el de la compressió paral·lela al marge continental. Per tant, les conques de rere arc i els arcs d'illes s'han d'haver format a partir d'una compressió paral·lela al marge continental asiàtic. Efectivament, la placa Índica convergeix cap a la placa asiàtica segons una direcció que és paral·lela al marge continental asiàtic (Fig. 9). Els esforços horitzontals necessaris per crear aquesta compressió s'incrementen ostensiblement quan es va acabar la subducció d'escorça oceànica a la zona de col·lisió Índia-Eurasia (LONGLEY, 1997), aproximadament fa 42 Ma. Aquesta compressió va finalitzar al començament del règim tectònic actual, fa uns 15 m.a. amb l'expulsió lateral de grans fragments continentals degut a la ja col·lisió continental Índia-Eurasia (DEWEY *et al.*, 1989). Per tant, les conques de rere arc (i la formació dels arcs) tenen una edat compresa entre els 42 i els 15 Ma, com així ho confirmen les dades disponibles (ISEZAKI, 1975, per la conca del Japó, BURK i GNIBIDENKO, 1975 per la conca d'Ojostsk, entre d'altres). Aquesta hipòtesi



**Fig. 9.** Convergència entre la placa Índica i Eurasia i formació dels arcs d'illes del Pacífic Occidental.

explica, a més, el perquè en una subducció continua des de fa més de 150 Ma, com la del Pacífic sota Àsia, únicament s'han format arcs d'illes i conques de rere arc amb una edat compresa entre els 42 i els 15 Ma. Per què no es formen conques de rere arc actuals en aquesta zona? Doncs perquè els esforços compressius actuals o recents paral·lels a l'antic marge continental no són suficientment grans com per formar-los des que l'expulsió lateral (fa 15 m.a.) de la zona continental d'Índoxina (deguda a la convergència Índia/Àsia) impedeix transmetre-les a distàncies més grans.

### Bibliografia

- BURK, C.A. i GNIBIDENKO, H.S. (1975): The structure and age of acoustic basement in the Okhotsk Sea; in *Island Arcs, Deep Sea Trenches and Back-Arc basins. Maurice Ewing Series*, 1: 451-461.
- DEWEY, J.F., CANDLE, S. i PITMAN, W.C. (1989): Tectonic evolution on the India/Eurasia collision Zone. *Ecoglae Geologicae Helvetiae*, 82: 717-734.
- FRANK, F.C. (1968). Curvature of island arcs. *Nature*, 220: 363.
- ISEZAKI, N. (1975). Possible spreading centers in the Sea of Japan. *Marine Geophysical Research*, 2: 265-277.
- LONGLEY, I.M. (1997). The tectonostratigraphic evolution of SE Asia. *Geological Society, London, Special Publications*, 126, 311-33.
- PRESS, F. i SIEVE, R. (1998): *Understanding Earth*, Freeman and Co. New York.
- ROYDEN, L.I. i BURCHFIEL, B.C. (1989): Are systematic variations in thrust belt style related to plate boundary processes? *Tectonics* 8 (1): 51-61.
- SKINNER, B.J., PORTER, S.C., i PARK, J. (2004): *Dynamic Earth. An Introduction to Physical Geology*. John Wiley, Chichester. [5a edició].
- TARBUCK, E.J. i LUTGENS, F.K., (2005): *Ciencias de la Tierra*. Pearson, Madrid. [8a edició].
- TOVISH, A. i SCHUBERT, G. (1978): Island arc curvature, velocity of convergence and angle of subduction. *Geophysical Research Letters*, 5: 329-332.
- WEGENER, A. (1922). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Borntraeger Gebrueder, Berlin.
- YAMAOKA, K., FUKAO, Y. i KUMAZAWA, M. (1986). Spherical shell tectonics: Effects of sphericity and inextensibility on the geometry of the descending lithosphere. *Reviews of Geophysics*, 24(1):27-53

---

Data recepció: 23.08.21

Data revisió: 12.09.21

Revisió acceptada: 15.09.21



# EL MEDITERRANI: ORIGEN GEOLÒGIC

Francesc Sàbat <sup>1</sup> i Bernadí Gelabert <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Carrer Mollerò, 08415 Bigues i Riells (Barcelona)

<sup>2</sup> Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Departament de Biologia, Universitat de les Illes Balears, Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears)

**Resum:** La Mediterrània està situada a la zona de convergència entre Àfrica i Euràsia. La convergència és responsable de la formació de les serralades de muntanyes que existeixen al marge nord africà i al marge meridional europeu. La Mediterrània és el resultat de la subducció de distintes lloses oceàniques d'edat mesozoica i també del seu retrocés, el qual origina els distintes arcs orogènics que existeixen a la Mediterrània (Gibraltar, Calabria, Egeu).

**Paraules clau:** *Mediterràni, conques, retrocés de la subducció, convergència de plaques, col·lisió arc-continent.*

**Abstract:** The Mediterranean is located in the convergence zone between Africa and Eurasia. Convergence is responsible for the formation of mountain ranges that exist on the North African margin and on the southern European margin. The Mediterranean is the result of the subduction of different oceanic slabs of Mesozoic age and also of its retreat, which gives rise to the different orogenic arcs that exist in the Mediterranean (Gibraltar, Calabria, Aegean).

**Keywords:** *Mediterranean basin, subduction, plates convergence, arc-continent collision.*

## Introducció

El Mediterrani és un mar envoltat per continents: Euràsia al nord, Aràbia a l'est, Àfrica al sud i Iberia a l'oest, i també envoltat de serralades tals com els Alps, Apenins, Dinàrics, Hel·lènides, Taurus, Atlas, Magrèbids, Rif, Bètiques, Pirineus,... L'oceà Atlàntic se situa a l'oest de tot aquest conjunt i l'Índic, a l'est.

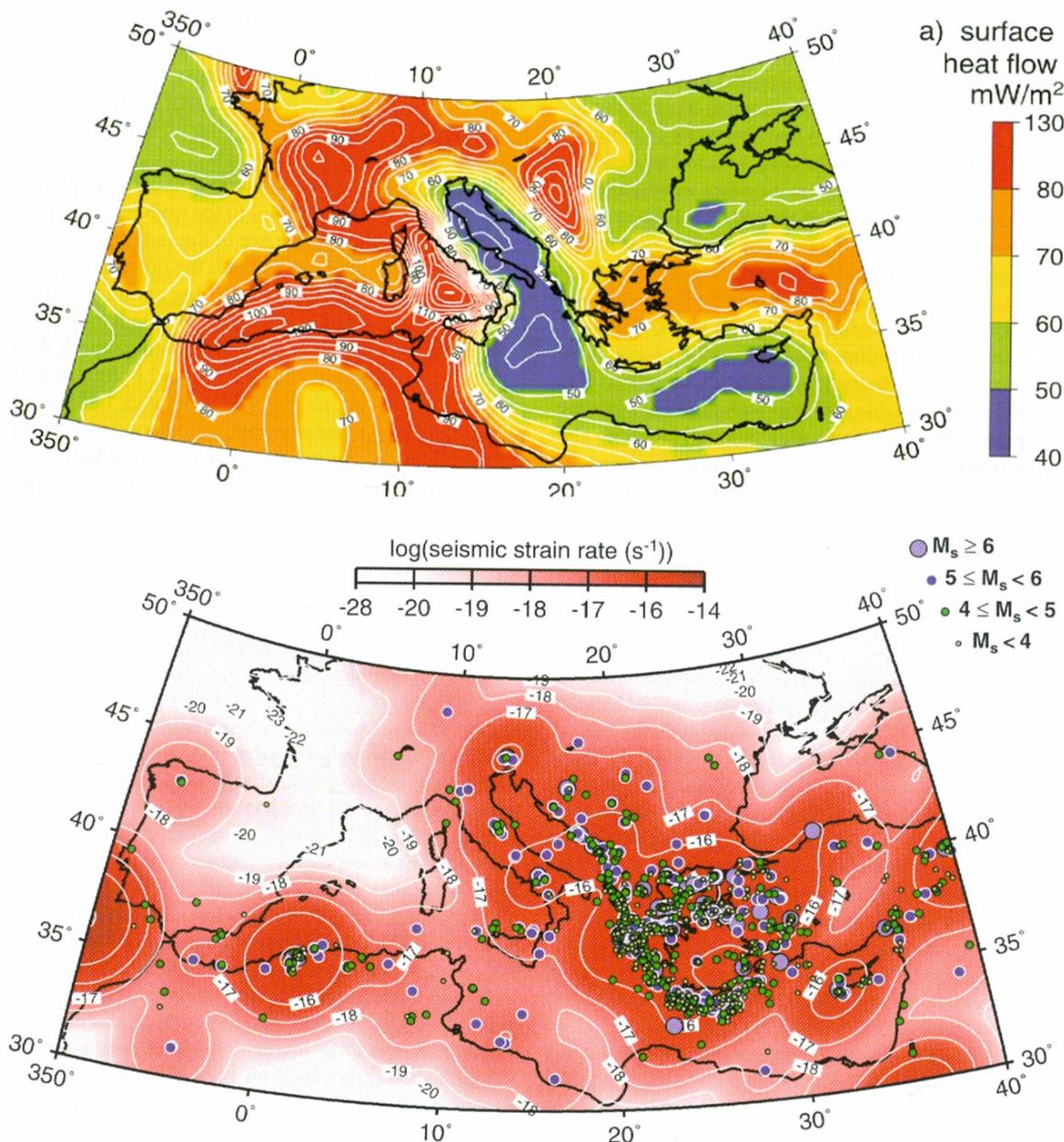
L'origen d'aquest mar envoltat de continents i serralades sempre ha estat molt enigmàtic. El motor principal de l'evolució geotectònica de tota la regió ha estat la convergència entre Àfrica i Euràsia que es va iniciar ara fa uns 80 Ma i que encara continua (PATRIAT *et al.*, 1982; SAVOSTIN *et al.*, 1986; VAN HINSBERGEN *et al.*, 2014). És comprensible que en una zona de convergència de plaques es generin serralades de muntanyes, en canvi és més difícil d'entendre que al mateix temps i a la mateixa regió s'hi generin conques. Hi ha hipòtesis de diversos tipus que intenten explicar aquest enigma.

En aquest article es fa un resum de les observacions més rellevants, s'enuncien les diferents hipòtesis explicatives i es pren part per una d'elles. Finalment es suggereix una evolució que proporciona una explicació simple d'algunes de les observacions.

## Observacions

Des de bon principi és important remarcar que no hi ha un sol Mediterrani sinó dos: l'Oriental i l'Occidental; el límit entre tots dos es situa en el llindar de Sicília. En molts aspectes els dos mediterranis són molt diferents. Per exemple, la Fig. 1 il·lustra que el flux de calor a través de la superfície de la Terra des del seu l'interior és molt més elevat (aproximadament el doble) en el Mediterrani occidental que en l'oriental. També resulta evident que l'activitat (sísmica) és molt més elevada en l'oriental que a l'occidental (CAVAZZA *et al.*, 2004). Aquestes dues observacions suggereixen que hi ha algunes diferències en l'origen dels dos mediterranis; per exemple, el flux de calor en el Mediterrani occidental és més elevat perquè és més jove que l'oriental.

El Mediterrani occidental (Fig. 2) està constituït per una sèrie de conques profundes (Conca Liguro-Provençal, Conca Tirrènica i Conca Algeriana), per dos arcs (el de Gibraltar i el Calabrès) i per dos conjunts d'illes (les Balears i Còrcega-Sardenya).



**Fig. 1.** Fluxe de calor a través de la superfície de la Terra i sismicitat de l'àrea mediterrània (CAVAZZA *et al.*, 2004).

Les conques tenen un origen extensional i la sísmica reflexió ha permès determinar que consten de diverses zones: una zona amb escorça continental normal o lleugerament aprimada, una zona de transició (*neck*) on l'escorça continental està molt aprimada, una zona on l'escorça continental ha estat híper-estirada i és quasi irreconeixible (l'escorça superior pràcticament és inexistent i l'escorça inferior i/o el mantell van ser exhumats), i una zona amb escorça oceànica anòmala (JOLIVET *et al.*, 2015; GRANADO *et al.*, 2016).

Els arcs es situen damunt de zones de subducció actives. La tomografia sísmica permet visualitzar la geometria de les lloses en subducció (Fig. 3). Les lloses que subdueixen s'han detectat fins a més de 600 km de fondària i tant la de Gibraltar com la de Calàbria són asimètriques i presenten ruptures (SPAKMAN i WORTEL, 2004). Aquestes subduccions són actives des del punt de vista sísmic i la de Calàbria té vulcanisme actual associat (illes Eòliques).

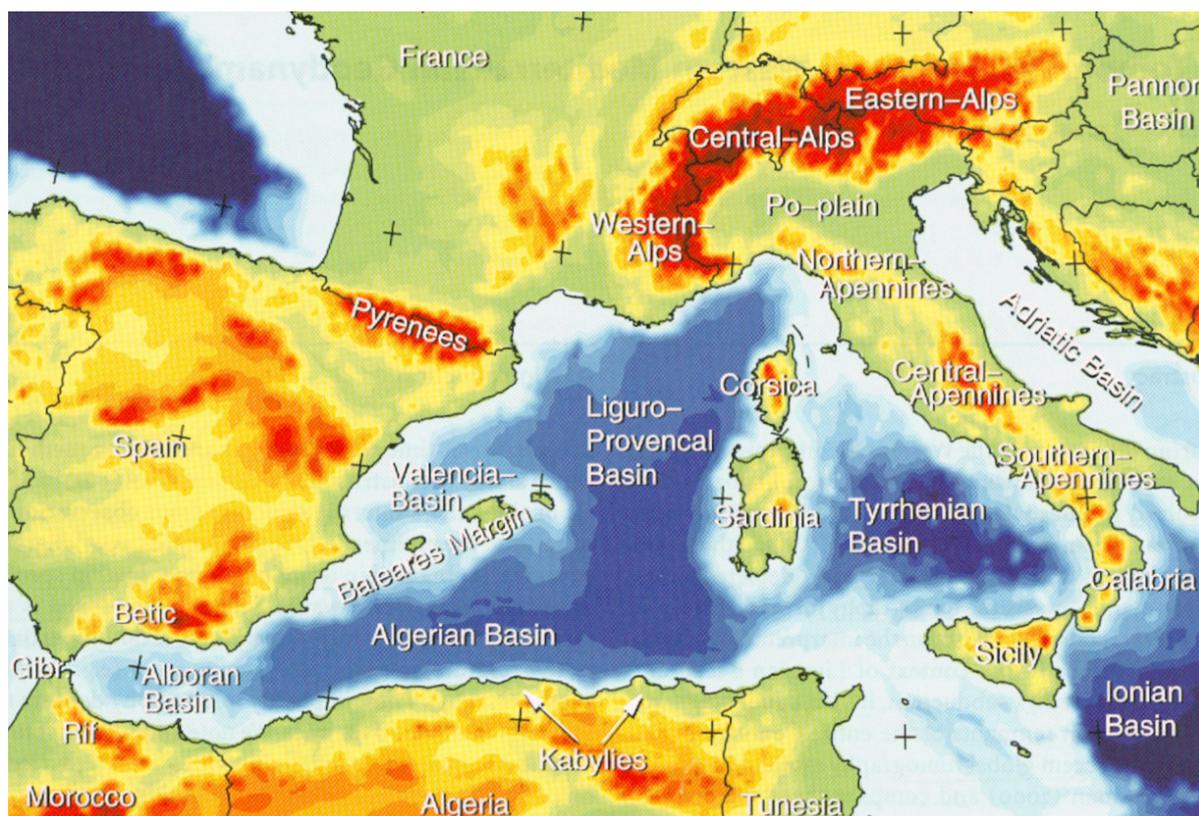


Fig. 2. Fisiografia del Mediterrani Occidental amb el nom de conques i serralades (SPAKMAN i WORTEL, 2004)

Les illes han experimentat una rotació. El paleomagnetisme ha permès quantificar la rotació i datar-la (PARÉS *et al.*, 1992; SPERANZA *et al.*, 2002; GATTACCECA *et al.*, 2007). El cas de Còrcega-Sardenya queda ben il·lustrat a la Fig. 4 (Michel, 2008).

El Mediterrani oriental (Fig. 5) està dividit per un arc est-oest (*Mediterranean Ridge*) (JOLIVET *et al.*, 2013). Les conques que queden a l'exterior d'aquest arc són antigues (mesozoiques – restes del Thetys: Conca Jònica i Conca de Llevant) mentre que les conques que queden a l'interior són modernes (Cenozoiques: Mar Egeu) (JOLIVET i BRUN, 2010). Al nord del *Mediterranean Ridge* hi ha dos altres arcs concèntrics: Creta i les Cíclades amb les respectives conques entre els arcs: Mar de Creta, Egeu sud i Egeu nord. Les roques metamòrfiques són les predominants a les Cíclades; a més a més, en aquest arxipèlag hi ha alguns volcans recents, el més conegut és Santorini. La plataforma de Moèsia de naturalesa continental (Euràsia) queda al nord de l'Egeu.

Les velocitats dels diferents punts de la regió deduïdes amb GPS canvia de direcció descrivint una corba i augmentant el seu mòdul de manera que a l'est d'Anatòlia el desplaçament és de 15 mm/a cap el NW, a l'est d'Anatòlia és de 20 mm/a cap l'W, a l'Egeu nord és de 23 mm/any cap el SW i a Creta és de 32 mm/a cap el SSW (Fig. 6, CAVAZZA *et al.*, 2004). Les velocitats tenen una coherència extraordinària i suggereixen que tot és xuclat cap al *Mediterranean Ridge*.

L'estructura litosfèrica més important del Mediterrani oriental és la subducció de l'escorça oceànica d'Àfrica

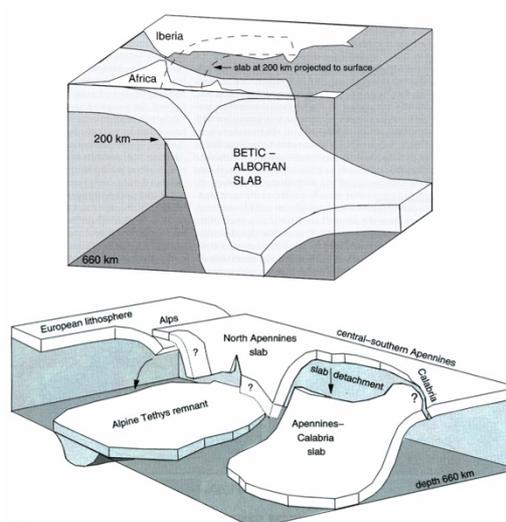
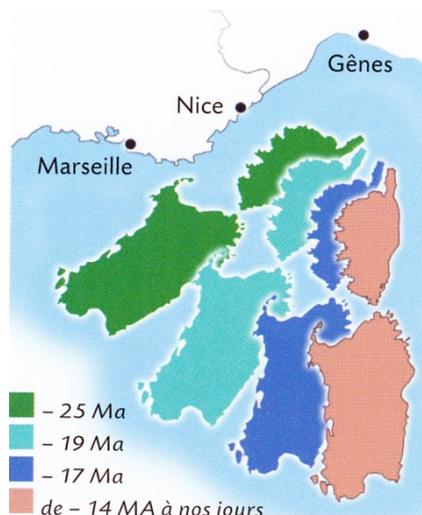


Fig. 3. Geometria esquemàtica de la subducció de Gibraltar i de Calàbria deduïda a partir de tomografia sísmica (Spakman i Wortel, 2004).



**Fig. 4.** Rotació de Còrsega-Sardenya durant el Miocè deduïda a partir de paleomagnetisme i geocronologia (MICHEL, 2008)

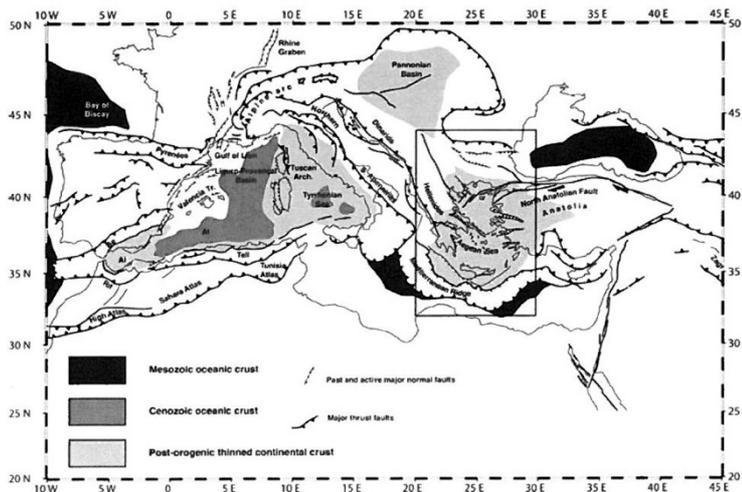
(Tethys) davall del *Mediterranean Ridge* i dels Hel·lènides. La Tomografia sísmica permet visualitzar que la llosa en subducció arriba fins el 2000 km de fondària el que indica que aquesta subducció ha estat funcional durant un període de temps molt llarg.

### Hipòtesi

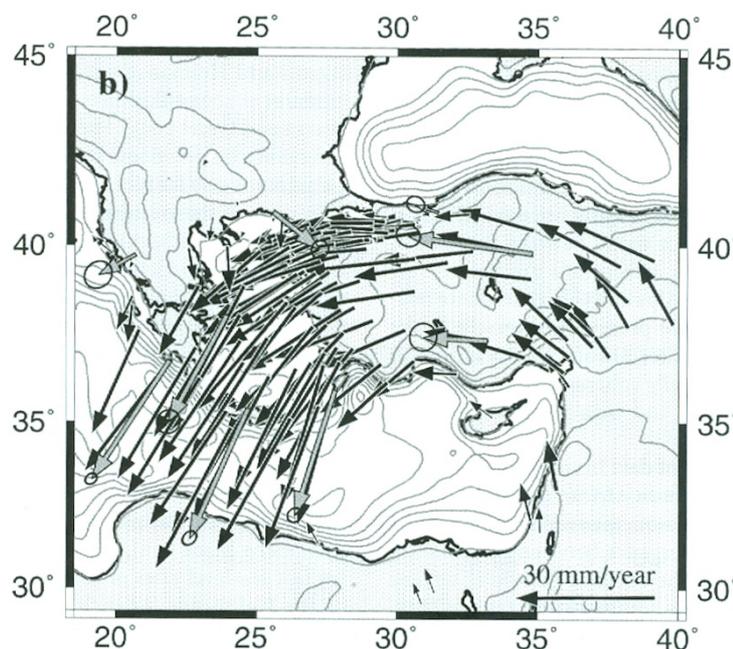
L'origen de les conques del Mediterrani s'han intentat explicar per tres tipus de processos diferents que no necessàriament són excloents entre si sinó que podrien complementar-se.

1) La convergència entre Àfrica i Euràsia va generar un engruïment (una arrel) cortical que en sobrepassar determinat gruix esdevé inestable i es desprèn. Això implica un increment del gradient geotèrmic cortical que comporta un augment del flux calòric i un refredament. Aquest refredament de l'escorça implica un augment de densitat de les roques i una subsidència (generació de conques) (PLATT i VISSERS, 1989).

2) Les conques s'assimilen a mega-esquerdes de tensió cortical. L'obertura d'una conca es produiria per una extensió en principi perpendicular a la convergència de les plaques. Si en un lateral de la zona en extensió hi hagués un oceà, aquest podria subduir sota de la conca generant-se un arc. La subducció seria conseqüència de l'extensió (TAPPONNIER, 1977; GELABERT *et al.*, 2002 i 2004). La Fig. 7 mostra l'evolució del Mediterrani occidental d'acord amb aquesta hipòtesi. Després de la col·lisió entre Àfrica i Euràsia (35 Ma), la convergència tenia una direcció NE-SW (20 Ma) i va produir una extensió SE-NW que va generar una conca embrionària; donat que al SE hi havia un oceà, aquest *free face* va permetre que es generés un arc sota del que l'escorça oceànica hi subduïa (10 Ma); a partir



**Fig. 5.** Mapa estructural de la Mediterrània Oriental. (DILEK i ALTUNKAYNAK, 2009).



**Fig. 6.** Desplaçament mesurat amb GPS de diverses localitats d'Anatòlia i de l'Egeu respecte a Euràsia (CAVAZZA *et al.*, 2004).

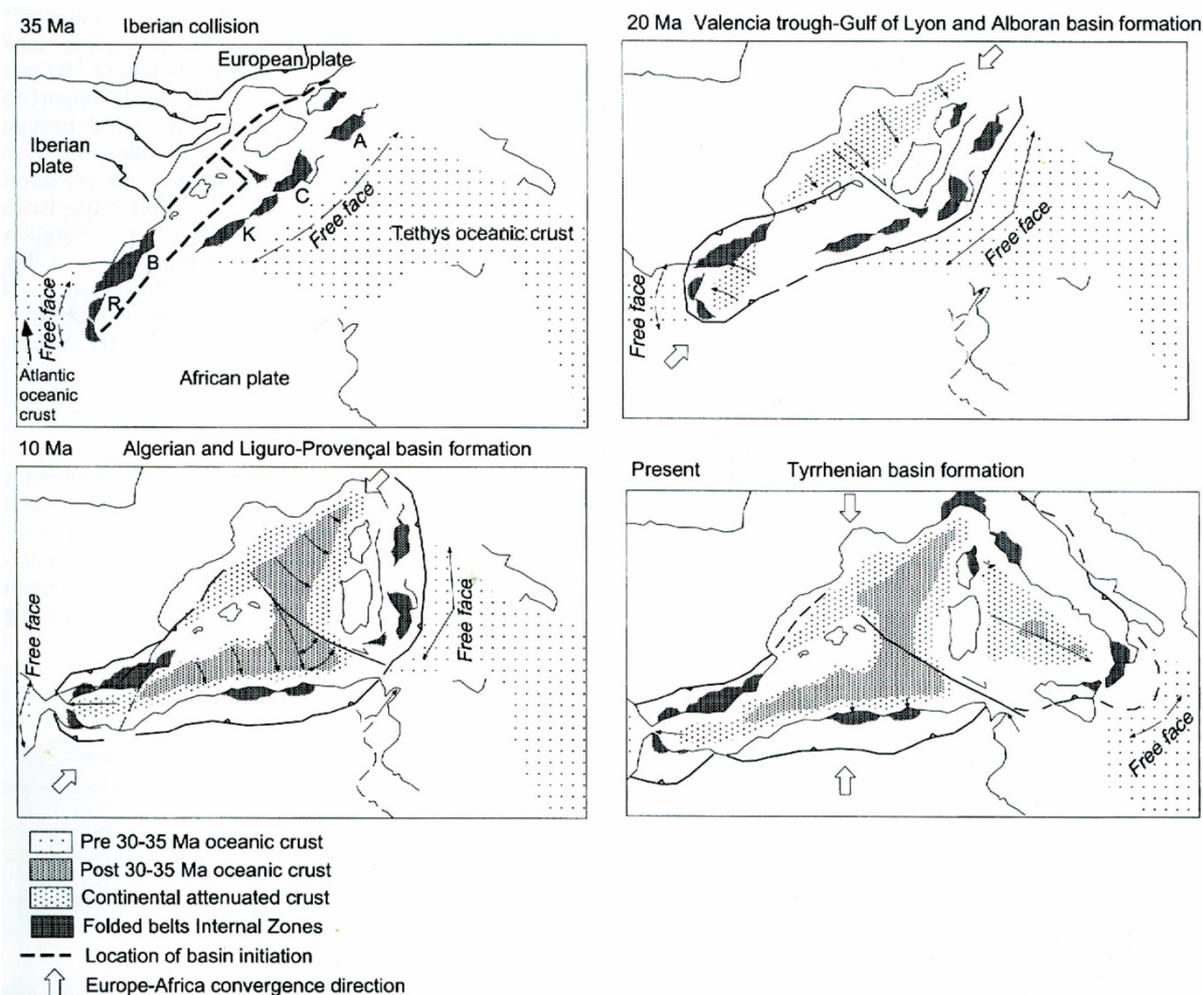
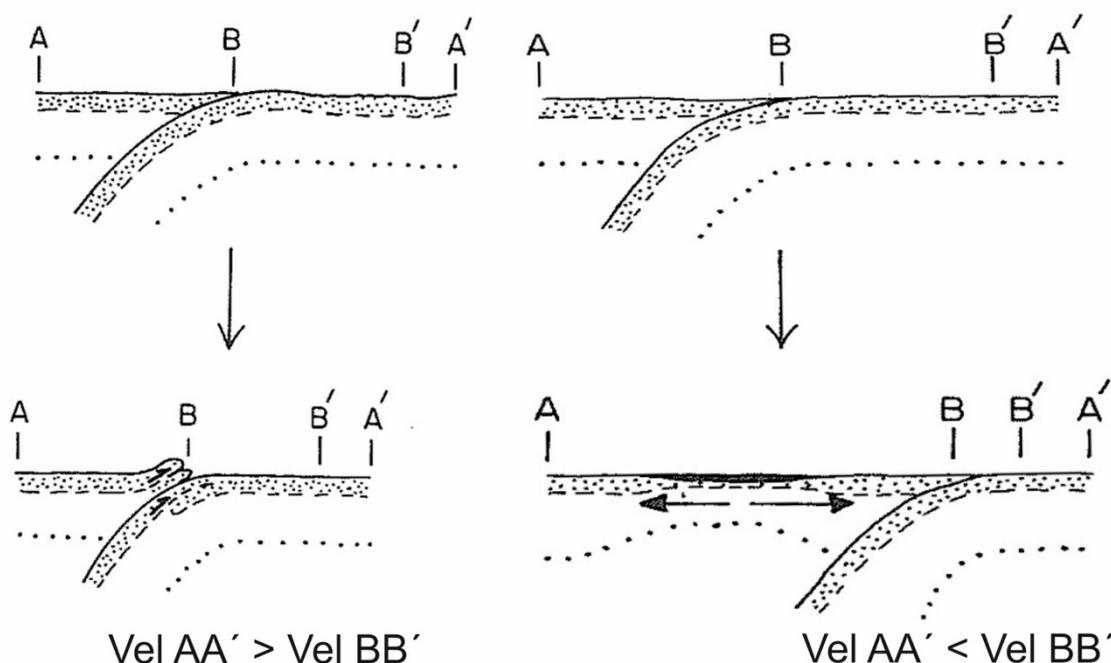


Fig. 7. Evolució del Mediterrani occidental (Gelabert et al., 2002).

d'aquí l'evolució i grandiment de la conca passaria a estar controlada per la subducció. DRIEHAUS *et al.* (2013) van realitzar i analitzar una sèrie de models analògics a base de sorra, silicó i mel per tal d'esbrinar l'efecte de diversos paràmetres sobre l'extensió en un marge continental. Els resultats indiquen que la velocitat de convergència no facilita l'obertura de la conca (més aviat la dificulta) mentre que el paràmetre que controla l'extensió i la formació de la conca és el contrast entre les densitats de l'escorça continental i de l'escorça oceànica. Quan més gran és la diferència de densitat més fàcilment es forma la conca. Probablement les propietats mecàniques (reològiques) de la litosfera continental no són les adequades per facilitar la formació de mega-esquerdes de tensió cortical.

3) Les conques del Mediterrani són el resultat del retrocés de la subducció. Sovint es considera que la subducció va associada a la convergència de plaques. La part esquerra de la Fig. 8 (ROYDEN i BURCHFIEL, 1989) il·lustra aquesta idea; la velocitat de convergència (vel. AA') és més gran que la velocitat de subducció (vel. BB') i això implica que la distància AB disminueix amb el temps i que es produeix escurçament i orogènesis en la placa de sobre la subducció. Però la desigualtat es pot invertir de sentit (part dreta de la Fig. 8); si la velocitat de convergència és més petita que la velocitat de subducció, aleshores la distància AB augmenta amb el temps i es forma una conca, la subducció retrocedeix i el motor de la subducció deixa de ser la convergència. Algunes de les subduccions descrites a l'oest de l'oceà Pacífic tenen associades conques de rera-arc i són coherents amb aquesta segona opció. Aquesta és la hipòtesi que avui en dia té major consens, si bé hi ha múltiples variacions (ROYDEN, 1993; JOLIVET i FACCENNA, 2000; SPAKMAN i WORTEL, 2004; VERGÉS i FERNÁNDEZ, 2012) en funció del pes atorgat a unes o altres observacions. D'altra banda, les imatges obtingudes per tomografia





**Fig. 8.** Relació entre la velocitat de convergència i la velocitat de subducció i els seus efectes en la tectònica de la placa encavalcant (Royden i Burhfiel, 1989).

sísmica han permès adquirir el convenciment que la formació de les conques del Mediterrani no poden ser degudes a un mecanisme exclusivament cortical sinó que es requereix un procés mantèl·lic com és el cas del retrocés de la subducció (WORTEL i SPAKMAN, 2000; FACCENNA *et al.*, 2003 i 2004; JOLIVET *et al.*, 2009 ; VAN DER MEER *et al.*, 2010). A més a més, els models analògics han permès determinar quins paràmetres condicionen el funcionament de la subducció i el seu retrocés (FUNICELLO *et al.*, 2003; REGARD *et al.*, 2008; STEGMAN *et al.*, 2010; BELLAHSEN *et al.*, 2005). La llosa que subdueix, per ser el motor del mecanisme, ha de tenir una flotabilitat negativa, es a dir, la seva densitat ha de ser superior a la del mantell en què s'enfonsa. Al seu torn, la densitat de la llosa que subdueix depèn de la temperatura (i aquesta de l'edat de la llosa – només les lloses antigues i fredes poden subduir) i de les reaccions metamòrfiques associades a una pressió que augmenta amb la fondària. En aquest cas l'extensió seria conseqüència de la subducció i en concret del seu retrocés.

## Discussió

La restitució seqüencial de talls corticals és una metodologia potent per intentar entendre i visualitzar l'evolució de les estructures en general i en particular de les conques (VERGÉS i SÀBAT, 1999).

La Fig. 9 recull de forma esquemàtica l'evolució de tres talls singulars del Mediterrani Occidental des dels 35 Ma fins a l'actualitat (FACCENNA *et al.*, 2004): un tall és ortogonal a l'arc de Calabria, l'altra passa per les Balears i el tercer per l'arc de Gibraltar. Aquests talls il·lustren clarament el retrocés de les subduccions i la sincronia entre retrocés i generació de les conques.

L'evolució cortical de les Hel·lènides (JOLIVET i BRUN, 2010) té semblances amb els tres talls corticals del Mediterrani Occidental. A l'extrem dret de la placa situada sobre la subducció hi ha la *Mediterranean Ridge*; a continuació cap al N, hi ha l'arc de Creta, la Conca de Creta, les Cíclades, la Conca de l'Egeu nord i la plataforma de Moesia. La restitució seqüencial del tall des dels 65 Ma fins a l'actualitat (JOLIVET i BRUN, 2010) mostra molt clarament la formació progressiva de cadascuna de les conques i dels arcs que les separen, i el retrocés constant de la subducció.

La Fig. 10 vol posar de manifest l'evolució dels dos mediterranis i remarcar-ne les diferències. La fletxa representa la direcció predominant del desplaçament d'Àfrica en relació a Euràsia. 1, 2 i 3 repre-

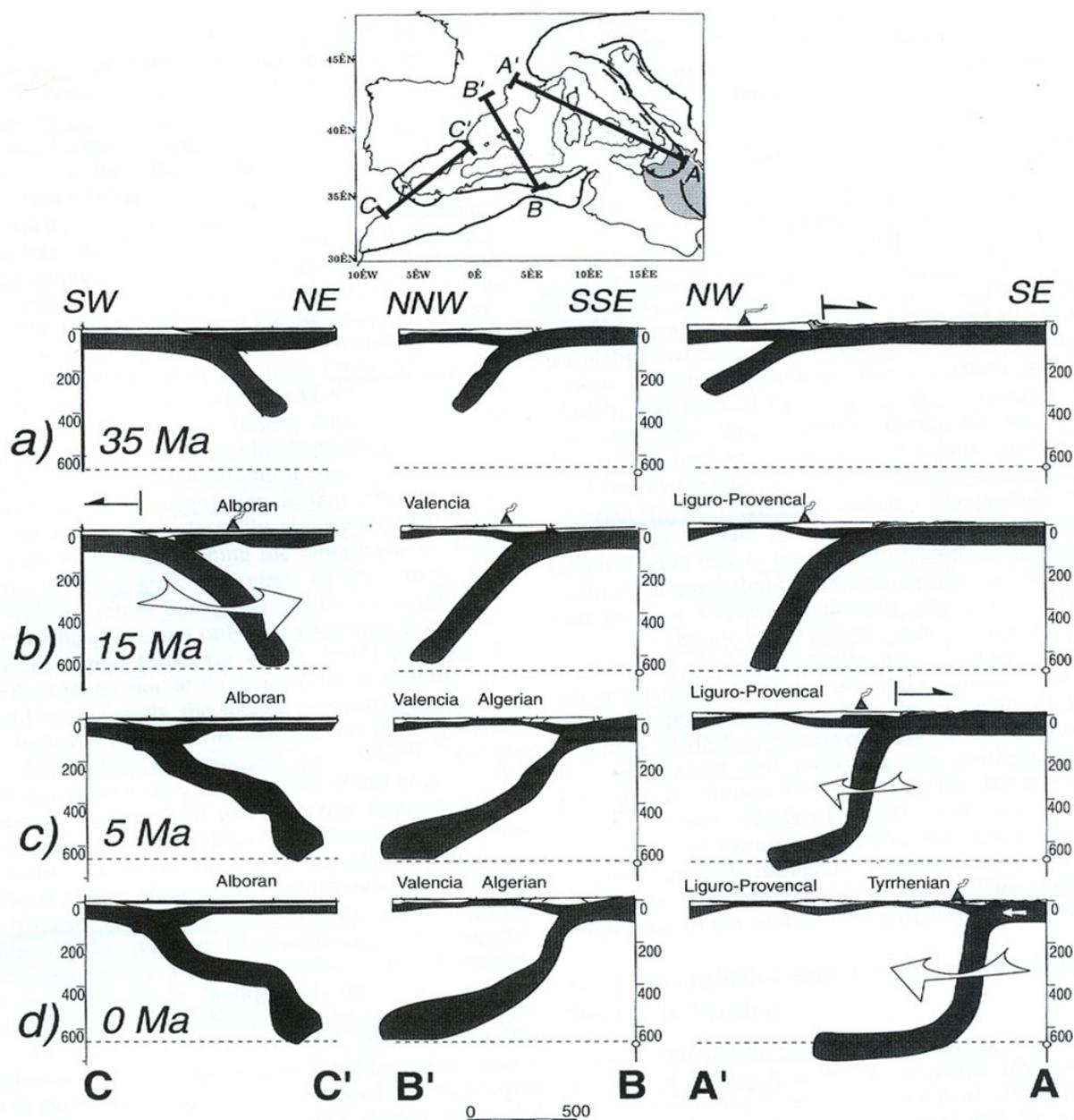
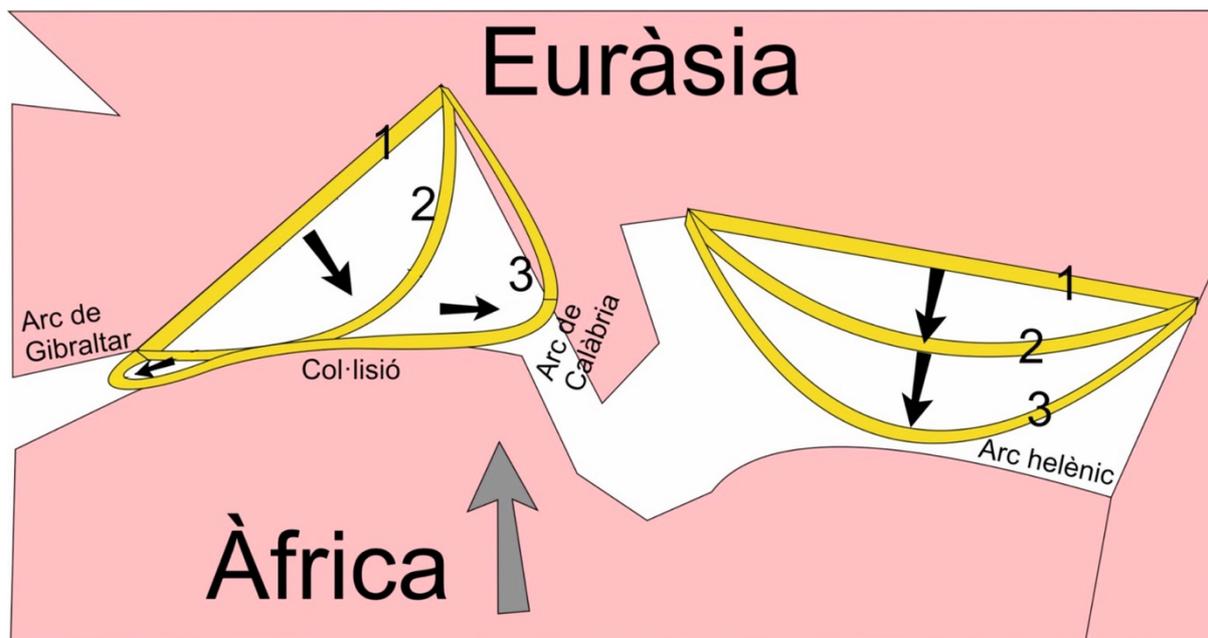


Fig. 9. Evolució seqüencial de tres transversals del Mediterrani Occidental (FACCENNA *et al.*, 2004).

senten estadis: 1, l'inicial; 2, l'intermig i 3, el final. No representen temps determinats ja que les dues conques no evolucionen en sincronia. Pel cas del Mediterrani occidental l'estadi 2 és molt peculiar ja que consisteix en la col·lisió de l'arc amb Àfrica. Aquesta col·lisió comporta un canvi cinemàtic de primer ordre: l'arc queda bloquejat i la rotació de Còrcega-Sardenya s'atura; la continuació de l'evolució només és possible amb l'escapament lateral cap als "free face" de dos segments desiguals de l'arc. El més llarg s'escaparà cap a l'est formant l'arc de Calabria sobre una subducció local de l'oceà Jònic dirigida a l'oest, i el segment més curt s'escaparà cap a l'oest formant l'arc de Gibraltar sobre una subducció local de l'oceà Atlàntic dirigida cap a l'est. A més a més, en conjunt, el Mediterrani Occidental és oblic en relació a la convergència d'Àfrica amb Euràsia. En el cas del Mediterrani Oriental no s'ha arribat encara a la col·lisió de l'arc amb Àfrica (si bé no falta gaire) i l'arc s'ha desenvolupat lliurament de manera, que mentre a l'interior de l'arc hi ha les conques neoformades degudes al retrocés de la subducció, a l'exterior de l'arc encara subsisteixen porcions de l'oceà antic que ha subduït durant tota l'evolució i



**Fig. 10.** Evolució esquemàtica dels arcs del Mediterrani Oriental i Occidental. 1 representa l'estadi inicial, 2 representa un estadi intermedi i 3 representa l'estadi final. Els dos arcs no són sincrònics i per tant 1, 2 i 3 no representen temps determinats. La fletxa gris mostra la direcció predominant d'Àfrica respecta a Euràsia. Les fletxes negres mostren la direcció del retrocés de la subducció.

que encara continua subduint: a l'est de Conca de Llevant i a l'oest el mar (oceà) Jònic. A més a més, en conjunt, l'arc del Mediterrani Oriental és frontal en relació a la convergència; això ho fa tot més fàcil.

La convergència entre Àfrica i Euràsia és primordial per desenvolupar les orogènies d'algunes de les serralades, però juga un paper menor encara que cabdal a l'hora de desencadenar les subduccions. Un cop les subduccions han adquirit una certa maduresa és el seu retrocés el que produeix l'extensió que genera les conques.

El model presentat és volgudament simple perquè està focalitzat en posar de manifest el paper essencial de la col·lisió de l'arc amb el continent situat en la placa que està subduint. És la comparació entre els dos mediterranis que permet posar en valor aquest factor. En realitat tot és molt més complex del que s'ha explicat en aquest article; s'han deixat de banda moltes observacions i característiques ben conegudes que posen de manifest que el model presentat és del tot incomplet. A títol d'exemple es poden mencionar dos trets molt rellevants del Mediterrani occidental: 1) La falla de transferència nordbaleàrica que permet que Còrsega-Sardenya i les Balears tinguin desplaçaments de magnitud molt diferent, i 2) el fet que les Kabylies estiguin al sud de la conca d'Algèria mentre que les Bètiques estan al nord de la conca d'Alboran. Aquesta segona observació implica que hi ha d'haver una zona de transferència entre la conca algeriana i la conca d'Alboran i que les subducció a banda i banda de la transferència tinguin polaritats oposades (VERGÉS i FERNÁNDEZ, 2012), o bé que les Bètiques en conjunt han experimentat una rotació de 180° (SPAKMAN i WORTEL, 2004; VAN HINSBERGEN *et al.*, 2014). De fet, qualsevol de les dues explicacions no són coherent amb el model presentat.

## Conclusions

- Hi ha dos mediterranis diferents: L'oriental i l'occidental.
- El Mediterrani està situat a la zona de convergència entre Àfrica i Euràsia. La convergència és responsable de les orogènies que han generat algunes serralades de muntanyes.
- El Mediterrani és el resultat de la subducció i del seu retrocés.

- La subducció occidental ha estat obliqua i en un moment de la seva evolució es va produir col·lisió l'arc – continent. Això va comportar un bloqueig i la posterior formació de dos arcs laterals de dimensions desiguals. La subducció oriental ha evolucionat de forma més lliure perquè la col·lisió arc-continent no s'ha produït i encara queden petits romanents de l'oceà que subdueix.

## Agraïments

En primer lloc hem d'agrair a Antonio Rodríguez Perea les moltíssimes hores que hem passat discutint i aprenent sobre aquest tema. També volem agrair el temps i l'esforç realitzat pels revisors d'aquest article i pels editors del volum.

## Bibliografia

- BELLAHSEN, N., FACCENNA, C. i FUNICELLO, F. (2005). Dynamics of subduction and plate motion in laboratory experiments: Insights into the plate tectonics behavior of the Earth. *J. Geophys. Res.* 110: B01401.
- CAVAZZA, W., ROURE, F. i ZIEGLER, P.A. (2004): The Mediterranean Area and the Surrounding Regions: Active Processes, Remnant of Former Tethyan Oceans and Related Thrust belts. In *Transmed Atlas*. Springer.
- DILEK., Y. i ALTUNKAYNAK, S. (2009): Geochemical and temporal evolution of Cenozoic magmatism in Western Turkey: Mantle response to collision, slab break-off, and lithospheric tearing in an orogenic belt. *Geological Society London Special Publications*, 311(1): 213-233
- DRIEHAUS, L., NALPAS, T., GELABERT, B., COBBOLD, P. i SÀBAT, F. (2013): Effects of margin-parallel shortening and density contrasts on back-arc extension during subduction: experimental insights. *Tectonophysics*, 608: 288-302.
- FACCENNA, C., JOLIVET, L., PIROMALLO, C. i MORELLI, A. (2003). Subduction and depth of convection in the Mediterranean mantle. *Journal of Geophysical Research* 108 (B2): 1-13.
- FACCENNA, C., PIROMALLO, C., CRESPO-BLANC, A., JOLIVET, L. i ROSSETI, F. (2004): Lateral slab deformation and the origin of the western Mediterranean arcs. *Tectonics*, 23: TC1012, 1-21.
- FUNICELLO, F., FACCENNA, C., GIARDINI, D. i REGENAUER-LIE, K. (2003). Dynamics of retreating slabs: 2. Insights from three-dimensional laboratory experiments. *Journal of Geophysical Research*, 108, B4, 2207.
- GATTACCECA, J., DEINO, A.L., RIZZO, R., JONES, B., HENRY, B. i VADEBOIN, F. (2007): Miocene rotations of Sardinia: New paleomagnetic and geochronological constraints and geodynamic implications. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 258: 459-377.
- GELABERT, B., SÀBAT, F. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (2002). A new proposal for the Late Cenozoic geodynamic evolution of the western Mediterranean. *Terra Nova*, 14 (2): 93-100.
- GELABERT, B., SÀBAT, F., RODRÍGUEZ-PEREA, A. i FORNÓS, J.J. (2004). On the origin of North Pacific arcs. *Geologica Acta*, 2 (3): 203-212.
- GRANADO, P., URGELES, R., SÀBAT, F., ALBERT-VILLANUEVA, E., ROCA, E., MUÑOZ, J.A. i MAZZUCA, N., GAMBINI, R. (2016): Geodynamic framework and hydrocarbon plays of a salt giant: the NW Mediterranean Basin. *Petroleum Geoscience*, 22: 309-321.
- JOLIVET, L., FACCENNA, C. i PIROMALLO, C. (2009). From mantle to crust: Sketching the Mediterranean. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 285: 198-209.
- JOLIVET, L. i BRUN, J.P. (2010): Cenozoic geodynamic evolution of the Aegean. *Int. J. Earth Sciences*, 99: 109-138.
- JOLIVET, L., FACCENNA, C., HUET, B. i LABROUSSE, L. (2013): Aegean tectonics: strain localisation, slab tearing and trench retreat. *Tectonophysics*, 597-598: 1-33.

- JOLIVET, L., GORINI, C., SMIT, J. i LEROY, S. (2015): Continental breakup and geodynamics of rafting in back-arc basins: The Gulf of Lion margin. *Tectonics*, 34: 662-679.
- JOLIVET, L. i FACCENNA, C. (2000): Mediterranean extension and the Africa – Eurasia collision. *Tectonics* 19 (6): 1095-1106.
- MICHEL, F. (2008): *Le tour de France d'un géologue*. BRGM editions, Paris. 383 pp.
- PARÉS, J.M., FREEMAN, R. i ROCA, E. (1992). Neogene structural development in the Valencia trough margins from paleomagnetic data. *Tectonophysics*, 203: 111-124.
- PATRIAT, P., SEGOUFIN, J., SCHLICH, R., GOSLIN, J., AUZENDE, J.M., BEUZART, P., BONNIN, J. i OLIVET, J.L. (1982): Les mouvements relatifs de l'Índe, de l'Afrique et de l'Eurasie. *Bull. Soc. Géol. France*. 24 (2): 363-373.
- PLATT, J. i VISSERS, R. (1989): Exgtensional collapse of thickened continental lithosphere: a working hypothesis for the Alboran Sea and Gibraltar arc. *Geology*, 17 (6): 540-543.
- REGARD, V., FACCENNA, C., BELLIER, O. i MARTINOD, J. (2008): Laboratory experiments of slab break-off and slab dip reversal: insight into the Alpine Oligocene reorganization. *Terra Nova*, 20: 267-273.
- ROYDEN L. i BURDHFIEL, B.C. (1989). Are systematic variations in thrust belt style related to plate boundary processes? *Tectonics*, 8 (1): 51-61.
- ROYDEN, L. (1993): The tectonic expresion of slab pull at continental convergent boundaries. *Tectonics* 12, 303-325.
- SAVOSTIN, L.A., SIBUET, J.C., ZONENSHAIN, L.P., LE PICHON, X. i ROULET, M.J. (1986): Kinematic evolution of the Tethys belt from the Atlantic Ocean to the Pamirs since the Triassic. *Tectonophysics*, 123: 1-35.
- SPAKMAN, W. i WORTEL, R. (2004): A tomographic view on Western Mediterranean Geodynamics. *In Transmed Atlas*.
- SPERANZA, F., VILLA, I.M., SAGNOTTI, L., FLORINDO, F., COSENTINO, D., CIPOLLARI, P. i MATTEI, M. (2002). Age of Corsica-Sardinia rotation and Liguro-Provençal Basin spreading: New paleomagnetic and Ar/Ar evidence. *Tectonophysics*, 347: 231-251.
- STEGMAN, D.R., FARRINGTON, R. i SCHELLART, W.P. (2010).: A regime diagram for subduction styles from 3-D numerical models of free subduction. *Tectonophysics*, 483 (1-2): 29-45.
- TAPPONNIER, P. (1977): Évolution tectòniques du système alpin en Méditerranée: poinçonnement et écrasement rigide-plastique. *Bull. Soc. Géol. France.*, 29 (3): 437-460.
- VAN DER MEER, D.G., SPAKMAN, W., VAN HINSBERGEN, D.J.J. i TORSVIK, T.H. (2010): Toward absolute plate motions constrained by lower mantle slab remnants. *Nat. Geosci.*, 3: 36-40.
- VAN HINSBERGEN, D.J.J., VISSERS, R.L.M. i SPAKMAN, W. (2014): Origin and consequences of western Mediterranean subduction, rollback and slab segmentation. *Tectonics*, 33: 394-419.
- VERGÉS, J. i SÀBAT, F. (1999): Constraints on the Neogene Mediterranean kinematics evolution along a 1000 km transect from Iberia to Africa. *Geological Society Special Publication*, 156: 63-80. London.
- VERGÉS, J. I FERNÁNDEZ, M. (2012): Tethys – Atlantic interaction along the Iberia – Africa plate boundary: The Betic – Rif orogènic System. *Tectonophysics*, 579: 144-172.
- WORTEL, M.J.R. I SPAKMAN, W. (2000): Subduction and slab detachment in the Mediterranean – Carpathian region. *Science*, 290: 1910-1917.

---

Data recepció: 18.06.21

Data revisió: 02.07.21

Revisió acceptada: 09.07.21

# Bloc 2

## Geomorfologia



Societat d'Història Natural de les Balears



# LES INVESTIGACIONS SOBRE EL CARST I LES COVES DE MALLORCA: EVOLUCIÓ DELS CONEIXEMENTS I PERSPECTIVES ACTUALS

Joaquín Ginés<sup>1,2</sup>, Angel Ginés<sup>1,2</sup> i Joan J. Fornós<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears,  
Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears)

<sup>2</sup> Societat Espeleològica Balear, C/ Margarida Xirgú 16, 07011 Palma (Illes Balears)

**Resum:** Les investigacions realitzades sobre el carst i les cavitats naturals de Mallorca han experimentat un gran desenvolupament durant les darreres cinc dècades, per motius ben diversos que han actuat de manera sinèrgica: l'eclosió de l'espeleologia mallorquina, l'aparició de publicacions espeleològiques locals i la instauració de la formació universitària a les Illes Balears. En aquestes pàgines es fa una revisió detallada dels avenços que s'han anat produint, tant en l'estudi del carst en general i les seves formes de superfície o *exocarst*, com en el coneixement de les coves i avencs de l'illa i els dipòsits que contenen. Especial menció mereixen els treballs desenvolupats sobre aspectes geocronològics i paleoclimàtics, entre els quals destaquen les investigacions portades a terme sobre els espeleotemes freàtics (POS) de les coves litorals de Mallorca i la seva relació amb antics nivells de la mar.

**Paraules clau:** *exocarst, endocarst, espeleotemes freàtics (POS), nivells de la mar, Mallorca.*

**Abstract:** Research carried out on the karst and caves of Mallorca Island has undergone great development over the last five decades, for a variety of reasons that have acted synergistically: the sudden emergence of Mallorcan caving activities, the bloom of local speleological publications and, finally, the launching and consolidation of university studies in the Balearics. In this paper a detailed review of the advances that have been produced is made, as much in the study of karst in general and its surface landforms or *exokarst*, as in the knowledge of the caves and chasms of the island and the deposits hosted within them. Special mention should be deserved to the works carried out on geochronological and paleoclimatic aspects, including the research on the phreatic overgrowths on speleothems (POS) from coastal caves of Mallorca and their relationship with ancient sea levels of the Mediterranean.

**Keywords:** *exokarst, endokarst, phreatic overgrowths on speleothems (POS), sea level, Mallorca.*

## Introducció: evolució general dels coneixements sobre aquesta matèria

El coneixement científic de les coves de Mallorca és un fenomen que a molt estirar es remunta fins a les darreries del segle XIX, amb la topografia i les observacions sobre cavitats que podríem qualificar de clàssiques o històriques –Coves d'Artà (PEÑA, 1882) i Coves del Drac (WILL, 1880; MARTEL, 1897)–, així com amb esporàdiques consideracions de caire geològic sobre el carst de l'illa (LOZANO, 1884). Al llarg de la primera meitat del segle XX les aportacions bibliogràfiques i topogràfiques s'incrementen lleugerament, fins arribar als anys 50 quan tenen lloc contribucions substancials lligades a la puixança de l'espeleologia catalana de postguerra, tal i com assenyalen GINÉS (1993) i GINARD *et al.* (2011).

Malgrat això, fins a la dècada dels setanta del passat segle el bagatge de publicacions sobre el carst i les coves illenques continuava essent més aviat pobre, tenint en compte que els reculls bibliogràfics d'aleshores esmentaven tan sols unes poques desenes de referències sobre la matèria (DARDER, 1946; COLOM, 1973). La situació subsegüent canviarà de forma dràstica en el darrer quart del segle XX, gràcies a una conjunció de factors –que s'analitzen tot seguit– els quals propiciaran un increment exponencial de les investigacions sobre el carst de Mallorca, amb una notable millora del seu coneixement tant en el pla quantitatiu com qualitatiu. Des d'un punt de vista merament quantitatiu, i partint de la molt migrada situació inicial, el recull bibliogràfic realitzat per GINÉS i GINÉS (2004) sobre espeleologia física i carst de les Balears comptava ja amb 533 referències, que superen les 1.100 en el moment present, i sempre sense comptabilitzar les contribucions a altres disciplines relacionades amb les coves com són la bioespeleologia o la paleontologia.



A partir d'aquests precedents, en aquestes pàgines es procedeix a plantejar quins són els factors explicatius d'aquesta evolució tan accelerada per passar a continuació revista, de manera necessàriament molt abreujada, als coneixements actuals i els avenços més destacables dins dels diversos vessants de la investigació del carst i les cavitats subterrànies de Mallorca.

### **Els factors explicatius de la situació actual**

A la dècada dels setanta del segle XX es dona la conjunció de tres factors que, actuant de manera sinèrgica, suposen una total inflexió a l'alça pel que fa a la coneixença del món subterrani de l'illa i del modelat càrstic del territori illenc. Encara que no sigui l'objecte d'aquest treball, es pot afirmar que tots tres factors obeeixen a unes condicions conjunturals molt concretes, caracteritzades pel desenvolupament econòmic associat al "boom" turístic illenc, així com per una situació social en la qual ja es notaven signes de la progressiva desintegració del règim autàrquic i totalitari de la postguerra; aquestes condicions socioeconòmiques propiciaran l'actuació gairebé sincrònica dels esmentats factors, que s'analitzen a continuació.

#### *L'eclosió de l'espeleologia illenca a finals dels anys seixanta del segle passat*

A part d'unes activitats primerenques realitzades els anys 1950 per l'*Equip Mallorquí d'Espeleologia* –un grup de naturalistes lligats a la Societat d'Història Natural de les Balears (VICENS i PLA, 2001)–, el que considerem l'eclosió de l'espeleologia mallorquina cal situar-la a finals de la dècada dels seixanta. Concretament, l'any 1968 ja es troben actius tres grups de joves que assoliran una llarga trajectòria espeleològica: l'*Speleo Club Mallorca* i el *Grup Espeleològic EST* (ambdós de Palma) i el *Grup Nord de Mallorca*, amb seu a Pollença. Les tasques exploratòries i topogràfiques d'aquests grups, juntament amb altres clubs de vida més efímera, es desenvoluparen a un ritme molt intens durant la dècada dels setanta, tal com es recull al treball de GINARD *et al.* (2011). Una bona prova de l'activitat gairebé frenètica d'aleshores ens el subministra l'evolució en el temps de l'Inventari Espeleològic de Mallorca: partint de menys d'un centenar de cavitats documentades fins a la dècada dels seixanta, l'any 1974 ja es comptabilitzaven 545 coves i avencs (ENCINAS *et al.*, 1974), mentre que cinc anys després la xifra s'enfilava fins a les 814 cavitats (TRIAS *et al.*, 1979).

Al llarg dels anys posteriors l'activitat espeleològica continuarà a bon ritme, amb els grups illencs organitzant-se a partir de 1972 en el que esdevindrà –dos lustres després– la *Federació Balear d'Espeleologia* (GINARD *et al.*, 2011). Aquesta organització fou un fidel reflex de l'espeleologia local durant més de quatre dècades, ja que al seu voltant es varen saber conjugar les tasques d'exploració amb una espeleologia geogràfico-cultural que propiciava la diversificació del coneixement del medi subterrani. A partir de 2017 es va constituir la *Societat Espeleològica Balear*, com a conseqüència del progressiu gir de l'espeleologia federada balear cap a les activitats esportives i d'aventura.

La situació actual ha anat evolucionant encara més des del punt de vista quantitatiu: el recull més recent de les coves i avencs de Mallorca realitzat per ENCINAS (2014) inclou més de 4.000 cavitats, xifra molt important però que incorpora un bon nombre de cavitats de petites dimensions (balmes i petits avencs). Malgrat això, es pot situar en més de dos milenars el nombre de coves i avencs de magnituds relativament rellevants existents a l'illa. Per altra banda, és necessari ressaltar el gran avenç que han suposat les exploracions subaquàtiques dels espeleobussejadors illencs, liderats per Francesc Gràcia; les seves activitats d'espeleobusseig, que han estat continuades des del 1994, han fet incrementar molt el que es coneix sobre les coves del llevant i migjorn de Mallorca (vegeu-ne, per exemple, TRIAS i MIR, 1977 i GRÀCIA *et al.*, 2019 i 2020, com a comparació).

#### *Les publicacions espeleològiques locals a partir dels anys setanta*

Des del començament de l'estructuració organitzativa de l'espeleologia balear, que tingué lloc a partir de 1972, es va plantejar la necessitat de promoure una publicació especialitzada que pogués

contribuir a la divulgació de les descobertes que s'anaven succeint al nostre subsòl. D'aquesta manera, l'any 1974 s'inicia la publicació d'*ENDINS*, revista editada en un principi per la Delegació Balear del Comitè Catalano-Balear d'Espeleologia i amb posterioritat –des del 1982– per la *Federació Balear d'Espeleologia* (PLA i VICENS, 2000). La seva periodicitat ha estat gairebé anual i, sense discussió, es convertí ben prest en una eina fonamental per a la potenciació i divulgació de l'activitat espeleològica illenca, mitjançant una intensa política d'intercanvis internacionals.

La publicació d'*ENDINS* abraça 36 volums que comprenen des de 1974 fins al 2014, data en que cessà la seva edició. Al llarg d'aquests quaranta anys, la sèrie d'aquesta publicació ha donat cabuda a un total de 348 treballs que tracten de totes les temàtiques relacionades amb l'estudi de les coves i el carst de les Balears, i molt especialment de Mallorca. A més a més, convé ressaltar l'edició de diversos volums monogràfics, entre els que hi figuren dos estats de la qüestió relatius al coneixement del carst i les coves de les nostres illes, elaborats amb més de quinze anys de diferència en ocasió d'esdeveniments acadèmics rellevants (GINÉS i GINÉS, 1995; GRÀCIA *et al.*, 2011b).

A partir de 2018, el buit bibliogràfic deixat per l'*ENDINS* passà a estar ocupat per una nova publicació: els *Papers de la Societat Espeleològica Balear*, amb 3 volums ja editats fins ara, i entre els quals cal assenyalar el volum inicial de caràcter monogràfic sobre les Coves del Drac, del municipi de Manacor (SOCIETAT ESPELEOLÒGICA BALEAR, 2018).

L'existència de publicacions locals especialitzades ha estat clau dins el desenvolupament a Mallorca de les ciències del carst i de les coves, des del moment que ha esperonejat a nombrosos autors –tant de l'àmbit espeleològic com acadèmic– a realitzar i divulgar les seves investigacions sobre aquestes matèries. Aquest bagatge bibliogràfic generat des de publicacions netament espeleològiques, s'ha vist complementat amb nombroses aportacions dins mitjans científics locals, com són el Bolletí i les Monografies de la *Societat d'Història Natural de les Balears*.

#### *La implantació dels estudis universitaris a Mallorca*

Els estudis universitaris moderns s'iniciaren a les Balears el 1972 amb la creació de les facultats de Ciències i de Filosofia i Lletres, dependents respectivament de la *Universitat Autònoma de Barcelona* i de la *Universitat de Barcelona*. Aquestes facultats se segregaren de les respectives universitats d'origen el 1978, passant a formar la *Universidad de Palma*, que fou l'embrió de la *Universitat de les Illes Balears* (UIB) la qual es constituí el 1985. Així doncs, durant la dècada dels setanta arribaren al món acadèmic local alguns geòlegs catalans –Lluís Pomar i Antonio Rodríguez-Perea– que integrarien un primer Departament de Geologia, a la Facultat de Ciències de Palma; paral·lelament s'anaven consolidant els estudis de geografia a la nostra illa, sota el lideratge de Bartomeu Barceló. Alguns anys més endavant, al nucli geològic que s'estava desenvolupant a la UIB s'incorporà Joan J. Fornós, qui continuarà lligat a l'estudi del carst fins l'actualitat.

Des dels primers moments la relació entre el món acadèmic i l'espeleològic fou del tot simbiòtica: alguns geòlegs s'aproparen a l'espeleologia per tenir fàcil accés a un vessant específic del seu objecte d'estudi i, per altra banda, els espeleòlegs foren propicis a aquesta col·laboració per contribuir al coneixement del medi subterrani i beneficiar-se de la implementació dels coneixements i la metodologia científica. Bona prova d'aquesta situació són les contribucions publicades conjuntament per autors d'ambdós estaments, des dels començaments de l'edició de l'*ENDINS* (POMAR *et al.*, 1975, 1976, 1979). Així mateix, cal esmentar a partir del 1981 els inicis del *Projecte HADES*, dedicat a l'estudi dels espeleotemes freàtics de la Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia) –el qual fou guardonat amb el Premi Ciutat de Palma d'Investigació– projecte que estava encapçalat per Lluís Pomar i Joaquín Ginés (HADES, 1985).

La implicació dels geòlegs de la UIB en el coneixement del carst balear ha estat molt forta, abraçant des d'una llarga etapa on el Departament de Ciències de la Terra estava lligat als estudis de Geografia, fins als moments actuals dins del Departament de Biologia. La bibliografia generada per aquesta mena de simbiosi entre el món acadèmic de la UIB i l'espeleologia mallorquina ha estat realment prolífica, i ha contribuït al llarg del temps a la internacionalització de la producció científica sobre el nostre carst

dins de l'àmbit de les publicacions d'"impacte". A més d'això, la UIB pròpiament dita ha publicat alguns llibres importants dins l'estudi i la divulgació sobre el carst de la nostra illa (FORNÓS i GINÉS, 1996; FORNÓS, 1998), a part de promoure esdeveniments i encontres científics sobre la matèria que han donat lloc a monografies editades amb altres institucions (GRÀCIA *et al.*, 2011b; GINÉS *et al.*, 2012a). Alguns altres exemples, d'abast internacional, són el volum monogràfic de l'*International Journal of Speleology*, sobre la Cova des Pas de Vallgornera (FORNÓS i GINÉS, 2014), o l'extens llibre sobre les formes de lapiaz editat per l'*Institut za Raziskovanje Krasa*, d'Eslovènia (GINÉS *et al.*, 2009).

Respecte de les activitats docents, cal remarcar la impartició d'una assignatura sobre "*Processos i morfologies en roques carbonatades: Carst*" entre els anys 1994 i 2010, dins els estudis de la llicenciatura de Geografia. L'assignatura era impartida per Joan J. Fornós comptant així mateix amb la col·laboració de l'estament espeleològic; d'aquesta manera, els estudiants illencs han tingut ocasió d'accedir i aprofundir en els coneixements científics sobre aquests temes, al mateix temps que alguns espeleòlegs participaven activament en l'ensenyança de les matèries associades al modelat càrstic. Un exponent clar d'aquesta favorable situació rau en el fet que a partir de 1999 s'han llegit fins a cinc tesis doctorals sobre el carst i les coves de Mallorca: l'exocarst de la Serra de Tramuntana (GINÉS, 1999), l'endocarst litoral de l'illa i els seus aspectes geocronològics (GINÉS, 2000b), el paleocarst del miocè superior de Mallorca (ROBLEDO, 2005), les formes i taxes d'erosió de les costes calcàries (GÓMEZ-PUJOL, 2006), i les coves subaquàtiques de Mallorca (GRÀCIA, 2015), a més d'altres tesis relacionades més o menys indirectament amb les coves illenques (paleontologia, biologia, etc.).

Al llarg d'aquest gairebé mig segle de simbiosi espeleològic-universitària, la producció científica realitzada i publicada ha estat ingent gràcies, entre d'altres coses, al desenvolupament de al manco sis projectes d'investigació sobre el carst litoral balear, recolzats i finançats per diversos ministeris de l'Estat. Així mateix ha estat crucial la realització d'aquests projectes en col·laboració amb diverses universitats internacionals: *Universit  Roma Tre*, *University of South Florida* i *University of New Mexico*, entre d'altres. Tot això, juntament amb els altres factors exposats abans, han conformat un estat actual de les investigacions que s'exposa a continuació de manera abreujada, sistematitzant els resultats obtinguts d'acord amb les categories temàtiques principals que es poden distingir dins l'estudi del carst de Mallorca.

### L'exocarst: les formes de superfície i el lapiaz

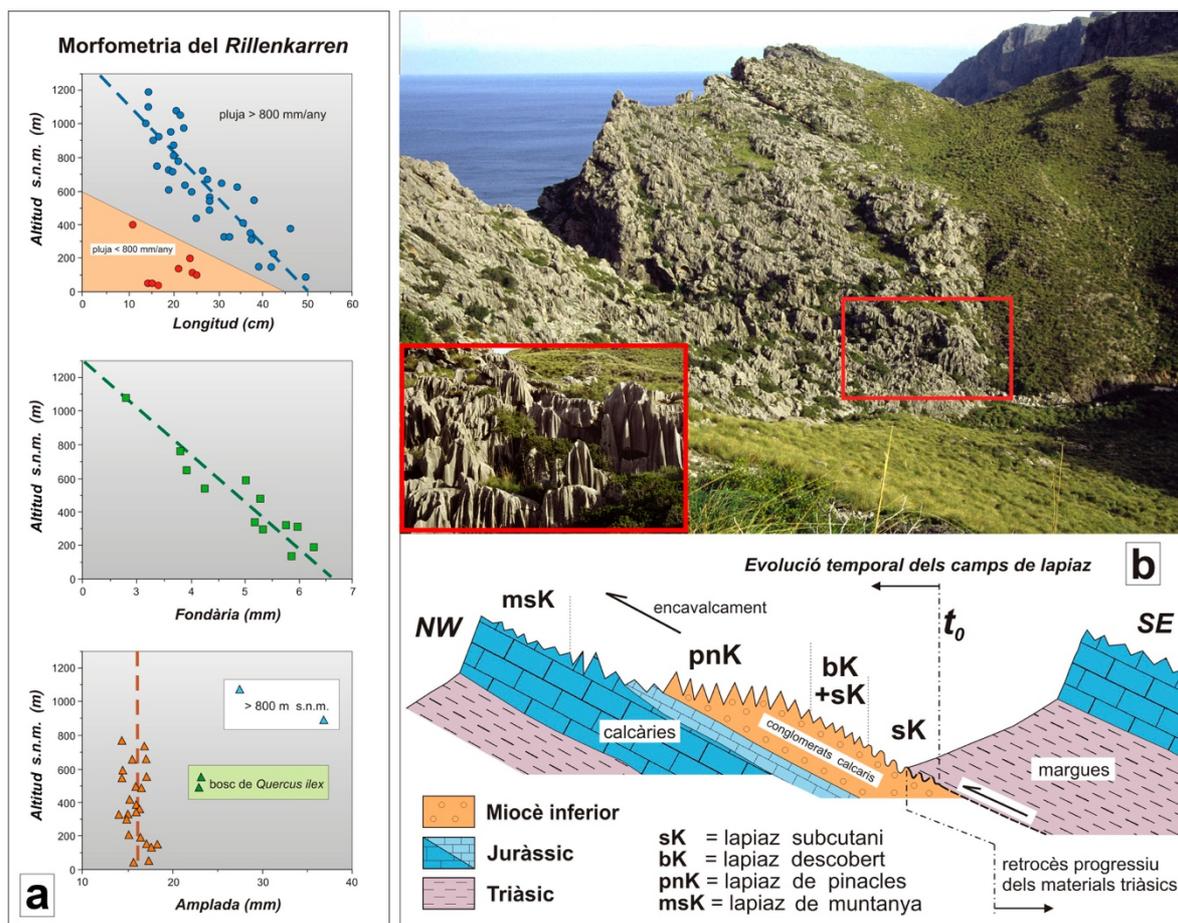
En textos divulgatius pioners, com el de DARDER (1930), ja es plantejaven les particularitats del modelat de les roques calcàries –el *carst*– amb la seva dicotomia de formes superficials i subterrànies. Publicacions posteriors s'ocuparen en més detall del carst de les nostres illes, descrivint els trets específics que permeten establir unes regions càrstiques ben diferenciades, sobre la base dels condicionants geològics (GINÉS i GINÉS, 1989). En aquest mateix sentit, s'han fet algunes aproximacions a la geologia de Mallorca i de les Balears, focalitzades en la susceptibilitat als processos de carstificació, les quals es poden consultar a FORNÓS i GELABERT (1995, 2011).

No hi ha cap dubte que l'estudi de les formes superficials del carst –el que es coneix habitualment com *exocarst*– s'ha beneficiat de l'existència d'uns paratges privilegiats de la mitjana muntanya de Mallorca: la Serra de Tramuntana (GINÉS i GINÉS, 2014). En aquesta regió natural de l'illa, els estudis s'han centrat sobretot en les formes de lapiaz (conegudes localment com a *esquetjars* o *rellars*), que són extraordinàriament abundants i ben desenvolupades a la principal serralada de l'illa. Les publicacions sobre el lapiaz de la Serra de Tramuntana compten amb nombrosos treballs de síntesi on es descriuen i interpreten la gran varietat de morfologies existents, les quals mostren la seva m xima riquesa i exuberància a la meitat nord-est de la serralada, entre Sóller i Formentor (B R *et al.*, 1986; GINÉS, 1990, 1999; CROWTHER, 1997; GINÉS i GINÉS, 2009a, 2011).

Bona part de les investigacions s'han focalitzat en els aspectes morfomètrics de les formes de lapiaz més simples –com és el cas del *rillenkarren* (BORDOY i GINÉS, 1990; CROWTHER, 1998; MOTTERSHEAD *et al.*, 2000)– on s'observa un clar control climàtic d'alguns dels seus paràmetres dimensionals (GINÉS,

1990; LUNDBERG i GINÉS, 2009), tal i com es pot veure a la Fig. 1a. Així mateix s'ha treballat en la línia d'interpretar l'evolució dels camps de lapiaz en funció dels condicionants litològics i la desforestació de les extensions calcàries de la Serra (Fig. 1b). Tots aquests aspectes estan tractats amb força detall per GINÉS (1999), on s'efectua una aproximació geo-ecològica a l'estudi de l'exocarst de la Serra de Tramuntana.

Els progressius avenços en el coneixement del modelat càrstic superficial de la Serra, propiciaren dues importants obres on s'inclouen nombroses dades sobre les morfologies de lapiaz de la muntanya mallorquina. Per un costat, a FORNÓS i GINÉS (1996) es publicaren els resultats de l'*International Symposium on Karren Landforms*, celebrat el 1995 a Sóller. Per altra banda, els treballs desenvolupats a l'illa serviren per a impulsar una magna obra sobre les formes de lapiaz (GINÉS *et al.*, 2009), d'abast internacional, on s'estudien les diverses tipologies de dissolució existents al rocam calcari, sobre la base d'investigacions sustentades en molts de casos per exemples de Mallorca (GINÉS i LUNDBERG, 2009; GÓMEZ-PUJOL i FORNÓS, 2009a; LUNDBERG i GINÉS, 2009).



**Fig. 1.** Els camps de lapiaz de la Serra de Tramuntana de Mallorca (modificat a partir de GINÉS i GINÉS, 2009a i 2011). **a:** Paràmetres morfomètrics de les estries de lapiaz o *Rillenkarren*. **b:** Distribució de les formes de lapiaz en funció de l'altitud, la litologia, i l'erosió dels materials margosos en els fronts d'encavalcament. Fotografies corresponents a la coma de les Truges, al municipi d'Escorca (Fotos: Joaquín Ginés).

A part dels exhaustius coneixements sobre el lapiaz de l'illa, les aportacions sobre les depressions càrstiques són molt manco nombroses i es limiten a descripcions generals (GINÉS i GINÉS, 1989, 2011), així com a treballs cartogràfics de paratges amb abundants *dolines*, ubicades dins un context de grans pinacles de lapiaz (GINÉS *et al.*, 2010). Dintre de l'enfocament geo-ecològic que ha presidit l'estudi de l'exocarst de la Serra, convé mencionar una publicació específica sobre les dolines i la seva vegetació

(GINÉS *et al.*, 1989), a més de les dades subministrades per Fiol *et al.* (2005) sobre les pluges de fang i el seu paper en l'edafogènesi als nostres territoris calcaris.

Encara que és un tema relacionat molt marginalment amb els processos càrstics, és obligat fer referència a les morfologies d'erosió dels litorals calcaris, els quals donen lloc a un modelat superficial molt específic al llarg de la franja costanera. Aquestes formes han estat molt ben documentades a diversos treballs, alguns d'ells finançats pel projecte europeu ESPED (GÓMEZ-PUJOL, 2006; GÓMEZ-PUJOL i FORNÓS, 2009b; POMAR *et al.*, 2017), on es pot consultar una abundant bibliografia sobre la bioerosió dels litorals carbonatats. D'altres innovadores recerques sobre els efectes del biocarst, no costaner, corresponen a POMAR i CALVET (1974) i Fiol *et al.* (1996).

En línies generals es pot afirmar que el coneixement sobre les formes de lapiaz de Mallorca és bastant satisfactori, sobretot des dels punts de vista de la seva morfometria i de la seva evolució a partir de formes primigènies de *criptolapiaz* o lapiaz subcutani. En canvi, es constata una mancança notable d'investigacions sobre les depressions exocàrstiques –*dolines*, etc.– que s'ocupin dels seus paràmetres morfomètrics. Els principals canyons càrstics són descrits detalladament a TRIAS i RAMON (1999).

### L'endocarst: les coves i els avencs, i els dipòsits associats

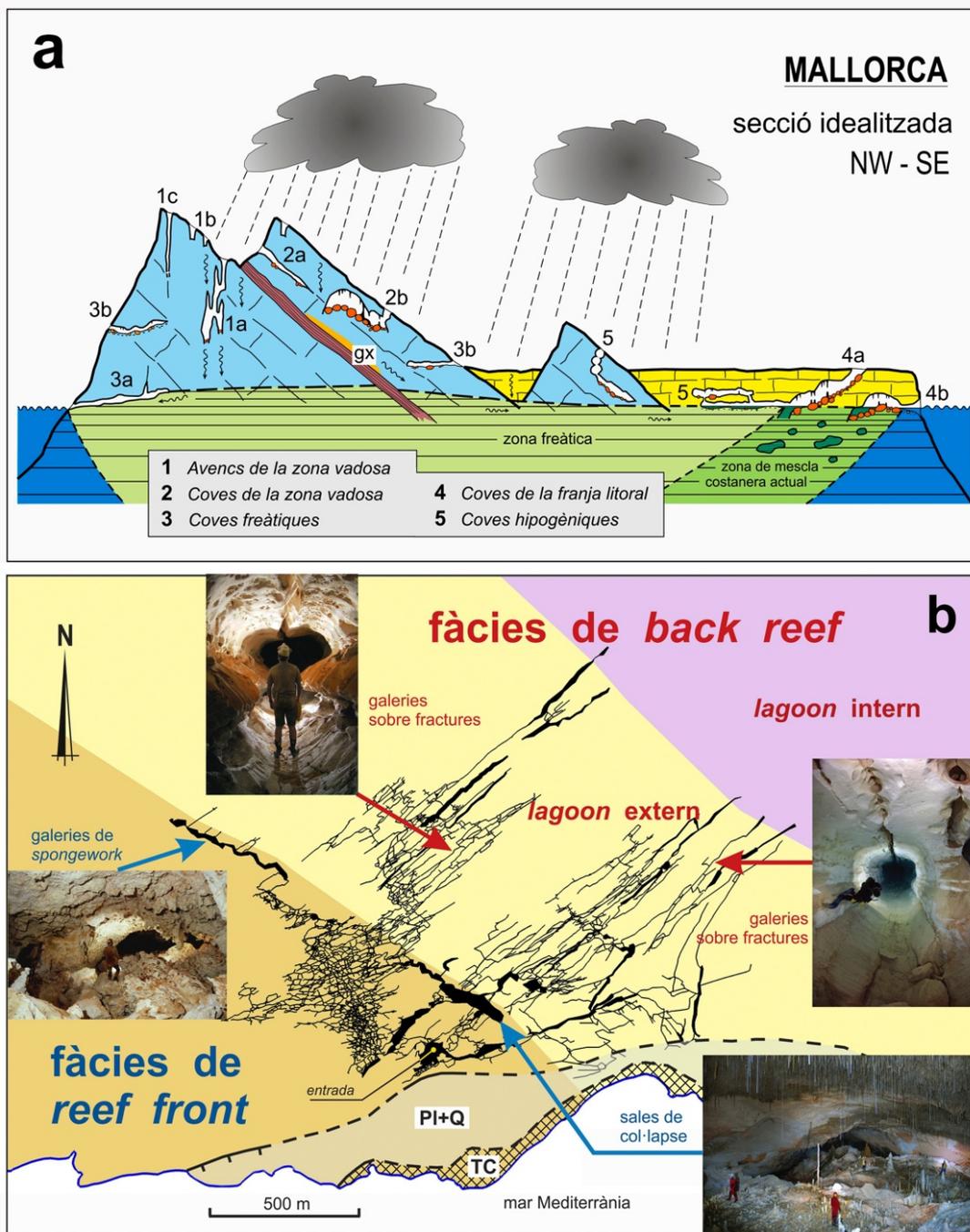
Ja ens hem referit abans al *boom* d'exploracions espeleològiques que es va encetar en la dècada dels setanta del segle passat. Lògicament, aquella eclosió de noves cavitats conegudes i topografiades canvià substancialment el bagatge de documentació sobre les coves i avencs de Mallorca, on avui en dia es coneixen uns quants milenars de cavitats de dimensions molt diverses (ENCINAS, 2014). Malgrat que hi ha molts de fenòmens subterranis d'escassa rellevància, destaquen devers mitja dotzena de coves amb desenvolupaments superiors als 5.000 m, així com abundants avencs que ultrapassen els 100 m de fondària (GRÀCIA *et al.*, 2009); tan sols recordarem que la Cova des Pas de Vallgornera, a Lluçmajor, és la de major recorregut de l'illa amb més de 74.000 m (MERINO *et al.*, 2011a; FORNÓS i GINÉS, 2014), i les cavitats més fondes es localitzen a Escorca, on la Cova de sa Campana i l'Avenc del Puig Caragoler superen els 300 m de desnivell (MIR i TRIAS, 1973; BARRERES *et al.*, 1975-76; PLOMER i GINÉS, 2008).

La documentació espeleològica generada durant les darreres cinc dècades inclou la descripció morfogènica de moltes cavitats subterrànies –vegeu la recopilació bibliogràfica publicada per GINÉS i GINÉS, 2004–, a més de la incorporació progressiva d'aportacions concretes sobre aspectes ben variats: les formes de dissolució dins les cavitats (GINÉS i GINÉS, 1977; GRÀCIA *et al.*, 2011c); les sales d'esfondrament que abunden al nostre endocarst (GINÉS, 2000a); el paper espeleogenètic de la dissolució dels guixos a zones com la Serra de na Burguesa (VICENS *et al.*, 2005); la importància de l'endocarst costaner, amb els extensos llacs subterranis d'aigües salabroses (GINÉS i GINÉS, 2007; GINÉS *et al.*, 2018); o la implicació de processos d'espeleogènesi hipogènica (GINÉS *et al.*, 2017).

Aquesta evolució tan dinàmica dels coneixements sobre el medi subterrani de l'illa ha donat lloc a diferents generalitzacions sobre les característiques de les coves i avencs coneguts. Un dels primers intents de classificació de l'endocarst de Mallorca es pot consultar a GINÉS i GINÉS (1987), on s'inclouen també dades quantitatives sobre la distribució geogràfica de les distintes tipologies de cavitats. Aquesta sistematització desembocarà posteriorment en una classificació genètica de les coves i avencs de l'illa (GINÉS i GINÉS, 2009b), que incorpora les novetats aportades per les exploracions de les darreres dècades (Fig. 2a).

Els avencs més recents i innovadors quant al coneixement de l'endocarst illenc, mereixen una mica d'atenció addicional per tal de situar convenientment la qüestió. Per una part, la participació de mecanismes d'espeleogènesi hipogènica ha estat documentada en cavitats molt concretes, com és el cas de la Cova des Pas de Vallgornera, al municipi de Lluçmajor (MERINO *et al.*, 2011b); aquests processos es relacionen amb l'agressivitat produïda per aigües d'origen no estrictament meteòric, lligades a les anomalies geotèrmiques del migjorn de l'illa. Per altra banda, aquesta mateixa localitat ha permès constatar el rígid control lito-estratigràfic que exerceix l'arquitectura dels materials escullosos del miocè superior (Fig. 2b), control que es manifesta en la diferent estructura i morfogènesi d'aquest

gran sistema subterrani segons quines siguin les fàcies on es desenvolupa (GINÉS *et al.*, 2008, 2014). Finalment, és del tot necessari fer referència a la gran revolució que han suposat les exploracions subaquàtiques portades a terme des dels anys noranta del segle passat; aquestes activitats han documentat sistemes subterranis parcial o totalment inundats, amb extensions realment notables d'alguns quilòmetres de galeries sotaiguades (GRÀCIA *et al.*, 2011a).



**Fig. 2.** Alguns aspectes de l'endocarst de Mallorca. **a:** Representació esquemàtica dels tipus de cavitats presents a l'illa. 1a: avenç de dissolució vadosa; 1b: avenç vadós d'alimentació nival; 1c: avenç d'origen mecànic; 2a: cova estructural; 2b: cova d'esfondrament; gx: guixos triàsics subjacents; 3a: cova freàtica amb activitat hidrològica; 3b: coves freàtiques antigues; 4a: cova de la zona de mescla costanera; 4b: cova càrstico-marina; 5: coves hipogèniques (segons GINÉS i GINÉS, 2009b). **b:** Els condicionants litològics dins el *Complex d'Escull* del miocè superior resulten força evidents a la topografia de la Cova des Pas de Vallgornera, del municipi de Lluçmajor (segons GINÉS *et al.*, 2014, modificat).

Les exploracions subaquàtiques dels darrers anys han demostrat una gran connectivitat entre coves litorals properes (Fig. 3), de tal manera que avui en dia es coneixen conjunts complexos de grans cavitats interconnectades com són el sistema Pirata – Pont – Piqueta, amb un desenvolupament de 8.600 m (GRÀCIA *et al.*, 2019), i el sistema Gleda – Camp des Pou, de 14.600 m de recorregut (GRÀCIA *et al.*, 2020), ambdós al municipi de Manacor (Fig. 4). Aquests grans sistemes posen de manifest la importància de la carstificació eogenètica en els materials carbonatats del miocè superior, que configuren els litorals del llevant i migjorn de Mallorca (GINÉS i GINÉS, 2007; GINÉS *et al.*, 2013).

La situació actual en matèria d'investigació de l'endocarst de Mallorca és del tot satisfactòria. Malgrat això, resta encara prou feina exploratòria per fer, sobretot en els sectors inundats de les coves litorals. Així mateix, romanen a hores d'ara per estudiar diversos aspectes de la morfogènesi de les cavitats naturals de l'illa, de tal manera que molts fronts d'estudi estan tan sols encetats.

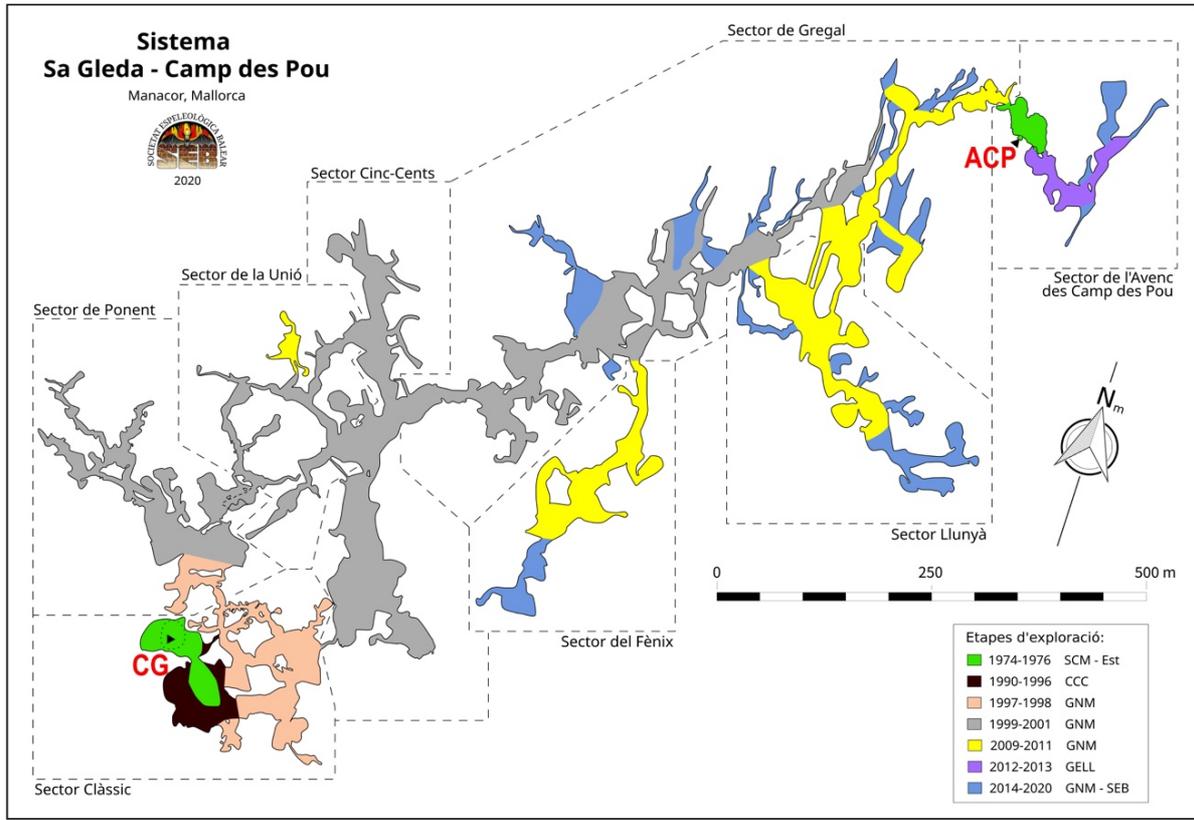


**Fig. 3.** Galeries freàtiques inundades del sistema Coves del Pirata – Cova des Pont – Cova de sa Piqueta (Manacor), documentades a partir de les recents exploracions publicades per GRÀCIA *et al.* (2019). Les exploracions subaquàtiques han permès la descoberta d'importants sistemes subterranis, mitjançant la connexió sota l'aigua de cavitats properes (Foto: Antoni Cirer).

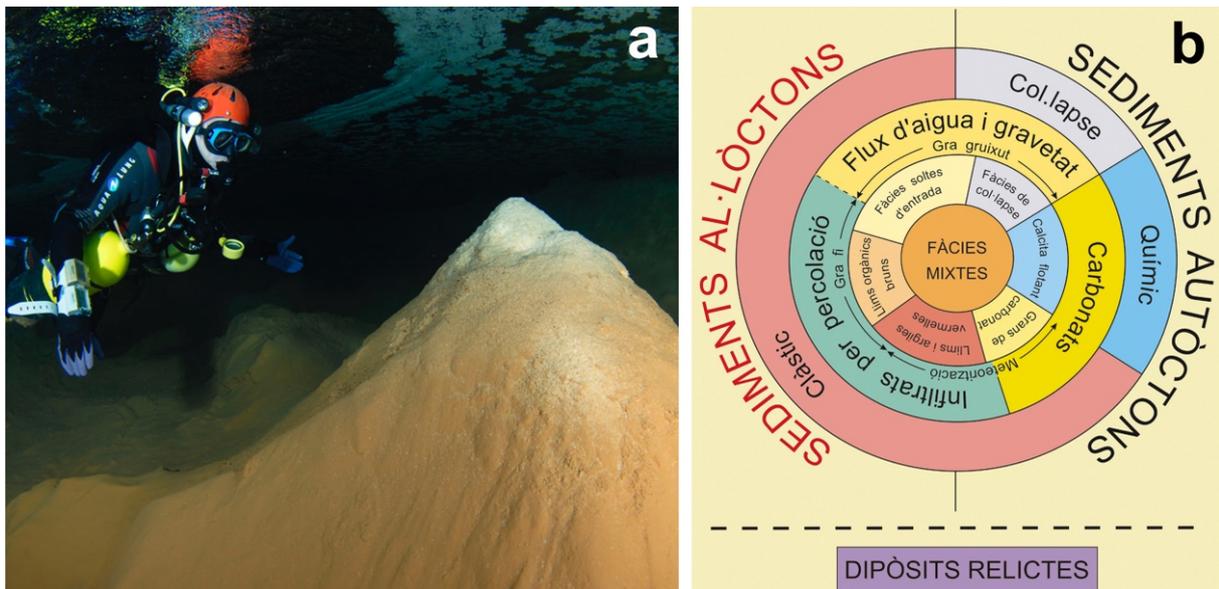
#### *Els sediments i dipòsits de les cavitats subterrànies*

En general, els sediments detrítics de les coves mallorquines no han estat objecte de massa atenció amb unes poques excepcions, com ara els dipòsits que s'observen a les coves costaneres del llevant i migjorn de l'illa. En els llacs i galeries sotaiguades d'aquestes cavitats es constata la presència d'importants cossos de sediments amb característiques força particulars (FORNÓS *et al.*, 2009, 2011). A més de materials heteromètrics relacionats amb els esfondraments que donen accés a les coves, abunden sediments autòctons, de granulometria fina, produïts per la meteorització granular de les roques del miocè superior, així com per la precipitació química de carbonats a la superfície dels llacs subterranis. Tot això, coexisteix amb aportacions de sediments fins al·lòctons aportats des de l'exterior a través de les

entrades naturals de les cavitats, configurant un registre sedimentari realment complex d'interpretar (Fig. 5).



**Fig. 4.** Evolució temporal de les exploracions a un dels grans sistemes subaquàtics del llevant de Mallorca, que supera actualment els 14 km de recorregut. CG: entrada de la Cova de sa Gleda; ACP: entrada a l'Avenç des Camp des Pou (segons GRÀCIA *et al.*, 2020, modificat).



**Fig. 5.** Els sediments de les coves litorals de Mallorca. **a:** Acumulació sedimentària a la Cova de sa Gleda, Manacor (Foto: César Bodi). **b:** Sistematització dels tipus de sediments presents a les cavitats costaneres de l'illa i dels processos sedimentaris implicats (modificat a partir de FORNÓS *et al.*, 2009).



Un cas especialment destacable és el dipòsit detrític sedimentari existent a una de les galeries de la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor), que hostatja un jaciment excepcional de *Myotragus aff. kopperi*, l'emplaçament del qual tingué lloc durant el pleistocè inferior mitjançant una antiga entrada de la cova avui en dia obstruïda (FORNÓS *et al.*, 2010; BOVER *et al.*, 2014). D'altres casos remarcables de dipòsits sedimentaris que inclouen materials ossífers són la Cova de Canet, a Esporles (PONS-MOYÀ *et al.*, 1979), i la Cova des Fum, a Sant Llorenç des Cardassar (GINÉS i FIOL, 1981).

Els dipòsits minerals de les coves de Mallorca –els *espeleotemes*– han atret des de sempre l'atenció dels naturalistes, encara que les sistematitzacions coherents sobre el tema són relativament recents (GINÉS, 1995; MERINO *et al.*, 2011c). La varietat morfològica d'aquests dipòsits cristal·lins és inqüestionable, com queda ben palès en localitats com la Cova des Pas de Vallgornera, on es pot trobar una diversitat excepcional d'espeleotemes i minerals que són poc freqüents a altres cavitats de Mallorca (MERINO *et al.*, 2014). Pel que fa a la seva mineralogia, la major part dels espeleotemes són de composició carbonatada (calcita i/o aragonita), encara que també estan presents altres mineralogies, algunes d'elles relacionades amb la interacció del guano de rates-pinyades amb la roca on s'enclaven les cavitats (ONAC *et al.*, 2005; MERINO *et al.*, 2019).

Els espeleotemes de determinades cavitats han estat objecte d'algunes investigacions des dels punts de vista geocronològic i paleoclimàtic. Fent referència a les aportacions més destacables, esmentarem la datació radiomètrica (pel mètode U/Th) de les colades estalagmítiques de la Cova de na Barxa, en Capdepera (ANDREWS *et al.*, 1989), que permeteren precisar la cronologia del jaciment tipus de *Myotragus balearicus*. Per altra banda, no falten datacions radiomètriques d'espeleotemes vadosos (estalagmites, colades, etc.), que subministren dades sobre les fases principals durant les quals es va produir la precipitació química d'aquests dipòsits (HODGE, 2004; HODGE *et al.*, 2008; GINÉS *et al.*, 2011; LUCIA *et al.*, 2021). Així mateix, uns pocs treballs s'han ocupat de les informacions paleoclimàtiques que es poden deduir de la composició isotòpica de les aigües meteòriques i dels precipitats minerals que es formen dins les cavitats (DUMITRU *et al.*, 2017, 2018). Tampoc manquen diversos reculls de datacions de jaciments arqueològics mitjançant tècniques de radiocarboni (WALDREN, 1972, 1992; VAN STRYDONCK, 2002).

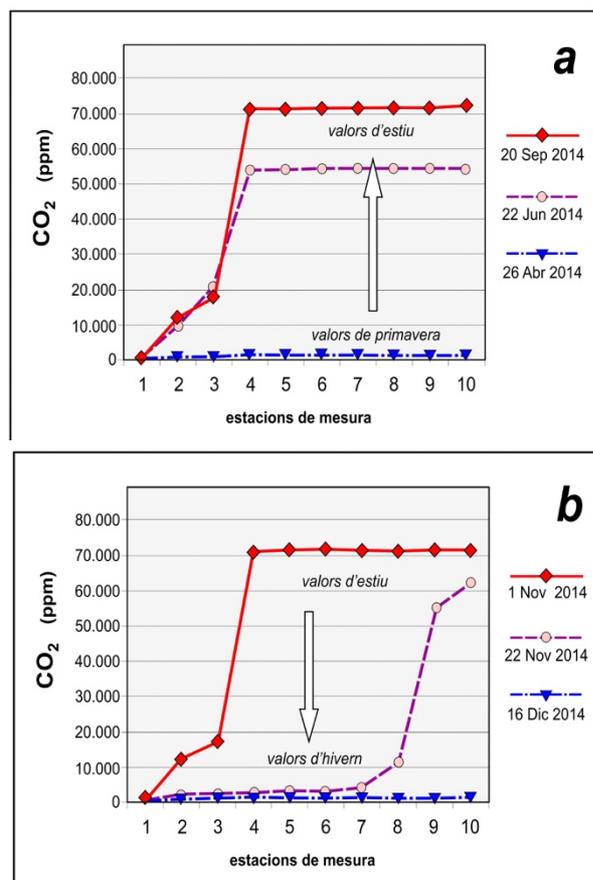
Finalment, cal referir-se a les investigacions efectuades sobre els espeleotemes freàtics, existents a les coves litorals de l'illa. El seu estudi ha aportat dades geocronològiques molt rellevants que seran tractades amb deteniment, més endavant, en un apartat específic sobre aquesta matèria.

### Altres aspectes de l'estudi de les coves i el carst

L'estudi del carst de Mallorca s'ha dirigit també cap a aspectes ben diversos, als quals cal dedicar una certa atenció per tal d'exposar de manera una mica exhaustiva el que es coneix sobre aquesta vessant concreta de les ciències de la terra, constituïda pels fenòmens específics que es donen a les roques carbonatades.

Des d'un punt de vista de caràcter més aviat lito-estratigràfic, les investigacions sobre els episodis de carstificació antiga i no funcional existents en el registre geològic –és a dir, el que es coneix com a *paleocarst*– han comptat amb interessants aportacions, la primera d'elles efectuada per FORNÓS *et al.* (1995). Amb posterioritat, els treballs s'han centrat en les estructures paleocàrstiques generades als materials carbonatats del miocè superior (FORNÓS, 1999; ROBLEDO, 2005), on es presenten un seguit de col·lapses i bretxes associades que tenen una notable influència en la morfologia de la línia de costa (GINÉS, 2000b; GINÉS *et al.*, 2011; SANTANDREU *et al.*, 2020). Es tracta en molts de casos de fenòmens de carstificació singenètica produïts per la dissolució preferencial de les masses aragonítiques dels esculls coral·lins miocens (FORNÓS *et al.*, 1995).

És interessant afegir que algunes coves de Mallorca han estat localitats pioneres per a la implementació de noves tècniques de datació, com ara la informació cronològica que proporciona el paleomagnetisme romanent de sediments (KOPPER i CREER, 1973; PONS-MOYÀ *et al.*, 1979) i l'anomenat *ESR dating* (GRÜN, 1985, 1986), així com d'investigació geofísica (KOPPER, 1972).



**Fig. 6.** El cicle anual de la concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera de la Cova de sa Font (Dragonera); en ambdues gràfiques l'estació de mesura no. 1 correspon a l'entrada de la cavitat i la no. 10 al punt més fondo, situat a la vorera del llac (segons GINÉS *et al.*, 2017, modificat). **a:** Increment progressiu dels valors fins arribar als màxims estivals, per mor de la mala ventilació de la cova amb l'arribada de l'estiu. **b:** Fase de ventilació eficient de la cavitat a partir de la tardor, fins a restablir-se unes concentracions properes a les de l'atmosfera exterior.

CO<sub>2</sub>, geoquímica de les aigües, etc.), així com l'elaboració d'opuscles divulgatius (GINÉS i GINÉS, 1994; GINÉS, 2016; GINÉS *et al.*, 2019) o fins i tot extenses monografies (SOCIETAT ESPELEOLÒGICA BALEAR, 2018). Finalment, és oportú referir-se als estudis i informes tècnics sobre les aigües subterrànies de Mallorca, tema d'especial rellevància que ha estat molt treballat per les administracions i els organismes competents: Direcció General de Recursos Hídrics, del Govern Balear, així com l'Instituto Geológico y Minero de España. Malgrat que aquesta temàtica no forma part de l'objectiu d'aquestes pàgines, les aigües subterrànies lligades al carst han estat tractades a alguns treballs de caràcter general publicats per BARÓN *et al.* (1995) i GIMÉNEZ *et al.* (2014).

### Els espeleotemes freàtics: geocronologia i paleoclima

L'estudi dels espeleotemes freàtics arrenca a Mallorca el 1972 arran de les observacions realitzades a la Cova de sa Bassa Blanca, del municipi d'Alcúdia (GINÉS i GINÉS, 1972, 1974). Dins l'esmentada localitat s'observaren alineacions horitzontals de cristallitzacions freàtiques que enregistren antics

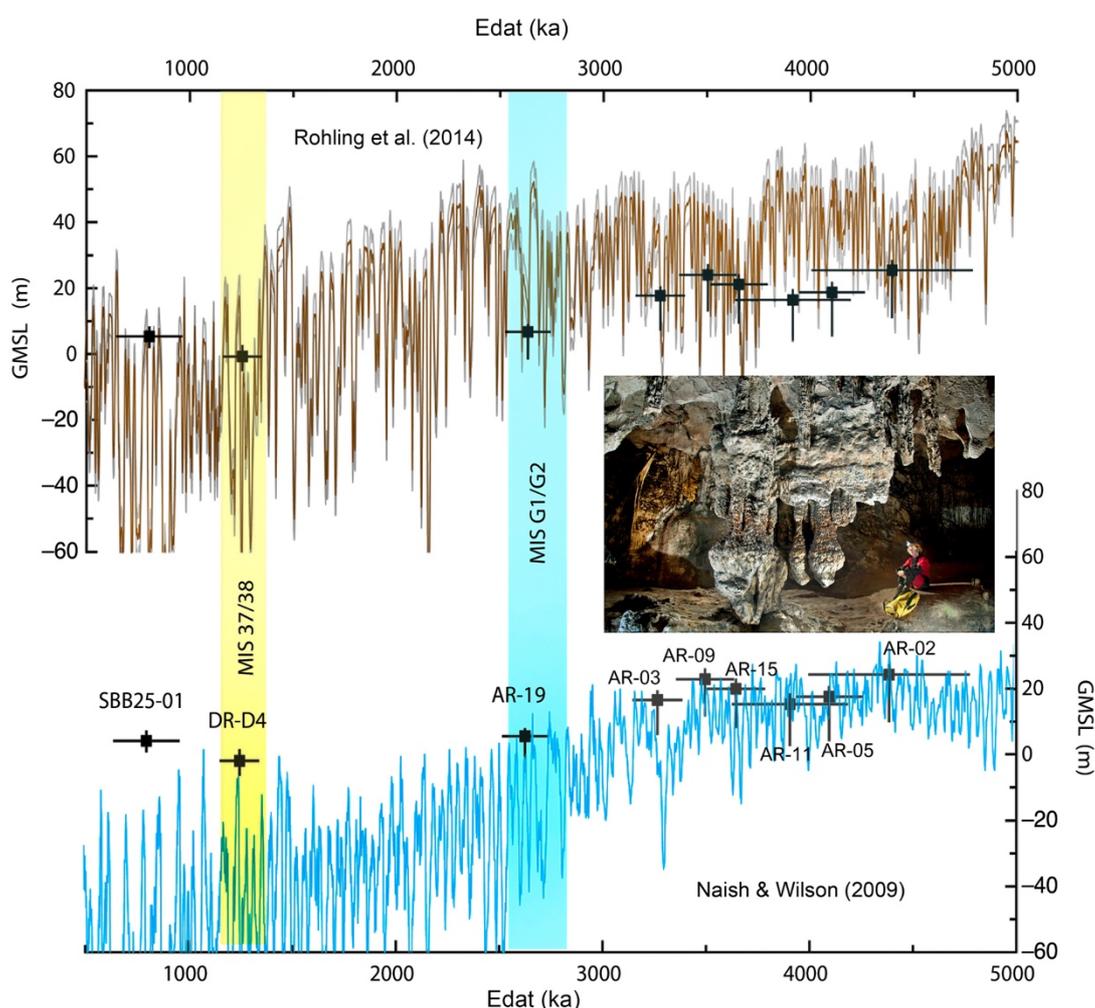
Les qüestions lligades al clima i l'atmosfera d'algunes cavitats subterrànies mallorquines també han permès obtenir i publicar resultats rellevants. Esmentarem, per exemple, l'avaluació de les concentracions de radó en l'atmosfera de diverses coves de l'illa; treballs efectuats per DUMITRU *et al.* (2015), que posen de manifest com la concentració d'aquest gas és un bon exponent del grau de ventilació de les cavitats estudiades. Més concloents encara són les campanyes de medició de les concentracions de CO<sub>2</sub> en l'atmosfera d'algunes coves illenques, en particular la Cova de les Rodes, de Pollença (GINÉS *et al.*, 1987), i la Cova de sa Font o des Moro, de l'illa Dragonera (GINÉS *et al.*, 2017). Les concentracions extraordinàries de CO<sub>2</sub> mesurades en aquestes i altres cavitats –superiors fins i tot al 8%– han obert un interessant camp d'investigació sobre el comportament del CO<sub>2</sub> a la zona vadosa del carst i l'alt grau de confinament que pot assolir l'atmosfera d'alguns ambients subterranis de les Illes Balears; en particular, les observacions efectuades al llarg de diversos cicles anuals a la Cova de sa Font, a l'illa Dragonera, han permès observar una molt clara variació estacional dels paràmetres atmosfèrics d'aquesta cavitat (Fig. 6).

Arribats a aquest punt, es fa necessari comentar la molt bona predisposició dels propietaris i gestors de les coves turístiques de l'illa que en tot moment han facilitat les tasques d'investigació, i han cedit les seves instal·lacions per a la realització de visites i esdeveniments científics. La col·laboració amb aquestes empreses, entre les que es compten en particular les Coves d'Artà, les Coves de Campanet, i les Coves del Drac, ha fet possible el seguiment de paràmetres ambientals en aquestes cavitats (radó,



Però tal vegada, les investigacions més rellevants sobre els POS de les coves de Mallorca són les realitzades recentment a diverses localitats, entre les quals destaquen les Coves d'Artà, al municipi de Capdepera. En aquesta cavitat turística s'han pogut identificar fins a set paleonivells d'espeleotemes freàtics, localitzats a altituds compreses entre +14,3 i +31,8 m s.n.m., els quals han estat datats mitjançant el mètode U/Pb (Fig. 8). Les edats calculades se situen bàsicament en el pliocè i abracen des dels 2,63 Ma BP, que corresponen aproximadament a la transició pleistocè-pleiocè, fins arribar als 5,86 Ma BP, data que correspondria als moments inicials de la crisi de salinitat del messinià, ja en el miocè superior (DUMITRU *et al.*, 2019, 2021).

Aquestes observacions han permès calcular estimacions del nivell marí global durant moments clau del pliocè, quan la temperatura mitjana del planeta es calcula que era fins a 4°C superior a la de l'era pre-industrial, i amb nivells de CO<sub>2</sub> similars als actuals. Les estimacions publicades per DUMITRU *et al.* (2019) donen idees sobre possibles escenaris futurs de pujada del nivell marí, en un context d'escalfament global com el present. Cal afegir que les dades obtingudes a partir dels POS de les Coves d'Artà representen un dels escassos registres vàlids sobre el nivell marí global durant el pliocè (ROVERE *et al.*, 2020).

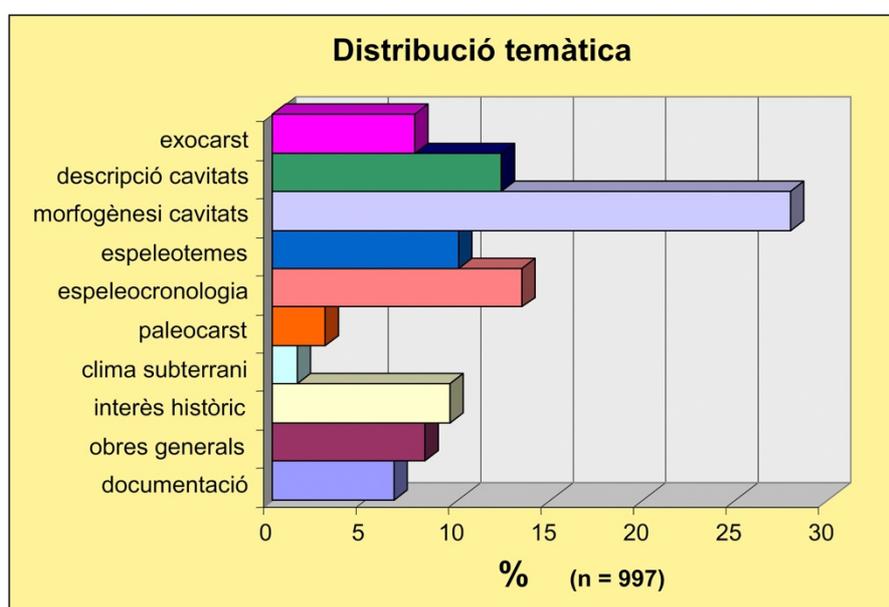


**Fig. 8.** Dues estimacions del nivell marí global (GMSL) durant els darrers 5 milions d'anys, on s'han representat les dades geocronològiques procedents dels POS recol·lectats a diverses coves de Mallorca, segons les publicacions de DUMITRU *et al.* (2019, 2021). AR: Coves d'Artà (Capdepera); DR: Coves del Drac (Manacor); SBB: Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia). La imatge que apareix inserida a la dreta mostra els POS de la sala coneguda com el *Teatre*, de les Coves d'Artà (Foto: Antoni Merino).

## Conclusions

Els coneixements sobre el carst de Mallorca han experimentat una puixança gairebé exponencial al llarg del darrer mig segle, per mor d'un conjunt de causes com són la forta eclosió de l'espeleologia illenca i de les publicacions locals especialitzades, així com la implantació dels estudis universitaris a les Balears.

Un bon indicador de l'estat actual i les tendències en les investigacions sobre aquestes matèries és la simple observació de la bibliografia que s'ha anat generant fins als darrers anys. Així, a la Figura 9 es mostra la distribució temàtica de la bibliografia existent sobre el carst i l'espeleologia física de l'illa de Mallorca, segons els criteris emprats en una anterior recopilació bibliogràfica (GINÉS i GINÉS, 2004). Val a dir que per a la confecció d'aquesta gràfica no s'han tingut en compte els treballs que tracten d'altres disciplines relacionades amb les coves, com són les referències estrictament bioespeleològiques o paleontològiques; tampoc s'han considerat les publicacions i informes sobre hidrogeologia i aigües subterrànies, en no disposar d'un registre exhaustiu sobre aquest vessant tan específic.



**Fig. 9.** Classificació dels treballs publicats fins al present sobre carst i espeleologia física de l'illa de Mallorca segons el seus continguts, feta d'acord amb els criteris i temes específics distingits per GINÉS i GINÉS (2004). No s'han tingut en compte les publicacions sobre aigües subterrànies i el seu aprofitament, per no disposar d'una relació bibliogràfica exhaustiva sobre la matèria.

Des del moment que bona part del coneixement sobre el carst de l'illa ha estat generat des de l'estament espeleològic, no és d'estranyar que gairebé el 40% de les referències bibliogràfiques analitzades s'ocupin de la descripció i topografia de les cavitats subterrànies, així com dels variats aspectes morfogenètics de les nostres coves i avencs. No obstant això i malgrat el predomini d'aportacions espeleològiques, no s'han descuidat altres vessants de l'estudi del carst com és, per exemple, la investigació de les formes superficials o *exocarst*, amb un 8% de referències, o els treballs sobre els espeleotemes i les informacions cronològiques que se'n deriven, els quals totalitzen devers el 23% de les referències (Fig. 9). Altres vessants compten amb relativament poques aportacions, tal i com succeeix amb els treballs dedicats al *paleocarst* o sobre el clima i l'atmosfera de les cavitats, que no superen el 3% en cap cas. Finalment, devers un 25% de cites corresponen a contribucions molt generals, de tipus històric o de documentació diversa, o es tracta de referències al carst i les coves de l'illa dins obres de caràcter molt general.

En el seu conjunt, el coneixement del carst de Mallorca es pot considerar bastant satisfactori, en molts dels caires del seu estudi. Per exemple, algunes de les formes de lapiaz de l'exocarst illenc estan suficientment treballades, a l'igual que succeeix amb l'exploració i interpretació de les formes subterrànies o endocarst. Nogensmenys, dins el camp de les exploracions, les activitats subaquàtiques a les coves costaneres de l'illa reserven moltes novetats importants de cara al futur. Malgrat aquesta visió relativament satisfactòria, és necessari reconèixer que encara queda molta investigació per fer, donat que algunes línies de treball es troben tan sols encetades o simplement insinuades. En canvi, algunes matèries, com són els aspectes geocronològics i paleoclimàtics lligats als espeleotemes freàtics (POS) de les coves litorals, estan a bastament treballats i han fornit resultats de transcendència internacional.

## Agraïments

Aquest article està dedicat a Antonio Rodríguez-Perea "el Capi", company amb qui vàrem compartir bons moments i experiències, en especial durant el desenvolupament del Projecte HADES, l'any 1981, a la Cova de sa Bassa Blanca. Cal agrair als propietaris, gestors i personal de les coves turístiques de Mallorca –en particular, les Coves d'Artà, Coves de Campanet i Coves del Drac– les facilitats que ens han donat per a la realització de tasques d'investigació. El present treball forma part del projecte de recerca PID2020-112720GB-I00/AEI/10.13039/501100011033, finançat per l'Agència Estatal d'Investigació (AEI). Hem d'agrair a Lluís Gómez-Pujol i a José Ángel Martín la revisió atenta del manuscrit.

## Bibliografia

- ANDREWS, J.N., GINÉS, A., PONS-MOYÀ, J., SMART, P.L. i TRIAS, M. (1989): Noves dades sobre el jaciment paleontològic de la Cova de na Barxa (Capdepera, Mallorca). *Endins*, 14-15: 17-25. Palma.
- BÄR, W.F., FUCHS, F. i NAGEL, G. (1986): Lluc / Sierra Norte (Mallorca) - Karst einer mediterranen Insel mit alpidischer Struktur (UIS International Atlas of Karst Phenomena, sheet 5). *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, Suppl. Bd., 59: 27-48 + 1 mapa. Berlín.
- BARÓN, A., GONZÁLEZ, C. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1995): Hidrologia càrstica de Mallorca / Karst hydrology of Mallorca. In: GINÉS, A. i GINÉS, J. (eds.) *El carst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. *Endins*, 20 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 3: 45-57. Palma.
- BARRERES, M., FERRERES, J. i CARDONA, F. (1975-76): La cueva de sa Campana y el karst de Castellots. *Speleon*, 22: 43-74. Barcelona.
- BORDOY, M. i GINÉS, A. (1990): Observaciones morfométricas sobre la profundidad de estrías de lapiaz (solution flutes) en Mallorca. *Endins*, 16: 21-25. Palma.
- BOVER, P., VALENZUELA, A., GUERRA, C., ROFES, J., ALCOVER, J.A., GINÉS, J., FORNÓS, J.J., CUENCA-BESCÓS, G. i MERINO, A. (2014): The Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca): a singular deposit bearing an exceptional well preserved Early Pleistocene vertebrate fauna. *International Journal of Speleology*, 43 (2): 175-192. Tampa, USA.
- COLOM, G. (1973): Historia geológica de Mallorca. In: MASCARÓ-PASARIUS, J. (ed.) *Historia de Mallorca*. Gráficas Miramar. Vol. 1: 1-96. Palma.
- CROWTHER, J. (1997): Surface roughness and the evolution of karren forms at Lluc, Serra de Tramuntana, Mallorca. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 41 (3): 393-407. Berlín.
- CROWTHER, J. (1998): New methodologies for investigating rillenkarren cross-sections: a case study at Lluc, Mallorca. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23: 333-344. Londres.
- CSOMA, A.E.; GOLDSTEIN, R.H. i POMAR, L. (2006): Pleistocene speleothems of Mallorca: implications for palaeoclimate and carbonate diagenesis in mixing zones. *Sedimentology*, 53: 213-236.
- DARDER, B. (1930): Algunos fenómenos cársicos en la isla de Mallorca. *Ibérica*, 33 (818): 154-156. Barcelona.
- DARDER, B. (1946): *Història de la coneixença geològica de l'illa de Mallorca*. Editorial Moll. 185 pàgs. Palma.
- DORALE, J.A., ONAC, B.P., FORNÓS, J.J., GINÉS, J., GINÉS, A., TUCCIMEI, P. i PEATE, D.W. (2010): Sea-level highstand 81,000 years ago in Mallorca. *Science*, 327: 860-863 + 4 pàgs Supl. Washington.

- DUMITRU, O.A., ONAC, B.P., FORNÓS, J.J., COSMA, C., GINÉS, A., GINÉS, J. i MERINO, A. (2015): Radon survey in caves from Mallorca Island, Spain. *Science of the Total Environment*, 526: 196-203. Amsterdam.
- DUMITRU, O.A., FORRAY, F.L., FORNÓS, J.J., ERSEK, V. i ONAC, B.P. (2017): Water isotopic variability in Mallorca: a path to understanding past changes in hydroclimate. *Hydrological Processes*, 31 (1): 104-116.
- DUMITRU, O.A., ONAC, B.P., POLYAK, V.J., WYNN, J.G., ASMEROM, Y. i FORNÓS, J.J. (2018): Climate variability in the western Mediterranean between 121 and 67 ka derived from a Mallorcan speleothem record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 506: 128-138.
- DUMITRU, O.A., AUSTERMANN, J., POLYAK, V.J., FORNÓS, J.J., ASMEROM, Y., GINÉS, J., GINÉS, A. i ONAC, B.P. (2019): Constraints on global mean sea level during Pliocene warmth. *Nature*, 574 (7777): 233-236 + 12 pàgs Supl. Londres.
- DUMITRU, O.A., AUSTERMANN, J., POLYAK, V.J., FORNÓS, J.J., ASMEROM, Y., GINÉS, J., GINÉS, A. i ONAC, B.P. (2021): Sea-level stands from the Western Mediterranean over the past 6.5 million years. *Scientific Reports*, 11: 261, 10 pàgs. Londres.
- DUTTON, A. (2013): Use of cave data in sea-level reconstructions. In: ELIAS, S.A. i MOCK, C.J. (eds.) *Encyclopedia of Quaternary Science*. Elsevier. Vol. 4: 460-466.
- ENCINAS, J.A. (2014): *Corpus Cavernario Mayoricense*. El Gall Editor. 1355 pàgs. Pollença, Mallorca.
- ENCINAS, J.A., GINÉS, J. i TRIAS, M. (1974): Inventario espeleológico de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 19: 29-49. Palma.
- FIOL, L.A., FORNÓS, J.J. i GINÉS, A. (1996): Effects of biokarstic processes on the development of solutional rillenkarrén in limestone rocks. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21: 447-452. Londres.
- FIOL, L.A., FORNÓS, J.J., GELABERT, B. i GUIJARRO, J.A. (2005): Dust rains in Mallorca (Western Mediterranean): their occurrence and role in some recent geological processes. *Catena*, 63: 64-84.
- FORNÓS, J.J. (ed.) (1998): *Aspectes geològics de les Balears*. Universitat de les Illes Balears. 473 pàgs. Palma.
- 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.
- FORNÓS, J.J. i GELABERT, B. (1995): Litologia i tectònica del carst de Mallorca / Lithology and tectonics of the Majorcan karst. In: GINÉS, A. i GINÉS, J. (eds.) *El carst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. Endins, 20 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 3: 27-43. Palma.
- FORNÓS, J.J. i GELABERT, B. (2011): Condicionants litològics i estructurals del carst a les Illes Balears. In: GRÀCIA, F., GINÉS, J., PONS, G.X., GINARD, A. i VICENS, D. (eds.) *El carst: patrimoni natural de les Illes Balears*. Endins, 35 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 17: 37-52. Palma.
- FORNÓS, J.J. i GINÉS, A. (eds.) (1996): *Karren Landforms*. Universitat de les Illes Balears. 450 pàgs. Palma.
- FORNÓS, J.J. i GINÉS, J. (eds.) (2014): Cova des Pas de Vallgornera: an exceptional coastal karst cave in the Western Mediterranean basin. Guest Editorial. *International Journal of Speleology*, 43 (2): 139 pàgs. Tampa, USA.
- FORNÓS, J.J., GINÉS, A., GINÉS, J. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1995): El paleocarst a Mallorca / Paleocarst in Mallorca. In: GINÉS, A. i GINÉS, J. (eds.) *El carst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. Endins, 20 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 3: 113-123. Palma.
- FORNÓS, J.J., GINÉS, J. i GRÀCIA, F. (2009): Present-day sedimentary facies in the coastal karst caves of Mallorca Island (Western Mediterranean). *Journal of Cave and Karst Studies*, 71 (1): 86-99. Huntsville, USA.
- FORNÓS, J.J., GINÉS, J., MERINO, A. i BOVER, P. (2010): El rebliment sedimentari de la galeria del Tragus a la cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 53: 179-191. Palma.
- FORNÓS, J.J., GINÉS, J., GRÀCIA, F. i MERINO, A. (2011): Els sediments de les cavitats càrstiques de les Balears. In: GRÀCIA, F., GINÉS, J., PONS, G.X., GINARD, A. i VICENS, D. (eds.) *El carst: patrimoni natural de les Illes Balears*. Endins, 35 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 17: 199-212. Palma.
- GIMÉNEZ, J., BARÓN, A., COMAS, M., GONZÁLEZ, C., GARAU, J., BEIDAS, O., OLIVER, M. i NADAL, F.X. (2014): Hidrogeologia de les Illes Balears: les masses d'aigües càrstiques. *Endins*, 36: 9-26. Palma.
- GINARD, A., GINÉS, A. i VICENS, D. (2011): Les exploracions espeleològiques a les Illes Balears. La Federació Balear d'Espeleologia. In: GRÀCIA, F., GINÉS, J., PONS, G.X., GINARD, A. i VICENS, D. (eds.) *El carst: patrimoni natural de les Illes Balears*. Endins, 35 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 17: 11-36. Palma.
- GINÉS, A. (1990): Utilización de las morfologías de lapiaz como geoindicadores ecológicos en la Serra de Tramuntana (Mallorca). *Endins*, 16: 27-39. Palma.
- GINÉS, A. (1993): El conocimiento espeleo-topográfico de las cavidades baleares (1862-1992). *Endins*, 19: 55-70. Palma.
- GINÉS, A. (1995): Els espeleotemes de les coves de Mallorca / The speleothems of Majorcan caves. In: GINÉS, A. i GINÉS, J. (eds.) *El carst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. Endins, 20 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 3: 87-97. Palma.

- GINÉS, A. (1999): *Morfología kárstica y vegetación en la Serra de Tramuntana. Una aproximación ecológica*. Tesi Doctoral. Departament de Biologia Ambiental, Universitat de les Illes Balears. 581 pàgs + 70 làms.
- GINÉS, A. (2000a): Patterns of collapse chambers in the endokarst of Mallorca (Balearic islands, Spain). *Acta Carsologica*, 29 (2): 139-148. Ljubljana, Eslovènia.
- GINÉS, A. i FIOL, L.A. (1981): Estratigrafia del yacimiento de la Cova des Fum (Sant Llorenç, Mallorca). *Endins*, 8: 25-42. Palma.
- GINÉS, A. i GINÉS, J. (1972): Consideraciones sobre los mecanismos de fosilización de la Cova de sa Bassa Blanca y su paralelismo con las formaciones marinas del Cuaternario. *II Cong. Nacional Espeleol.* Com. 13. 16 pàgs. Oviedo.
- GINÉS, A. i GINÉS, J. (1974): Consideraciones sobre los mecanismos de fosilización de la Cova de sa Bassa Blanca y su paralelismo con formaciones marinas del Cuaternario. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 19: 11-28. Palma.
- GINÉS, A. i GINÉS, J. (1987): Características espeleológicas del karst de Mallorca. *Endins*, 13: 3-19. Palma.
- GINÉS, A. i GINÉS, J. (eds.) (1995): *El carst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. *Endins*, 20 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 3. 216 pàgs. Palma.
- GINÉS, A. i GINÉS, J. (2007): Eogenetic karst, glacioeustatic cave pools and anchialine environments on Mallorca Island: a discussion of coastal speleogenesis. *International Journal of Speleology*, 36 (2): 57-67. Bologna, Itàlia.
- GINÉS, A. i GINÉS, J. (2011): El modelat exocàrstic de les Balears i els camps de lapiaz de mitjana muntanya mediterrània a la Serra de Tramuntana de Mallorca. In: GRÀCIA, F., GINÉS, J., PONS, G.X., GINARD, A. i VICENS, D. (eds.) *El carst: patrimoni natural de les Illes Balears*. *Endins*, 35 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 17: 53-68. Palma.
- GINÉS, A. i GINÉS, J. (2014): 7. The karst of the Tramuntana range, Mallorca Island. In: GUTIÉRREZ, F. i GUTIÉRREZ, M. (eds.) *Landscapes and landforms of Spain*. Springer. World Geomorphological Landscapes, Vol. 2: 91-100. Dordrecht, Holanda.
- GINÉS, A. i LUNDBERG, J. (2009): Rainpits: an outline of their characteristics and genesis. In: GINÉS, A.; KNEZ, M.; SLABE, T. i DREYBRODT, W. (eds.) *Karst rock features. Karren sculpturing*. Založba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. *Carsologica*, 9: 169-183. Ljubljana, Eslovènia.
- GINÉS, A., HERNÁNDEZ, J., GINÉS, J. i POL, A. (1987): Observaciones sobre la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera de la Cova de les Rodes (Pollença, Mallorca). *Endins*, 13: 27-38. Palma.
- GINÉS, A., FIOL, L.A., POL, A. i ROSSELLÓ, J.A. (1989): Morfologia i vegetació d'un grup de dolines de la Serra de Tramuntana (Mallorca). *Endins*, 14-15: 43-52. Palma.
- GINÉS, A., KNEZ, M., SLABE, T. i DREYBRODT, W. (eds.) (2009): *Karst rock features. Karren sculpturing*. Založba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. *Carsologica*, 9. 561 pàgs. Ljubljana, Eslovènia.
- GINÉS, A., GINÉS, J. i MIRALLES, P.M. (2010): Anàlisi morfomètrica del carst de pinacles mediterrani de sa Mitjania (Escorca, Mallorca). *Endins*, 34: 109-124. Palma.
- GINÉS, A., GINÉS, J., GÓMEZ-PUJOL, L., ONAC, B.P. i FORNÓS, J.J. (eds.) (2012a): *Mallorca: a Mediterranean benchmark for Quaternary studies*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 18. 219 pàgs. Palma.
- GINÉS, A., GINÉS, J. i GRÀCIA, F. (2013): 11. Cave development and patterns of caves and cave systems in the eogenetic coastal karst of southern Mallorca (Balearic Islands, Spain). In: LACE, M.J. i MYLROIE, J.E. (eds.) *Coastal karst landforms*. Springer. Coastal Research Library, Vol. 5: 245-260. Dordrecht, Holanda.
- GINÉS, A., MULET, A., RODRÍGUEZ-HOMAR, M., VADELL, M., SÁNCHEZ-CAÑETE, E.P. i GINÉS, J. (2017): Extreme seasonal fluctuations of carbon dioxide in the cave atmosphere of Cova de sa Font (Sa Dragonera islet, Balearic Islands, Spain). In: MOORE, K. i WHITE, S. (eds.) *Proc. 17th Int. Congress Speleol. (Edition 2)*, 1: 230-233. Sydney, Austràlia.
- GINÉS, J. (2000b): *El karst litoral en el levante de Mallorca: una aproximación al conocimiento de su morfogénesis y cronología*. Tesi Doctoral. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 595 pàgs + 29 làms.
- GINÉS, J. (2016): *Coves de Campanet. Mallorca*. Pixel Trade S.L. Coves de Campanet. 24 pàgs. Campanet, Mallorca. (versions en: anglès i alemany).
- GINÉS, J. i GINÉS, A. (1977): El medio fluvio-lacustre hipogeo en las cuevas de Mallorca y su asociación de morfologías. *Endins*, 4: 3-12. Palma.
- GINÉS, J. i GINÉS, A. (1989): El karst en las islas Baleares. In: DURÁN, J.J. i LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. (eds.) *El karst en España*. Sociedad Española de Geomorfología, Monografía nº 4: 163-174. Madrid.
- GINÉS, J. i GINÉS, A. (1994): Coves del Drac, Manacor (Mallorca). In: FERNÁNDEZ-RUBIO, R. (ed.) *Mundo Subterráneo*. Tiasa, Enresa: 73-80. Madrid.
- GINÉS, J. i GINÉS, A. (2004): Bibliografía actualitzada sobre espeleologia física i carst de les Illes Balears. *Endins*, 26: 125-142. Palma.



- GINÉS, J. i GINÉS, A. (2009a): Mid-mountain karrenfields at Serra de Tramuntana in Mallorca Island. In: GINÉS, A., KNEZ, M., SLABE, T. i DREYBRODT, W. (eds.) *Karst rock features. Karren sculpturing*. Založba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Carsologica, 9: 375-390. Ljubljana, Eslovènia.
- GINÉS, J. i GINÉS, A. (2009b): Proposta d'una nova classificació morfogenètica de les cavitats càrstiques de l'illa de Mallorca. *Endins*, 33: 5-18. Palma.
- GINÉS, J., GINÉS, A., FORNÓS, J.J., GRÀCIA, F. i MERINO, A. (2008): Noves observacions sobre l'espeleogènesi en el Migjorn de Mallorca: els condicionants litològics en alguns grans sistemes subterranis litorals. *Endins*, 32: 49-79. Palma.
- GINÉS, J., GINÉS, A. i FORNÓS, J.J. (2011): Dades sobre paleocarst i espeleocronologia de les Illes Balears. In: GRÀCIA, F., GINÉS, J., PONS, G.X., GINARD, A. i VICENS, D. (eds.) *El carst: patrimoni natural de les Illes Balears*. *Endins*, 35 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 17: 213-226. Palma.
- GINÉS, J., GINÉS, A., FORNÓS, J.J., TUCCIMEI, P., ONAC, B.P. i GRÀCIA, F. (2012b): Phreatic Overgrowths on Speleothems (POS) from Mallorca, Spain: updating forty years of research. In: GINÉS, A., GINÉS, J., GÓMEZ-PUJOL, L., ONAC, B.P. i FORNÓS, J.J. (eds.) *Mallorca: a Mediterranean benchmark for Quaternary studies*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 18: 111-146. Palma.
- GINÉS, J., FORNÓS, J.J., GINÉS, A., MERINO, A. i GRÀCIA, F. (2014): Geologic constraints and speleogenesis of Cova des Pas de Vallgornera, a complex coastal cave from Mallorca Island (Western Mediterranean). *International Journal of Speleology*, 43 (2): 105-124. Tampa, USA.
- GINÉS, J., FORNÓS, J.J., GRÀCIA, F., MERINO, A., ONAC, B.P. i GINÉS, A. (2017): 5. Hypogene imprints in coastal karst caves of Mallorca Island (Western Mediterranean): morphological features and speleogenetic approach. In: KLIMCHOUK, A., PALMER, A.N., DE WAELE, J., AULER, A.S. i AUDRA, P. (eds.) *Hypogene karst regions and caves of the World*. Springer International Publishing AG. Cave and Karst Systems of the World. 99-112. Cham, Suïssa.
- GINÉS, J., GINÉS, A., GRÀCIA, F. i FORNÓS, J.J. (2018): L'espeleogènesi de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca): evolució dels coneixements i interpretació actual. *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 1: 141-163. Palma.
- GINÉS, J., FORNÓS, J.J. i GUAL, M.À. (2019): *Cuevas de Artà. Canyamel (Mallorca)*. Cuevas de Artà. 32 pàgs. Capdepera, Mallorca. (versions en: castellà, anglès, alemany i català).
- GINÉS, J., GINÉS, A., FORNÓS, J.J., GRÀCIA, F., TUCCIMEI, P., SOLIGO, M., ONAC, B.P. i POLYAK, V.J. (2020): El nivell marí a Mallorca durant el darrer interglacial (MIS-5): estat de la qüestió basat en les datacions d'espeleotemes freàtics. *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 3: 115-132. Palma.
- GÓMEZ-PUJOL, L. (2006): *Patrons, taxes i formes d'erosió a les costes rocoses carbonatades de Mallorca*. Tesi Doctoral. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 223 pàgs. Inèdit.
- GÓMEZ-PUJOL, L. i FORNÓS, J.J. (2009a): Microrills. In: GINÉS, A.; KNEZ, M.; SLABE, T. i DREYBRODT, W. (eds.) *Karst rock features. Karren sculpturing*. Založba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Carsologica, 9: 73-84. Ljubljana, Eslovènia.
- GÓMEZ-PUJOL, L. i FORNÓS, J.J. (2009b): Coastal karren in the Balearic Islands. In: GINÉS, A., KNEZ, M., SLABE, T. i DREYBRODT, W. (eds.) *Karst rock features. Karren sculpturing*. Založba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Carsologica, 9: 487-502. Ljubljana, Eslovènia.
- GRÀCIA, F. (2015): *Les cavitats subaquàtiques de les zones costaneres del llevant i migjorn de Mallorca*. Tesi Doctoral. Programa de Doctorat de Geografia, Universitat de les Illes Balears. 984 pàgs.
- GRÀCIA, F., GINARD, A., VICENS, D. i GINÉS, J. (2009): Recull de les cavitats de major recorregut i major fondària de les Balears. *Endins*, 33: 139-152. Palma.
- GRÀCIA, F., CLAMOR, B., GAMUNDÍ, P., FORNÓS, J.J. i WATKINSON, P. (2011a): Les cavitats subaquàtiques de la franja litoral de Mallorca. In: GRÀCIA, F., GINÉS, J., PONS, G.X., GINARD, A. i VICENS, D. (eds.) *El carst: patrimoni natural de les Illes Balears*. *Endins*, 35 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 17: 103-132. Palma.
- GRÀCIA, F., GINÉS, J., PONS, G.X., GINARD, A. i VICENS, D. (eds.) (2011b): *El carst: patrimoni natural de les Illes Balears*. *Endins*, 35 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 17. 368 pàgs. Palma.
- GRÀCIA, F., CLAMOR, B., GAMUNDÍ, P. i FORNÓS, J.J. (2011c): Morfologies de corrosió de la zona de mescla a les coves subaquàtiques de la franja litoral del Llevant i Migjorn de Mallorca. In: GRÀCIA, F.; GINÉS, J.; PONS, G.X.; GINARD, A. i VICENS, D. (eds.) *El carst: patrimoni natural de les Illes Balears*. *Endins*, 35 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 17: 133-146. Palma.
- GRÀCIA, F., CIRER, A., LÁZARO, J.C., FERNÁNDEZ, J.F., CLAMOR, B., MASCARÓ, G., ENSEÑAT, J.J., FORNÓS, J.J. i PÉREZ, J. (2019): Sistema Pirata-Pont-Piqueta (Manacor, Mallorca): estat de la qüestió. *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 2: 69-101. Palma.

- GRÀCIA, F., CIRER, A., LÁZARO, J.C., FERNÁNDEZ, J.F., CLAMOR, B., MASCARÓ, G., PÉREZ, J., FORNÓS, J.J., ANSALDI, D., BORNEMANN, D., FRANGLEN, N., GRANELL, Á., GAMUNDÍ, P. i ENSEÑAT, J.J. (2020): Sistema Gleda-Camp des Pou (Manacor, Mallorca): estat de la qüestió. *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 3: 1-32. Palma.
- GRÜN, R. (1985): *Beiträge zur ESR-Datierung*. Geologisches Institut der Universität zu Köln. Sonderveroeffentlichungen, 59. 157 pàgs. Colònia, Alemanya.
- GRÜN, R. (1986): ESR-dating of a flowstone core from Cova de sa Bassa Blanca (Mallorca, Spain). *Endins*, 12: 19-23. Palma.
- HADES, Equipo (1985): Los espeleotemas freáticos de las cuevas costeras de Mallorca: estado actual de las investigaciones. *Geomorfología litoral y Cuaternario. Homenaje a Juan Cuerda*. Universidad de València. 103-122. València.
- HENNIG, G.J., GINÉS, A., GINÉS, J. i POMAR, L. (1981): Avance de los resultados obtenidos mediante datación isotópica de algunos espeleotemas subacuáticos mallorquines. *Endins*, 8: 91-93. Palma.
- HODGE, E.J. (2004): *Palaeoclimate of the Western Mediterranean region: results from speleothems*. Ph. D. Thesis. University of Bristol. 246 pàgs. Inèdit.
- HODGE, E.J., RICHARDS, D.A., SMART, P.L., GINÉS, A. i MATTEY, D.P. (2008): Sub-millennial climate shifts in the western Mediterranean during the last glacial period recorded in a speleothem from Mallorca, Spain. *Journal of Quaternary Science*, 23 (8): 713-718.
- KOPPER, J.S. (1972): Geophysical surveying of cave sites. *Pyrenae*, 8: 7-16. Barcelona.
- KOPPER, J.S. i CREER, K.M. (1973): Cova dels Alexandres, Majorca, Paleomagnetic dating and archeological interpretation of its sediments. *Caves and Karst*, 15 (2): 13-20. Castro Valley, U.S.A.
- LOZANO, R. (1884): *Anotaciones físicas y geológicas de la isla de Mallorca*. Excm. Diputación Provincial de Baleares. Imprenta de la Casa de Misericordia. 10-12. Palma.
- LUCIA, G., POLYAK, V.J., GINÉS, J., FORNÓS, J.J., GINÉS, A., ASMEROM, Y. i ONAC, B.P. (2021): Chronology of middle Pleistocene coastal karst evolution and relative sea-level changes in Mallorca. *Journal of Coastal Research*, 37 (2): 408-420. Coconut Creek, USA.
- LUNDBERG, J. i GINÉS, A. (2009): Rillenkarren. In: GINÉS, A.; KNEZ, M.; SLABE, T. i DREYBRODT, W. (eds.) *Karst rock features. Karren sculpturing*. Založba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Carsologica, 9: 185-210. Ljubljana, Eslovènia.
- MARTEL, É.A. (1897): Sous Terre (neuvième campagne). Cueva del Drach, à Majorque - Scialets du Vercors - Chouruns de Dévoluy. *Annuaire du Club Alpin Français. 23ème année, 1896*. 368-413 + 1 plànol. París.
- MERINO, A., MULET, A., MULET, G., CROIX, A., KRISTOFERSSON, A., GRÀCIA, F., GINÉS, J. i FORNÓS, J.J. (2011a): La Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca). La cavitat de major desenvolupament de les Illes Balears. In: GRÀCIA, F., GINÉS, J., PONS, G.X., GINARD, A. i VICENS, D. (eds.) *El carst: patrimoni natural de les Illes Balears*. *Endins*, 35 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 17: 147-164. Palma.
- MERINO, A., GINÉS, J. i FORNÓS, J.J. (2011b): Evidències morfològiques de processos hipogènics a cavitats de Mallorca. In: GRÀCIA, F., GINÉS, J., PONS, G.X., GINARD, A. i VICENS, D. (eds.) *El carst: patrimoni natural de les Illes Balears*. *Endins*, 35 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 17: 165-182. Palma.
- MERINO, A., FORNÓS, J.J. i GINÉS, A. (2011c): Espeleotemes i minerals de les coves de les Illes Balears. In: GRÀCIA, F., GINÉS, J., PONS, G.X., GINARD, A. i VICENS, D. (eds.) *El carst: patrimoni natural de les Illes Balears*. *Endins*, 35 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 17: 183-198. Palma.
- MERINO, A., GINÉS, J., TUCCIMEI, P., SOLIGO, M. i FORNÓS, J.J. (2014): Speleothems in Cova des Pas de Vallgornera: their distribution and characteristics within an extensive coastal cave from the eogenetic karst of southern Mallorca (Western Mediterranean). *International Journal of Speleology*, 43 (2): 125-142. Tampa, USA.
- MERINO, A., FORNÓS, J.J., MULET, A. i GINÉS, J. (2019): Morphological and mineralogical evidence for ancient bat presence in Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca, Western Mediterranean). *International Journal of Speleology*, 48 (2): 115-131. Tampa, USA.
- MIR, F. i TRIAS, M. (1973): Sobre el karst de la Cova de sa Campana i les seves concrecions excèntriques. *III Simposium Espeleologia*. Escola Catalana d'Espeleologia - Agrupació Científic Excursionista de Mataró. 53-70. Mataró, Barcelona.
- MOTTERSHEAD, D.N.; MOSES, C.A. i LUCAS, G.R. (2000): Lithological control of solution flute form: a comparative study. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 44 (4): 491-512. Berlín.
- NAISH, T.R. i WILSON, G.S. (2009): Constraints on the amplitude of Mid-Pliocene (3.6-2.4 Ma) eustatic sea-level fluctuations from the New Zealand shallow-marine sediment record. *Philos. Trans. R. Soc.*, 367: 169-187.
- ONAC, B.P., FORNÓS, J.J., GINÉS, A. i GINÉS, J. (2005): Mineralogical reconnaissance of caves from Mallorca island. *Endins*, 27: 131-140. Palma.

- PEÑA, P.A. (1882): Apéndice. Plá de las covas de Arta. *Anuari de la Associació d'Excursions Catalana. Any primer 1881*. Tipografia de Jaume Jepús. 313-316 + 1 plànol. Barcelona.
- PLA, V. i VICENS, D. (2000): 25 anys d'Endins, revista de la Federació Balear d'Espeleologia. *Endins*, 23: 155-186. Palma.
- PLOMER, T. i GINÉS, J. (2008): L'Avenc del Puig Caragoler (Escorca, Mallorca). *Endins*, 32: 11-22. Palma.
- POLYAK, V.J., ONAC, B.P., FORNÓS, J.J., HAY, C., ASMEROM, Y., DORALE, J.A., GINÉS, J., TUCCIMEI, P. i GINÉS, A. (2018): A highly resolved record of relative sea level in the western Mediterranean Sea during the last interglacial period. *Nature Geoscience*, 11 (11): 860-864 + 20 pàgs Supl. Londres.
- POMAR, F., GÓMEZ-PUJOL, L., FORNÓS, J.J., DEL VALLE, L. i NOGALES, B. (2017): Limestone biopitting in coastal settings: A spatial, morphometric, SEM and molecular microbiology sequencing study in the Mallorca rocky coast (Balearic Islands, Western Mediterranean). *Geomorphology*, 276: 104-115.
- POMAR, L. i CALVET, F. (1974): Nota previa sobre el anàlisi comparatiu de elements traza en las aguas de escorrentía superficial, como indicadores de la acción alterante de microorganismos. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 19: 115-138. Palma.
- POMAR, L., GINÉS, A., GINÉS, J., MOYÀ, G. i RAMÓN, G. (1975): Nota previa sobre la petrología y mineralogía de la calcita flotante de algunas cavidades del levante mallorquín. *Endins*, 2: 3-5. Palma.
- POMAR, L., GINÉS, A. i FONTARNAU, R. (1976): Las cristalizaciones freáticas. *Endins*, 3: 3-25. Palma.
- POMAR, L., GINÉS, A. i GINÉS, J. (1979): Morfología, estructura y origen de los espeleotemas epiacuáticos. *Endins*, 5-6: 3-17. Palma.
- PONS-MOYÀ, J., MOYÀ-SOLÀ, S. i KOPPER, J.S. (1979): La fauna de mamíferos de la Cova de Canet (Esporles) y su cronología. *Endins*, 5-6: 55-58. Palma.
- ROBLEDÓ, P.A. (2005): *Los paleocolapsos kársticos en las plataformas carbonatadas del Mioceno superior de Mallorca: análisis geográfico, genético, geológico y evolutivo*. Tesi Doctoral. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 359 pàgs.
- ROHLING, E.J., FOSTER, G.L., GRANT, K.M., MARINO, G., ROBERTS, A.P., TAMISIEA, M.E. i WILLIAMS, F. (2014): Sea-level and deep-sea-temperature variability over the past 5.3 million years. *Nature*, 508: 477-482. Londres.
- ROVERE, A., PAPPALARDO, M., RICHIANO, S., AGUIRRE, M., SANDSTROM, M.R., HEARTY, P.J., AUSTERMANN, J., CASTELLANOS, I. i RAYMO, M.E. (2020): Higher than present global mean sea level recorded by an Early Pliocene intertidal unit in Patagonia (Argentina). *Communications Earth & Environment*, 1: 68. 10 pàgs.
- SANTANDREU, G., ENSEÑAT, J.J. i GAVIÑO, B. (2020): Les coves litorals de sa Punta –Portocolom– (Felanitx, Mallorca), 1ª part. Descripció, topografia i aspectes geomorfològics. *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 3: 93-113. Palma.
- SOCIETAT ESPELEOLÒGICA BALEAR (eds.) (2018): Les Coves del Drac (Manacor, Mallorca). *Papers de la Societat Espeleològica Balear*, 1: 260 pàgs. Palma.
- TRIAS, M. i MIR, F. (1977): Les coves de la zona de Can Frasquet - Cala Varques. *Endins*, 4: 21-42. Palma.
- TRIAS, M. i RAMON, F. (1999): *Els torrents clàssics de la Serra de Tramuntana*. Miquel Font, Editor. 149 pàgs. Palma.
- TRIAS, M., PAYERAS, C. i GINÉS, J. (1979): Inventari espeleològic de les Balears. *Endins*: 5-6: 89-108. Palma.
- TUCCIMEI, P., GINÉS, J., DELITALA, C., GINÉS, A., GRÀCIA, F., FORNÓS, J.J. i TADDEUCCI, A. (2006): Last interglacial sea level changes in Mallorca island (Western Mediterranean). High precision U-series data from phreatic overgrowths on speleothems. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 50 (1): 1-21. Berlín.
- TUCCIMEI, P., SOLIGO, M., GINÉS, J., GINÉS, A., FORNÓS, J.J., KRAMERS, J. i VILLA, I.M. (2010): Constraining Holocene sea levels using U-Th ages of phreatic overgrowths on speleothems from coastal caves in Mallorca (Western Mediterranean). *Earth Surface Processes and Landforms*, 35 (7): 782-790. Londres.
- TUCCIMEI, P., VAN STRYDONCK, M., GINÉS, A., GINÉS, J., SOLIGO, M., VILLA, I.M. i FORNÓS, J.J. (2011): Comparison of <sup>14</sup>C and U-Th ages of two Holocene phreatic overgrowths on speleothems from Mallorca (Western Mediterranean): Environmental implications. *International Journal of Speleology*, 40 (1): 1-8. Tampa, USA.
- VAN HENGSTUM, P.J., RICHARDS, D.A., ONAC, B.P. i DORALE, J.A. (2015): Chapter 6. Coastal caves and sinkholes. In: SHENNAN, I., LONG, A.J. i HORTON, B.P. (eds.) *Handbook of sea-level research*. American Geophysical Union. John Wiley & Sons, Ltd. 83-103. Chichester, U.K.
- VAN STRYDONCK, M. (2002): Radiocarbon and archaeological evidence for a possible climate-induced cultural change on the Balearic Islands around 2700 BP. *Oxford University School of Archaeology Monograph* 62: 247-262. Oxford.
- VICENS, D. i PLA, V. (2001): L'Equip Mallorquí d'Espeleologia (EME): primer grup espeleològic mallorquí. *Endins*, 24: 113-127. Palma.
- VICENS, D., CRESPI, D., BOVER, P., GINARD, A., VADELL, M. i BARCELÓ, M.A. (2005): Les cavitats de la Serra de na Burguesa. Zona 7: Les Coves del Pilar i les mines de guix (Palma, Mallorca). *Endins*, 27: 47-74. Palma.

- WALDREN, W.H. (1972): Determinación de la edad por medio del C14. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 17: 34-50. Palma.
- WALDREN, W.H. (1992): Radiocarbon and other isotopic age determinations from the Balearic Islands: a comprehensive inventory. *DAMARC*, 26. Deià Archaeological Museum and Research Centre & Donald Baden-Powell Quaternary Research Centre, Oxford University.
- WILL, F. (1880): *Plano de la Cueva del Drach. Situada en el predio Son Moro (Manacor, Isla de Mallorca) propiedad del Sr. Dn. José Ygnacio Moragues. Escala 1/500*. Lit. Catalana. 1 plànol. Palma.

---

Data recepció: 30.05.21

Data revisió: 04.06.21

Revisió acceptada: 05.07.21



# 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 contínuament 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 mostratge 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 pendents.

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

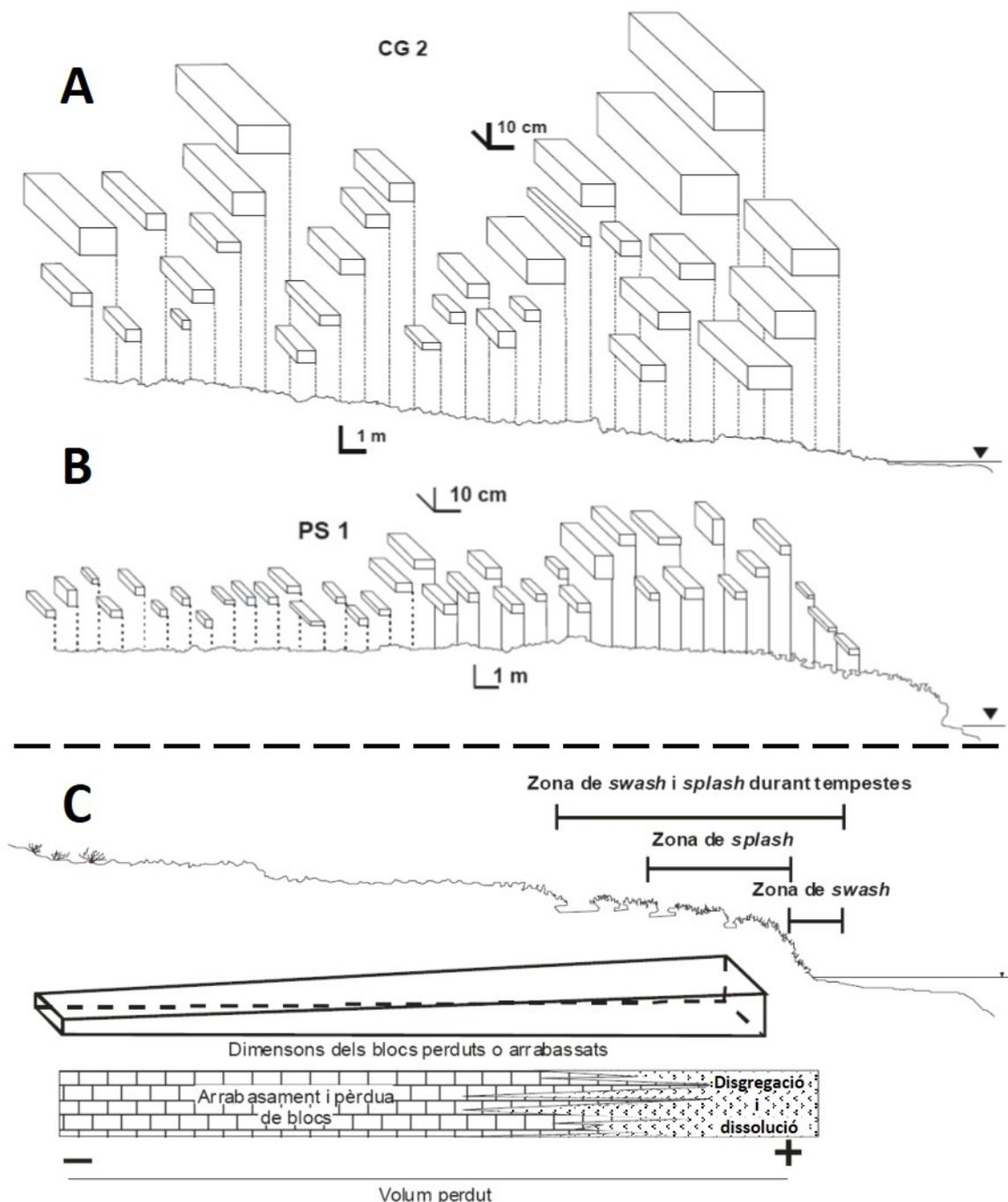
L'erosió de les costes rocoses pot donar-se en tres ordres de magnitud, micro-, meso- i macro-escalar. El processos de micro-erosió són aquells que solen esser continus en el temps, el material arrencat és de mida fina (equivalent a les textures de les argiles, llims i arenes molt fines) i el valor de 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 esser 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 transectes estudiats a les zones d'estudi de: A) Cala en Guixers (CG) (transecte 2) i Punta des Savinar (PS) transecte 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.

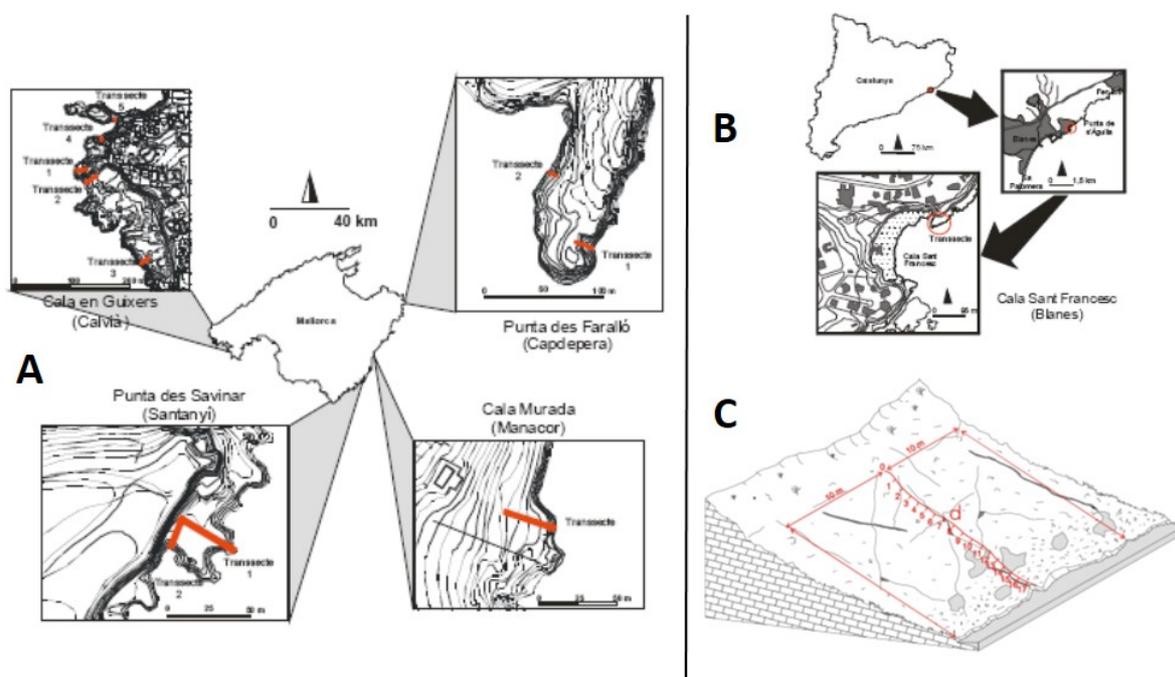
TRENHAILE (2008) reflexiona sobre dues maneres d'abordar el procés d'erosió mecànica el càlcul de l'erosió a les plataformes rocoses litorals: 1) el retrocés o "*backwearing*" a partir de les quals es quantifica centrat en el reculament de la costa (p.e. penya-segats) i per tant la velocitat mitjana 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 ( $190^{\circ}$ - $110^{\circ}$ ;  $165^{\circ}$ - $170^{\circ}$ ;  $60^{\circ}$ - $70^{\circ}$ ;  $10^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ) 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 ( $90^{\circ}$ - $140^{\circ}$ ;  $60^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ;  $90^{\circ}$ - $120^{\circ}$ ). 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 condiciona l'erosió i la morfologia de la costa. S'identifiquen 2 famílies de fractures ( $110^{\circ}$ - $160^{\circ}$ ;  $10^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ). 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 mostreig, 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.

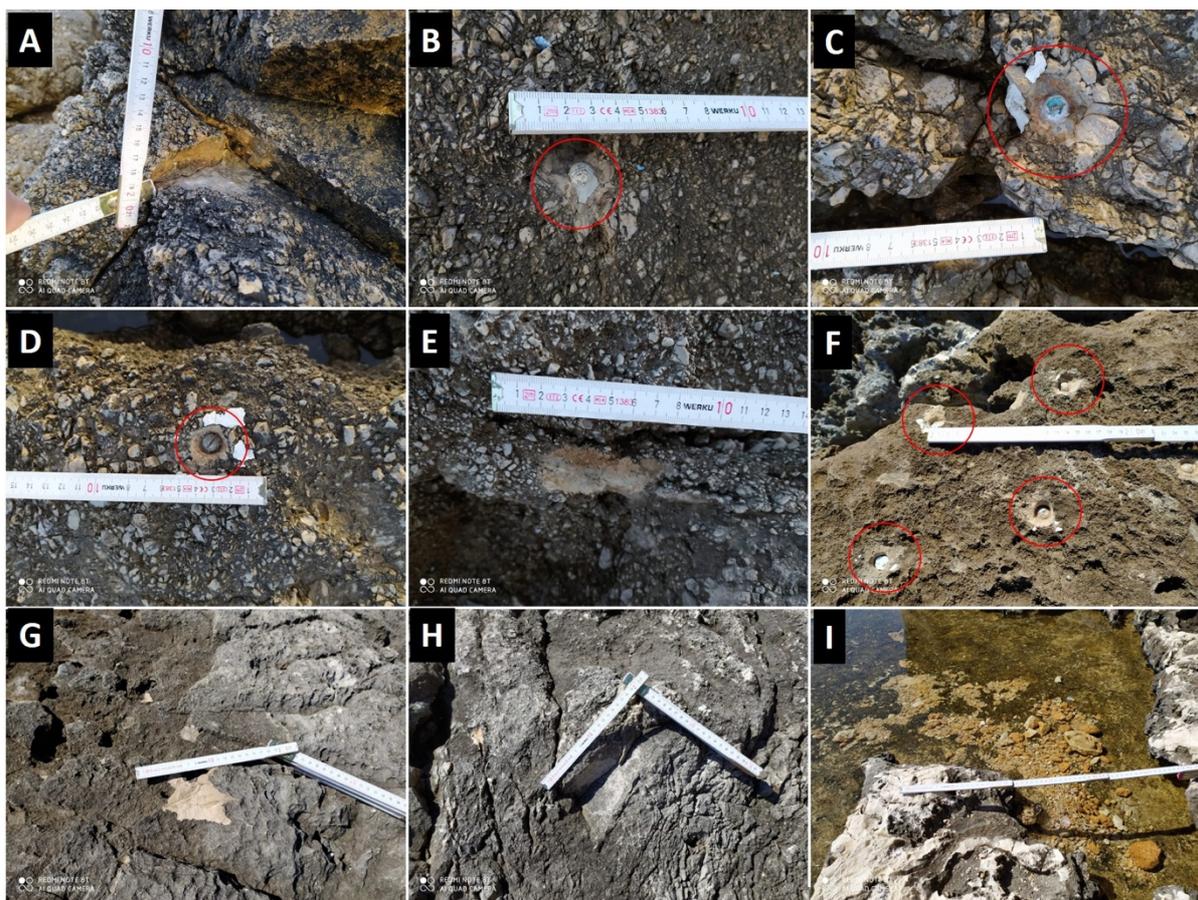
L'alliberament de fragments de roca que dona lloc al volum perdut de les plataformes litorals rocoses (emergides) objecte d'estudi ve determinat principalment per les característiques litològiques del substrat rocós. La combinació del grau de fracturació i diaclasament, trets texturals i les característiques 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 arrabassats 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



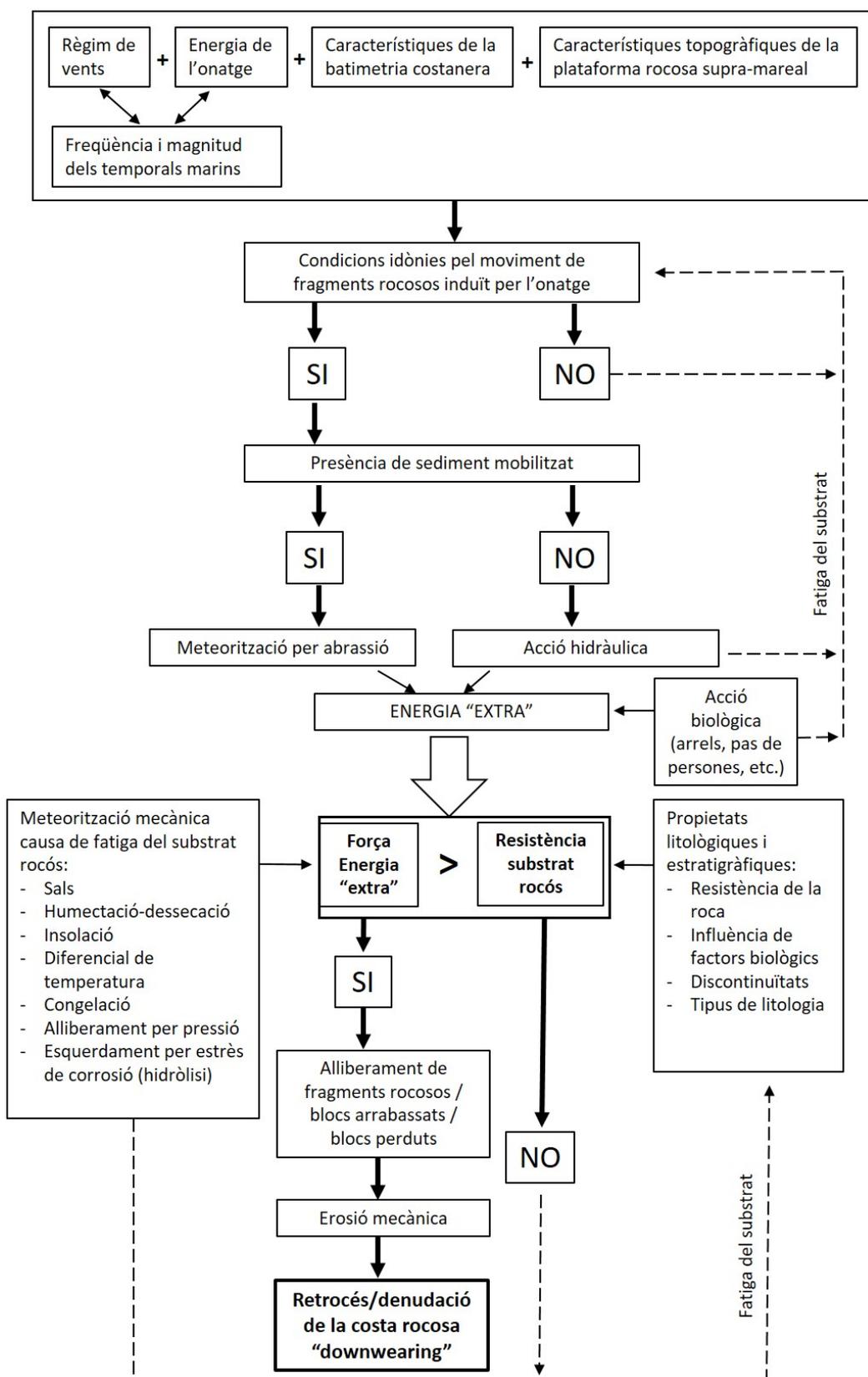
**Fig. 3.** Exemples de cicatrius d'arrabassaments de fragments rocosos de les plataformes litorals recollits durant la campanya de mostreig 2021 a Cala en Guixers i Punta des Savinar. A) arrabassament "subrecent" (>20 anys). B, C, D) Arrabassaments "subrecents" corresponents a les cicatrius originades 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 from 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



# SOBRE EL ORIGEN DE LAS RÍAS GALLEGAS: VIEJAS TEORÍAS Y NUEVAS REFLEXIONES

Augusto Pérez Alberti

Departamento de Edafología e Química Agrícola. Universidade de Santiago de Compostela. Campus Vida. Santiago de Compostela

**Resumen:** Las rías son brazos de mar que se introducen en el continente. Desde que el alemán von Richthofen, en 1886, introdujo el término en la literatura científica considerando que se trataban de valles fluviales inundados por el mar, diferentes autores han vuelto sobre el tema partiendo mayoritariamente de la idea de su origen fluvial. Sin embargo, el estudio detallado de las rías gallegas demuestra la falta de depósitos o formas fluviales en su interior lo que obliga a reflexionar, por una parte, sobre cuánto tienen de fluviales y cuánto de marino, y por otra, sobre su edad. En relación con lo último, se habla de la importancia del descenso del nivel del mar en su génesis durante la última glaciación sin tener en cuenta que en el interior de las rías existen formas y depósitos enmarcados cronológicamente en el último interglacial Eemiense. Después de analizar las diferentes aportaciones sobre el tema y de reflexionar sobre los distintos elementos que interactúan: litología, grado de fracturación, o las formas y depósitos existentes, se puede concluir que las rías son formas poligénicas en las que la estructura tectónica ha marcado su diseño general. La dinámica fluvial, puesta en marcha durante el Cenozoico inició la apertura de valles, siendo la posterior acción marina la auténtica protagonista de su aspecto actual quedando la acción fluvial relegada en un segundo plano.

**Palabras clave:** rías, procesos marinos, procesos fluviales, fracturación, Eemiense, Galicia.

**Abstract:** Rias are elongated inlets, arms of the sea, that penetrate in the continental zone. These forms are understood as sea flooded river valleys since the German researcher von Richthofen introduced the term into the scientific literature in 1886. Many authors have dealt with this rocky coast macroform, and most of them highlight their fluvial origin. Nevertheless, a detailed study of the different Galician rías shows the lack of fluvial deposits or forms inside them. This fact force to reconsider the contribution of fluvial and marine factors in shaping the coast, as well as the age of these forms. With regard to this last topic, many studies show the relevance of the falling sea level in rias formation during the last glacial period, but these approaches does not take into account that inside of rías there are Eemian interglacial dated forms and deposits. A careful revision on the rías' literature and the shaping processes and agents (i.e., lithology, joint degree, or the existing of forms and deposits) lead to the conclusion that rías are polygenic forms where the tectonic structure define its morphological pattern. The fluvial dynamics, initiated in the Cenozoic, triggered the valleys incision; and the marine processes were the main agent to shaping the actual character and form of this rock coast macroforms; therefore the fluvial contribution should be understood as a secondary process.

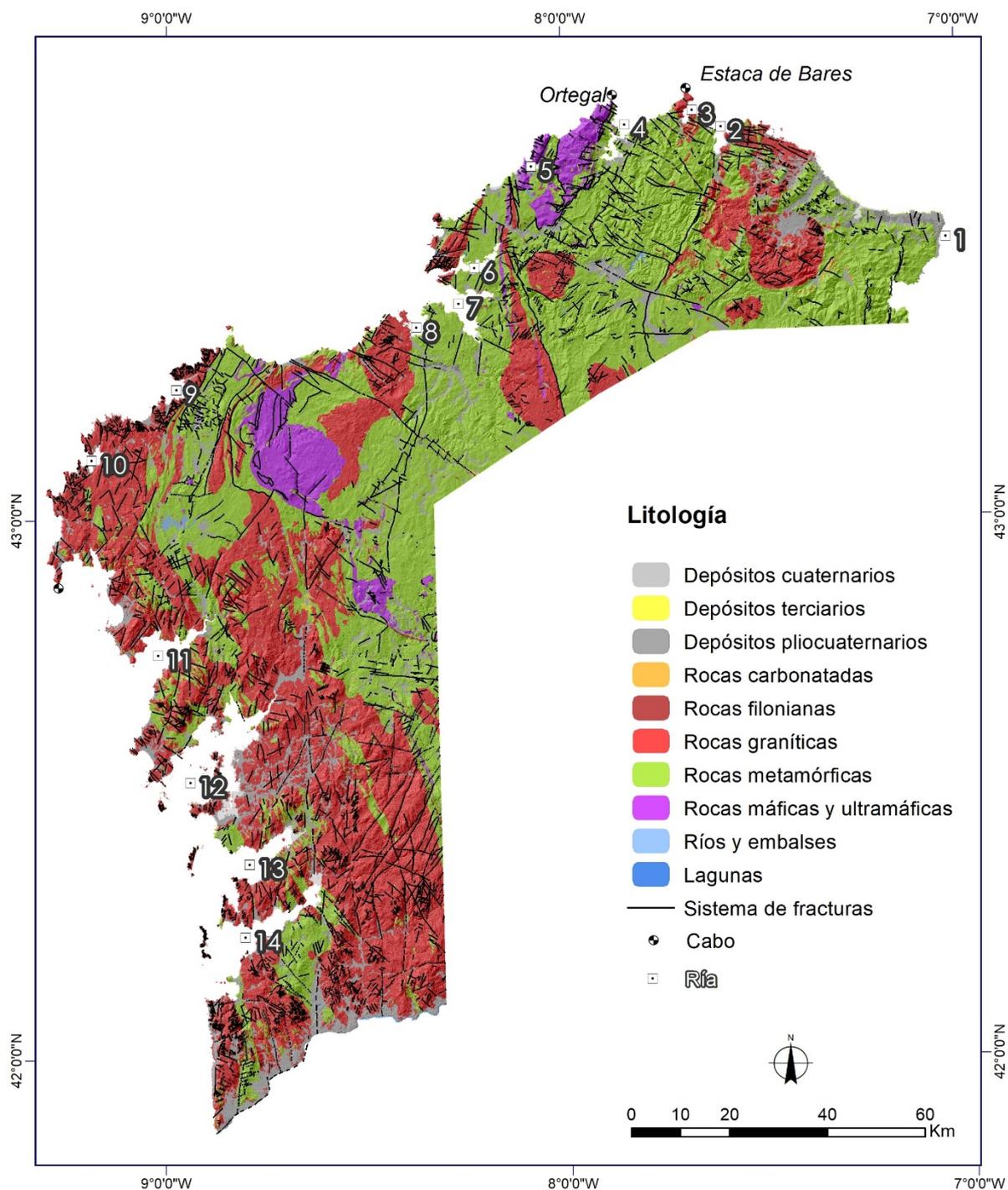
**Keywords:** rias, marine processes, fluvial processes, fractures, Eemian, Galicia.

## Introducción

Una ría es un brazo de mar de longitud y anchura variable que se introduce en el continente bordeada por estrechas planicies o pequeñas montañas. Aunque tradicionalmente se asocian a Galicia, también se encuentran en el sudeste de Asia, en el este de África o en América del sur. El término fue introducido por primera vez en la literatura científica por el autor alemán VON RICHTHOFEN (1886), quien las había visto en diferentes lugares de Asia y Europa. Las denominó *Riasküsten*, después de haber comprobado que en Galicia les denominaban rías y consideró que eran antiguos valles fluviales inundados por el mar disponiéndose transversalmente o de forma discordante a la estructura general de la costa gallega.

En la Fig. 1. se observa con claridad el bandeo N-S de las diferentes unidades litológicas que aparecen afectadas por numerosas fracturas con direcciones fundamentalmente NO-SE, NE-SO o N-S, estando las primeras relacionadas con la orogenia Varisca (PARGA PEINADOR, 1969) y las segundas surgidas en el momento de la apertura del Atlántico durante el Mesozoico (NIELSEN *et al.*, 2007).

En Galicia existen rías a lo largo de los más de 2.000 km de costa en las que dominan fundamentalmente las rocas graníticas, metamórficas y máficas o ultramáficas. Tradicionalmente se ha diferenciado entre las Rías Altas y las Rías Baixas. El Cabo Fisterra marcaría el límite entre unas y otras, que presentan características diferentes especialmente desde el punto morfológico y de dimensiones. Las primeras son las de Ribadeo, Viveiro, O Barqueiro, Ortigueira Cedeira, Ferrol, Ares y Betanzos, A Coruña, Corme y Laxe y Camariñas y las segundas las de Muros y Noia, Arousa, Pontevedra y Vigo.



**Fig. 1.** Mapa litológico de la costa de Galicia y situación de las rías. 1) Ribadeo, 2) Viveiro, 3) O Barqueiro, 4) Ortigueira, 5) Cedeira, 6) Ferrol, 7) Ares y Betanzos, 8) A Coruña, 9) Corme y Laxe, 10) Camariñas, 11) Muros y Noia, 12) Arousa, 13) Pontevedra, 14) Vigo. Fuente. Xunta de Galicia. Modificado.

### Los estudios sobre las rías gallegas anteriores a la década de 1960

El estudio de las rías es una temática que desde hace mucho tiempo ha sido muy importante en el contexto gallego, especialmente en lo referente a su origen y evolución. Diferentes autores, unos antes y otros después de 1960, se han ocupado de él. Entre los autores que lo han hecho antes de 1960 destacan SCHURTZ (1902), SCHEU (1913), CARLÉ (1945, 1947, 1949, 1950), TORRE ENCISO (1954, 1958) y MENSCHING (1961). Todos ellos, a excepción del tercero, geólogo gallego, de origen alemán. De una manera más puntual también lo han tratado BIROT y SOLE SABARÍS (1954).

SCHURTZ (1902), centró su análisis en la descripción de la configuración de las rías, a las que también consideró antiguos valles fluviales. Para él serían valles longitudinales que se introducirían paralelamente a las franjas rocosas dado que es evidente que no observó que las unidades rocosas siguen una dirección N-S y no O-E. En cuanto a la génesis llega a la conclusión de que han existido movimientos verticales de la costa que favorecieron la penetración de las aguas marinas en los antiguos valles fluviales.

SCHEU (1913) pensaba en la existencia de un hundimiento costero en un primer momento. Sin embargo, al observar los valles encajados de los ríos que desaguan en la ría de Vigo, como el Verdugo-Oitaven, se le generaron serias dudas. Los ríos se encajan en lo que él denomina como "paisaje envejecido", que correspondería a un antiguo ciclo de erosión. Ante ello se planteaba si la interrupción de este ciclo podría haberse originado por un movimiento de alzamiento del terreno o si, por el contrario, sería debido a un movimiento de hundimiento interrumpido por etapas de pausa, inclinándose finalmente por aceptar la idea de un levantamiento. Este autor presenta un discurso bastante contradictorio, citando hechos que se oponen a la explicación dada previamente de las oscilaciones como origen de las rías. Finalmente, acepta la idea de un movimiento bascular, relacionado tal vez con un amplio movimiento de combadura del terreno.

Marcado claramente por una visión evolucionista del relieve, fruto de las ideas de DAVIS (1898), SCHEU (1913) creía que las rías de Vigo y Pontevedra representan una forma joven mientras que la de Arousa sería una ría en proceso de madurez a juzgar por la importancia que allí adquieren los procesos de acumulación. Otro tanto ocurriría en las rías de Betanzos y de O Burgo (A Coruña) cuyas costas se aproximarían a la madurez morfológica. Por último, destacó el hecho de que las rías suelen emplazarse en los dominios de antiguas superficies de erosión o bien en áreas graníticas profundamente erosionadas y resaltó la importancia del hecho de que los valles fluviales en los que se instalaron no hayan alcanzado la fase de madurez.

CARLÉ (1945, 1947, 1949, 1950), por su parte, consideró que las rías eran ensenadas de paisajes o regiones montañosas originadas por la inmersión de una costa abrupta surcada por valles fluviales. Sin embargo, al recorrer la costa gallega, le surgieron toda una serie de dudas que le llevaron a desechar las ideas expuestas anteriormente por excesivamente simplistas. Este autor observó que una de las principales características del litoral gallego es su variedad. Mientras que al este de Cabo Ortegal se desarrollaron rías de moderada extensión, al sur, en las Rías Baixas, estas adquieren grandes proporciones. En relación con esto, pensaba que el origen de las rías atlánticas no parece deberse al simple hundimiento, ya que consideraba que en algunos sectores del litoral existen extensas rasas de abrasión marina que se elevaron sobre el nivel del mar en virtud de un alzamiento epirogénico de la costa.

Por otra parte, observó que muchos de los ríos que desembocan en el sector comprendido entre Vigo y Malpica que fluyen hacia el oeste, extienden sus cursos altos por valles de aspecto senil, en tanto que, en la porción de su curso más próximo a la costa, no es rara la existencia de rápidos y cascadas, siendo un ejemplo típico el río Xallas. Existían, para CARLÉ (1945), dos hechos contrapuestos, ya observados por SHURTZ (1902) y SCHEU (1913); por un lado, la inmersión de las desembocaduras fluviales y, por otro, el alzamiento epirogénico del país. Ante ello se planteó la idea de que el viejo escudo gallego poseyese una tendencia al alzamiento lo que daría lugar a su desmembramiento a partir de diferentes direcciones de fractura.



Como compensación del movimiento de elevación se habrían producido hundimientos en las áreas falladas que conducirían a la formación de fosas, más tarde convertidas en rías. Finalmente, las zonas de hundimiento habrían sido de nuevo afectadas por el alzamiento general del macizo gallego, como lo demuestran las consideradas por él rasas de abrasión marina que bordean algunos sectores del litoral. Desechó la hipótesis de un hundimiento total del país seguido más tarde por un movimiento general de elevación.

BIROT y SOLE SABARÍS (1954), después de analizar los rasgos geomorfológicos de la Galicia occidental, dentro de su trabajo sobre el noroeste de la Península, consideraban que para conciliar los rasgos aparentemente contradictorios que presenta el litoral, era necesario pensar en una primera fase de dislocaciones bastante antigua, para ellos de comienzos del Cuaternario, que habría levantado el margen costero de A Guarda, al sur de la Ría de Vigo, de la región del Tambre, aguas arriba de la Ría de Muros e Noia, y del Xallas, al sur del Cabo Fisterra, inferior por encima de la superficie fundamental del norte de Galicia. De la misma época dataría el sistema de fosas y de *horsts* con dirección NE-SO caracterizando la sección media y que habría sido el motivo del origen de muchas rías. Para ellos, los movimientos ulteriores consistirían en:

- a) el desfondamiento de promontorios continentales en la zona meridional y septentrional;
- b) la continuación del levantamiento de los bloques septentrionales;
- c) una ligera ondulación transversal que debió rebajar la zona media de las rías.

Estos autores creían que esto no estaba probado de forma rigurosa más que para el sector septentrional de Viveiro, en la ría de su nombre, gracias a la deformación de la rasa asturiana. Concluyeron que estos movimientos recientes, que han dejado trazos netos en los valles suspendidos y en los escarpes de falla litorales, habrían podido ver sus efectos rebajados por la abrasión y la acumulación submarina que había modelado la plataforma continental.

TORRE ENCISO (1954, 1958) consideraba que en Galicia se había producido un movimiento epirogénico relativamente reciente que habría dejado su impronta en los perfiles longitudinales de los ríos bajo la forma de un fuerte codo. Por este descenderían las aguas formando rápidos y cascadas, lo que se reflejaba también en el fuerte encajamiento de los valles actuales. Prácticamente casi todos ellos se hallan encajados en algunos tramos de su curso y especialmente cerca de su desembocadura que sería la que, según él, sufriría los efectos de la última onda erosiva remontante. Consideraba que el alzamiento que hizo posible estos encajamientos había sido un fenómeno general que habría afectado a toda Galicia en la última mitad del Terciario y muy especialmente en el Plioceno, antes de la formación de las terrazas cuaternarias más antiguas, las cuales deberían su existencia a la continuación de dicho movimiento de alzamiento durante el Pleistoceno. Para él los valles excavados por este levantamiento se prolongan por debajo del mar en el área de las rías gallegas, hecho que para él fuera el resultado de las fuertes oscilaciones que ha experimentado el nivel marino durante el Cuaternario y que tuvo lugar durante la última o últimas glaciaciones en las que el nivel del mar se encontraba unos 100 m por debajo del actual. Para TORRE ENCISO (1954, 1958) no había duda de que la zona de los ríos gallegos hoy convertidos en rías había sido excavada por encima del nivel de base marino. Su invasión posterior por el mar sería mucho más la obra de un alzamiento eustático del nivel oceánico que el resultado de un hundimiento cortical, aunque no descartaba la posibilidad de movimientos verticales de descenso en el límite del litoral o frente al mismo.

MENSCHING (1961) después de analizar las investigaciones anteriores realizadas por sus compatriotas, centró las suyas en las oscilaciones del nivel del mar durante el Cuaternario. Consideraba que las rías no fueron excavadas por la acción erosiva de las aguas continentales en una época en la que el nivel del mar estaba más bajo que en la actualidad. Este autor se preguntaba si el anegamiento del curso inferior de los ríos de la costa había sido una consecuencia de la tectónica, es decir, un hundimiento, o de las acciones de la transgresión postglacial flandriense o bien si se trataba de la acción de ambos procesos. Respecto a la edad, creía que debía situarse en el marco evolutivo de todo el Cuaternario de la costa de Galicia.

Este autor comentó las diferencias entre las distintas rías echando mano de lo estudiado anteriormente por LAUTENSACH (1941), quien opinaba que la elevación postglacial del nivel del mar

había actuado en las pequeñas rías en forma de embudo, como en la costa norte y también en las rías de Ortigueira y A Coruña, mientras que en las Rías Baixas de la costa occidental probablemente debió anegar las fosas orientadas en sentido NE-SO como había sospechado CARLÉ (1954). Creía que en la costa atlántica del NO de la Península Ibérica el nivel del mar durante la glaciación würmiense estaba considerablemente más bajo que en la actualidad. En esta época se habrían rebajado los cursos inferiores de los ríos en la zona costera a consecuencia de la posición más baja del nivel de base. Este tramo de erosión, sin embargo, de acuerdo con sus observaciones, no debió tener una extensión mayor de la que hoy afecta a las rías.

Una consideración de las profundidades relativas de las rías a la salida de su desembocadura en forma de embudo le indica que la línea costera würmiense alcanzaría de 6 a 8 km mar adentro, si se supone que el descenso del nivel del mar en la glaciación würmiense no fuera muy superior a los 10-90 m bajo el nivel actual. Este autor creía que, curso arriba del valle, existía una gran excavación glacial würmiense cubierta por sedimentos, y que los tramos de erosión de los periodos glaciares en el curso inferior de los ríos gallegos alcanzan valle arriba tanto más cuanto más pequeña es o ha sido la pendiente del río afectado. Según él, en las Rías Baixas se alcanzan profundidades de 50 m, hasta donde debió llegar el descenso del nivel del mar durante la glaciación würmiense. El hecho de que las Rías Altas, así como las de la costa cantábrica, tengan en general profundidades más pequeñas se debería a su entender, a una pendiente más débil de los ríos y también a un mayor relleno. Con el nuevo ascenso del nivel del mar en el período postglaciar, consideraba que había sido en la transgresión flandiense, cuando se anegaron los tramos inferiores de los valles fuertemente excavados durante el tiempo de regresión del glaciar würmiense. Creía que esta penetración del mar daría lugar a las actuales rías, hablando de que en la zona de las Rías Baixas esta penetración llegaría a los 30 km en las cuencas inferiores de los valles.

Mensching analizó también la existencia de terrazas marinas y se preguntó si ello había sido debido a una sucesión continua de hundimientos del suelo oceánico desde el Plioceno hasta la actualidad o si su origen estaba en una lenta elevación de la masa continental. También se planteó la posibilidad de que su origen estuviese en la acción conjunta de ambos procesos. Creía que existían dos factores que incidieron en el origen de las rías: el ahondamiento de las embocaduras de valle en las fases de regresión glacial del mar y el anegamiento de estas embocaduras durante la transgresión interglaciar. En su sistema consideraba que era necesario contemplar a las rías en el marco del desarrollo climático-morfológico del Pleistoceno y no considerarla en un determinado estudio del desarrollo del ciclo marino en el sentido que empleaba Davis.

### **Las aportaciones posteriores a la década de 1960**

Con posterioridad a los años sesenta del siglo pasado, entre los autores que analizaron las rías gallegas es preciso destacar la labor de NONN (1958a, 1958b, 1960, 1964, 1966, 1967), PANNEKOEK (1966a, 1966b, 1970) o VANNEY *et al.* (1979).

NONN (1967) fue sin duda el investigador que con mayor profundidad se ha centrado en el análisis geomorfológico de Galicia en general y de las regiones costeras en particular. Desde su perspectiva el concepto de ría no se debe emplear más que para designar una bahía más grande que larga en la que la cabecera está constituida por un valle o un sistema de valles. La bahía debe ser la prolongación, al menos parcial, del sistema hidrográfico, estando los valles inferiores y la bahía encajados en una misma topografía masiva, y hasta una cierta profundidad, en relación con un crecimiento fluvial realizado en periodo de regresión relativo. El anegamiento posterior pudo tener un origen tectónico o ser consecuencia de una transgresión reciente.

Así definida, según el mismo Nonn, la ría se distinguiría de los fiordos, sobre todo, pero también de las bahías que recibirían pequeños valles de fuerte pendiente. Ello es diferente de una depresión puramente litológica o tectónica anegada, del simple valle inferior inundado por la marea, como es el caso de un estuario. Las formas topográficas características comprenden según este autor los siguientes rasgos:

- Al menos en la cabecera de la ría, cuando no en toda su longitud, existen vertientes de valle fluvial cuya base pasa bajo el nivel del mar o bajo depósitos de marismas. La sinuosidad del trazado refuerza la característica de valle anegado (aunque no existe necesariamente) de fracturas que hayan podido marcar, en su origen, la dirección del desagüe como del abrupto de la vertiente.
- A lo largo de la ría las vertientes son, a corta distancia del trazado de la costa, bastante continuas e imponentes. Deben, sin embargo, haber evolucionado suficientemente para que la bahía sea amplia, aunque esto no impide la existencia de pasos estrechos.
- La zona sumergida está todavía poco colmatada por la acumulación post-flandriense de los materiales aportados por los ríos, sin que el plano de agua marino se encuentre reducido a la zona del lecho menor del curso del agua y estemos entonces en presencia de un estuario. El curso inferior del Miño es un ejemplo.
- Formas de regulación suavizadas y activas; zonas pantanosas; bancos de arena; deltas inferiores submarinos, o poco emergidas; playas o cordones cerrando ensenadas laterales; flechas atravesando la ría. Sin embargo, el corto período desde la transgresión hace que no ocupen amplias superficies.

Estos trazos comunes no le impiden a Nonn distinguir distintas tipologías, existiendo según el al menos tres en la costa de Galicia:

- 1) El primer tipo corresponde a la parte inferior de un organismo fluvial anegado. Un río importante es el responsable de la amplitud de la ría y, algunas veces, de su trazado. Esto no excluye "ayudas exteriores" como el retroceso de las vertientes por la alteración intensa del terreno o la intervención de la tectónica. Los casos más destacados de rías de este tipo se encuentran en el litoral cantábrico: Ortigueira, Barqueiro, Foz, Ribadeo. En las costas expuestas al NO, la ría de Cedeira, las de Ferrol, Ares y Betanzos, las de Laxe y Camariñas deben de ser consideradas como al menos parcialmente semejantes. La disposición longitudinal de la costa ha contribuido fuertemente al modelado de los contornos de Ferrol o Cedeira, el levantamiento menos importante de los relieves del entorno en el Terciario confiere una nitidez menor al papel del encajamiento de los cursos de agua.
- 2) El segundo tipo se caracteriza por el papel preponderante que adquiere la tectónica en la realización de la amplitud y de los contornos de las rías. Las Rías Baixas ilustran esta categoría. Los ríos que desembocan en ellas son, según Nonn, absolutamente incapaces de justificar su tamaño. El autor no duda que los hundimientos que desnivelan los bloques ribereños son los responsables de su amplitud anormal, siendo la existencia de orillas de disección paralela el indicador más visible de las rías tectónicas. Sin embargo, presentan formas de erosión después de que los planos de falla hayan evolucionado considerablemente retrocediendo en relación con la línea de fractura. Nonn cree que el modelado de glaciares en condiciones torrenciales eran señales convincentes de lo anterior.
- 3) Un tercer tipo de ría está representado por las de A Coruña y Arousa. Se trata de cubetas de alteración terciaria anegadas. Son rías por el hecho de que un río de importancia desemboca en ellas.

A pesar de esta categorización, NONN (1958a, 1958b, 1960, 1964, 1966, 1967) también menciona la existencia de rías de carácter mixto. Estas son fruto de la alteración general en el modelado gallego y su papel evidente en la génesis de las rías del primer tipo (Ortigueira, Viveiro, Cedeira). En otros casos las fracturas han jugado un papel no desdeñable, incluso en aquellas rías en las que los ríos parecen ser los principales responsables (Ribadeo, y posiblemente Betanzos o Camariñas).

PANNEKOEK (1966a, 1966b, 1970) investigó en Galicia casi al mismo tiempo que Nonn y centró su análisis en la génesis de la Ría de Arousa. Este autor holandés llevó a cabo una detallada descripción morfológica, ahondando posteriormente en el estudio de los depósitos existentes. Consideró que la red fluvial ha estado condicionada por líneas de fractura antiguas, por fallas que datan del Terciario reciente que habrían fracturado la "penillanura terciaria" y dado lugar a una larga fosa hundida que consideró

un "rift valley" bordeado de fallas, que se extiende a través de toda la Galicia occidental de N-S. Estas fallas habrían influido en la configuración de la costa, así como en el relieve submarino alrededor del llamado Banco de Galicia (*Galicia Bank*).

Los ríos principales mantuvieron sus direcciones NE-SO al cruzar la fosa hundida. En estos lugares sus perfiles deben ser hundidos. Sus valles bajos, actualmente ocupados en parte por las rías, pudieron haberse hundido al mismo tiempo, pero el autor consideraba más probable que se hicieran más anchos y hondos sólo por medio la de denudación y la erosión. Esto encajaría con unos valles antecedentes encajados en el bloque al oeste de la fosa. Estos procedimientos continuaban en los fondos de los ríos actuales durante los periodos glaciares cuando el nivel del mar estaba más bajo. Según Pannekoek (1966a), las rías deben de haber existido al menos durante las dos últimas glaciaciones y probablemente mucho antes.

Después de analizar el trabajo de investigación de Nonn, PANNEKOEK (1970) volvió sobre el tema. Estaba de acuerdo con la mayoría de las conclusiones de NONN (1967) aunque discrepaba en ciertos aspectos. Este consideraba que los macizos montañosos aislados, cubiertos por restos de "penillanura más viejos", existían ya en el Mioceno Superior. Las depresiones entre estos macizos, incluida la depresión meridiana, son el resultado de una erosión a lo largo de líneas de falla preexistentes primero durante el Mioceno y posteriormente durante el Plioceno.

VANNEY *et al.* (1979) consideraban en su estudio que la historia de las rías había comenzado en el Mesozoico inicial cuando se individualiza la costa gallega de la canadiense mediante una fase de *rifting* a la que le corresponde una sedimentación primero evaporítica y luego arrecifal datada como jurásica. En una segunda fase, entre el Jurásico final y el Cretácico inicial se produciría la separación de Galicia de Norteamérica y la verdadera individualización del litoral gallego. A este momento le corresponde una sedimentación de pizarras negras que aparecen en la base del nuevo talud continental. Posteriormente, entre finales del Cretácico y el Cenozoico inicial se produjo una fase de nivelación como consecuencia del desplazamiento del eje de expansión del fondo oceánico que originó una inmersión general de toda la franja costera que quedó fosilizada por depósitos de tipo continental.

Estos autores creen que fue durante el Eoceno cuando se habrían formado las rías y las fosas tectónicas de Galicia y que sería durante la fase final cuando se habría producido una subsidencia general progresiva del borde continental que habría ocasionado la inmersión de la plataforma continental y de las rías.

## Reflexiones desde el presente

Si bien en los últimos decenios las rías gallegas han seguido siendo objeto de estudio, en su mayor parte, las investigaciones se han centrado en ellas como espacio físico y no en su origen, tipología o caracterización. PEREZ ALBERTI (1982) llevó a cabo una revisión bibliográfica del tema in ir más allá. Otro tanto hicieron VIDAL ROMANÍ (1984) o MÉNDEZ y REY (2000). PAGES VALCARLOS (2000), por su parte consideró que las rías responden a valles fluviales, con episodios de ocupación marina cuaternaria, labrados a lo largo del Cenozoico como respuesta a diversos descensos relativos del nivel de base provocados fundamentalmente por el levantamiento del zócalo durante la colisión alpina y por oscilaciones glacioeustáticas, descartando el protagonismo en su formación de procesos de hundimiento y movimientos de bloques de ámbito local. CASTAING y GUILCHER (1995) estudiaron las rías desde el puntos de vista geomorfológico y sedimentológico aceptando su origen fluvial sin ningún tipo de duda.

En el artículo de EVANS y PREGO (2003) se discute si las rías son o no estuarios por lo que el origen no es el tema fundamental. Lo mismo se puede decir de la reciente investigación de GOUDIE (2018), que se centra en analizar la distribución de las rías a nivel mundial, sus formas o sus mareas, pero sin entrar a discutir sobre cuál ha sido su origen y evolución. Por su parte, en el reciente trabajo de VILAS *et al.* (2019) no se aporta nada novedoso respecto a lo dicho anteriormente en relación a su origen.

Para estos autores las rías pueden ser clasificadas como valles fluviales que  *fueron inundados por el agua de mar después de la última transgresión* (página 387).

Aportación muy interesante ha sido las de REY SALGADO (1991, 1993) quien centró sus investigaciones en las Rías Baixas y, fundamentalmente, en la Ría de Arousa. A partir del análisis de perfiles sísmicos de alta resolución y datos de sedimentos acumulados en la plataforma continental y en las Rías Baixas, consideró que la configuración final de su proceso de construcción sedimentaria se alcanzó a partir del Pliocuaternario aunque creía que las rías eran más antiguas.

El estudio de GARCÍA-GIL *et al.* (2000) sobre estratigrafía sísmica de alta resolución en las Rías Baixas, señala que la ausencia de dataciones les impide establecer la edad de formación de las rías, pero la edad inferida de su relleno les sugiere que son relativamente recientes, probablemente del Mioceno o incluso más jóvenes. Según estos autores la génesis de las rías les parece más probable que sea producto de la actividad tectónica asociada con la Orogenia Alpina y que se propagó a lo largo del margen occidental de la Península Ibérica reactivando fallas del Paleozoico y deformando los materiales mesozoico-cenozoicos de Portugal.

Parece evidente, pues, que en todas las investigaciones están presentes algunas ideas coincidentes que se podrían resumir en tres: el papel fundamental de los ríos en su génesis, el rol de los movimientos tectónicos y el momento de formación de las rías. A ello se le puede añadir lo expuesto por alguno de los autores citados que es que no todas las rías son iguales. A nivel general se destaca de manera clara la primera idea sobre las otras aunque hay autores que las relacionan con la tectónica y retrasan el inicio de su formación al Mioceno. Sin embargo, la idea de que las rías son valles fluviales inundados prevalece mayoritariamente en los materiales escolares. Por esa razón parece conveniente reflexionar sobre el tema y plantearse algunas preguntas.

#### *¿Son los ríos los auténticos protagonistas?*

Es preciso lanzar la pregunta de cuáles serían las condiciones que necesitaría un río para que, incapaz de labrar un valle que no alcanza a tener un km de ancho a lo largo de su recorrido, ha sido capaz de crear el espacio que ocupa cualquier ría, con varios km en su sector más abierto. Por ejemplo, el río Grande de Xuvia labró un valle de unos 800 m como máximo en su recorrido continental mientras que la ría en la que desemboca, la de Ferrol, casi alcanza los 3 km de ancho. El río Tambre modeló un valle de unos de 200 m de ancho cerca de la desembocadura mientras que la ría de Muros y Noia supera los 4 km. El río Ulla, discurre por un valle muy estrecho y desemboca en la Ría de Arousa que supera los 15 km de ancho.

VANDENBERGHE (2003, 2008) considera que no siempre existe una relación directa entre los procesos de incisión y sedimentación de los ríos y el clima dado que hay otros muchos factores que influyen en ello. En el caso de las rías se parte de la idea de que los ríos han excavado su cauce en los momentos glaciares cuando el nivel del mar estaba mucho más bajo que el actual, mucho más de lo que suponían algunos de los autores citados, lo que es una idea discutible. Durante los períodos glaciares el agua de las cuencas está retenida en los glaciares que ocupaban buena parte de las montañas de Galicia (PEREZ ALBERTI, 1982; PÉREZ ALBERTI *et al.* 2004) y si bien había momentos en los que el río podía erosionar su cauce en otros la carga sedimentaria lo impediría. Por otra parte, en las fases frías la falta de cubierta vegetal favorecería la puesta en marcha de procesos periglaciares (VIANA SOTO y PÉREZ ALBERTI, 2019) lo que facilitaría la llegada de una gran cantidad de sedimentos a los fondos de valle, frenando consecuentemente la incisión fluvial. No se puede olvidar que durante las épocas glaciares la dinámica de las laderas es superior a la del cauce. Es precisamente durante los periodos interglaciares, con una mayor cantidad de agua que fluye en el sistema, cuando los ríos con mayor caudal y laderas cubiertas de vegetación también serán capaces de encajarse en el terreno.

Hay otros datos que entran en contradicción con el origen únicamente fluvial de las rías. Por un lado, la falta de rasgos derivados de lo fluvial, como es el caso de las terrazas fluviales. Si los ríos hubieran sido fundamentales en el modelado de las rías habrían dejado algún nivel de terraza colgada en el entorno de algunas de ellas, lo cual no ocurre. Los depósitos encontrados, por ejemplo, en el entorno



**Fig. 2.** Depósitos sedimentarios antiguos A) Entorno de la Ría de A Coruña; B) Entorno de la Ría de Pontevedra.

de edad Terciaria (U1), cuatro de edad Pleistoceno (U2-U5) que se interpretan como secuencias de cuarto orden depositadas entre MIS 11 y MIS 2, y Pleistoceno Tardío (U6) y Holoceno (U7) unidades correspondientes a la sedimentación post-glacial. Consideran que el relleno sedimentario se superpone a un basamento granítico y metamórfico intensamente fracturado llegando las fallas a afectar a los depósitos del Pleistoceno antiguo (MIS 3).

### *¿Cuál ha sido el papel de la tectónica?*

El papel de la tectónica ha estado presente prácticamente en todas las investigaciones, de forma más clara en las de Nonn, Pannekoek o Vanney. Estos y otros autores citados con anterioridad han escrito sobre la existencia de levantamientos y hundimientos que se habrían producido a lo largo del tiempo, generando con sus opiniones muchas contradicciones. Esto parece lógico, dado que son investigaciones llevadas a cabo antes de la llegada de las nuevas teorías sobre la tectónica de placas de la mano de WILSON (1963) y más recientemente de nuevas ideas sobre el papel de las fallas de desgarre intraplacas (*strike slip fault*) expuestas, por ejemplo, en CUNNINGHAM y MANN (2007). Estas ideas permiten ver como los movimientos de las fallas en sentido longitudinal pueden provocar tanto levantamientos como hundimientos algo que intuían los primeros autores pero que no alcanzaron a explicar.

de la ría de A Coruña se corresponden con niveles a diferente altitud, pertenecientes, posiblemente, al paleo-Mandeo o al paleo-Mero (Fig. 2A). Los que se observan por encima de Montalvo en la Ría de Pontevedra se corresponderían a antiguos abanicos aluviales de edad por determinar pero que nada tienen que ver con el Lérez (Fig. 2B). En cualquier caso, se trata de depósitos a otros semejantes existentes en el interior de Galicia (PÉREZ ALBERTI, 1993) o en Portugal pertenecientes al Cenozoico, que marcarían el paso de una fase fluvial endorreica a otra exorreica mediante mecanismos que se pueden explicar por una reorganización de la red de drenaje motivada por el desbordamiento de cuencas existentes en el antepaís atlántico (CUNHA *et al.* 2019).

Los recientes datos aportados por MARTÍNEZ-CARREÑO y GARCÍA-GIL (2017) sobre el registro sedimentario de la Ría de Vigo, refuerzan lo que se acaba de comentar, es decir que la apertura de las rías se produjo con anterioridad al Cuaternario. Los perfiles sísmicos de alta resolución, los análisis de sedimentos del núcleo y los datos de radiocarbono <sup>14</sup>C son indicativos para estos autores de que la

arquitectura estratigráfica de las rías gallegas resulta de múltiples fases de incisión / relleno, por lo que las consideran como valles compuestos en lugar de simples incisos. Los autores identificaron siete unidades sísmicas: una

El rol de la tectónica es visible en las rías de Muros y Noia y Arousa. La primera está condicionada por fracturas NE-SE, y la segunda por un bloque hundido, en el que se pueden ver los mismos sistemas de fracturas conjugado con otra de dirección N-S asociada a la depresión meridiana ya citada. En el caso de la Ría de Vigo su sector interior se adapta a ella de manera clara como se observa en la Fig. 3.

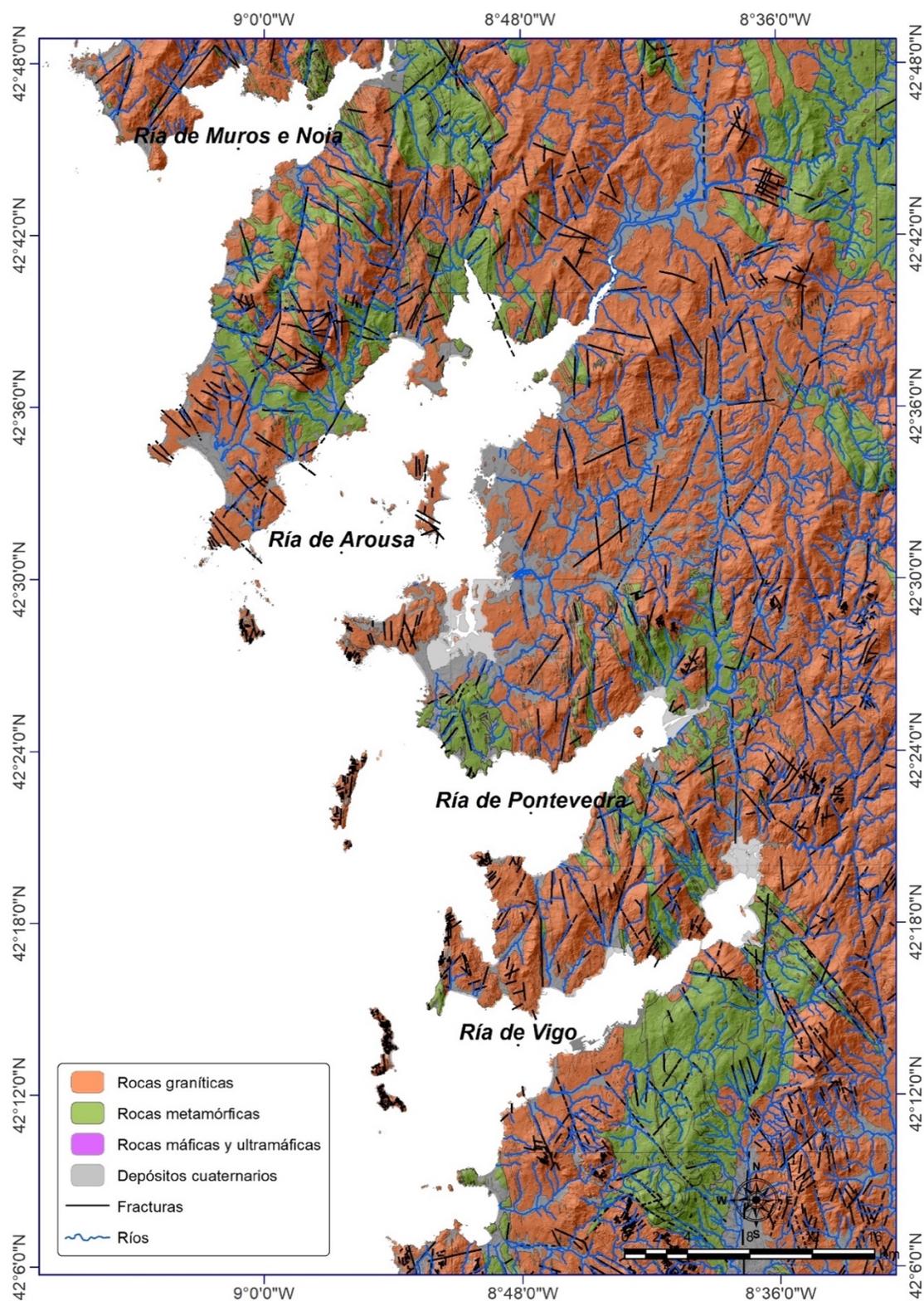


Fig. 3. Contexto estructural de las Rías Baixas. Fuente: Xunta de Galicia (modificado).

*¿La acción marina no ha tenido nada que ver en su formación?*

Hay otro hecho importante que tampoco se ha tenido en cuenta hasta el momento, que es la existencia de formas de origen marino dentro de las rías. Este es el caso de la presencia de acantilados, playas y, muy especialmente, de plataformas litorales. A ello hay que unirle la presencia de numerosos depósitos antiguos de edad diversa, generados desde el MIS 5 hasta el MIS 2 (Fig. 4) (PÉREZ ALBERTI *et al.*, 2009; PÉREZ ALBERTI *et al.*, 2018).

Las plataformas costeras son formas típicamente modeladas en un ambiente marino (Fig. 5). Se pueden citar las investigaciones de TRENHAILE *et al.* (1999), BLANCO CHAO *et al.* (2003) o GÓMEZ PAZO *et al.* (2021) en las que se aborda sus principales características lo que ratifica, por una parte, que en las rías existen formas claramente marinas y por otra, como ya decían los ya citados anteriormente Pannekoek, Vanney, García-Gil *et al.* o Martínez-Carreño *et al.*, que las rías serían mucho más antiguas de lo que suponían los primeros autores.



**Fig. 4.** Plataforma rocosa fosilizada por un depósito de playa-duna Eemiense (Sanxenxo. Ría de Pontevedra).



**Fig. 5.** Plataforma costera de Caamaño (Ría de Muros e Noia).

*La importancia de la combinación de procesos*

Cuando se analizan los rasgos morfológicos de las Rías gallegas se ve con claridad, por una parte, que en cualquiera de ellas desembocan diferentes ríos, pero también que sus cursos están intensamente condicionados por la amplia red de fracturas, especialmente en las Rías Baixas. Este análisis también muestra una clara simbiosis entre lo tectónico y lo fluvial. En la pequeña escala se observa un potente control estructural y también litológico, perceptible a escala de detalle.

Los fondos de las rías tienen un aspecto fluvial en cuanto que dominan los sedimentos limo-arcillosos pero, a medida que se avanza hacia la parte externa, camino del mar, dominan los sedimentos arenosos que crean playas y dunas perceptibles a primera vista. En algunos casos en la composición de las playas se puede ver como se mezcla lo terrígeno con lo biogénico, las arenas de cuarzo o feldespato con fragmentos de conchas marinas.

Las rías son formas poligénicas donde el marco tectónico marcó su diseño—disposición—desarrollo general. Los sistemas de fracturas NO-SE, NE-SO, N-S U ONO-ESE además de estar presentes en buena parte de Galicia, son muy visibles en el entorno costero. En este sentido, los ríos gallegos han modelado sus cauces en relación con estos sistemas de fracturas aprovechando las zonas de debilidad. Esto muestra que los cauces de agua abrieron el camino a la penetración marina desde antes del Cuaternario, colaborando en el encajamiento fluvial (tanto en la costa como en el interior) la dinámica tectónica reactivada durante el Cenozoico (PÉREZ ALBERTI, 1993; PÉREZ ALBERTI *et al.*, 2013). La mencionada influencia marina penetró hacia el interior con especial importancia durante los períodos interglaciares,



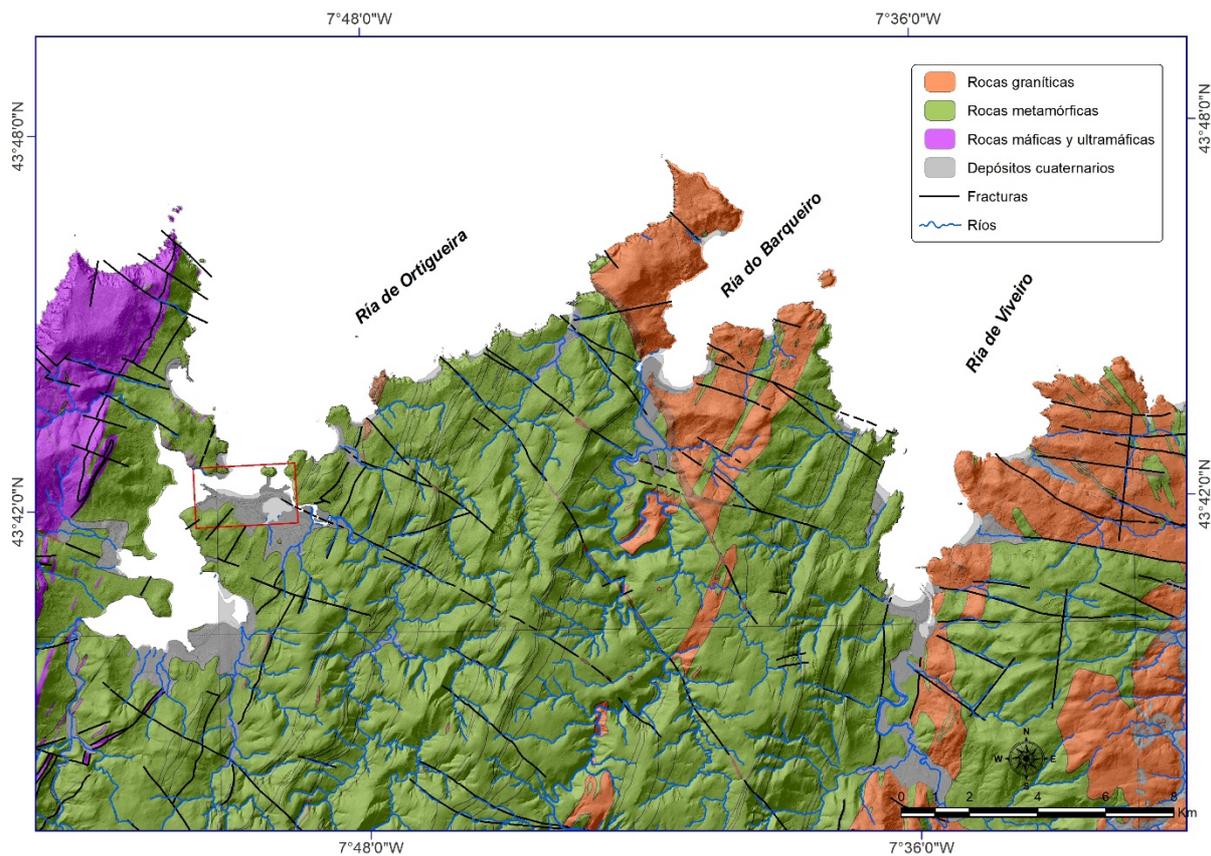


Fig. 6. Contexto estructural de las Rías Altas. En el recuadro negro se señala el arenal de Morouzos (vid. Fig. 7).

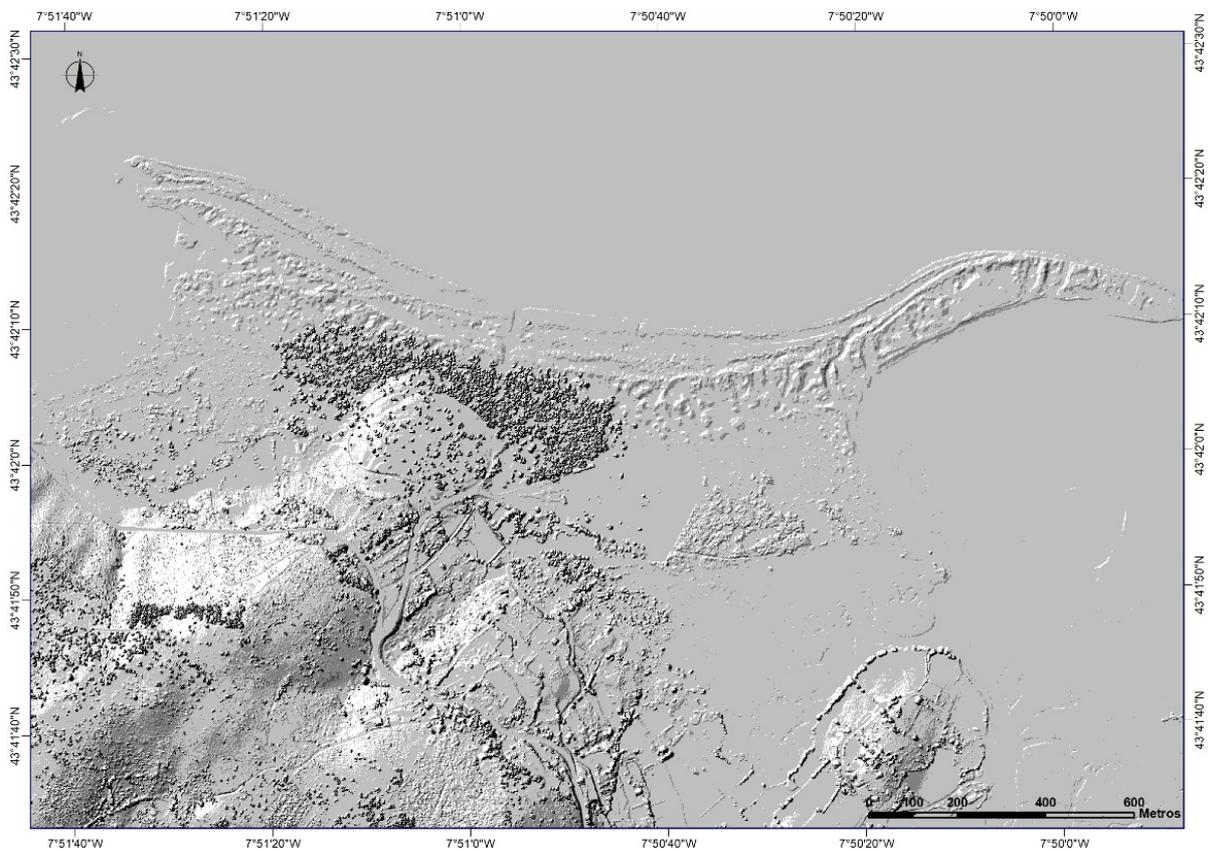


Fig. 7. Vista de detalle del modelo digital de elevaciones (LIDAR) del arenal de Morouzos.

ya que en los momentos glaciares lo dominante eran los aportes continentales que fosilizaban la línea de costa (TRENHAILE *et al.* 1999; BLANCO CHAO *et al.* 2003 o PÉREZ ALBERTI *et al.* 2009).

Analizando la Fig. 6 en la que aparece la ría de Ortigueira se ve claramente como se ha instalado en una zona deprimida que se alarga de Norte a Sur muy condicionada por la existencia de discontinuidades y por un bandeado litológico que sigue la misma dirección. La red fluvial generó sin duda numerosos valles que aportaron gran cantidad de sedimentos al sistema favoreciendo la formación de la flecha de Morouzos que condicionó la génesis de marismas. El sistema arenoso de Morouzos (Fig. 7) marca muy bien la diferencia entre el sector de la ría más fluvial del marino. En el caso de la Ría de Camariñas la red de fracturas condicionó intensamente la instalación de una red fluvial que lleva direcciones NNE-SSO y ONO-ENE. A partir de ellas la ría se iría abriendo por la acción del mar generando una forma amplia (Fig. 8).

Parece evidente, pues, que el contexto estructural tuvo un rol de primer orden en la génesis de las rías gallegas por cuanto que condicionó su dirección, así como la de los cursos de los ríos. Los movimientos tectónicos puestos en marcha durante el Cenozoico fueron determinantes por cuanto que colaboraron de manera decisiva en el diseño de la costa gallega al favorecer el encajamiento fluvial como elemento de preparación a la entrada de la acción marina. Sin embargo, la acción fluvial no habría sido posible sin unas condiciones climáticas húmedas que ayudaran en su labor erosiva. De manera resumida se puede decir que los ríos marcaron el camino al mar.

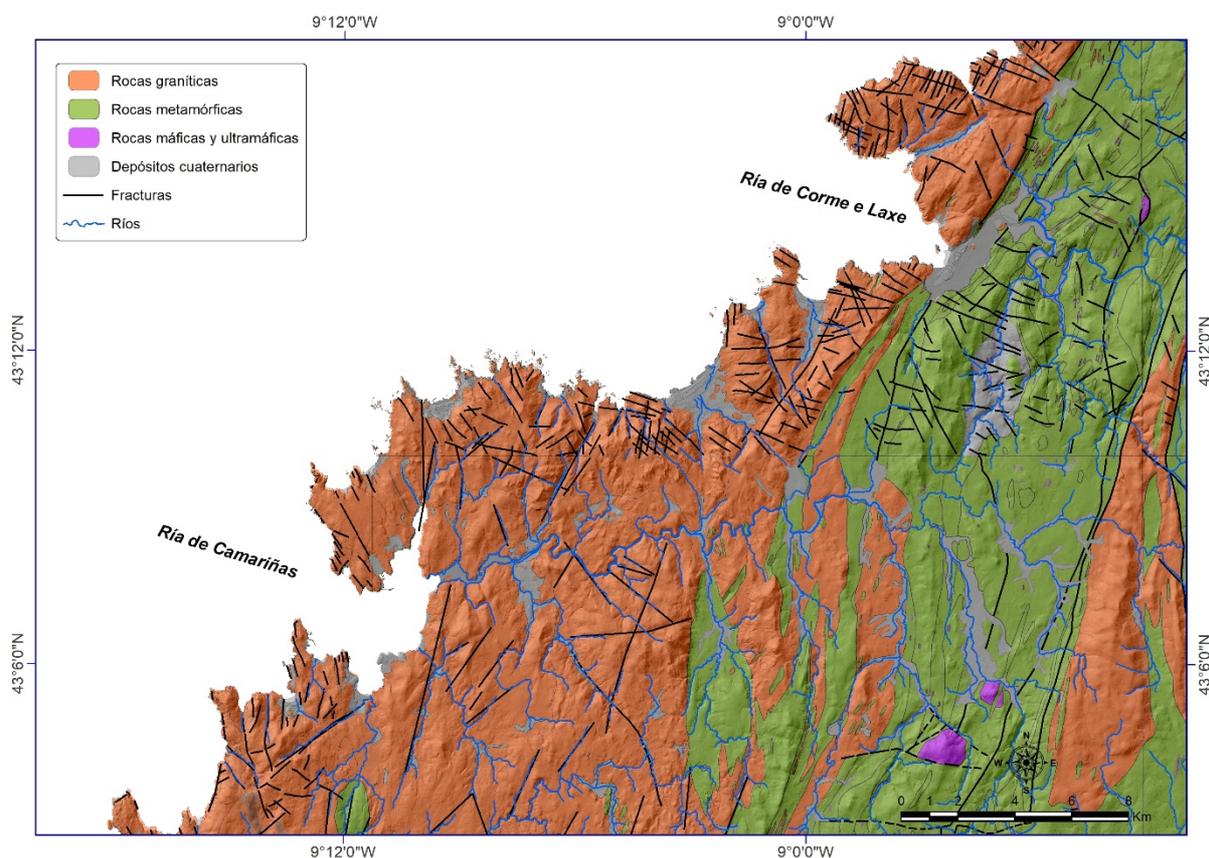


Fig. 8. Contexto estructural de las rías de Corme e Laxe y Camariñas.

## Conclusiones

- 1) Las rías son los elementos más singular de la costa de Galicia.
- 2) Se trata de formas poligénicas que han evolucionado a lo largo del Cenozoico y no de simples valles fluviales inundados.

- 3) La tectónica ha desempeñado un papel de primer orden en su génesis existiendo rías, como la de Arousa, que son auténticas fosas.
- 4) La presencia en el interior de algunas rías de depósitos antiguos, posiblemente acumulados durante el Cenozoico, y de formas típicamente marinas, datadas en el Eemiense, obliga a pensar, por un lado, que son más antiguas de lo que se suponía. El registro sedimentario lo ratifica de manera clara.
- 5) Los ríos abrieron el camino a la apertura de las rías, pero ha sido la acción combinada de lo fluvial y, muy especialmente, de lo marino lo que permitió su apertura y dinámica evolutiva durante el Cenozoico.
- 6) En la actualidad, la acción fluvial solamente es visible en el fondo de las rías o en sus bordes y ha actuado más como agente de transporte sedimentario, favoreciendo la existencia de numerosos sistemas arenosos, que como agente de erosión.

## Bibliografía

- BIROT, P. y SOLÉ SABARÍS, L. (1954): *Recherches morphologiques dans le nord-ouest de la Péninsule Ibérique*. Centre national de la recherche scientifique. Paris.
- BLANCO CHAO, R., COSTA CASAS, M., MARTINEZ CORTIZAS, A., PÉREZ ALBERTI, A. y TRENHAILE, A. S. (2003): Evolution and inheritance of a rock coast: western Galicia, northwestern Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28 (7): 757-775.
- CARLÉ, W. (1945): Ergebnisse geologischer Untersuchungen im Grundgebirge von Galicien (Nordwest Spanien). *Geotekton. Forsch H.* 6: 13-36.
- CARLÉ, W. (1947): Die westgalischen Meeresbuchten. *Natur und Volk*, 77: 5-14.
- CARLÉ, W. (1949): Las rías bajas gallegas. *Estudios Geográficos*, 35: 320-330.
- CARLÉ, W. (1950): Resultado de investigaciones geológicas en las formaciones antiguas de Galicia. *Publicaciones extranjeras sobre Geología de España*, tomo V: 61-90. Madrid.
- CASTAING, P. y GUILCHER, A. (1995). Geomorphology and sedimentology of rias. *Developments in Sedimentology*, 53: 69-111.
- CUNNINGHAM, W. D. y MANN, P. (2007): Tectonics of strike-slip restraining and releasing bends. *Geological Society, London, Special Publications*, 290 (1): 1-12.
- CUNHA, P. P., MARTINS, A. A., GOMES, A., STOKES, M. *et al.* (2019). Mechanisms and age estimates of continental-scale endorheic to exorheic drainage transition: Douro River, Western Iberia. *Global and Planetary Change*, 181: 102985.
- DAVIS, W.M. (1898): The Triassic Formation of Connecticut. *U.S. Geological Survey 18th Annual Report 1896 – 1897*, Pt. 2. Washington, pp. 1 – 192.
- EVANS, G. y PREGO, R. (2003): Rias, estuaries and incised valleys: is a ria an estuary?. *Marine Geology*, 196 (3-4): 171-175.
- GARCÍA-GIL, S., GARCÍA-GARCÍA, A., DURÁN, R., y VILAS, F. (2000). Estratigrafía sísmica de alta resolución en las Rías Baixas: Pontevedra y Vigo (NO España). *Journal of Iberian Geology*, 26: 217-231.
- GÓMEZ-PAZO, A.; PÉREZ-ALBERTI, A. y TRENHAILE, A. (2021): High resolution mapping and analysis of shore platform morphology in Galicia, northwestern Spain. *Marine Geology*, 436: 106471.
- GOUDIE, A. (2018): Rias: Global distribution and causes. *Earth-Science Reviews*, 177: 425-435.
- LAUTENSACH, H. (1941): Interglaciale Terrassenbildung in Nordportugal und ihre Beziehungen zu der allgemeinen Problem des Eiszeitalters. *Petermanns Geographische Mitt.*, 9: 297-311.
- MARTÍNEZ-CARREÑO, N. y GARCÍA-GIL, S. (2017): Reinterpretation of the Quaternary sedimentary infill of the Ría de Vigo, NW Iberian Peninsula, as a compound incised valley. *Quaternary Science Reviews*, 173: 124-144.
- MENSCHING, H. (1961): Die Rias der galicisch-asturischen Küste Spaniens: Beobachtungen und Bemerkungen zu ihrer Entstehung Prof. Dr. Wolfgang Panzer zum 65. Geburtstag gewidmet (The Rias of the Galician-Asturian Coast of Spain). *Erdkunde*, 15. 210-224.
- MÉNDEZ, G. y REY, D. (2000): Perspectiva histórica del conocimiento geológico de las rías gallegas. *Journal of Iberian Geology*, 26: 21-44.
- NIELSEN, S. B., STEPHENSON, R. y THOMSEN, E. (2007). Dynamics of Mid-Palaeocene North Atlantic rifting linked with European intra-plate deformations. *Nature*, 450: 1071-1074.

- NONN, H. (1958a): Contribution à l'étude des plages anciennes de Galice, (Espagne). *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 3: 257-267.
- NONN, H. (1958b): Contribución al estudio de las playas antiguas de Galicia, España. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 50: 177-193.
- NONN, H. (1960): Les dépôts de la rase cantabrique dans sa partie occidentale (Galice, Espagne). *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 7-8-9: 97-105.
- NONN, H. (1964): Los sedimentos antiguos de la ría de Arosa. Algunas conclusiones geomorfológicas. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 74: 143-155.
- NONN, H. (1966): *Les régions cotières de la Galice (Espagne). Étude géomorphologique*. Publications de la Faculté des Lettres de l'Université de Strasbourg. Paris. 592 pp.
- NONN, H. (1967): Presentación de algunos depósitos superficiales recientes en Galicia Occidental. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 95: 89-105.
- PAGES VALCARLOS, J. P. (2000). Origen y evolución geomorfológica de las rías atlánticas de Galicia. *Rev. Soc. Geol. España*, 3: 3-4.
- PANNEKOEK, A.J. (1966a): The geomorphology of the surroundings of the Ría de Arosa (Galicia, NW Spain). *Leidse Geologische Mededelingen*, 37: 7-32.
- PANNEKOEK, A.J. (1966b): The Ria problem: the role of antecedence, deep weathering, and Pleistocene slope-wash. *Tijdschrift van het koninklijk Nederlandsch Aardrijakunsif Genootschap*, 83: 289-297.
- PANNEKOEK, A.J. (1970): Additional geomorphological data on the ria area of western Galicia (Spain). *Leidse Geologische Mededelingen*, 37: 185-194.
- PARGA PEINADOR, J.R. (1969): Sistemas de fracturas tardihercinicas del Macizo Hespérico. *Trabajos del Laboratorio Geológico de Laxe*, 37.
- PÉREZ ALBERTI, A. (1982): Xeomorfoloxía. In: PÉREZ ALBERTI, A. (Dir.), Xeografía de Galicia. Tomo I: O Medio, p. 9-70. Editorial Sálvora. Santiago de Compostela.
- PÉREZ-ALBERTI, A. (1993): La interacción entre procesos geomorfológicos en la génesis del relieve del SE de Galicia: el ejemplo del Macizo de Manzaneda y de la Depresión de Maceda. In: A.A.V.V. *La evolución del paisaje en las montañas del entorno de los Caminos jacobeos: 1-24*. Consellería de Cultura de la Xunta de Galicia, Santiago de Compostela.
- PÉREZ ALBERTI, A., VALCÁRCCEL DÍAZ, M. y BLANCO CHAO, R. (2004): Pleistocene glaciation in Spain. In: Ehlers, J. y Gibbard, P.L. (eds.), *Quaternary glaciations—extent and chronology. Part I: Europe*. Elsevier, Amsterdam.
- PÉREZ ALBERTI, A., BLANCO CHAO, R., OTERO, M., MACIAS GARCIA, I. y LÓPEZ BEDOYA, J. (2009): Cambios ambientales detectados na costa de Galicia durante o Plistoceno e Holoceno e dinámica actual. In: Pérex, V. (ed.), *Evidencias e impactos do cambio climático en Galicia*: 425-454. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela.
- PÉREZ ALBERTI, A., GOMES, A., TRENHAILE, A., OLIVEIRA, M. y HORACIO, J. (2013): Correlating river terrace remnants using an Equotip hardness tester: An example from the Miño River, northwestern Iberian Peninsula. *Geomorphology*, 192, 59-70.
- PÉREZ-ALBERTI, A., PROENÇA CUNHA, P. y OTERO PÉREZ, X.L. (2018): The Sanxenxo coastal terrace: a sedimentary record of the MIS 5 to MIS 2 in the Ría de Pontevedra (NW of the Iberian Peninsula). *Proceedings of the IX Symposium on the Iberian Atlantic Margin*, Coimbra, 4-7 September 2018.
- REY SALGADO, J. (1991): *Relación morfosedimentaria entre la plataforma continental de Galicia y las Rías Bajas y su evolución durante el Cuaternario*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- REY SALGADO, J. (1993): Mapa fisiográfico submarino de la Ría de Arosa, E 1: 50.000. *Publicaciones especiales del Instituto Español de Oceanografía*, Madrid, 15.
- VON RICHTHOFEN, F. (1886): *Führer für Forschungsreisende*. Oppenheim. Berlin. 745 pp.
- SCHEU, E. (1913): *Die Rias von Galicien. ihr Werden und Vergehen*. Zeitschrift Gesteine Erdkunde. Berlin. 50 p.
- SCHURTZ, H. (1902): An der Riasküste Galiciens. *Deutsche Geographischer Blätter.*, 25: 50-74. Bremen.
- TORRE ENCISO, E. (1954): Contribución al conocimiento morfológico y tectónico de la ría de La Coruña. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 52: 21-51.
- TORRE ENCISO, E. (1958): Estado actual del conocimiento de las rías gallegas. In: A.A.V.V. *Homenaje a R. Otero Pedrayo*: 237-250. Ed. Galaxia. Vigo.
- TRENHAILE, A. S., PÉREZ ALBERTI, A., MARTÍNEZ CORTIZAS, A., COSTA CASAS, M. y BLANCO CHAO, R. (1999): Rock coast inheritance: an example from Galicia, northwestern Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*: 24 (7): 605-621.
- VANDENBERGHE, J. (2003): Climate forcing of fluvial system development: an evolution of ideas. *Quaternary Science Reviews*, 22 (20): 2053-2060.

- VANDENBERGHE, J. (2008): The fluvial cycle at cold–warm–cold transitions in lowland regions: a refinement of theory. *Geomorphology*, 98 (3-4): 275-284.
- VANNEY, J. R., AUXIETRE, J.L. y DUNAND, J.P. (1979): Geomorphic provinces and the evolution of the northwestern Iberian continental margin. *Annales de l'Institut Oceanographique de Paris*, 55 (1): 5-20.
- VIANA-SOTO, A. y PÉREZ-ALBERTI, A. (2019): Periglacial deposits as indicators of paleotemperatures. A case study in the Iberian Peninsula: The mountains of Galicia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 30: 374-388.
- VIDAL ROMANÍ, J.R. (1984): A orixe das Rías Galegas. Estado da cuestión (1886-1983). *Cuadernos da Área de Ciencias Mariñas, Seminario de Estudos Galegos*, 1: 13-25.
- VILAS, F., BERNABÉU, A., RUBIO, B., y REY, D. (2019). The Galician Rías. NW Coast of Spain. In: Morales, J.A. (ed.), *The Spanish Coastal Systems*: 387-414. Springer, Cham.
- WILSON, J. T. (1963): Continental drift. *Scientific American*, 208 (4): 86-103.

---

Data recepció: 05.07.21

Data revisió: 15.07.21

Revisió acceptada: 28.08.21

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

Francesc X. ROIG-MUNAR <sup>1</sup>, José Ángel MARTÍN-PRIETO <sup>1</sup>, Bernadí GELABERT <sup>2</sup>, Carme GARRIGA <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Investigador independent, consultor ambiental. c/ Carritxaret 19, apt. 6, 07749 es Migjorn Gran, Menorca

<sup>2</sup> 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

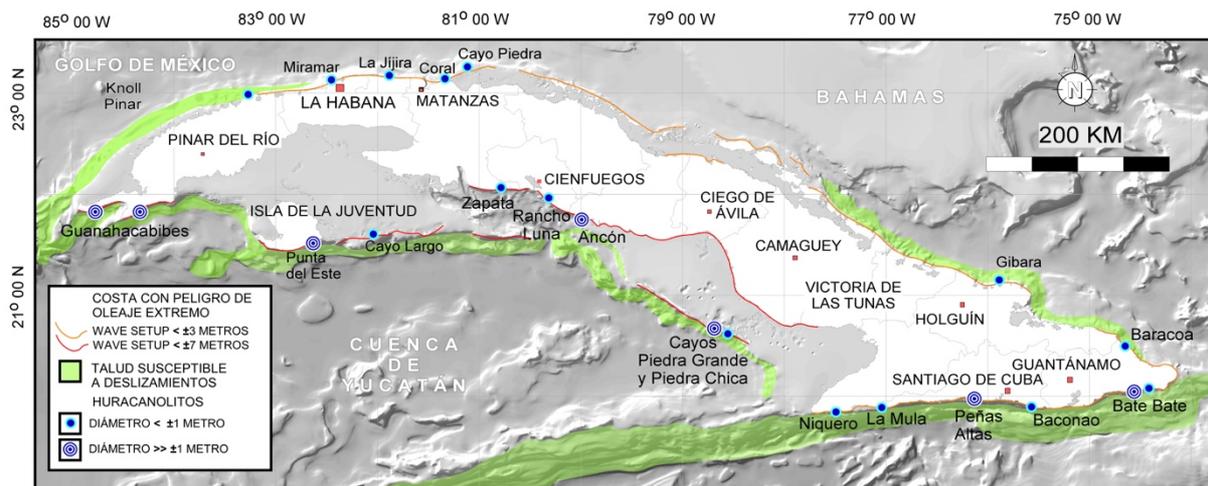


Fig. 3. Distribució d’“Huracanolitos” a l’illa de Cuba. Reproducció del mapa per cortesia del Dr. Iturralde-Vinent.

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.

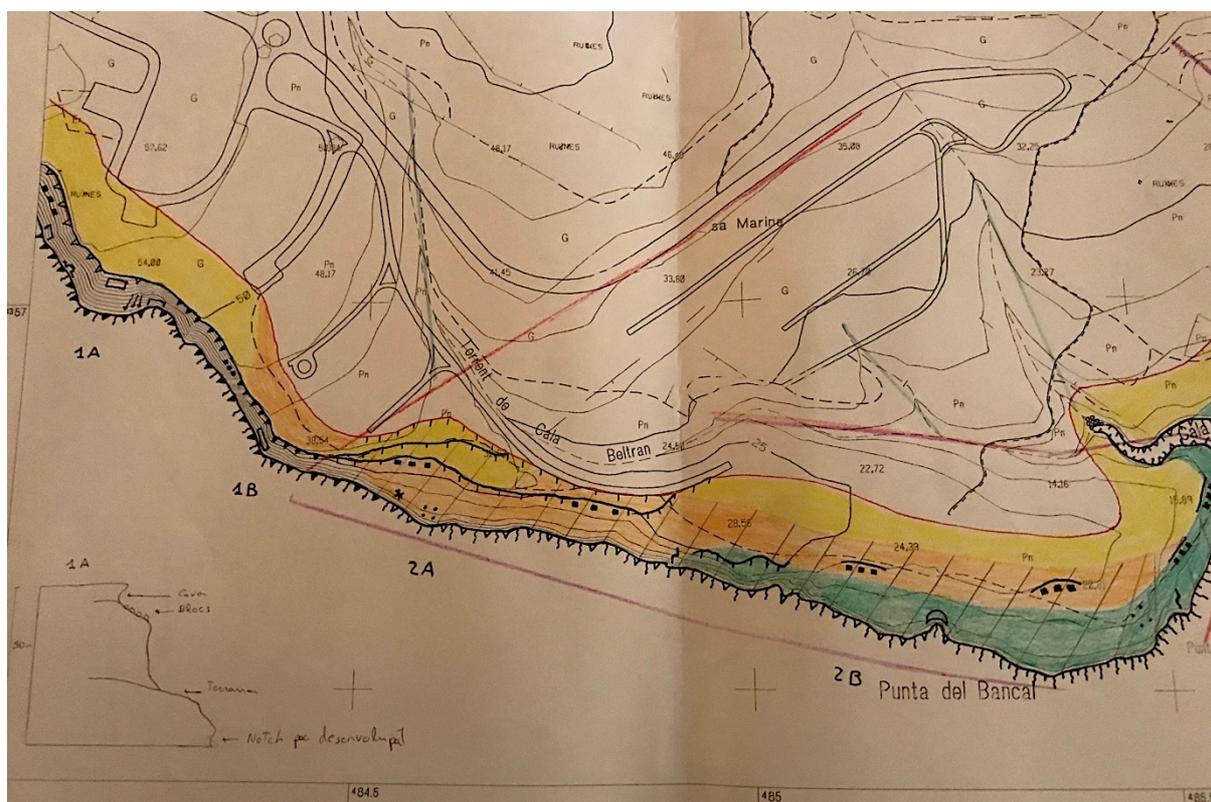
HISAMATU *et al.* (2017) estudiaven els blocs distribuïts sobre terrasses paral·leles a la línia de costa de la platja d’Ancón, província de Santi Cristi (Cuba), tot avaluant les característiques d’antics huracans o esdeveniments d’onatge extrem, realitzant un mapa de paleotempesteologia al voltant de 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

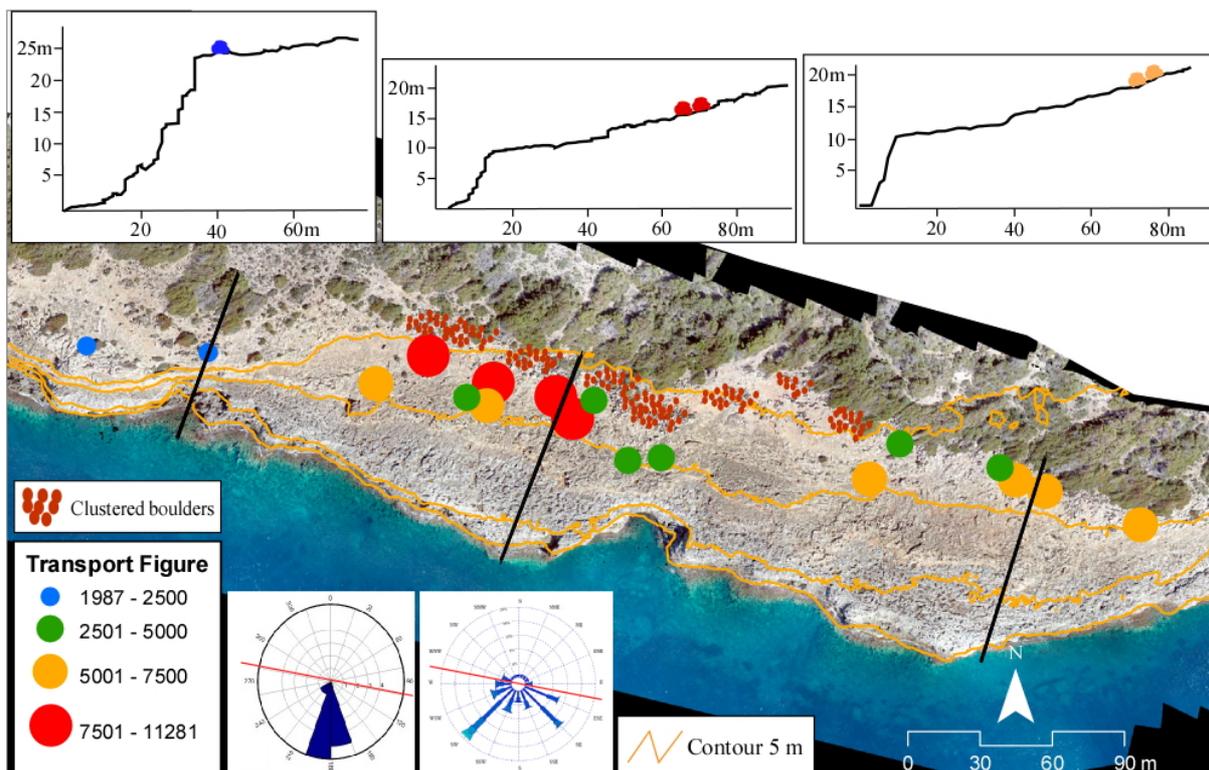
Arribats a Balears dels primers viatges a Cuba i amb la imatge de les formes d’acumulació de les costes de República Dominicana al cap, després de varies converses i debats respecte de processos

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 contemplin 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).

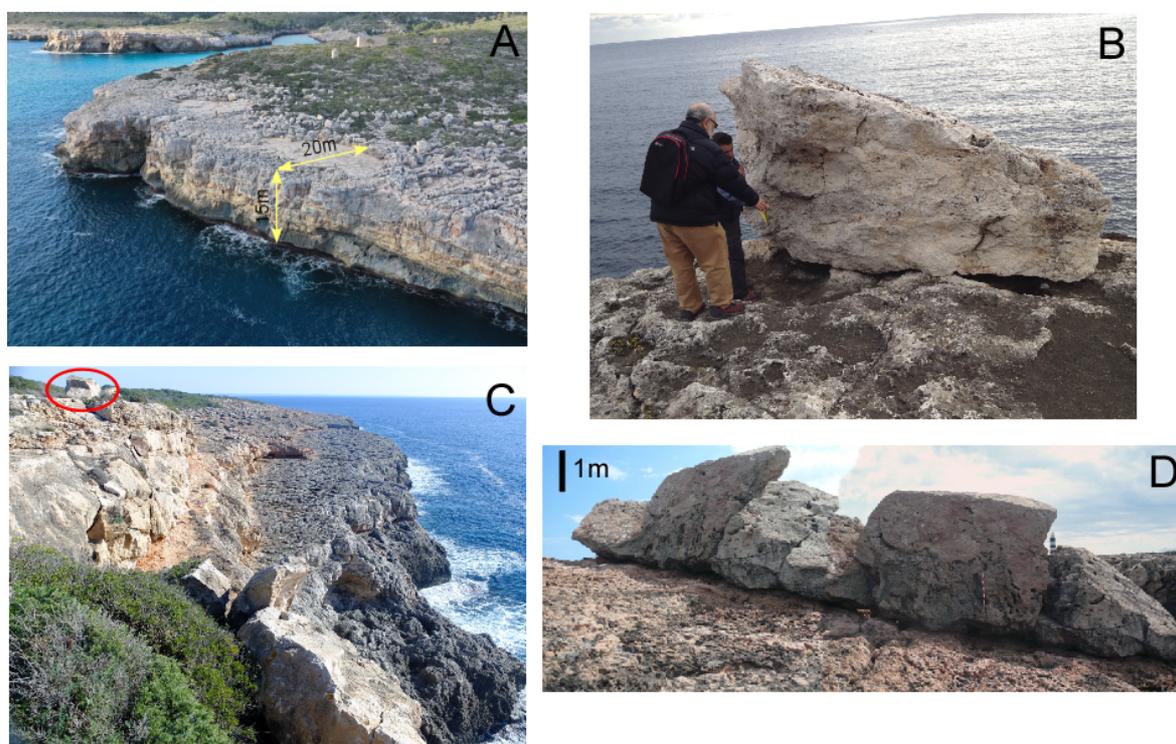
La conca de la Mediterrània occidental es caracteritza per una costa retallada que individualitza petites subconques, on l'energia de l'onatge està condicionada per la velocitat de vent i per la forma de la conca (CAÑELLES *et al.* 2007). Com a conseqüència, a la Mediterrània l'onatge difereix respecte 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'arenes 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  $^{14}\text{C}$  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 geogràfica*. 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.
- ROBLEDÓ, 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



# ESTUDIS GEOMORFOLÒGICS I GESTIÓ LITORAL AL SISTEMA PLATJA-DUNA DE TIRANT, NORD DE MENORCA (1998 – 2021)

Francesc X. Roig-Munar <sup>1</sup>, José Ángel Martín-Prieto <sup>1</sup>, Bernadí Gelabert Ferrer <sup>2</sup>, Carme Garriga <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Investigador independent – Consultor ambiental, C/ Carritxaret 18, apt. 6, 07749 es Migjorn Gran, Menorca.

<sup>2</sup> Departament de Biologia, Universitat de les Illes Balears, Ctra. de Valldemossa, km 7,5, 07122 Palma, Mallorca.

**Resum:** El sistema platja-duna de Tirant, N de Menorca, és un dels sistemes dunars on, d'ençà dels primers treballs geomorfològics de 1988, diferents autors han desenvolupat les seves anàlisis. Tot plegat fa que sia un dels sistemes dunars amb major nombre d'estudis de l'illa. En aquest article es repassen tots els treballs que s'han fet des del punt de vista de la geomorfologia litoral. Tirant és un sistema força antropitzat des de la dècada de 1970, moment en què s'inicià l'extracció d'arena al sector de dunes establitzades. Des de l'inici de les diferents investigacions s'ha posat de manifest la fragilitat del sistema dunar, especialment de la duna davantera com a conseqüència de la pressió antròpica i la freqüentació turística que pateix el sistema (quioscs, retirada indiscriminada de necromassa de *Posidonia oceanica*, neteja mecànica de la platja, extracció d'àrids, etc.). A partir de l'any 2000 s'ha dut a terme una gestió del front dunar per tal de mitigar l'erosió, que es va abandonar amb la crisi econòmica de 2008. Amb posterioritat i arran de l'evidència de nous episodis erosius s'ha retornat a la gestió de l'espai, però aquest cop sense resultats positius. En paral·lel el present treball també aborda l'anàlisi de diferents lòbuls de deflació (*blowouts*) presents al sistema amb l'ajuda de dos vols LIDAR (2014 i 2020) mitjançant Sistemes d'Informació Geogràfica. La comparació entre els dos vols LIDAR ha permès quantificar els canvis en la fisiografia i morfologia de cada *blowout*, així com la seva migració cap a l'interior del sistema dunar durant la darrera dècada, fins arribar a la zona d'extracció d'arena dels anys 70.

**Paraules clau:** *duna davantera, lòbuls de deflació, sistema dunar, Menorca.*

**Abstract:** The Tirant beach-dune system (Northern Menorca) is one of the most intensively studied dune systems from Menorca. Different authors have worked on it since the first geomorphological published work at 1988. This article reviews all the contributions that has been done since 1998 from the point of view of coastal geomorphology. Tirant has been a highly anthropogenic system since the 1970s, when sand mining destabilized the inland dune sector. Older works already illustrated the sensitivity of the foredune and their degradation because of anthropogenic pressure (kiosks, removal of *Posidonia oceanica* wrack, beach mechanical cleaning, sand extraction, etc.). Since 2000 the coastal management concentrate in mitigating erosion, but since 2013 because the economic crisis of 2008 these practices stopped. Lately and due to new erosive episodes management actions were reactivated, but without positive results. Additionally this contribution analyse the evolution of several blowouts by means of two Lidar flights between (2014 and 2020) and Geographic Information Systems. The comparison between the two time-stacks allows to establish the topographical and morphological changes on each blowout, as well as their migration towards the inner part of the dune system until reaching the former sand extraction area.

**Paraules clau:** *foredune, blowouts, dune systems, Menorca.*

## Introducció

Moltes de les gestions realitzades a les platges mediterrànies han partit de la concepció de la platja com a un solàrium d'arena, com a un recurs estrictament físic, sense considerar-ne de forma holística tots aquells elements que la defineixen com a sistema natural o bé totes aquelles gestions encaminades a la seva conservació (p.e., recuperació i manteniment dels seus sistemes i hàbitats o de les fonts de producció sedimentària).

La gestió del litoral, a nivell estatal, s'ha basat en la planificació, direcció i control dels recursos i la dotació de serveis; sense considerar-ne les característiques geoambientals. Els objectius turístics han inspirat –i inspiren– aquest enfoc mancat de planificació i d'una gestió escaient. El resultat d'aquesta gestió orientada al fet turístic ha resultat en processos de degradació i tensions que han exigit solucions que harmonitzin els interessos oferts i els explotats. Així les solucions adoptades en el camp de la gestió litoral s'han basat, principalment, en criteris estàtics de caire arquitectònic, d'enginyeria o d'enjardinament. Comptat i debatut, aproximacions que no han donat solucions a mig termini i, que en

alguns casos, acaben abocant a una dependència d'intervencions artificialitzadores sostingudes en el temps (RODRÍGUEZ-PEREA *et al.*, 2000).

En les últimes dècades s'ha pres consciència del deteriorament constant dels ecosistemes litorals i entre ells dels sistemes dunars. L'estabilitat i equilibri de les dunes costaneres depenen de diferents factors com: el subministrament d'arena, la taxa de transport sedimentari (DELGADO-FERNÁNDEZ, 2011), l'onatge i el vent (WALKER *et al.* 2006), l'estat de la platja a llarg termini (DAVIDSON-ARNOTT *et al.*, 2005), l'ocurrència i la magnitud de tempestes o el paper de la vegetació (MIOT da SILVA *et al.* 2008). L'impacte humà sobre les dunes ha estat àmpliament estudiat, tot apuntant entre les causes de degradació el desenvolupament turístic massiu, la construcció de passejos marítims i la desaparició dels sistemes dunars litorals, una elevada pressió antròpica, la instal·lació de serveis físicament sobre les dunes, o fins i tot la pràctica de mesures de gestió incorrectes (NORDSTROM, 2008).

Per pal·liar aquests processos, focalitzats en la pèrdua de platges, morfologies i vegetació, s'han aplicat històricament estratègies d'adaptació que han condicionat la seva evolució al llarg de les darreres dècades mitjançant la gestió i/o defensa de la costa (LITHGOW *et al.* 2013). Segons ROIG-MUNAR (2011) les actuacions de caràcter intervencionista estan condicionades per les característiques genètiques de cada espai, destacant:

- a) Actuacions dures: es tracta de la ubicació d'estructures que tenen per objectiu dissipar l'energia de l'onatge (p.e. dics, esculleres i espigons) amb l'objectiu de retenir sediment i evitar l'erosió de la costa.
- b) Actuacions toves: Segons CHARLIER i DE MEYER (1989) es basen en el "respecte" al medi, i a dins les que s'encabirien accions com les regeneracions artificials de platges.
- c) Actuacions sostenibles: Són aquelles accions que malden per emular els processos naturals del sistema. L'objectiu final és la restauració de l'equilibri dinàmic entre la platja emergida i el sector dunar només tindran èxit en espais que permetin el desenvolupament de morfologies dunars i la colonització vegetal, sense aportació de materials sedimentaris exògens del propi sistema (ROIG-MUNAR *et al.*, 2009). Les actuacions sostenibles són les més adequades per preservar i recuperar els sistemes platja-duna des d'una perspectiva geoambiental; encara que socioeconòmicament poden ser complexes d'implementar i no ajustar-se als calendaris de les expectatives a curt termini, ja que requereixen amplis espais on recuperar morfologies i temps prolongats en la seva restauració.

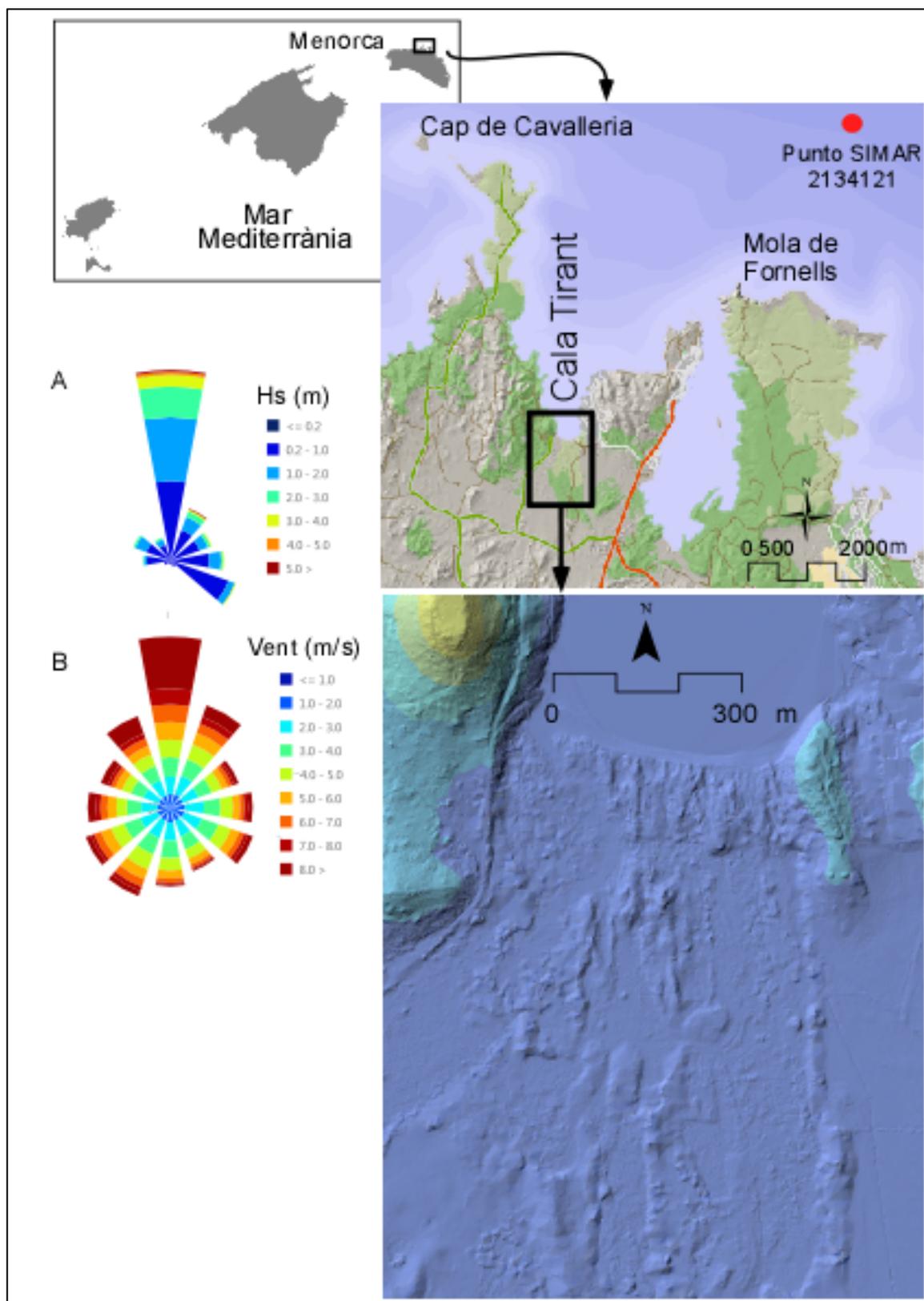
## Àrea d'estudi

Cala Tirant es localitza a la part central de la façana litoral nord de Menorca, entre els promontoris del cap de Fornells, a la seva part oriental, i el cap de Cavalleria, a la occidental. La badia que l'acull es disposa amb una orientació N-S (Fig. 1). És un sistema platja-duna molt actiu, arran dels importants embats i per la canalització dels vents de Tramuntana, els quals condicionen el dinamisme del sistema dunar i el seu desenvolupament terra endins.

La cala presenta un clima semi-àrid, amb una precipitació mitjana anual al voltant dels 630 mm (MIR-GUAL, 2014). Segons les dades que ofereix el Punt SIMAR 2134121 de la xarxa d'observacions oceanogràfiques que Puertos del Estado, per al període 1958-2020, el vent del N és el més recurrent, i el que presenta un major nombre de dies amb velocitats superiors als 6 m/s. En termes generals aquest bufa a velocitat que oscil·len entre els 1-8 m/s, arribant a superar els 8 m/s en més d'un 10% dels dies (Fig. 1).

Pel que respecta a l'onatge, la direcció principal és de component N, on les estimacions per al mateix període, indiquen que el 65,9% de l'onatge té una altura d'ona significant ( $H_s$ ) inferior a 1 m, mentre el 6,1% dels registres supera els 3 m d' $H_s$ . Durant els episodis energètics, l'onatge pot superar  $H_s$  de 5 m, principalment al llarg del període hivernal i associat als temporals de Tramuntana. Pel que fa a l'oscil·lació del nivell mitjà del mar es tracta d'un règim micromareal amb un oscil·lació inferior a 0,25 m (Fig. 1). El temporal amb major altura d'ona registrat a la cala va esdevenir el 25 de gener de 2015,

amb una  $H_s$  de 8,72 m, amb un període de 12,5s i una direcció procedent del N. Pel que fa al període d'ona, en un 81% dels casos és inferior als 7s i només supera els 8s en un 4,8 % dels casos.



**Fig. 1.** Ubicació de l'àrea d'estudi del sistema platja-duna de Tirant, Menorca. Font cartogràfica: ideib.cat, LIDAR: Instituto Geográfico Nacional; Roses d'onatge (A) i vent (B): Puertos del Estado.



## Antecedents

El sistema platja-duna de Tirant (Fig. 1) va ser explotat per a l'extracció d'àrids entre els finals dels anys 1970 i 1990. Tot i que no és possible fixar la data d'inici de l'activitat a partir d'una base documental, l'extracció d'arena es remuntaria com a mínim a l'any 1979 (GARRIGA-SINTES *et al.* 2017). El volum d'àrids que es varen extreure va ser tan important, que va arribar a exposar en superfície el nivell freàtic, donant lloc a la creació de basses temporals dins de les zones d'extracció, en el si del sector de dunes estabilitzades. Aquesta extracció no va arribar a envair la zona dunar davantera ni les primeres dunes mòbils. El resultat de les actuacions extractives va suposar un impacte en el sistema dunar semi-estabilitzat, amb una pèrdua sedimentària que va assolir la seva màxima extensió el 1995 amb un esvoranc de 176.208 m<sup>2</sup> de superfície i de potència superior als 5 m (GARRIGA-SINTES *et al.* 2017).

El sistema platja-duna fou descrit per primer cop per RITA *et al.* (1988). La importància del treball, de més a més, rau en què la memòria ve acompanyada de la primera cartografia geomorfològica de sistemes dunars realitzada a Balears. L'estudi en qüestió analitzava l'estat geoambiental de Tirant amb una cartografia detallada per cada un dels aspectes estudiats: vegetació, geomorfologia i usos. RITA *et al.* (1988) varen dividir el sistema en 3 subsectors (Fig. 2):

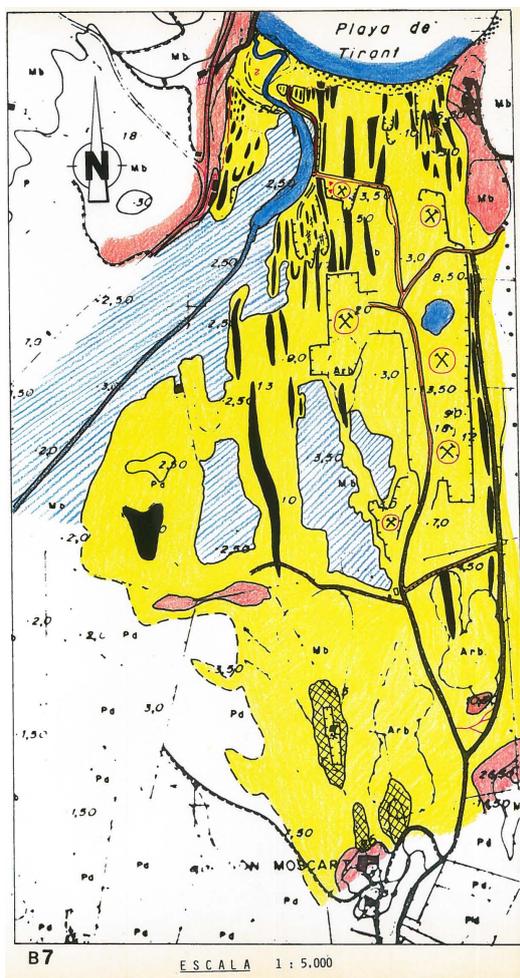


Fig. 2. Cartografia geomorfològica del sistema dunar de Tirant, segons Rita *et al.* (1988).

1a) La platja i el primer front dunar: des del punt de vista geomorfològic la platja presentava símptomes d'erosió i restava afectada per instal·lacions recreatives no permanents.

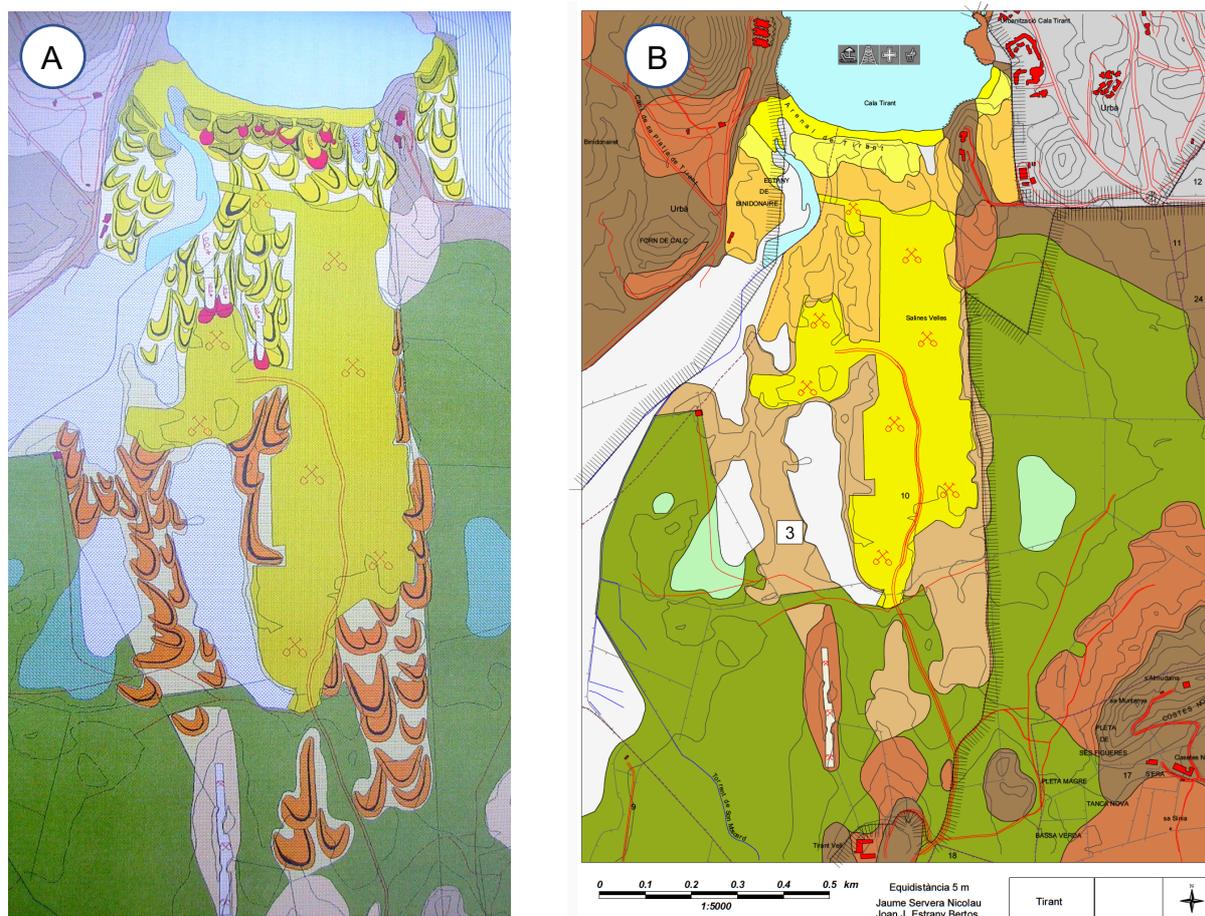
1b) Grans cordons dunars: format per dunes longitudinals que eren afectades per les extraccions d'àrids.

1c) Subsector associat a la desembocadura del torrent: amb una dinàmica controlada pel torrent, i afectada per les accions mecàniques de recollida i emmagatzemant d'"algues" (sic.) i de la neteja de platja.

Segons RITA *et al.* (1988), l'estat de conservació de Tirant era regular, amb un elevat nombre de factors de perturbació del conjunt del sistema: un ús recreatiu intens de platja, el primer cordó dunar i marges del torrent amb usos intensos (banyistes, quioscos, aparcament, retirada i acumulació de restes de *Posidonia oceanica*, neteja mecànica de la platja), presència d'extraccions locals d'arena, incendis, abocament de runes, proliferació de camins i localització d'antigues pedreres. En general el 1988, el sistema presentava una elevada fragilitat. RITA *et al.* (1988) varen recomanar accions per la seva gestió; entre d'altres: el manteniment de l'estat de les zones ben conservades i la recuperació de les que presentaven alteracions reversibles. De més a més també varen proposar delimitar els usos que provocaven perturbacions, com ara l'estacionament de vehicles, la instal·lació de quioscs, papereres, els usos a l'interior del sistema, les accions de gestió amb maquinària pesada i la prohibició de circulació de vehicles a l'interior del sistema dunar.

Una dècada després, SERVERA (1997 i 2003) realitzà una descripció del sistema dunar de Tirant associada a una cartografia geomorfològica, en base a les zonacions morfològiques del adoptant l'esquema del conjunt platja-duna com una unitat funcional (Fig. 3). L'autor esmentà que les formes dunars davanteres (*foredunes*) es trobaven molt desestabilitzades

per la pressió antròpica. Aquestes formes dunars, colonitzades per *Ammophila arenaria*, presentaven un gran nombre de lòbuls de deflació, de tipus *through blowout* i en menor mesura de *saucer blowouts*. A més a més d'aquestes formes erosives, en el seu front, en contacte amb la platja i com a resultat de les activitats de neteja mecànica de la platja amb maquinària pesada, el cordó dunar presentava un important talús d'erosió. Segons SERVERA (1997) el camp de dunes mòbils i semi-estabilitzades disposava d'una franja d'amplitud variable, situada per darrere les *foredunes*. Precisament en aquest sector del camp dunar, a la dècada dels vuitanta, al lateral oriental de l'albufera, el sistema va patir una reducció de la superfície, com a conseqüència d'importants extraccions d'arena. Al sector central, el més ampli del sistema, les dunes mòbils i semi-estabilitzades es reduïen a una estreta franja que transcorria immediatament per darrere de les *foredunes*. La resta de formes dunars foren eliminades a conseqüència de la extracció d'arena, donant lloc a punts d'una intensa reactivació dels processos eòlics, que es traduïren en l'obertura d'importants canals de deflació direcció terra-endins. Així mateix SERVERA (1997) esmenta que el sector de dunes estabilitzades també fou molt afectat per les extraccions d'àrids i estima una reducció de més d'un 50% de la superfície que ocupava el sistema dunar. No obstant això, la major pèrdua de superfície de dunes era deguda al trencament agrari dels marges exteriors del sistema. Segons SERVERA (1997, 2003) l'avaluació geo-ambiental del sistema platja-duna permeté constatar com les actuacions antròpiques havien tingut un paper important en la configuració del modelat actual, destacant la neteja mecanitzada i la retirada sistemàtica de les bermes vegetals de *Posidonia oceanica* entre els impactes més reiterats i transcendentals. Justament, a les zones on els mecanismes naturals de recuperació són, en la majoria de casos, infructuosos, ja que els impactes es generen a un ritme més intens que la velocitat amb què culminen els processos naturals de recuperació, entrant en una dinàmica en espiral que pot acabar amb la desaparició de sistema platja-duna.



**Fig. 3.** (A) Cartografia geomorfològica del sistema dunar de Tirant, segons SERVERA (2003). (B) Cartografia geomorfològica del sistema dunar de Tirant, segons SERVERA i ESTRANY (2002).

ROIG-MUNAR i COMAS-LAMARCA (2004) classifiquen els sistemes platja-duna de Menorca, on aplicaren mesures de planificació, ús i gestió, amb els criteris establerts per RODRÍGUEZ-PEREA *et al.* (2000), i amb l'objectiu de modificar la gestió i que aquesta tingués un caire més sostenible i permetés la renaturalització dels sistemes, eliminant algunes gestions de caire erosiu. La platja de Tirant es classificà com a tipologia B, que es caracteritza per estar situada en una Àrea Natural d'Espècial Interès, amb elevats índex de freqüentació, accessibilitat rodada propera i sense serveis de platja (bar, parasols, socorristes, etc.), limitant la neteja mecànica i la retirada de restes de *Posidonia oceanica*, tot donant compliment a les recomanacions realitzades per RITA *et al.* (1988) i SERVERA (1997), així com a les propostes de RODRÍGUEZ-PEREA *et al.*, (2000).

ROIG-MUNAR (2011) va assenyalar que la gestió de sistema platja-duna de Tirant va ser realitzada històricament amb mesures poc adequades; entre les quals la retirada de bermes vegetals de *Posidonia oceanica* al llarg de tot l'any sota arguments d'aprofitament turístic i ramader, la neteja mecànica i l'extracció d'arenas. Així mateix, el front dunar va ser utilitzat com a àrea de serveis, estacionaments, quioscos i salvament, amb un ús recreatiu intens que agreujà les causes ja descrites per altres autors (RITA *et al.*, 1988; SERVERA, 1997). Dins el Pla de gestió de platges del Consell Insular de Menorca, redactat l'any 2000, el sistema dunar davant de Tirant va ser objecte d'accions encaminades a la seva renaturalització, restringint la retirada de *Posidonia oceanica* al llarg de tot l'any i la mecanització de la neteja, atesos els efectes erosius que de forma directa i indirecta estan associats a dita pràctica (ROIG-MUNAR i MARTÍN-PRIETO, 2005). Paral·lelament es van eliminar les concessions temporals de platja, tant serveis de quioscs com serveis d'hamaques. En relació a la gestió de l'erosió i degradació de les dunes, les actuacions varen consistir en la instal·lació de diferents tipus de captadors d'interferència eòlica als fronts dunars i dins morfologies erosives tipus *blowout*, tanques per impedir o dissuadir el pas d'usuaris dins el sistema dunar i evitar el seu ús com a zona de repòs. Els primers anys s'utilitzaren restes de bermes de *Posidonia oceanica* com a elements per la recuperació de canals de deflació interns. Aquesta gestió va desenvolupar-se fins a l'any 2012. Amb l'inici de la crisi econòmica del 2008 (2012), la gestió deixà de tenir continuïtat, i com a conseqüència s'ha constatat de nou la fragmentació del front dunar i la reactivació de morfologies transgressives, així com la creació de nous canals de deflació de direcció N-S, que han envaït i reactivat el conjunt de el sistema fins arribar a la zona de l'antiga pedrera d'àrids (ROIG-MUNAR *et al.*, 2018).

Un dels darrer treballs a propòsit de Tirant és el capítol que MIR-GUAL (2014) hi dedica a la seva tesi. Segon l'esmentat autor, la pressió turística associada a la platja i la manca de mesures de gestió amb el sistema al llarg de molts anys va suposar la desaparició quasi bé total del *foredune*. No obstant, dit autor esmenta que al llarg de les darreres dècades els esforços destinats a la seva recuperació semblen tenir èxit, tot identificant a 2014 l'existència d'un cordó embrionari de primera duna o *foredune*. Segons MIR-GUAL (2014) al llarg dels 350 m del front de platja de Tirant es poden apreciar un total de 7 morfologies erosives, algunes d'elles de dimensions considerables, amb una distribució no homogènia, concentrant-se el major nombre d'aquestes formes a la part occidental del front dunar, coincidint, justament, amb l'accés preferencials dels usuaris de platja (Fig. 4). Pel que fa al sector de dunes mòbils o semi-estabilitzades, aquestes presenten una cobertura vegetal important i es desenvolupen terra endins d'una manera considerable. La presència de *blowouts* en primera línia ha fet que hi hagi algunes intrusions sedimentàries importants, que prenen forma de grans lòbuls de deposició que s'estenen terra endins, i que suposen una reactivació notable del sistema. Segons aquest autor, el cas de Tirant és un bon exemple per il·lustrar la recuperació de la línia de *foredune* a partir de l'aplicació de mesures de gestió blanques. MIR-GUAL (2014) presenta una sèrie de propostes de gestió i intervenció sobre la primera línia de duna i la importància de la vegetació com a mesura efectiva de gestió, tractament integrat de les morfologies *blowout* i el seu segellament per la recuperació del front dunar.

Posteriorment, ROIG-MUNAR *et al.* (2018) avaluen l'estat ambiental del cordó dunar davant d'acord amb la classificació de HESP (2002) que classificà l'estat ambiental de *foredunes* en 5 estadis (sent l'estadi 1 òptim i el 5 degeneratiu). Els mateixos autors destaquen que el sistema platja-duna de Tirant com a conseqüència de l'aplicació de diferents mesures de gestió (p.e. tancament accessos i captadors eòlics) va a migrar de l'estadi 5a l'estadi 3 entre el 2000 i el 2012. Però a partir de l'any 2017

retornà a un estadi 5 amb la reactivació de morfologies erosives en tot el sistema dunar, a causa d'un abandonament en la gestió. GARRIGA-SINTES *et al.* (2017) remarquen que la manca de un pla de restauració continu i efectiu de l'espai i l'acceleració de els processos erosius de el sector davanter, ha facilitat el desenvolupament de dos *blowouts* que avancen cap al interior de sistema, respectivament 61,5 m i 40,3 m entre els anys 2002 i 2016 (Fig. 5). D'altra banda, PONS i MIR-GUAL (2018) esmenten que el sistema dunar de cala Tirant presenta un estat de conservació en recuperació, tot i que la línia de dunes davanteres presenta, encara, importants signes de degradació, fragmentació i reactivació (GARRIGA-SINTES *et al.*, 2017; ROIG-MUNAR *et al.*, 2018)

L'any 2019 es va elaborar un document en què s'anализava l'evolució històrica de la línia de costa de Menorca entre els anys 1956 i 2015 (MARTÍN-PRÍETO *et al.* 2019). En aquest treball per a cala Tirant es quantifica un retrocés mitjà de la seva línia de costa de 12,3 m per als darrers 59 anys, el que implica una taxa de canvi de la línia de costa de -0,31 m/any. Tanmateix el sector de platja més oriental ha experimentat una erosió màxima 23,2 m (any 2012), mentre que el sector central exhibeix taxes de canvi molt més baixes. Entre els anys 2002 i 2008 hi ha un alentiment dels processos erosius, però que s'incrementen l'any 2012. Entre aquest darrer any i el 2015, els processos s'inverteixen amb una notable de acreció de la platja que pot arribar a representar un avançament de la línia de costa de 10 m.

Finalment el treball més recent a propòsit de Tirant és el de GARCIA-LOZANO *et al.* (2021) on s'esmenta que la gestió del litoral a Menorca en els darrers anys han seguit dinàmiques que s'allunyen de l'aplicació dels criteris tècnics sostenibles i es constata un retorn a antics models de gestió que donen a fenòmens d'erosió i a l'inici d'una nova fase de degradació dels sistemes

### Objectiu, materials i mètodes

L'objectiu principal d'aquest treball consisteix a cartografiar l'evolució del sector de dunes mòbils i semi-estabilitzades del sistema-platja-duna de Tirant, tant pel que fa a la seva dinàmica i problemàtica com a l'anàlisi de la seva gestió.

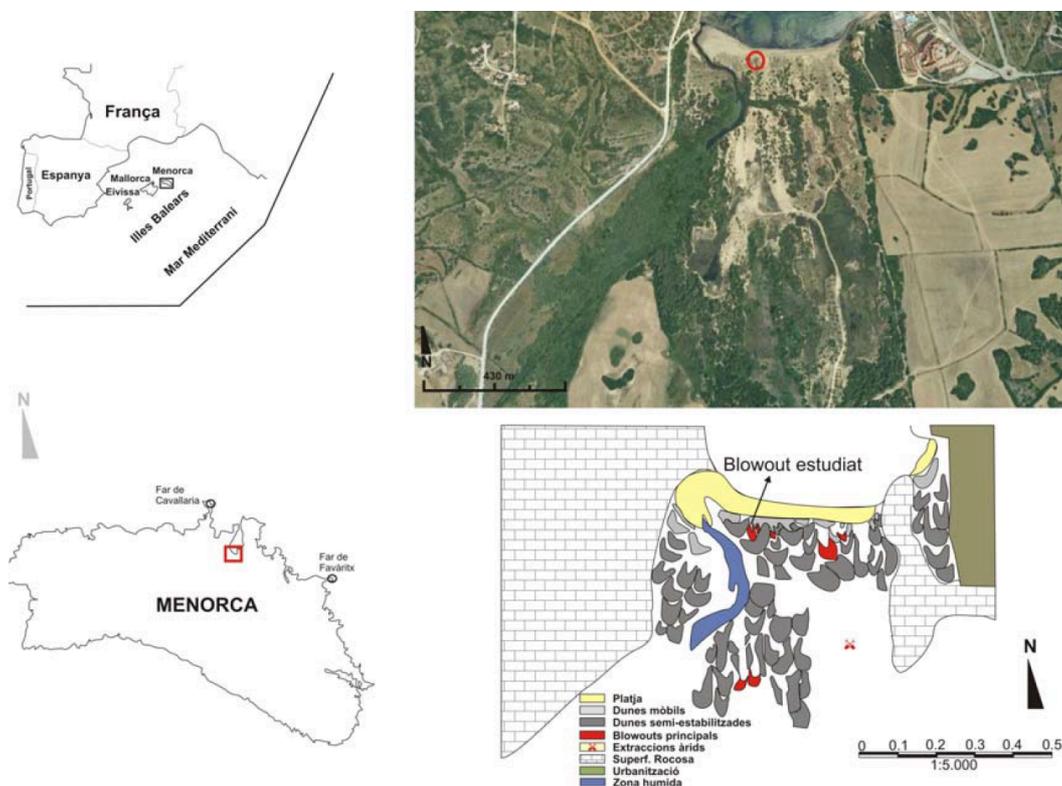


Fig. 4. Cartografia geomorfològica del sistema dunar de Tirant segons MIR-GUAL (2014).

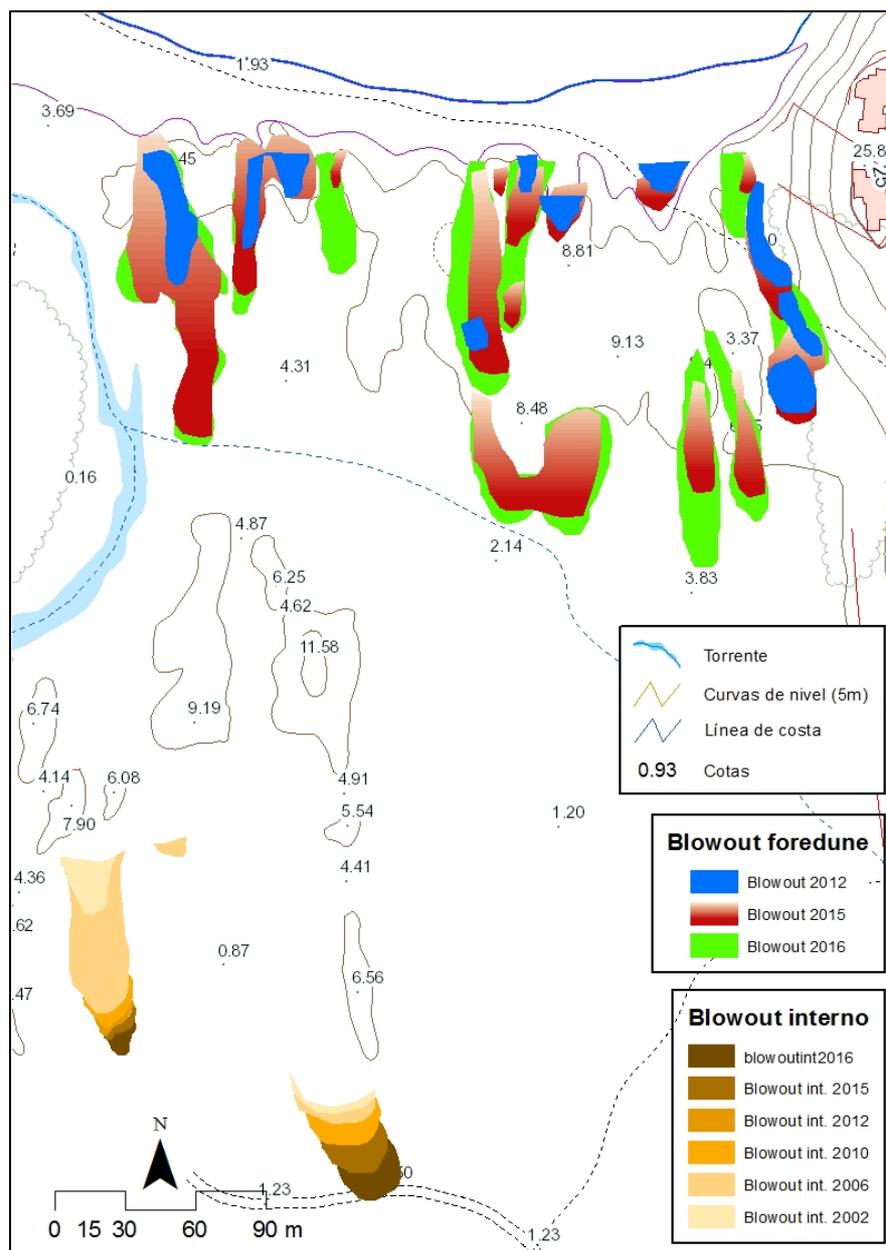


Fig. 5. Cartografia geomorfològica del sistema dunar de Tirant, segons GARRIGA *et al.* (2017).

Per dur-ho a terme s'ha treballat amb capes de nívols de punts corresponents a dos vols LIDAR, que proporciona el *Centro Nacional de Información Geográfica, CNIG*. S'han emprat els arxius corresponents al vols de l'any 2014 i 2019 amb una cobertura de superfície de 2x2 km: PNOA\_2014\_BAL\_594-4434\_ORT-CLA-RGB, PNOA\_2014\_BAL\_592-4434\_ORT-CLA-RGB, PNOA\_2019\_BAL\_594-4434\_ORT-CLA-RGB i PNOA\_2019\_BAL\_592-4434\_ORT-CLA-RGB.

Els nívols de punts presenten una densitat de 0,5 y 1 punt/m<sup>2</sup> per al vol de 2014 y de 2020 respectivament. A partir de les dades LIDAR i mitjançant un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG), s'han generat models digitals de elevacions (MDE) amb una resolució horitzontal d'1 m i amb una precisió vertical i horitzontal inferior a 20 cm i a 30 cm respectivament, sobre una quadrícula de 2x2 km (Taula 1). A partir del núvol de punts LIDAR es generen models digitals del terreny (MDT) en què només s'inclou la superfície del terreny i no es carreguen les capes corresponents a la vegetació i les edificacions.

La superfície d'anàlisi s'ha delimitat a partir d'un polígon d'iguals dimensions per als dos vols LIDAR, per tal de comparar-ne les diferències i determinar l'evolució de les formes al llarg del període d'estudi

**Taula 1.** Característiques dels vols LIDAR analitzats. Font: CNIG.

	2014	2020
Resolució (P/m <sup>2</sup> )	0.5	1
Dimensions píxel		0.15 m
RMSE (x/y)	0.3 m	0.3 m
RMSE (z)	0.2 m	0.15 m
Data	18-oct.	13-gen.
Fitxers	2x2 km	2x2 km

que abasta del 18 d'octubre de 2014 al 13 de gener de 2020. A partir dels dos MDTs s'ha creat una capa ràster per a cada vol, i mitjançant el SIG, a partir de l'eina *Spatial Analyst*, s'ha pogut determinar les variacions del terreny entre les dos vols. De la substracció d'ambdues capes en resultant una tercera capa ràster que mostra la diferència de cota per al període temporal analitzat. (Fig. 6).

## Resultats

A la Fig. 6 es pot observar la diferència altimètrica en el període comprès entre els vols LIDAR de 2014 i 2020, un període de 5 anys i tres mesos. El sector que presenta major activitat es situa sobre les dunes mòbils ubicades darrera la duna davantera, coincidint amb els punts on es desenvolupen varis *blowouts* que ja varen ser descrits per RITA *et al.* (1988) i analitzats per MIR-GUAL (2014). Atès que el període analitzat coincideix amb el marc cronològic en el qual s'ha produït un canvi en el model de gestió del sistema platja–duna de Tirant, les dades vendrien a confirmar que la manca de gestió associada a manca de manteniment, ha resultat en el desenvolupament processos erosius importants que s'ha manifestat en l'organització de morfologies transgressives cap l'interior del sistema dunar.

Per a aquest estudi s'han analitzat els 4 sectors més dinàmics (Fig. 5) que coincideixen amb les àrees exposades per RITA *et al.* (1988), SERVERA (1997), ROIG-MUNAR (2011), MIR-GUAL (2014) i GARRIGA-SINTES *et al.* (2017).

**Sector A:** és el que presenta el major avanç cap l'interior del sistema, mostrant importants taxes erosives que incrementen la superfície del canal de deflació. que es manifesta en el desenvolupament d'un important lòbul de deposició. A la Fig. 7 es pot apreciar en un tall transversal del *blowout* (perfil inferior), com s'ha incrementat de manera notable el canal de deflació, tant en amplària (entre 7 i 8 m) com en alçària amb una diferència vertical en ambdós parets que arriba fins els 3,5 m. Tot plegat fa que el seu pendent sigui el 2020 més suau que al 2012 (Fig. 8), o que n'hagi augmentat la profunditat (0,5 m). Aquesta morfologia arranca a partir de la *foredune* amb una altura de 3,1 m i transporta importants volums de sediments terra endins, amb processos d'esllavissades de les seves parets que evidencia el desarrelament de vegetació arbustiva (Fig. 8, fotografia corresponent a 2016). A la figura 7, a partir del tall longitudinal es pot apreciar la disminució en altura del lòbul (ca. 1 m.) i la sobreexcavació d'aquest, així com el seu desplaçament al voltant de 27 m terra endins. A la figura 8 es pot apreciar com s'ha incrementat la cubeta de deflació del *blowout* entre els anys 2012 i 2016, així com en el seu avanç ha anat soterrant vegetació arbustiva. Si s'observa en direcció cap a terra (Fig. 8) es pot apreciar com l'amplària s'ha incrementat i ha desaparegut la vegetació herbàcia i arbustiva, com al 2012 formava un canal ben desenvolupat i com al 2021 las parets han gairebé desaparegut. A partir de l'any 2017 s'hi han instal·lat dues barreres d'interferència eòlica per intentar mitigar els processos erosius tant a la *foredune* com a l'interior del canal de deflació, tanmateix amb resultats poc significatius (Fig. 8, fotografia corresponent a l'any 2020).

**Sector B.** Aquest sector se situa al centre de la platja, per sobre una forma de duna davantera que arriba a una altura de 2,5 m. Aquesta morfologia és el resultat de la coalescència de tres *blowouts* que avancen cap a terra (Fig. 9, vid. Fig. 6 per a localització). Es tracta de formes erosives amb importants talussos on es produeixen esllavissades per col·lapse i que contribueixen a l'increment en amplària del

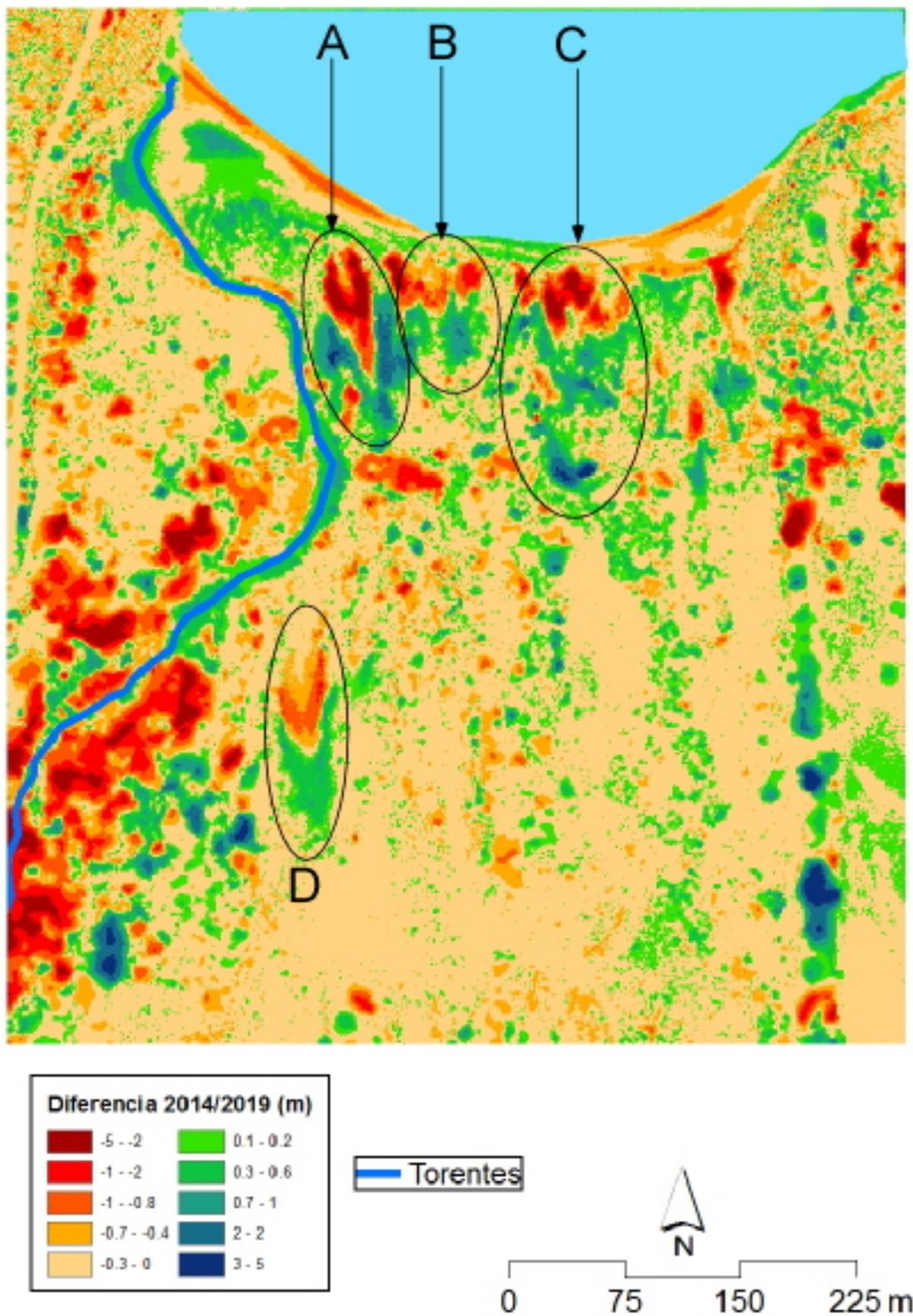


Fig. 6. Canvis en la cota topogràfica al sistema dunar resultat de la comparació dels vols LIDAR de 2014 i 2020.

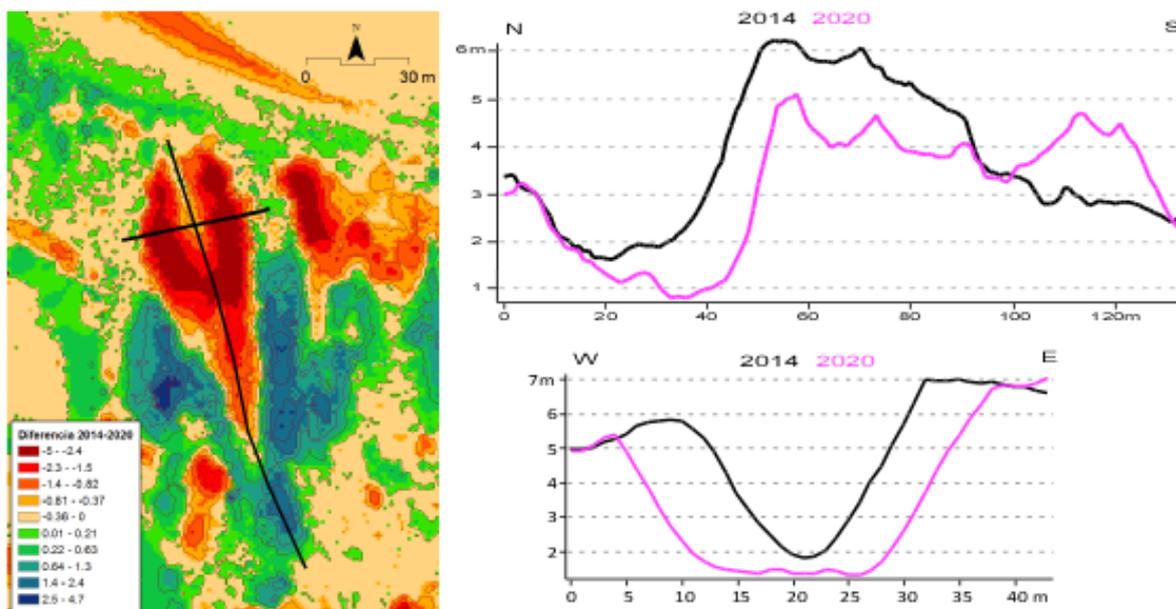


Fig. 7: Perfil transversals del *blowout* situat en el sector A, a partir del MDT (corbes de nivell: 5 m).

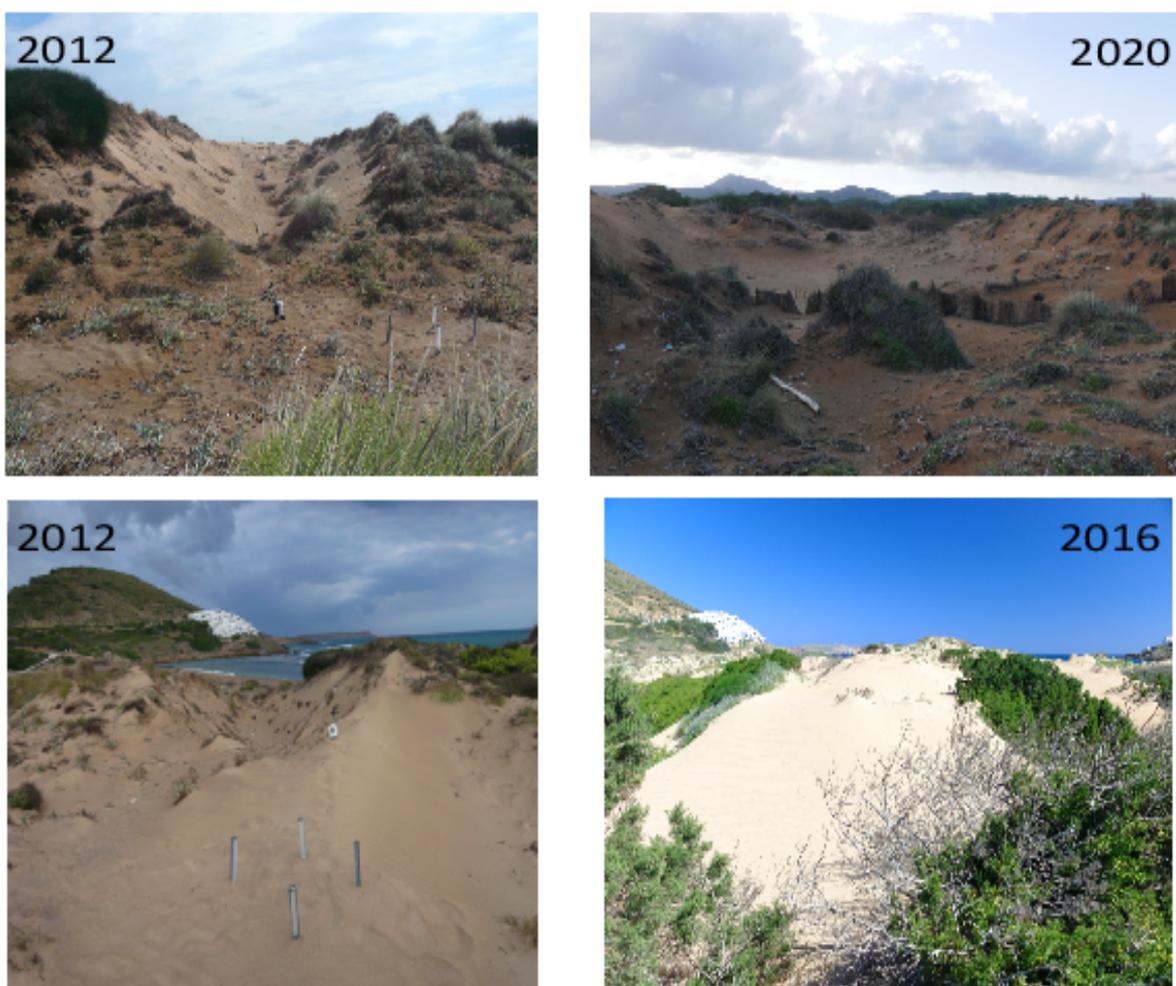


Fig. 8. Vistes cap a terra (esquerre) i cap a la mar (dreta) del *blowout* del sector A (vid. localització a la Fig. 6).



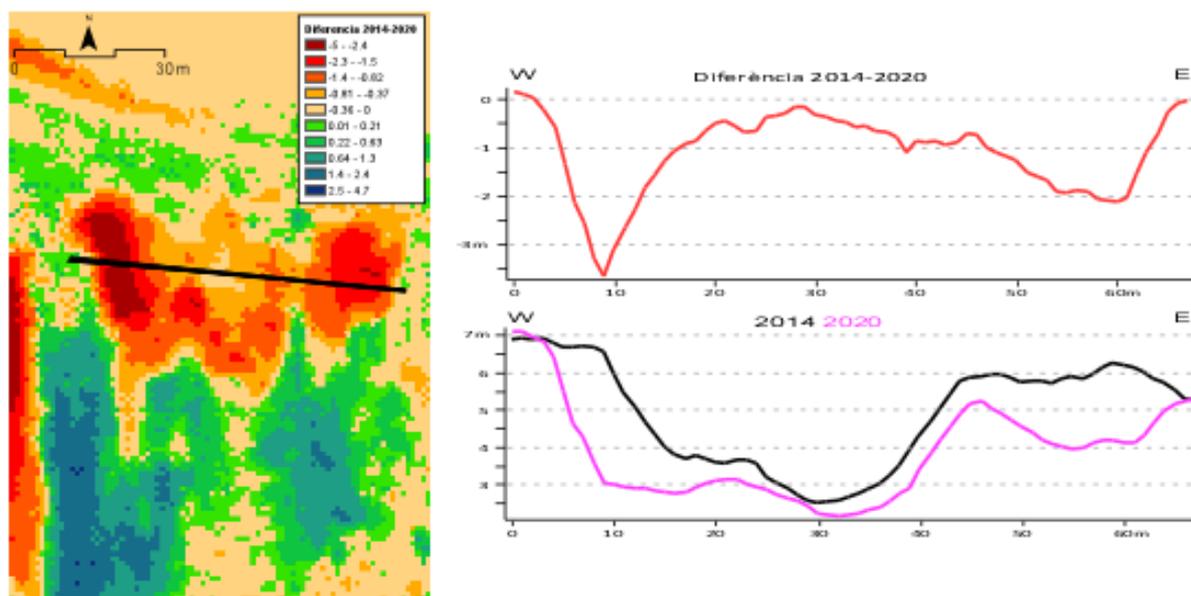


Fig. 9: Perfil transversals del *blowout* situat en el sector B, a partir del MDT (corbes de nivell: 5 m).

*blowout* de fins a 9 m i altres 3,5 m de profunditat a la paret W; així com una disminució constant de la cubeta de deflació al llarg de tot el perfil (Fig. 9). A l'altre costat, a la paret E, el *blowout* es profunditza fins a 2 m entre els anys 2014 i 2020, justament allà on el lòbul central avança 20 m terra endins.

A la figura 10 es pot apreciar l'evolució d'aquest sector de dunes mòbils des de l'any 2004 fins al 2021, observant l'increment en amplària, especialment entre els anys 2011 i 2018, i que continua, però



Fig. 10. Vistes panoràmiques del *blowout* del sector central mirant cap l'Est (vid. localització a la Fig. 6).

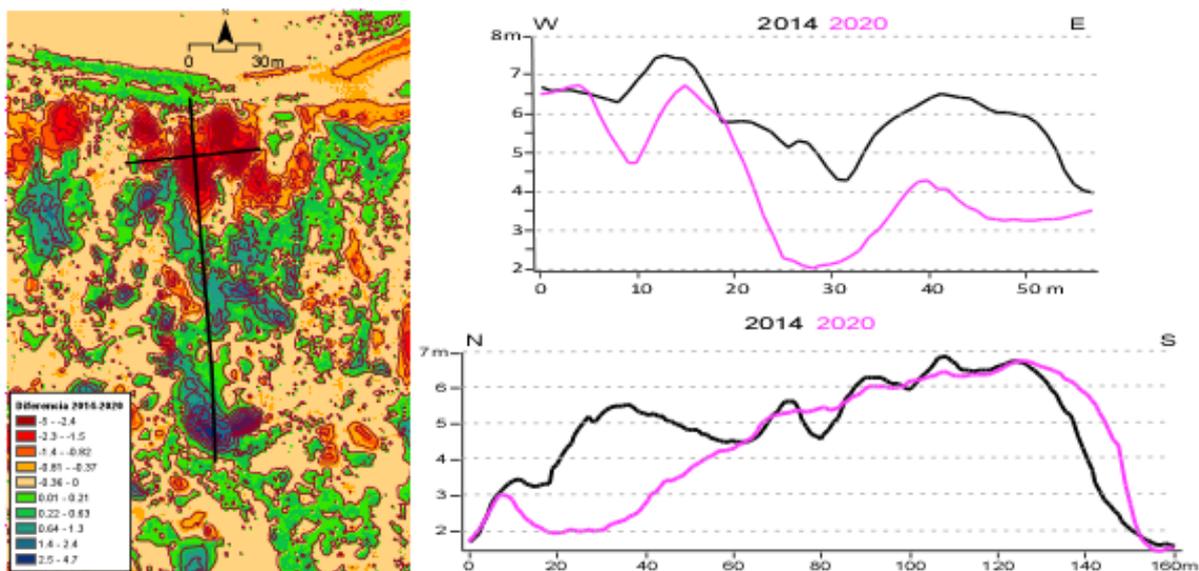


Fig. 11. Perfil longitudinal i transversal del *blowout* situat en el sector C, a partir del MDT (corbes de nivell: 5 m).

en menor mesura, entre 2018 i l'any 2021. Tot i la instal·lació d'una barrera d'interferència eòlica per tal de mitigar els efectes erosius a finals de l'any 2017, no s'observa ni acumulació ni retenció de sediment significativa. També es va instal·lar un altre barrera a la *foredune* amb resultats similars.

**Sector C:** El sector es desenvolupa al centre de la platja i a l'igual que l'anterior està format per la coalescència de varis *blowouts* de menor tamany que avancen ràpidament cap l'interior del sistema dunar fins arribar a l'antiga zona d'extracció d'àrids. La Fig. 11 presenta un perfil longitudinal on es pot apreciar que el sector més proper a la mar s'ha erosionat i part d'aquest sediment han estat transportats al lòbul de deposició, que ha incrementat el seu volum (Fig. 12; fotografies de 2018 i 2021). En aquesta



Fig. 12. Panoràmiques del *blowout* del sector C (vid. localització a la Fig. 6).

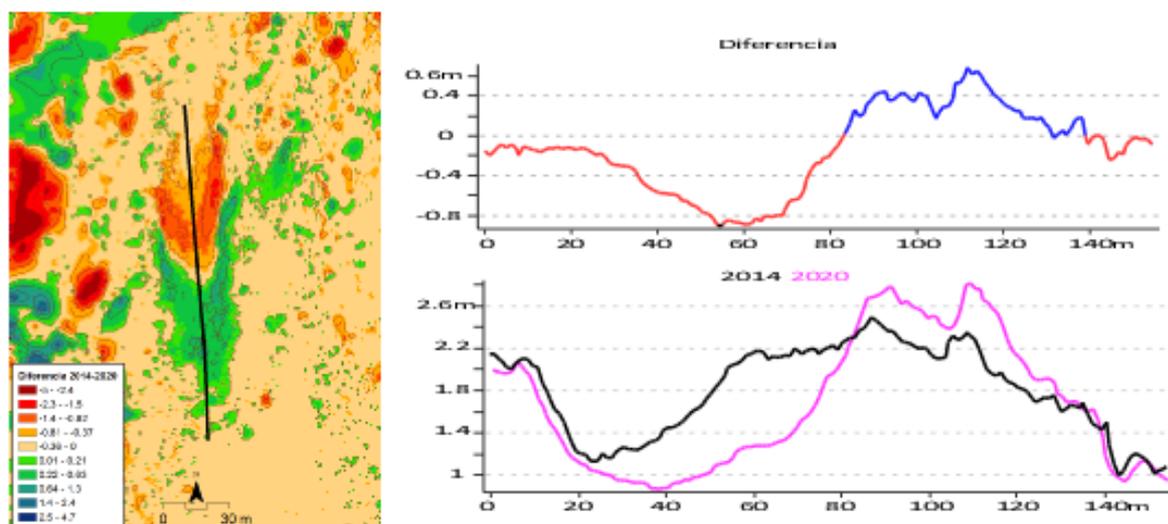


Fig. 13. Perfil longitudinal del *blowout* del sector D, estret a partir del MDT Corbes de nivell 5 m).

última figura també es mostra el canal de deflació que canalitza el sediment cap l'interior a les fotografies dels anys 2012 y 2021, que es corresponen amb el perfil transversal de la Fig. 11. S'hi pot apreciar el buit del volum de sediment desplaçat cap l'interior del *blowout*, especialment a la meitat oriental, amb valors que arriben fins els 3 m de potència al canal de deflació principal.

No es produeix cap fenomen de colonització vegetal per l'intens i les altes taxes d'enterrament, el que es tradueix en una manca de neofomes i petites dunes d'interferència. També sobre aquesta morfologia s'han instal·lat trampes d'interferència eòlica per retenir sediment, amb un resultat infructuós.

**Sector D:** aquest sector se situa cap l'interior del sistema dunar, proper a la zona de l'antiga extracció d'àrids (Fig. 3) i té un comportament semblant al del sector A, ja que sols es troben separats per una zona humida que, a poc a poc, es colmata pel sediment que li arriba del sector A. Al perfil longitudinal de la Fig. 13 es pot apreciar de forma nítida l'avanç del lòbul de deposició terra endins.

El perfil inferior compara el contorn de 2014 amb el de 2020, apreciament una important erosió que assoleix els 80 m, amb una pèrdua de potència de fins a 1 m. Mentre que entre els 80 i els 140 m es desenvolupa el lòbul de deposició, amb una potència màxima de 0,6 m, per a després continuar amb la zona d'extracció d'arena.

A les fotografies dels anys 1995 i 2016 (Fig. 14) es pot apreciar l'evolució del lòbul en una vista cap a la mar, mentre que en les fotografies dels anys 2004 i 2016, amb una vista cap a terra, s'observa l'increment en amplària d'aquest *blowout*. Les extraccions d'àrids i la manca d'un pla efectiu de restauració, juntament amb la desestabilització del front dunar davanter (sectors A, B i C) afavoreixen l'activació dels processos sedimentaris dels sectors més interns d'aquest sistema dunar.

## Discussió i conclusions

El sistema dunar de cala Tirant ha estat objecte de nombrosos estudis que van començar al final de la dècada del 1980. Una de les principals causes del constant procés erosiu va ser la intensa extracció d'arena del sector de dunes estabilitzades. Una de les causes que han afavorit aquests processos negatius ha estat la falta de compliment de la Llei de Mines en una primera fase erosiva en el conjunt de sistema dunar semi-estabilitzat, y la seva posterior renaturalització.

No ha estat aquesta l'única causa que ha contribuït a la seva degradació, des dels primers estudis ja es posava de manifest altres problemes com la instal·lació de quioscs de platja, la neteja mecànica de la platja, la retirada de les bermes vegetals *Posidonia oceanica* depositades sobre la platja al llarg de tot



**Fig. 14.** Panoràmiques del *blowout* del sector C (vid. localització a la Fig. 6).

l'any, etc. Qüestions que s'han repetit al llarg del temps de manera reiterada i que sols han estat gestionades de forma parcial i amb poc criteri geomorfològic.

En aquest treball s'ha analitzat l'evolució d'una sèrie de sectors dominats per morfologies dunars transgressives, *blowouts*, distribuïts al llarg del sector de dunes semi-estabilitzades i estabilitzades. Per poder dur a terme aquesta tasca, s'han comparat dos vols LIDAR corresponents als anys 2014 i 2020, tot abastant un període de 5 anys i 3 mesos. Amb la ajuda d'un SIG s'ha pogut establir l'evolució d'aquestes morfologies tant en longitud com en altura. El resultat és similar en les quatre àrees analitzades. Els tres sectors situats a la zona de dunes mòbils mostren importants processos erosius amb un increment tant en altura, longitud i superfície dels *blowouts*, especialment aquell situat en el Sector A del sistema, el més occidental, que presenta un important lòbul de deposició que soterra la vegetació que troba en el seu avanç terra endins.

Els altres dos sectors, B i C, es situen al centre de la platja i responen a la coalescència de varis *blowouts* que desenvolupen importants canals de deflació i que transporten importants quantitats de sediment terra endins, especialment el grup situat al sector B, el lòbul de deposició del qual arriba a la pedrera. El *blowout* situat en aquesta zona s'alimenta del sector de dunes semi-estabilitzades, fonamentalment del *blowout* del sector A, i presenta una potència menor que els altres tres perquè té menor disponibilitat de sediment.

Comptat i debatut, els resultats posen de manifest les conseqüències geo-ambientals de la manca de seguiment i coherència en l'aplicació de mesures correctores de restauració i recuperació de fronts dunars durant la última dècada, malgrat tenir la constància que les pràctiques prèvies al 2013 resultaren efectives i contribuïren a la recuperació del sistema.

Així mateix el treball posa de manifest la importància de la primera morfologia dunar com a factor clau per pal·liar les taxes de transport eòlic cap a l'interior dels sistema dunar. Els resultats obtinguts

demostran que els sectors dunars davanters ben conservats presenten major estabilitat. Per tant les gestions del front dunar són importants per restablir l'equilibri platja-duna, evitar pèrdues sedimentaries cap a l'interior i minvar fins renaturalitzar els lòbuls interiors actius.

### Agraïments

Els autors volen agrair la revisió, els comentaris i aportacions al primer mecanoscrit del treball dels Drs. Pau Balaguer i Lluís Gómez-Pujol.

### Bibliografia

- CHARLIER, R. H. i DE MEYER, C.P. (1989): Coastal defense and beach renovation. *Ocean and Shoreline Management*, 12: 525-543.
- DAVIDSON-ARNOTT, R., MACQUARRIE K. i AAGAARD, T. (2005): The effect of wind gusts, moisture content and fetch length on a beach. *Geomorphology*, 68: 115-129.
- DELGADO-FERNÁNDEZ, I. (2011): Meso-scale modelling of aeolian sediment input to coastal dune. *Geomorphology*, 130: 230-243.
- GARCIA-LOZANO, C., ROIG-MUNAR, F. X i PINTÓ, J. (2021): De la recuperación ambiental de sistemas playa-duna en período de confinamiento por Covid-19, al retorno de la mala praxis de gestión de playas en período de desconfinamiento. Los casos de Cataluña y las Islas Baleares, España. *Revistas Costas*, en premsa.
- GARRIGA-SINTES, C., MARTÍN-PRIETO, J.Á., ROIG-MUNAR, F.X. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (2017): «Reactivación del sistema dunar de Tirant, N de Menorca, asociada a la falta de gestión y extracciones de áridos». *GeoTemas*, 17: 167-170.
- HESP, P. A. (2002): Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology, and dynamics. *Geomorphology*, 48: 245-268.
- LITHGOW, D., MARTÍNEZ, M. L., GALLEGO-FERNÁNDEZ, J. B., HESP, P. A., FLORES, P., GACHUZ, S. & ÁLVAREZ-MOLINA, L. L. (2013): Linking restoration ecology with coastal dune restoration. *Geomorphology*, 199: 214-224.
- MARTÍN-PRIETO, J. A., CARRERAS, D., PONS, G. i ALMARAZ, A. (2019): *Evolución histórica de la línea de costa de playas de Menorca (Illes Balears): 1956-2015*. OBSAM, Maó. 61 pp.
- MIOT DA SILVA, G., HESP, P. A., PEIXOTO, J. i DILLENBURG, S. R. (2008): Foredune vegetation patterns and alongshore environmental gradients: Moçambique beach, Santa Catarina Island, Brazil. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33: 1557-1578
- MIR-GUAL, M. (2014): *Anàlisi, caracterització i dinàmica de les formes erosives Blowout en sistemes dunars de Mallorca i Menorca (ILLES BALEARS)*. Tesis doctoral inèdita. Departament de Geografia Universitat de les Illes Balears, Palma.
- NORDSTROM, K. F. (2008): *Beach and dune restoration*. Cambridge. Cambridge University Press.
- PONS, G. P i MIR-GUAL, M. (2018): El sistema dunar de cala Tirant (costa nord de Menorca). 133-152. En: *Guia de geologia de Menorca: itineraris naturals i culturals*. Agustí Rodríguez Florit, Guillem X. Pons Buades, Félix de Pablo Pons (eds.) Consell Insular de Menorca. Agència Menorca Reserva de Biosfera ; Institut Menorquí d'Estudis, 248 pp.
- RITA, J., RODRÍGUEZ, A. i TÉBAR, F. (1988): *Sistemas dunares de Menorca. Valoración Geoambiental y estado de conservación*. Document inèdit. IME, Menorca. 109 pp.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A., SERVERA, J. i MARTÍN-PRIETO, J. A. (2000): Alternatives a la dependència de les platges de les Balears de la regeneració artificial: Informe METADONA. *Col·lecció Pedagogia Ambiental*, 10. Universitat de les Illes Balears. 110 pp.
- ROIG-MUNAR, F. X. (2011): *Aplicació de criteris geomorfològics en la gestió dels sistemes litorals arenosos de les Illes Balears*. Tesis doctoral inèdita. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les illes Balears, 366pp.
- ROIG-MUNAR, F. X. i COMAS LAMARCA, E. (2004): Propuesta de un modelo de clasificación para las playas de las Islas Baleares mediante el análisis de variables de uso, estado y gestión. *Boletín Asociación De Geógrafos Españoles*, 40: 429-448.
- ROIG-MUNAR, F. X. i MARTÍN-PRIETO, J. A. (2005): Efectos de la retirada de bermas vegetales de Posidonia oceánica sobre playas de las islas Baleares: consecuencias de la presión turística. *Investigaciones geográficas de México*, 57: 39-52.

- ROIG-MUNAR, F. X., RODRÍGUEZ-PEREA, A., MARTÍN-PRieto, J. A. i PONS, G. X. (2009): Soft Management of Beach-Dune Systems as a Tool for their Sustainability. *Journal of Coastal Research*, SI 56: 1284-1288.
- ROIG-MUNAR, F. X., MARTÍN PRIETO, J. A., RODRÍGUEZ PEREA, A. i BLÀZQUEZ SALOM, M. (2018): Restauración de sistemas dunares en las islas Baleares (2000-2017): una visión crítica. *Investigaciones Geográficas*, 69: 119-136.
- SERVERA, J. (1997): *Els sistemes dunars litorals de les Illes Balears*. Tesis doctoral, inèdita. Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca. 908 pp.
- SERVERA, J. (2003): El sistema playa-duna de Cala Tirant. In: ROSSELLÓ, V.M., FORNÓS, J.J. y GÓMEZ-PUJOL, L. (eds.). *Introducción a la Geografía Física de Menorca*: 142-155. Universitat de València - Universitat de les Illes Balears - Societat d'Història Natural de les Balears.
- SERVERA, J. i ESTRANY, J. J. (2002): *Catàleg dels Sistemes Platja-duna de les Illes Balears*. Document Tècnic inèdit: 4 Vols. Direcció General de Biodiversitat, Conselleria de Medi Ambient del Govern Balear.
- WALKER, I. J., HESP, P. A. i DAVIDSON-ARNOTT, R. G. Y OLLERHEAD, J. (2006). Topographic steering of alongshore airflow over a vegetated foredune: Greenwich Dunes, Prince Edward island, Canada. *Journal of Coastal Research*, 22 (5): 1279-1291.

**Webs:**

Centro Nacional de Información Geográfica: <http://centrodedescargas.cnig.es> (consultat dia 14 de maig de 2021)  
Puertos del Estado: [www.puertos.es](http://www.puertos.es) (consultat dia 14 de maig de 2021)

---

Data recepció: 01.06.21

Data revisió: 25.06.21

Revisió acceptada: 06.07.21



# DESEMBOCADURES FLUVIALS: ENTRE EL MAR I LA TERRA. EL CAS DEL RIU MILLARS

Francesca Segura-Beltran i Pablo Martínez Pardo

Departament de Geografia, Universitat de València, Avda. Blasco Ibáñez, 28, 46010 València

## Resum:

La desembocadura del riu Millars-rambla de la Viuda, conformada per tres braços, forma part d'un gran ventall al·luvial progradant, creat conjuntament pels dos rius al llarg del quaternari. En el present treball s'estudia l'evolució del front del ventall, a partir de nombroses fotografies i ortofotografies aèries preses entre 1956 i 2021. Per aconseguir aquest objectiu s'analitzen les sèries temporals de cabals i d'onatge, amb la finalitat d'esbrinar el paper que hi tenen les revingudes i els temporals marítims. En les dècades de 1960 i 1970 s'observa un fort retrocés de la línia de costa respecte de la de 1956, que no se recuperà fins al 2020. L'escassa progradació del ventall en les dècades posteriors es deguda al dèficit hidrosedimentari provocat per l'extracció d'àrids i la retenció de sediments als embassaments de la conca. La lenta recuperació de la línia de costa es fa partir de nombrosos cordons que tanquen les tres goles del riu: durant les revingudes el riu els obri i, posteriorment, els temporals, apilen els materials fluvials i formen fletxes i restingues que tanquen microalbuferes. Els diversos cordons adopten la forma de *ridges de còdols* i *graves* que, en ser superats per l'onatge durant els temporals, creixen per la seua cara interna gràcies a la formació de *washover fans*, que acaben reblint les microalbuferes. La progradació de cordons successius fa que a poc a poc s'adossen al ventall deltaic. Tot i així, la presència de *washover fans* i l'escassa progradació de la línia de costa fan pensar que el ventall avui en dia està dominat pels processos marins.

**Paraules clau:** *desembocadures fluvials, ventalls deltaics, microalbuferes, restingues, Millars, València.*

## Abstract:

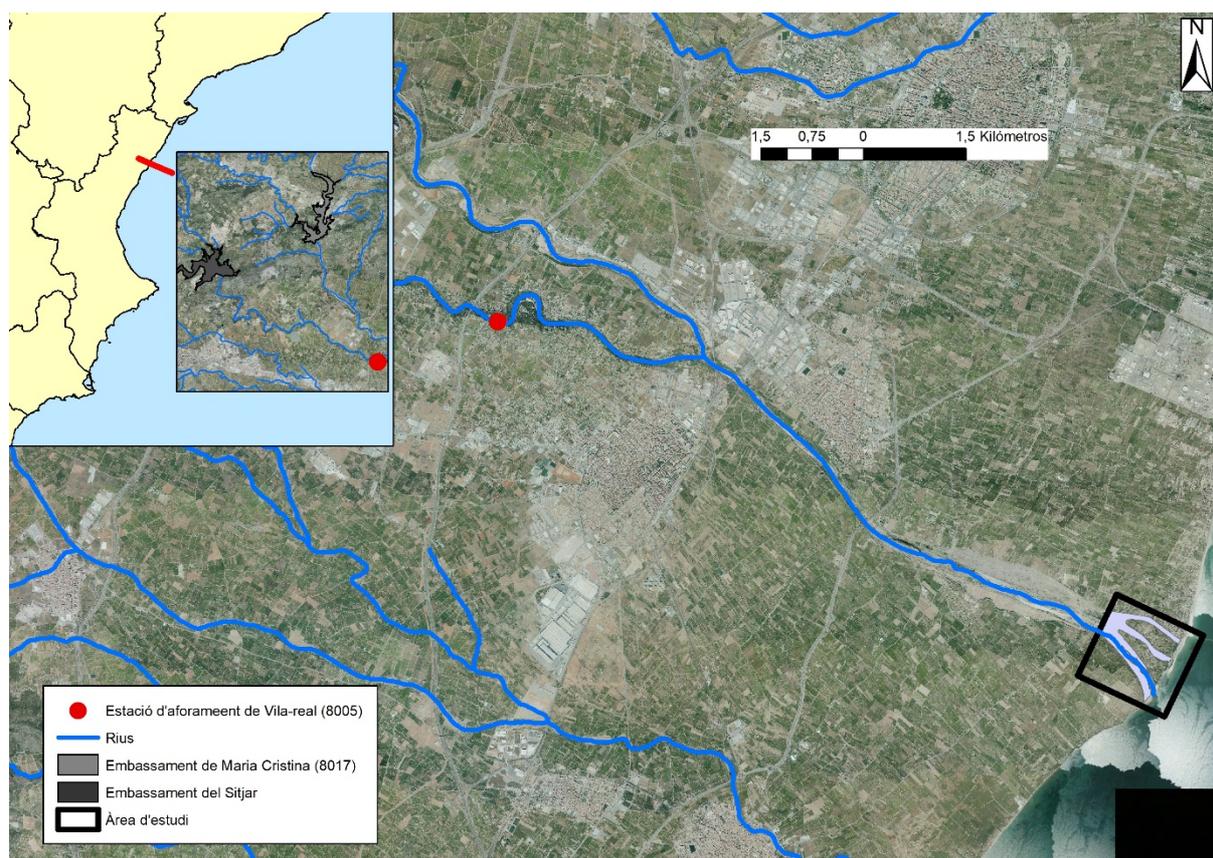
The mouth of the River Millars-Rambla de la Viuda is part of a large prograding alluvial fan, formed throughout the Quaternary period. Currently, the mouth is formed by three channels separated by two fluvial bars. The main objective of this paper is to analyze the evolution of the mouth between 1956 and 2021 by means of photographs and orthoimages. To achieve this objective, we analyze river flow and wave series, in order to reckon the influence of river floods and marine storms on their evolution. In the 1960 and 1970 decades, the 1956 coastline retreated, and it was not recovered until 2020. The scarce progradation along the study period is due to the fluvial hydro-sedimentary deficit caused by gravel extraction and sediment retention in river reservoirs. The little shoreline advance is made of numerous bars that close the river channels. River floods open the bars and later, during the storms, the waves form spits and beach barriers closing micro-lagoons. The bars are pebble ridge-shaped, 2-3 meters high. During major storms, these ridges are likely to be overtopped by the waves. They form washover fans which end up filling the micro-lagoons. The washover processes are the primary mechanism by which ridges increase in width and migrate landward, expanding the deltaic fan. The existence of washover fans and the low fan delta progradation suggests that nowadays this is a fan delta dominated by marine processes.

**Keywords:** *river mouths, fan delta, micro-lagoons ridges, Millars, València.*

## Introducció

Les desembocadures fluvials són espais amfibis creats per la interacció dels processos fluvials i marins. En els rius efímers de les planes costaneres valencianes, solen formar part de ventalls al·luvials progradants o solapats, que en desembocar en el mar, també s'anomenen ventalls deltaics (*fan deltas*) (SEGURA-BELTRAN i PARDO-PASCUAL, 2019). A llarg termini, l'evolució d'aquestes formes és resultat de l'equilibri de forces establert entre els processos marins i fluvials: depenent del predomini d'uns o altres el front del ventall prograda (predomini fluvial) o retrocedeix (predomini marí). A curt termini, els equilibris són els mateixos, però fins arribar a la consolidació de les formes existeixen molts d'estadis intermedis efímers que convé analitzar. Als processos naturals, cal sumar també l'acció antròpica exercida de forma directa o indirecta sobre els rius i sobre les costes. Aquestes intervencions antròpiques generen alteracions sedimentàries que, sumades als canvis ambientals recents, produeixen una evolució complexa de les desembocadures fluvials (MORALES *et al.*, 2004).





**Fig. 1.** Localització de l'àrea d'estudi, amb els embassaments de Sitjar i Maria Cristina (aforament 8017), així com l'estació d'aforament de Vila-real (8005). Font ortofotografia: Institut Cartogràfic Valencià (ICV).

L'objectiu del present treball és analitzar l'evolució des de 1956 a 2021 de la desembocadura del Millars, tot considerant els factors naturals i antròpics que han influït en la seua evolució. Els objectius d'aquesta investigació es concreten en: *a)* anàlisi dels factors naturals i antròpics que influeixen sobre la zona, *b)* canvis en la línia de costa, *c)* evolució geomorfològica de les formes, *d)* model d'evolució dels diferents braços del riu i, *e)* relació entre les formes i els processos que intervenen.

### Àrea d'estudi

El riu Millars, amb una conca de 4.028 km<sup>2</sup> i 156 km de recorregut, naix a la Serra de Gúdar i desguassa a la Mediterrània, després de confluir amb la rambla de la Viuda a uns 8 km de la desembocadura. La conca gaudeix d'un clima mediterrani, amb una precipitació mitjana que oscil·la entre els 500 i 600 mm, concentrada sobretot a la tardor pel pas de depressions aïllades en nivells alts de l'atmosfera (DANES), encara que en capçalera també són importants les pluges de primavera, produïdes pel pas de sistemes frontals (PÉREZ CUEVA, 1994). Les revingudes més importants són de tipus mediterrani, provocades per les pluges intenses i voluminoses característiques de la tardor, però també es produeixen aigües altes provocades per les pluges i/o la fusió nival de la primavera. Els cabals estan controlades pels embassaments (Arenós, 137 hm<sup>3</sup>, 1980; Sitjar, 52 hm<sup>3</sup>, 1960), i són utilitzats per abastament agrícola i urbà, deixant el riu pràcticament sec en el seu recorregut final. Per la seua banda, la rambla de la Viuda, té una conca de 1.510 km<sup>2</sup> i un recorregut d'uns 80 km. En el seu tram final es troba l'embassament de Maria Cristina (27 hm<sup>3</sup>, 1920). Les revingudes són de tipus *flash flood* –en la major part del seu recorregut és un riu efímer– i poden assolir cabals molt importants. A la desembocadura, les revingudes depenen dels cabals abocats pels embassaments de Sitjar i de Maria Cristina i les dues puntes poden coincidir o no segons la gestió que se'n faça. Els sediments que

arrossegueu els dos rius, sobretot la rambla de la Viuda, són de tipus gruixut, fonamentalment, còdols, graves i arenes.

Des del punt de vista geomorfològic, a la plana costanera, el Millars-rambla de la Viuda construeixen conjuntament un gran ventall al·luvial progradant, format per diferents nivells quaternaris (SEGURA, 1990; SEGURA-BELTRAN i PARDO-PASCUAL, 2019). L'àrea d'estudi compren una superfície quadrada de 186,5 ha, que abasta la part final del ventall del riu Millars, entre Almassora i la costa (Fig. 1).

## Materials i mètodes

Per a la realització del treball s'han utilitzat una sèrie de fotografies aèries i ortofotografies preses entre 1956 i 2020. La majoria procedeixen de l'Institut Cartogràfic Valencià (ICV), i han servit per a mesurar l'evolució de la superfície estudiada (taula 1). Les fotografies de 1976 i 1990 han estat georeferenciades amb 9-12 punts de control, i un RMS <2 m i la resolució de les ortofotografies oscil·la entre 0,25 i 0,5 m. Les imatges s'han introduït en Arcgis 10.8 (ESRI, Redlands, CA, 2013) per processar-les. A banda d'aquestes imatges, s'han utilitzat imatges històriques del Google Earth que han servit per a fer un seguiment visual i observar els canvis de forma qualitativa (Taula 1).

A partir de les imatges esmentades s'ha fet una cartografia geomorfològica de la desembocadura i s'ha comptabilitzat la superfície ocupada per cadascuna de les formes. Atès que es tracta d'un espai petit amb formes d'origen mixt creades per processos fluvials i marins i que, a més, evolucionen entre

**Taula 1.** Fotografies aèries i ortofotografies utilitzades. Fonts: Institut Cartogràfic Valencià (ICV) i Google Earth (GE). Les primeres, en ser ortofotografies –excepte les de 1967, 1976 i 1990–, s'han utilitzat per a fer mesures; les del Google Earth històric, per a veure l'evolució de les formes.

DATA	ORGANISME	RESOLUCIÓ	DATA	ORGANISME
04/07/1956	ICV	0,5 m	13/08/2002	GE
18/07/1967	ICV	0,5 m	08/07/2007	GE
01/03/1976	ICV	0,10 m	12/05/2009	GE
01/01/1990	ICV	0,11 m	11/07/2011	GE
Agost, any 2000	ICV	0,5 m	29/08/2011	GE
25/4/2003 – 13/6/2003	ICV	0,5 m	23/06/2012	GE
21/08/2005 – 7/11/2005	ICV	0,5 m	17/07/2014	GE
14/8/2007 – 2/9/2007	ICV	0,5 m	22/10/2015	GE
5/8/2009 – 25/9/2009	ICV	0,25 m	16/11/2016	GE
16/6/2012 – 28/7/2012	ICV	0,5 m	02/09/2017	GE
6/5/2015 – 3/8/2015	ICV	0,25	02/08/2018	GE
08/06/2017 – 23/08/2017	ICV	0,25	10/02/2020	GE
13/6/2018 – 24/8/2018	ICV	0,25 m	22/05/2020	GE
14/05/2019 – 30/06/2019	ICV	0,25 m	–	–
02/05/2020 – 31/05/2020	ICV	0,25 m	–	–

elles, és difícil establir una classificació unívoca. Malgrat les dificultats per fer categories, s'han distingit les següents unitats: *a)* canal fluvial, que es refereix a la secció del caixer per on circula l'aigua, *b)* barres fluvials, formades entre els canals fluvials, *c)* platja, acumulació d'arenes adossada a les barres fluvials o al ventall al·luvial, *d)* aigua, d'origen fluvial, *e)* albufera i, *f)* cordó litoral, nom genèric que identifica acumulacions sedimentàries de diferents orígens i que hem dividit en tres subtipus: cordó litoral-barra, quan tanca una desembocadura fluvial; cordó litoral-fletxa, acumulació de sediments que s'adossa al continent per un dels extrems, i que a la part distal que pot acabar en un ganxo i cordó-restinga, quan tanca una albufera.

Pel que fa a la hidrologia, s'han analitzat les sèries temporals de cabals diaris del riu Millars, a la presa de Vila-real (8005, 1911-2020) i les sortides diàries de l'embassament de Maria Cristina, a la rambla de la Viuda (8017, 1956-2017), extretes del *Centro de Estudios Hidrográficos* (CEDEX) (<https://ceh.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>) i del *Sistema de Información del Agua* de la Confederació Hidrogràfica del Xúquer (SIA CHJ), per a les dades més recents (<https://aps.chj.es/siajucar/>). Les sèries temporals s'han utilitzat per identificar els episodis de revingudes; en particular, s'han seleccionat les que tenien algun dia de cabal superior a 50 m<sup>3</sup>/s, per entendre que aquestes són capaces de mobilitzar el sediment.

També s'han analitzat les dades d'onatge i de vent, descarregades de *Puertos del Estado* (<http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>), corresponents al punt SIMAR 2085119 localitzat mar endins, enfront de la gola septentrional (Fig. 6), entre 1958 i 2019. De les dades subministrades, s'ha analitzat l'altura significant ( $H_s$ ) i la direcció de l'onatge, així com la velocitat i direcció del vent, del període 1958-2021. A més a més, s'han revisat tots els temporals, tot seguint el criteri de considerar únicament les situacions amb una  $H_s$  superior a 2 m i que perdura almenys 12 hores (MENDOZA i JIMÉNEZ, 2008; PARDO PASCUAL *et al.*, 2014 i PARDO-PASCUAL *et al.*, 2019). A efectes de la representació dels temporals s'ha seleccionat únicament el valor anual màxim d' $H_s$ .

A més a més, s'han descarregat les isòbates del *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico* (MITECO) realitzades entre 2009-2010, per analitzar els fons antelitorals i entendre l'evolució de les formes litorals (<https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/ecocartografias/default.aspx>).

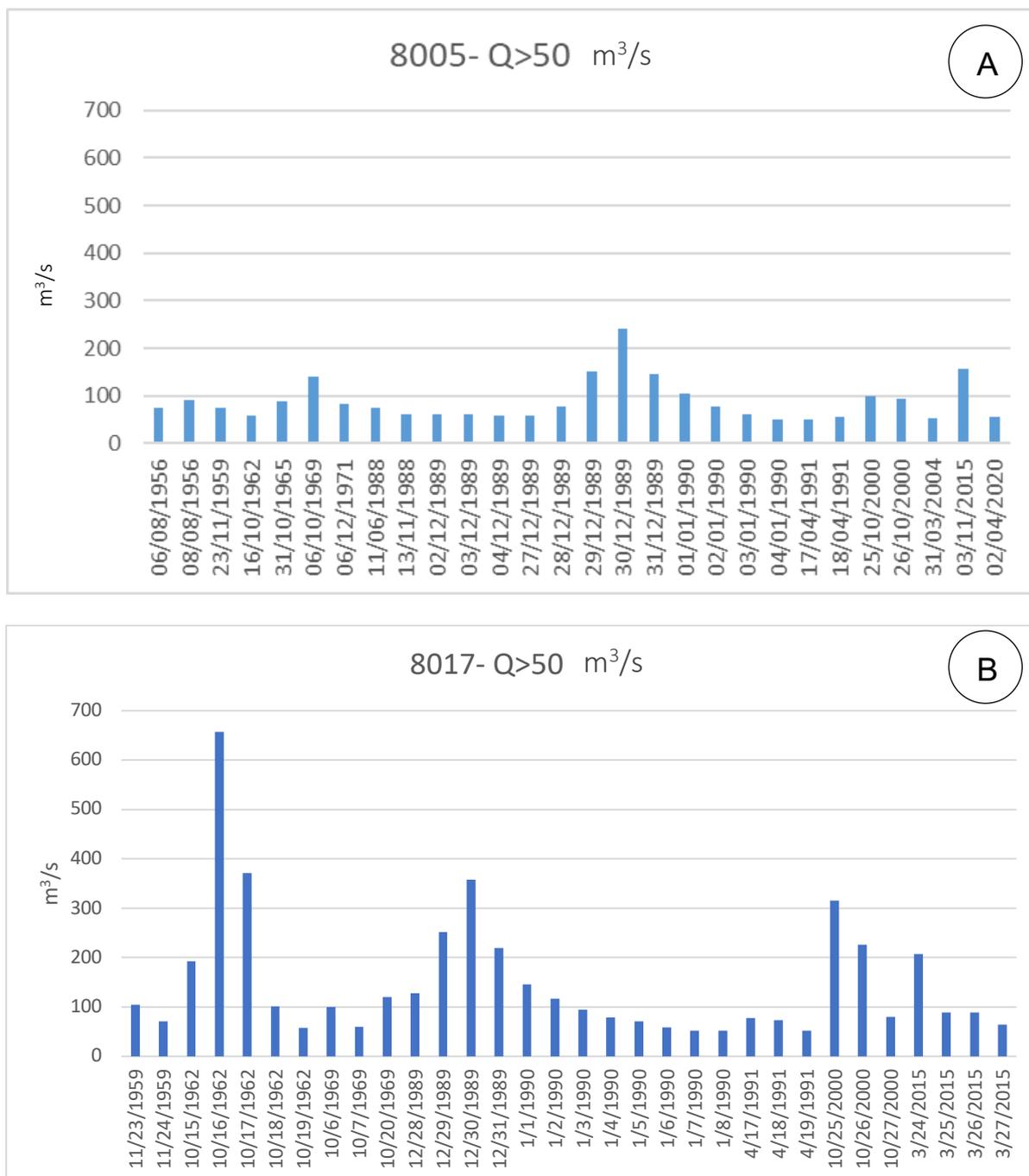
## Resultats

L'evolució de la desembocadura del Millars és complexa per la gran quantitat de factors que interactuen a l'hora de crear les formes que s'observen a la fotografia aèria. Per tal d'esbrinar el paper que hi juguen cadascun, s'analitzaran els resultats per separat, tot intentant fer una síntesi final i discutir-los posteriorment.

### *Els cabals fluvials*

Com s'ha senyalat abans, l'aigua que arriba a la desembocadura és la suma de les eixides de dos embassaments, el del Sitjar i el de Maria Cristina, situats respectivament al Millars i a la Rambla de la Viuda (Fig. 1). Malgrat que el primer és un riu perenne, a l'aforament 8005 té un cabal mitjà de 4'5 m<sup>3</sup>/s, però a la desembocadura només arriba aigua després de fortes revingudes, la qual cosa també esdevé en el cas de les eixides de Maria Cristina. Fet i fet, es tracta d'un caixer efímer que només s'activa durant els episodis de revinguda.

L'anàlisi de les aportacions del Millars-rambla de la Viuda suggereix que s'ha produït una davallada de les aportacions des de 1911 fins a l'actualitat. La reducció de cabals s'atribueix al canvi ambiental, produït per les modificacions d'usos del sol de la conca i la construcció d'embassaments (GARÓFANO-GÓMEZ *et al.*, 2012; SEPÚLVEDA *et al.*, 2018). Tal com s'observa a la Fig. 2a i b, hi ha pocs episodis amb potencial geomòrfic. Per la seua magnitud, destaquen: octubre de 1962 a la rambla de la Viuda; desembre 1989/gener 1990, en els dos rius; octubre de 2000 a la rambla de la Viuda; març de 2015 a la



**Fig. 2.** Cabals diaris superiors a 50 m<sup>3</sup>/s. a) aforament del Millars a Vila-real (8005); b) Eixides embassament de Maria Cristina a la rambla de la Viuda (8017). Font: CEDEX i SIA-CHJ. Elaboració pròpia.

rambla de la Viuda i novembre de 2015 al Millars. Alguns d'aquests episodis coincideixen amb les fotos aèries analitzades, però d'altres no es poden apreciar o no han deixat rastre.

El cas més clar de tots és l'episodi de desembre de 1989 –gener de 1990, quan els dos rius van estar abocant aigua durant dos mesos i, per tant, les aportacions fluviosedimentàries van ser extraordinàries. El dia 30 d'octubre, van sumar-se els 240,8 m<sup>3</sup>/s del Millars amb els 358,05 de la rambla de la Viuda; per contra, la riuada d'octubre de 1962, tot i assolir vora 700 m<sup>3</sup>/s de pic a la rambla de la Viuda, no va deixar rastre a la fotografia de 1967 i no va tenir correspondència equiparable al Millars; el mateix va ocórrer a l'octubre de 2000, quan la rambla de la Viuda va aportar a la desembocadura 315 m<sup>3</sup>/s. El

2015 va registrar diverses revingudes que no van coincidir en els dos rius: al març, el Millars va aportar un pic de 156,06 m<sup>3</sup>/s, mentre que al novembre va ser la rambla de la Viuda que va portar-ne 206,8.

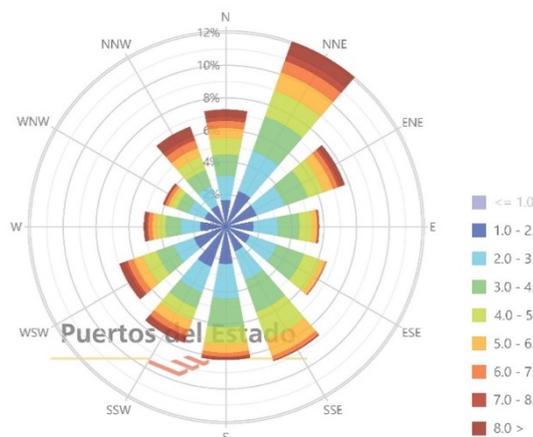
### El clima marítim i els temporals

Al punt SIMAR 208519 (Fig. 3), els vents procedents del NNE (12%), ENE (8%) i N (7%) són dominats al llarg de l'any i amb una velocitat mitjana major de 8 m/s als temporals (Fig. 3). En segon lloc, el gràfic revela que més del 8% dels vents procedeixen del SSE i S amb una velocitat mitjana aproximada de 6-7 m/s. En menor mesura, observem també vents de l'E, i ESE (7%).

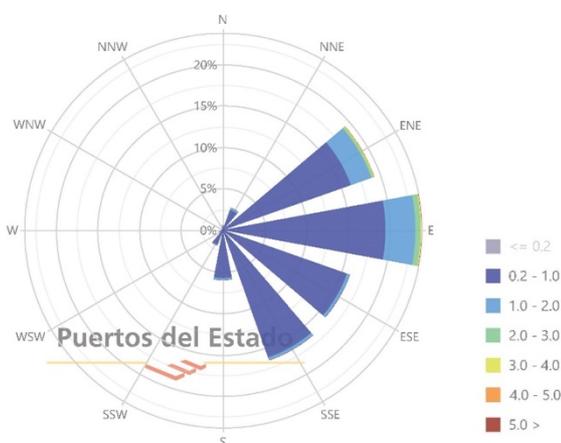
D'altra banda, d'acord amb la Fig. 4, al punt SIMAR 2085119, la direcció predominant de l'onatge és de l'E (25%), seguit del ENE (18%), ESE (16%) i SSE (17%), mentre que ha desaparegut la direcció N i gairebé les del S i del NNE, presents a la rosa dels vents, mentre que els onatges de l'ESE i SSE es reforcen (16%). Aquest fet poden ser conseqüència de l'efecte d'abric del port de Castelló. Degut a les seues dimensions, deu frenar els onatges del primer quadrant, però en canvi no deu afectar els del segon quadrant i la direcció E. D'altra banda, atès que l'orientació de la costa és NE-SW, els onatges efectius procediran de l'E, ESE i del SE. Els primers produiran un corrent longitudinal N-S que serà dominant, a l'igual a la resta del golf de València (SANJAUME, 1985), ja que els vents procedents d'aquesta direcció ho són. No obstant això, els vents del SE poden produir també un corrent S-N en determinats moments.

Tanmateix, a efectes del modelatge de la desembocadura fluvial, són els temporals els que assolixen protagonisme. Com es pot observar a la Fig. 5, l'altura significant de l'onatge té una dèbil tendència a l'increment durant el període d'estudi, la qual cosa concorda amb l'increment de l'energia dels temporals que ha trobat per al golf de València PARDO-PASCUAL (2021). De la sèrie temporal, destaquen 13 episodis amb altura significant de l'onatge ( $H_s$ ) que han superat els 3 m, deu d'ells en la darrera dècada. Hi ha tres episodis que depassen els 4 m d' $H_s$ , dos amb més de 5 m i el temporal Glòria, el 20 de gener de 2020, que va superar els 6 m. En aquest darrer temporal els paràmetres de l'onatge van adquirir valors extraordinaris a les costes mediterrànies, provocant fortes inundacions a la costa i greus danys econòmics (AMORES *et al.*, 2020; SANCHO-GRACIA *et al.*, 2021).

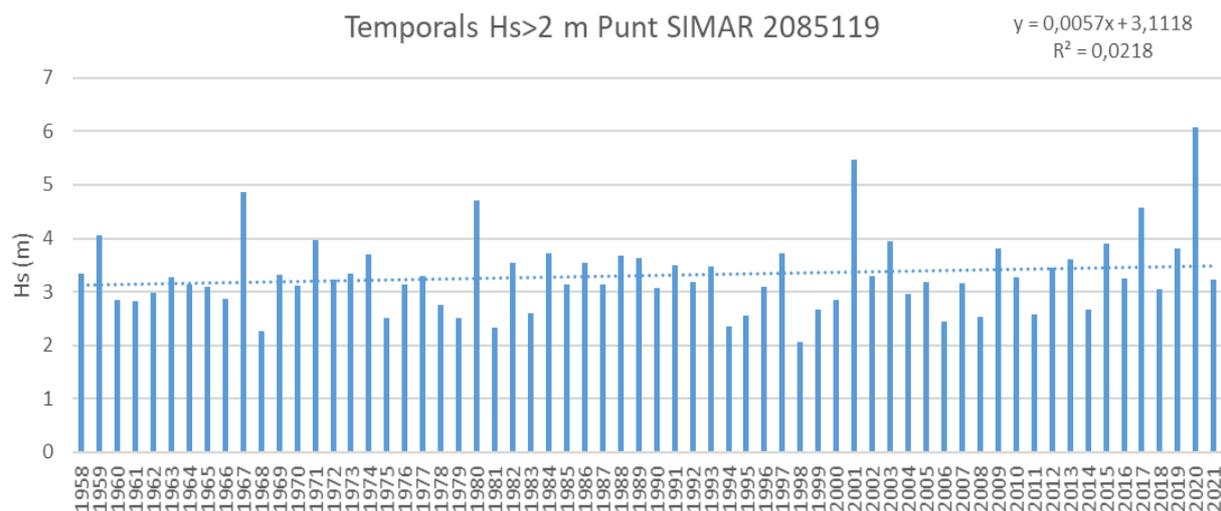
Pel que fa a l'onatge durant els temporals, al punt 2085119, el vent rola a E o ENE en la majoria dels casos i, només al 2015, bufa de l'ESE (Taula 2). Tot considerant l'altura significant ( $H_s$ ), el temporal més important esdevingué al gener de 2020 (6,07 m), seguit a prou distància pel de novembre de 2001 (5,48 m), novembre de 1967 (4,86 m), gener del 2017 (4,58 m) i desembre de 1980 (4,71 m). La resta dels temporals van superar els 3 m d'altura significativa, destacant el d'octubre de 2003 (3,94 m), el de no-



**Fig. 3.** Rosa de velocitat mitjana dels vents (m/s) entre 1958 i 2021, al punt SIMAR 2085119, situat enfront de la gola septentrional, mar endins (Font: *Puertos del Estado*). L'anàlisi de la rosa suggereix que els vents dominants procedeixen del primer quadrant i, de forma secundària, del segon.



**Fig. 4.** Rosa d'altura significant de l'onatge (m) entre 1958 i 2021, al punt SIMAR 2085119. Font: *Puertos del Estado*.



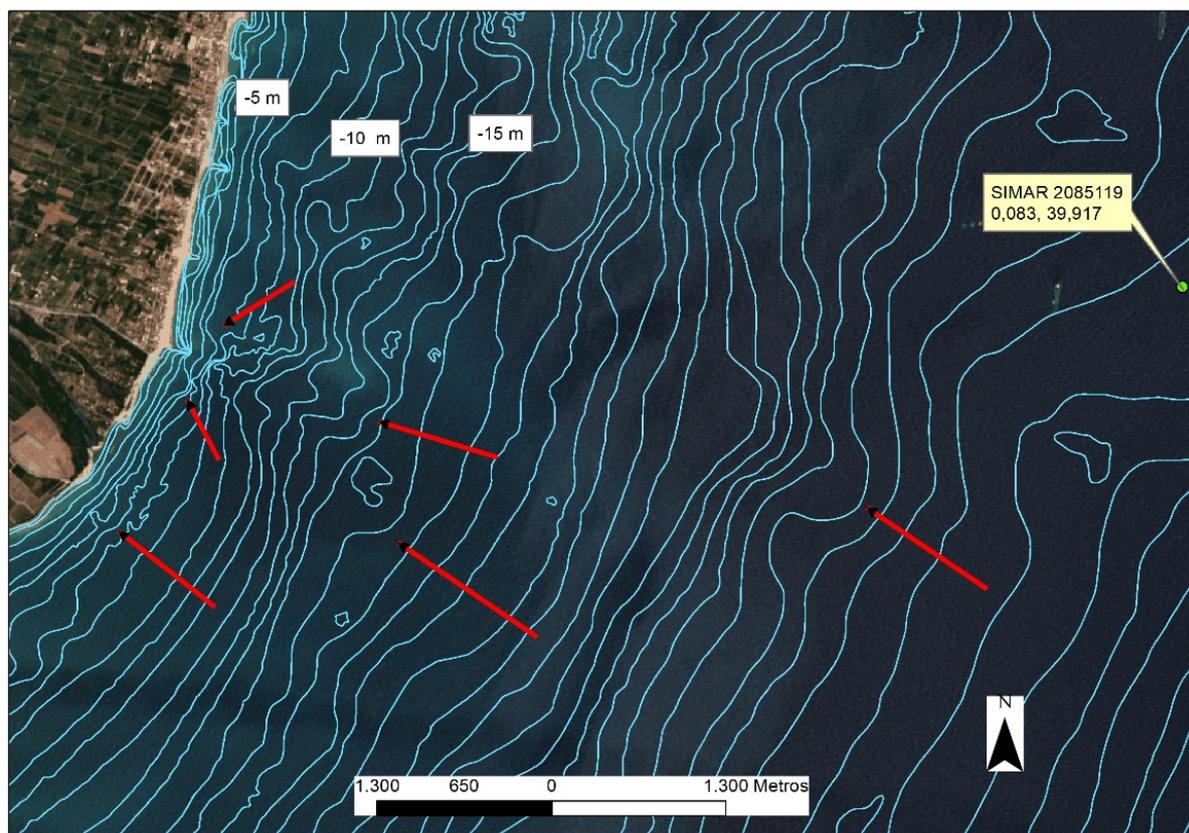
**Fig. 5.** Episodis de temporals amb valors de Hs >2 m (només es representa el valor màxim del temporal de cada any) al punt SIMAR 2085119. Font: *Puertos del Estado* (Elaboració pròpia).

vembre de 2015 (3,91) i el d'abril de 2019 (3,81 m). Pel que fa a la morfologia del fons marí, es pot deduir de les batimetries del MITECO, tal i com s'aprecia a la Fig. 6, que es tracta d'un fons accidentat, sobretot a partir de la isòbata de 6 m, amb nombroses irregularitats mar endins. Els primers 5 m de profunditat tenen major pendent davant la gola central (2,6%) del *fan delta* que no pas als sectors meridional (2,3 %) i septentrional (1,8%). Tanmateix, mar endins, passats els 20 m de profunditat, el pendent es major al sector nord (1,9%) que al sud (1%).

Des del punt de vista morfològic, les isòbates mostren concavitats i convexitats lligades a antigues formes fluvials submergides. Coincidint gairebé amb l'espigó de la gola septentrional, a partir dels -7 m apareix una convexitat que pot ser un con fluvial dipositat per un paleocaixer que s'albirava terra endins; a més a més, davant de la mateixa gola, hi ha una acumulació dels sediments de la dita gola (-5 m). La gola central no presenta cap irregularitat, més enllà de que la isòbata de -1 m mostra l'inici d'una barra

**Taula 2.** Variables dels temporals més importants al punt SIMAR 2085119. Font: *Puertos del Estado* (Elaboració pròpia).

Data GMT (any, mes, dia, hora)	Altuera significant de l'onatge (m)	Període Mitjà (s)	Període del Pic (s)	Direcció mitjana de procedència (0=N,90=E)
1967.11.21.09	4,86	7,75	10,2	85
1980.12. 28. 22	4,71	8,15	11,24	87
1989.12.02.13	3,64	6,51	8,47	88
2001.11.15.22	5,48	8,61	11,36	88
2002.03.29.17	3,29	6,42	8,7	88
2003.10.16.05	3,94	6,99	9,62	82
2005.03.01.15	3,19	6,52	9,43	82
2007.01.26.15	3,15	5,75	8,25	66
2009.12.14.15	3,82	6,58	10,02	58
2015.11.02.11	3,91	6,94	9,25	122
2017.01.19.18	4,58	7,31	9,85	69
2019.12.04.08	3,81	6,59	10,01	67
2020.01.20.06	6,07	7,99	12,11	76



**Fig. 6.** Isòbates (equidistància d'1 m) enfront de la desembocadura del Millars i localització del punt SIMAR 2085119. Les fletxes marquen algunes concavitats i convexitats, tot indicant paleorellesus submarins lligats a antigues desembocadures. Font: <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/ecocartografias/default.aspx>.

que anys després tancarà la petita albufera que es veu a la Fig. 11. Pel que fa a la gola meridional, sembla que hi ha alguns canals (-6 m) (potser lligats a algun paleocaixer que s'endevina terra endins) i la petita acumulació de la gola actual on està creixent una fletxa que penetra cap al riu.

A banda, d'aquests trets a petita escala, la morfologia general de les isòbates més enllà dels -10 m mostren una convexitat que abasta la desembocadura central i la meridional, mentre que enfront de la gola nord, el possible paleoventall mostra alguns canals. Aquestes formes submergides suggereixen una progradiació de la línia de costa lligada a la formació de ventalls deltaics antics. A falta de datacions i com a primera hipòtesi, sembla que la desembocadura s'ha desplaçat cap al sud al llarg del Quaternari. De fet REY *et al.* (1999), van cartografiar dos ventalls, atribuint el més septentrional a una formació relict i el meridional al ventall deltaic actual, encara que l'escala poc detallada d'aquell treball n'impedeix una identificació precisa.

#### *Actuacions antròpiques rellevants durant el període*

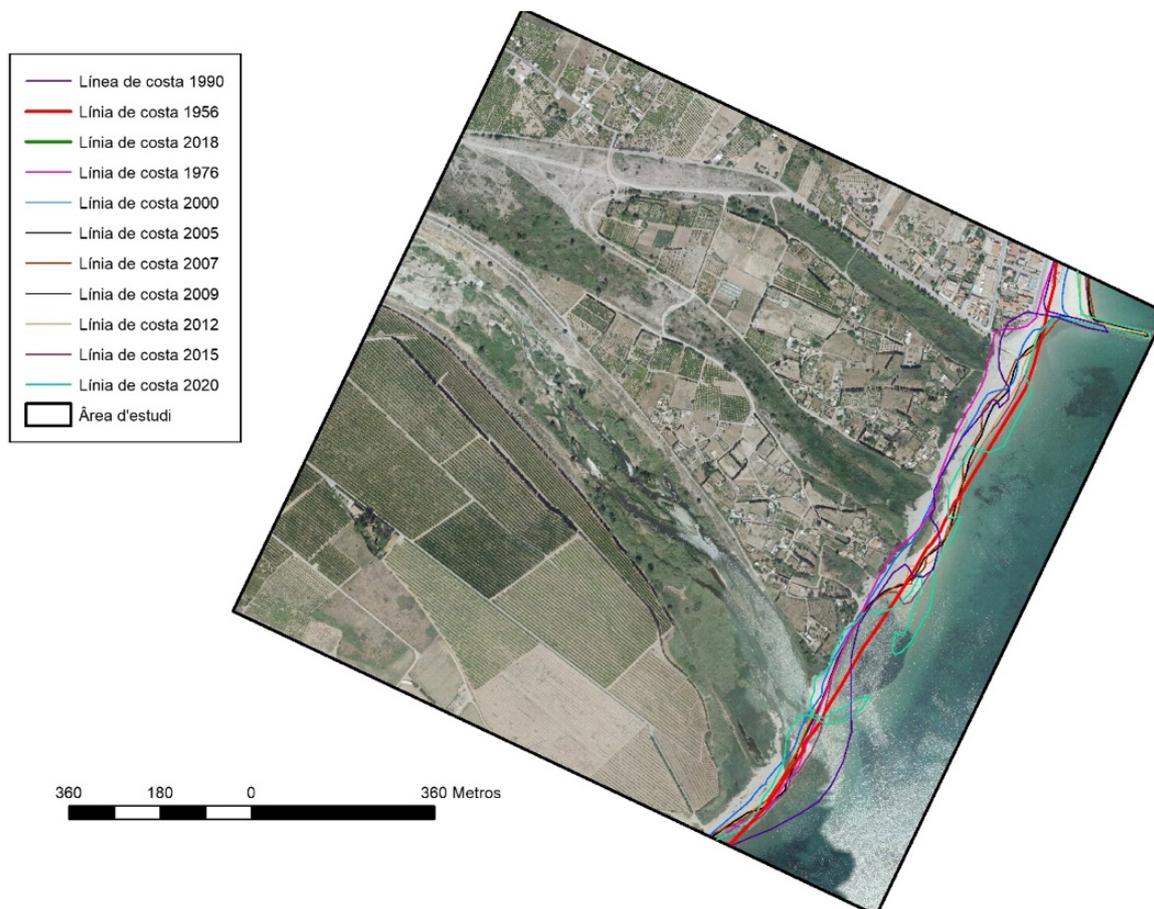
Malgrat que els darrers quilòmetres del riu Millars han estat declarat protegit al 2000, el caixer del riu ha estat alterat en nombroses ocasions. A la fotografia aèria de l'any 1967 s'observa que s'han extret les graves i s'han destruït les formes fluvials; també a la de 1976 es veu una restricció del caixer *braided*, que s'ha trencat en diverses revingudes posteriors. L'extracció d'àrids s'ha mantingut activa durant molt de temps, encara que no hi ha dades específiques de la zona; només consten 2.500 tm a la conca del Millars sense identificar d'on s'han tret (SEGURA, 2004).

El port de Castelló, situat 7 km al nord de la desembocadura, ha crescut en diferents fases des de 1893, provocant un retrocés generalitzat de les platges (PARDO, 1991); a més, entre les fotografies

aèries de 1967 i 1976 s'ha construït un espigó perpendicular immediatament al nord de la desembocadura del riu, que ha provocat una mossegada de la platja enfront del braç septentrional.

#### *Les formes de la desembocadura: cartografia i evolució*

La línia de costa ha retrocedit des de la posició que tenia al 1956 fins a l'actualitat, amb alguns daltabaixos. Com a tret general, s'ha passat d'una línia de costa rectilínia a una altra més irregular, amb petites concavitats i prominències. El retrocés més significatiu va ser el de 1976, que registra l'erosió aigües avall de l'espigó de la gola nord, indret on la reculada de la platja és màxima. El retrocés de la línia de costa assoleix el seu valor màxim, de manera que a prou penes queda platja en tot el sector; només les barres de la desembocadura queden com a petites prominències. Aquesta situació és ben cridanera i, malgrat que és una de les fotografies georeferenciades i, per tant, més imprecisa, les imatges mostren aquesta situació ben a les clares (Figs. 7 i 9). A partir d'aquesta data la línia de costa prograda lentament, amb daltabaixos importants. Només en dues ocasions s'ha superat la línia de 1956: el 1990 i el 2020. En el primer cas el creixement es va produir per un període de revingudes sostingudes durant un mes, fent creixent les tres goles (Figs. 7 i 9). Al 2020 no va haver-hi cap revinguda important, però el temporal Glòria va provocar la progradació de les goles central i septentrional, mentre que la meridional romangué gairebé estable. El comportament de les goles ha variat amb el temps: la septentrional avui en dia, a prou penes ha assolit la línia de costa de 1956; la gola central l'ha superada i la meridional, quasi no ha canviat. Les dos primeres semblen inactives des de l'any 1990, mentre que la del sud vehicula les riuades (Fig. 9). La migració del canal actiu cap al sud és un tret generalitzat a les goles de les desembocadures del golf de València –segurament té a veure amb la dinàmica marina–, però en aquest cas, també està provocada per la restricció del caixer *braided* que va desviar l'aigua cap al braç meridional.



**Fig. 7.** Línies de costa entre 1956 i 2020. Font: ICV. Elaboració pròpia



**Taula 3.** Superfície (ha) ocupada per cadascuna de les formes cartografiades.

Tipus formes	1956	1976	1990	2000	2003	2005	2007	2009	2012	2015	2018	2020
Platja	1,9	0,8	1,2	1,8	2,6	2,4	3,2	3	3,1	3,8	3,8	5,5
Barres fluvials	34,5	32,6	35,4	33,9	34,5	33,6	33,8	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9
Cordó litoral	1,4	1,3	1,1	1,3	2,7	2,2	1,9	2,1	2,1	2,3	2,3	2,2
Canal fluvial	58,8	47,8	43,9	45	44,8	45,1	45,1	44,09	45	45,4	45,4	44,6
Aigua			15,6	3,8	6,6	4,3	4,4	4,9	4	4,5	4,5	3,6
Cordó - restinga					0,2	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	1,1
Albufera					0,1	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
Total formes	96,6	82,5	97,2	85,8	91,5	88,8	89,6	90,1	89,3	91	91	91,4

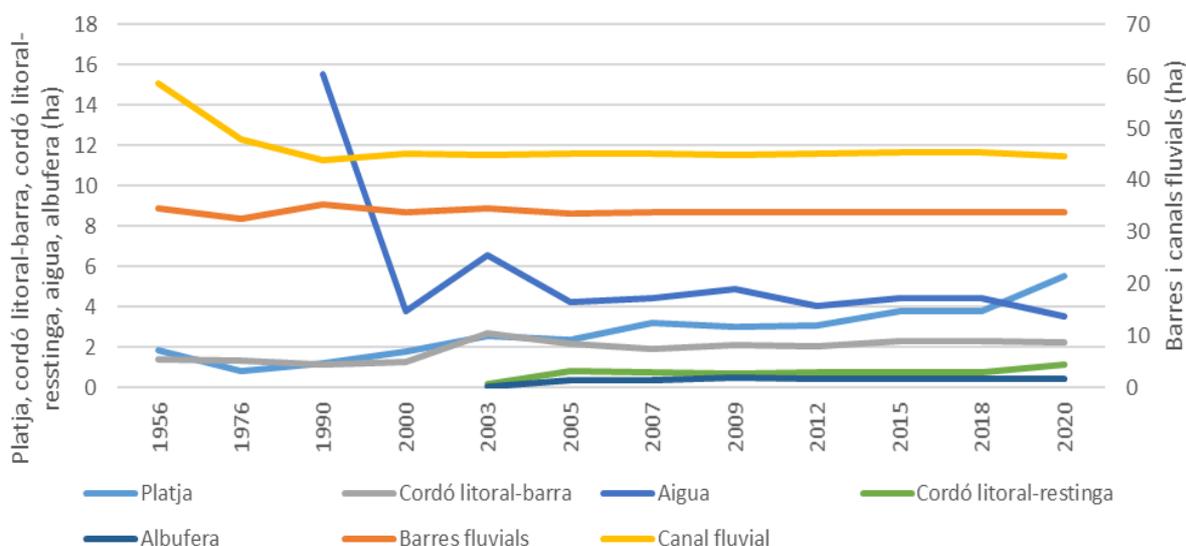
Quan a les formes, la desembocadura fluvial és complexa i està constituïda per tres canals, separats per dos barres fluvials triangulars. Encara que la classificació n'és difícil, els resultats de la cartografia diacrònica mostren que en l'àmbit fluvial, es produeix una reducció del canal i de la superfície ocupada per l'aigua i un augment de les barres (Taula 3, Fig. 8).

Pel que fa les formes litorals, la superfície de platja i el cordó litoral-barra que tanca les goles, augmenten de superfície. A partir de l'any 2003 apareixen petites albuferes que romanen més o menys estables al llarg del període d'estudi, sent una des les característiques més cridaneres d'aquesta desembocadura (Taula 3, Fig. 8)

#### *Els processos i les formes de la desembocadura: relació de forces entre els processos marins i els fluvials*

Encara que les xifres de la taula 3, donen una idea de l'evolució de la desembocadura, per entendre millor els processos cal treballar a petita escala i observar els canvis de cada gola, resumits a la taula 4 i les Figs. 9 i 10. Els moments més significatius respecte a l'evolució de la desembocadura es produeixen al 1976, 1990, 2002, 2015, 2020 i 2021. L'evolució de la zona al 1967 i al 1976, mostra una costa rectilínia, encara que amb un fort retrocés (Figs. 9 i 10). Durant aquest període les tres goles romanen actives, tancades per barres rectilínies. Crida l'atenció, que malgrat que la rambla de la Viuda a l'octubre de 1962 va tenir la revinguda més important del període (657 m<sup>3</sup>/s), s'haja produït aqueix fort retrocés.

A la imatge de 1967, la línia de costa roman al mateix lloc que en el període anterior, però encara no està fet l'espigó, mentre que al 1976 se n'observa clarament l'efecte de la seua construcció. També coincideix aquest període amb una forta extracció d'àrids que ha netejat el riu de sediments i, a més, tancant un espai albuferenc i una barra circular tancant un espai deltaic a la gola sud (Fig. 9). Cal pensar


**Fig. 8.** Evolució diacrònica de les formes de la desembocadura.

**Taula 4.** Síntesi dels canvis ocorreguts en el període en cadascuna de les goles.

DATA IMATGE	MODIFICACIONS	GOLA NORD	GOLA CENTRAL	GOLA SUD
04/07/1956		Cordó-barra tancat. Costa recta	Cordó-barra tancat. Costa recta	Cordó-barra tancat. Costa recta
18/07/1967	Sí. Costa rectilínia, regressiva	Extracció àrids. Restricció caixer. Cordó-barra tancat. Costa recta	Extracció àrids. Restricció caixer. Cordó-barra tancat. Costa recta	Extracció àrids. Restricció caixer. Cordó-barra tancat. Costa recta
01/03/1976	No. Costa rectilínia	Extracció àrids. Restricció caixer. Espigó. Cordó- barra tancat. Costa recta	Extracció àrids. Restricció caixer. Espigó. Cordó- barra tancat. Costa recta	Extracció àrids. Restricció caixer. Espigó. Cordó-barra tancat. Costa recta
01/01/1990	Sí. Costa progradant	Cordo-restinga tancant albufera	Cordo-restinga tancant albufera	Cordo-restinga circular tancant albufera
00/08/2000	Sí. Costa rectilínia i regressiva	Desaparició albufera. Petit ventall deltaic	Cordó-barra tancat	Cordó-barra tancat
13/08/2002	Sí. Progradació parcial	S'inicia creixement fletxa adossada a l'espigó	Cordó-barra tancat. Per davant, creixement cordó- fletxa. Emersió de barra ?	Cordó-barra obert. Dos fletxes adossades al caixer, acabades en ganxos: N-S la septentrional i S-N la meridional. La darrera, penetra per la desembocadura
25/4/2003 13/6/2003	Sí. Progradació	Cordó-barra tancat. Progradació per creixement de la barra. Fletxa amb ganxo (N-S) adossada a l'espigó	Cordó-barra tancat. Per davant, creixement cordó- fletxa amb ganxo (N-S), que s'ha adossat a la platja	Cordó-barra obert. Dos fletxes adossades al caixer, acabades en ganxos: N-S la septentrional i S-N la meridional. La darrera, incorpora una microalbufera
21/08/2005 7/11/2005	No	Igual que 2003	Igual que 2003. Cordó més tancat	Igual que 2003. Cordó més tancat
08/07/2007	No	Igual que 2005. Cordó-barra tancat. S'intueix barra submarina	Cordó-restinga i albufera tancada però restinga més ampla. S'intueixen ganxos en les dos direccions	Cordó-barra tancat per convergència dels dos ganxos
14/8/2007 2/9/2007	No	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
12/05/2009	No	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Cordó-barra obert i petita ploma de sediments
5/8/2009 25/9/2009	No	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
11/07/2011	No	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior, però cordó-barra tancat

**Taula 4** (continuació). Síntesi dels canvis ocorreguts en el període en cadascuna de les goles.

DATA IMATGE	MODIFICACIONS	GOLA NORD	GOLA CENTRAL	GOLA SUD
29/08/2011	No	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
23/06/2012	No	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
16/6/2012 28/7/2012	No	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
17/07/2014	No	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
6/5/2015 3/8/2015	Sí, parcial progradació	Lleugera progradació de la barra	Creixement fletxa amb ganxos (N-S)	Cordó-barra obert, amb adhesió de dos ganxos a la barra meridional (direcció N)
22/10/2015	Sí, parcial progradació	Igual que l'anterior	Creixement fletxa amb ganxos (N-S) que tanquen microalbufera	Cordó-barra obert i formació d'una barra recta i ganxo transformat en illa
16/11/2016	no	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Cordó-barra tancat format per doble fletxa i dos ganxos de direcció oposada. Progradació fletxa meridional
08/06/2017 23/08/2017	no	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
02/09/2017	no	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
13/6/2018 24/8/2018	no	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
02/08/2018	no	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
14/05/2019 30/06/2019	no	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
10/02/2020	sí	Creixement d'un cordó. Emersió barra submarina?	Creixement d'un cordó per davant de l'antiga albufera ja desapareguda. Emersió barra submarina?	Cordó-barra obert i formació de ploma i un petit ventall deltaic (S-N)
22/05/2020	sí	Cordó-restinga tancat i formació microalbufera	Fletxa adossada a l'antiga restinga (petit delta) amb ganxos de doble direcció. El del nord tanca una microalbufera	Creixement d'una fletxa adossada al cordó-fletxa interior que roman obert

s'ha fet una restricció del llit trenat (*braided*), que a part de constrènyer el canal actiu, ha destruït totes les formes fluvials (SEPÚLVEDA *et al.*, 2018). Durant el període no es produeixen grans temporals, excepte el de novembre de 1967, que no es veu reflectit a la Fig. 9 perquè és posterior.

Al 1990, la situació canvia radicalment i s'observa una forta progradació del riu a les tres goles (Fig. 9 i 10). No cal oblidar que els rius va estar abocant aigua durant els mesos de desembre 1989 i gener de 1990. També es va produir un fort temporal el dia 2 de desembre ( $H_s = 3,64$  m), que va ser previ als pics de les revingudes dels rius (30 de desembre). Les formes són les més complexes de totes: dos barres rectes paral·leles a la costa, a les goles nord i central, amb dos ganxos cap al nord i cap al sud, quasi quasi tancant un espai albuferenc i una barra circular tancant un espai deltaic a la gola sud (Fig. 9). Cal

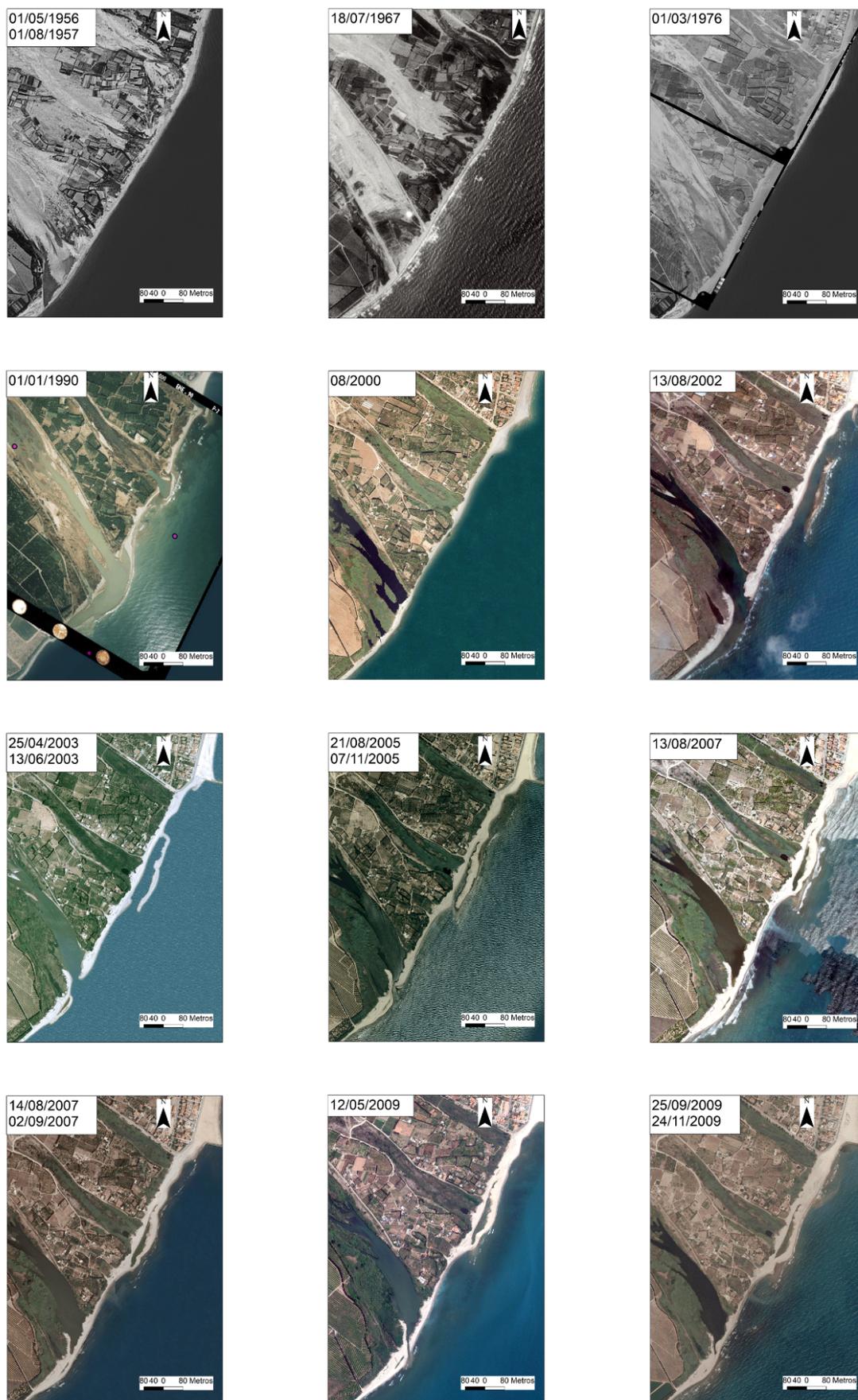


Fig. 9. Fotografies i ortofotografies de la zona d'estudi entre 1956 i 2020. Font: ICV i Google Earth.

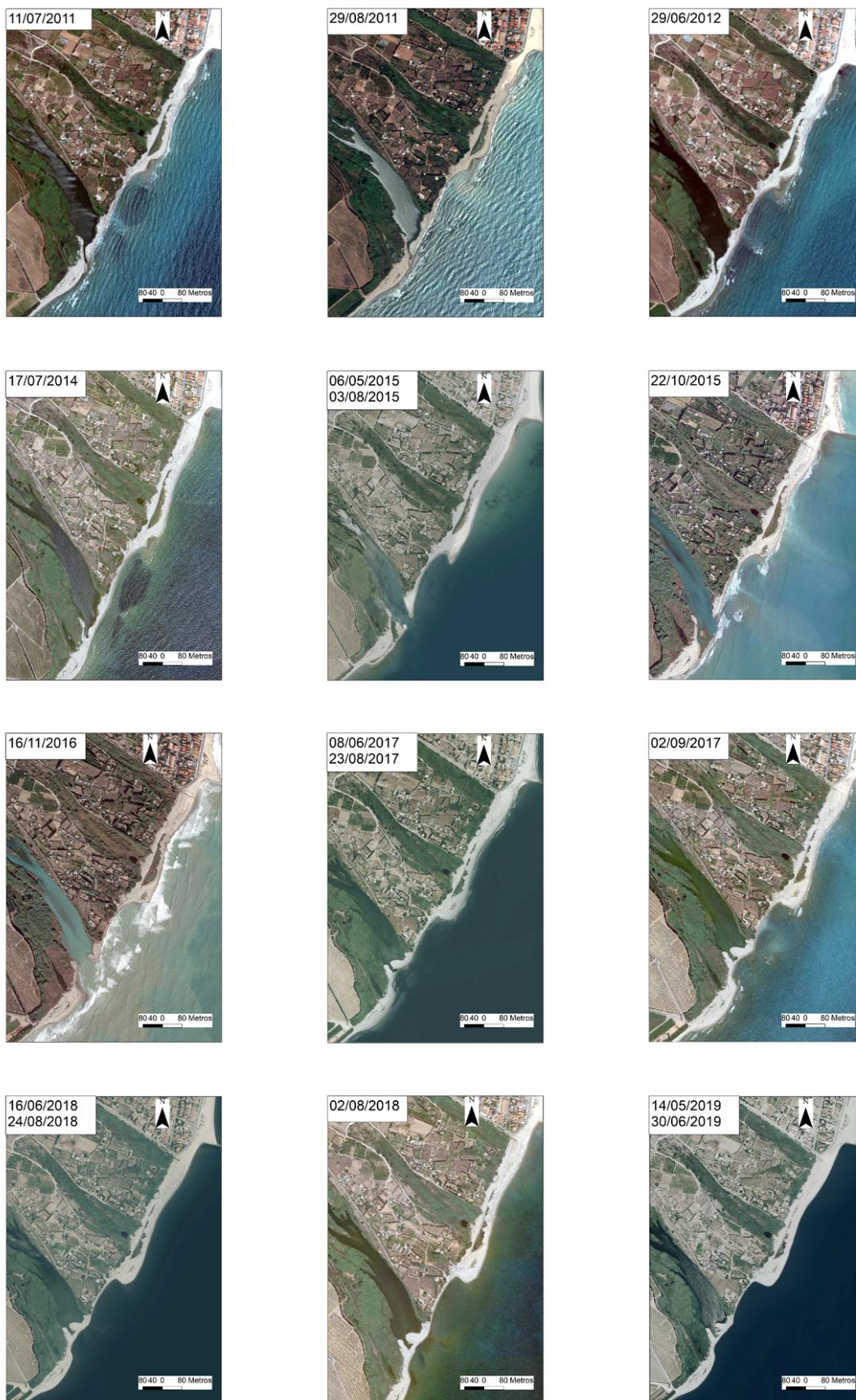


Fig. 9 (continuació). Fotografies i ortofotografies de la zona d'estudi entre 1956 i 2020. Font: ICV i Google Earth.

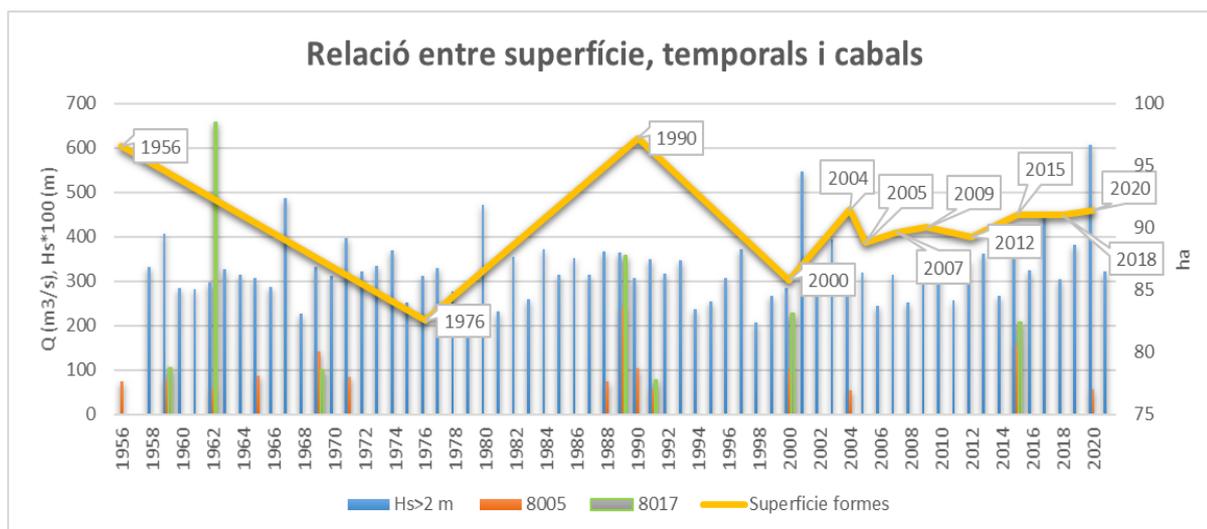
pensar que la difracció de l'onatge és la responsable d'aquestes formes. La forta progradació de la desembocadura, desapareix en dates posteriors, segurament com a conseqüència dels temporals que netegen la zona de sediments.

La següent fita de la que tenim registre a les fotografies aèries és al 2002 (Fig. 9), on s'aprecien canvis significatius a les gòles central i meridional. A la primera, es va formar un cordó litoral recte i paral·lel, però separat uns 50 m de la línia de costa. La gola meridional s'ha obert, amb dos cordons litorals ambdós costats: el més septentrional, acaba en un ganxo en sentit S-N, mentre que el meridional està orientat en sentit contrari. Aquesta doble direcció fa pensar en direccions d'onatge oposades --de l'E o NNE per al septentrional i del SE per al meridional-- o bé l'acció de la refracció/difracció de l'onatge que provoca una doble direcció del moviment dels còdols durant els temporals més forts (MORALES *et al.*, 2004 i 2006).

Les dos fletxes de la gola meridional romandran més o menys estables a partir d'aquest moment, quedant com dos apèndixs que penetren cap a l'interior de la gola (Fig. 9). A l'any 2003, l'única diferència és que el cordó central s'enganxa al continent per l'extrem septentrional, produint-se el tancament total d'una bassa al 2006, mentre que el meridional, en adherir-se al continent per un ganxo, en tanca una altra. Aquestes formes no existien a la foto de 2000, anterior a la forta riuada de l'octubre de la rambla de la Viuda ( $225 \text{ m}^3/\text{s}$ , el dia 26). Així doncs, no queda clar si la progradació de 2002 és conseqüència d'aquesta riuada o de l'apilament del material en forma d'un *ridge* degut als temporals. Val a dir que al novembre de l'any 2001, es va produir un que va assolir una  $H_s$  de 5,48 m, sent el major de la sèrie en el punt SIMAR fins a aqueix moment. Així doncs, la progradació detectada a les imatges de 2002 i 2003 deu ser conseqüència d'aportacions fluvials de la riuada de 2000 i la posterior redistribució pels temporals.



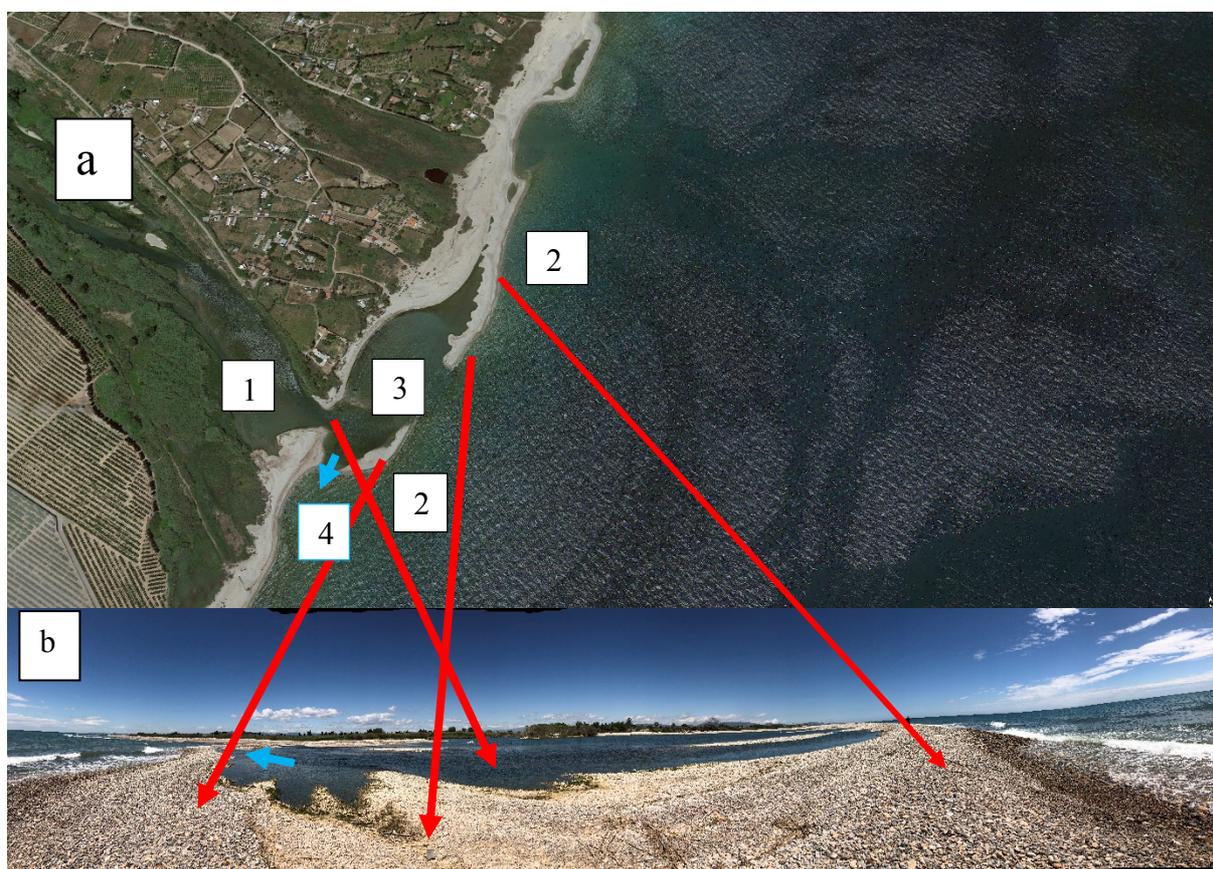
**Fig. 9** (continuació). Fotografies i ortofotografies de la zona d'estudi entre 1956 i 2020. Font: ICV i Google Earth



**Fig. 10.** Evolució de la superfície de la zona d'estudi, cabals dels aforaments 8005 (Millars, la presa de Vila-real) i 8017 (rambla de la Viuda, eixides de l'embassament de Maria Cristina) i  $H_s$  dels principals temporals (el valor s'ha multiplicat per 100 per tal de poder representar-lo en el mateix gràfic d'una manera visible). Font: CEDEX, SIA-CHJ i *Puertos del Estado*. Elaboració pròpia.

La següent fita important es produeix al 2015, on es registra una petita progradació (Fig. 10) que també s'observa en les tres imatges d'aquest any (Fig. 9). La gola central roman tancada i enfront, la petita albufera manté la restinga tancada, però la fletxa que se li adossa avança cap al sud mitjançant successius ganxos. La gola meridional roman oberta, com a conseqüència de les dues riudes que s'han produït durant l'any: el Millars va tenir un pic de 206,8 m<sup>3</sup>/s el dia 24 de març i la rambla de la Viuda, de 156,06 m<sup>3</sup>/s, el 3 de novembre. La petita progradació (Fig. 9 i 10) respon al primer esdeveniment, atès que el segon és posterior a les ortofotografies. Tanmateix, potser aquest es reflexa a la imatge de 2016, on s'albira una barra submarina submergida que marquen els ones en trencar. Probablement haja estat generada pel temporal del 2 de novembre de 2015 que, coincidint amb la revinguda de la rambla de Viuda, va produir un fort onatge, amb una H<sub>s</sub> de 3,91 m.

Als anys següents aquestes formes desapareixen i l'estabilitat regna a la zona fins al 2020. Durant aquest any els canvis són notables: a la imatge de febrer es veu un xicotet ventall (o plomall?) a la gola meridional, on el riu segueix rajant, encara que amb cabals minsos. També és rellevant que la microalbufera de la gola central s'ha reblert, incorporant-se a la platja i s'ha format una altra barra paral·lela a la costa, que s'allarga fins a la gola meridional. Malgrat que els rius no aboquen cabal significatiu, en aquest moment ja s'ha produït el temporal Glòria, que ha estat considerat un dels més importants del segle XX (AMORES *et al.*, 2020). Al punt SIMAR 2085119 s'ha estimat una H<sub>s</sub> de 6,07 m, a les 6 del matí del dia 20 de gener.



**Fig. 11.** Evolució de la gola meridional entre els mesos de maig de 2020 (a) i de 2021 (b). En la imatge (a) la gola meridional apareix tancada per una doble barra: una primera trencada pel riu, on s'albiren dos fletxes amb ganxos orientats en sentit contrari (1), que penetren dins del riu i per davant, dos fletxes més amb ganxos progradants de direccions contraries però desconnectats (2). A la imatge (b), restinga circular que tanca la gola meridional el 12 de maig de 2021. Al llarg de l'any s'han connectat les dos fletxes, que s'han transformat en una restinga circular que tanca una microalbufera (3), oberta per una gola lateral per on desguassa el riu (4, fletxa blava). Font Fig. 11a: ICV.

Al mes de maig les formes havien evolucionat: el cordó de la gola central s'havia convertit en una fletxa amb un ganxo a la part septentrional (sentit S-N) que tanca una petita albufera, mentre que pel sud la fletxa avança mitjançant successius ganxos progradants (sentit N-S). Al mateix temps, a la gola meridional s'ha format una barra que avança cap al nord amb un ganxo final (sentit S-N). Actualment les formes han evolucionat prou més, de manera que a la gola central encara queden restes de la bassa i a la meridional s'ha tancat una albufera prou gran, amb una barra circular semblant a la de 1990. El riu desguassa per una petita gola que s'albira en un trencall de la imatge de maig de 2020 (Fig. 11) però la restinga té forma completament circular. Val a dir que, després del Glòria, s'han produït tres temporals més amb  $H_s > 2$ : al març, abril i novembre de 2020 i (per tant, posteriors a les imatges de la Fig. 9) i al 2021, al gener i març amb  $H_s$  que han estat entre 2,5 i 3,5 m. Per tant, és probable que aquesta forta recurrència dels temporals siga responsable de la situació actual.

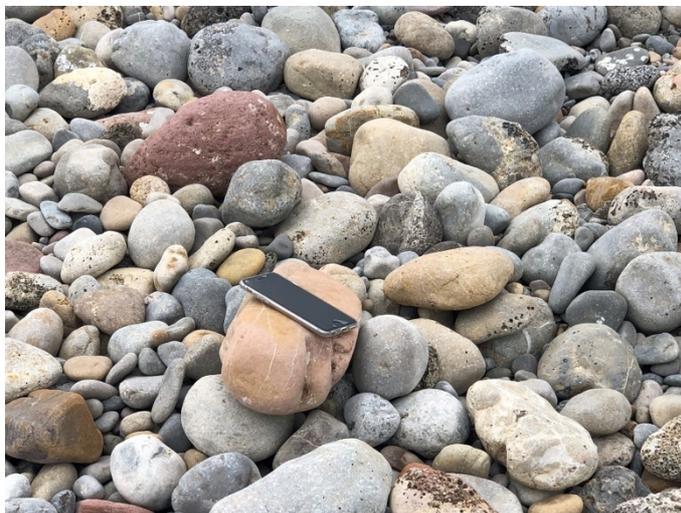
L'evolució de la línia de costa durant el període ha estat d'avanços i reculades successives i, fins a 2020, no s'ha superat la línia de costa de 1956. A la part septentrional i central la progradació sembla consolidada; a la part meridional és més dubtosa, ja que és difícil predir l'evolució de l'albufera circular que hi ha entre la gola central i la meridional. Com a corol·lari, dir que la gola meridional s'obri o es tanca en funció de les revingudes, mentre que la central i la meridional no mostren activitat des de l'any 2002. Sembla per tant, que les dues goles perden funcionalitat i només la meridional vehicula les revingudes fluvials.

#### *La dimensió vertical i les microformes*

La cartografia feta a partir d'imatges aèries només permet analitzar les formes i l'evolució en dues dimensions; tanmateix, el treball de camp permet fixar-ne la tercera dimensió i les microformes que escapen a l'objectiu de la càmera.

Vistos al camp, els successius cordons que tanquen les goles de la desembocadura adopten la forma d'un *ridge* de materials gruixuts, que pot assolir una alçada de 2-3 m en alguns indrets. El calibre del sediment de totes les formes és molt groller: són còdols amb un diàmetre que freqüentment supera els 10 cm i grava gruixuda, encara que el processos de rentat fan que per sota el material siga més fi, com confirmen algunes lletilles intercalades entre el gruixut codolar (Fig. 12). Per les seues característiques són semblants al *ridge* que tanca l'albufera de Torreblanca (SANJAUME *et al.*, 1990), encara que adopten diverses formes segons on s'adossen.

Al començament de la sèrie, les tres goles estaven tancades per cordons rectes (Fig. 9), però més endavant, comencen a aparèixer els altres tipus. A la gola central –i en algun cas també a la septentrional– han predominat els cordons-fletxa, que en adossar-se al continent pels dos extrems,



**Fig. 12.** Calibre dels sediments dels *ridges*. Dimensions del mòbil: 15 x 7,5 cm



**Fig. 13.** Ganxos progradants que penetren dins de l'albufera de la gola meridional i que ajuden al seu reblliment.



s'han convertit en restingues, que tanquen microalbuferes que amb el temps es rebleixen i passen a formar part de la platja. El paper dels ganxos (Fig. 13) és fonamental en el tancament i posterior rebliment de les microalbuferes, responsabilitat compartida amb els *washover fans*, generats durant els temporals forts per processos d'*overwash* (LEATHERMAN *et al.*, 1987), que ajuden a créixer vertical i horitzontalment el cordó litoral, per apilament (Figs. 13 i 14). Quan les basses queden reblertes, s'incorporen al continent i acaben convertint-se en un ventall deltaic. El mecanisme consisteix, per tant, en la migració terra endins dels *ridges* que, malgrat tot donen una seqüència lleugerament progradant, que es pot identificar en les imatges.

Pel que fa a les restingues circulars que es formen a la desembocadura meridional, els processos i les microformes són els mateixos, però potser la curvatura siga l'efecte de la major funcionalitat de la gola fluvial: al vehicular els cabals de manera prioritària potser ofereix major resistència a l'onatge, però també potser conseqüència de la morfologia del fons, del volum d'aportacions fluvials o de la direcció de l'onatge. En qualsevol cas, la formació d'aquests cordons, ateses les dimensions dels sediments, no pot dependre del corrent litoral, que no té capacitat de transportar-los. Per tant, cal pensar en la difracció de l'onatge i l'apilament durant els temporals per a explicar la seua gènesi. També cal tenir en compte la topografia del fons marí, que deu canviar a cada revinguda, però malauradament, només tenim informació de les isòbates de l'any 2009-10. Com a hipòtesi, les barres rectes que tanquen les goles han estat formades per onatges paral·lels a la costa en moments de baixa aportació fluvial, mentre que els cordons-restinga circulars –com els que es va formar l'any 1990 i el 2020 a la gola meridional–, deuen ser conseqüència d'una forta aportació fluvial, continuada durant el temps (Fig. 9) i, per tant, d'un predomini dels processos continentals sobre el marins, en la mesura que la progradació és major. Així doncs, l'evolució de la zona consisteix en un conjunt de *ridges* progradants que s'adossen uns als altres i que fan avançar la línia de costa. Tenen altures diferents i dins de cadascun s'hi observen diferents nivells de bermes de temporal. A la gola meridional, el *ridge* actual té un desnivell de 2'5-3 m i es poden observar 3 i 4 bermes segons els sectors. Cal pensar que són resultats dels importants temporals esdevinguts durant els anys 2019 i 2020 (abans no existia aquest cordó) (Fig. 15).

El calibre dels materials que conformen els *ridges* indica la gran energia de les ones que els han mobilitzat. Si bé aquest és un tret dominant en tota la zona, atès que són els sediments típics de rius d'alta energia (tipus *braided*), és possible que també reflecteixin l'increment d'energia de l'onatge dels temporals dels darrers anys que s'albira en aquest treball (Fig. 5) i també detecten alguns autors (PARDO, 2021) i, per suposat, l'efecte del Glòria (AMORES *et al.*, 2020).



**Fig. 14.** Microalbufera de la gola septentrional, a mig reblir pels *washover fans*. L'albufera continuava cap al sud, seguint l'alineació de la vegetació.



Fig. 15. Bermes de temporal a la restinga circular de la gola meridional.

## Discussió i conclusions

Al llarg del treball s'ha posat de manifest la complexitat de l'evolució de la desembocadura del Millars. Malgrat que és únicament l'estudi d'un cas i els resultats no es poden generalitzar, sí que hi ha una sèrie de qüestions rellevants sobre les que convé reflexionar:

### *Sobre qüestions metodològiques*

Les fotografies aèries i les ortofotografies estan a l'abast de tothom i, avui en dia, tenen una resolució espacial i temporal extraordinària. Al llarg del treball, hem vist com en un mateix any pot haver-hi diverses fotografies que mostren canvis significatius però també poden passar uns quants anys sense canvis importants. Tanmateix, no cal oblidar que són imatges fixes que capten un ambient amfibi, efímer i de gran mobilitat, per la qual cosa no sempre capten el moment més interessant. Així, per tal d'esbrinar millor el funcionament dels processos que intervenen caldria combinar aquest tipus de registres històrics amb l'ús de drons i/o càmeres de vídeo, com ja es fa en altres indrets de la costa (GUERRERO i GUILLEN, 2020).

D'altra banda, la classificació de les formes de la desembocadura és molt difícil de fer, atesa la seua transformació. Els cordons-barra que tanquen les goles fluvials es poden obrir i tancar; les barres que apareixen paral·leles a la costa s'hi enganxen transformant-se en fletxes que acaben en ganxos i, si s'acoblen pels dos extrems, deixen una microalbufera més o menys tancada. Les formes són efímeres i no és fàcil deduir el paper que juguen els processos fluvials i els marins. Malgrat tot, és un intent d'entendre la gènesi i l'evolució dels ventalls deltaics, mostrant tota la seua complexitat.

### *Sobre la progradació fluvial i el dèficit hidrosedimentari dels sistemes fluvials i litorals*

Una de les qüestions interessants és el fort retrocés de la costa als anys 60 i l'escassa progradació posterior al llarg d'un període que depassa el mig segle. Sens dubte el dèficit hidrosedimentari detectat als rius n'és responsable de la falta de sediments: els embassaments i la forta extracció d'àrids han fet minvar la font d'alimentació. L'acció conjunta d'aquestes intervencions humanes ha provocat una gran quantitat de canvis en rius perennes i efímers (POULOS i COLLINS, 2002; BATALLA, 2003; RINALDI *et al.*,

2005; PRECISO *et al.*, 2012; SURIAN i RINALDI, 2003; CONESA i PÉREZ CUTILLAS, 2014; SEGURA i SANCHIS, 2013; SANCHIS-IBOR *et al.*, 2017, 2018).

A més, la manca d'una gestió adequada dels recursos hídrics per mantenir el bon estat ecològic de sistema fluvial ha permès que continués encara més el deteriorament de la llera i el seu estrenyiment. Al cas del Millars-rambla de la Viuda, cal tenir en compte que l'embassament de Maria Cristina es va construir al 1920 i el Sitjar, al 1960. La localització d'ambdues infraestructures prop de la costa (Fig. 1) fa que la font d'alimentació de la desembocadura es redueixi a poc més de 20 km de caixer, atès que no hi ha cap affluent aigües avall. A més, la intensa extracció d'àrids detectada a la fotografia de 1967, encara va minvar més les aportacions. Les conseqüències ja van ser detectades per SEPÚLVEDA *et al.* (2018) al propi caixer del riu, on s'observà que entre 1956 i 1967 les extraccions d'àrids van destruir més del 75% de les formes. La restauració parcial de la morfologia fluvial es va produir amb les revingudes de 1990-1991, que van fer progradar el ventall deltaic i també, en menor mesura, a les riudes de l'any 2015, però fins a l'any 2020 no s'assoleix la posició de 1956. Pel que fa a la línia de costa, MATEU (1982) reporta un fort retrocés al sud del port de Castelló entre 1910 i 1935 (més de 150 m), com a conseqüència de la construcció i ampliació del port (acabat al 1922). Per a combatre l'erosió es van construir quatre espigons, un dels quals se situa aigües amunt de la gola nord (PARDO, 1991), i es responsable de l'erosió detectada a la zona a la fotografia de 1967.

A l'albufera de Torreblanca, situada al sud de la desembocadura del riu de les Coves, en un estudi que abasta pràcticament el mateix període (PARDO *et al.*, 2019), s'ha trobat un lleuger retrocés de la costa entre 1956 i 1966, i una certa progradació posterior fins a 1985. A partir d'aquest moment es produeix un retrocés brusc entre 1991 i 2002, coincidint amb els forts temporals de 2001-2002 i, posteriorment, es va guanyant platja fins a 2015, tot i que en aquesta data no s'havia assolit la línia de costa de 1956. Encara que les condicions són diferents en els dos espais, perquè a Torreblanca s'estudia una restinga, l'evolució global del període és la mateixa: una forta erosió fins als anys 1980, que es recupera molt lentament fins a l'actualitat. Els moments de retrocés i progradació no coincideixen en els dos indrets: cal tenir en compte que a la desembocadura del Millars les aportacions fluvials són directes mentre que a l'albufera de Torreblanca els sediments procedeixen de forma indirecta del riu de les Coves, situat un quilòmetre al nord de la restinga.

També hi ha certa similitud en el paper dels temporals: encara que al Millars no es pot captar la seua empremta, sembla que aquests són els responsables de la redistribució dels materials. A Torreblanca produeixen una forta erosió, encara que després, la platja es recupera poc a poc (PARDO-PASCUAL *et al.*, 2019); al cas del Millars, la situació és més complexa, tot depenent de si coincideixen amb riudes o no, els temporals poden provocar erosió o progradació de la costa.

A la desembocadura del Millars sembla que el creixement del ventall deltaic està associat a l'aparició de barres, fletxes i ganxos, que van creixent longitudinalment però també verticalment. La forta energia de l'onatge durant aquests processos fa créixer *ridges* successius i rebleix les microalbuferes, transformant així un espai marí-amfibi en una platja i, a la llarga, en un ventall deltaic. La seqüència seria la següent: formació d'una barra (recta si és únicament marina; corbada si són aportacions fluvials també), que es converteix en una fletxa, amb ganxos que tanquen microalbuferes. Els deltes de vessament (*washover fans*) i els propis ganxos, acaben reblint les llacunes i l'espai es transforma en una platja adossada al ventall deltaic.

Els resultats dels processos fluvio-marins descrits impliquen que la tendència evolutiva del ventall deltaic comença amb un retrocés respecte a 1956, que respon de forma directa a la minva de sediments produïda per l'acció antròpica als rius (embassaments i extracció d'àrids) i a la costa (espigons), però que probablement també respon a causes indirectes naturals (canvis climàtic-hidrològics, SEGURA-BELTRAN i SANCHIS-IBOR, 2013), alteracions antròpiques del sistema fluvial (canvis d'usos del sol de la conca, GARÓFANO-GÓMEZ, *et al.*, 2013) o del litoral (port de Castelló i espigons, PARDO, 1991). El resultat és un dèficit hidrosedimentari que es trasllada al sistema litoral on s'alternen fases de pèrdua important del ventall deltaic –associats als temporals– amb fases de guanys –associats als escassos períodes de fortes revingudes–, la qual cosa trastoca l'evolució del ventall deltaic. Així, uns ventalls que haurien d'estar dominats pels processos fluvials –atès que es tracta de rius d'alta energia, una costa

micromareal i un onatge poc important– acaben dominats pels processos marins, tal i com ocorre també al delta del riu Vélez (SENCIALES i MÁLVAREZ, 2003).

Els resultats d'aquest treball posen de manifest els mecanismes de construcció d'un ventall deltaic, amb unes formes efímeres i de transició que interfereixen entre elles i finalment fan evolucionar la desembocadura. Tanmateix, el canvi global que afecta les conques de drenatge i el litoral està afectant la construcció d'aquestes formes. En un futur caldrà analitzar altres casos per veure si es tracta de fenòmens globals o locals i si els processos són generals o específics de cada cas.

## Agraïments

Aquest treball està finançat pel projecte CGL2017-86839-C3-1-R del MINECO i ha estat finançat per fons FEDER. Puertos del Estado ha facilitat les dades del punt SIMAR 2085119.

## 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. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(7): 1955-1968.
- BATALLA, R.J., 2003. Sediment deficit in rivers caused by dams and instream gravel mining. A review with examples from NE Spain. *Cuaternario y Geomorfología*, 2003, 17 (2): 79-91.
- CONESA GARCÍA, C. i PÉREZ CUTILLAS, P. (2014): Alteraciones geomorfológicas recientes en los sistemas fluviales mediterráneos de la Península Ibérica: Síntomas y problemas de incisión en los cauces. *Revista de Geografía Norte Grande*, (59): 25-44.
- GARÓFANO-GÓMEZ, V., MARTÍNEZ-CAPEL, F., BERTOLDI, W., GURNELL, A., ESTORNELL, J. i SEGURA-BELTRAN, F. (2013): Six decades of changes in the riparian corridor of a Mediterranean river: a synthetic analysis based on historical data sources. *Ecohydrology*, 6(4): 536-553.
- GUERRERO, Q. i GUILLÉN, J. (2020): Dynamics of ripples superimposed on a sand ridge on a tideless shoreface. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 242: 106826.
- LEATHERMAN, S.P. i ZAREMBA, R.E. (1987): Overwash and aeolian processes on a US northeast coast barrier. *Sedimentary Geology*, 52 (3-4): 183-206.
- MATEU BELLÉS, J.F. (1982): El Norte del País Valenciano: geomorfología litoral y prelitoral. Universidad de Valencia. Sección de Geografía. València. 286 pp.
- MENDOZA, E.T. i JIMENEZ, J.A. (2008): Coastal storm classification on the Catalan littoral (NW Mediterranean). *Ingeniería hidráulica en México*, 23(2): 21-32.
- MORALES, J.A., BORREGO, J. i BALLESTA, M. (2004): Influence of harbour constructions on morphosedimentary changes in the Tinto-Odiel estuary mouth (south-west Spain). *Environmental Geology*, 46(2): 151-164.
- MORALES, J.A., CANTANO, M., RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, A. i BANDA, R.M. (2006): Mapping geomorphology and active processes on the coast of Huelva (Southwestern Spain). *Journal of Coastal Research*, 48: 89-99.
- PARDO-PASCUAL, J.E. (1991): La erosión antrópica en el litoral valenciano. Generalitat Valenciana. Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports. València. 240 pp.
- PARDO-PASCUAL, J. E. (2021): El futur de les platges valencianes. Un repte ineludible. Mètode, Universitat de València.
- PARDO-PASCUAL, J.E., ALMONACID-CABALLER, J., RUIZ, L.A., PALOMAR-VÁZQUEZ, J. i RODRIGO-ALEMANY, R., (2014): Evaluation of storm impact on sandy beaches of the Gulf of Valencia using Landsat imagery series. *Geomorphology*, 214: 388-401.
- PARDO PASCUAL, J.E., ROCA, R. i SEGURA BELTRÁN, F. (2019): Análisis de la evolución de la línea de costa entre Alcossebre y Oropesa a partir de la fotografía aérea (1956-2015). *Cuadernos de Geografía*, 102: 39-72.
- PÉREZ CUEVA, A.J. (coord.) (1994): *Atlas climático de la Comunidad Valenciana (1961-1990)*. Direcció General d'Urbanisme i Ordenació del Territori. Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio.
- POULOS, S.E. i COLLINS, M.B. (2002): Fluvial sediment fluxes to the Mediterranean Sea: a quantitative approach and the influence of dams. *Geological Society, London, Special Publications*, 191(1): 227-245.

- PRECISO, E., SALEMI, E. i BILLI, P. (2012): Land use changes, torrent control works and sediment mining: effects on channel morphology and sediment flux, case study of the Reno River (Northern Italy). *Hydrological Processes*, 26(8): 1134-1148.
- RINALDI, M., WYŻGA, B. i SURIAN, N. (2005): Sediment mining in alluvial channels: physical effects and management perspectives. *River research and applications*, 21(7): 805-828.
- SANCHIS-IBOR, C., SEGURA-BELTRAN, F. i ALMONACID-CABALLER, J. (2017): Channel forms recovery in an ephemeral river after gravel mining (Palancia River, Eastern Spain). *Catena*, 158: 357-370.
- SANCHIS-IBOR, C., SEGURA-BELTRAN, F. i NAVARRO-GÓMEZ, A. (2018): Channel forms and vegetation adjustment to damming in a Mediterranean gravel-bed river (Serpis River, Spain). *River Research and Applications*, 35(1), pp. 37-47.
- SANCHO-GARCÍA, A., GUILLÉN, J., GRACIA, V., RODRÍGUEZ-GÓMEZ, A.C. i RUBIO-NICOLÁS, B. (2021): The Use of News Information Published in Newspapers to Estimate the Impact of Coastal Storms at a Regional Scale. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(5): 497.
- SANJAUME SAUMELL, E. (1985): *Las costas valencianas : sedimentología y morfología*, Universidad de Valencia, Sección de Geografía. 505 pp.
- SANJAUME, E., SEGURA, F. i PARDO, J. (1990): Procesos y formas en una restinga en retroceso: el caso de la albufera de Torreblanca. In GUTÉRREZ-ELORZA, M., PEÑA-MONNÉ, L. i LOZANO, V.M. (eds). *Actas 1ª Reunión Nacional de Geomorfología*, Teruel 12-17 septiembre 1990: 375-384. Universidad de Zaragoza – Sociedad Española de Geomorfología, Zaragoza.
- SEGURA BELTRAN, F. (1990): *Las ramblas valencianas*. Universitat de València, Departament de Geografia. València. 229 pp.
- SEGURA, F. (2004): Cambios hidrológicos en las ramblas y barrancos del Golfo de Valencia a lo largo del siglo XX. *Alteración de los regímenes fluviales peninsulares*. Fundación Caja Murcia, Murcia, cf. pp. 349-389.
- SEGURA-BELTRAN, F. i SANCHIS-IBOR, C. (2013): Assessment of channel changes in a Mediterranean ephemeral stream since the early twentieth century. The Rambla de Cervera, eastern Spain. *Geomorphology*, 201: 199-214.
- SEGURA-BELTRAN, F. i PARDO-PASCUAL, J.E. (2019): Fan deltas and floodplains in valencian coastal plains. In: MORALES, J. (ed.). *The Spanish Coastal Systems*: 489-516. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-93169-2\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-319-93169-2_21).
- SENCIALES, J.M. i MALVÁREZ, G. (2003): La desembocadura del río Vélez (provincia de Málaga, España). Evolución reciente de un delta de comportamiento mediterráneo. *Revista Cuaternario y Geomorfología*, 17(1-2): 47-61.
- SEPÚLVEDA, E., SANCHIS, C. i SEGURA, F.S. (2018): Cambios morfológicos en el cauce del riu Millars (1945-2012). In: CARMONA, P., SALOM, J., LÓPEZ, M.J. i ALBERTOS, J.M. (coords.), *Tecnologías de la información geográfica: perspectivas multidisciplinares en la sociedad del conocimiento*: 297-305. Universitat de València, València.
- SURIAN, N. i RINALDI, M. (2003): Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology*, 50(4): 307-326.

#### WEBS

CEDEX: <https://ceh.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>. Recuperat 7/5/2021.

SIA (Sistema d'informació automàtica de la Confederació Hidrogràfica del Xuquer): <https://aps.chi.es/siajucar/>. Recuperat 7/5/2021.

MITECO: <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/ecocartografias/default.aspx>. Recuperat 6/6/2021

PUERTOS DEL ESTADO: <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>. Recuperat 8/6/2021.

---

Data recepció: 09.06.21

Data revisió: 25.06.21

Revisió acceptada: 15.07.21

# ELS GEORISCOS A CATALUNYA: UNA REVISIÓ DE L'IMPACTE I DE LA GESTIÓ

Joan Manuel Vilaplana

Grup RISKMAT, Departament de Dinàmica de la terra i de l'Oceà,  
Facultat de Ciències de la terra, Universitat de Barcelona, Campus de Pedralbes, Martí i Franquès, s/n, 08028 Barcelona

**Resum:** L'impacte dels perills naturals constitueix un problema creixent de dimensions considerables a tot el món. Des de la segona meitat del segle XX, l'augment de la població, els fluxos migratoris, l'ocupació de nous espais i la creixent vulnerabilitat de la nostra societat han provocat un augment alarmant del risc de catàstrofes o desastres a causa de fenòmens naturals. El contingut d'aquest article en la seva primera part se centra en el territori de Catalunya, analitzant fenòmens geodinàmics tant d'origen exogen, com d'origen endogen que tenen un impacte perjudicial sobre el territori. Aquests fenòmens formen part dels processos geològics i geomorfològics (alguns d'ocurrència sobtada però tots recurrents) que canvien i fan evolucionar la superfície terrestre (formació i erosió del seu relleu). En resum, es tracta de fenòmens inherents als sistemes naturals i que condicionen indubtablement els éssers vius. En la segona part de l'article es comenten les accions de gestió en la mitigació dels georiscos i es reflexiona sobre les seves mancances. Es considera que hi ha un bon nivell de coneixements científics i tècnics, però no sempre es transfereix a accions de gestió. Falten bases de dades amb documentació sobre desastres passats i una bona avaluació de l'exposició al risc i la vulnerabilitat física i social del territori. Hi ha cartografies de zonificació de perillositat i perillositat, però encara no cobreixen tot el territori i, en alguns casos, les escales són inadequades. Hi ha plans de protecció civil ben dissenyats, però, per garantir-ne l'eficàcia plena, cal la implementació completa dels plans d'emergència a nivell municipal. Cal millorar la coordinació entre els procediments tècnics, les accions de mitigació i la planificació del territori. Per fer-ho, és fonamental fer un esforç de coordinació entre les administracions públiques i els òrgans competents. Les regulacions estan fragmentades i disperses en diferents àmbits legislatius, cosa que pot comportar l'incompliment. S'ha comprovat que, tot i que la nostra és una societat industrialitzada, avançada i suposadament resistent, els ciutadans no són conscients del seu grau d'exposició al risc natural ni de la seva vulnerabilitat individual i col·lectiva. Per solucionar aquesta deficiència, cal millorar la informació per a la societat i educar els nens i els joves en relació amb els perills naturals. La irresponsabilitat en el desenvolupament del territori, especialment en la presa de decisions sobre l'ús del sòl i la planificació urbana, ha provocat un augment significatiu de l'exposició al risc de desastres.

**Paraules clau:** *marina mercant, geologia, sindicalisme, gestió política, activisme social.*

**Abstract:** The impact of natural hazards constitutes a growing problem of considerable dimensions worldwide. Since the second half of the twentieth century, the increase in population, migration flows, the occupation of new spaces and the growing vulnerability of our society have led to an alarming increase in the risk of catastrophe or disaster due to natural phenomena. The content of this article focuses on the territory of Catalonia, analyzing geodynamic phenomena of both exogenous origin, and of endogenous origin that have a damaging impact on the territory. These phenomena are part of the geological and geomorphological processes (some of sudden occurrence but all recurrent) that change and evolve the Earth's surface (formation and erosion of its relief). In short, these are phenomena which are inherent to natural systems and which unquestionably condition living beings. The second part of the article discusses the management actions in the mitigation of geohazards and reflects on their shortcomings. It is considered that there is a good level of scientific and technical knowledge, but it is not always transferred to management actions. Databases with documentation on past disasters and a good evaluation of the risk exposure and the physical and social vulnerability of the territory are lacking. There are cartographies of danger and hazard zoning but not they do not yet cover the whole territory and in some cases the scales are inappropriate. There are well-designed civil protection plans but, to ensure their full effectiveness, the complete implementation of emergency plans at municipal level is needed. It is necessary to improve the coordination between the technical procedures, the mitigation actions and the planning of the territory. To do this, it is essential to make a coordination effort between the public administrations and the competent bodies. Regulations are fragmented and dispersed in different legislative areas, and this may lead to non-compliance. It has been found that, although ours is an industrialized, advanced and supposedly resilient society, citizens are not aware of their degree of exposure to natural risk, nor of their individual and collective vulnerability. To remedy this deficiency, it is necessary to improve the information to society and to educate children and young people in relation to natural hazards. Irresponsibility in territorial development, especially in decision-making on land use and urban planning, has led to a significant increase in exposure to disaster risk.

**Keywords:** *merchant marine, geology, union force, political governance, social activism.*

## Introducció

L'impacte dels riscos naturals representa un problema considerable i creixent a tot el món. Des de la segona meitat del segle xx, l'increment de la població, els fluxos migratoris, l'ocupació de nous espais i la creixent vulnerabilitat de la nostra societat han estat la causa que el risc de catàstrofe o desastre com a conseqüència de fenòmens naturals augmentés d'una manera alarmant.

L'anàlisi d'aquest article se centra en els fenòmens d'origen natural, més especialment en els fenòmens geodinàmics (inundacions, esllavissades, allaus, esfondraments i terratrèmols) que generen un impacte (danys) sobre el territori, cada cop més ocupat i utilitzat pels seus habitants. Aquests fenòmens formen part dels processos geològics i geomorfològics (d'ocurrència sobtada alguns, però tots recurrents) que fan canviar i evolucionar la superfície de la Terra (formació i erosió del relleu). En definitiva, es tracta de fenòmens inherents als sistemes naturals que, sense cap mena de dubte, han condicionat i condicionen els éssers vius.

Aquest article està basat en el contingut del capítol de georiscos (VILAPLANA, 2019) del llibre *Natura ús o abús* (2018-2019), editat per l'Institut d'Estudis Catalans. Així doncs, els següents apartats es centraran en l'anàlisi i la diagnosi del que hom anomena georiscos, centrat principalment en l'àmbit geogràfic de Catalunya. Finalment, hom farà una sèrie de comentaris per a la mitigació dels riscos naturals, de cara a una millor governança i convivència amb nivells de risc tolerables.

## Per què considerar els georiscos?

Malgrat que a final del segle xx les Nacions Unides van dur a terme accions globals i concretes per a la mitigació dels riscos naturals al planeta (Decenni per la Lluita contra els Desastres Naturals, 1990-1999, UNISDR), l'impacte social i econòmic dels riscos naturals, tant en països desenvolupats com en aquells en vies de desenvolupament, ha anat en augment els darrers anys i continua la mateixa tendència de cara a un futur immediat. Les causes d'aquest fet estan lligades tant a la severitat dels fenòmens naturals, agreujada en molt casos pel canvi climàtic, com a la vulnerabilitat ambiental, física i social del territori i, sobretot, a l'exposició creixent dels seus elements (espais naturals, població, urbanisme, infraestructures, etc.).

L'Oficina de les Nacions Unides per a la Reducció del Risc de Desastres (UNISDR) estimula i coordina els esforços internacionals en la reducció del risc de desastres. Guiant i monitorant el progrés en la implementació del Marc de Sendai per a la Reducció del Risc de Desastres 2015-2030 i informant-se, promou campanyes per fomentar la consciència mundial dels beneficis de la reducció del risc de desastres i de donar poder a la gent per reduir la seva vulnerabilitat davant les amenaces. A més, advoca per majors inversions en la reducció del risc de desastres per protegir la vida de les persones i els seus béns i per una participació més gran i més ben informada dels homes i les dones en la reducció del risc de desastres.

L'impacte social i econòmic dels riscos naturals als nostres territoris creix, no tan sols per una possible accentuació dels fenòmens naturals extrems, sinó també, i sobretot, per mancances en les polítiques per a una millor gestió en l'ús i l'ocupació del territori i la consideració no suficient dels riscos naturals.

Els nostres territoris, tot i formar part del món desenvolupat, no queden al marge d'aquesta problemàtica. La creixent ocupació del sòl per a nous usos (especialment l'urbanístic) i els nous hàbits socials (especialment els lligats a la indústria del lleure) fan que hi hagi cada cop més territori i més població exposats als perills naturals. En aquest context, s'ha de considerar no solament l'impacte lligat a l'ocurrència d'esdeveniments extrems, que poden generar grans desastres, sinó també l'impacte dels fenòmens ordinaris (estacionals) i extraordinaris (crònics), molt freqüents en tota la nostra geografia i que trobem diverses vegades al llarg de la vida d'una persona.

En el conjunt de l'Estat espanyol, el 1987, l'*Instituto Geológico y Minero de España* va publicar un estudi sobre l'impacte econòmic i social dels riscos geològics a l'Estat en què es feia una previsió de

pèrdues econòmiques degudes als riscos geològics a l'Estat espanyol per al període 1986-2016 (AYALA-CARCEDO *et al.*, 1987). Per comunitats autònomes, Catalunya, en un escenari de risc mitjà, acumulava unes pèrdues per valor de 5.530 milions d'euros (185 cada l'any). El *Consortio de Compensación de Seguros*, conjuntament amb l'*Instituto Geológico y Minero de España*, va publicar el 2006 un estudi en el qual es feia una previsió de les pèrdues causades per terratrèmols i inundacions a Espanya entre el 2004 i el 2033 (FERRER *et al.*, 2004). Segons una hipòtesi de risc mitjà, el valor de les pèrdues, estimat en euros actualitzats al 2010, és de 95.000 milions, 55.000 dels quals correspondrien a l'impacte de les inundacions. Si concretem territoris, en relació amb les pèrdues esperables per terratrèmols, al País Valencià li correspondria el 10 % i a Catalunya, el 3,3 % del total de l'Estat espanyol. En relació amb les pèrdues esperables per inundacions, al País Valencià li correspondria el 28 %; a Catalunya, l'11%, i a les Balears, el 2,6 % del total, cosa que significa que el 41,6 % de l'impacte econòmic de les inundacions a l'Estat espanyol correspon a territoris dels Països Catalans.

La societat del segle XXI és i serà cada cop més exigent amb els nivells de qualitat, de seguretat i de sostenibilitat ambiental. En aquesta nova conjuntura, la lluita contra els riscos naturals o, millor dit, la convivència amb un nivell de risc tolerable hi juga un paper fonamental. En conseqüència, cal apostar decididament pel desenvolupament d'un programa coordinat sobre avaluació, zonificació i mitigació dels riscos naturals que abordi les estratègies preventives d'una manera integrada.

## Els principals georiscos a Catalunya

### *Les inundacions*

Si considerem els riscos naturals, el fenomen de les inundacions ha estat i és la principal causa de danys arreu dels nostres territoris. És el fenomen més freqüent i el que presenta més amplitud geogràfica. Cal diferenciar entre les inundacions de les grans conques fluvials (Ter, Llobregat, Segre, Ebre, ...) i les sobtades i ràpides (*flash floods*) en conques petites o en torrents de muntanya i en rieres o rambles costaneres. També cal distingir la inundació per desbordament dels llacs (cas de l'estany de Banyoles) i les inundacions litorals, en què es combinen la pujada del nivell del mar i els temporals marítims. En aquest darrer cas, s'ha de considerar també, com un cas especial i de baixa freqüència d'ocurrència, la possible inundació de la zona costanera per tsunamis.

Considerant els condicionants antròpics, hom ha de tenir en compte, com a casos molt peculiars, les inundacions urbanes, en què la impermeabilització del sòl i el clavegueram juguen un paper essencial, i les inundacions per ruptura de preses.

Arreu de Catalunya, històricament, la població de molts indrets ha hagut de conviure amb episodis severos d'inundacions, alguns dels quals han estat molt catastròfics (BARRIENDOS & MARTÍN-VIDE, 1998). N'hi ha que han afectat grans extensions geogràfiques i d'altres que s'han limitat a una conca hidrogràfica concreta, de vegades petita (LLASAT *et al.*, 2003).

Entre moltes avingudes històriques (LLASAT *et al.*, 2005), hom pot destacar les de l'Any del Diluvi, el 1617, que van assolir una gran part de Catalunya; l'aiguat de Santa Tecla, el 1874, que va afectar principalment les comarques del Camp de Tarragona, de la Conca de Barberà, del Priorat, de l'Urgell i de les Garrigues (amb 570 morts). Algunes de les més significatives s'indiquen a la taula 1.

La gran majoria dels municipis de Catalunya estan exposats al risc d'inundació en major o menor grau, si més no en algun tram de la seva xarxa hidrogràfica (Fig.1). Les avingudes més freqüents que provoquen danys són les de tipus *flash flood* i estan associades a les rieres litorals i als torrents i els rius de muntanya, però en cap cas s'han de desestimar les inundacions de les conques més grans.

El cost estimat de les inundacions a Catalunya entre 1997 i 2007 va ser de cent milions d'euros per any, tenint en compte únicament els béns assegurats (ESCUER, 2008). És un cost mínim, ja que molts béns no estan assegurats i que, a més, caldria afegir-hi els costos indirectes, no estimats en aquesta avaluació. L'*Il·lustre Colegio de Geólogos de España*, partint d'un estudi de l'IGME (AYALA-CARCEDO *et*



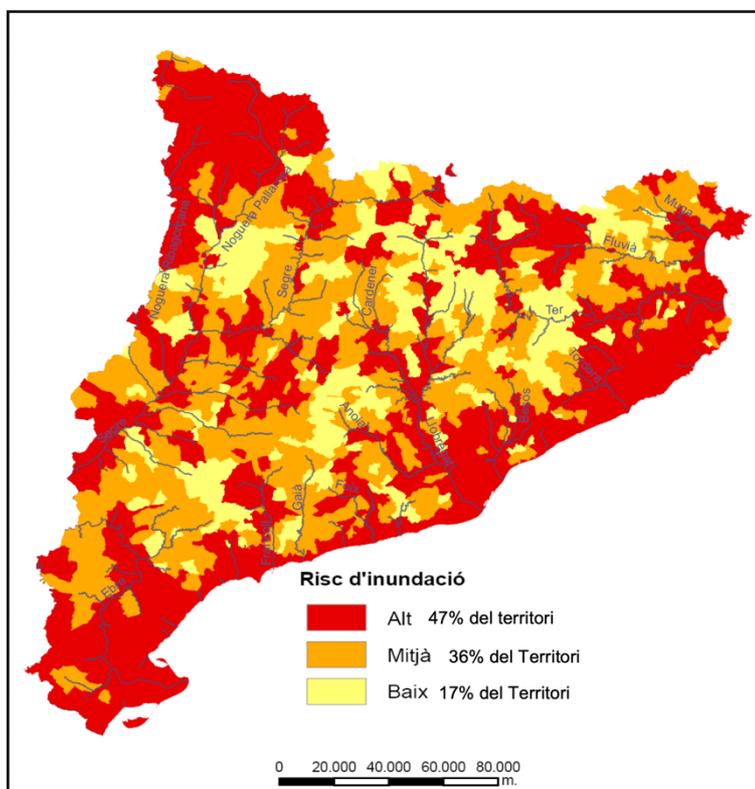
**Taula 1.** Selecció d'episodis d'aiguats amb inundacions severes als segles xx i xxi a Catalunya. Font: Agència Catalana de l'Aigua (ACA) i premsa.

Any	Abast geogràfic	Any	Abast geogràfic
1907	Pirineus: Nogueres, Segre, Ebre, Cardener, Fluvià	2004	Salou, Cambrils; riera d'Alforja, riera de Maspujols
1937	Pirineus: Nogueres, Valires, Segre, Ebre	2005	La Bisbal d'Empordà, riera de Calonge, Llobregat d'Empordà, pantà de Portbou
1940	Pirineus: Ter, Tec, Tet	2013	Alt Pirineu: Garona; Noguera Pallaresa
1959	Baix Llobregat, Penedès, Empordà	2015	Conca del riu Sió
1962	Vallès: Besòs, riera de Rubí	2016	Maresme, especialment les rieres de Cabrils i Vilassar
1971	Baix Llobregat	2019	Conca del riu Francolí
1982	Pirineus: Nogueres, Valires, Segre, Llobregat, Ter	2020	Riu Tordera (temporal Glòria)
1994	Conca del Francolí i rieres del Camp de Tarragona	2020	Delta de l'Ebre (temporal Glòria)
2000	Baix Llobregat, Anoia		

al., 1987), ha estimat que les inundacions a l'Estat espanyol tenen un cost anual d'entre 160 i 250 euros per habitant.

En l'actualitat, la principal problemàtica lligada a aquest risc, arreu dels territoris, està representada per la gran quantitat de sòl urbanitzable consolidat que es troba en zona inundable i que queda exposat al risc d'inundació. En la intersecció dels cursos fluvials amb poblacions i a les rieres de les zones costaneres, existeix un gran i greu conflicte entre la dinàmica fluvial i el creixement urbanístic. Antigament, les comunitats rurals sabien conviure amb els rius i les rieres, la pagesia sabia aprofitar les zones inundables i fins i tot la indústria tèxtil i paperera era conscient del perill de les avingudes. Però a partir de mitjan segle xx, la progressiva expansió urbanística gairebé mai no va tenir en compte el risc d'inundació a l'hora d'ocupar el territori. Així doncs, i cada cop més, les zones de planes fluvials, els cons de dejecció de rieres i torrents, els deltes i les planes litorals han estat, i ho segueixen sent, els indrets més preuats per a l'assentament d'urbanitzacions i polígons industrials. En els nostres rius quasi ja no queden espais naturals lliures perquè en les planes al·luvials es pugui laminar una avinguda de forma natural per l'efecte del desbordament.

Per aquests motius, en els darrers anys, les administracions han dut a terme estudis d'inundabilitat, de cartografies de

**Fig 1.** Mapa de risc d'inundacions a Catalunya per municipis. Font: VILAPLANA i PAYÀS (2008), modificat del Pla INUNCAT.

zones inundables i, de vegades, del risc associat per tal de conèixer la problemàtica territorial que aquest risc comporta.

A Catalunya, l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) fa temps que treballa en la planificació dels espais fluvials, en els quals la inundabilitat és un factor prioritari. Aquests darrers anys, la normativa europea (Directiva 2007/60 d'avaluació i gestió del risc d'inundació) ha obligat tots els estats de la Unió Europea a disposar de mapes d'inundabilitat (perillositat i risc) de totes les conques fluvials i zones litorals. De moment, les àrees afectades pels torrents de muntanya han quedat fora de consideració normativa.

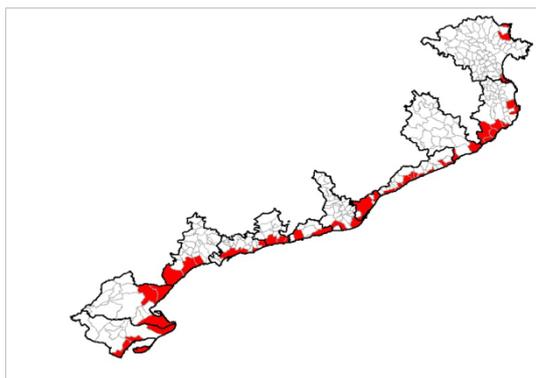
En el cas de l'Estat espanyol, la directiva europea ha estat transposada a la legislació espanyola mitjançant el Reial Decret 903/2010 d'avaluació i gestió de riscos d'inundació. La implantació d'aquesta directiva suposa una oportunitat per millorar la coordinació de totes les administracions a l'hora de reduir aquests danys, centrant-se fonamentalment en les zones amb més risc d'inundació, anomenades àrees de risc potencial significatiu d'inundació (ARPSI). Durant el període 2011-2015, es va desenvolupar el primer cicle de l'aplicació d'aquesta directiva, que va motivar l'aprovació dels plans de gestió del risc d'inundació (PGRI) l'any 2016. En aquests moments s'estan implantant aquests plans i, alhora, està en desenvolupament el segon cicle de la directiva, que derivarà en una revisió dels treballs a fer fins a l'any 2021. En el cas de Catalunya i de les seves conques internes, on l'Agència Catalana de l'Aigua té competències plenes, s'encarrega d'elaborar i coordinar l'avaluació de la gestió del risc en col·laboració amb les autoritats de Protecció Civil i l'administració competent en matèria de costes (AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA, 2017). A les conques intercomunitàries, les competències són compartides amb l'Estat espanyol a través de la *Confederación Hidrográfica del Ebro* (CHE). L'ACA, en el cas dels afluents de la conca de l'Ebre i de la Garona, exerceix de policia del domini públic hidràulic (DPH).

Fa pocs anys, doncs, que hom disposa d'aquests documents normatius, essencials per a l'ordenació del territori i, sobretot, per al bon planejament urbanístic.

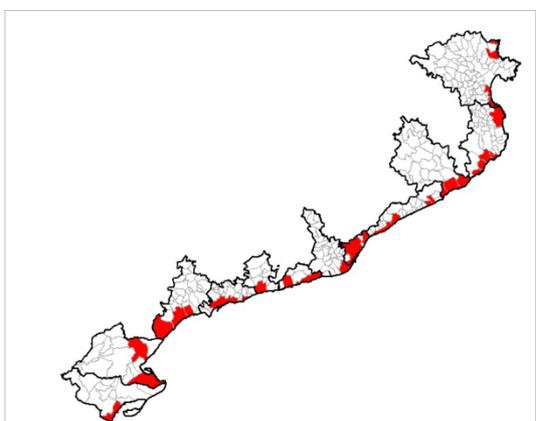
Aquesta normativa obliga els estats membres de la Unió Europea a assumir una política hidràulica molt més preventiva i a incloure l'urbanisme, el medi ambient i la protecció civil en la gestió dels riscos d'inundació. El primer pas per millorar la convivència amb el risc d'inundacions és conèixer les zones potencialment inundables, que es poden submergir d'una manera recurrent i amb magnituds (amplades i calats) diverses; de fet, moltes ja es coneixien abans, però no es disposava d'estudis ni sistemàtics ni normatius. A partir d'aquí, definida la perillositat i analitzada conjuntament amb la vulnerabilitat, hom pot avaluar el risc que s'ha de gestionar per tal de minimitzar-lo. La *Confederación Hidrográfica del Ebro* i l'Agència Catalana de l'Aigua disposen d'unes plataformes per fer públics els documents cartogràfics de les zones inundables de les conques en les quals tenen competències. Tota aquesta informació està integrada en el *Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables y de Presas del Ministerio para la Transición Ecológica*.

Les inundacions al litoral degudes als temporals marítics, relativament freqüents, també generen una gran perillositat, però són només una part dels processos que tenen lloc al litoral, especialment on la línia de costa és una platja (GUILLÉN, 2008). La morfologia de les platges és conseqüència d'una adaptació de les costes als canvis del nivell del mar, de la seva energia, de l'aportació de sediments i de la seva topografia. Si tenim en compte la recurrència i l'energia dels temporals a la costa mediterrània, el progressiu augment del nivell del mar (degut als efectes de l'escalfament global), la manca d'aportacions sedimentàries de rius, rambles i rieres i les interferències per les actuacions antròpiques, hom constata que el retrocés de la línia de costa és un fet real i probablement irreversible. Segons dades del Servei Meteorològic de Catalunya, el nivell del mar mostra una tendència positiva estadísticament significativa d'un increment de +3,3 cm/decenni. Això significa que durant els temporals la inundació del mar va avançant progressivament cap a terra, això s'ha comprovat de manera clara durant el temporal Glòria el gener del 2020. Com a conseqüència, els espais i les infraestructures més properes a la línia de costa estan cada cop més exposades a la inundació marina, el cas del delta de l'Ebre és paradigmàtic.

L'informe del Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners (CIIRC, 2010) sobre l'estat de la costa catalana en fa una molt bona radiografia (Fig. 2 i 3).



**Fig 2.** Municipis costaners que presenten problemes de pèrdua de superfície de platja útil. Font: Informe CIIRC, 2010.



**Fig 3.** Municipis costaners que pateixen problemes per desperfectes en les infraestructures de platja per l'acció de l'onatge. Font: Informe CIIRC, 2010.

Dins del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables de Origen Marino del Ministerio para la Transición Ecológica s'hi poden trobar les cartografies de zones inundables corresponents al litoral.

Si tenim en compte la cada vegada més creixent urbanització de les zones dels nostres litorals, se'ns configuren escenaris de risc elevat sobre els quals, igual que sobre els d'origen fluvial, cal actuar ineludiblement.

Al litoral, hom ha de considerar també la inundació per efecte de possibles tsunamis. És veritat que no són gaire freqüents a les costes del Mediterrani occidental, però, malgrat tot, n'hi ha algun registre històric i indicadors geomorfològics que ens informen de l'ocurrència de tsunamis durant els darrers 500 anys, especialment a les illes Balears (Roig-Munar *et al.*, 2018b, 2019a i 2019b) i a la costa de Castelló (Roig Munar *et al.*, 2018a) que s'han recollit en articles recents. El tsunami que té un millor registre històric i geomorfològic a les Balears va tenir lloc l'any 1756, és de suposar que va arribar a la costa catalana però, fins ara no s'ha trobat registre. El darrer tsunami que va afectar al mar catalano-balear ho va fer el 21 de maig del 2003 i els seus efectes van provocar danys a les Balears (Portocristo, Cala Rajada, Portocolom, Portopetretre, ses Salines, a Palma i el port de Maó; fig. 4). Aquests tsunamis tenen el seu origen en sismes generats al nord d'Àfrica, més concretament a d'Algèria (Fig. 10) i que propaguen onades destructives per la Mediterrània i, en cara que no se'n tingui registre, podrien afectar també el litoral del Principat de Catalunya. És fonamental aprofundir en aquest coneixement, ja que l'ocurrència d'un possible tsunami

que afectés les costes de les Balears, el País Valencià i Catalunya podria provocar danys irreparables. A l'Estat espanyol, s'ha dissenyat un sistema nacional d'alerta de tsunamis que depèn de l'*Instituto Geográfico Nacional (IGN)*, amb la col·laboració de *Puertos del Estado*, *Protección Civil y Emergencias*, així com d'aquelles institucions que disposin d'instal·lacions susceptibles d'integrar-se a la xarxa. Se'n pot trobar informació al web de l'IGN, a la pàgina d'informació sísmica. El seu objectiu principal és emetre alertes a la *Dirección General de Protección Civil y Emergencias*. Aquest sistema es troba vinculat al *Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo de Maremotos* de recent aprovació (maig 2021). La proposta inclou elaborar un pla estatal de protecció civil davant del risc de sisme submarí. Aquest pla està en fase d'avantprojecte.

En matèria d'inundacions, a Catalunya existeix actualment una normativa que obliga a tenir en compte el risc d'inundació en l'edificació i planejament urbanístic.

A més de la necessitat de fer complir la norma en tota nova construcció i en el planejament urbanístic, un dels principals problemes és que hom no disposa encara d'un programa per a reconsiderar i gestionar la protecció dels espais inundables ja urbanitzats abans de la normativa (que són majoritaris): a Catalunya i, segons l'informe RISKCAT (VILAPLANA i PAYÀS, 2008), el 15 % del sòl urbanitzat és en zones inundables.

L'eina que s'ha implementat i que més s'utilitza per protegir-se de les inundacions és el planejament en la protecció civil. A Catalunya, l'INUNCAT és el Pla especial d'emergències per inundacions. Els plans de protecció civil són fonamentalment reactius, és a dir, s'activen quan la

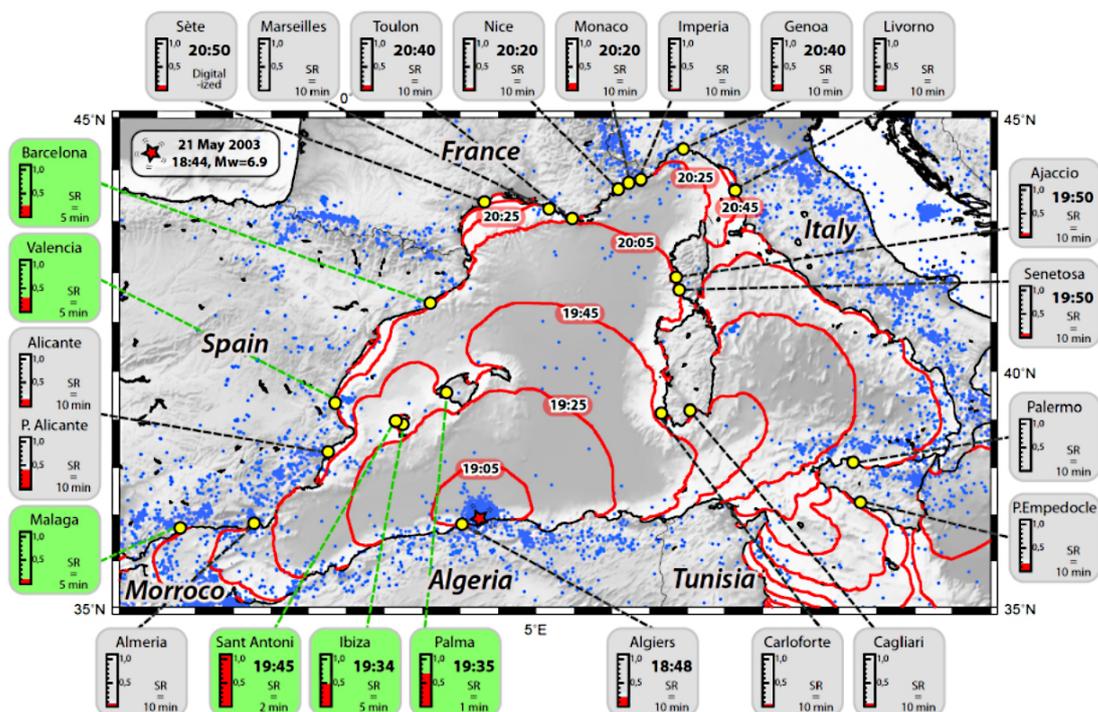


Fig. 4. Modelització del temps estimat de viatge i els registres dels mareògrafs del tsunami del 21 de maig de 2003. Font: SAHAL *et al.*, 2009.

predicció meteorològica ho fa necessari, just abans de l'episodi d'aiguats, avisant, controlant, ajudant i rescatant durant i després de la situació de crisi. En resum, els plans d'emergència són una bona eina, necessària per gestionar l'escenari del desastre, però no són suficients per mitigar d'una manera eficient el risc d'inundació arreu. Catalunya disposa d'una eina molt interessant per a la informació i prevenció dels riscos, el Mapa de Protecció Civil de Catalunya, un visor que elabora la Direcció General de Protecció Civil i que permet que els municipis i els ciutadans puguin conèixer la distribució territorial dels diferents riscos, entre els quals el d'inundació. També informa dels plans de protecció civil que cada municipi té l'obligació o recomanació d'elaborar i de quins municipis han elaborat els corresponents plans de protecció civil municipals i quins ho tenen pendent.

### Les esllavissades

Una esllavissada és un moviment del terreny en què un volum de roques o de terres que desestabilitza, es trenca i es desplaça vessant avall per acció de la gravetat. A grans trets, els diferents tipus d'esllavissades més freqüents al nostre territori són: els desprendiments o caigudes de pedres, els lliscaments, les colades de terres i els corrents d'arrossegalls.

Les esllavissades són moviments en vessants, escarpaments i cingleres. Per tant, a totes les zones de muntanya, l'ocurrència d'aquests fenòmens és freqüent en el temps i en l'espai. Els principals factors condicionants de les esllavissades són el pendent, la litologia (el tipus de roca) i les discontinuïtats (fractures) que presenta la roca. La gran majoria d'esllavissades es desencadenen en episodis de pluges o aiguats. Les sotragades sísmiques també poden actuar com a factors detonants d'esllavissades, però algunes es produeixen per causes antròpiques, quan es fa un rebaix o desmunt del terreny, quan s'excava un talús per a una carretera o ferrocarril. Quan es també desforesta es poden alterar les condicions naturals d'estabilitat dels vessants.

Els grans vessants amb formacions de roques sedimentàries calcàries, gresoses i conglomeràtiques, sovint amb intercalacions lutítiques, així com les roques ígnies i metamòrfiques que constitueixen els

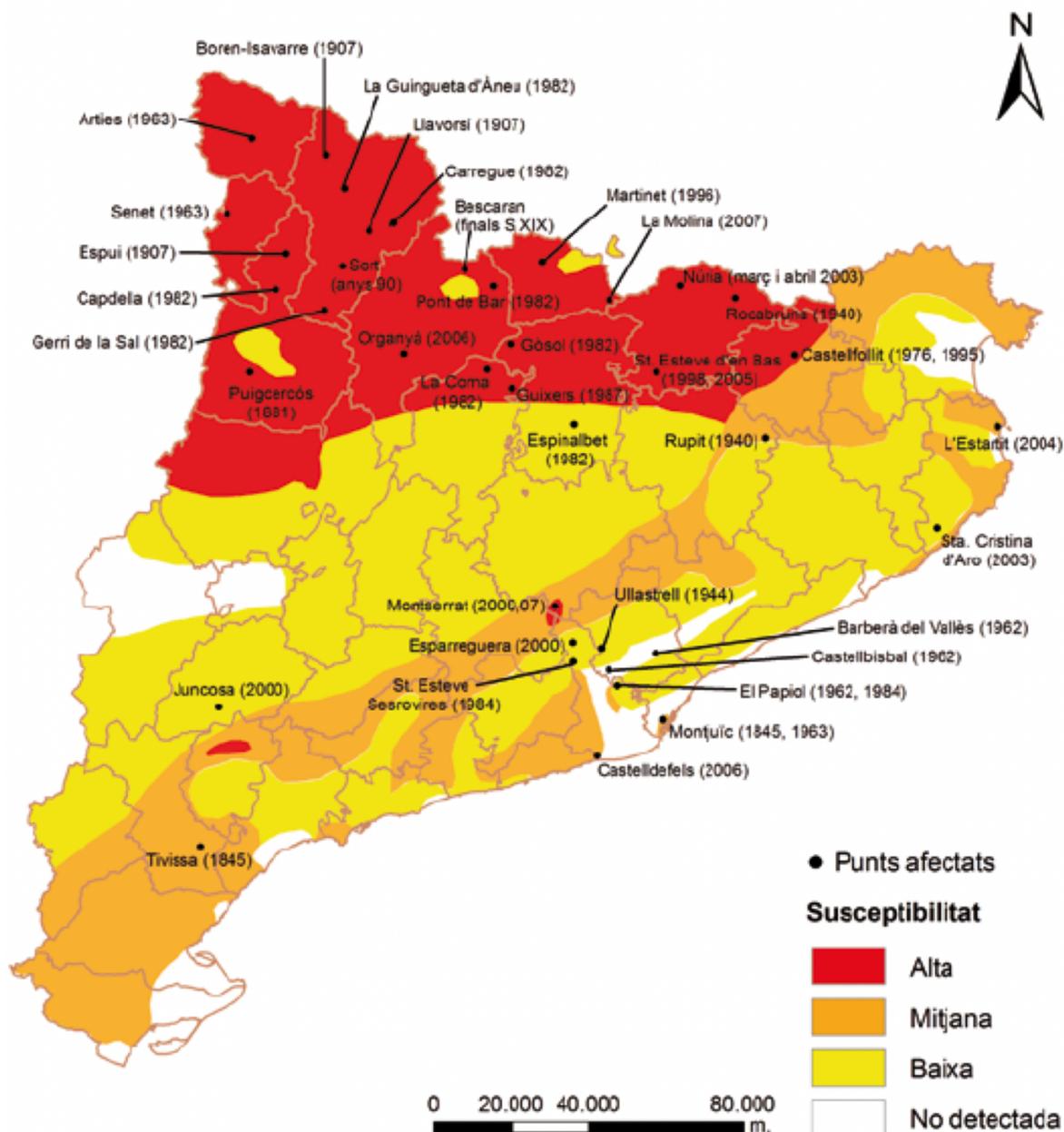


Fig. 5. Mapa de les grans zones de Catalunya susceptibles d'esllavissades. Font: VILAPLANA i PAYÀS (2008).

principals relleus (als Pirineus, a les serralades costaneres catalanes (fig. 5.) són els més propensos a formar esllavissades. Els més freqüents són els desprendiments de roques que involucren diferents volums (p. ex. Castell de Mur, Serra del Cadí, gorges de Núria, Castellfollit de la Roca, Muntanya de Montserrat...).

En determinats indrets, però, quan afloren altres formacions litològiques molt susceptibles a les inestabilitats (com, per exemple, pissarres grafitoses del Silurià, lutites i guixos del Keuper, lutites del Garumnià, lutites del Burdigalià i del Pliocè), també es generen moviments complexos com lliscaments rotacionals i translacionals amb fluxos al peu que poden involucrar centenars i milers de metres cúbics de terres i arribar, en alguns casos, a milions de metres cúbics (p. ex. Bressui, Mencui, Puigcerçós, el Pont de Bar, la Coma, Maçaners, Vallcebre, l'Estartit...).

L'impacte de les esllavissades arreu del territori provoca danys importants (COPONS, 2008c) que no estan quantificats per les administracions ni pel *Consorcio de Compensación de Seguros*, ja que aquest organisme els computa lligats als aiguats, de manera que les pèrdues de béns assegurats per

esllavissades s'integren a les d'inundacions. Només en alguns casos hi ha estudis puntuals que avaluen l'impacte econòmic d'aquest fenomen en un territori determinat.

Hi ha una clara relació de l'increment de danys per esllavissades amb la major ocupació del sòl, sobretot per l'urbanisme. També es detecta un augment d'aquest risc en els penya-segats costaners (entre d'altres a l'Estartit, a la cala del Senyor Ramon a Santa Cristina d'Aro l'agost del 2003 amb dues persones mortes...).

Aquest increment de l'exposició al risc d'esllavissada és especialment preocupant a la xarxa viària i ferroviària. N'hi ha tant en vessants rocosos naturals com en talussos de la via. Especialment a les carreteres, s'ha detectat un augment dels despreniments que han afectat la calçada i alguns vehicles, i que han arribat a provocar víctimes mortals. L'increment d'aquesta accidentabilitat es relaciona, sobretot, amb l'augment del flux de vehicles en determinats eixos viaris (p. ex., un mort a la C17 a Tagamanent el 2016). Aquesta accidentabilitat va tenir una punta l'any 2018 (més de 1.800 incidències ressenyades a les carreteres de tot Catalunya, entre les quals dos morts a la LV-9124 a Castell de Mur i un mort a la C16 a la Nou de Berguedà), en què la pluviometria hi va jugar un paper rellevant com a desencadenant. Es tracta d'una problemàtica que també afecta els ferrocarrils, ja que provoca talls importants en el servei (p. ex., al cremallera de Núria els anys 2001 i 2003 i el de Montserrat el 2007, el 2008 i el 2018) i en alguns casos accidents molt greus amb alguna víctima mortal (p. ex. a la línia R4 a Vacarisses, el novembre de 2018).

La gestió d'aquest georisc a Catalunya és responsabilitat de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) que fa les cartografies de perillositat d'esllavissades dins dels Mapes de Prevenció als Riscos Geològics de Catalunya a escala 1:25.000 (Fig. 6). Aquesta sèrie cartogràfica consta de 304 fulls, dels quals n'hi ha 54 de publicats i 22 en fase d'elaboració. Aquests mapes tenen una clara aplicació a l'ordenament territorial, però no són normatius (MARTÍNEZ i OLLER, 2009). De cara al planejament urbanístic es necessita una escala molt més detallada; així doncs, en el cas que es necessiti avaluar la perillositat per al Pla d'Ordenació Urbanística Municipal (POUM) d'algun municipi o d'un escenari concret, l'ICGC fa un estudi informatiu de riscos geològics (EIRG).

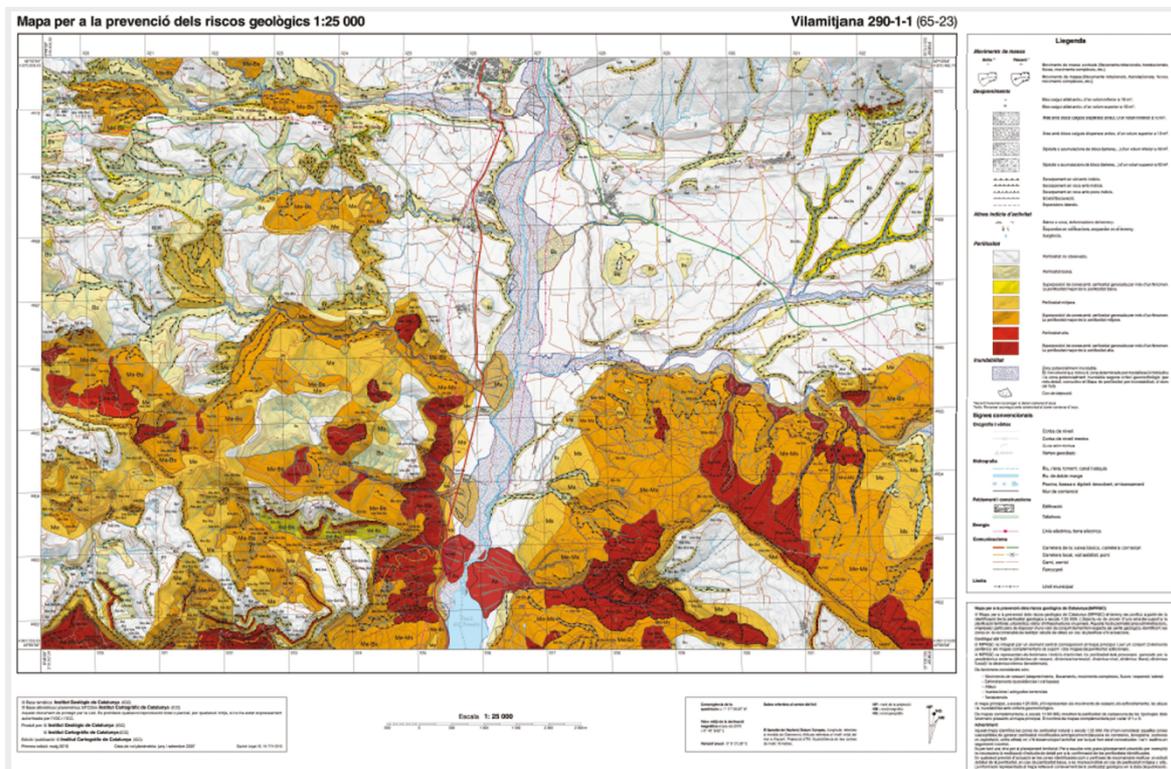


Fig. 6. Exemple de Mapa de Prevenció als Riscos Geològics de Catalunya. Full de Vilamitjana. Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC).

A més, l'ICGC disposa d'una base de dades d'esllavissades o sistema d'informació de moviments del terreny anomenada LLISCAT. Va ser desenvolupada pel Departament d'Enginyeria del Terreny de la Universitat Politècnica de Catalunya amb el suport de l'Institut d'Estudis Catalans i actualment és gestionada, actualitzada i millorada per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, que fa accessibles les informacions disponibles dels moviments del terreny als organismes oficials i administracions, a la comunitat científica, tècnica i professional, i als ciutadans en general. És un inventari que es va completant i millorant constantment.

En relació amb la protecció civil, no hi ha un pla especial per fer front al risc d'esllavissades. Les administracions consideren que la majoria d'esllavissades es produeixen en episodis d'aiguats, per la qual cosa aquests fenòmens s'inclouen en el plans especials per fer front a les inundacions.

### Les allaus

Una allau és una part del mantell de neu que es desprèn i s'esllavissa vessant avall per efecte de la gravetat i que genera un flux que comporta pressions d'impacte que poden ser molt destructives. D'una manera general, hom considera tres grans tipus d'allaus: les de neu recent, les de placa i les de fusió o neu humida.

Les allaus tenen una gran incidència als Pirineus d'Andorra i de Catalunya (des de l'Aran fins al Conflent), on el nivell de vulnerabilitat i exposició ha augmentat molt les darreres dècades (COPONS, 2008a) (fig. 7). Per tant, hem de considerar un increment del risc d'allaus als Pirineus andorrans i catalans. L'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) té un bon recull històric d'allaus i gestiona la Base de Dades d'Allaus de Catalunya (BDAC), que conté un inventari sistemàtic de les allaus i de la seva cartografia a Catalunya des de 1986 que periòdicament es va actualitzant.

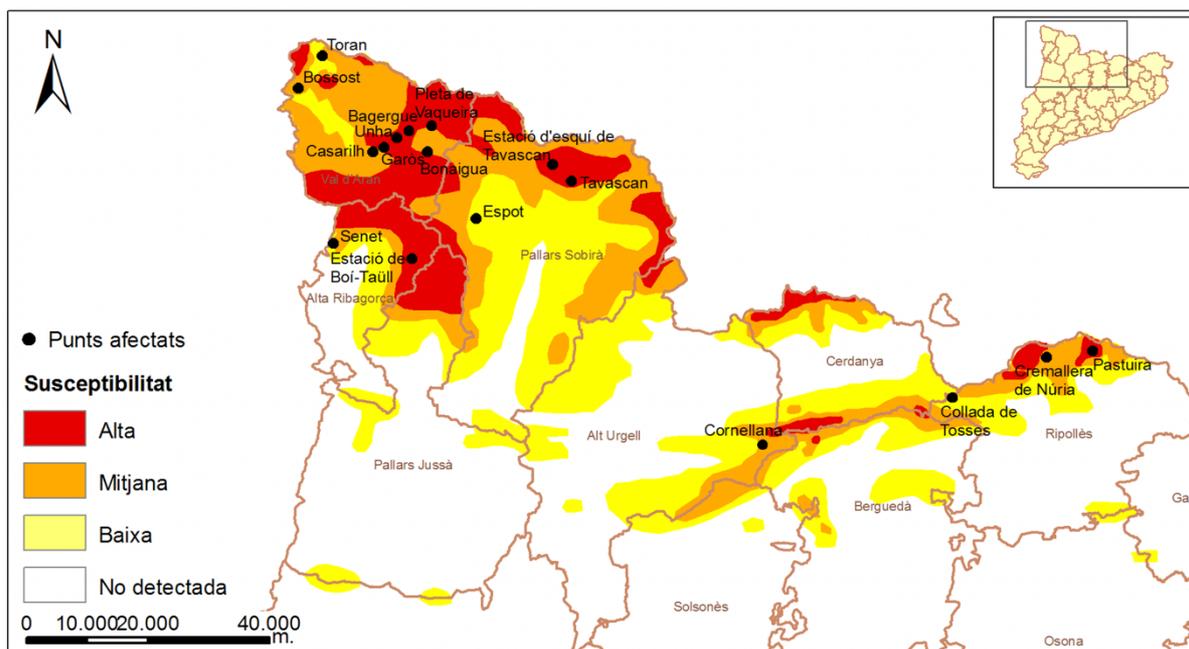


Fig. 7. Mapa de les grans zones de Catalunya susceptibles d'allaus. Font: VILAPLANA i PAYÀS, (2008).

Al Pirineu de Catalunya, segons l'ICGC, hi ha una mitjana de set accidents anuals per allaus. Durant els darrers trenta anys hi ha hagut quaranta-nou víctimes mortals per allaus. En la majoria dels casos, estem parlant d'allaus menors, generalment de dimensions petites o mitjanes i que han afectat practicants dels esports de muntanya hivernal fora de les zones controlades.

Les allaus de grans dimensions i abast, anomenades majors, solen arribar a cotes molt més baixes i tenen incidència en la destrucció del bosc, d'infraestructures, de xarxes vitals i d'algunes zones

**Taula 2.** Intensitat màxima de les allaus al Pirineu de Catalunya per sectors en una escala d'intensitat de l'1 al 5. La determinació de la intensitat s'ha fet tenint en compte la dimensió de les allaus, de la massa forestal destruïda i dels danys en edificacions i infraestructures (valors en vermell). Font: Pla ALLAUCAT (2016).

	1993/1994	1994/1995	1995/1996	1996/1997	1997/1998	1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008
Aran-Franja nord de la Pallaresa	4		5					4		4	5	5	4		
Ribagorçana-Vall Fosca			5												5
Pallaresa			5	4						5					
Perafita-Puigpedrós			5												
Vessant nord del Cadí-Moixeró			5								4		5		
Prepirineu			4		3								3		
Ter-Freser			5										3		

urbanitzades. Les allaus majors es poden desprendre localment o d'una manera més generalitzada durant nevades intenses que generen episodis allavosos arreu de la serralada pirinenca (OLLER *et al.*, 2015). Des dels anys noranta hi ha hagut quatre episodis generals i sis de locals amb allaus majors (d'intensitat alta i molt alta) que han ocasionat danys importants (vegeu la Taula 2). La freqüència d'episodis allavosos severos no és gaire elevada i s'estima que la seva recurrència pot ser d'entre deu i seixanta anys. En canvi, sí que anualment, a l'alta muntanya, hi ha una gran quantitat d'allaus petites i mitjanes.

La preparació de la població que viu i freqüenta la muntanya i la bona gestió territorial són imprescindibles perquè el nombre de víctimes i de danys no augmenti. Tinguem en compte que, a dia d'avui, al Pirineu de Catalunya hi ha una quinzena de carreteres exposades i setze urbanitzacions afectades d'una manera total o parcial per allaus.

La mitigació del risc d'allaus se centra fonamentalment en una bona estratègia de predicció, tant de la temporal com de l'espacial. La predicció temporal o en el temps es basa en la previsió nivometeorològica i en l'anàlisi de l'estabilitat del mantell nival (a nivell general de massís o local). Els serveis de predicció d'allaus solen emetre diàriament un butlletí del perill d'allaus (BPA) per a zones, valls o massissos determinats, d'acord amb una escala europea de cinc nivells de perill. A Catalunya el BPA és elaborat per l'ICGC pel conjunt del Pirineu de Catalunya i pel *Centre de Lauegi del Consell d'Aran* per fer la predicció de l'Aran. La *Agencia Estatal de Meteorologia* (AEMET) elabora també un butlletí per a tot els diferents massissos ibèrics. Aquest producte està dirigit als serveis de protecció civil, als centres hivernals i a totes aquelles persones que freqüenten la muntanya a l'hivern (esquiadors, alpinistes, etc.).

La predicció espacial o en l'espai es basa en la cartografia de les zones d'allaus i en la zonificació de la seva perillositat. Aquestes eines s'han de tenir en compte en l'ordenació territorial i en la planificació urbanística municipal. Aquestes accions de tipus no estructural han de ser complementades amb actuacions de defensa estructural. La protecció de les zones exposades a les allaus, igual que per les esllavissades, es basa en la combinació d'accions permanents i/o temporals de defensa activa i passiva (paravents, barreres de retenció, sanejament amb explosius, dics de desviament, dents de frenada, galeries o semitúnels, etc.).

La protecció civil per a fer front al risc d'allaus existeix en les tres administracions, però només Catalunya disposa de Pla Especial d'Emergències per Allaus (ALLAUCAT).

Al Pirineu de Catalunya, els 14 fulls, publicats per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, del mapa de zones d'allaus (MZA) a escala 1:25.000 (Fig. 8), cobreixen tot el territori. Aquestes cartografies estan associades a la Base d'Allaus de Catalunya (BADAC) (OLLER *et al.*, 2006). Les cartografies de d'allaus i la zonificació de la perillositat per allaus no són normatives a Catalunya, encara que



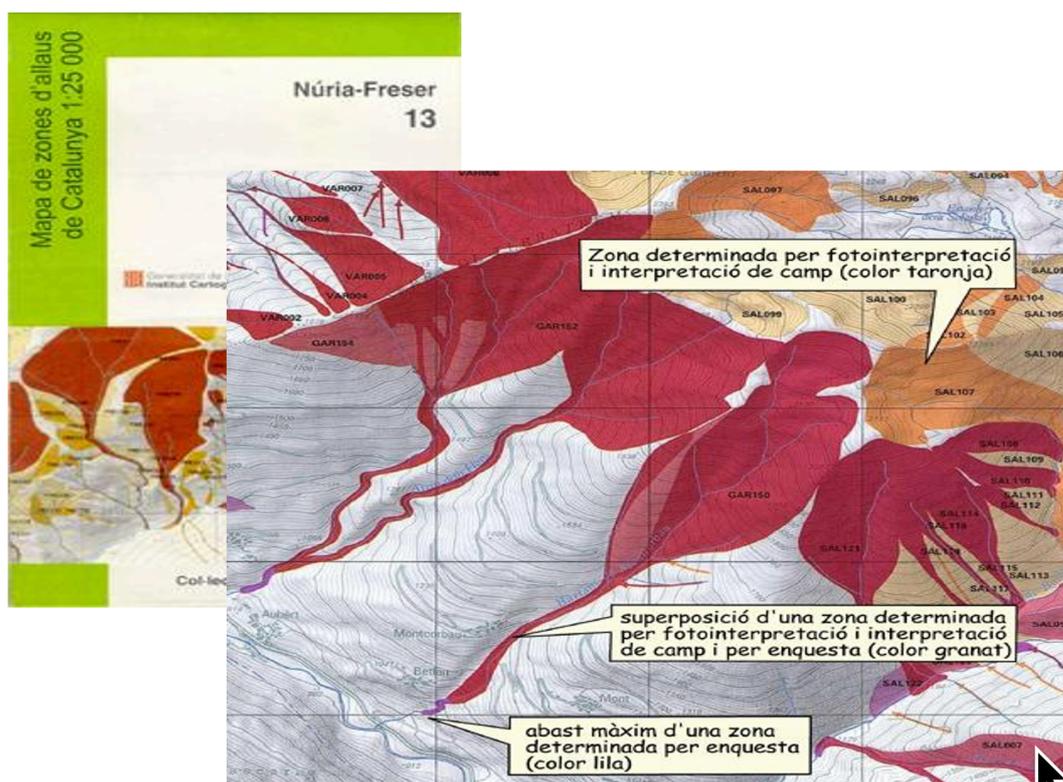


Fig. 8. Detall del Mapa de zones d'allaus de Catalunya. Font: ICGC.

l'Administració les utilitza com a document informatiu. La zonificació de la perillositat encara no inclou totes les zones d'allaus on la vulnerabilitat dels elements exposats ho requeriria.

El risc d'allaus és un d'aquells sobre els quals s'ha fet i es fa més treball de sensibilització. La informació i la formació que reben els professionals de la muntanya, l'esquí i l'alpinisme, així com molts muntanyencs que practiquen esports d'hivern, permeten que, cada cop més, l'autoprotecció i el factor humà facin disminuir el grau d'exposició al risc i la vulnerabilitat de les persones. L'Associació per al Coneixement de la Neu i les Allaus (ACNA), conjuntament amb les federacions i els clubs de muntanya, fa una tasca encomiable.

### *Els esfondraments i la subsidència*

Els esfondraments són moviments verticals del terreny, més o menys ràpids, lligats a l'existència de cavitats subterrànies pròximes a la superfície, normalment formades per dissolució deguda a l'existència de roques hipersolubles (evaporites) en el subsòl (és el cas de la comarca del Pla de l'Estany, amb la formació d'estanyols i de l'estany de Banyoles). També hi pot haver un esfondrament o col·lapse càrstic en roques carbonàtiques (formació de dolines). La subsidència és un procés d'enfonsament lent, gradual, d'un sector de la superfície terrestre, generalment causat per la compactació dels terrenys conformats per sediments recents de zones deltaïques, albuferes i d'aiguamolls (Fig.9). En aquest sentit el delta de l'Ebre és el sector més sensible, amb una taxa de subsidència mesurada molt significativa. L'ICGC, ha partir de tècniques interferomètriques ha estimat una subsidència natural al delta d'entre 1 i 3 mm/any (MORA, 2018).

A Catalunya es detecta, des del 1975, un esdeveniment per esfondrament cada tres anys de mitjana (COPONS, 2008b). Les principals localitats afectades són Besalú, Banyoles, Cardona, Sallent, Súria, Sant Sadurní d'Anoia, la Bisbal del Penedès i Foix (Fig. 11).

L'acceleració dels moviments verticals del terreny pot ser deguda a certes activitats antròpiques (fonamentalment de mineria i d'extracció d'Aigües subterrànies).

L'impacte econòmic i social que pot generar aquest fenomen pot ser molt important. El cas de l'esfondrament del barri de la Estació de Sallent, que va obligar a evacuar i reallotjar veïns i a enderrocar un nombre considerable d'habitatges, n'és un bon exemple. A la ciutat de Súria, els esfondraments sobtats també han limitat l'expansió de la zona urbana, i a Cardona van obligar al desviament del riu Cardener.

La predicció d'aquests fenòmens no és fàcil, ja que és necessari trobar indicadors històrics i geomorfològics per evitar ocupar aquests sectors. Normalment, quan sorgeix el problema s'acostuma a fer un seguiment de l'evolució del moviment, que sol anar acompanyat d'un monitoratge instrumental. Es pot fer la vigilància de subsidències mitjançant observacions geotècniques clàssiques, consistents en la instal·lació de sensors que mesuren les deformacions verticals del terreny, o bé mitjançant anivellació topogràfica d'alta precisió. També s'utilitzen radars des de satèl·lits (tècniques DInSAR), de tal manera que es poden cobrir grans extensions de terreny amb una molt bona resolució.

Dins el marc del Pla de Protecció Civil de Catalunya (PROCICAT), es va desenvolupar un pla d'actuació d'emergències per risc de subsidències al barri de la Estació de Sallent. No hi ha cap altra normativa per gestionar el risc de subsidència i esfondrament.

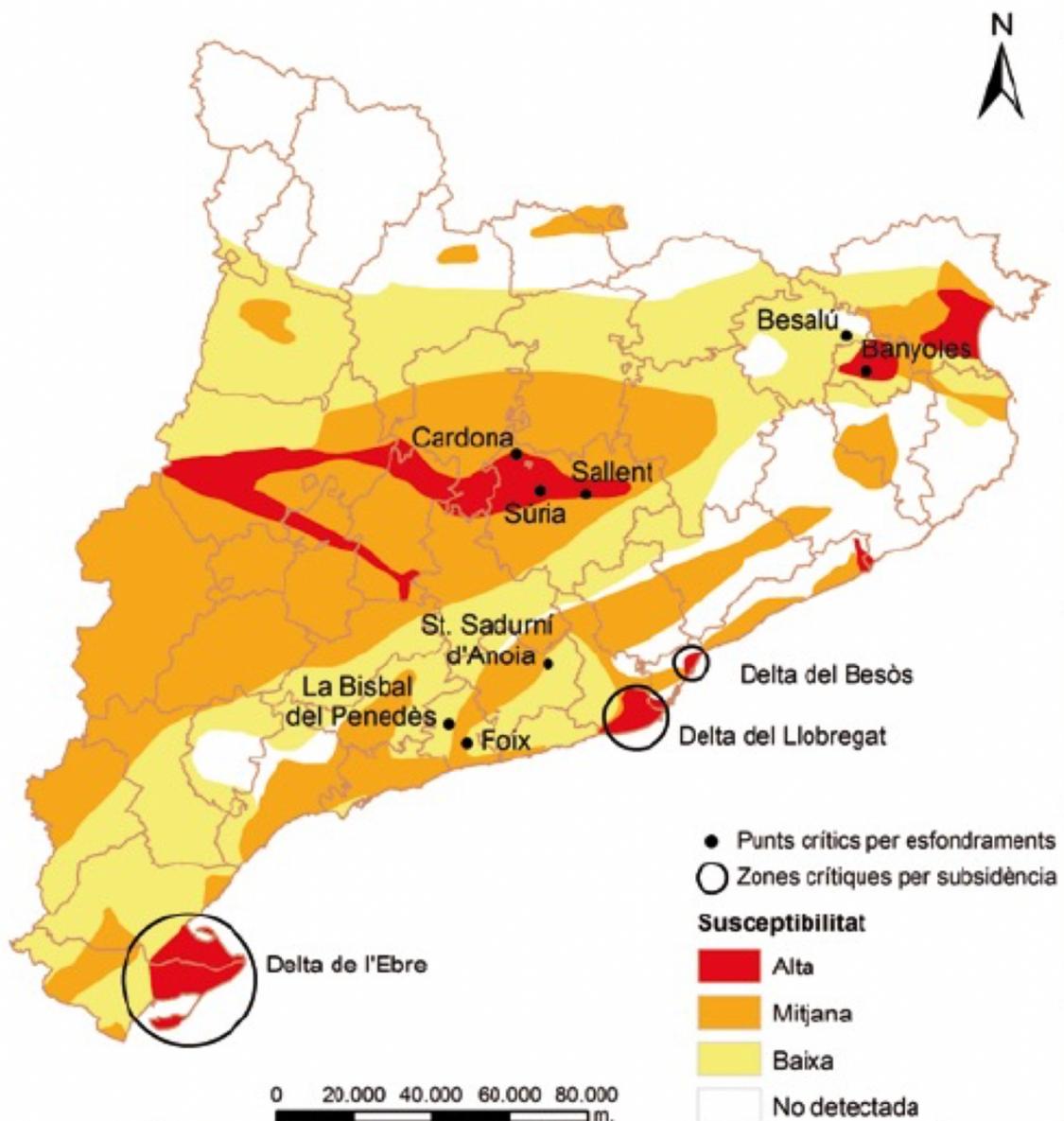


Fig. 9. Mapa de les grans zones de Catalunya susceptibles de subsidència i esfondraments. Font: VILAPLANA i PAYÀS (2008).

### Els terratrèmols

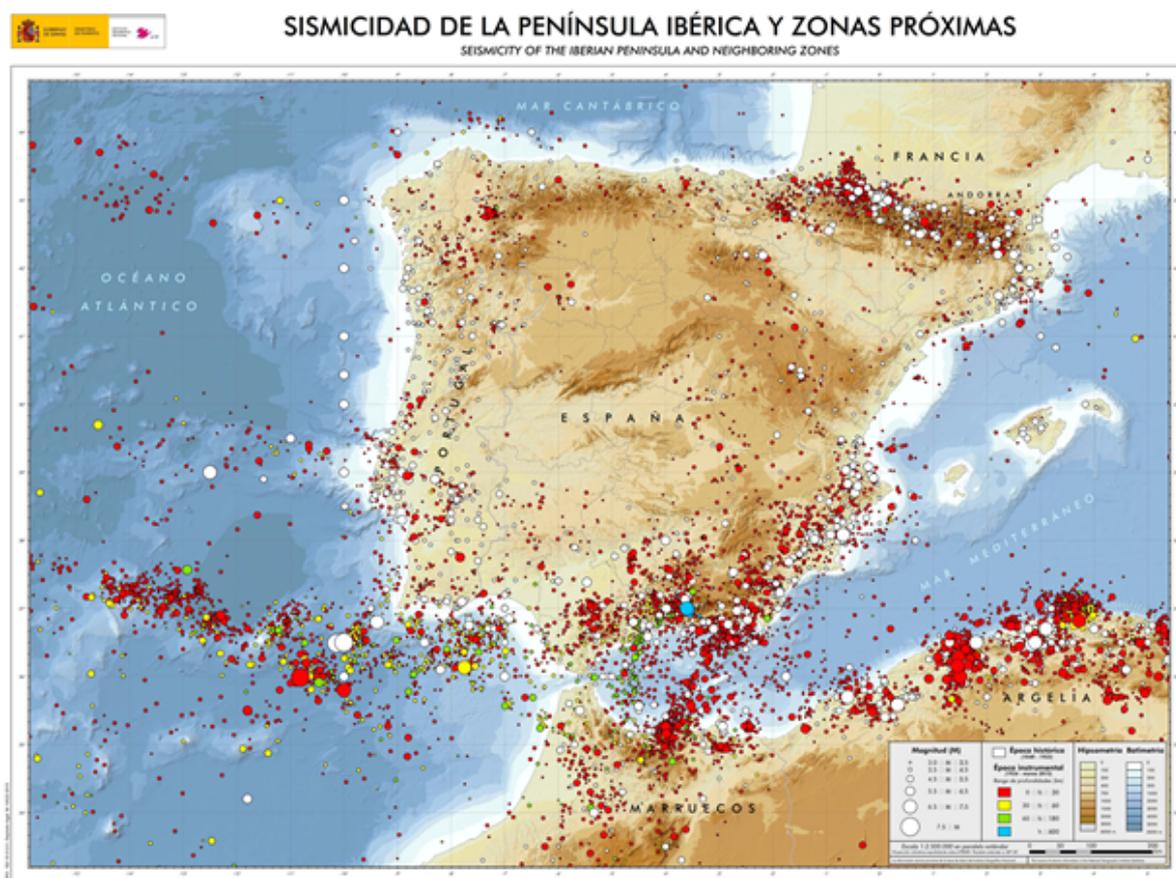
Tenint en compte el coneixement sismològic i sismotectònic, la paleosismologia, la sismicitat històrica i la instrumental, a Catalunya, la sismicitat es considera d'un nivell moderat o baix segons les zones sismogèniques. Els sectors de sismicitat més important corresponen a les zones pirinenques, seguides del sistema costaner. A la Fig. 10, hom pot veure la sismicitat en el conjunt d'Ibèria.

Els Pirineus han experimentat, paleosismològicament (LACAN i ORTUÑO, 2012) i històricament, una important activitat sísmica (OLIVERA *et al.*, 2006). Si tenim en compte la sismicitat històrica, tot i que els registres més antics es remunten al segle VI, les dades més fiables comencen al segle XIV.

Els terratrèmols històrics amb danys més remarcables, amb intensitats epicentrics entre VII i IX, van ocórrer entre 1373 i 1448. El 3 de març de 1373 hi hagué un sisme al límit entre l'Alta Ribagorça i la Val d'Aran que va assolir una intensitat epicentral de VIII-IX i al qual s'atribueix una magnitud de 6,2. La sèrie sísmica de 1427 també va ser molt important. Els terratrèmols més severos de la seqüència van ser els del 19 de març a la zona d'Osor i Amer, d'intensitat VIII i de magnitud assignada 5,9, i els del 15 de maig localitzats entre la Vall d'en Bas i Olot, d'intensitat VIII i de magnitud assignada 5,8.

El 2 de febrer de 1428 hi va haver el terratrèmol més important del registre històric de la regió. Va provocar danys a Catalunya i al sud de França i va causar més de mil morts. La zona més afectada es va situar entre Puigcerdà i Camprodon, però s'atribueix l'àrea epicentral a aquesta darrera localitat. La intensitat epicentral que se li assigna és de IX i la magnitud 6,5. El 25 de maig de 1448 va tenir lloc un altre sisme important a la zona de Granollers amb una intensitat epicentral assignada de VII-VIII i una magnitud de 5,6.

El sisme més recent amb una magnitud significativa va ser la nit del 18 de febrer de 1996 i va afectar especialment el Pirineu oriental i zones adjacents; va tenir l'epicentre a Sant Pau de Fenollet (a la Catalunya Nord) amb una magnitud 5,2.



Cal considerar també, i potenciar el seu estudi, el possible risc de tsunami a les costes de les Balears i del litoral d'Ibèria (ROIG-MUNAR *et al.*, 2018a, 2018b, 2019a, 2019b i 2020). Sismes produïts al nord d'Argèlia i en falles actives submarines poden produir tsunamis que afectin les nostres costes, tal com s'ha comentat més amunt en l'apartat d'inundacions.

El risc econòmic dels sismes als nostres territoris no és gens menyspreable (JIMÉNEZ i GARCÍA, 2008). Segons un estudi del Consorci de Compensació de Seguros (FERRER *et al.*, 2004), l'impacte econòmic dels terratrèmols a Catalunya, les Balears i el País Valencià, per al període 2004-2033, és estimat en un total de  $283,5 \times 10^3$  milions d'euros (valor del 2002).

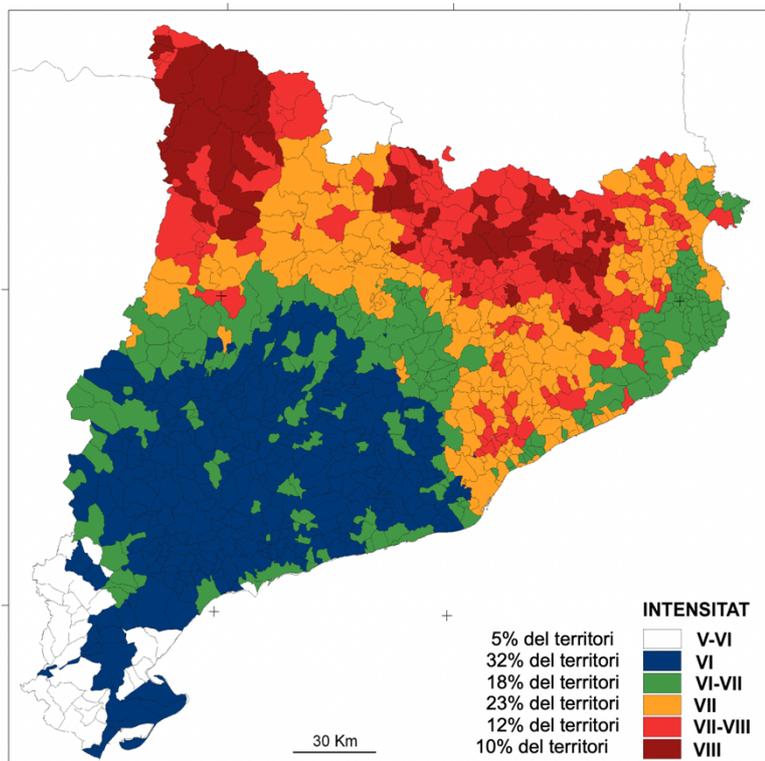
A Catalunya, l'ICGC és l'organisme que té implementada i que gestiona la Xarxa Sísmica de Catalunya amb vint-i-una estacions de banda ampla i xarxa acceleromètrica. Actualment, disposa de vint-i-quatre sensors, dels quals n'hi ha vint-i-tres amb transmissió en continu, en temps real i un amb enregistrament local. El Laboratori d'Estudis Geofísics Eduard Fontseré (LEGEF) de l'Institut d'Estudis Catalans és el responsable del manteniment, de l'anàlisi i de l'arxiu de dades de les estacions sísmiques POBL (monestir de Poblet) i VAN2 (CN Vandellòs 2), dintre del conveni de col·laboració amb les centrals nuclears d'Ascó i de Vandellòs 2, així com de les estacions CADÍ (túnel del Cadí), FBR (Observatori de Fabra) i FONT (Fabra-Fontmartina), en col·laboració amb l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. L'ICGC disposa també de la Base de dades macrosísmica, que conté informació sobre terratrèmols percebuts per la població, i de la Base de dades de terratrèmols històrics.

L'IGN disposa de la xarxa sísmica a tot el territori de l'Estat espanyol i, a la Catalunya Nord, l'Estat francès té implementada la Xarxa Nacional de Vigilància Sísmica que forma part del Service National d'Observation en Sismologie. RéNaSS, IGN i ICGC es coordinen en la gestió de les dades de detecció de sismes.

L'ICGC coordina, a Catalunya, els processos d'avaluació de la perillositat sísmica i del risc (fig. 11) que cal considerar tant per a la construcció sismoresistent com per a l'elaboració del pla especial d'emergències sísmiques a Catalunya (SISMICAT).

Actualment, però, s'està considerant la millora dels procediments d'avaluació amb la incorporació de dades paleosismològiques i del coneixement dels efectes locals amb el paper de les formacions superficials i els derivats de despreniments, esllavissades i líquüefaccions del terreny.

No existeixen sistemes de predicció de terratrèmols, per la qual cosa la protecció antisísmica va lligada a l'aplicació d'una normativa sismoresistent per a la construcció i a la planificació en protecció civil. Les regles de construcció sísmica s'apliquen a edificis nous, i als edificis antics en condicions especials. També s'apliquen unes normes específiques per a determinades instal·lacions, ponts, preses, instal·lacions classificades i



**Fig. 11.** Mapa d'intensitats sísmiques esperades considerant l'efecte de sòl, per a un període de retorn de 500 anys i a escala municipal a Catalunya. Font: VILAPLANA i PAYÀS (2008) modificat del Pla SISMICAT.

nuclears. En ambdós casos hom es basa en la zonificació de la perillositat sísmica oficial (IGN-UPM, 2013).

A tots els territoris de l'Estat espanyol s'apliquen les normes sismoresistents espanyoles: la NCSE-02 per a l'edificació i la NCSP-07 per a la construcció de ponts. Ambdues estan actualment en procés de revisió en via d'una aplicació futura de l'Eurocode 8. Actualment, en aquests territoris, els edificis i les construccions anteriors a la norma i el patrimoni arquitectònic històric no disposen de cap mena de protecció antisísmica. En relació amb el planejament en protecció civil, Catalunya té implementat el pla SISMICAT per encarar i gestionar les emergències sísmiques.

### **La valoració dels georiscos a Catalunya: l'informe RISKCAT**

El 2008, el Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (CADS) va publicar l'informe RISKCAT fet pel grup de recerca en riscos naturals (RISKNAT) de la Universitat de Barcelona i en què es va fer una anàlisi sobre la capacitat d'afrontar els riscos naturals a Catalunya.

RISKCAT va néixer l'any 2006 com a projecte de l'interès del CADS (Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible) per reflexionar sobre la incidència de determinats riscos naturals a Catalunya, especialment d'aquells que tenen un major impacte en el territori. La principal finalitat residia a convèncer el Govern de Catalunya de millorar la gestió del risc i, per tant, de mitigar-ne l'impacte.

L'informe RISKCAT (VILAPLANA i PAYÀS, 2008) presenta una diagnosi analitzant els fenòmens que generen risc de desastre, tot centrant-se en els georiscos: les allaus de neu, els moviments de vessant (esllavissaments i desprendiments), la subsidència (esfondraments i col·lapses), els fenòmens litorals (erosió i inundació costanera), les inundacions (avingudes fluvials, riuades i torrentades), els terratrèmols i el vulcanisme. Tots aquests fenòmens presenten una ocurrencia sobtada, la majoria són de curta durada i tots tenen una activitat recurrent. Poden provocar danys a persones i béns, de diferent consideració i amb una amplitud geogràfica variable segons el cas. El resum executiu dona una visió de l'impacte de cada fenomen al territori i analitza sintèticament l'estat del coneixement, de les eines utilitzades i de la gestió del risc. Els informes d'expert detallen amb quines eines comptem per a l'anàlisi i la previsió dels fenòmens, i també per a la seva delimitació espaciotemporal. A més, fa una anàlisi detallada de la legislació vigent vinculada als riscos, al territori i al sistema de protecció civil. L'àmbit normatiu és essencial, ja que se'n deriva una gran part de la gestió i limita o fomenta l'eficàcia de tot el procés.

Tots els documents es troben disponibles per a la consulta i descàrrega al lloc web del CADS (<http://cads.gencat.cat/ca/detalls/detallpublicacio/RISKCAT.-Els-riscos-naturals-a-Catalunya.>).

L'informe RISKCAT es va presentar al Govern de Catalunya i a l'opinió pública el 2008. S'hi proposen un seguit d'accions de governança, especialment dirigides als responsables de la gestió dels riscos naturals, que fan possible una gestió eficient dels riscos i una ordenació més sostenible del territori i més segura per a les persones. El treball representa un exercici d'autoanàlisi i reflexió. La intenció era estimular el Govern de cara a una millora de la gestió dels riscos naturals i perquè considerés aquest tema, tan rellevant, dins les seves línies estratègiques d'actuació.

Es fa una relació de les fortaleses i les debilitats en relació amb el coneixement i la seva transferència, amb les eines tecnològiques i el seu ús, amb les normatives existents (RIBOT, 2008) i amb el conjunt del sistema de gestió del risc. L'informe executiu recull vuitanta recomanacions tècniques i trenta-quatre de jurídiques per, finalment, fer una proposta concreta dirigida al Govern de la Generalitat per millorar, vertebrar i coordinar el sistema de gestió de riscos a Catalunya. L'informe proposa crear un Comissionat per a la Reducció dels Riscos Naturals nomenat pel Govern, amb capacitat de decisió i gestió durant un període transitori. Presidiria una comissió interdepartamental constituïda per un alt representant i un tècnic expert de cada departament de la Generalitat implicat en el sistema de riscos. Rendiria comptes al Parlament de Catalunya. Els seus objectius serien prioritzar la política de prevenció

i preparar un full de ruta i un cronograma d'actuacions tenint en compte les recomanacions de l'informe RISKCAT. Aquesta proposta no s'ha dut mai a terme.

### **RISKCAT dotze anys després**

La majoria de les conclusions i propostes de RISKCAT segueixen sent vigents deu anys després. Disposem d'un bon nivell de coneixement científic i tècnic, però no sempre és transferit a les accions de gestió. Falten bases de dades amb documentació de desastres ocorreguts i avaluació de la vulnerabilitat. Hi ha cartografies de perillositat, però encara no cobreixen tot el territori, ni en tots els casos les escales són les apropiades. Existeixen plans de protecció civil ben dissenyats, però per a la seva total efectivitat es necessita la plena implementació dels plans d'emergència en l'àmbit municipal (o plans d'actuació municipal, PAM). Cal millorar la coordinació entre els procediments tècnics, les accions de mitigació i l'ordenació del territori. Per això és imprescindible fer un esforç de coordinació entre les administracions i els organismes competents que de per si són robustos. Les normatives estan fragmentades i disperses en diferents àrees legislatives, situació que pot repercutir en incompliments. S'ha constatat que en una societat industrialitzada, avançada i suposadament forta el ciutadà no té consciència ni dels seu grau d'exposició als riscos, ni de la vulnerabilitat individual i col·lectiva. Per esmenar aquesta deficiència és necessari millorar la informació i educar els infants i joves en relació amb els riscos naturals. La irresponsabilitat en el desenvolupament territorial, especialment en la presa de decisions sobre els usos del sòl i molt especialment del sòl urbanitzable, ha implicat un notable increment de l'exposició al risc de desastre. En conseqüència, els costos per danys han augmentat a causa, sobretot, de l'augment de la vulnerabilitat i de l'exposició. Per exemple, a Catalunya, el 2007 hi havia més de 30.000 ha de sòl urbanitzat en zona inundable, cosa que representa el 15 % del total urbanitzat.

El cas concret de la riuada del Sió el novembre del 2015 n'és un exemple paradigmàtic. A Agramunt es va inundar el centre del nucli urbà per desbordament del riu Sió, desgràcia que va provocar nombrosos danys i la lamentable mort de quatre dones que vivien en una residència de gent gran situada en plena zona inundable. L'Administració disposava de la cartografia detallada de les zones inundables damunt de les quals s'havia planificat el desenvolupament urbanístic de la població sense considerar l'exposició al risc. Lamentablement, aquest és un escenari molt freqüent en poblacions diverses dels nostres territoris.

El temporal Glòria també ha posat en primer pla la necessitat de plantejar quines han de ser les actuacions d'adaptació necessàries en front dels efectes del canvi climàtic. L'augment progressiu i imparable del nivell del mar ha de fer replantejar la ocupació i ús de les zones costaneres.

Algunes coses han canviat; d'altres, no. Serveixi com a mostra la situació següent. Hi ha hagut una millora en la implementació de bases de dades, de guies tècniques reglamentades i de mapes de zonificació de la perillositat per incorporar en l'ordenació territorial, com ara el Mapa de Prevenció de Riscos Geològics (MARTÍNEZ i OLLER, 2009). No s'ha recollit la recomanació d'elaborar un pla especial de protecció de les àrees exposades al risc en les quals la urbanització ja està consolidada. Sí que s'han revisat i actualitzat alguns plans de protecció civil (INUNCAT i SISMICAT el 2014) i se n'ha dissenyat algun de nou (p. ex. ALLAUCAT el 2010 que va ser revisat el 2014). En canvi, segueix pendent la seva total implementació municipal, una implementació que s'articuli a través del PAM (Pla d'Actuació Municipal). A més, no s'ha iniciat cap estratègia per donar prioritat a l'educació i a la informació en matèria de riscos com a pilars bàsics de la prevenció.

### **La prevenció com a pilar de la mitigació**

La prevenció ha de constituir la base d'unes bones pràctiques en la gestió dels riscos. Les polítiques preventives són les que han de sustentar totes les estratègies de mitigació del risc. En aquestes

estratègies s'inclou el coneixement i la predicció dels fenòmens, la planificació (com a element de protecció) del territori i de la població exposats als riscos, l'educació i l'ordenament jurídic. A continuació es resumeixen els missatges que conformen les principals estratègies per a la gestió i reducció dels riscos naturals. En el cas de l'ordenament jurídic, es fa un comentari sintètic de la situació de la legislació als diferents territoris dels Països Catalans.

## **El coneixement**

És indispensable invertir en recerca per millorar el coneixement i entendre millor les causes i el funcionament dels fenòmens naturals que generen perillositat. Desenvolupar i aplicar noves tecnologies en la millora de la predicció és fonamental. Una bona predicció dona resposta al quan, al com i a l'on es produirà un determinat fenomen perillós. És imprescindible millorar la predicció temporal, de cara a dissenyar uns bons sistemes d'alerta per fer més eficaços els plans d'emergència. Però, sobretot, cal abocar molts esforços en la predicció espacial. Cal saber quines són les zones, amb elements vulnerables, exposades a un determinat perill, quin és el grau d'aquest perill i, en funció d'això, quina és la utilització més adequada d'aquells territoris és la base de tota estratègia de mitigació. Un terreny poc o gens exposat implica un baix nivell de risc.

## **L'ordenació del territori**

Regular la zonificació de la perillositat del territori (cartografies de perillositat) ha de ser l'eix central d'una bona governança del risc. L'Administració, com a principal responsable de la gestió del risc, ha de disposar dels coneixements i les eines normatius per aplicar l'anàlisi de risc i la seva zonificació en la prevenció i en el planejament territorial i, molt especialment, en la planificació urbanística. És fonamental que les cartografies de perillositat i risc siguin normatives. Això vol dir que en l'ordenació del territori cal regular els usos del sòl permesos i, en el planejament urbanístic, també les tipologies i els permisos d'edificació en funció de la perillositat a la qual està exposat el terreny.

## **L'educació**

L'educació és indispensable per donar robustesa al sistema de la prevenció. Una estratègia fonamental per aconseguir la reducció del risc passa per aprendre a conviure amb nivells de risc acceptables. En aquest àmbit, l'escola hi pot jugar un paper fonamental considerant els riscos naturals de l'entorn com a centres d'interès en l'educació ambiental de l'alumne.

Cal una pedagogia del risc que incideixi en el camp de la prevenció en tots els àmbits de la societat civil: polític, tècnic, mitjans de comunicació i conjunt de la població. És necessari que tots els actors de la societat civil siguin capaços d'intervenir d'una manera adequada i ben coordinada en els processos de gestió del risc per tal d'aconseguir una mitigació dels riscos realment efectiva.

## **La legislació**

Des d'aquest punt, convé indicar el fet que a Catalunya, ni en cap territori de l'Estat espanyol, no hi ha una norma global que reguli els riscos naturals d'una manera unitària i holística i que inclogui tots els vessants i tots els elements que s'hi relacionen. Els darrers anys, s'han promulgat lleis per reglamentar la protecció civil, l'ús del sòl, l'urbanisme o l'impacte ambiental que tenen en compte els riscos naturals i que en alguns casos han permès desenvolupar reglaments més específics. La legislació

europea ha ajudat d'una manera decisiva a reglamentar un aspecte puntual, però molt important, que és la zonificació de la perillositat i els riscos d'inundació.

La protecció civil és el vessant que presenta una regulació més intensa i acurada en el nostre ordenament jurídic, vinculada directament a les qüestions de seguretat pública i de reaccions davant de situacions d'emergència o de risc col·lectiu. Hom podria dir que hom disposa d'un ordenament jurídic que, en termes generals, conté una regulació adequada dels riscos naturals.

Cal remarcar, però, que una de les conclusions de l'informe RISKCAT (2008) en matèria de legislació diu que les normatives que reglamenten sobre riscos naturals estan fragmentades i disperses en diferents àrees legislatives, i que aquesta realitat pot, ocasionalment, repercutir en incompliments. Això fa palesa una important feblesa del sistema normatiu que ineludiblement caldria esmenar. En aquest sentit, cal aprofitar l'oportunitat de la nova Llei del territori de Catalunya, actualment en via d'elaboració.

En resum, les bones pràctiques en prevenció dels riscos naturals ens ha de permetre fer una societat i uns territoris més resilents i sostenibles.

### **Consideracions a tall de conclusions sobre la gestió dels georiscos a Catalunya**

A continuació s'exposen, d'una manera sintètica, quinze consideracions que resumeixen les principals fortaleses i mancances de la gestió del risc a Catalunya:

- Cal millorar en l'avaluació de la perillositat i en la detecció de nous escenaris de risc.
- Tenim un bon nivell de coneixement científic i tècnic que no sempre és transferit a les accions de gestió.
- Tenim eines i tecnologia innovadora per a la recollida de dades, el seu tractament, la seva anàlisi i la seva difusió.
- Tenim cartografia temàtica i bases de dades de qualitat. Per a determinats fenòmens s'hauria de disposar de més mapes a escala de detall.
- En termes generals, la cartografia de zones inundables és la més completa i homogènia.
- En general, la cartografia d'esllavissaments i despreniments és la més irregular i la que més mancances presenta segons el territori.
- La cartografia d'allaus cobreix tot el Pirineu de Catalunya però no existeix una zonificació reglamentària de la perillositat per allaus.
- Falta un pla especial de protecció, per via d'urgència, de les àrees exposades a determinats riscos (especialment el d'inundació) en què els usos del sòl ja estan consolidats des de fa anys.
- Existeix un bon sistema normatiu, de planificació i operatiu de Protecció Civil per mitigar els efectes de les situacions d'emergència.
- El sistema de Protecció Civil ha de millorar en els àmbits local o municipal.
- Cal aprofundir en la predicció temporal de cara a millorar l'anàlisi de la perillositat i sobretot per poder dissenyar, quan sigui necessari, sistemes d'alerta primerenca.
- Falta definició i coneixement dels factors d'exposició al risc i de la vulnerabilitat del territori i de les persones.
- Sobretot, cal fer un gran esforç de millora en els factors sociològics de l'anàlisi del risc (exposició i vulnerabilitat social).
- Falta incidència en el factor humà (comportament del ciutadà i decisions del governant).
- Falta treballar en el factor educatiu de la societat civil que, evidentment, incideix en el punt anterior (educació => informació + formació).



## Bibliografia

- AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (2017). La gestió del risc d'inundacions a Catalunya. Barcelona: Generalitat de Catalunya. 26 p.
- AYALA-CARCEDO, F., *et al.* (1987): *Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España*. IGME, Madrid, 92 p.
- BARRIENDOS, M. i MARTÍN-VIDE, J. (1998): Secular climatic oscillations as indicated by catastrophic floods in the Spanish mediterranean coastal area (14th-19th centuries). *Climatic Change*, 38: 473-491.
- CIIRC (2010): *Estat de la Zona Costanera a Catalunya*. Barcelona. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Generalitat de Catalunya.
- COPONS, R. (2008a): El risc d'allaus a Catalunya. A: *Informe RISKCAT*. CADS. Departament de la Presidència. Generalitat de Catalunya, Barcelona, 34 p. [en línia] <[http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/el\\_risc\\_dallaus\\_a\\_catalunya.pdf](http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/el_risc_dallaus_a_catalunya.pdf)>
- COPONS, R. (2008b): El risc d'esfondraments i subsidències a Catalunya. A: *Informe RISKCAT*. CADS. Departament de la Presidència, Generalitat de Catalunya, Barcelona 29 p. [en línia] <[http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/el\\_risc\\_desllavissades\\_a\\_catalunya.pdf](http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/el_risc_desllavissades_a_catalunya.pdf)>
- COPONS, R. (2008c): El risc d'esllavissades a Catalunya. A: *Informe RISKCAT*. CADS. Barcelona: Departament de la Presidència. Generalitat de Catalunya, 35 p. [en línia]. <[http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/el\\_risc\\_desllavissades\\_a\\_catalunya.pdf](http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/el_risc_desllavissades_a_catalunya.pdf)>
- ESCUER, J. (2008): El risc d'inundacions a Catalunya. A: *Informe RISKCAT*. CADS. Departament de la Presidència. Generalitat de Catalunya, Barcelona, 32 p. [en línia]. <[http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/el\\_risc\\_dinundacions\\_a\\_catalunya.pdf](http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/el_risc_dinundacions_a_catalunya.pdf)>
- FERRER, M., Garcia-López Davalillo, J.C., González de Vallejo, L.I., Rodríguez Franco, J.A., Estévez Martín, H. I Trimboli, M. (2004): *Pérdidas por terremotos e inundaciones en España durante el periodo 1987-2001 y su estimación para los próximos 30 años (2004-2033)*. Consorcio de Compensación de Seguros e Instituto Geológico y Minero de España. Ministerio de Economía y Hacienda. Madrid, 98 p.
- GUILLÉN, J. (2008): Els riscos litorals a Catalunya. A: *Informe RISKCAT*. CADS. Departament de la Presidència. Generalitat de Catalunya, Barcelona, 26 p. [en línia]. <[http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/els\\_riscos\\_litorals\\_a\\_catalunya.pdf](http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/els_riscos_litorals_a_catalunya.pdf)>
- IGN-UPM (2013). *Actualización de mapas de peligrosidad sísmica de España 2012*. Centro Nacional de Información Geográfica, Madrid, 267 p.
- JIMÉNEZ, M. J. i GARCÍA, M. (2008): El risc de terratrèmols a Catalunya. A: *Informe RISKCAT*. CADS. Barcelona: Departament de la Presidència. Generalitat de Catalunya, 60 p. [en línia]. <[http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/el\\_risc\\_de\\_terrarmols\\_a\\_catalunya.pdf](http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/el_risc_de_terrarmols_a_catalunya.pdf)>
- LACAN, P. i ORTUÑO, M. (2012): Active Tectonics of the Pyrenees: A review. *Journal of Iberian Geology*, 38(1): 9-30.
- LLASAT, M. C., BARRIENDOS, M., BARRERA, A. i RIGO, T. (2005): Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th Century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records. *Journal of Hydrology*, 313: 32-47.
- LLASAT, M. C., RIGO, T., BARRIENDOS, M. (2003): The "Montserrat 2000" flashflood event: a comparison with the floods that have occurred in the Northeastern Iberian Peninsula since the 14th Century. *International Journal of Climatology*, 23: 453-469.
- MARTÍNEZ, P. i OLLER, P. (2009). «El mapa per a la prevenció dels riscos geològics». *Geològica: Butlletí de l'IGC*, 3: 4-5.
- MORA, O., PÉREZ, F., PIPIA, I., MARCHÁN, F. i marturià, J. (2018): Anàlisi de subsidència en el delta de l'ebre a partir d'imatges sentinel-1A/B: resultats preliminars i lliçons apreses. *Revista Catalana de Geografia* [IV època], XIII: 58
- OLIVERA, C., REDONDO, E., LAMBERT, J., RIERA MELIS, A. i ROCA, A. (2006): *Els terratrèmols dels segles xiv i xv a Catalunya*. Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya. 407 p.
- OLLER, P., MUNTÁN, E., GARCÍA-SELLÉS, C., FURDADA, G., BAEZA, C. i ANGULO, C. (2015): Characterizing major avalanche episodes in space and time in the twentieth and early twenty-first centuries in the Catalan Pyrenees. *Cold Regions Science and Technology*, 110: 129-148.

- OLLER, P., MUNTÁN, E., MARTURIÀ, J., GARCÍA, C., GARCÍA, A. i MARTÍNEZ, P. (2006): *The avalanche data in the Catalan Pyrenees: 20 years of avalanche mapping*. Proceedings of the International Snow Science Workshop. Telluride, Colorado. P. 305-313.
- RIBOT, E. De (2008): El marc legal en matèria de riscos naturals a Catalunya. A: *Informe RISKCAT*. CADS. Departament de la Presidència. Generalitat de Catalunya. Barcelona, 144 p. [en línia]. <[http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/marc\\_legal\\_en\\_materia\\_de\\_riscos\\_naturals\\_a\\_catalunya.pdf](http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/marc_legal_en_materia_de_riscos_naturals_a_catalunya.pdf)>
- ROIG-MUNAR, F. X., FORNER, E., MARTÍN-PRIETO, J.A., SEGURA, J., RODRÍGUEZ-PEREA, A. I GELABERT, B., VILAPLANA, J. M. (2018a): Presència de blocs de tsunamis i tempestes a les costes rocoses de la serra d'Irta (el Baix Maestrat, País Valencià). *Nemus*, 8: 7-21.
- ROIG-MUNAR, F. X., VILAPLANA, J.M., RODRÍGUEZ-PEREA, A., MARTÍN-PRIETO, J.A. i GELABERT, B. (2018b): Tsunamis boulders on the rocky shores of Minorca (Balearic Islands). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18: 1985-1998.
- ROIG-MUNAR, F. X., RODRÍGUEZ-PEREA, A., MARTÍN-PRIETO, J. A., GELABERT, B. i VILAPLANA, J.M. (2019a): Tsunami Boulders on the Rocky Coasts of Ibiza and Formentera (Balearic Islands). *J. Mar. Sci. Eng.*, 7(10): 327.
- ROIG-MUNAR, F. X., RODRÍGUEZ-PEREA, A., VILAPLANA, J.M., MARTÍN-PRIETO, J.A. i GELABERT, B. (2019b): Tsunami boulders in Majorca Island (Balearic Islands, Spain). *Geomorphology*, 334: 76-90.
- ROIG-MUNAR, F. X., VILAPLANA, J. M., RODRÍGUEZ-PEREA, A., MARTÍN-PRIETO, J. A., GELABERT, B. i GARCÍA LOZANO, C. (2020): Revisión de los depósitos de tsunamis, bloques y tsunamitas, en las costas del Mediterráneo occidental. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 33, 2: 17-30.
- SAHAL, A., ROGER, J. i ALLEGER, S. (2009): The tsunami triggered by the 21 May 2003 Bourmèdes-Zemmoure (Algeria) earthquake: field investigations on the French Mediterranean coast and tsunami modelling. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9: 1823-1834.
- VILAPLANA, J.M. i PAYÀS, B. (2008): RISKCAT. Els riscos naturals a Catalunya. Informe executiu / Los riesgos naturales en Cataluña / Natural Risks in Catalonia». *Informes del CADS*, 6: 228 p. [en línia]. <[http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/els\\_riscos\\_naturals\\_a\\_catalunya.pdf](http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/els_riscos_naturals_a_catalunya.pdf)>
- VILAPLANA, J. M. (2019). Els georiscos. In: PEÑUELAS *et al.* (eds.), *La Natura ús o abús* (2018-2019); IEC, 52 p.

---

Data recepció: 09.06.21

Data revisió: 02.07.21

Revisió acceptada: 09.07.21



# APLICACIÓN DE LA INTERFEROMETRÍA DE IMÁGENES RADAR PARA LA MONITORIZACIÓN DE PROCESOS RECIENTES DE SUBSIDENCIA EN MALLORCA

Jorge Lorenzo-Lacruz <sup>1</sup>, Celso Garcia <sup>2</sup>, Enrique Morán-Tejeda <sup>2</sup>,  
Antonio Capó <sup>2</sup>, Christian Mestre-Runge <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Grupo de investigación EUSOT, Departamento de Ciencias Humanas, Área de Geografía Física, Universidad de La Rioja, Luis de Ulloa 2, 26004 Logroño (La Rioja).

<sup>2</sup> Grupo de investigación GLOWATER, Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears, Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears)

<sup>3</sup> Grupo de investigación GAMES, Departamento de Hortofruticultura, Botánica y Jardinería, Universidad de Lleida, Avda. Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida (Catalunya).

**Resumen:** La subsidencia es un riesgo natural altamente destructivo, que puede estar provocado por diversas causas, tanto naturales como antrópicas. Sus impactos incluyen la creación de grietas y fisuras, daños en edificaciones e infraestructuras, el descenso de la capacidad de almacenamiento de los sistemas de acuíferos, y un incremento de la susceptibilidad de inundación. En este estudio se ha aplicado la Interferometría Dispersa Persistente (PSI) al procesado de imágenes de radar de apertura sintética (SAR) para la detección y análisis de procesos de deformación del terreno y subsidencia en la isla de Mallorca. La base de datos del estudio está compuesta de 120 imágenes capturadas por los satélites Sentinel 1A y 1B (entre mayo de 2016 y diciembre de 2019), a partir de las cuales se derivó un mapa de tasas de desplazamiento acumulado ocurridas durante los 3 años y medio del periodo de estudio. Los resultados muestran importantes procesos de subsidencia de hasta 30 mm año<sup>-1</sup> en amplias zonas de la cuenca sedimentaria de Palma, y de menor entidad (entre 10 y 20 mm año<sup>-1</sup>) en puntos de la Depresión Central y en zonas de la Serra de Tramuntana, como los tramos finales de las cuencas fluviales del *Torrent Major en Sóller* y el *Torrent de Gorg Blau*. Asimismo, se ha observado una relación significativa entre el espesor del sedimento Cuaternario y las tasas de subsidencia registradas por el análisis PSI. Los resultados destacan el alto grado de dinamismo geomorfológico a escalas temporales muy cortas que caracteriza a la isla de Mallorca, y ponen de manifiesto la vulnerabilidad de determinadas zonas urbanas, como la ciudad de Palma (≈ 400000 habitantes), y agrícolas, en la Depresión Central, ante el riesgo de subsidencia y los daños asociados.

**Palabras clave:** *interferometría, imágenes de radar, subsidencia, Cuaternario, Mallorca.*

**Abstract:** Subsidence is a highly destructive natural hazard, which can be caused by both natural and anthropogenic causes. Its impacts include the creation of cracks and fissures, damages to buildings and infrastructures, a decrease in storage capacity of aquifer systems, and an increase of the susceptibility to flooding. In this study, Persistent Scattered Interferometry (PSI) has been used to process Synthetic Aperture Radar (SAR) images, for the detection and analysis of ground deformation and subsidence processes in the island of Mallorca. The study database is composed of 120 images captured by the Sentinel 1A and 1B satellites (between May 2016 and December 2019), from which we derived a map of accumulated displacement rates occurred during a 3 years and a half period. The results show important subsidence processes of up to 30 mm year<sup>-1</sup> in large areas of the sedimentary basin of Palma, and of lesser magnitude (between 10 and 20 mm year<sup>-1</sup>) in locations of the Central Depression and in basins in the Serra de Tramuntana, such as the *Torrent Major* at Sóller and the *Torrent de Gorg Blau*. A significant relationship has also been observed between the thickness of the Quaternary sediment and the observed subsidence rates. The results highlight the high degree of geomorphological dynamism at very short time scales that characterizes Mallorca, and the vulnerability of certain urban areas, such as the city of Palma (≈ 400000 inhabitants), and agricultural areas, such as the *Central Depression*, facing the risk of subsidence and associated damages.

**Keywords:** *interferometry, radar images, subsidence, Quaternary, Mallorca.*

## Introducción

La subsidencia es el hundimiento de la superficie de la corteza terrestre, generalmente debido a un apoyo insuficiente desde abajo, una carga superpuesta o una combinación de ambos (MARKER, 2013). Se trata de un riesgo natural de alcance global, y que afecta, potencialmente, al 19% de la población mundial (HERRERA-GARCÍA *et al.*, 2021). La subsidencia es un fenómeno estrechamente asociado a procesos de consolidación sedimentaria y compactación, que se desarrolla de forma lenta y paulatina

LORENZO-LACRUZ, J., GARCIA, C., MORÁN-TEJEDA, E., CAPÓ, A. y MESTRE-RUNGE, C. (2021): Aplicación de la interferometría de imágenes radar para la monitorización de procesos recientes de subsidencia en Mallorca. In: *De la terra a la mar i de la mar a la terra. Homenatge a Antonio Rodríguez-Perea*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 34: 243-258. ISBN: 978-84-09-34554-0.

en el tiempo, por lo que no suele causar víctimas mortales. Sin embargo, los daños materiales que ocasiona sobre viviendas e infraestructuras y su mantenimiento, ascienden a billones de euros cada año (KOK y COSTA, 2021). De forma menos habitual, la subsidencia ocurre de forma repentina, ocasionando colapsos y pudiendo desencadenar eventos catastróficos (GALLOWAY *et al.*, 2000; MARKER, 2013).

Aunque la subsidencia suele estar causada por factores naturales de tipo geológico, como procesos de consolidación sedimentaria, compactación, pliegues o fallas (SOLARI *et al.*, 2018), en los últimos años se está incrementando de forma muy notable el número de estudios que informan de causas relacionadas con la actividad del hombre (TOSI *et al.*, 2013), y especialmente con la inyección y extracción de fluidos de la corteza terrestre (BELL *et al.*, 2008; CHAUSSARD *et al.*, 2017; FIASCHI *et al.*, 2019). Las zonas en las que se han reportado elevadas tasas de subsidencia se concentran cerca de áreas urbanas densamente ocupadas y zonas de regadío con un elevado estrés hídrico o una alta demanda de agua subterránea, incluyendo puntos de España (GONZÁLEZ y FERNÁNDEZ, 2011; FERNANDEZ *et al.*, 2018), Italia (BOZZANO *et al.*, 2015; ROSI *et al.*, 2016), Grecia (SVIGKAS *et al.*, 2016), Estados Unidos (KHORRAMI *et al.*, 2019; LIU *et al.*, 2019; OJHA *et al.*, 2019), México (FIGUEROA-MIRANDA *et al.*, 2018; NAVARRO-HERNÁNDEZ *et al.*, 2020), China (ZHU *et al.*, 2015; CHEN *et al.*, 2016; GAO *et al.*, 2019) o Irán (MOTAGH *et al.*, 2017). En este sentido, amplias zonas de Mallorca presentan las características anteriores (LORENZO-LACRUZ y MORAN-TEJEDA, 2016; LORENZO-LACRUZ *et al.*, 2017), y ya se había apuntado hacia la posibilidad de que ocurrieran procesos de subsidencia, especialmente en las zonas de acumulación sedimentaria, donde se encuentran los materiales más compresibles (CAPÓ y GARCIA, 2019; HERRERA-GARCÍA *et al.*, 2021). Sin embargo, ningún estudio hasta el momento había monitorizado el fenómeno con precisión en esta área concreta.

Existen varios métodos para la detección y medición de la subsidencia de la superficie terrestre. Entre ellos, la interferometría de imágenes de Radar de Apertura Sintética (inSAR) ha sido probada como una técnica que obtiene resultados robustos en el mapeo de este tipo de deformaciones. Frente a técnicas *in situ* y geodésicas, de muestreo muy puntual, como la nivelación y el GPS/GNSS (ZHAO *et al.*, 2019), el análisis inSAR presenta la ventaja de permitir la monitorización de la subsidencia de forma extensiva en el espacio (SOLARI *et al.*, 2018; KHORRAMI *et al.*, 2020). En este sentido, mediante la aplicación de técnicas de procesamiento inSAR como la Interferometría Dispersa Persistente (PSI) a un conjunto de imágenes radar de un área específica, es posible detectar los movimientos de la superficie con precisión milimétrica (LAZECKÝ *et al.*, 2018). Este tipo de técnicas obtiene los resultados más fiables en áreas urbanas, como la ciudad de Palma, por lo que son ideales para la monitorización de la subsidencia debida a la consolidación de secuencias sedimentarias, proceso que en ocasiones es acelerado por factores antrópicos, como excavaciones e infraestructuras subterráneas y el peso de las edificaciones (ROSI *et al.*, 2016).

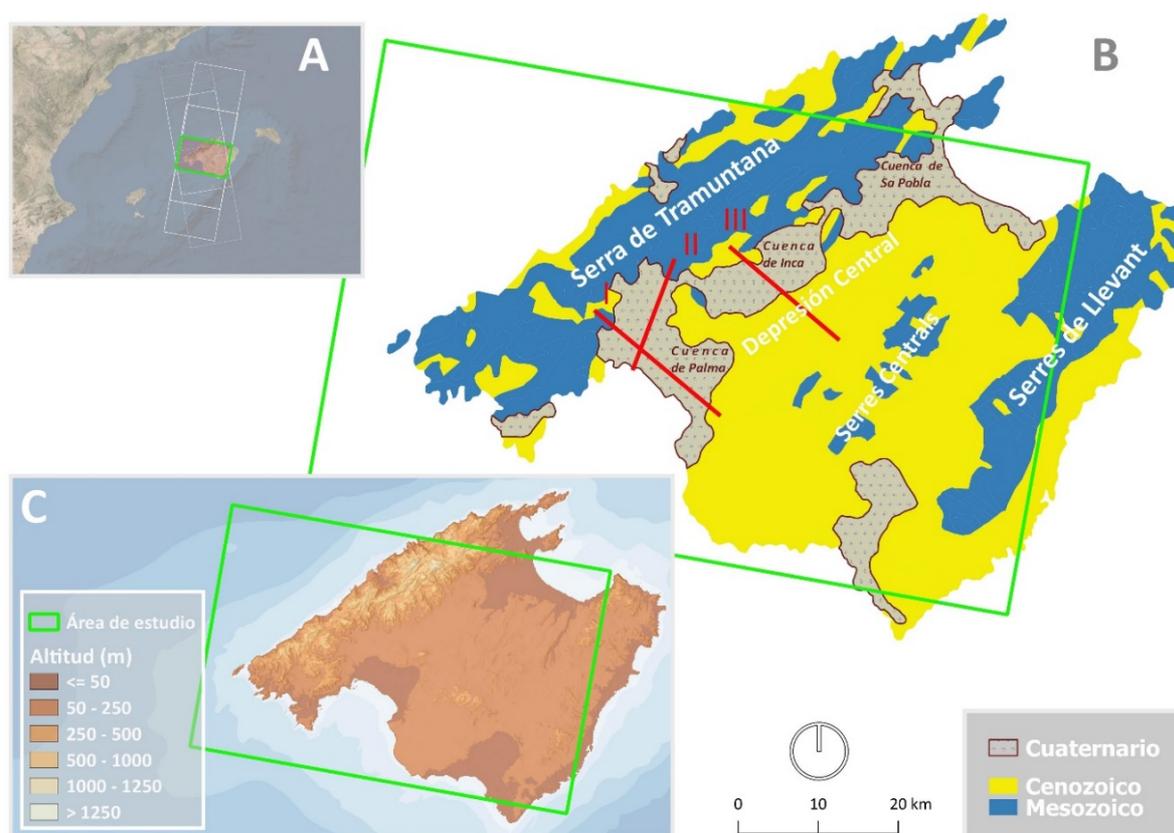
El objetivo de este estudio es cuantificar con precisión los procesos de subsidencia ocurridos en los últimos años en Mallorca. Para ello, se ha aplicado el análisis PSI a un conjunto de 120 imágenes radar capturadas por los satélites Sentinel 1A y 1B, permitiendo la elaboración de un mapa de la tasa de deformación (cuasi) vertical de la superficie de la isla de Mallorca entre mayo de 2016 y diciembre de 2019 con resolución milimétrica. Los resultados muestran: i) la distribución espacial de la subsidencia ocurrida recientemente en Mallorca; ii) la relación existente entre el espesor del sedimento Cuaternario y la ocurrencia de subsidencia; y iii) ejemplos de los daños causados por el fenómeno.

La detección y cuantificación de la deformación superficial de la corteza realizadas en este trabajo aportan evidencias de la ocurrencia de subsidencia en amplias áreas de Mallorca (especialmente en la aureola suburbana de Palma), y pone de manifiesto la vulnerabilidad de éstas ante un riesgo natural que, aun siendo lento en su desarrollo, causa daños en diversas edificaciones e infraestructuras civiles.

### Área de estudio y contexto geológico

Mallorca, al igual que el archipiélago Balear, forma parte de la zona emergida del Promontorio Balear. Este relieve, mayoritariamente sumergido, constituye la prolongación oriental de las Cordilleras

Béticas desde el SE de la Península Ibérica (Fig. 1A). La compleja evolución tectónica del Mediterráneo Occidental, a partir de la colisión entre las placas africana y euroasiática, deja un promontorio formado por un cinturón de pliegues y cabalgamientos, con un acortamiento del 50%, y cuencas extensivas y contraccionales (GELABERT *et al.*, 1992). La isla de Mallorca está constituida por una alternancia de bloques levantados (*horsts*) y hundidos (*grabens*) que se corresponden con las sierras y las llanuras de la morfología actual. Esta estructuración está causada por la presencia de grandes fallas normales lítricas con desplazamientos kilométricos, de edad Mioceno superior y orientadas preferentemente NE-SO (RODRÍGUEZ-PEREA y GELABERT, 1998). Los *grabens* constituyen las cuencas, que están rellenas con sedimentos del Mioceno superior, Plioceno y Cuaternario (CAPÓ y GARCIA, 2019). En los *horsts* encontramos las sierras, cinturones de pliegues y cabalgamientos, de edad Mioceno inferior, que afectó a la totalidad de la isla.



**Fig. 1.** A) Localización del área de estudio y huellas satelitales de las pasadas de las imágenes empleadas. B) Mapa geológico sintetizado de la isla de Mallorca y localización de las secciones correspondientes a los perfiles geológicos. C) Topografía de la isla de Mallorca.

Mallorca se puede dividir en tres unidades fisiográficas: la serra de Tramuntana, las serres de Llevant y la Depresión central (Fig. 1B). La Serra de Tramuntana constituye una unidad morfoestructural orientada de SO-NE dispuesta de forma paralela a la costa septentrional. Está formada por un conjunto de materiales plegados, mayoritariamente mesozoicos, con un buzamiento generalmente hacia el SE. Entre estos materiales se encuentran depósitos del Terciario que suelen encontrarse cabalgados por los anteriores (GELABERT *et al.*, 1992). Es en la Serra de Tramuntana donde se alcanzan las mayores altitudes de la isla (Fig. 1C), superando los 1000 metros sobre el nivel del mar en numerosas montañas dominadas por las calcáreas masivas del Jurásico inferior (Lias). Las Serres de Llevant, localizadas de forma paralela a la costa suroriental, constituyen la segunda área plegada de la isla, análoga a la Serra

de Tramuntana. La estructura de estas sierras está constituida por un sistema de cabalgamientos con pliegues asociados que afectan a rocas del Jurásico (dolomías y margas), margocalcáreas del Cretácico, calcarenitas del Eoceno y conglomerados y areniscas del Mioceno inferior. Este sistema está recubierto por capas horizontales del Mioceno superior (SABAT, 1998). Las mayores altitudes las encontramos en los dos extremos de las serres con valores superiores a los 500 m. En el centro de la isla encontramos las sierras centrales, con los relieves mesozoicos aislados del macizo de Randa (555 m.) y los de la estructura Sineu – Bonany (317 m). La Depresión Central es una llanura topográfica compuesta por tres cuencas estructurales alineadas (Palma, Inca y Sa Pobla), inicialmente desarrolladas como cuencas subsidentes que se fueron rellenando hasta el Cuaternario. Los depósitos de estas cuencas pueden alcanzar el grosor de un kilómetro (COLOM, 1975). Estas tres cuencas son objeto de estudio de este trabajo y en ellas se ha estudiado la subsidencia durante el Plio-Cuaternario (CAPÓ y GARCIA, 2019), mostrando una tasa decreciente en la cuenca de Sa Pobla y creciente en las cuencas de Inca y Palma. La subsidencia máxima total en la cuenca de Palma es casi dos veces la de Inca y mucho mayor que la de Sa Pobla. Los mismos autores reconstruyen los espesores durante el Cuaternario en las tres cuencas, siendo mucho más importantes en la de Palma, alcanzando máximos de 175 m, que en las de Inca, máximos de 100 m, y de Sa Pobla, con un máximo de 75 m (CAPÓ y GARCIA, 2019).

## Métodos y materiales

### Procesado de imágenes inSAR

La técnica PSI es una extensión del análisis de interferometría SAR (inSAR) convencional, enfocado a la obtención de series de deformación de la línea de visión (*Line Of Sight*; LOS), una medida de la velocidad de deformación de la superficie terrestre (FERRETTI *et al.*, 2000, 2001; COLESANTI *et al.*, 2003; BELADAM *et al.*, 2019; OTHMAN *et al.*, 2019). Esta técnica selecciona un conjunto de puntos objetivo sobre el terreno, conocidos como *Dispersores Permanentes* (*Permanent Scatterers*; PS), para los que se calcula la deformación, y que han de cumplir los siguientes requisitos: poseer propiedades de dispersión estables, presentar una coherencia de fase temporal aceptable, y un comportamiento similar durante el periodo analizado (LAZECKÝ *et al.*, 2018). Gracias a que se conoce cómo el valor de un píxel de una imagen SAR cambia su fase (Ecuación 1) dependiendo de la posición relativa satélite-PS, imprecisiones del modelo digital de elevaciones (MDE), variaciones atmosféricas (Atmospheric Phase Screen; APS), ruido, y los movimientos en el tiempo de los PS, es posible calcular estos últimos (cambios en la posición de los PS) con parámetros conocidos o que se pueden estimar (FERRETTI *et al.*, 2000):

$$\varphi^k = \left( \frac{4\pi}{\lambda} * \frac{B^k}{R \sin \theta} * h \right) + \left( \frac{4\pi}{\lambda} * T^k * v \right) + \varphi_{atm}^k + \varphi_{orb}^k + \varphi_{ruido}^k \quad [\text{Eq. 1}]$$

donde el primer sumando introduce el error del MDE ( $h$ ) por las imprecisiones del MDE externo (SRTM 30m), el segundo denota la velocidad lineal de deformación ( $v$ ) derivada del desplazamiento de los PS durante el periodo de observación.  $B^k$  es el valor de la Línea de Base (perpendicular) del interferograma  $k$ .  $R$  denota el rango de inclinación,  $T$  se refiere el tiempo, y  $\lambda$  es la longitud de onda.  $\varphi_{atm}^k$ ,  $\varphi_{orb}^k$ ,  $\varphi_{ruido}^k$  denotan el retardo de fase atmosférico, la fase del error orbital residual y el ruido de la decorrelación (temporal y geométrica), respectivamente.

El análisis de interferometría PSI se organiza en torno a la selección una imagen *Máster*, considerando las Líneas de Base temporales (días de desviación) y las Líneas de Base perpendiculares (metros de desviación) del conjunto de imágenes. Preferiblemente, la imagen *Máster* se selecciona en medio de las Líneas de Base temporales y espaciales (perpendiculares) para minimizar distorsiones en los análisis durante el periodo analizado (Tabla 1). A continuación, se generan las imágenes corregistradas (*Single Look Complex*; SLC) entre la *Imagen Máster* y el resto de imágenes (imágenes *Slave*). Finalmente, se eliminan la influencia de la curvatura terrestre y la topografía de la fase de las

imágenes corregistradas, a partir de las cuales se calculan los interferogramas (imágenes de diferencias de fase entre *Máster* y *Slaves*), con los que derivar deformaciones.

En el enfoque utilizado en este trabajo, los valores de los PS son relativos a un punto estable de referencia seleccionado de entre todos los PS, y se asume que la tasa de deformación del suelo es lineal. Es importante destacar que, por los requisitos mencionados anteriormente, las grandes densidades de PS coinciden con áreas urbanas, aunque también se observan densidades medias y bajas en áreas agrícolas, debido a la decorrelación temporal en estas zonas (KHORRAMI *et al.*, 2020)(Fig. 2).

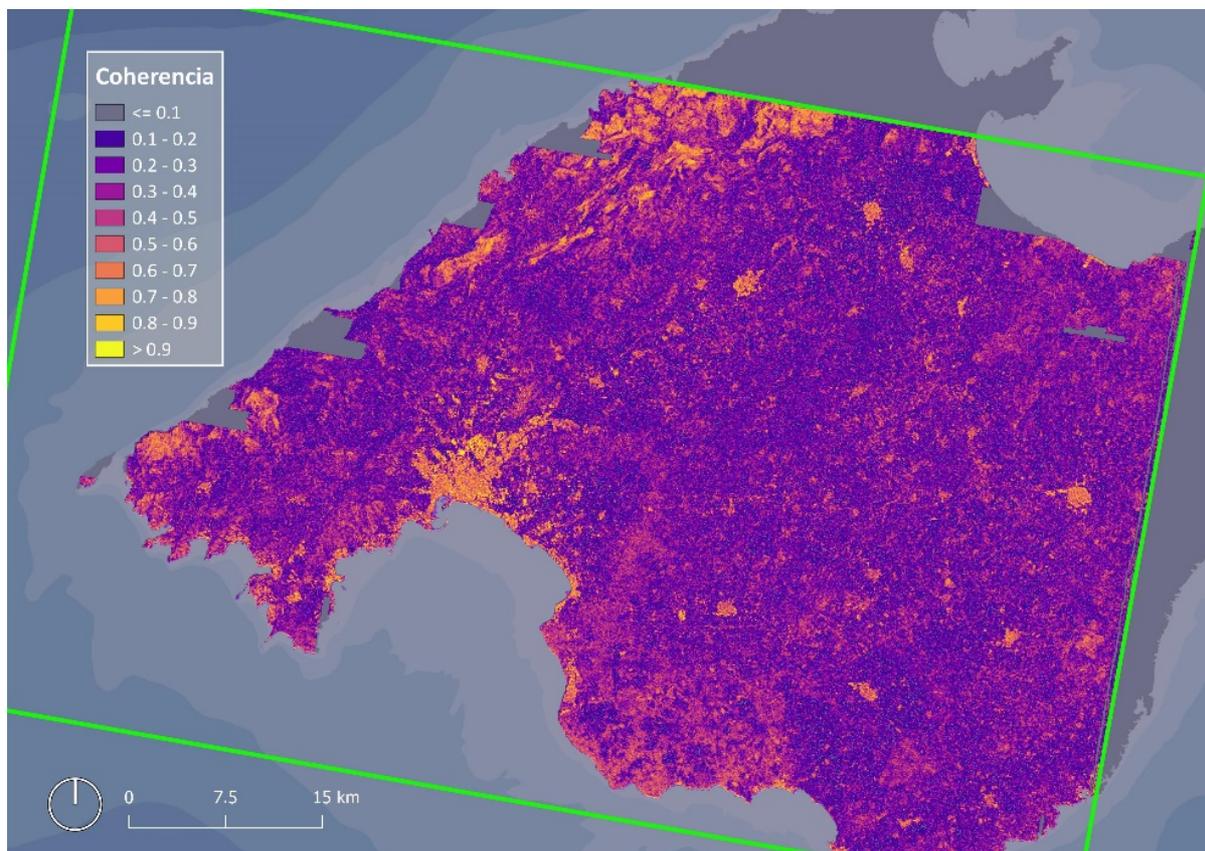
La monitorización de la subsidencia mediante el análisis PSI se realizó con el software SARPROZ siguiendo los pasos que se detallan a continuación (PERISSIN, 2016; CHAUSSARD *et al.*, 2017; DECLERCQ *et al.*, 2017; LAZECKÝ *et al.*, 2018; KHORRAMI *et al.*, 2020):

- i) Selección de los PS candidatos que satisficieran la siguiente condición para el Índice de Estabilidad de Amplitud:

$$(1) D_{estabilidad} = 1 - \frac{\sigma_a}{\bar{a}} \geq 0.7 \quad [\text{Eq. 2}]$$

donde  $\bar{a}$  es el promedio de las amplitudes calculadas en cada píxel y  $\sigma_a$  es la desviación estándar de la variación de la amplitud en el tiempo.

- ii) Obtención de los parámetros desconocidos, error del MDE externo (SRTM 30m) y velocidad, a partir de la información de fase relativa entre PS próximos: el gráfico de conexiones de amplitud de fase entre PS sirvió para estimar los parámetros iniciales y definir las propias conexiones para la optimización del cálculo (Fig. 3). A continuación, se calcularon los valores absolutos a través de integración numérica.



**Fig. 2.** Distribución espacial de la coherencia de fase promedio durante el periodo mayo 2016-diciembre 2019.



iii) Estimación de las tasas de desplazamiento a lo largo de la línea de visión LOS: tras la eliminación del papel distorsionador de la atmósfera (APS), se filtraron y seleccionaron los PS con una coherencia de fase temporal superior a 0.8 (Fig. 2), para así obtener un mapa de subsidencia (desplazamiento LOS casi vertical) lo más preciso posible. A continuación, se calcularon, para los 61355 PS, las tasas de desplazamiento a lo largo de la línea de visión LOS (desplazamiento acumulado), y las series temporales de deformación en cada PS. El cálculo de un periodograma permitió extraer los parámetros desconocidos dentro de un rango de desplazamiento dado (de -150 a +150 mm/año).

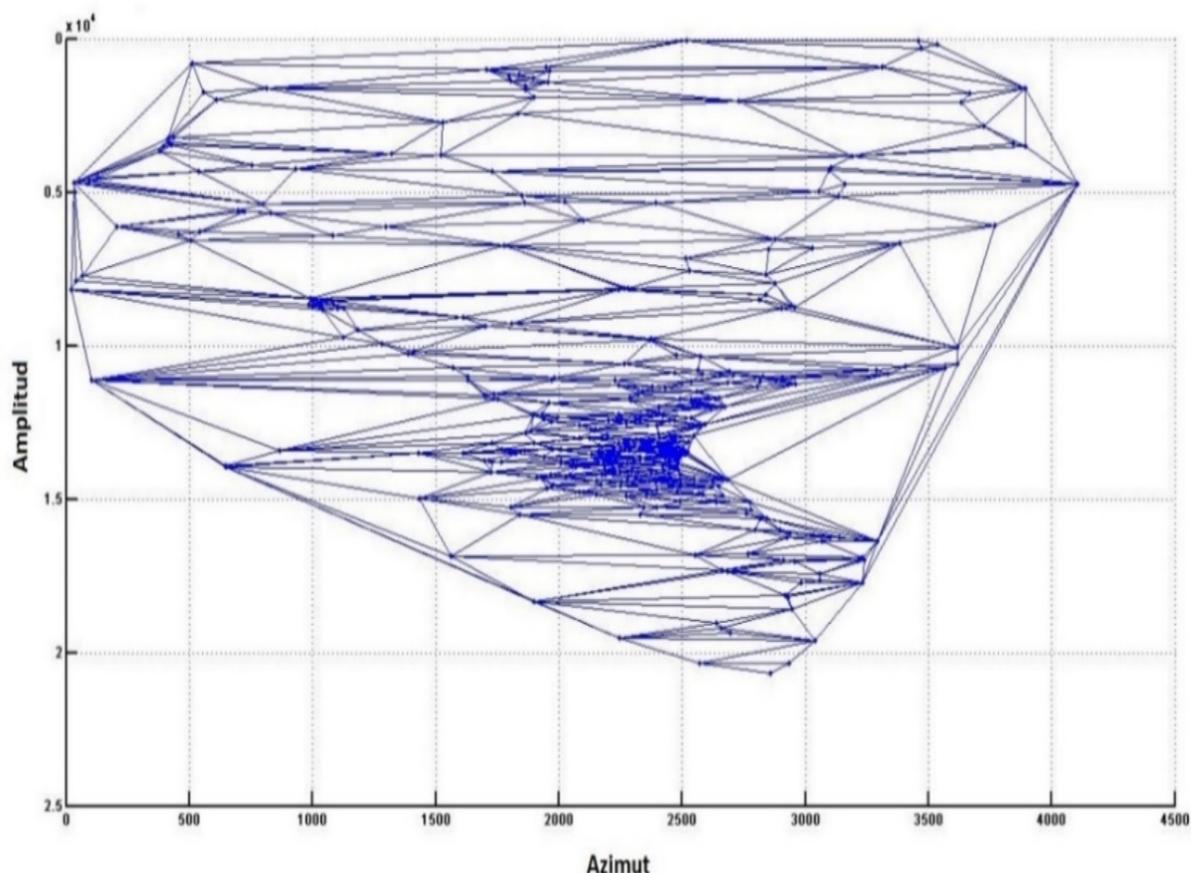


Fig. 3. Gráfico de Delaunay de conexiones de las amplitudes de fase entre los PS.

#### Base de datos

La base de datos del estudio la componen 120 imágenes de radar de apertura sintética (banda C) capturadas por los satélites Sentinel-1A y -1B de la Agencia Espacial Europea (ESA), y obtenidas del *Alaska Satellite Facility* (<https://search.asf.alaska.edu/>). Las fechas de observación de las escenas abarcan desde mayo de 2016 hasta diciembre de 2019; en la Tabla 1 se muestran las fechas de captura de las imágenes utilizadas para realizar el análisis multi-temporal de deformación (subsidencia). Para tal fin, se combinó el uso indistinto de imágenes capturadas por Sentinel 1A (104 imágenes) y -1B (16 imágenes). En todos los casos, el modo de captura fue *Interferometric Wide* (IW) en órbitas descendentes. Las imágenes seleccionadas pertenecen a la pista (*track*) 37 y franja (*subswath*) número 2 de la trayectoria de ambos satélites, cubriendo así la práctica totalidad de la isla de Mallorca (Fig. 1A). La polarización empleada fue vertical-vertical (VV) en todos los casos. Con el objetivo de favorecer una alta coherencia de fase ( $> 0.8$ ) y asegurar la precisión de los resultados, únicamente se incluyeron en el análisis aquellas imágenes con una línea de base perpendicular menor de  $\pm 150$  m (LAZECKÝ *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2019) (Fig. 4).

**Tabla 1.** Fechas de captura de las imágenes utilizadas. \* Imagen *Máster*.

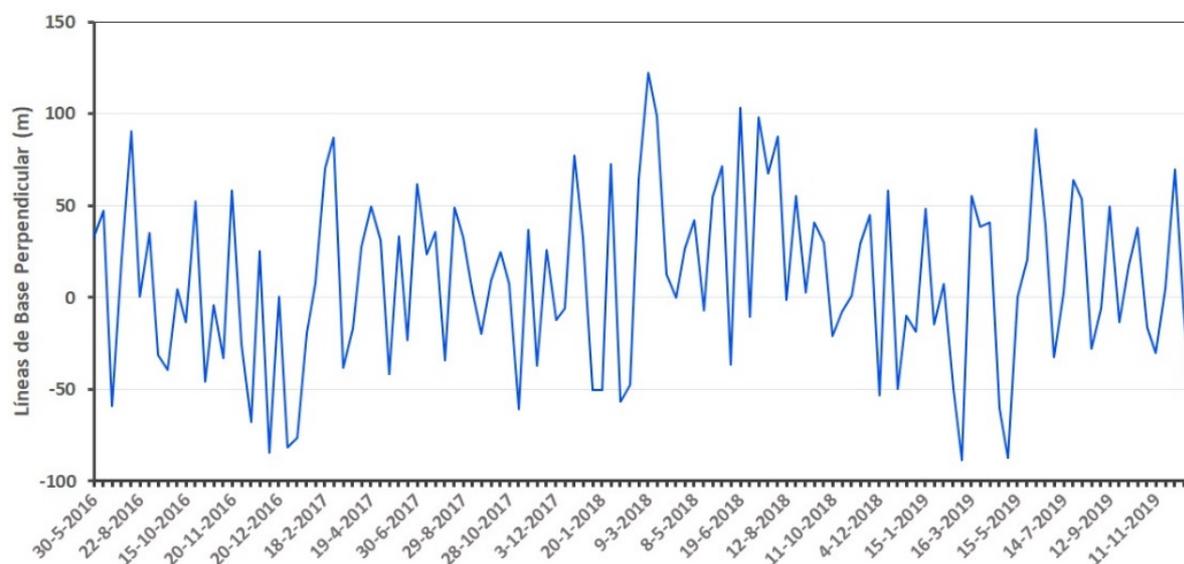
Fecha de observación	Satélite	Línea base temp. (días)	Fecha de observación	Satélite	Línea base temp. (días)	Fecha de observación	Satélite	Línea base temp. (días)	Fecha de observación	Satélite	Línea base temp. (días)
30/5/2016	Sentinel 1A	-684	19/4/2017	Sentinel 1A	-360	9/3/2018	Sentinel 1A	-36	15/1/2019	Sentinel 1A	276
11/6/2016	Sentinel 1A	-672	1/5/2017	Sentinel 1A	-348	21/3/2018	Sentinel 1A	-24	27/1/2019	Sentinel 1A	288
5/7/2016	Sentinel 1A	-648	13/5/2017	Sentinel 1A	-336	2/4/2018	Sentinel 1A	-12	8/2/2019	Sentinel 1A	300
17/7/2016	Sentinel 1A	-636	25/5/2017	Sentinel 1A	-324	14/4/2018*	Sentinel* 1A	0*	20/2/2019	Sentinel 1A	312
10/8/2016	Sentinel 1A	-612	6/6/2017	Sentinel 1A	-312	26/4/2018	Sentinel 1A	12	4/3/2019	Sentinel 1A	324
22/8/2016	Sentinel 1A	-600	30/6/2017	Sentinel 1A	-288	8/5/2018	Sentinel 1A	24	16/3/2019	Sentinel 1A	336
3/9/2016	Sentinel 1A	-588	12/7/2017	Sentinel 1A	-276	14/5/2018	Sentinel 1B	30	28/3/2019	Sentinel 1A	348
27/9/2016	Sentinel 1A	-564	30/7/2017	Sentinel 1A	-258	20/5/2018	Sentinel 1A	36	9/4/2019	Sentinel 1A	360
3/10/2016	Sentinel 1A	-558	5/8/2017	Sentinel 1A	-252	1/6/2018	Sentinel 1A	48	21/4/2019	Sentinel 1A	372
9/10/2016	Sentinel 1A	-552	17/8/2017	Sentinel 1A	-240	13/6/2018	Sentinel 1A	60	3/5/2019	Sentinel 1A	384
15/10/2016	Sentinel 1A	-546	29/8/2017	Sentinel 1A	-228	19/6/2018	Sentinel 1B	66	15/5/2019	Sentinel 1A	396
21/10/2016	Sentinel 1A	-540	10/9/2017	Sentinel 1A	-216	25/6/2018	Sentinel 1A	72	27/5/2019	Sentinel 1A	408
2/11/2016	Sentinel 1A	-528	22/9/2017	Sentinel 1A	-204	7/7/2018	Sentinel 1A	84	8/6/2019	Sentinel 1A	420
8/11/2016	Sentinel 1A	-522	4/10/2017	Sentinel 1A	-192	19/7/2018	Sentinel 1A	96	20/6/2019	Sentinel 1A	432
14/11/2016	Sentinel 1A	-516	16/10/2017	Sentinel 1A	-180	31/7/2018	Sentinel 1A	108	2/7/2019	Sentinel 1A	444
20/11/2016	Sentinel 1A	-510	28/10/2017	Sentinel 1A	-168	12/8/2018	Sentinel 1A	120	14/7/2019	Sentinel 1A	456
26/11/2016	Sentinel 1A	-504	3/11/2017	Sentinel 1B	-162	24/8/2018	Sentinel 1A	132	26/7/2019	Sentinel 1A	468
2/12/2016	Sentinel 1A	-498	9/11/2017	Sentinel 1A	-156	5/9/2018	Sentinel 1A	144	7/8/2019	Sentinel 1A	480
8/12/2016	Sentinel 1A	-492	21/11/2017	Sentinel 1A	-144	17/9/2018	Sentinel 1A	156	19/8/2019	Sentinel 1A	492
14/12/2016	Sentinel 1A	-486	27/11/2017	Sentinel 1B	-138	29/9/2018	Sentinel 1A	168	31/8/2019	Sentinel 1A	504
20/12/2016	Sentinel 1A	-480	3/12/2017	Sentinel 1A	-132	11/10/2018	Sentinel 1A	180	12/9/2019	Sentinel 1A	516
1/1/2017	Sentinel 1A	-468	15/12/2017	Sentinel 1A	-120	23/10/2018	Sentinel 1A	192	24/9/2019	Sentinel 1A	528
13/1/2017	Sentinel 1A	-456	27/12/2017	Sentinel 1A	-108	4/11/2018	Sentinel 1A	204	6/10/2019	Sentinel 1A	540
25/1/2017	Sentinel 1A	-444	8/1/2018	Sentinel 1A	-96	16/11/2018	Sentinel 1A	216	18/10/2019	Sentinel 1A	552
6/2/2017	Sentinel 1A	-432	14/1/2018	Sentinel 1B	-90	28/11/2018	Sentinel 1A	228	30/10/2019	Sentinel 1A	564
18/2/2017	Sentinel 1A	-420	20/1/2018	Sentinel 1A	-84	4/12/2018	Sentinel 1B	234	11/11/2019	Sentinel 1A	576
2/3/2017	Sentinel 1A	-408	26/1/2018	Sentinel 1B	-78	16/12/2018	Sentinel 1B	246	23/11/2019	Sentinel 1A	588
14/3/2017	Sentinel 1A	-396	1/2/2018	Sentinel 1A	-72	22/12/2018	Sentinel 1A	252	5/12/2019	Sentinel 1A	600
26/3/2017	Sentinel 1A	-384	13/2/2018	Sentinel 1A	-60	28/12/2018	Sentinel 1B	258	17/12/2019	Sentinel 1A	612
7/4/2017	Sentinel 1A	-372	25/2/2018	Sentinel 1A	-48	3/1/2019	Sentinel 1A	264	29/12/2019	Sentinel 1A	624

## Resultados

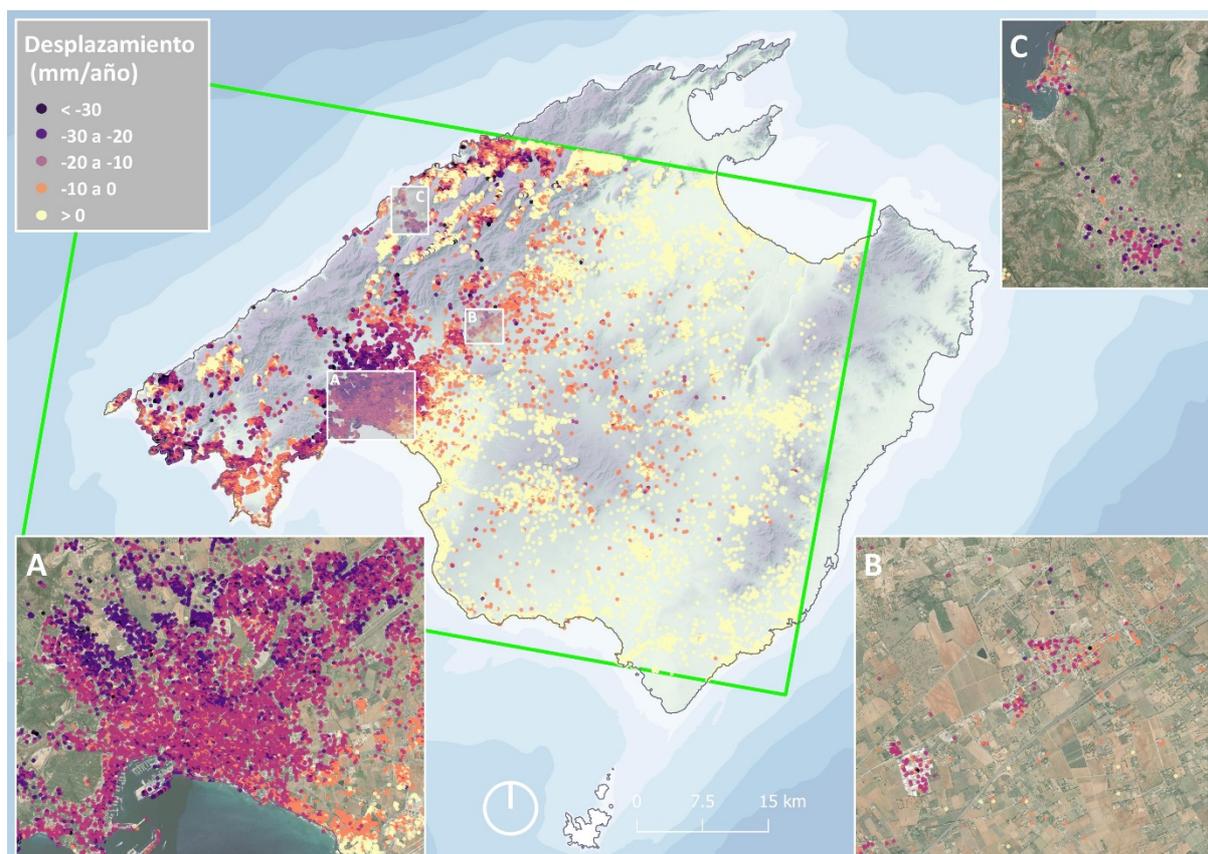
### Mapas de desplazamiento

El análisis PSI aplicado a la base de datos de imágenes SAR Sentinel-1 generó 61355 series temporales de desplazamiento acumulado (LOS) en los PS seleccionados, los cuales cumplían los requisitos detallados anteriormente. La Figura 5 muestra las velocidades ( $\text{mm año}^{-1}$ ) de desplazamiento del terreno en Mallorca en aquellos puntos (PS) con una coherencia superior a 0,8. Las tasas de deformación observadas fluctúan entre valores positivos hasta desplazamientos negativos (subsistencia) superiores a  $30 \text{ mm año}^{-1}$ . Las zonas con mayor concentración de puntos con desplazamiento negativo, son la línea de costa occidental y las estribaciones más occidentales de la serra de Tramuntana en los

municipios de Andratx y Calvià, diversas cuencas en el macizo central de la Tramuntana, como la del torrente de *Gorg Blau* o la del *Torrent Major* de Sóller y zonas del piedemonte sedimentario o *Raiguer*. Sobre todas destaca, tanto por los valores de desplazamiento, como por la densidad de puntos y extensión espacial de la subsidencia, la cuenca sedimentaria de la bahía de Palma.



**Fig. 4.** Relación de las Líneas de Base perpendicular (metros) de los interferogramas derivados entre las imágenes utilizadas.

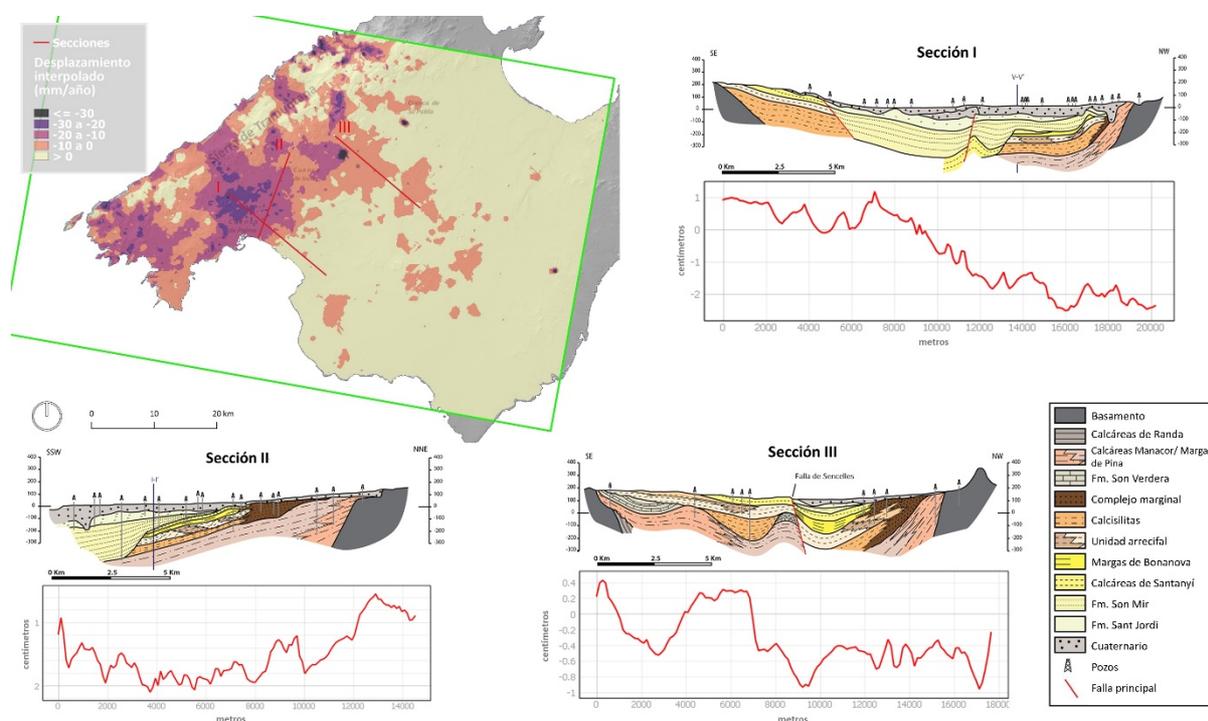


**Fig. 5.** Tasas de desplazamiento sobre la línea de visión (LOS) derivadas de imágenes Sentinel-1. A) Vista detallada de la ciudad de Palma. B) Vista detallada de Consell, en la cuenca de Inca. C) Vista detallada del tramo final del *Torrent Major* en Sóller.

*Relación entre espesor del sedimento y subsidencia*

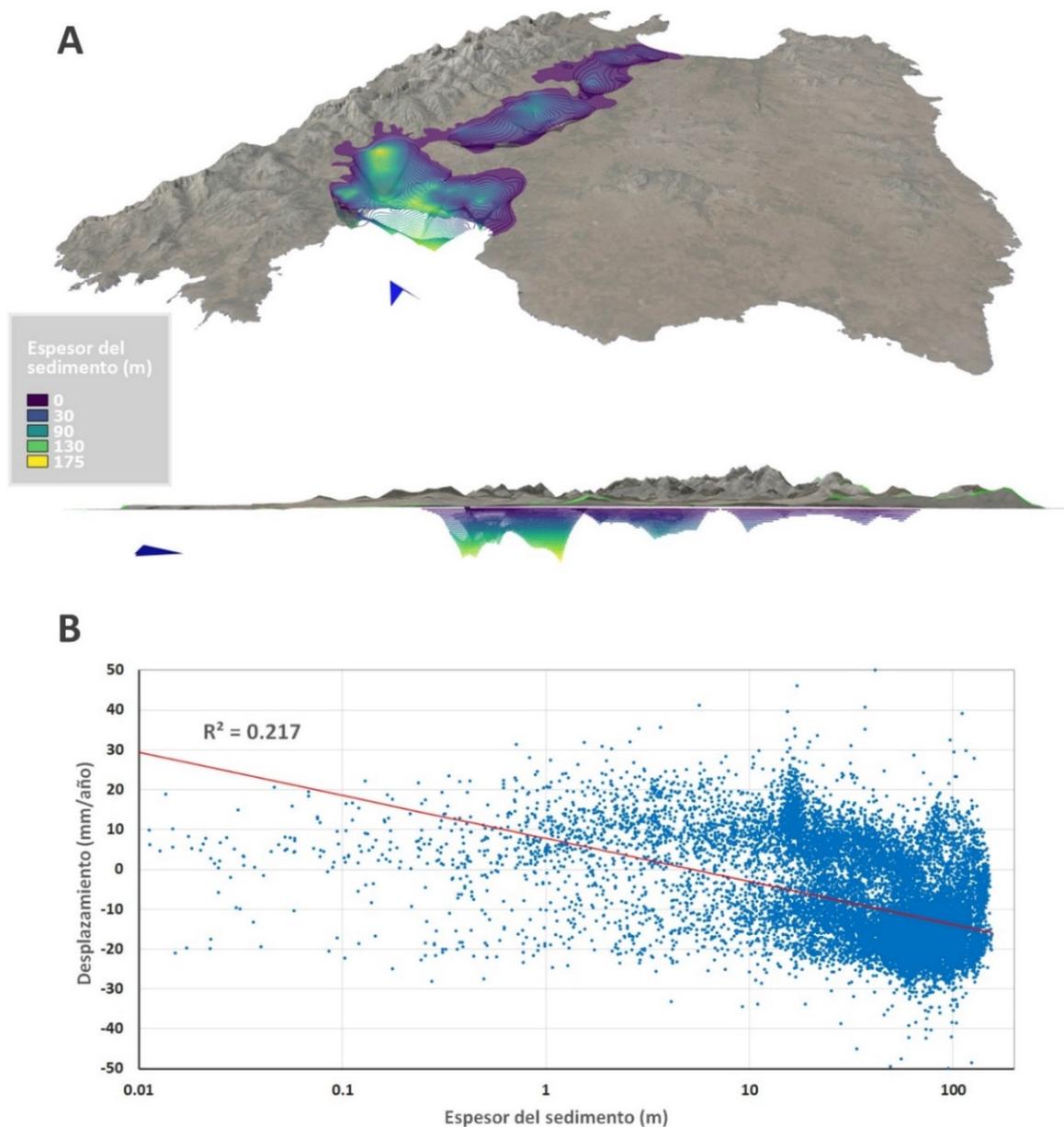
Para poder comparar los valores de subsidencia y su relación con el espesor del sedimento Cuaternario se utilizaron las secciones transversales estratigráficas de Capó y García (2019), en particular las secciones I y II sobre la cuenca de Palma, y la III sobre la cuenca de Inca. Esto permite comprobar cómo evolucionan las tasas de desplazamiento en función del espesor del Cuaternario, del cambio en las litologías o la presencia de fracturas (Fig. 6).

Aunque las causas de desplazamiento captadas por el análisis PSI pueden ser múltiples (caídas de bloques, hundimientos, fracturas, disolución cárstica, neotectónica, etc.), en este trabajo nos centramos en la subsidencia de materiales sedimentarios recientes (Cuaternario) que sufren un asentamiento natural tras su deposición, o inducido por el peso de los edificios en zonas urbanas. En las Figuras 6 y 7 se muestra la relación existente entre el desplazamiento observado y el espesor de los materiales. A pesar de tratarse de perfiles digitalizados de dibujos a mano a partir de sondeos, a una escala pequeña y sujetos a interpretación de su autor (Alfredo Barón), se puede apreciar (Fig. 6) que a medida que aumenta el espesor de los sedimentos cuaternarios se producen mayores tasas de subsidencia. En cualquier caso, la relación entre espesor del sedimento y las tasas de subsidencia no es directa, ya que hay zonas donde esto no sucede, o se observa la relación opuesta. De ahí que la correlación observada entre tasas de subsidencia y espesor sedimentario no sea del todo elevada ni lineal (ver escala logarítmica en el gráfico de dispersión de la Fig. 7B), lo cual no deja de confirmar la múltiple casuística que puede haber detrás de los desplazamientos del terreno. Por ejemplo, en el perfil I (Fig. 6), se observa un bloque delimitado por dos fracturas, cuya parte oriental está experimentando levantamiento (tasas positivas de desplazamiento), a pesar de contar con materiales cuaternarios en superficie. No se descarta que la falla de Palma pueda estar actuando de forma residual a la vez que acomoda sedimentos (subsidencia). Al tratarse de una falla lístrica, la componente horizontal del deslizamiento provoca un empuje sobre el bloque oriental que no tiene más remedio que subir por falta de espacio, generando como consecuencia esos valores positivos. En la parte más occidental del bloque, donde el material



**Fig. 6.** Tasas de desplazamiento interpoladas y localización de las secciones de los perfiles estratigráficos y los perfiles correspondientes de desplazamiento/deformación.

cuaternario se va espesando, se empiezan a observar tasas de desplazamiento negativo, que se van acentuando hasta el límite occidental del perfil. También se puede predecir, mediante las secciones I y II, el frente de plataforma del grupo margas de la Bonanova, Complejo arrecifal y Calcsiltitas con *Heterostegina*. El frente de esta plataforma coincide tanto en el mapa como en los cortes, con un aumento en la tasa de subsidencia.



**Fig. 7.** A) Distribución espacial del espesor del sedimento Cuaternario en Mallorca (exageración vertical x10) Fuente: Capó y Garcia (2019). B) Relación entre el espesor del sedimento Cuaternario y las tasas de desplazamiento.

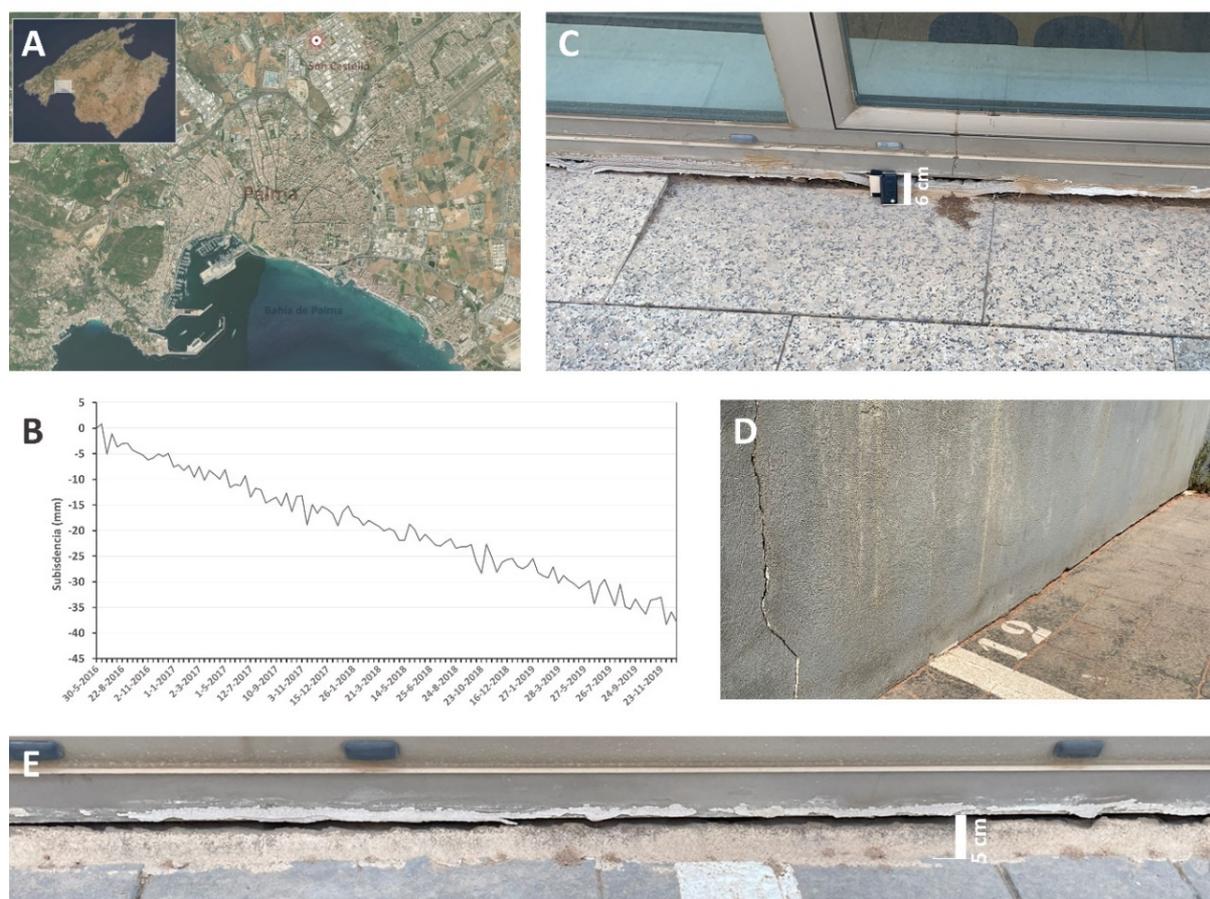
La Fig. 7A muestra la distribución del sedimento cuaternario en Mallorca (CAPÓ y GARCIA, 2019). Como se puede apreciar, la acumulación sedimentaria se ha producido esencialmente en la Depresión Central, en las cuencas de Palma, Inca y Sa Pobla, alimentadas por la red de torrentes que drenan desde la Serra de Tramuntana. Se observa un claro gradiente en el espesor que alcanzan los depósitos en las distintas cuencas, con valores máximos en torno a los 175 metros en la de Palma, 100 metros en la de Inca y menos de 75 metros en la de Sa Pobla. Estas zonas coinciden, a grandes rasgos, con aquellas

áreas en las que el análisis PSI detectó mayores tasas de subsidencia (Fig. 5). También se aprecia un claro gradiente en las tasas de subsidencia, similar al gradiente de espesor de sedimento: los mayores valores de subsidencia se alcanzan en la cuenca de Palma ( $\approx 30 \text{ mm año}^{-1}$ ; morado en el mapa), seguida de la de Inca ( $10\text{-}20 \text{ mm año}^{-1}$ ; violeta y naranja en el mapa), y de la de Sa Pobla ( $< 10 \text{ mm año}^{-1}$ ; naranja y amarillo en el mapa). La relación entre ambas variables es inversa (Fig. 7B), indicando que grandes espesores de sedimento cuaternario están generalmente asociados a desplazamientos negativos de la superficie de la corteza. Sin embargo, como se ha mencionado antes, esta relación no es lineal, y está afectada por muchos otros factores que desdibujan la fuerza de la correlación, lo que pone de manifiesto la complejidad casuística que explica la subsidencia.

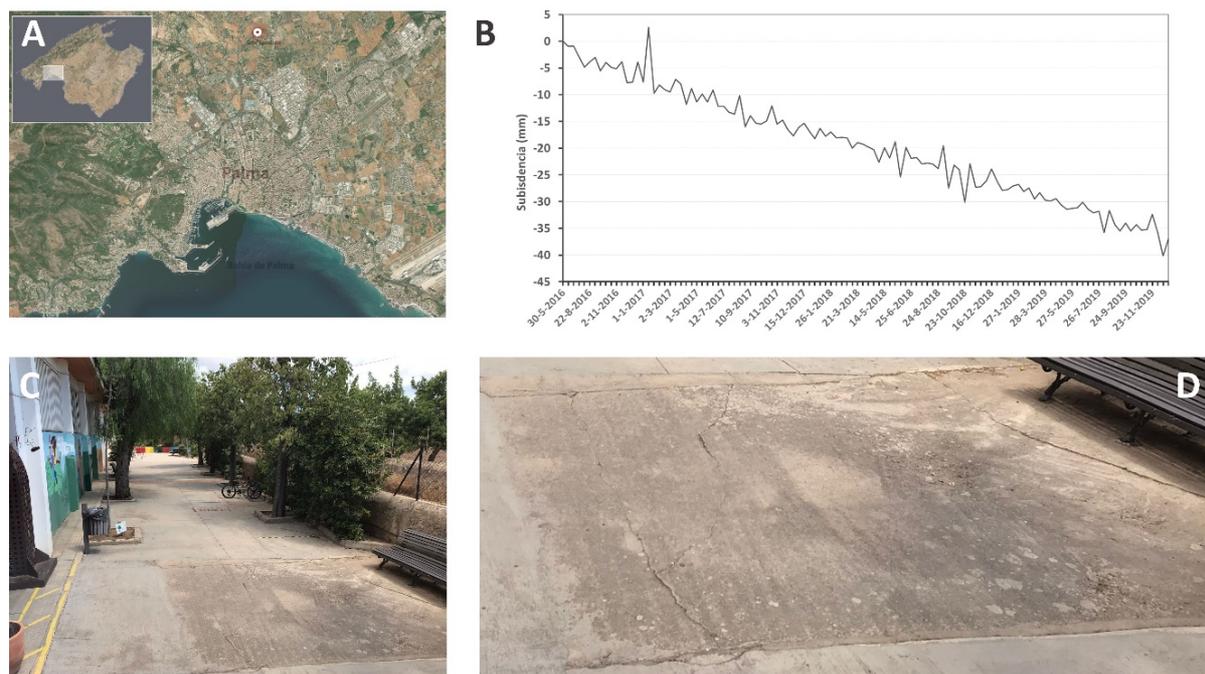
#### *Impactos y daños observados sobre el terreno*

Tal como se ha indicado líneas arriba, entre los efectos más palpables de la subsidencia destacan los daños que provoca en las infraestructuras y edificaciones. En un recorrido por zonas afectadas por subsidencia en los alrededores de Palma (Fig. 5), se pudieron apreciar las señales típicas de este desplazamiento vertical. Por ejemplo, la Fig. 8 muestra las grietas en los muros y en el contacto entre el edificio y el suelo en un punto con una alta afectación por subsidencia en el polígono industrial de Son Castelló.

Los efectos de la subsidencia también se aprecian en el patio de un colegio en Son Sardina (Figura 9). En este caso es evidente el hundimiento en la zona de entrada del colegio y la consiguiente aparición de grietas; aspecto que confirma la serie de deformación del punto de análisis con el aumento lineal de la subsidencia en la zona.



**Fig. 8.** Ejemplos de daños en edificaciones causados por la subsidencia: A) localización, B) serie de deformación del punto de análisis (PS) más próximo ( $\approx 5$  metros de distancia) y fotografías de detalle de los daños (C, D, E).



**Fig. 9.** Ejemplos de daños en edificaciones causados por la subsidencia: A) localización, B) serie de deformación del punto de análisis (PS) más próximo ( $\approx 15$  metros de distancia) y fotografías de detalle de los daños (C y D).

## Discusión y conclusiones

En este estudio hemos detectado y monitorizado los procesos de subsidencia ocurridos recientemente en Mallorca mediante la técnica de análisis PSI (Interferometría Dispersa Persistente) aplicada a imágenes radar capturadas por la constelación de satélites Sentinel-1. Además, el estudio muestra la relación existente entre las dinámicas sedimentarias más recientes y los procesos de subsidencia, así como evidencias de los daños causados por el fenómeno en infraestructuras y edificaciones civiles. El objetivo y el alcance espacial del presente estudio (más del 80% de la isla), representan una novedad relevante para la geomorfología y la gestión de riesgos naturales en Mallorca. Asimismo, los resultados confirman los *outputs* de la modelización de HERRERA-GARCÍA *et al.* (2021), que advertían, con una resolución espacial más grosera, de la alta susceptibilidad a la subsidencia que caracterizaba a las cuencas sedimentarias de Palma e Inca. Queda claro, a partir del presente estudio, que la cuenca de Palma es la más subsidente, y que los valores de subsidencia más altos siempre se encuentran más cercanos al límite noroccidental de la misma. Este hecho tiene una relación directa con el sistema falla de Palma y su cuenca de antepaís, sin poder confirmar que la subsidencia esté causada únicamente por la compactación o si también existe subsidencia tectónica.

Los análisis inSAR ya habían sido aplicados en Mallorca, aunque enfocados a la detección de deslizamientos en una zona muy específica de la Serra de Tramuntana (MATEOS *et al.*, 2018), y no a la monitorización de procesos de subsidencia en zonas más amplias. Como puede observarse en la Figura 5, la zona central de la serra de Tramuntana presenta una densidad importante de puntos con desplazamiento; aspecto que muestra una importante movilidad localizada en las zonas más altas, con caídas de bloques, hundimientos y disolución. Del mismo modo, también se han detectado tasas altas de velocidad de deformación en la cuenca de Palma, aspecto que sí está relacionado con la subsidencia, al ocurrir sobre materiales sedimentarios más compresibles. En este trabajo, la anchura de la franja de observación de las imágenes capturadas por los satélites Sentinel-1 (240 km), ha resultado una característica fundamental para conseguir un alcance espacial amplio y homogéneo en las condiciones de detección, que permitiera la comparación de los resultados obtenidos entre diferentes zonas de

Mallorca (BELADAM *et al.*, 2019; EZQUERRO *et al.*, 2020). Este aspecto es muy importante para que las inferencias realizadas sean robustas, ya que las zonas en las que se ha detectado subsidencia se extienden por gran parte de la isla, y aspectos relacionados con el fenómeno de la subsidencia, como el espesor del sedimento, también presentan una alta variabilidad espacial.

Para la monitorización de la subsidencia con el análisis inSAR se recomienda un mínimo de 20 a 25 imágenes (COLESANTI *et al.*, 2003). En este sentido, la base de datos empleada en este estudio está compuesta de 120 imágenes que abarcan 3 años y medio, con una frecuencia de paso siempre inferior al mes (Tabla 1), aspecto que añade robustez a los resultados obtenidos. Asimismo, la observación de los impactos de la subsidencia (grietas, hundimientos, abombamientos, etc.) (Figs. 8 y 9) en localizaciones para las que el análisis PSI reveló importantes tasas de deformación, confirman la validez del método para monitorizar este tipo de procesos. No obstante, queda pendiente la validación de los resultados de deformación a partir de las coordenadas recogidas por las 4 estaciones permanentes GNSS localizadas dentro del área de estudio (FERNANDEZ *et al.*, 2018; NAVARRO-HERNÁNDEZ *et al.*, 2020). Asimismo, la validación cruzada con otras técnicas inSAR, como la *Small Baselines Subset* (SBAS) (BERARDINO *et al.*, 2002), también representa una futurible línea de trabajo. La técnica SBAS, a diferencia de la PSI (que utiliza un conjunto fijo y limitado de PS con una alta coherencia temporal), se basa en minimizar la decorrelación geométrica utilizando Líneas de Base Perpendiculares más pequeñas, limitando el efecto de la falta de coherencia de fase entre imágenes. Por ello, aunque es menos precisa que el análisis PSI, la técnica SBAS presenta la ventaja de obtener mayor densidad de observaciones (series de deformación) (SVIGKAS *et al.*, 2016); una característica que eventualmente podría ampliar el grado de detalle y resolución espacial del análisis presentado aquí.

Los resultados obtenidos por el análisis PSI de subsidencia aplicado en Mallorca están en la línea de trabajos como los de ROSI *et al.* (2016), FERNANDEZ *et al.* (2018), o GONZÁLEZ y FERNÁNDEZ (2011), que obtuvieron unas tasas de subsidencia muy similares (máximos de 30 a 80 mm año<sup>-1</sup>) a las observadas en este estudio, en áreas con unas características comunes. Sin embargo, estas cifras quedan muy lejos de las observaciones realizadas en las zonas más densamente pobladas del mundo, como las áreas metropolitanas de Pekín, donde se superan los 100 mm año<sup>-1</sup> (CHEN *et al.*, 2016), o México D.F., donde se alcanzan tasas de subsidencia de hasta 500 mm año<sup>-1</sup> (CHAUSSARD *et al.*, 2021).

Como otra futura línea de trabajo queda pendiente la comprobación de la hipótesis de que las dinámicas (recarga y descarga) de los acuíferos causan, o al menos influyen, en la ocurrencia de episodios, tanto de subsidencia cuando hay descarga y agotamiento del acuífero (OJHA *et al.*, 2019), como de *uplift* o levantamiento, cuando se produce la recarga (SVIGKAS *et al.*, 2016). En los últimos años, multitud de trabajos han mostrado una relación estrecha entre las dinámicas de los acuíferos y la subsidencia en áreas densamente pobladas, que presentan a su vez una alta demanda hídrica (MOTAGH *et al.*, 2008; ZHU *et al.*, 2015; CHEN *et al.*, 2016; BÉJAR-PIZARRO *et al.*, 2017; FIGUEROA-MIRANDA *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2019; ZHAO *et al.*, 2019; NAVARRO-HERNÁNDEZ *et al.*, 2020). En este sentido, la contribución de la subsidencia cuantificada de forma regular y extensiva en la predicción o modelización del nivel de los acuíferos (EZQUERRO *et al.*, 2020), es una posibilidad prometedora que herramientas como el análisis inSAR han abierto en los últimos años (PEPE y CALÒ, 2017). Por lo tanto, quedaría pendiente una comparativa sistemática de puntos cercanos “pozo – punto PS”, para cuantificar la relación entre las series de niveles de los acuíferos y las series de deformación (LIU *et al.*, 2019; NAVARRO-HERNÁNDEZ *et al.*, 2020). En este sentido, en Mallorca existen zonas con una gran densidad de pozos con series de datos de cuaternario que permitiría mejorar la calidad y representatividad de las comparaciones e inferencias causa-efecto planteadas en este trabajo.

## Agradecimientos

Las imágenes de la constelación Sentinel-1 fueron proporcionadas por la Agencia Espacial Europea (ESA) y descargadas desde el *Alaska Satellite Facility Data Search Vertex*. Las imágenes se procesaron



con los softwares SARPROZ (Copyright © 2009-2020 Daniele Perissin) y SNAP (Agencia Espacial Europea).

A Antonio, por su honestidad y su inestimable ayuda durante nuestra carrera académica.

## Bibliografía

- BÉJAR-PIZARRO, M., EZQUERRO, P., HERRERA, G., TOMÁS, R., GUARDIOLA-ALBERT, C., RUIZ HERNÁNDEZ, J. M., FERNÁNDEZ MERODO, J. A., MARCHAMALO, M. y MARTÍNEZ, R. (2017): Mapping groundwater level and aquifer storage variations from InSAR measurements in the Madrid aquifer, Central Spain. *J. Hydrol.*, 547: 678–689.
- BELADAM, O., BALZ, T., MOHAMADI, B. y ABDALHAK, M. (2019): Using ps-insar with sentinel-1 images for deformation monitoring in northeast Algeria. *Geosci.*, 9 (7): 315.
- BELL, J. W., AMELUNG, F., FERRETTI, A., BIANCHI, M. y NOVALI, F. (2008): Permanent scatterer InSAR reveals seasonal and long-term aquifer-system response to groundwater pumping and artificial recharge. *Water Resour. Res.*, 44(2), doi:10.1029/2007WR006152.
- BERARDINO, P., FORNARO, G., LANARI, R., MEMBER, S. y SANSOSTI, E. (2002): A New Algorithm for Surface Deformation Monitoring Based on Small Baseline Differential SAR Interferograms. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 40(11): 2375-2383, doi:10.1109/TGRS.2002.803792.
- BOZZANO, F., ESPOSITO, C., FRANCHI, S., MAZZANTI, P., PERISSIN, D., ROCCA, A. y ROMANO, E. (2019): Understanding the subsidence process of a quaternary plain by combining geological and hydrogeological modelling with satellite InSAR data: The Acque Albule Plain case study. *Remote Sens. Environ.*, 168: 219–238, doi:10.1016/j.rse.2015.07.010, 2015.
- CAPÓ, A. y GARCIA, C. (2019): Basin filling evolution of the central basins of Mallorca since the Pliocene. *Basin Res.*, 31(5): 948–966, doi:10.1111/bre.12352, 2019.
- CHAUSSARD, E., MILILLO, P., BÜRGMANN, R., PERISSIN, D., FIELDING, E., y BAKER, B. (2017): Remote Sensing of Ground Deformation for Monitoring Groundwater Management Practices: Application to the Santa Clara Valley During the 2012-2015 California Drought. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122(10): 8566–8582, doi:10.1002/2017JB014676.
- CHAUSSARD, E., HAVAZLI, E., FATTAHI, H., CABRAL-CANO, E. y SOLANO-ROJAS, D. (2021): Over a Century of Sinking in Mexico City: No Hope for Significant Elevation and Storage Capacity Recovery. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 126(4): e2020JB020648, doi:10.1029/2020JB020648.
- CHEN, M., TOMÁS, R., LI, Z., MOTAGH, M., LI, T., HU, L., GONG, H., LI, X., YU, J. y GONG, X (2016): Imaging Land Subsidence Induced by Groundwater Extraction in Beijing (China) Using Satellite Radar Interferometry. *Remote Sens.*, 8(6): 468, doi:10.3390/rs8060468.
- COLESANTI, C., FERRETTI, A., NOVALI, F., PRATI, C. y ROCCA, F. (2003): SAR monitoring of progressive and seasonal ground deformation using the permanent scatterers technique, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 41: 1685–1701, doi:10.1109/TGRS.2003.813278.
- COLOM, G. (1975): *Geología de Mallorca*. Dip. Prov. Baleares. Inst. Est. Baleares (CSIC).
- DECLERCQ, P.Y., GERARD, P., PIRARD, E., PERISSIN, D., WALSTRA, J. y DEVLEESCHOUWER, X. (2017): Subsidence related to groundwater pumping for breweries in Merchtem area (Belgium), highlighted by Persistent Scatterer Interferometry. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 63: 178–185, doi:10.1016/j.jag.2017.07.012.
- EZQUERRO, P., TOMÁS, R., BÉJAR-PIZARRO, M., FERNÁNDEZ-MERODO, J.A., GUARDIOLA-ALBERT, C., STALLER, A., SÁNCHEZ-SOBRINO, J.A. y HERRERA, G. (2020): Improving multi-technique monitoring using Sentinel-1 and Cosmo-SkyMed data and upgrading groundwater model capabilities. *Sci. Total Environ.*, 703: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134757, 2020.
- FERNÁNDEZ, J., PRIETO, J.F., ESCAYO, J., CAMACHO, A.G., LUZÓN, F., TIAMPO, K.F., PALANO, M., ABAJO, T., PÉREZ, E., VELASCO, J., HERRERO, T., BRU, G., MOLINA, I., LÓPEZ, J., RODRÍGUEZ-VELASCO, G., GÓMEZ, I. y MALLORQUÍ, J. (2018): Modeling the two-and three-dimensional displacement field in Lorca, Spain, subsidence and the global implications. *Sci. REPoRTS*, 8: 14782, doi:10.1038/s41598-018-33128-0.
- FERRETTI, A., PRATI, C., y ROCCA, F. (2000): Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 38: 2202–2212, doi:10.1109/36.868878.
- FERRETTI, A., PRATI, C., y ROCCA, F. (2001): Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 39(1): 8–20, doi:10.1109/36.898661.

- FIASCHI, S., HOLOHAN, E.P., SHEEHY, M. y FLORIS, M. (2019): PS-InSAR analysis of Sentinel-1 data for detecting ground motion in temperate oceanic climate zones: A case study in the Republic of Ireland. *Remote Sens.*, 11(3), doi:10.3390/rs11030348.
- FIGUEROA-MIRANDA, S., TUXPAN-VARGAS, J., RAMOS-LEAL, J.A., HERNÁNDEZ-MADRIGAL, V.M. y VILLASEÑOR-REYES, C.I. (2018): Land subsidence by groundwater over-exploitation from aquifers in tectonic valleys of Central Mexico: A review. *Eng. Geol.*, 246: 91–106, doi:10.1016/j.enggeo.2018.09.023.
- GALLOWAY, D., JONES, D.R., e INGBRITSEN, S.E. (2000): *Land subsidence in the United States*. USGS Report USGS FS-165-00. USGS, Reston.
- GAO, M., GONG, H., LI, X., CHEN, B., ZHOU, C., SHI, M., GUO, L., CHEN, Z., NI, Z., y DUAN, G. (2019): Land Subsidence and Ground Fissures in Beijing Capital International Airport (BCIA): Evidence from Quasi-PS InSAR Analysis. *Remote Sens.*, 11: 1466, doi:10.3390/rs11121466.
- GELABERT, B., SABAT, F. y RODRIGUEZ-PEREA, A. (1992): A structural outline of the Serra de Tramuntana of Mallorca (Balearic Islands), *Tectonophysics*, 203(1–4): 167–183, doi:10.1016/0040-1951(92)90222-R.
- GONZÁLEZ, P.J., y FERNÁNDEZ, J. (2011): Drought-driven transient aquifer compaction imaged using multitemporal satellite radar interferometry. *Geology*, 39(6): 551–554, doi:10.1130/G31900.
- HERRERA-GARCÍA, G., EZQUERRO, P., TOMÁS, R., BÉJAR-PIZARRO, M., LÓPEZ-VINIELLES, J., ROSSI, M., MATEOS, R.M., CARREÓN-FREYRE, D., LAMBERT, J., TEATINI, P., CABRAL-CANO, E., ERKENS, G., GALLOWAY, D., HUNG, W.-C., KAKAR, N., SNEED, M., TOSI, L., WANG, H. y YE, S. (2021): Mapping the global threat of land subsidence, *Science*, 371(6524): 34–36.
- KHORRAMI, M., HATAMI, M., ALIZADEH, B., KHORRAMI, H., RAHGOZAR, P. y FLOOD, I. (2019): Impact of Ground Subsidence on Groundwater Quality: A Case Study in Los Angeles, California. In: A.A.V.V. *Computing in Civil Engineering 2019: Smart Cities, Sustainability, and Resilience - Selected Papers from the ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering 2019*: 162–170, American Society of Civil Engineers (ASCE).
- KHORRAMI, M., ABRISHAMI, S., MAGHSOUDI, Y., ALIZADEH, B., y PERISSIN, D. (2020): Extreme subsidence in a populated city (Mashhad) detected by PSInSAR considering groundwater withdrawal and geotechnical properties. *Sci. Reports*, 10(1):1–16, doi:10.1038/s41598-020-67989-1.
- KOK, S., y COSTA, A. (2021): Framework for economic cost assessment of land subsidence. *Nat. Hazards*, 106(3): 1931–1949, doi:10.1007/s11069-021-04520-3.
- LAZECKÝ, M., HLAVÁCOVÁ, J., MARTINOVIC, J., y RUIZ-ARMENTEROS, A.M. (2018): Accuracy of sentinel-1 interferometry monitoring system based on topography-free phase images. *Procedia Comput. Sci.*, 138: 310–317, doi:10.1016/j.procs.2018.10.044.
- LIU, Z., LIU, P., MASSOUD, E., FARR, T.G., LUNDGREN, P. y FAMIgliETTI, J.S. (2019): Monitoring groundwater change in California 's Central Valley using Sentinel-1 and GRACE observations. *Geosciences*, 1–18: 2019.
- LORENZO-LACRUZ, J. y MORÁN-TEJEDA, E. (2016): Spatio-temporal patterns of meteorological droughts in the Balearic Islands (Spain). *Geogr. Res. Lett.*, 42(1): 49, doi:10.18172/cig.2948.
- LORENZO-LACRUZ, J., GARCIA, C., y MORÁN-TEJEDA, E. (2017): Groundwater level responses to precipitation variability in Mediterranean insular aquifers. *J. Hydrol.*, 552: 516–531, doi:10.1016/j.jhydrol.2017.07.011.
- MARKER, B.R. (2013): Land Subsidence, *Encycl. Earth Sci. Ser.*: 583–590, doi:10.1007/978-1-4020-4399-4\_208.
- MATEOS, R.M., EZQUERRO, P., AZAÑÓN, J.M., GELABERT, B., HERRERA, G. FERNÁNDEZ-MERODO, J.A., SPIZZICHINO, D., SARRO, R., GARCÍA-MORENO, I. y BÉJAR-PIZARRO, M. (2018): Coastal lateral spreading in the world heritage site of the Tramuntana Range (Majorca, Spain). The use of PSInSAR monitoring to identify vulnerability. *Landslides*, 15(4): 797–809, doi:10.1007/s10346-018-0949-5.
- MOTAGH, M., WALTER, T.R., SHARIFI, M.A., FIELDING, E., SCHENK, A., ANDERSSOHN, J. y ZSCHAU, J. (2008): Land subsidence in Iran caused by widespread water reservoir overexploitation. *Geophys. Res. Lett.*, 35(16), L16403, doi:10.1029/2008GL033814.
- MOTAGH, M., SHAMSHIRI, R., HAGHSHENAS HAGHIGHNI, M., WETZEL, H.U., AKBARI, B., NAHAVANDCHI, H., ROESSNER, S. y ARABI, S. (2017): Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanjan plain, southeastern Iran, using InSAR time-series and in situ measurements. *Eng. Geol.*, 218: 134–151, doi:10.1016/j.enggeo.2017.01.011.
- NAVARRO-HERNÁNDEZ, M.I., TOMÁS, R., LÓPEZ-SÁNCHEZ, J.M., CÁRDENAS-TRISTÁN, A. y MALLORQUÍ, J. (2020): Spatial analysis of land subsidence in the San Luis potosi valley induced by aquifer overexploitation using the coherent pixels technique (CPT) and sentinel-1 insar observation. *Remote Sens.*, 12(22): 1–23, doi:10.3390/rs12223822.
- OJHA, C., WERTH, S. y SHIRZAEI, M. (2019): Groundwater Loss and Aquifer System Compaction in San Joaquin Valley During 2012–2015 Drought. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 124(3): 3127–3143, doi:10.1029/2018JB016083.

- OTHMAN, A.A., AL-MAAMAR, A.F., AL-MANMI, D.A.M., LIESENBERG, V., HASAN, S.E., AL-SAADY, Y.I., SHIHAB, A.T., y KHWEDIM, K. (2019): Application of DInSAR-PSI Technology for Deformation Monitoring of the Mosul Dam, Iraq. *Remote Sens.*, 11(22): 2632, doi:10.3390/rs11222632.
- PEPE, A. y CALÒ, F. (2017): A Review of Interferometric Synthetic Aperture RADAR (InSAR) Multi-Track Approaches for the Retrieval of Earth's Surface Displacements. *Appl. Sci.*, Vol. 7: 1264, doi:10.3390/APP7121264.
- PERISSIN, D. (2016): Interferometric SAR multitemporal processing: Techniques and applications. *Remote Sens. Digit. Image Process.*, 20: 145–176, doi:10.1007/978-3-319-47037-5\_8.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. y GELABERT, B. (1998): Geologia de Mallorca. In: Fornós, J.J. (ed.), *Aspectes geològics de les Illes Balears (Mallorca, Menorca i Cabrera)*: 11-38. Universitat de les Illes Balears, Palma.
- ROSI, A., TOFANI, V., AGOSTINI, A., TANTERI, L., TACCONI STEFANELLI, C., CATANI, F. y CASAGLI, N. (2016): Subsidence mapping at regional scale using persistent scatters interferometry (PSI): The case of Tuscany region (Italy). *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 52: 328–337, doi:10.1016/j.jag.2016.07.003.
- SABAT, F. (1998): Estructura de les serres de Llevant de Mallorca. In: Fornós, J.J. (ed.), *Aspectes geològics de les Illes Balears (Mallorca, Menorca i Cabrera)*: 117-134. Universitat de les Illes Balears, Palma.
- SOLARI, L., DEL SOLDATO, M., BIANCHINI, S., CIAMPALINI, A., EZQUERRO, P., MONTALTI, R., RASPINI, F. y MORETTI, S. (2018): From ERS 1/2 to Sentinel-1: Subsidence Monitoring in Italy in the Last Two Decades. *Front. Earth Sci.*, 6: 149, doi:10.3389/feart.2018.00149.
- SVIGKAS, N., PAPOUTSIS, J., CONSTANTINOS, L., TSANGARATOS, P., KIRATZI, A., y KONTOES, C.H. (2016): Land subsidence rebound detected via multi-temporal InSAR and ground truth data in Kalochori and Sindos regions, Northern Greece. *Eng. Geol.*, 209: 175–186, doi:10.1016/j.enggeo.2016.05.017.
- TOSI, L., TEATINI, P. y STROZZI, T. (2013): Natural versus anthropogenic subsidence of Venice. *Sci. Rep.*, 3, doi:10.1038/srep02710.
- ZHAO, Q., MA, G., WANG, Q., YANG, T., LIU, M., GAO, W., FALABELLA, F., MASTRO, P. y PEPE, A. (2019): Generation of long-term InSAR ground displacement time-series through a novel multi-sensor data merging technique: The case study of the Shanghai coastal area. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 154: 10–27, doi:10.1016/j.isprsjprs.2019.05.005.
- ZHU, L., GONG, H., LI, X., WANG, R., CHEN, B., DAI, Z. y TEATINI, P. (2015): Land subsidence due to groundwater withdrawal in the northern Beijing plain, China. *Eng. Geol.*, 193: 243–255, doi:10.1016/j.enggeo.2015.04.020.

---

Data recepció: 28.07.21

Data revisió: 01.09.21

Revisió acceptada: 01.09.21

# Bloc 3

## Medi, territoris i societats



Societat d'Història Natural de les Balears



# LA PLANIFICACIÓ HIDROLÒGICA A LES ILLES BALEARS

Jordi Giménez Garcia <sup>1,3</sup> i Alfredo Barón Pérez <sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Servei d'Estudis i Planificació de la DG de Recursos Hídrics. c/ Gremi Corredors 10, 07009 Palma

<sup>2</sup> Observatori de l'aigua. Universitat de les Illes Balears. Ctra. Valldemossa km 7,5, 07122 Palma

<sup>3</sup> Associació de Geòlegs de les Illes Balears (AGEIB) c/ Margarida Xirgu 16, 07011 Palma

**Resum:** Les illes Balears són un territori amb una geologia complexa on hi dominen els materials carbonats, la qual cosa implica que hi ha una gran nombre de petits aqüífers que tenen un comportament càrstic que dificulta la seva gestió. El clima mediterrani de la zona es caracteritza per registrar poques precipitacions a l'època estival, quan les necessitats són més grans. A més a més, les sequeres persistents són relativament normals i en conseqüència no es pot dependre únicament dels recursos naturals per a la provisió d'aigua, ja que aquests poden disminuir dràsticament. A finals dels anys 60 del segle XX amb el fort creixement turístic de les Balears es varen començar a detectar els primers problemes de qualitat a les aigües subterrànies associats a intrusió salina. Aquest fet va comportar l'aprovació de diferents lleis estatals que restringien la construcció de nous pous i es va decidir fer una primera estimació dels recursos hídrics disponibles a Balears. Aquests primers estudis varen concloure que algunes zones de Balears eren deficitàries des d'un punt de vista hidrològic. La següent estimació dels recursos disponibles i de les necessitats hídriques es va plasmar en el primer Pla Hidrològic de les Illes Balears (PHIB) publicat l'any 2001. Aquest va fer una estimació dels cabals mínims d'aigua subterrània necessaris per evitar la intrusió salina i per al manteniment de les zones humides. El PHIB 2001 va definir unes Unitats Hidrogeològiques en les quals no s'hi permetia, excepte casos concrets, noves concessions d'aigua subterrània. Després de l'aprovació de la Directiva Marc de l'Aigua (DMA) es va començar a elaborar un nou PHIB. La DMA descansa en la premisa que la seguretat en el proveïment d'aigua a la població es garanteix mitjançant el bon estat dels ecosistemes aquàtics i aquest principi regeix la gestió de les mateixes. El 2013 es va aprovar el PHIB de 1<sup>er</sup> cycle de planificació, on es va posar de manifest que una bona part de les masses superficials no complien amb els objectius de qualitat de la DMA (ca. 60%). Des d'aquest primer PHIB s'han aprovat dos plans més (2015 i 2019) en els quals s'ha posat de manifest que la disponibilitat de recursos subterranis no permet satisfer les demandes a gran part del territori i que en conseqüència és necessari utilitzar recursos alternatius com són les aigües dessalinitzades i les aigües regenerades. Així mateix, l'any 2021 s'ha presentat l'esborrany del PHIB de 3<sup>er</sup> cycle de planificació. En tots aquests PHIB es posa de manifest que segueixen existint un bon nombre de masses d'aigua que no compleixen amb els objectius de qualitat de la DMA. Així doncs les mesures adoptades fins aleshores no han estat suficients o no s'han executat d'una forma prou eficient com per solucionar els problemes de qualitat d'aigua a Balears.

**Paraules clau:** planificació hidrològica, aqüífers càrstics, directiva marc de l'aigua, Illes Balears.

**Abstract:** The Balearic Islands are a territory with a complex geology characterized by the dominance of calcareous lithologies. Therefore there is a large number of aquifers that tend to be small and to exhibit a karstic behaviour. All of that complicates their management. Additionally the Balearic Islands experience a Mediterranean climate with low rainfall in summer, coinciding with the largest demand of water. Persistent droughts are also one of the attributes of the regional climate. All of this factors determine that Balearic Islands can not depend solely on their water natural resources since these can fall drastically at seasonal and interannual time-scale. At the end of the 1960s, with the strong tourist growth of the Balearic Islands, the first quality problems in groundwater associated with saline intrusion began to be detected. This led to the approval of different state laws that restricted the construction of new wells until an study on water resources and the basis of hydrological planning focused on resources quality were completed. This first assessment concluded that some areas of the Balearic Islands experience a hydrological deficit. The next assessment, was the 2001 Hydrological Plan of the Balearic Islands (PHIB 2001). This document was the first to address the minimum groundwater flow necessary to avoid saline intrusion and for the maintenance of wetlands. PHIB 2001 defined some Hydrogeological Units as "classified" and according to that new groundwater concessions were not allowed, except in very few specific cases. Encompassed with the European the Water Framework Directive (WFD), a new PHIB was developed. The WFD is based on the fact that security of water supply to the population is guaranteed through the good state of aquatic ecosystems. Therefore a new management document was approved in 2013, the technical memoir of this plan showed that a large part of the surface masses did not meet the quality objectives of the WFD (ca. 60%). After this first PHIB, two more plans have been approved (2015 and 2019,) in both it has been shown that the availability of underground resources does not allow to meet the demands in much of the territory. Consequently, it is necessary to use alternative resources such as desalinated water and regenerated water. Also, in 2021, the draft of the PHIB of the 3rd planning cycle was presented. In all these PHIBs, it is clear that there are still a good number of water bodies that do not meet the quality objectives of the WFD. Therefore, the measures proposed to achieve these objectives have either not been well implemented or have not been sufficient to solve the quality problems of the waters of the Balearics.

**Paraules clau:** hidrological Planning, karstic aquifers, Wafert Framework Directive, Balearic Islands.

## Introducció

La planificació hidrològica a les Illes Balears ha experimentat diferents canvis sempre condicionats per les necessitats del territori i de les legislacions existents. A la segona meitat del segle XX, sobretot amb l'increment de la demanda d'aigua degut a la creixent indústria turística, tenen lloc els primers treballs encaminats a determinar els recursos hídrics disponibles a Balears. Així, durant els anys 60 i 70 del segle XX es realitzen tot un seguit d'estudis hidrogeològics que seran la base de tot el coneixement que actualment tenim al respecte dels aquífers de les Balears. A rel d'aquests treballs es publica l'any 1973 un estudi dels principals aspectes hidrogeològics de Balears. Aquest serà la llavor per al primer Pla Hidrològic de les Illes Balears aprovat l'any 2001.

La Directiva Marc de l'Aigua (DMA) va significar un veritable canvi de paradigma a la planificació dels recursos hídrics a la Unió Europea. Fins a la seva entrada en vigor l'any 2000, transposada a la legislació espanyola l'any 2003, la planificació dels usos de l'aigua es fonamentava en el balanç entre recursos i les demandes, de manera que els plans hidrològics de cada conca establien els recursos disponibles i els comparaven amb les demandes estimades presents i futures. La planificació es resolvia dissenyant les actuacions – fonamentalment obres - a realitzar per satisfer aquestes demandes amb diversos horitzons temporals.

La DMA es basa en un principi fonamental: la seguretat en el proveïment d'aigua a la població es garanteix mitjançant el bon estat dels ecosistemes aquàtics. És a dir, si l'aigua dels rius, dels aquífers i de les zones litorals es troba en un bon estat ecològic el proveïment a la població, l'agricultura, la indústria, etc. estarà garantit. Aquest canvi de paradigma té com a conseqüència nombroses implicacions en la gestió dels recursos hídrics i per tant en la seva planificació.

Per garantir el bon estat dels ecosistemes aquàtics haurem de prendre mesures que assegurin el manteniment en el temps del bon estat – en el cas que es tracti d'ecosistemes aquàtics que ja es trobin en bon estat - o que en un termini raonable puguin assolir aquest bon estat, en el cas que actualment no ho estiguin. Prèviament haurem de definir quin són els ecosistemes aquàtics que conformen els recursos hídrics d'una determinada regió, en el nostre cas les Illes Balears, i en quin estat es troben.

## Característiques hidrogeològiques de les Illes Balears

Les Illes Balears són les parts emergides del Promontori Balear que constitueix la prolongació cap al nord-est de les serralades bètiques. El promontori està conformat per dos blocs, Gimnèsies al nord (Menorca i Mallorca) i Pitiüses al sud (Eivissa i Formentera), separats pel canal de Mallorca on s'assoleixen profunditats de l'ordre dels 1000 m. El relleu i la morfologia de les illes està condicionat per les dues darreres etapes tectòniques que han afectat a l'arxipèlag: compressió alpina i extensió neògena. La compressió alpina estructura els materials en plecs i encavalcaments amb vergència cap al NO, el qual condiciona l'asimetria de bona part de les serres i les alineacions de les zones muntanyoses dins de cada illa. L'extensió neògena posterior configura els grans trets morfològics actuals de les illes i del promontori a través de falles amb orientacions NE-SO i NO-SE (GIMÉNEZ *et al.*, 2007; SÀBAT *et al.*, 2011).

Les dues grans illes que conformen el bloc de les Gimnèsies estan separades pel canal de Menorca on les profunditats no arriben als 100 metres. Els principals trets morfològics de Mallorca estan condicionats amb la darrera etapa tectònica que es correspon, bàsicament, amb una extensió. Aquesta estructura l'illa en serres i conques orientades en direcció NE-SO. Les conques es corresponen amb blocs enfonsats (cubetes tectòniques) reblertes de materials del Miocè mig-superior al Plio-Quaternari. Les serres es corresponen amb blocs aixecats on afloren materials del mesozoic i cenozoic inferior estructurats per l'orogènia alpina. A Menorca es diferencien dues regions geològiques: Tramuntana que ocupa la meitat nord de l'illa, on afloren materials paleozoics i mesozoics afectats per l'orogènia alpina, i Migjorn al Sud, format quasi exclusivament per calcàries de fàcies arrecifals del miocè.

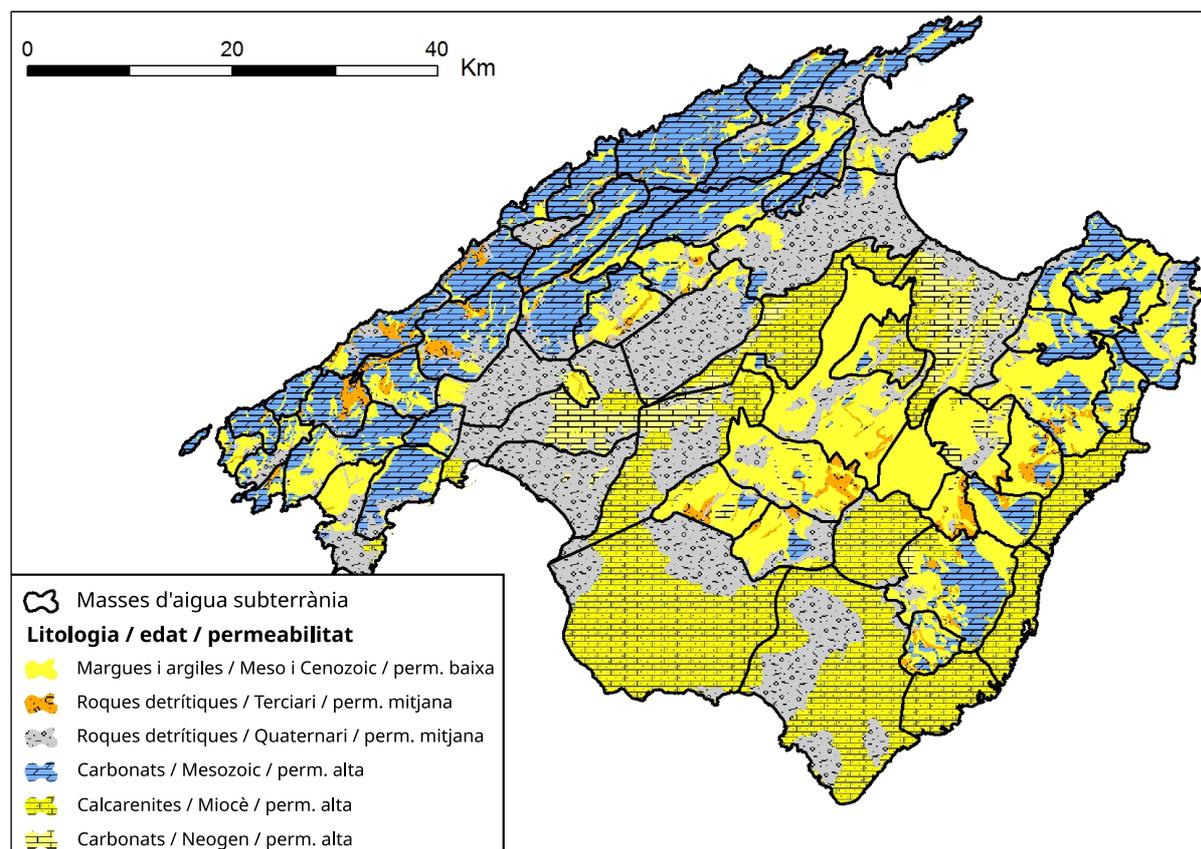


Fig. 1. Mapa litològic simplificat de Mallorca on es mostren les masses d'aigua subterrània.

El bloc de les Pitiüses presenta dues illes majors, Eivissa i Formentera separades pels freus on les profunditats són inferiors als 50 metres. Les Pitiüses es poden considerar com una sola unitat geomorfològica on trobam un domini nord format per l'illa d'Eivissa, on afloren materials plegats per l'orogènia alpina, i un bloc meridional format pels freus i l'illa de Formentera, on hi afloren materials post-alpins (miocè superior i plio-quaternari).

Des del punt de vista litològic a Balears predominen els carbonats (mesozoics o cenozoics), a més gran part de les roques detrítiques són de composició carbonatada. Les úniques roques no carbonatades són les roques detrítiques del permian i triàsic inferior, les argiles i guixos del triàsic superior, i les pissarres del paleozoic de Menorca (FORNÓS i GELABERT, 2011). A les Fig. 1, 2 i 3 es mostra un esquema geològic simplificat de les illes Balears on es diferencien els materials aflorants en funció de la seva permeabilitat i litologia predominant. A les figures també es mostra la delimitació hidrogeològica actual en masses d'aigua subterrània.

La predominança de carbonats condiona la naturalesa dels aqüífers de les illes Balears fent que una gran majoria tinguin un comportament càrstic. De fet el 70% dels aqüífers de les Balears estan formats per carbonats mesozoics (sobretot calcàries i dolomies del liàsic) i del neogen (sobretot calcàries i calcarenites del miocè i pliocè) els qual els dona un comportament càrstic. La resta d'aqüífers estan dins de roques detrítiques que, tot i tenir un alt contingut en carbonats, tenen un comportament d'aqüífer de flux difús (GIMÉNEZ *et al*, 2014).

Els aqüífers típicament càrstics es caracteritzen per ser molt heterogenis i amb un emmagatzematge limitat. La circulació de l'aigua pel seu interior és ràpida i es du a terme mitjançant conductes preferents verticals (avencs) o horitzontals (galeries). Aquest funcionament hidràulic implica que l'evolució piezomètrica d'aquests aqüífers sigui discontinua, és a dir que sofreix pujades i baixades sobtades importants, que es corresponen amb l'entrada o sortida d'aigua a l'aqüífer a través dels conductes. Aquestes circumstàncies impliquen que l'explotació dels aqüífers càrstics és més complicada que la dels aqüífers de flux difús ja que els aqüífers càrstics l'aigua discorre en el seu interior amb una major velo-



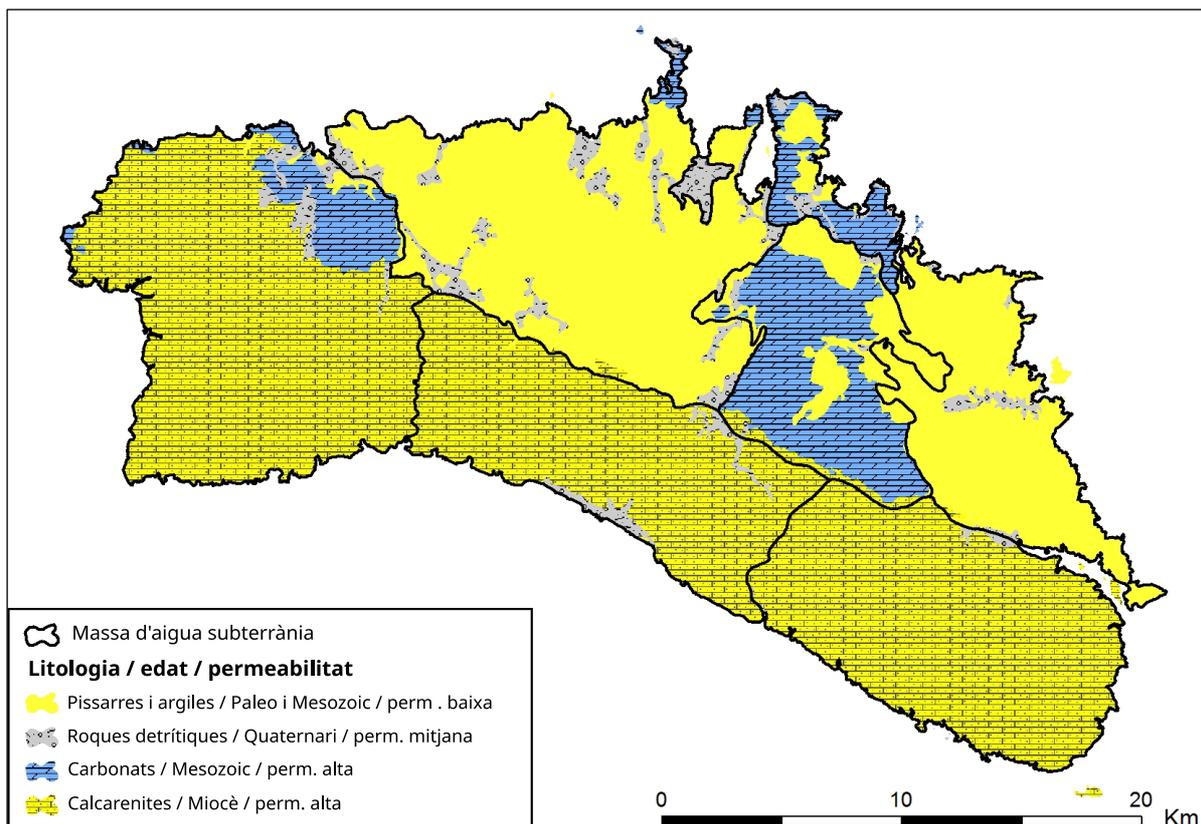


Fig. 2. Mapa litològic simplificat de Menorca on es mostren les masses d'aigua subterrània

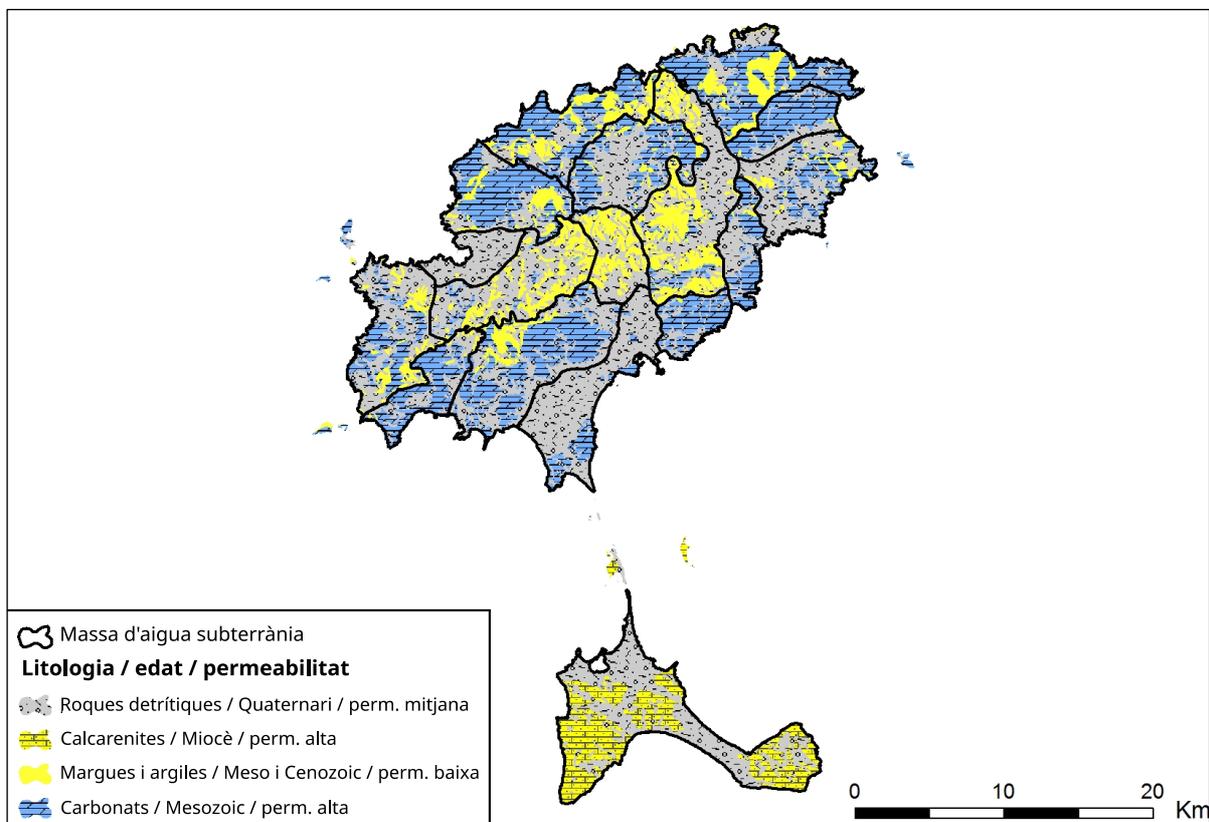


Fig. 3. Mapa litològic simplificat de les Pitiüses on es mostren les masses d'aigua subterrània.

ciutat. Aquesta alta velocitat fa complicat utilitzar aquest tipus d'aqüífers com a reservoris ja que l'aigua es "perd" o se'n va de l'aqüífer. Una de les solucions per poder aprofitar aquests recursos és la captació o derivació de les surgències o fonts tot i que l'emmagatzematge sempre és limitat. Per tant els aquífers de les Balears tenen una gestió més complexa que els aquífers típics de flux difús, ja que els aquífers càrstics són molt heterogenis, s'omplen i es buiden de manera ràpida, són molt vulnerables a la contaminació, presenten unes oscil·lacions piezomètriques elevades i una capacitat d'emmagatzematge limitada. A part l'explotació d'aquest tipus d'aqüífers pot accelerar els processos de dissolució subterranis típics dels dominis càrstics ajudant a la formació de col·lapses en superfície.

El clima de les Illes Balears és típicament mediterrani el qual implica estius secs i calorosos, i hiverns suaus, a més a la tardor solen ser comunes les pluges torrencials associades a les "gotes fredes". Les diferències orogràfiques dins de cada illa així com les latitudinals dins de l'arxipèlag condicionen l'abundància de pluges. Així es constata un increment de l'aridesa des de Menorca, amb precipitacions mitjanes anuals de l'ordre dels 600 mm, fins a Formentera on les precipitacions mitjanes anuals són de l'ordre dels 400 mm. D'altra banda a la Serra de Tramuntana de Mallorca s'hi acumulen de l'ordre dels 1200 mm anuals, mentre que a la zona del Migjorn de Mallorca les precipitacions són tres vegades inferiors.

A part, el període anual més sec (estiu) coincideix amb el període en el qual la demanda d'aigua és major degut a la demanda turística. Una altra característica dels climes mediterranis és l'aparició de períodes de sequera que poden allargar-se diversos anys, fet que provoca una incertesa en la disponibilitat de recursos hídrics a futur. Aquest fet queda ben palès quan s'analitza l'índex de Precipitació Estandaritzat d'alguna de les estacions meteorològiques que l'Agència Estatal de Meteorologia Espanyola (AEMET). Les Figs. 4 i 5 mostren l'evolució d'aquest índex a les estacions dels aeroport de Son Sant Joan a Mallorca i Sant Climent a Menorca.

La gràfica de l'estació de Palma mostra que les sequeres persistents (més de dos anys seguits de sequera) són relativament comunes, trobant-se també períodes de fins a 6 anys seguits de sequera 1980-1985, així com dos anys seguits de sequera extrema (1999-2000). L'estació d'Eivissa també mostra l'existència de sequeres persistents, però no s'han assolit els 6 anys seguits de sequera com a Mallorca, podent-se destacar el període 1993-2000 com un període en els que 7 dels 8 anys varen ser secs, dos dels quals de sequera severa i dos més de sequera moderada. Pel que fa a l'evolució de l'índex a l'estació de Menorca, tampoc s'han observat sequeres tant persistents com a Mallorca, però és destacable el període 1988-2000 ja que 10 d'aquests 13 anys varen ser secs, registrant-se 3 anys de sequera severa i tres més de sequera moderada. La incidència d'aquest llarg període de temps de manca de precipitacions juntament amb l'explotació va provocar un descens important a l'aqüífer central de Menorca (Sa Roca o Addaia) que a dia d'avui encara no s'ha recuperat.

Aquestes sequeres persistents i imprevisibles, impliquen que la disponibilitat de recursos naturals no és constant, sinó que és molt variable. Per a poder fer front als episodis de sequera des de 2017 les Illes Balears disposa d'un Pla Especial d'Actuacions en Situació d'Alerta i Eventual Sequera (*BOIB 155, de 19 de desembre de 2017*) que estableix com es defineix la sequera i quines han de ser les mesures a prendre per a lluitar o minimitzar els efectes d'aquestes damunt la població i el medi.

D'altra banda, les èpoques humides permeten la recuperació dels aquífers, però el caràcter predominantment càrstic dels aquífers de les Balears i la connexió d'aquests amb el mar, no permeten l'emmagatzematge del recursos naturals. En conseqüència, per a poder dur a terme una planificació hidrològica de la millor manera és necessari disposar de una bona estimació de les disponibilitat de recursos naturals així com de les necessitats o demandes.

### **Estimació de la disponibilitat de recursos naturals**

Una de les principals qüestions de la planificació hidrològica es avaluar la disponibilitat de recursos. En un primer lloc s'han d'avaluar els recursos naturals i en cas que aquests no siguin suficients per a satisfer les necessitats és necessari cercar recursos alternatius.

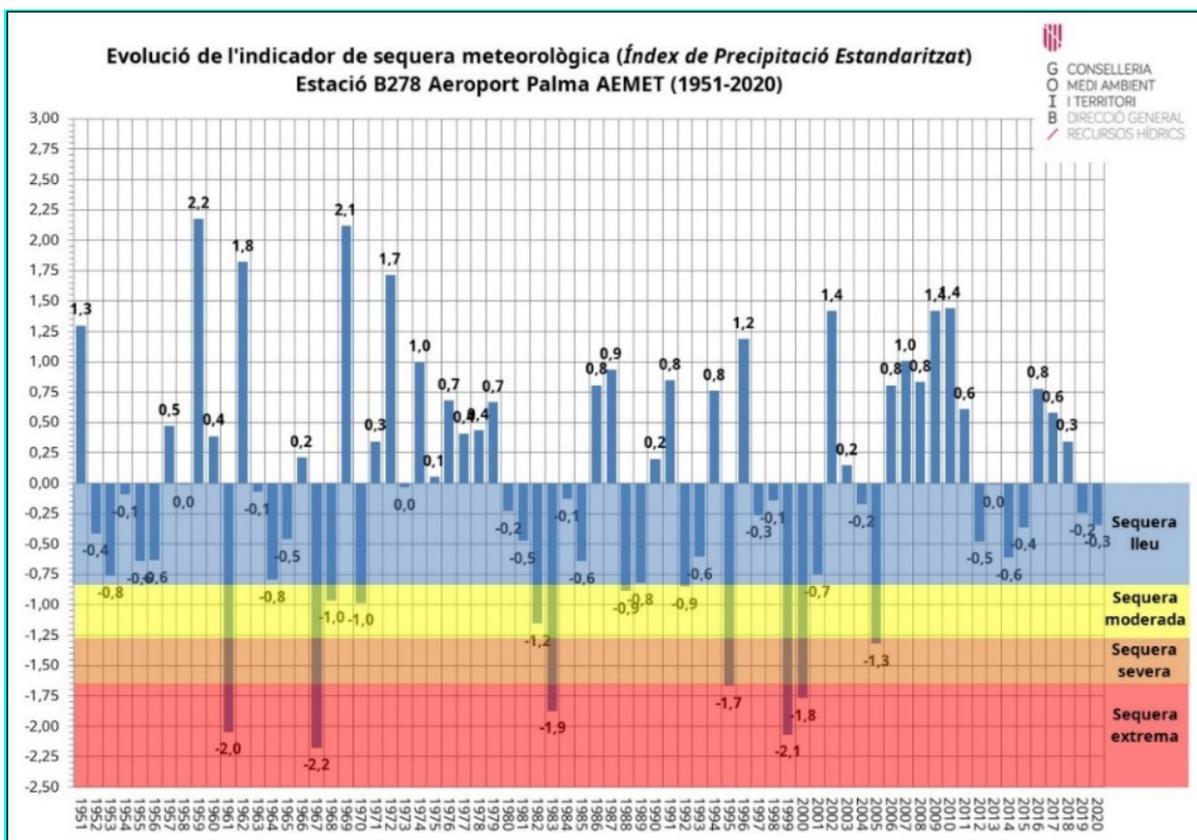


Fig. 4. Evolució de l'indicador de sequera meteorològica a l'aeroport de Palma (dades de l'AEMET).

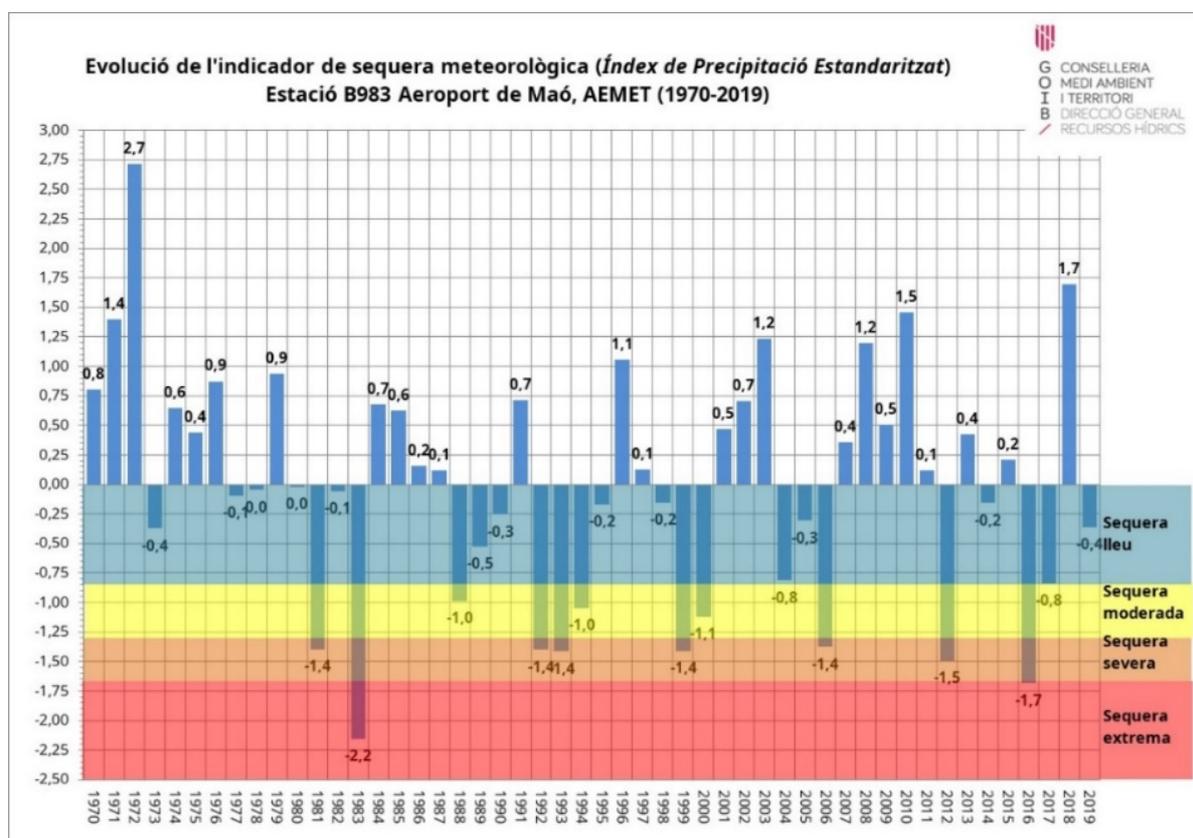


Fig. 5. Evolució de l'indicador de sequera meteorològica a l'aeroport de Menorca (dades de l'AEMET).

A les Balears, atesa l'absència de cursos fluvials permanents, els recursos hídrics naturals es redueixen als recursos subterranis. Així, els recursos superficials sols poden ser aprofitats si es construeixen infraestructures, principalment embassaments i canalitzacions, que permeten retenir part de l'aigua que discorre pels torrents. Abans de l'entrada de la DMA la disponibilitat de recursos hídrics naturals estava condicionada majoritàriament per les possibilitats que l'home tenia per a captar l'aigua subterrània o de quina manera l'home podia emmagatzemar la major quantitat de recursos superficials. Tot i així, ja es tenia consciència que els recursos naturals son limitats i que era necessari fer una gestió sostenible dels mateixos.

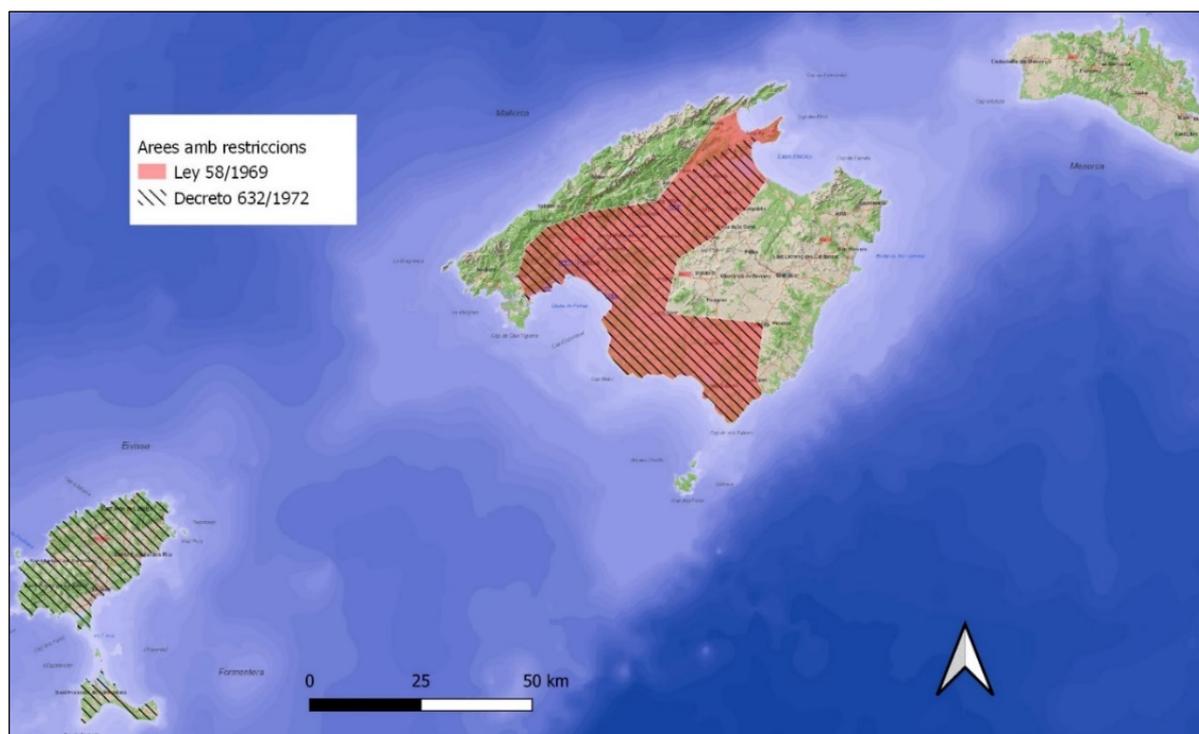
La DMA a part de considerar l'estat químic i quantitatiu dels aquífers afegeix el concepte d'ecosistemes que depenen de l'aigua, és a dir ecosistemes aquàtics. Per tant des de l'entrada de la DMA no tant sols és necessari assegurar la disponibilitat de recursos per al futur, sinó que s'ha d'assegurar el bon estat de tots els ecosistemes que depenen de l'aigua superficial i subterrània. Aquesta circumstància implica que una part dels recursos que clàssicament s'havien considerat com a disponibles, ara ja no ho seran.

Les primeres estimacions dels recursos hídrics disponibles a Balears es varen dur a terme per a l'illa de Mallorca a finals dels anys 60 del segle XX, i varen ser exposats en l'informe de dirigit per Fuster Centelles l'any 1971 "Estudio de los recursos hidráulicos totales de la isla de Mallorca". Posteriorment, l'1973 es va publicar un treball de síntesi a nivell de Balears on s'avaluava també les disponibilitats de recursos hídrics a tot l'arxipèlag. Aquestes primeres estimacions varen venir motivades, sobretot, pel fort creixement de la demanda associat al ràpid desenvolupament de la indústria turística. De fet en els anys 60 del segle XX es varen començar a produir problemes importants d'intrusió salina a part dels aquífers costaners de Balears en especial en aquells de fàcil accés per la poca profunditat de l'aigua (aquífers de Pla de Palma i Pont d'Inca, aquífers quaternaris d'Eivissa i de Sant Antoni, illa de Formentera, etc.) Aquests problemes varen motivar l'impuls d'aquest primer estudi general, i paral·lelament, es va dictar la primera moratòria de pous a l'illa de Mallorca l'any 1968 (*Decreto-ley 11/1968, de 16 de agosto, por el que se prohíbe temporalmente el alumbramiento de aguas subterráneas en la isla de Mallorca*), que es va anar modificant i allargant fins l'any 1986 amb l'entrada de la llei d'aigües (*Real Decreto 2473/1985, de 27 de diciembre, por el que se aprueba la tabla de vigencia a que se refiere el apartado 3 de la disposición derogatoria de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas*). Així, el Decreto-Ley 11/1968 va ser modificat en primer lloc per la *Ley 58/1969* que limitava la prohibició a una part de l'illa de Mallorca, i posteriorment pel *Decreto-Ley 632/1972*, el qual reduïa l'extensió de la zona amb restriccions a l'illa de Mallorca però incloïa Eivissa i Formentera en aquesta moratòria (Fig. 6). Mentre aquests decrets varen estar vigents, es permetia fer pous, però era necessari especificar quin ús es volia de fer de l'aigua i quin volum era necessari. Per a que el pou es pogués dur a terme era necessari obtenir un permís de l'administració.

Les estimacions que es varen realitzar en aquest primer estudi dels recursos hídrics de Mallorca varen dividir l'illa en 5 conques hidrogràfiques o zones: Serra Nord (643 km<sup>2</sup>), Depressió central i Badia d'Alcúdia (1317 km<sup>2</sup>), Palma (477 km<sup>2</sup>), Campos (660 km<sup>2</sup>) i Serra de Llevant (526 km<sup>2</sup>). A cadascuna d'elles s'hi va fer una estimació dels recursos hídrics potencials i disponibles, així com de les necessitats o demandes per a tres horitzons temporals: 1967, 1985 i 2000.

Per a obtenir els recursos hídrics de cada conca es va estimar en primer lloc el recurs superficial brut, que a grans trets equivaldria al volum d'aigua que drenen fins al mar tots els torrents a cada conca. A partir de la pluviometria i orografia es va calcular una aportació màxima anual per a tot Mallorca de 180 hm<sup>3</sup> i una aportació mínima de 121 hm<sup>3</sup> (Taula 1). Els resultats varen indicar que entre el 60% i el 70% dels recursos superficials potencials es localitzaven a la Serra de Tramuntana, i de l'ordre del 15% a les Serres de Llevant. Per a poder estimar la recàrrega dels aquífers es va fer un càlcul de l'evapotranspiració real de cada zona per a obtenir la infiltració eficaç. Així es va concloure que el recurs potencial d'aigües subterrànies oscil·lava entre de 475 hm<sup>3</sup>/any i 365 hm<sup>3</sup>/any. La zona on s'hi acumulava un major volum era la depressió central amb el 45% del recursos subterranis potencials, seguit de la zona de Palma (20%) i de la de Tramuntana (15%).

A partir dels recursos potencials es va fer una estimació dels recursos hídrics disponibles. En el cas



**Fig. 6.** Zones de les Balears afectades per les restriccions de noves captacions entre 1970 i 1985.

de les aigües superficials es va considerar com a disponible aquells recursos que es podrien captar amb obres hidràuliques previstes. A la serra de Tramuntana ja s'estava construint els embassaments de Cúber i Gorg Blau ( $12 \text{ hm}^3/\text{any}$ ) i es projectava un altre a Aumedrà ( $7,5 \text{ hm}^3/\text{any}$ ). També hi havia en projecte un embassament a Campanet que podria incloure l'aprofitament de les fonts Ufanés (entre  $9$  i  $20 \text{ hm}^3/\text{any}$ ), i altres embassaments a Llevant que podrien aportar de l'ordre dels  $10 \text{ hm}^3/\text{any}$ . En qualsevol cas l'estudi indica que es tracta d'obres molt costoses i que tampoc garanteixen un recurs fixe i que en conseqüència es millor l'explotació dels aqüífers. La disponibilitat de recursos subterranis es va calcular en base a la "facilitat" amb la que es poden extreure les aigües a cada zona, és a dir es va aplicar un coeficient de captació que oscil·lava entre  $0,8$  i  $0,9$  per als aqüífers superficials (Sa Pobla i Pla de Palma), i  $0,5$  per als aqüífers més profunds o zones amb més difícil accés (Serra de Tramuntana o de Llevant). El resultat és que s'estimen uns recursos subterranis disponibles renovables d'entre  $267$  i  $355 \text{ hm}^3$  anuals, la meitat dels quals corresponen a la depressió central, de l'ordre del  $20\%$  a la zona de Palma, seguit de la conca de Tramuntana amb un  $15\%$  dels recursos subterranis disponibles. L'estudi conclou que els recursos hídrics disponibles a l'illa de Mallorca estan entre un mínim de  $288$  i un màxim de  $488 \text{ hm}^3/\text{any}$  (Taula 1).

**Taula 1.** Recursos hídrics potencials i disponibles a Mallorca segons Fuster 1971 (en  $\text{hm}^3/\text{any}$ ).

Recursos hídrics		Serra Nord		Depressió central - Alcúdia		Palma		Campos		Llevant		Mallorca	
		Mínim	Màxim	Mínim	Màxim	Mínim	Màxim	Mínim	Màxim	Mínim	Màxim	Mínim	Màxim
Potencials	Superficials	86	112	12	26	8	12	0	0	15	30	121	180
	Subterranis	78	108	176	203	70	86	21	43	20	35	365	475
	Suma	164	220	188	229	78	98	21	43	35	65	486	655
Disponibles	Superficials	12	20	9	20	0	0	0	0	0	10	21	50
	Subterranis	40	52	140	180	63	76	14	30	10	17	267	355
	Suma	52	72	149	200	63	76	14	30	10	27	288	405

**Taula 2.** Demanda estimada per a cada sector a l'illa de Mallorca per als anys 1967, 1985 i 2000, segons Fuster 1971 (en hm<sup>3</sup>/any).

Demanda	1967	1985	2000
Regadiu	90 a 100	150 a 190	180 a 270
Població resident	28	53 a 59	119 a 145
Turisme	5,5	24	45
Indústria	5	9 a 10	11 a 13
Suma	128,5 a 138,5	236 a 283	355 a 473

Un cop estimada la disponibilitat de recursos hídrics l'estudi quantifica la demanda de cada zona i de cada sector. En concret quantifica les necessitats agrícoles, de la població resident, la del turisme i les necessitats de la indústria per a tres horitzons temporals: 1967, 1985 i 2000. Com mostra la Taula 2 la demanda agrícola suposava més del 70% de la demanda total a l'any 1967, però les estimacions indicaven que l'any 2000 sols suposaria el 50% del total de la demanda. Per contra la demanda urbana (residents i turisme) passaria a d'un 25% del total l'any 1967 a un 45% l'any 2000.

Al comparar les demandes amb les disponibilitats de recursos per zones (Taula 3) l'estudi ja va posar de manifest que hi havia zones deficitàries com la de Palma, que ja l'any 1967 estava consumint pràcticament el 100% dels seus recursos renovables anuals. Les zones de Llevant i de Campos no tenien assegurades les disponibilitats per a l'horitzó de l'any 2000, mentre que la depressió central semblava disposar de suficients recursos i a Tramuntana hi havia un excedent de recurs important.

**Taula 3.** Demanda estimada per a cada conca hidrogràfica de l'illa de Mallorca per als anys 1967, 1985 i 2000, segons Fuster 1971 (en hm<sup>3</sup>/any).

Demanda	Serra Nord	Depressió central - Alcúdia	Palma	Campos	Llevant	Suma
1967	10	51	59	9	6	135
1985	20±3	91±11	115±14	18±2	14±2	258
2000	32±7	120±27	203±45	23±5	22±5	400

L'estudi indica també que es poden explorar diferents possibilitats com la construcció de més embassaments o de zones per a la infiltració de l'aigua d'escolament superficial. També recalca que s'ha de treballar per tal que la reutilització de les aigües depurades per al sector agrari sigui una realitat, el qual ha de permetre reduir les extraccions. Exposa també la possibilitat d'explotar les reserves acumulades als diferents aquífers tot i que indica que el volum acumulat sols podria ser utilitzat per a superar èpoques de sequera.

L'any 1973 s'edita un nou estudi dirigit per Fuster on s'exposa una revisió de les disponibilitats i demandes d'aigua a l'illa de Mallorca, i les estimacions per a la resta de l'arxipèlag. El càlcul de les disponibilitats a Mallorca s'actualitza lleugerament dividint l'illa de Mallorca en tres àrees dintre de les quals hi identifica Unitats Hidrogeològiques i els principals aquífers. La nova estimació (Taula 4) determina una major disponibilitat de recursos superficials ja que considera que entre 11 i 19 hm<sup>3</sup> anuals provinents de fonts poden ser regulats per embassaments. En qualsevol cas la disponibilitat total (subterrànies i superficials) és semblant a la de l'estudi de 1971.

Aquest nou estudi fa una nova estimació de les necessitats hídriques de Mallorca en el que estableix el volum total necessari enfront unes necessitats consumptives. La diferència entre aquests dos càlculs equival a l'aigua depurada que ja sigui per a la reutilització o per a la infiltració per a recarregar aquífers ha de permetre reduir les extraccions. Així, les necessitats consumptives son de l'ordre dels 154 hm<sup>3</sup> per a l'any 1970, i arribarien a 298 hm<sup>3</sup> per a l'any 2000, però les necessitats reals eren de 185 hm<sup>3</sup> per a l'any 1970 i pujaven fins a 418 per a l'any 2000 (Taula 5). En conseqüència les necessitats teòriques reals calculades per a l'any 1985 (320 hm<sup>3</sup>) ja eren de l'ordre de les disponibilitats, i per a l'any 2000 les

**Taula 4.** Recursos hídrics potencials i disponibles a Mallorca segons Fuster 1973 (en hm<sup>3</sup>/any).

Recursos hídrics		Serra Nord		Zona central		Llevant		Mallorca	
		Mínim	Màxim	Mínim	Màxim	Mínim	Màxim	Mínim	Màxim
Potencial	Superficials	72	121	18	37	9	14	99	172
	Subterrànies	117	141	197	245	40	60	354	446
	Suma	189	262	215	282	49	74	453	618
Disponible	Superficials	19	32	16	26	3	4	38	62
	Subterrànies	70	95	160	198	19	31	249	324
	Suma	89	127	176	224	22	35	287	386

disponibilitats no permetien assegurar les necessitats teòriques. L'única manera era reaprofitar les aigües depurades per al reg o per a recarregar els aqüífers.

L'any 1973 també s'analitzen les disponibilitats i necessitats de les Pitiüses, però no es presenten els càlculs per a l'illa de Menorca de la qual es remarca que la disponibilitat de recursos naturals és suficient per a satisfer les demandes de l'illa. L'estimació dels recursos hídrics d'Eivissa indica que no hi ha recursos superficials aprofitables, i que en conseqüència tota la demanda ha de ser coberta amb aigua subterrània. L'estudi remarca que els aqüífers quaternaris, on l'aigua és fàcil d'extreure i a més suporten la major part de la demanda, ja presentaven indicis de salinització, mentre que la resta d'aqüífers no presentaven problemes de salinització. Les estimacions indiquen que els recursos subterrànies podrien oscil·lar entre 15 i 28 hm<sup>3</sup> anuals, essent el de Santa Eulària el de major volum atesa la seva extensió. Respecte de l'illa de Formentera s'indica que es té poc coneixement però que els recursos disponibles podrien oscil·lar entre 0,3 i 1,1 hm<sup>3</sup>, encara que remarca que algunes zones ja tenen problemes de salinitat, i que probablement no es puguin aprofitar més de 0,5 hm<sup>3</sup> anuals (Taula 6).

Pel que fa a les demandes es presenta un càlcul de les necessitats del sector agrari, la població resident, el turisme i de la indústria per a l'illa d'Eivissa, mentre que per a Formentera es fa una esti-

**Taula 5.** Necessitats reals i consumptives de Mallorca per sectors en els horitzons 1970, 1985 i 2000, segons Fuster 1973 (en hm<sup>3</sup>/any).

Sector	Necessitats reals			Necessitats consumptives		
	1970	1985	2000	1970	1985	2000
Agrícola	133,4	225,7	225,7	107	180	180
Població resident	39,6	65,5	142,3	35	39,1	84,1
Turisme	7,3	20	39	7,3	11,7	22,7
Indústria	4,9	9	11,1	4,9	9	11,1
Suma	185,2	320,2	418,1	154,2	239,8	297,9

**Taula 6.** Recursos hídrics disponibles a Eivissa i Formentera segons Fuster 1973 (en hm<sup>3</sup>/any).

Aqüífer	Recurs subterrani		Indicis de salinització
	Mínim	Màxim	
Aqüífers quaternaris	5,29	9,89	si
Santa Eulària, Sant Carles i Figueras	5,59	10,80	Local
Amunts	2,73	4,15	
Sa Talaia i Serra Grossa	1,18	2,96	
Illa d'Eivissa	14,79	27,80	
Formentera	0,30	1,10	si

**Taula 7.** Necessitats d'Eivissa per sectors en els horitzons 1970, 1980 i 1990, segons Fuster 1973 (en hm<sup>3</sup>/any).

Illla	Sector	1970	1980	1990
Eivissa	Agrícola	7,2	9	9
	Residents	1,95	2,7	3,74
	Turisme	1,95	3,63	5,91
	Indústria	0,12	0,3	0,6
	Suma Eivissa	11,22	15,63	19,25
Formentera	Tots els sectors	0,20	0,32	0,43

mació de la demanda global. En tots els casos s'indica la demanda actual (1970) i l'estimada per als horitzons 1980 i 1990 (Taula 7). És remarcable que l'any 1970 el sector agrari d'Eivissa consumia el 65% del total, però que la previsió era que es reduís fins al 45% l'any 1990. D'altra banda la demanda urbana (residents i turisme) passaria de suposar el 35% l'any 1970 a poc més del 50% l'any 1990. Al contrastar les demandes amb les disponibilitats recursos hídrics es va concloure que l'illa de Formentera no disposava de suficients recursos per a garantir les necessitats futures, i que a Eivissa era necessari fer transvasaments d'aigua des de les conques excedentàries al nord cap a les deficitàries al sud. Tot i així, el document ja conclouia que les necessitats de l'illa d'Eivissa no es podrien satisfer amb els recursos naturals disponibles més enllà de 1990.

### Disponibilitat i necessitats establertes en els Plans Hidrològics de les Illes Balears

La següent estimació de necessitats i disponibilitats de recursos hídrics a les Balears es va incloure dins del primer Pla Hidrològic de les Illes Balears (PHIB) aprovat l'any 2001 (*Real Decreto 378/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de las Illes Balears*), en el qual es varen delimitar normativament les Unitats Hidrogeològiques, que es varen considerar com a unitats de gestió dels recursos subterranis.

Aquest PHIB tot i ser anterior a la Directiva Marc de l'Aigua (DMA) va calcular les disponibilitats d'aigua subterrània considerant unes sortides mínimes per assegurar la subsistència de les zones humides, i evitar la salinització dels aqüífers costaners. Així es va considerar un recurs subterrani potencial de poc més de 470 hm<sup>3</sup>/any per al conjunt de les Balears resultat de la suma de la infiltració natural de la pluja i la que es produeix en els torrents, i els retorns de reg i de les xarxes de clavegueram i d'aigua potable. Si al recurs potencial li restam les sortides mínimes indicades anteriorment obtenim un recurs "utilitzable" de gairebé 170 hm<sup>3</sup> (Taula 8). Un cop establert el volum utilitzable que seria equivalent al volum màxim que es pot extreure sense provocar sobreexplotació o minva de la qualitat, el PHIB 2001 defineix el recurs disponible com *aquell que és possible subministrar amb les infraestructures actuals o futures previstes i considerant les limitacions imposades pels objectius de qualitat i mediambientals establerts en el Pla i per les regles o normes d'explotació que es derivin de la normativa vigent*. El PHIB 2001 estableix que el recursos subterranis disponibles "actuals" equivalen als realment utilitzats, tot i que una part d'ells no tinguin una qualitat suficient. A partir dels recursos disponibles actuals i considerant que s'ha de deixar d'explotar els aqüífers amb intrusió salina o sobreexplotació, el PHIB 2001 estableix un recurs disponible natural per als horitzons 2006 i 2016 que en molts casos és inferior al recurs "actual" ja que es redueixen les extraccions en aquelles zones amb sobreexplotació (Taula 9). Així el PHIB 2001 estableix que 10 de les 31 Unitats Hidrogeològiques (UH) de les Balears (un 37% del territori) han de ser "excepcionades", i determina que en elles és necessari reduir les extraccions ja que presenten problemes de sobreexplotació que produeixen, en la majoria dels casos, intrusió salina. Així mateix el PHIB 2001 declara que 17 de les 31 UH (un 56% del territori) han de ser definides com a "UH classificades" degut als alts nivells d'explotació que sofreixen.



**Taula 8.** Recursos subterranis potencials, utilitzables i disponibles a Balears segons el PHIB de 2001 (en hm<sup>3</sup>/any).

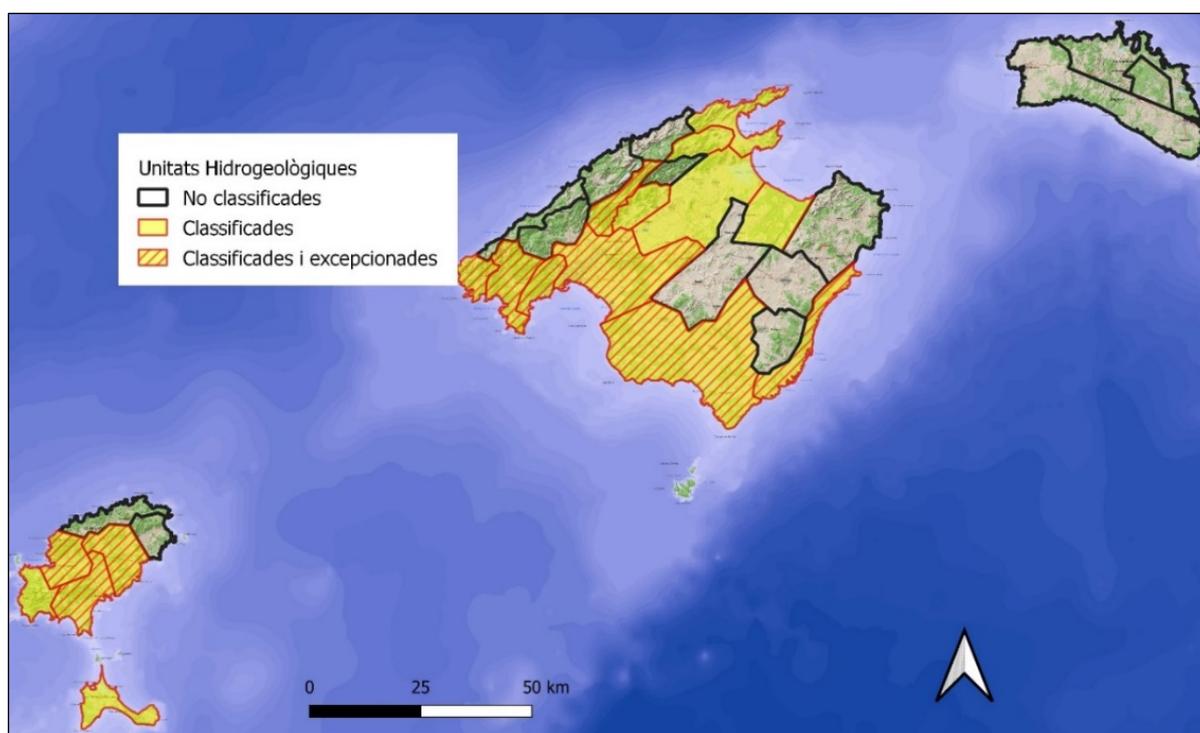
Illa	Infiltració pluja	Infiltració torrents	Retorn reg	Retorn claveg.	Retorn xarxa potable	Recurs potencial	Sortides mínimes al mar i ZZHH	Recurs utilitzable	Recurs disponible actual
Mallorca	305,4	24,5	21,9	9,6	12,7	374,1	123,9	250,2	219,2
Menorca	64,6	0,0	1,8	1,5	3,0	70,9	35,0	35,9	22,2
Eivissa	23,4	0,0	1,5	0,4	1,3	26,6	9,5	17,1	18,4
Formentera	1,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,1	0,8	0,3	0,4
Illes Balears	394,4	24,5	25,2	11,5	17,1	472,7	169,2	303,5	260,2

**Taula 9.** Recursos naturals disponibles actuals (1996) i estimats per als horitzons 2006 i 2016 segons el PHIB 2001 (en hm<sup>3</sup>/any).

Illa	Subter. utilitzable	Actual (1996)			2006			2016		
		Subter.	Superf.	Recurs natural	Subter.	Superf.	Recurs natural	Subter.	Superf.	Recurs natural
Mallorca	250,2	219,2	7,2	226,4	212,8	7,2	220,0	216,3	7,2	223,5
Menorca	35,9	22,2	0,0	22,2	22,9	0,0	22,9	24	0,0	24,0
Eivissa	17,1	18,4	0,0	18,4	15,2	0,0	15,2	15,2	0,0	15,2
Formentera	0,3	0,4	0,0	0,4	0,4	0,0	0,4	0,4	0,0	0,4
Illes Balears	303,5	260,2	7,2	267,4	251,3	7,2	258,5	255,9	7,2	263,1

Per evitar el deteriorament de les UH la normativa prohibeix noves concessions d'aigua subterrània a les UH classificades a no ser que siguin per a abastiment urbà, i en limita les autoritzacions (Fig. 7).

A part dels recursos subterranis, el PHIB de 2001 estableix que els recursos superficials disponibles són els 7,2 hm<sup>3</sup> anuals regulats de mitjana pels embassaments de Cúber i Gorg Blau i que aquests es mantindran per als horitzons 2006 i 2016.



**Fig. 7.** Unitats hidrogeològiques no classificades, classificades i excepcionades segons el PHIB 2001.

**Taula 10.** Demandes actuals (1996) i previsions futures per als horitzons 2006 i 2016 indicades en el PHIB 2001 (en hm<sup>3</sup>/any).

Illa	1996					2006					2016				
	Abast.	Agric.	Indust.	Golf / parcs	Suma	Abast.	Agric.	Indust.	Golf / parcs	Suma	Abast.	Agric.	Indust.	Golf / parcs	Suma
Mallorca	90,3	150,2	0,55	5,02	246,07	91,96	150,20	0,60	7,31	250,07	95,6	150,2	0,67	7,51	253,98
Menorca	10,6	11,9	0,06	0,24	22,80	11,14	11,90	0,07	0,71	23,82	12,28	11,9	0,08	0,71	24,97
Eivissa	10,2	12,3	0,07	0,28	22,85	11,22	12,30	0,08	0,64	24,24	12,24	12,3	0,09	0,64	25,27
Formentera	0,53	0,13	0	0	0,66	0,58	0,13	0	0	0,71	0,63	0,13	0	0,76	
Balears	111,63	174,53	0,68	5,54	292,38	114,90	174,53	0,75	8,66	298,84	120,75	174,53	0,84	8,86	304,98

Un cop establertes les disponibilitats de recursos naturals, es fa una estimació de les necessitats dels principals sectors. El PHIB 2001 calcula les necessitats per a abastiment urbà, on inclou les demandes de la població resident i les del turisme (població equivalent), les demandes del sector agrícola, la de la indústria, i les necessitats dels camps de golf i parcs municipals. A partir de les previsions de creixement de la població i considerant que l'agricultura no incrementarà les seves necessitats estableix les necessitats futures per als horitzons 2006 i 2016 (Taula 10). Les dades indicaven que l'any 1996 el sector agrícola consumia de l'ordre del 60% dels recursos (175 hm<sup>3</sup>), i que a l'horitzó de 2016 es reduiria fins al 57% degut a l'increment de la demanda urbana que passaria de 112 hm<sup>3</sup> l'any 1996 als 121 hm<sup>3</sup> l'any 2016.

Al comparar les disponibilitats de recursos naturals amb les demandes es posa de manifest el dèficit de recursos a totes les illes. El dèficit era major a les Pitiüses on les demandes (22,9 a Eivissa i 0,7 a Formentera) eren superiors als recursos (17,1 a Eivissa i 0,3 a Formentera), el qual no ocorria a Mallorca ni a Menorca. Per a solucionar la manca de recursos naturals era necessari cercar recursos alternatius, tot i que el PHIB 2001 també obligava a disminuir les necessitats reduint les pèrdues de les xarxes de distribució d'aigua potable fins al 15% en el segon horitzó del PHIB (article 12), i fent un ús més eficient de l'aigua en el sector agrícola. En qualsevol cas el PHIB 2001 inclou una estimació de les disponibilitats de recursos "alternatius" desglossant entre aigües dessalinitzades, reutilització d'aigües depurades i infiltració artificial (Taula 11). Així el dèficit d'aigua per a consum humà se solucionava amb aportació d'aigua dessalinitzada que passava de 3,7 hm<sup>3</sup> de l'any 1996 d'Eivissa i Formentera, a un potencial de fins a 26 hm<sup>3</sup>/any per a totes les illes. També es proposava incrementar fins al màxim la reutilització d'aigües depurades per al reg utilitzant tots aquells efluent amb bona qualitat que s'abocaven al mar. Per últim es plantejava la possibilitat d'iniciar la infiltració d'aigua a l'aquífer de s'Estremera que podria suposar un recurs de fins a 5 hm<sup>3</sup> per a l'any 2016. Aquests nous recursos suposaven un increment de gairebé 20 hm<sup>3</sup> per a l'horitzó 2006 i de més de 30 hm<sup>3</sup> per a l'horitzó de 2016.

**Taula 11.** Recursos alternatius previstos el en PHIB 2001 (en hm<sup>3</sup>/any).

Illa	IDAM			Reutilització aigua depurada			Recàrrega artificial		
	Actual	2006	2016	Actual	2006	2016	Actual	2006	2016
Mallorca	0,0	12,0	18,0	18,3	13,0	17,0	0,0	3,0	5,0
Menorca	0,0	0,0	0,0	0,5	3,8	3,8	0,0	0,0	0,0
Eivissa	3,5	5,5	7,5	0,9	4,0	4,0	0,0	0,0	0,0
Formentera	0,2	0,4	0,6	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0
Balears	3,7	17,9	26,1	19,8	21,1	25,1	0,0	3,0	5,0

### Els Plans Hidrològics posteriors a la Directiva Marc de l'Aigua

Després de l'aprovació de la DMA i la seva transposició a la legislació espanyola es va començar a elaborar un nou PHIB. L'elaboració d'aquest nou PH va seguir un llarg procés que es va iniciar el 2004

amb la fase de caracterització de la Demarcació Hidrogràfica. En aquesta primera fase es va proposar una nova subdivisió hidrogeològica basada en el concepte de “massa d’aigua” de la DMA delimitant-se masses d’aigua subterrànies i superficials. Dintre d’aquestes últimes es varen identificar masses de tres categories: riu, transició i costanera. Un cop definides les masses d’aigua es va procedir a establir l’estat ecològic de les masses superficials utilitzant els indicadors establerts per la DMA per a masses costaneres (fitoplàncton, nutrients, macro-algues, macro-invertebrats bentònics i Posidònia), per a masses epicontinentals: torrents i masses de transició (indicadors fisicoquímics, diatomees i macroinvertebrats), i l’estat químic i quantitatiu per a les masses d’aigua subterrània.

Ateses les particularitats de les Balears, va ser necessari definir tipus de masses epicontinentals propis i definir els límits de canvi d’estat per a la majoria d’indicadors. Tot aquest procés va suposar un ingent esforç tècnic i econòmic. Les particularitats de les masses d’aigua de les Balears i com havien de ser avaluades es va oficialitzar amb la publicació de la Instrucció de Planificació Hidrològica (IPH) de les Balears “Decreto-ley 1/2015, de 10 de abril, por el que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica para la demarcación hidrográfica intracomunitaria de las Illes Balears”.

La segona fase d’aquest primer procés de planificació inclò dins el marc de la DMA es va centrar en l’elaboració de l’Esquema de Temes Importants (ETI) a partir del qual es va iniciar la tercera fase del procés de planificació que va ser l’elaboració del primer esborrany de PH, el qual es va sotmetre a participació i consulta pública l’any 2008 per un període de 6 mesos. L’any 2010, després de l’Informe de Sostenibilitat Ambiental del PHIB i amb la incorporació d’un elevat número d’aportacions es va sotmetre la proposta de PHIB a informació pública. Finalment el febrer de 2011 el ple del Consell Balear de l’Aigua, i posteriorment el març de 2011 el Consejo Nacional del Agua varen informar favorablement el PHIB, quedant pendent l’aprovació definitiva del Consell de Ministres.

Degut a un canvi polític el PHIB aprovat pel Consejo Nacional del Agua mai va ser aprovat en el Consejo de Ministros i en conseqüència mai va ser vigent (BARÓN i RODRÍGUEZ PEREA, 2013; BARÓN, 2013). Així, tot i que la DMA imposava que el primer PH havia d’estar vigent l’any 2009, després de fer una revisió de la normativa i d’alguns dels annexes del PHIB de 2011, el PHIB de 1<sup>er</sup> cicle de planificació (2009 – 2015) es va aprovar l’any 2013 (*Real Decreto 684/2013, de 6 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Illes Balears*).

En qualsevol cas el PHIB 2013 va oficialitzar la delimitació i va avaluar per primer cop l’estat de les masses d’aigua de Balears seguint els criteris de la DMA. Bona part de les mesures incloses en el PHIB estaven enfocades a assolir el bon estat de totes les masses, tal i com marca la DMA. La següent taula resumeix el número de masses per categories i el seu estat segons el pla de 1<sup>er</sup> cicle de planificació. La taula mostra que tot i l’esforç realitzat no va ser possible avaluar l’estat de totes les masses d’aigua superficial quedant pendent l’avaluació de més del 35% de les masses. Els resultats varen posar de manifest que el 64% de les masses costaneres i de les masses de transició complien amb els criteris de bon estat de la DMA, és a dir estaven en bon estat o en molt bon estat. D’altra banda tant sols el 25% de les masses categoria riu o el 40% de les masses subterrànies complien amb aquest criteri de bon estat. Val a dir, però, que més del 35% de les masses superficials no es varen avaluar per falta de dades (Taula 12). Així mateix el PHIB 2013 va posar de manifest que el 33% de les masses subterrànies presentaven intrusió marina, el 20% estaven en mal estat quantitatiu, és a dir presentaven indicis de sobreexplotació, i el 13% presentaven contaminació per nitrats (Fig. 8).

El PHIB 2013 també va estimar els recursos disponibles del 1<sup>er</sup> cicle de planificació (any 2009), i en tres horitzons futurs que es corresponien amb els canvis dels cicles de planificació imposats per la DMA (2015, 2021 i 2027). Els recursos disponibles es varen establir de manera individual per a cada massa subterrània i es varen obtenir al restar als recursos potencials (suma de la infiltració de la pluja, transferència d’altres masses i infiltració a través de torrents) les sortides mínimes per a evitar el deteriorament de les masses d’aigua superficials i subterrànies. Per tant es va establir una sortida mínima subterrània cap al mar per a evitar la intrusió marina, i una sortida mínima cap a les zones humides i un altra cap a les masses de categoria riu per evitar el seu deteriorament. Així a nivell de demarcació el PHIB 2013 va estimar que es disposava d’uns 480 hm<sup>3</sup> de recursos subterrànies potencials, dels quals uns 210 hm<sup>3</sup> eren recursos disponibles, per tant la suma de les sortides mínimes per a garantir

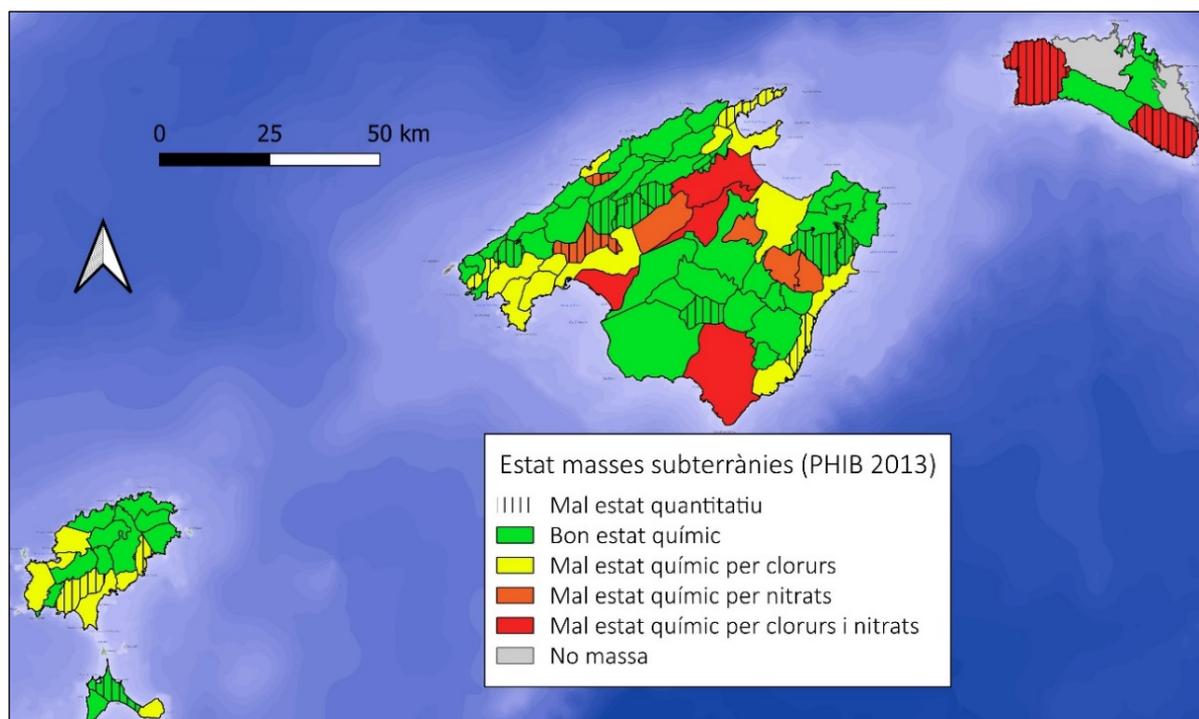


Fig. 8. Estat de les masses d'aigua subterrània publicat al PHIB 2013.

el no deteriorament de les masses es va estimar en 270 hm<sup>3</sup> (Taula 13). Els recursos subterranis disponibles es varen contraposar als recursos utilitzats l'any 2006 i als recursos hídrics totals utilitzats aquests mateix any. Les dades indicaven que les necessitats hídriques o recursos utilitzats l'any 2006 (252,9 hm<sup>3</sup>/any) eren superiors a la disponibilitat de recursos subterranis (209,7 hm<sup>3</sup>/any). Per a l'estimació dels recursos disponibles d'horitzons futurs es va aplicar una reducció en la disponibilitat igual a un 0,5% anual (3% per cycle de planificació) deguda a la reducció de la precipitació que indicaven els models de canvi climàtic disponibles en aquell moment.

En quant a l'origen del recurs el PHIB 2013 posava de manifest que del total dels recursos utilitzats l'any 2006 (252,9 hm<sup>3</sup>) el 76% (193,4 hm<sup>3</sup>) eren recursos subterranis (fonts i pous), el 3% (7,2 hm<sup>3</sup>) recursos superficials (embassaments), el 11% (26,8 hm<sup>3</sup>) eren aigües regenerades (utilitzades en el reg de cultius o en camps de golf) i el 10% (25,5 hm<sup>3</sup>) provenia de la dessalinització d'aigua de mar.

### El segon cycle de planificació hidrològica

La DMA dicta que totes les conques hidrogràfiques de la Unió Europea han de revisar els seus PH cada 6 anys, coincidint amb els cycles de planificació, i que aquesta revisió s'ha de fer coincidint amb els anys 2015 (segon cycle) i 2021 (tercer cycle). Per tant un cop aprovat el PH de 1<sup>er</sup> cycle de planificació (PHIB 2013) es va iniciar la tramitació del PH de 2<sup>on</sup> cycle de planificació (2015-2021) que va culminar amb l'aprovació d'un nou pla hidrològic l'any 2015 (PHIB 2015) mitjançant el *Reial decret 701/2015, de 17 de juliol, pel qual s'aprova el Pla Hidrològic de la Demarcació Hidrogràfica de les Illes Balears*.

Com en el 1<sup>er</sup> cycle el PHIB 2015 va establir l'estat de les masses superficials i subterrànies a partir de la informació disponible, es va realitzar un balanç de masses subterrànies per a calcular les disponibilitats, es varen estimar les disponibilitats futures considerant les reduccions de pluja degudes al canvi climàtic, es va recollir tota la informació per a determinar els usos de l'aigua, es varen plantejar les possibles solucions per a millorar l'estat de les masses i es va redefinir un programa de mesures enfocat majoritàriament a la millora de les masses però també a satisfer les demandes d'aigua existents i futures.

**Taula 12.** Numero de masses d'aigua delimitades i avaluació de l'estat d'aquestes segons el PHIB 2013.

Categoria	Illa	Núm.	Tipus de massa				Estat de la massa			
			Natural	Modificat	Molt bo	Bo	Moderat	Deficient	Dolent	No avaluada
Masses d'aigua superficial costaneres	Mallorca	6	18	2	4	10	0	2	0	4
	Menorca	10	5	1	0	3	2	0	0	1
	Eivissa	3	9	1	3	4	0	0	0	3
	Formentera	3	2	1	2	0	0	0	0	1
	Compartit Pitiüses	42	3	0	1	0	0	0	0	2
	Balears	20	37	5	10	17	2	2	0	11
Masses d'aigua superficial transició	Mallorca	16	14	2	0	11	1	2	0	2
	Menorca	13	13	1	2	8	1	0	0	3
	Eivissa	3	1	2	0	0	1	1	0	1
	Formentera	3	2	1	0	2	1	0	0	0
	Balears	35	29		2	21	4	3	0	6
Masses d'aigua superficial riu	Mallorca	75	72	3	10	9	6	6	4	40
	Menorca	12	12	0	0	1	0	7	0	4
	Eivissa	7	7	0	0	3	1	0	0	2
	Balears	94	91	3	10	13	7	13	4	47
Masses d'aigua subterrània	Illa	Núm.	Principal afecció			Termini per assolir objectius de la DMA				
			Quantitat	Salinització	Nitrats	Bon estat	En risc	Prorrogables	Excepcionals	
	Mallorca	65	13	18	10	27	22	13	3	
	Menorca	6	2	2	2	1	1	4	0	
	Eivissa	16	2	7	0	8	5	3	0	
	Formentera	3	1	3	0	0	0	3	0	
Balears	90	18	30	12	36	28	23	3		

**Taula 13.** Recursos potencials, sortides mínimes, recursos disponibles i utilitzats segons el PHIB 2013 (en hm<sup>3</sup>/any)

Illa	Recursos Potencials	Sortides mínimes			Recursos disponibles				Utilitzats (2006)	
		ZZHH	Mar	Torrents	2009	2015	2021	2027	Subterrànics	Totals
Mallorca	382,05	29,48	102,57	69,95	180,05	176,45	171,16	166,02	157,18	209,71
Menorca	64,17	1,60	45,86	0,87	15,84	15,52	15,06	14,61	22,66	22,95
Eivissa	28,50	0,35	13,59	0,86	13,70	13,43	13,03	12,63	14,42	19,62
Formentera	4,63	0,10	4,38	0,00	0,15	0,15	0,14	0,14	0,15	0,62
Illes Balears	479,35	31,53	166,40	71,68	209,74	205,55	199,38	193,40	194,41	252,90

L'estat de les masses epicontinentals (torrents i transició) no es va tornar a avaluar, ja que no es disposava de noves dades, mentre que si que es incorporava nova informació a les masses costaneres (Fig. 9). En aquestes últimes, a més, es varen redefinir els límits de les masses molt modificades (ports de l'estat). Aquesta nova definició va comportar que la massa denominada Port de Maó s'incorporés a la massa molt modificada del Port de Maó fent que el número total de masses costaneres passés de 42 a 41. Amb la incorporació d'aquestes noves dades el número de masses costaneres en bon estat o molt bon estat va passar de 27 a 23, fent que el percentatge de masses d'aigua costanera en bon d'estat es reduís fins a 64%.

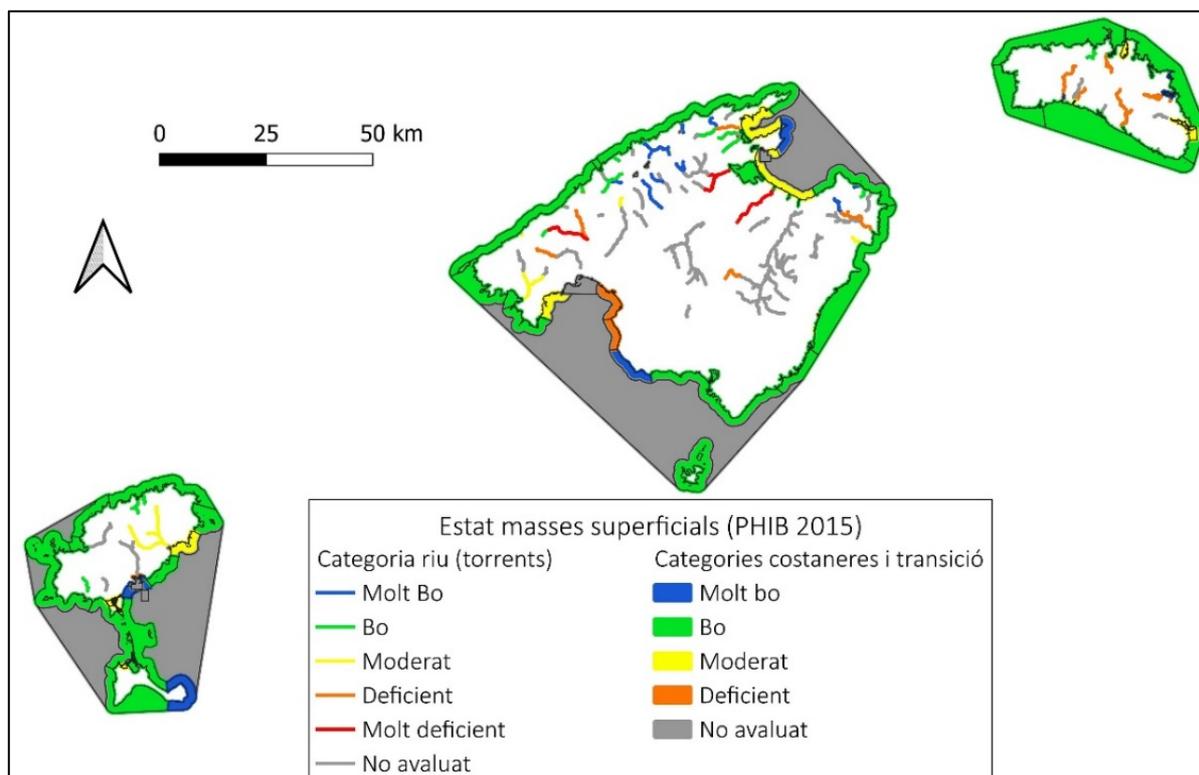


Fig. 9. Estat de les masses d'aigua superficial publicat al PHIB 2015.

Pel que respecte a les masses subterrànies es va dur a terme una nova avaluació dels estats quantitatiu i qualitatiu amb les dades de la xarxa de control recopilades fins l'any 2012. A diferència del PHIB de 1<sup>er</sup> cicle, l'avaluació de l'estat quantitatiu es va basar en la relació entre el recurs disponible i les extraccions antròpiques. Totes aquelles masses d'aigua en les que s'extreia més del 80% del recurs disponible (recurs potencial menys sortides mínimes al mar) es varen considerar en mal estat quantitatiu. Per a l'avaluació de l'estat qualitatiu es va considerar que una massa estava en mal estat quan la concentració mitjana en un ió concret (nitrats o clorurs) assolía el 80% del límit de potabilitat. Amb aquesta metodologia els percentatges de masses en mal estat es varen incrementar, ja que el 39% de les masses subterrànies estaven en mal estat quantitatiu, el 41% presentava problemes de salinització i el 16% presentava un mal estat per nitrats (Fig. 10).

A diferència del que estableix la DMA el PHIB 2015 no va establir les masses que estaven en risc de no assolir el bon estat, les masses per a les quals es proposava una prorrogació per assolir el bon estat i quines masses quedaven exencionades d'assolir el bon estat l'any 2027. En contraposició a l'article 40 de la normativa del PHIB 2015 va establir quatre categories que són assimilables als objectius d'estat que marca la DMA: Masses en manteniment, Masses en seguiment, Masses en deteriorament reversible i Masses en deteriorament estructural. A la Taula 14 es mostra el número de masses d'aigua subterrània del PHIB 2015 que es varen incloure dins d'aquestes quatre categories de l'article 40, així com el número de masses que es varen considerar en mal estat segons la memòria.

Com a altres PH el PHIB 2015 va fer una estimació del volum d'aigua realment utilitzat agafant com a referència l'any 2012. El volum total de tots els usos es va calcular en 237,4 hm<sup>3</sup>, és a dir 15 hm<sup>3</sup> menys que l'any 2006 (PHIB 2013) i 55 hm<sup>3</sup> menys que l'any 1996 (PHIB 2001). Aquests recursos varen provenir en un 82% (194,2 hm<sup>3</sup>) de recursos subterrànies (fonts i pous), en un 3% (6,5 hm<sup>3</sup>) recursos superficials (embassaments), en un 11% (26,9 hm<sup>3</sup>) d'aigües regenerades i en un 4% (9,9 hm<sup>3</sup>) de la dessalinització d'aigua de mar. Per tant, tot i la reducció de recursos utilitzats les extraccions estimades varen ser superiors, sobretot per no utilitzar les aigües provinents de la dessalinització que tenen un cost més elevat.

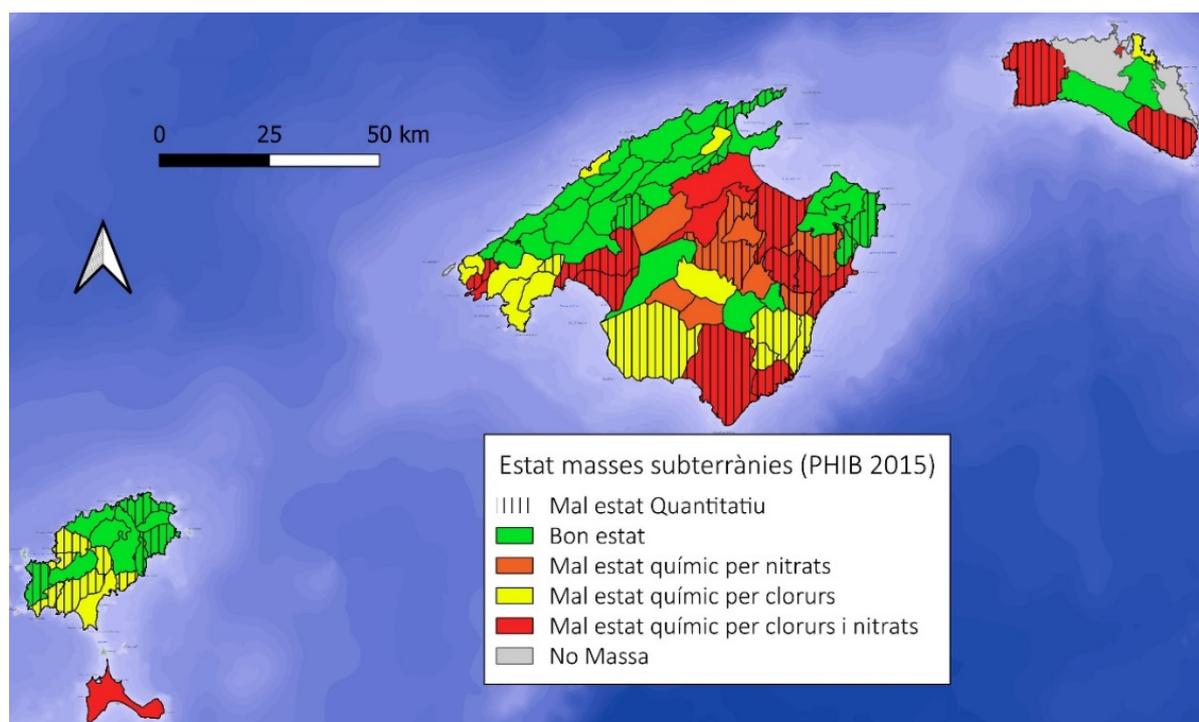


Fig. 10. Estat de les masses d'aigua subterrània publicat al PHIB 2015.

Taula 14. Estat de les masses d'aigua subterrània segons el PHIB 2015 (en hm<sup>3</sup>/any).

Illa	Número	Classificació de l'estat de les masses subterrànies				Paràmetre del mal estat		
		En manteniment	En seguiment	Deteriorament reversible	Deteriorament estructural	Quantitatiu	Clorurs	Nitrats
Mallorca	64	30	15	16	3	22	24	19
Menorca	6	1	3	2	0	2	4	3
Eivissa	16	2	8	6	0	10	7	0
Formentera	1	0	0	0	1	0	1	1
Illes Balears	87	33	26	24	4	34	36	23

### Revisió anticipada del 2<sup>on</sup> cicle de planificació

L'any 2015 la Comissió Europea va elaborar un informe sobre l'incompliment de la DMA d'alguns dels PH del 1<sup>er</sup> cicle de planificació espanyols, en el qual se citava de manera expressa el PHIB. Atès que el PHIB de 2<sup>on</sup> cicle de Balears ja estava molt avançat el Govern de les Illes Balears va prendre la decisió de seguir amb la tramitació del PHIB 2015 i publicar-lo, i a continuació fer una revisió anticipada del mateix per tal de poder solucionar els possibles incompliments detectats per la Comissió Europea. Així, després de la publicació del *Reial decret 701/2015, de 17 de juliol, pel qual s'aprova el Pla Hidrològic de la Demarcació Hidrogràfica de les Illes Balears* el Consell Balear de l'Aigua el setembre de 2015 va aprovar la revisió anticipada. La revisió anticipada del PHIB de 2<sup>on</sup> cicle va revisar, entre altres aspectes, l'estat de les masses subterrànies, va aportar un anàlisi de costos i de pressions, va adequar la classificació de l'estat de les masses subterrànies en base als objectius de compliment de la DMA, així com el programa de mesures, la normativa i els seus annexes. La revisió anticipada del PHIB de 2<sup>on</sup> cicle de planificació es va aprovar l'any 2019 (*Real Decreto 51/2019, de 8 de febrero, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Illes Balears*), i és el PH vigent a dia d'avui (estiu de 2021).

La revisió anticipada va modificar lleugerament el balanç d'entrades i sortides del PHIB 2015, però la modificació important va ser el canvi del concepte de recurs potencial. Així el PHIB 2019 va considerar que els retorns de reg i les pèrdues de xarxes d'abastiment urbà eren entrades d'aigua i per tant el recurs potencial es va incrementar respecte al del PHIB 2015. En contraposició les disponibilitats de recursos naturals no es varen incrementar ja que a diferència del PHIB de 2015 el de 2019 va considerar que les sortides a masses epicontinentals (zones humides i torrents) no estaven disponibles, i es va passar de disposar de 320 hm<sup>3</sup> d'aigua subterrània a gairebé 307 hm<sup>3</sup>.

El PHIB 2019 incorpora també una estimació del volum anual utilitzat, que en aquest cas es va centrar en l'any 2015. En aquest any les aigües subterrànies varen cobrir el 74,5% de les necessitats (68,5% extracció i 6% de fonts), els embassaments poc menys del 5%, l'aigua dessalinitzada no va arribar al 6% del total i les aigües regenerades varen suposar gairebé el 15% de les necessitats. Per tant no hi ha grans diferències en quant als percentatges utilitzats de cadascun dels recursos disponibles (naturals i alternatius).

En quant a l'explotació dels recurs subterranis disponibles, tal i com mostra la Taula 15, el PHIB 2019 va estimar que a nivell de demarcació s'estaven extraient el 56% dels recursos disponibles (172 hm<sup>3</sup> de 307 hm<sup>3</sup>), però amb grans diferències a nivell d'illes. Mentre que a Mallorca el percentatge d'explotació era de l'ordre del 50%, a Menorca era del 88%, a Eivissa del 97% i a Formentera del 145%. Per tant sols l'illa de Mallorca com a sistema podia considerar-se en bon estat ja que l'explotació era inferior al 80%. Aquesta disponibilitat d'aigua a l'illa de Mallorca, però, es deu sobretot als recursos subterranis de la Serra de Tramuntana, on l'explotació es força inferior a la disponibilitat.

**Taula 15.** Recursos potencials, sortides mínimes, recursos disponibles i utilitzats segons el PHIB 2019 (en hm<sup>3</sup>/any).

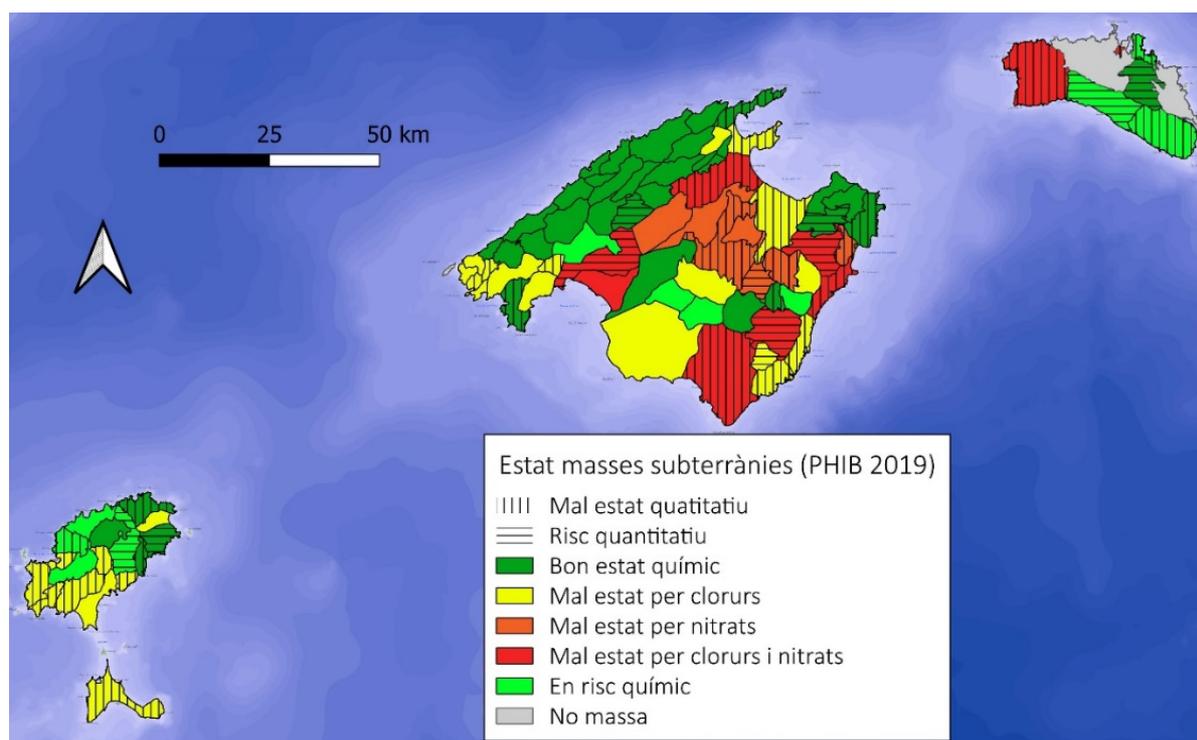
Illa	Recursos Potencials	Sortides mínimes			Recursos subterranis disponibles			Utilitzats (2015)	
		ZZHH	Mar	Torrents	2015	2021	2027	Subterranis	Total
Mallorca	423,87	22,25	111,56	22,57	267,50	260,79	250,72	135,25	175,56
Menorca	65,30	1,57	43,13	1,93	18,68	17,48	15,68	16,49	16,48
Eivissa	34,02	0,67	10,11	3,22	20,01	19,49	18,70	19,40	27,28
Formentera	4,67	1,02	3,25	0,00	0,40	0,30	0,17	0,58	1,20
Illes Balears	527,86	25,51	168,04	27,72	306,59	298,06	285,27	171,72	220,52

**Taula 16.** Estat de les masses d'aigua subterrània segons el PHIB 2019 (en hm<sup>3</sup>/any).

Illa	Num.	Bon estat	Terminis compliment objectius DMA				Quantitatiu		Químic clorurs		Químic nitrats	
			Assolit	En risc	Prorroga	Exenció	Risc	Mal estat	Risc	Mal estat	Risc	Mal estat
Mallorca	64	30	21	19	20	4	23	16	24	23	24	14
Menorca	6	2	0	2	4	0	5	4	5	2	4	2
Eivissa	16	5	2	4	10	0	12	9	10	8	0	0
Formentera	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Illes Balears	87	37	23	25	34	5	41	30	40	34	29	16

En l'avaluació de l'estat de les masses subterrànies i els terminis estimats per a assolir el bon estat en el PHIB 2019 (Taula 16), es posa de manifest que el 36% de les masses de Mallorca es troben en risc quantitatiu, és a dir s'extreu més del 80% del recurs disponible. En canvi a Menorca i les Pitiüses aquest percentatge supera el 75%. Aquest PH considera que a Mallorca el 47% de les masses (30 de les 64) està en bon estat, és a dir que tenen un nivell d'explotació inferior al 80% i un bon estat químic. En canvi a Menorca i Eivissa aquest percentatge es redueix fins a poc més del 30%. Al mateix temps, el PHIB 2019 estima que sols el 33% de les masses subterrànies de Mallorca i el 12,5 de les d'Eivissa han assolit els objectius marcats per la DMA, mentre que cap de les de Menorca ni la de Formentera han assolit aquests objectius. El PHIB 2019 estableix que el 37,5% de les masses de Mallorca son prorrogables o





**Fig. 11.** Estat de les masses d'aigua subterrànies publicat al PHIB 2019.

exencionables, i que per tant no assoliran aquests objectius en un cicle de planificació, és a dir necessitaran més de 6 anys. A Menorca i Eivissa aquest percentatge supera el 60% de les masses, i la massa de Formentera es considera que no assolirà els objectius atès les seves característiques o circumstàncies: pressió antròpica elevada i poca disponibilitat de recursos naturals.

Un aspecte molt destacable de la normativa del PHIB 2019 es que va prohibir la realització de nous pous a les masses en mal estat quantitatiu, és a dir en aquelles masses que superaven el 100% de percentatge d'explotació. En aquestes masses sols es poden autoritzar pous per a proveïment urbà o per a explotacions agrícoles preferents, prohibint-se en tots els casos els pous per us domèstic. Aquesta mesura es va aplicar des del moment en que es va iniciar la tramitació del PHIB per evitar una allau de peticions.

### El tercer cicle de planificació hidrològica

Tal i com marca la DMA els PH han de ser revisats cada 6 anys i a més la revisió s'ha de fer de manera conjunta a tota la Comunitat Europea. El 3<sup>er</sup> cicle de planificació avarca el període 2022 - 2027, i per tant l'any 2022 el PH de 3<sup>er</sup> cicle ha d'estar aprovat. Per a poder assolir aquest objectiu mentre es tramitava l'aprovació de la revisió anticipada del PH de 2<sup>on</sup> cicle, es preparaven els estudis necessaris per al nou PH. Així, l'octubre de 2019 es varen sotmetre a informació pública els Documents Inicials del PHIB de 3<sup>er</sup> cicle, el gener de 2021 el Consell Balear de l'Aigua va informar favorablement l'Esquema de Temes Importants, i el Juliol de 2021 es va treure a consulta pública l'esborrany del PHIB de tercer cicle. Aquesta nova proposta haurà de ser aprovada dins de l'any 2022.

L'avaluació de l'estat de les masses superficials del 3<sup>er</sup> cicle es basa en campanyes de seguiment realitzades entre 2016 i 2019, mentre que per a l'estat de les subterrànies s'han utilitzat dades de la xarxa de seguiment de 2013 a 2018. En aquest 3<sup>er</sup> cicle, a més, s'ha fet una nova definició de les masses superficials, modificant alguns dels límits de les masses costaneres, i agrupant o eliminant alguns trams de rius. L'estat de 3<sup>er</sup> cicle de les masses superficials (Taula 17) posa de manifest que no s'han assolit els objectius de la DMA ni els marcats pels plans de 1<sup>er</sup> i 2<sup>on</sup> cicle. Així, més del 20% de les masses costaneres

**Taula 17.** Estat de les masses superficials segons el PHIB de 3<sup>er</sup> cycle de planificació.

Categoria	Illa	Natural	Molt modificada	Molt bo	Bo	Moderat	Deficient	Dolent	No Avaluada	Suma
Costaneres	Mallorca	18	2	2	12	4	2	0	0	20
	Menorca	4	1	0	3	2	0	0	0	5
	Eivissa	9	1	2	7	1	0	0	0	10
	Formentera	2	1	1	2	0	0	0	0	3
	Compartida Pitiüses	3	0	2	1	0	0	0	0	3
	Balears	36	5	7	25	7	2	0	0	41
Transició	Mallorca	14	2	0	5	7	4	0	0	16
	Menorca	13	1	2	5	7	0	0	0	14
	Eivissa	1	2	0	1	0	2	0	0	3
	Formentera	2	1	0	2	1	0	0	0	3
	Balears	30	6	2	13	15	6	0	0	36
Rius	Mallorca	53	0	3	21	17	5	2	5	53
	Menorca	10	0	0	2	4	3	0	1	10
	Eivissa	7	0	0	2	2	0	0	3	7
	Balears	70	0	3	25	23	8	2	9	70
Llacs	Mallorca	0	2	0	2					2

**Taula 18.** Estat de les masses subterrànies segons el PHIB de 3<sup>er</sup> cycle de planificació.

Illa	Numero	Termini per assolir objectius DMA			Estat quantitatiu		Estat químic clorurs		Estat químic nitrats	
		Assolits	2027	Art 4.4	En risc	Mal estat	En risc	Mal estat	En risc	Mal estat
Mallorca	64	35	13	16	24	17	24	21	22	12
Menorca	6	3	1	2	3	3	5	2	4	2
Eivissa	16	5	5	6	9	8	11	8	0	0
Formentera	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Balears	87	43	19	25	37	29	41	32	27	14

(9 de les 41) no assoleixen el bon estat i dos d'elles estan en estat deficient. Gairebé el 60% (21 de les 36) de les masses de transició tampoc assoleixen el bon estat i 6 d'elles estan en estat deficient. Pel que fa a les masses categoria riu el 47% (33 de les 70) no han assolit els objectius de la DMA, entre les que destaquen 8 en estat deficient i 2 en estat dolent. En aquesta última categoria, a més, encara hi ha 9 masses que no han estat avaluades per falta de dades. Tot i així, el 51% del total de les masses superficials compleix amb els objectius de la DMA, mentre que en cicles anteriors el percentatge es reduïa al 42%, tot i que el 38% de les masses no estava avaluat (Fig. 12).

Respecte de l'estat de les masses subterrànies els resultats presentats pel PH de 3<sup>er</sup> cycle també indiquen que no s'han complert les expectatives indicades en els cicles anteriors. Així es considera que el 49% de les masses (43 de les 87) compleixen amb els objectius de la DMA, el 22% podrien complir amb els objectius a final de cycle (any 2027), mentre que el 29% restant (25 de les 87) no assoliran els objectius i en conseqüència se'ls aplica l'article 4.4 de la DMA que permet prorrogar els terminis per assolir el bon estat més enllà del 2027 sempre i quan hi hagi una justificació associada a les característiques intrínseques de la massa d'aigua (Fig. 13). En el cas de Balears el PH planteja que algunes d'aquestes masses no podran assolir mai el bon estat degut a circumstàncies naturals com pot

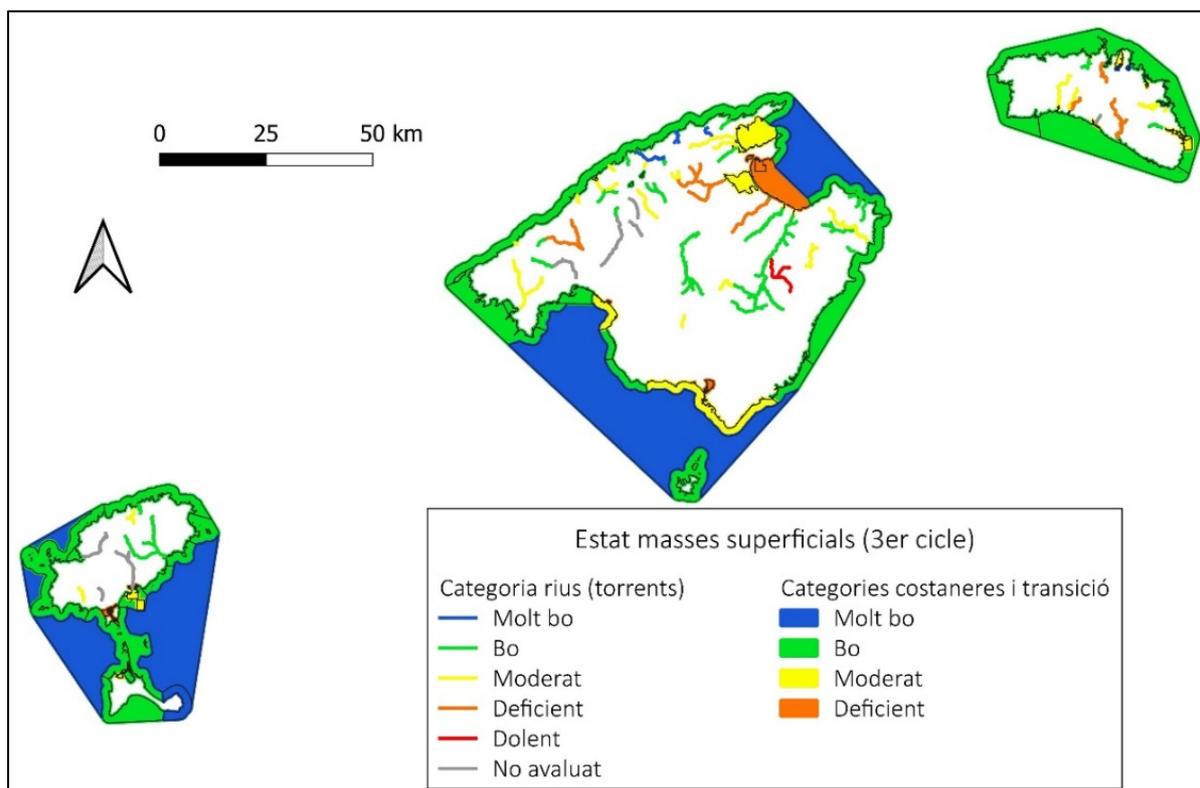


Fig. 12. Estat de les masses d'aigua superficial segons l'esborrany del PHIB de 3<sup>er</sup> cicle.

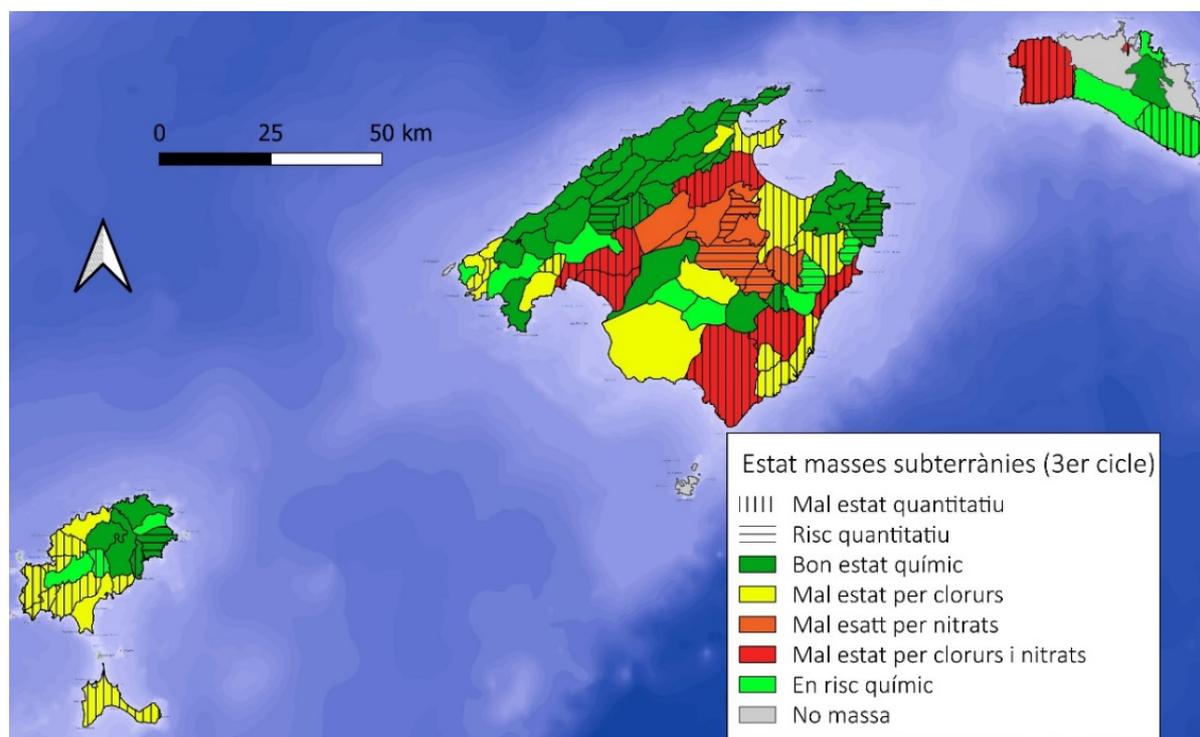


Fig. 13. Estat de les masses d'aigua subterrànies segons l'esborrany del PHIB de 3<sup>er</sup> cicle.

ser la presència de sals (sulfats i clorurs) d'origen natural. En altres masses es creu que no s'assolirà el bon estat en el termini previst ja que encara que l'activitat humana que produeix el mal estat desaparegui l'aquífer no es recuperarà de manera immediata, sinó que és necessari un període de

**Taula 19.** Estat de les masses subterrànies segons el PHIB de 3<sup>er</sup> cicle de planificació.

Illa	Recursos disponibles actuals (2021)					Utilitzat 2018	Recurs subterrani disponible		
	Superficials	Subterrànies	Dessalinització	Regenerades	Suma		2027	2033	2039
Mallorca	8,0	280,2	32,3	54,3	374,7	199,5	271,0	261,9	252,8
Menorca	0,0	18,4	3,3	3,4	25,1	19,0	16,8	15,4	13,9
Eivissa	0,0	20,5	14,6	3,2	38,3	27,2	19,9	19,2	18,5
Formentera	0,0	0,5	1,7	0,6	2,8	1,3	0,4	0,3	0,2
Illes Balears	8,0	319,6	51,8	61,4	440,8	247,0	308,2	296,7	285,3

temps elevat (entre 10 i 20 anys o més). Tal i com mostra la Taula 18 a nivell de Balears el 43% de les masses subterrànies estan en risc quantitatiu, el 47% en risc per presència de clorurs (risc d'intrusió salina) i el 31% està en risc per presència de nitrats. Per tant les mesures indicades en els PH anteriors no han estat efectives i l'estat de bona part de les masses d'aigua de Balears segueix essent inferior al desitjable.

El PH de 3<sup>er</sup> cicle estima que els recursos subterrànies disponibles són de l'ordre dels 320 hm<sup>3</sup> anuals i que es disposa de més de 100 hm<sup>3</sup> de recursos alternatius (dessalinització i aigües regenerades), el qual suma un total de 440 hm<sup>3</sup> per a tota la demarcació (Taula 19). Així mateix les necessitats estimades són de l'ordre dels 250 hm<sup>3</sup>, en conseqüència, en teoria, hi ha disponibilitat de recursos. Cal remarcar que sols a Mallorca hi ha suficients recursos subterrànies per a satisfer, teòricament, les necessitats, mentre que a la resta d'illes la disponibilitat de recursos subterrànies és inferior a la demanda actual. En qualsevol cas dins de Mallorca hi ha grans diferències ja que en zones com la Serra de Tramuntana l'explotació dels aqüífers és baixa, mentre que allà on es concentra la població i el turisme l'explotació dels recursos subterrànies és molt intensa. Així la distribució de les masses en bon estat es correspon en gran mesura amb aquelles zones on no hi ha pressió antròpica, mentre que els aqüífers de les zones turístiques o més poblades estan en mal estat químic i quantitatiu. A les zones deficitàries de Mallorca, així com a les illes menors, les necessitats han de ser cobertes amb aigua dessalinitzada (per a l'ús urbà) i aigua regenerada (per a l'ús de reguiu). En cas contrari no es possible assolir el bon estat dels aqüífers.

## Discussió i conclusions

La feina realitzada a Balears en els darrers 50 anys quant als estudis tècnics que permetin determinar els consums d'aigua i les disponibilitats així com en els aspectes normatius que permetin minimitzar l'afecció de l'home al domini públic hidràulic ha estat ingent. No obstant aquesta feina no es veu reflectida en una millora de l'estat de les masses d'aigua, tant subterrànies com superficials (epicontinentals i costaneres).

L'increment poblacional per damunt de la càrrega del territori, l'especulació urbanística, la proliferació d'habitatges en sòl rústic amb els seus corresponents pous (algunes vegades il·legals) i les seves fosses sèptiques (que en molts casos no compleixen amb els mínims de depuració), una afluència turística que en algunes zones arriba a duplicar la població resident i que es concentra a la costa (on la fragilitat dels aqüífers és major) i que provoca que sigui necessari extreure aigua dels aqüífers en el pitjor moment (estiu) és a dir quant els aqüífers estan més baixos, i el descontrol en l'aplicació dels fertilitzants en alguns regadius intensius, han provocat que el territori, i en conseqüència les masses d'aigua, estiguin sotmesos a una pressió insostenible.

Les dades de publicades per l'Institut d'Estadística de les Illes Balears (IBESTAT) així ho indiquen. Així la població de dret de l'arxipèlag es va doblar entre 1860 o 1970, passant de 260.000 a 530.000 habitants, i va tornar a doblar-se en 40 anys més, ja que l'any 2011 ja se superava els 1.100.000 habitants. A més, no tant sols ha crescut la població resident sinó que també hi ha hagut un fort increment de l'afluència de visitants. Així a finals del segle XX la població a l'agost del conjunt de Balears era de 1,4 milions de persones, mentre que l'agost de 2017 es varen superar els 2 milions de persones. De fet l'única circumstància que atura el creixement sostingut son les crisi econòmiques (any 2010 i

sobretot la recent crisi de la COVID 19). D'altra banda l'Administració Hidràulica es mostra impotent a l'hora de fer complir la normativa. Si les lleis i normes no es compleixen es converteixen en paper mullat i tant sols serveixen per a poder dir que existeixen i donar una falsa sensació d'haver fet els deures. Però de fet un dels deures de l'Administració Hidràulica és vetllar per el compliment de les normes i sancionar el seu incompliment.

Des de la crisi econòmica de 2008 l'Administració Hidràulica ha anat perdent personal i mitjans materials. Entre aquests és destacable l'abandonament de la màquina per a fer sondatges d'investigació i dels equips de registre geofísic que havien de permetre comprovar la bona execució dels pous d'explotació, i el desmantellament de l'equip humà que permetia dur a terme els sondatges d'investigació, reparar els piezòmetres existents i inspeccionar els pous d'explotació.

Es responsabilitat de l'Administració, tal i com diu la Comissió Europea, dotar-se dels medis humans i materials per al control i seguiment de les masses d'aigua i garantir el compliment dels objectius de la DMA. D'altra banda les sancions existents en la normativa específica d'aigües solen ser merament administratives i quan té lloc una sanció econòmica, en molts casos, sol ser d'una quantia ridícula, en conseqüència aquestes sancions resulten inoperants ja que generalment a l'infractor li compensa econòmicament pagar la sanció. Així un aspecte important és que l'Administració Hidràulica hauria d'aplicar en tots els casos el que contempla el règim sancionador de la Llei d'Aigües en quant a la reposició del domini públic hidràulic en el seu estat original. De no fer-se així l'Administració Hidràulica es converteix en un gestor del medi hídric que intenta apaivagar els problemes quotidians sense fer front als problemes de fons.

## Bibliografia

- BARÓN, A. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (2013): La des-planificació hidrològica de les Illes Balears. In: VI Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears. *Soc. Hist. Nat. Balears* Llibre d'actes pp. 17-18
- BARÓN, A. (2013): La desplanificación hidrológica. El caso de Baleares. *VIII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua, Fundación nueva cultura del agua*. Llibre d'actes, pp. 199- 207.
- FORNÓS, J.J. i GELABERT, B. (2011): Condicionants litològics i estructurals del carst a les Illes Balears. *Endins*, 35 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 17: 37-52.
- FUSTER CENTELLES, J. (1971): *Estudio de los recursos hidráulicos totales de la isla de Mallorca*, Informe de recopilación y síntesis. Ed. Servicio Geológico de Obras Públicas, 128 pag.
- FUSTER CENTELLES, J. (1973): *Estudio de los recursos hidráulicos totales de Baleares, Informe de síntesis general*. Ed. Servicio Geológico de Obras Públicas, 220 pp., mapes i annexes.
- GIMÉNEZ, J., GELABERT, B., i SÀBAT, F. (2007): El relieve de las Islas Baleares. *Enseñanza de las ciencias de la Tierra*, v. 15.2, pp. 175-184.
- GIMÉNEZ, J., BARÓN, A., COMAS, M., GONZÁLEZ, C., GARAU, J., BEIDAS, O., OLIVER, M., i NADAL F.X., (2014): Hidrogeología de les Illes Balears: Les masses d'aigua càrstica. *Endins*, 36: 9-26.
- MATEOS, R.M. (2009): *Los caminos del agua en las islas Baleares, Acuíferos y manantiales*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España / Conselleria de Medi Ambient de les Illes Balears, [Coordinación: Mateos, RM, y González, C] 280 pp.,
- SÀBAT, F., GELABERT, B., RODRÍGUEZ-PEREA, A., i GIMÉNEZ, J. (2011): Geological structure and evolution of Majorca: Implications for the origin of the Western Mediterranean. *Tectonophysics*, 510:217–238.

---

Data recepció: 21.09.21

Data revisió: 30.09.21

Revisió acceptada: 05.10.21

# REFLEXIONS SOBRE COOPERACIÓ NATURAL A SISTEMES OBERTS

Antoni Martínez Taberner

Departament de Biologia, Universitat de les Illes Balears,  
Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears)

**Resum:** S'analitzen els canals d'informació a la Natura proposats per Ramon Margalef. Es proposen diferents fases amb increment de complexitat i s'aprofundeix en la rellevància dels processos de complementarietat en l'evolució i la successió amb el títol: "Les formes per anuament per cooperació i canvis de nivell d'organització". Finalment es fa una referència a la informació ecològica necessària per a un futur seguint l'expressió proposada per Georgescu Roengens, la qual es descompon en les seves diferents variables per a assolir un nou nivell d'organització a l'antroposfera per simplificació intel·ligent.

**Paraules clau:** cooperació natural, sistemes oberts, evolució, successió, antroposfera.

**Abstract:** The information channels in Nature proposed by Ramon Margalef are analysed following a complexity gradient. The relevance of the processes of complementarity in evolution and succession is deepened with the title: "The forms by nesting cooperation and changes in the organization levels". Finally, the mathematical expression proposed by Georgescu Roengens is decomposed into its different variables to reach a new organization level for anthroposphere by smart simplification.

**Keywords:** nesting cooperation, open systems, succession, evolution, anthroposphere.

Aquest article s'ajusta més a una conferència escrita que a un article. Una vegada abandonada la recerca, no necessàriament s'abandona la ciència, però les dades utilitzades ja no són les pròpies, per tant es presenta una reflexió discutible i oberta sobre la informació a la Natura.

## Introducció

La selecció natural es fonamenta en la supervivència i reproducció privilegiada del més apte o el més competent. Sens dubte funciona, però en fases adultes i en animals cal afegir-hi la selecció sexual, per tant, no sempre actua sola. També cal entendre que el procés es desenvolupa dins un "teatre" ambiental de successió, l'ecosistema, i inicialment sobre un sol canal d'informació, que és el genètic. Per altra banda, el fet que se seleccionin les formes que sobreviuen i que sobrevisquin les que se seleccionen no deixa de ser una trivialitat, o sigui es mantenen les formes que funcionen a un determinat lloc i en un determinat moment, i les manco funcionals, amb una certa inèrcia, van fent-se manco abundants fins a desaparèixer o relocalitzar-se i crear noves rutes evolutives. Finalment la crítica parcial de VON BERTALANFFY (1979) continua oberta.

Walter Amstrong, un dissenyador, definí la bellesa com l'expressió de l'aptitud "*fitness expresed*". Ens ve a dir que una forma perfectament adaptada a la seva funció tendria una propietat emergent que anomenem bellesa (sotmesa a modes o mutacions, la majoria també extingibles, però necessàries per a evolucionar). Darwin ens explica que un metabolisme o una forma perfectament adaptada a la seva funció dins l'ecosistema del moment tendria una propietat emergent que es diu supervivència. De fet, d'ambdós autors podem extreure una paradoxa. Podríem concloure ajuntant les dues premisses que les formes supervivents són belles i que la bellesa sobreviu. I és que en condicions normals per a un humà, les proporcions morfològiques, fisiològiques, i podríem dir també de comportament (malgrat entrem en un altre canal d'informació derivat del genètic), han d'estar proporcionades perquè funcionin (supervivència), han de crear una harmonia de conjunt i, efectivament, ens produeixen l'emoció o sentiment de bellesa. Que la inspiració artística es trobi a la Natura sembla esperable.

Cal dir que formes adaptades a ambients o medis estranys, les molt adaptades a una sola funció, i sovint les fases prèvies a un canvi de nivell d'organització, manifesten desproporcions i no és aplicable el sentit subjectiu de la bellesa clàssica dins l'estètica kantiana.

Aquesta reflexió de l'animal humà sobre l'evolució i sobre ell mateix, el seu entorn físic i els seus sentiments ètics i estètics requereix d'una evolució biològica llarga, o un estat del sistema termodinàmic obert, que anomenem la vida, molt estable en el temps i que, per altra banda, és molt poc esperable. Realment, la creació d'aquest ordre de la vida, i amb ella la capacitat d'interpretar-la, és una singularitat tan poc probable com la de la creació del major esdeveniment que fou el Big Bang.

Seguint la diabòlica llei geològica que implica que els petits esdeveniments sísmics de baixa energia són probables i els de major magnitud ho són manco (com la relació acceptada per a impactes de meteorits de CHAPMAN i MORRISON del 1994), trobarem una altra paradoxa entre el fet improbable de la interpretació de la vida i l'improbable Big Bang.

Si acceptem que l'entropia esdevé de l'heterogeneïtat de l'expansió del Big Bang i no és més que la tendència a fer-la homogènia, o a dissoldre els gradients formats en aquest fenomen, i si acceptem que els sistemes oberts actuen com a acceleradors de l'homogeneïtzació en el seu entorn (DE CASTRO, 2019), llavors resulta que el gran esclafit (o el que fos) improbable ha creat el no manco improbable sistema obert que és un humà, capaç d'interpretar la metàfora de l'esdeveniment.

En l'àmbit biològic, aquest procés evolutiu de creació d'"illots" neguentròpics acceleradors de l'entropia global té fases de selecció i millora de formes (morfològiques, fisiològiques, bioquímiques) i d'aniuament cooperatiu, seguit de simbiosi, coevolució i salts de nivells d'organització. Els grans avenços evolutius, com la cèl·lula eucariota, la pluricel·lularitat o els organismes eusocials i els simbiòtics, que són majoria, no es fonamenten en la competència sinó en la complementarietat i la cooperació. Ch. Darwin i A. Wallace tenien raó, però P. Kropotkin també, i ambdós processos, selecció i cooperació, es donen al mateix temps. Diferents evolucions per selecció assoleixen un determinat nivell de complexitat; pel que sigui (com a una aleatòria mutació), apareix una complementarietat que indueix la coevolució (fase d'aniuament) i emergeix un nou nivell d'organització sobre el qual poden actuar els mateixos o semblants processos de selecció adaptativa, i així fins a una nova complementarietat i salt organitzatiu dins el "teatre" de l'ecosistema en successió. En paraules de VON BERTALANFFY (1979) "hem de descobrir lleis aplicables als estrats supra moleculars i biològics, així com ampliar el límits de la física per a que incloguin fenòmens vitals en lloc de reduir la biologia al marc de la física convencional".

Veiem la cèl·lula eucariota o l'organisme pluricel·lular com a unitats discretes derivades de complementarietat o simbiosi forta, però no sempre ha estat així al llarg de l'evolució. De fet, els ecosistemes, en la seva successió, van creant microclimes i perfil edàfic en els terrestres, i van construir noves condicions, ampliant recursos explotables, gràcies a noves relacions tròfiques i colaterals, que són dependències o retroaccions que acaben donant estabilitat i reproductibilitat, una mena d'ecopoiesi (GUERRERO i BERLANGA, 2006, 2009), semblant a l'autopoiesi dels organismes (Varela *et al.* 1974). Però el conjunt, que no és discret, no funciona per competència, sinó per complementarietat; fins i tot la biosfera en el seu conjunt ha anat creant una ecosfera que possibilita la vida actual, molt més rica i complexa que en el seu origen, amb la seva fisiologia, com diria James Hutton (1726-1797), o cicles biogeoquímics, com diria Vladimir Vernadsky (1863-1945); i aquesta successió no fou ni és per competència sinó per complementarietat necessària de processos i espècies, i intraespecíficament amb selecció natural adaptativa de les espècies a la successió dels ecosistemes i de la pròpia ecosfera. Ambdós sistemes, de cooperació i de selecció, no sols de les millors formes i millors metabolismes, sinó també de les millors cooperacions i comportaments, són mecanismes neguentròpics, creadors d'ordre, de jerarquies i de complexitat a canvi de ser dissipatius seguint la teoria física termodinàmica.

També les formes vives responen a les lleis físiques de la termodinàmica, en particular a la de sistemes oberts. Clausius desenvolupà els conceptes de la termodinàmica clàssica i de l'energia no recuperable en treball, l'entropia. Boltzmann, un físic poc valorat i fortament criticat en vida (amb la crueltat de la tauromàquia, com deien a Viena), amplia el concepte d'entropia, l'assimilà al desordre, i de passada va donar la direccionalitat del temps a l'Univers conegut. Schrödinger va entendre que dins la tendència global entròpica hi havia processos que fugien de la segona llei i PRIGOGINE (1983) feu una

exploració del caos a l'ordre amb la termodinàmica dels sistemes oberts allunyats de l'equilibri. Ens queda Shannon, que relaciona l'entropia de Boltzman (dividida per nombre total d'elements  $N$ ) amb la probabilitat o la informació. El més probable és l'estat entròpic de desordre; el més improbable és l'ordre, l'organització, els processos creatius, l'acumulació de complexitat; i justament són aquests processos els que ara podem tractar sense contradir Boltzmann des de la termodinàmica del sistemes oberts allunyats de l'equilibri, també anomenats dissipatius.

Abans d'arribar als processos neguentròpics com el de la vida o la Biosfera amb els seus sistemes d'evolució i successió hi ha altres processos previs més senzills.

## La Informació a la Natura

Tant en processos físics com químics trobem creacions d'ordre; un cap de fibló, fins i tot un remolí o dimoni, organitzen i condueixen les masses d'aire i finalment contribueixen a homogeneïtzar-les i, quan ja no hi ha gradient tèrmic suficient, desapareixen, excepte la gran taca roja de Júpiter que sembla un huracà persistent, per ara. La formació de cristallitzacions, des de la selenita de Naica a la sal de vorera de mar o als cristalls d'àcid úric, també són gènesis d'ordre que responen a un canvi d'estat ambiental físico-químic. N'hi ha molts més exemples: reaccions de Belousov-Zabotinski, cèl·lules de circulació de Bénard, o microafloraments de plàncton ordenats en cèl·lules, i fins i tot algunes columnes de mosquits els dies de calor d'estiu, o els esbarts de peixos i estornells, són exemples de creació d'ordre. MARGALEF (1997) en el seu llibre *Excel·lència en Ecologia* (EE10) en posa més exemples i a *Orde i Caos en Ecologia* (BASCOMPTE *et al.* 1995) també hi ha més detalls. Tots aquests processos, inclosa la vida, responen a les lleis físiques de la termodinàmica, en particular a la de sistemes oberts. Podem intentar analitzar els passos en la creació de l'ordre i diferenciar sistemes d'ordre segons la seva magnitud i la seva persistència però, com comentava Wagensberg el 1987 en el Museu de la Ciència de Barcelona a la segona trobada de reflexions interdisciplinàries: "ocorre que existeix una teoria matemàtica per a la informació, però la física no disposa de lleis que manegin aquest concepte, per tant ho tenim difícil en matèries complexes com la biologia".

Ramon Margalef acaba el seu llibret de 1968 titulat *Perspectives in Ecological Theory* proposant un canal ecoesfèric total d'informació que evoluciona al llarg del temps. Inicialment, com a canal ambiental a partir del qual apareixerà el canal genètic (l'origen de la vida) i, posteriorment, l'etològic o cultural. Ara hi podríem afegir el canal TIC des del cultural. Verdnadski utilitza noosfera i posteriorment ho fa de Chardin per a referir-se al canal cultural, *sensu lato*, però hi ha diferències entre ambdós on no entrarem. Dins aquests diferents canals es poden incloure diferents maneres d'expressar la forma o informació.

### *Canal Ambiental*

#### La forma fortuïta. La interacció de la matèria i l'energia

Inicialment és necessària una energia que actua sobre un substrat material per a crear-se una forma. Quan deixa d'haver-hi gradient o energia, desapareix la forma o es "congela". Com a exemples, el cap de fibló desapareix en dissipar-se l'energia, o la reacció química s'equilibra o apareix el cristall estable. Per tant, necessitem primer una font d'energia o gradient i un element material perquè es manifesti una primera creació d'ordre, una forma més o manco persistent.

#### Les formes complementàries

Tres pals i una superfície disposats satisfactòriament tenen una propietat emergent o nova funció que és la de cadireta. Un glicerol i tres àcids grassos són un triglicèrid, el retinol té una funció en el sistema òptic, dos retinols formaran complementàriament un betacarotè que té funció de pigment acompanyant a la fotosíntesi, etc. Actualment s'utilitzen "robots" moleculars que són programats amb entrades químiques per a l'obtenció de molècules complexes. És el mateix tipus de procés que s'utilitza



per a fabricar medicines i plàstics a partir de simples blocs de construcció química complementària. Un determinat medi afavoreix una complementarietat dels elements materials en dissolució que acaben formant una nova estructura molecular amb unes noves funcions. L'exemple divulgat dels ànecs infantils de banyera de diferent color i amb vetes de ganxo per a un color i de vellut per a l'altre color i alliberats a una zona turbulenta (energia), s'acabaran ordenant com ho fan un clor i un sodi a una salinera.

#### La forma funcional. La trampa d'energia

Quan la forma creada actua com a "trampa" d'energia i el sistema persisteix, la forma inicial adquireix funcionalitat motoritzada i es manté fins que l'energia del moviment acaba per convertir-se en calor a causa de la viscositat dels fluids o acaba formant una cristal·lització, etc. Aquestes formes es mantenen dins uns marges d'estabilitat del flux d'energia o d'estabilitat de l'ambient on es desenvolupen. Sortir dels marges condueix a la dinàmica caòtica i la desestructuració. Cal pensar que els processos senzills estan influenciats per poques variables i tenen poques retroaccions, per tant també són menys persistents i més inestables. Processos amb més retroaccions augmenten la seva estabilitat i suporten millor canvis dins el gradient energètic o l'estat ambiental del medi.

#### La forma espectral de rèpliques. El motlle

La multiplicació de les formes requereix motlles. Ho veiem en la majoria dels estris que ens envolten i en la vida quotidiana. També podem trobar motlles inorgànics naturals com les argiles. La montmoril·lonita, la caolinita o la il·lita poden actuar com a motlles especulars i, analitzades al microscopi electrònic, formen patrons geomètrics amb oxigen, silici, alumini i altres elements units entre si formant bandes apilades que es mantenen unides per forces electroquímiques. L'aigua pot entrar entre les bandes i quedar retinguda en gran quantitat i donar plasticitat al conjunt, també poden retenir i alliberar energia (CAIRNS-SMITH, 1985).

SCHRÖDINGER (1944,1956) ens parla dels cristalls aperiòdics com a model per a entendre els cromosomes, ja que considera que poden retenir informació replicable o servir de motlle. Aquests suggeriments conduïren a la teoria del gen d'argila. David W. WOLF (2019), també fa notar que un sistema replicatori actual pot haver tengut uns motlles previs ara desapareguts, de la mateixa manera que podem veure un pont, però no veiem tota l'estructura de bastides que foren necessàries i que actuaren com a motlle. CAIRNS-SMIT i HARTMAN (1986) sostenen que foren les argiles les que actuaren com a bastides en els primers intents de vida replicable. Un altre exemple seria el que proposa Günther WÄCHTERS HÄUSER (1988) amb la pirita, la qual sembla tenir una química superficial apta per a crear connexions amb nucleòtids. Molt abans, el 1924, A. OPARÍN (1970) ens parla dels seus hipotètics coacervats replicables lligats a un flux d'energia, de fet parla de la necessària estructuració d'un metabolisme previ, és a dir, una bona trampa d'energia que mantingui l'anabolisme obert, o sigui el sistema termodinàmicament obert. A partir d'aquí es podrà mantenir la replicació de molècules complementàries que donin formes complementàries i aquestes estructures especulars.

En qualsevol cas, una xarxa química que s'ha format amb unes molècules complementàries i un suport energètic assimilable pot perdre fàcilment les seves propietats en sortir dels seus marges estrets d'estabilitat, i això és probable que succeeixi quan s'assoleix una certa grandària o complexitat, sempre que no es desenvolupin prou retroaccions que donin estabilitat i regulació al sistema i proporcionalitat entre els seus elements. L'estabilitat no sols implica retroaccions dinàmiques, sinó també proporcionalitat de les parts.

#### La forma autoreplicable. Motlles de n-generació

Els "genomes compostos" o composomes són un conjunt de components químics que emmagatzemen informació replicable. Aquests "genomes compostos" aparentment compleixen les condicions requerides per a ser considerats com a unitats de preevolució o una via des de les dinàmiques seleccionables (predarwinianes) cap a una mínima protocèl·lula sense àcids nucleics.

En qualsevol cas, aquestes xarxes moleculars mostren dinàmiques de la població dels conjunts moleculars amb divisions fins a una mida crítica, però no evolucionen, perquè en el procés es perden

algunes propietats que són essencials per a la persistència i l'evolució, ja que no poden assumir mutacions sense desestructurar-se i per ara no es veu una possibilitat de selecció ni de conseqüent evolució.

### *Canal genètic*

#### La forma genètica evolutiva. La variabilitat (errors) assumible i necessària

De formes replicables a formes evolutives hi ha un salt. Tenim materials complementaris com nucleòtids i grups fosfat dins un gradient energètic susceptible d'actuar sobre els elements materials. D'aquí es formen motlles d'àcids nucleics que serviran de tractor de molècules complementàries d'aminoàcids que a la vegada formaran proteïnes. El sistema és prou complex per a pressuposar la necessitat d'un nombre significatiu de retroaccions que donin estabilitat al procés, proporcionalitat entre els elements i una certa protecció del medi intern perquè es mantingui relativament estable dins un gradient. Però evolucionar requereix estar oberts a energia i a canvis. El sistema ha de poder assumir mutacions sense desestructurar-se i sobre aquestes mutacions o canvis ha d'aparèixer un sistema de selecció. Com a mínim ha de tenir prou rèpliques per a poder rebutjar les no funcionals, que són les que surten dels marges d'estabilitat del sistema, i mantenir, dins una població significativa de formes funcionals i replicables, una diversitat que entri en el joc de la selecció adaptativa al llarg del temps.

Amb aquestes condicions, l'organització o informació pot augmentar; per tant, no són sols sistemes oberts a l'energia i dissipatius d'entropia, sinó també creatius. Són sistemes complexos, allunyats de l'equilibri que els aturaria o "congelaria"; són sistemes evolutius dins marges d'estabilitat. L'evolució requereix diversitat seleccionable juntament amb el no equilibri, perquè si s'assoleix, si deixa d'haver-hi un gradient assimilable, apareix la cristallització, la fossilització... ens aturem, i això no vol dir necessàriament la destrucció. Tenim formes de vida intermitents, com llavors, formes enquistades o virus.

La vida dels organismes es manté dins aquests marges d'estabilitat estructural durant la seva morfogènesi persistent (THOM, 1987) gràcies a un joc de proporcions plàstiques o harmonia entre els seus elements constitutius (com els marges que et donen els informes mèdics de les analítiques convencionals de sang i orina), una sèrie de prohibicions físiques i diferents substrats o canals d'informació sobre els quals s'estableixen sistemes d'elecció o de selecció. D'aquesta manera es van canviant formes i funcions o, si voleu, estructures i motoritzacions, que s'adapten als canvis de l'escenari de l'ecosistema gràcies a que hi ha un nombre significatiu de rèpliques sotmeses a una font d'heterogeneïtat, o sigui amb certa diversitat. Es tracta de mantenir l'autopoiesi dels organismes dins l'ecopoiesi de l'ecosistema, i sols ho fan les formes i motoritzacions més adaptades a l'escena ecològica del moment i amb la plasticitat mutacional suficient per a afrontar nous canvis successional.

Cal fer l'observació de que la sexualitat en organismes procariotes és poc difusiva en comparació amb els eucariotes pluricel·lulars on ja hi ha una diferenciació entre cèl·lules somàtiques i cèl·lules sexuals. La meiosi no es sols un intercanvi de material sinó també un efectiu sistema de difusió de nova informació recombinada. I aquest intercanvi no es fa per competència, sinó per complementarietat, des del nivell molecular a l'etològic. La mort de la part somàtica va lligada al sexe. A partir d'aquí la mort ja no serà un accident d'un unicel·lular, sinó una part indefugible del canvi de nivell d'organització a pluricel·lular. Sexe i mort van lligats, tal i com feu notar Jacques RUFFIÉ (1988).

### *El canal sensorial*

#### Circuit difós

La primera comunicació no té circuits, sols senyals químics. Imaginem un procariota fotosintètic; si té llum no es mou, si no té llum s'excita i es mou fins a col·locar-se de nou a zona il·luminada on es manté quiescent. De manera semblant, els bacteris reaccionen dins una placa de Petri a una gota de substància tòxica allunyant-se i formant agrupacions (aquesta tendència tal vegada sigui més rellevant

del que pensem). És un sistema binari que requereix un sensor del qual s'allibera una ordre (l'ordre és una manera d'organitzar).

En el món vegetal, l'ambient o composició química de l'aire i la presència de diferents composts orgànics volàtils alliberats per les mateixes plantes indueixen a la síntesi de defenses químiques. Uns sensors difosos capten un senyal químic i "ordenen" una acció de síntesi química de defensa. Aquest és un llenguatge senzill sensorial i no neuronal (MANCUSO, 2017; TASSIN, 2018). En insectes les feromones d'alarma o de pista, entre d'altres, també son conegudes d'antic. No podem descartar que a grans esdeveniments esportius, mítings polítics o religiosos i coses de semblant estil, no hi hagi algun compost orgànic volàtil que contribueixi a facilitar la pèrdua de individualitat i el que anomenem "sentit comú".

Un nivell major derivaria en el principi del plaer de Jay APPLETON (1993) o, com suggereix A. DAMASIO (2005, 2010), l'estat millor que el neutre. Aquí ja es requereix una recompensa de satisfacció, una segregació d'endorfines o neurotransmissors, que en el seu origen probablement serien molècules molt més senzilles. Cal fer l'observació que aquesta alliberació de substàncies interpretables com a agradables unes o de perill unes altres marca un gradient, una diferència de potencial, per tant una ruta que podríem anomenar quimiodinàmica oberta semblant a la terminologia medieval de fulguració que va utilitzar LORENZ (1973).

### Xarxa neuronal

Apareix del canal genètic, i segueix la pauta de l'especialització dins l'organisme pluricel·lular, que té moltes cèl·lules per a diferents teixits (les diferents cèl·lules dels diferents teixits d'un organisme no estan en competència entre elles) i que s'especialitzen en la recepció d'estímuls externs que, seguint un codi binari, tenen una resposta senzilla tipus "va bé, tranquil" o "no va bé, fes alguna cosa". Després es pot complicar.

Diversos sensors requeriran d'un centre de decisions amb dues tasques: l'anàlisi dels diferents sensors i la decisió de resposta d'entre les possibles. També es desenvoluparà un circuit que faciliti l'estalvi dels químics de comunicació que podran passar a electroquímics de comunicació entre neurones, que no són més que cèl·lules en circuit en sèrie, com a glàndules unicel·lulars connectades. Pot haver-hi diferents centres de decisió, o ganglis, per tant aquests hauran de jerarquitzar-se. Que la *Mantys* sp. femella estigui copulant mentre consumeix el gangli cerebral del mascle sembla una jerarquia poc encertada dins la comprensió convencional del gangli cerebral humà, però no sempre el gangli cerebral s'imposa sobre els altres. La lluita entre l'antiga comunicació hormonal poc especialitzada i de fabricació a les glàndules i la neurotransmissió especialitzada sembla que no està del tot resolta. De fet, les glàndules i les seves hormones continuen creant un "ecosistema químic estable", un medi on la resta d'"espècies" cel·lulars desenvolupen la seva acció en cooperació mentre es mantingui l'estabilitat del sistema.

### *El canal etològic*

El canal etològic o de comportament apareix del canal neuronal i respon, més que a un circuit de neurotransmissors, a un mapa o cartografia de circuits amb una significació o informació, per tant també hi ha un magatzem d'informació o gangli cerebral amb memòria, no sols sensors i respostes connectades per un circuit, sinó també capacitat de crear emocions, sensacions, fins i tot sentiments. Aquest fet requereix d'un ambient químic que vendrà per diferents secrecions d'endorfina, dopamina, serotonina, adrenalina, etc. Cal esmentar que en aquests canals la informació no està sobre un element material com seria l'ADN o RNA, sinó sobre una forma de circuit o ruta cartogràfica immaterial i suport d'un medi o "ambient" químic.

Podríem ressaltar també la capacitat d'obtenir emocions i sensibilitat, que també trobem en altres organismes no humans amb reaccions en contra de la injustícia, de compassió, d'altruisme i altres comportaments ètics (DE WAAL, 2019) àdhuc d'expressions estètiques com els ornaments o el que alguns autors han anomenat evolució de la bellesa (RYAN, 2018; PRUM, 2019), lligada a la selecció sexual

(aucells pergolers, caus dels pops, cançons dels granots o dels aucells, exhibicions rítmiques de llum de les llumenetes, etc.).

Seguint DAMASIO (2010), les emocions immediates, amb manifestació corpòria externa o interna, i els sentiments, que requereixen del cervell, i la memòria, i tal vegada l'educació per a desenvolupar-se, també són un canal d'informació que es tradueix en uns comportaments que van des de respostes binàries fins a respostes multifactorials, i fins i tot a respostes que derivades de l'anàlisi multifactorial dels sensors, són contrastades a la memòria, i finalment es desencadena no sols una acció de resposta sinó fins i tot una emoció com a resposta i uns sentiments. Seria un error pensar que l'evolució dels sentiments i de l'altruisme en diferents espècies, des d'insectes colonials a mamífers, va exclusivament lligada a un canal de selecció natural sotmès a la regla de Hamilton (DUGATKIN, 2007). Sens dubte el parentiu pot facilitar l'altruisme, però el trobem també en espècies sofisticades i deslligades de qualsevol parentiu i sotmeses a més canals d'informació, no sols el genètic. Qualsevol persona que ha conviscut amb animals gregaris com cans o cavalls entén perfectament els seus sentiments, com ells entenen els teus. A més, el seu altruisme va més enllà de la pròpia espècie i és interespecífic, una nova cooperació, una nova evolució conjunta on les regles de parentiu hamiltonià no són aplicables.

L'expressió immediata de les emocions bàsiques és el primer llenguatge interpretable per altres individus. Una persona excitada encomana la seva excitació, no sols a altres persones, també al seu ca o al seu cavall, una persona tranquil·la fa el mateix. Les expressions facials en els humans, el moviment de la coa als cans o de les orelles als cavalls són llenguatges senzills sobre els quals pot créixer un nou canal d'informació. Molts llenguatges són silenciosos, els dels antics caçadors, els dels jugadors de cartes, el dels colors dels cefalòpodes, etc.

Per la seva banda, els sentiments representen mutacions de comportament adaptatiu sotmès a selecció. Seria bo tenir-ne més proves empíriques, però sens dubte el sentiment maternal de protecció de les cries s'ha seleccionat positivament i els comportaments de cohesió del grup i comprensió del grup per a la caça o altres activitats en espècies gregàries també s'han seleccionat positivament.

Cada canal d'informació té un sistema de selecció i seria un error pensar que la selecció natural darwiniana actua sobre tots ells i de la mateixa manera. En qualsevol cas, el més rellevant és que a partir d'un sistema obert primigeni del tipus fisicoquímic i sotmès a les regles de l'ambient es creen unes formes amb funció que anomenem vida, sotmesa a la selecció natural i posteriorment sexual, però també a la simbiosi i complementarietat, i posteriorment informació desmaterialitzada en circuits neuronals i cartografies cerebrals, i finalment organismes amb capacitat de crear una metàfora interpretativa de la realitat parcial a través de la ciència.

El canal cultural d'informació no deixa de ser un canal etològic humà, però ha tengut capacitat per a crear un canal d'informació artificial amb els seu llenguatge informàtic. La intel·ligència artificial, en la seva part de comunicació o xarxes socials es relaciona amb la intel·ligència d'eixam dels insectes eusocials i representa un canvi de nivell d'organització no jeràrquic. Veurem com evoluciona?.

### **Les formes per aniuament de cooperació i canvis de nivell d'organització**

Dins la forma genètica evolutiva tenen cabuda les línies procariotes, però també les eucariotes unicel·lulars, les eucariotes pluricel·lulars, els organismes eusocials, els gregaris o amb comportament de grup, etc. Per tant, tenim processos d'agrupació o aniuament dèbil o difós de relacions tròfiques o colaterals, i aniuament fort o discret com l'eucariota (MARGULIS, 1981) o el pluricel·lular (sens dubte, procariotes i virus també tenen la seva història evolutiva de complementarietat genètica que oferirà nous descobriments). La diferència entre fort i dèbil es podria definir pel fet que uns són desmuntables i els altres no, uns queden "mecanitzats" (ELLERS *et al.*, 2012) i els altres poden separar-se i mantenir-se funcionals o tornar a la "mecanització". Els consorcis d'agregació i les colònies serien formes de frontera entre difós i discret. En els processos per cooperació (que cal recordar que poden ser de simbiosi, però també de parasitisme, o sigui, cal eliminar el component ètic i social que sovint acompanya aquests conceptes, de la mateixa manera que ho hauríem de fer en la selecció per

competència) es dona una pèrdua de la multifuncionalitat a favor de l'especialització complementària i, per tant, una dependència del grup o conjunt. L'individu queda despoietitzat (MARGULIS, 1990). Ho veiem en els òrgans complementaris de la cèl·lula eucariota, en els diferents teixits del pluricel·lular (MICHOD, 2006), però també en formes d'aniuament dèbil de colònies amb diferenciació de treball entre les cèl·lules colonials de *Scenedesmus* sp. amb individus laterals especialitzats en la flotabilitat i moltes altres. També en els superorganismes eusocials amb especialització funcional (reproducció i control, defensa i treball) i canvi morfològic, i en les espècies domèstiques que són coevolutives, com els fongs i els àfids de diferents formigues o les vaques de granja o els cereals conreats per els humans, etc. Es perd la llibertat o autonomia de la multi funcionalitat individual a favor de la millor seguretat i complexitat de la dependència del conjunt. Aquest tema el tracta Margulis (MARGULIS i SAGAN, 2003) per a fongs i formiga blanca. La mateixa ciutat amb els seus elements supramunicipals explota extensivament els territoris forans i allibera informació i organització i molta entropia en forma de deixalles, aigües brutes i gasos. També és un sistema obert de cooperació (entre simbiosi i parasitisme) que accelera l'entropia de l'univers a canvi de crear el seu nucli d'organització dèbil o difós. En aquest sentit Carlos de Castro fa una observació destacable: “La formiga argentina *Linepithema humile* sembla que forma una macrosocietat de colònies” i es demana “han començat a distribuir funcions als diferents formiguers?”. Si fos així estaríem davant un procés urbanístic supramunicipal, els *clusters* de ciutats formigueres.

Tots aquests processos d'aniuament per complementaritat, tant forçada com amable, fugen d'una interpretació darwiniana adaptativa convencional, almanco en el seu inici; són com a una “mutació social” que podrà ser seleccionada positivament o no a posteriori. SZATHMARY (2015) en diria desdarwinitzada.

### Generalitats dels canals de informació

Necessitem primer una font d'energia o gradient i un element material perquè es manifesti una primera creació d'ordre, una forma. Un determinat medi afavoreix una complementaritat dels elements materials per a crear formes additives. Quan la forma additiva creada actua com a “trampa” d'energia i el sistema persisteix, la forma inicial adquireix funcionalitat motoritzada

Cal pensar que els processos senzills estan influenciats per poques variables i tenen poques retroaccions, per tant també són menys persistents i més inestables. Les formes amb moltes rèpliques i més retroaccions augmenten la seva persistència i suporten millor canvis dins el gradient energètic o l'estat ambiental del medi. Les retroaccions estabilitzadores són el vertader *yin yang*, les forces oposades i complementàries. La multiplicació de les formes requereix motlles però els motlles no evolucionen, estan sotmesos a l'entropia convencional expressable en el seu desgast. Moltes rèpliques sotmeses a entropia convencional tendran una variabilitat o mutació (errors). Les rèpliques poden perdre les propietats autopoietiques dins un medi canviant, però si hi ha prou rèpliques diverses, pot haver-hi adaptació d'algunes a l'estat del medi, per tant evolució adaptativa. La variabilitat, o creació aleatòria de diversitat, ha de ser superior als esdeveniments selectius del medi per a evitar l'extinció. Per a mantenir-se dins un sistema obert, dissipatiu i neguentròpic cal mantenir l'originalitat o creativitat.

L'estabilitat no sols implica retroaccions dinàmiques, també proporcionalitat de les parts o harmonia (estabilitat estructural) i proporció en les etapes temporals o ritme (estabilitat morfogènica) (THOM, 1987). A un determinat moment s'assoleix una influència de les formes sobre el medi. Aquesta influència sobre el medi requereix d'aïllament difós o discret. L'atmosfera de la Terra actua de membrana difosa i és d'origen biològic. Les pells i epitelis en general dels organismes són membranes discretes; els teixits romanen dins uns ambients difosos de sèrum fisiològic i plasma químic, que és biòtop de les cèl·lules; les cèl·lules tenen les seves parets i membranes discretes, i els òrgans romanen dins un biòtop protoplasmàtic difós. L'atmosfera manté formes reduïdes com metà o nitrogen que hauria d'estar en forma de nitrats, mentre que altres planetes semblants a la Terra són químicament

equilibrats. L'atmosfera és la primera membrana difosa i totes les altres igualment formen un gradient reductor.

Sortir dels marges estrets d'estabilitat és probable que succeeixi quan s'assoleix una certa grandària, o complexitat, o desproporció entre els elements del sistema. La simfonia es transforma en cacofonia, el cosmos en caos. Aquestes reflexions traduïdes al llenguatge de la Teoria General de Sistemes volen dir que la totalitat dels esdeveniments observables exhibeixen uniformitats estructurals i funcionals en els diferents nivells d'organització (les pepes russes) i que són, o podrien ser, expressables com a funcions matemàtiques relacionables (BERTALANFFY, 1976); un gran joc d'al·lometries plàstiques que no sembla raonable ni convenient destructure i que sovint no veiem, avesats com estem des de la ciència a l'anàlisi i al microscopi, deixant sovint la síntesi i el macroscopi (DE ROSNAY, 1977). Resulta tan rellevant en la comprensió dels processos el veure les heterogeneïtats o el que hi ha de diferencial en l'anàlisi com les homogeneïtats o el que hi ha de comú en la síntesi.

Que la vida hagi arribat a aquest nivell de tan alta improbabilitat hauria de ser més que suficient per a justificar la conservació de l'ecosfera amb humans. No obstant això, tot el procés no deixa de ser senzill i tal vegada el que cal és insistir a trobar aquest nombre de regles, que MARGALEF (1991,1997) anomena "principis d'impotència", fora de les quals l'univers físic, i dins aquest, la pròpia vida, explora i evoluciona.

### La informació a l'antroposfera

La supervivència per selecció i cooperació natural depèn de les qualitats i aptituds individuals, però també del desenvolupament d'instints, com el maternal i de protecció en general de les fases infantils en animals més evolucionats i, en espècies gregàries, cal afegir l'aptitud per a crear relacions de cohesió del grup com l'altruisme, el sentit de la injustícia, l'empatia, etc. L'espècie humana també depèn de tot un sistema agrícola i ramader d'espècies domèstiques (les formigues i les formigues blanques també tenen agricultura fúngica i ramaderia d'insectes xupadors) que depenen de nosaltres. Fins i tot, en algunes espècies vegetals, han desaparegut els seus ancestres o els seus dispersors (cacau, mango i fins i tot advocat no tenen dispersadors actuals),, per tant depenen de la humana; i el mateix passa amb moltes espècies animals que, lliurades al seu medi natural, no serien viables. Ara, també sabem que la nostra supervivència depèn d'un engranatge no mecanicista format per la resta de biodiversitat de l'ecosfera; des del fitoplàncton productor de dimetil sulfur, passant per bacteris fixadors de nitrogen, fins a detritívors, sequoies o cucs de terra. I que l'estabilitat climàtica i oceànica depenen del joc entre l'oxidació i la reducció, o la fotosíntesi i la respiració dels organismes vius, d'ara i d'abans. Cal ser altruistes amb la resta de la biosfera per a assegurar egoïstament la nostre supervivència. Això requereix de la comprensió d'aquests processos esmentats i de l'evolució dels valors ètics i estètics de l'espècie humana, o sigui, emocions i sentiments.

Gerogescu Roengen va simplificar l'economia vertadera amb una senzilla expressió de velocitat de consum d'un estoc de recursos natural. L'estoc dividit pel temps és la taxa de consum. Els recursos poden ser materials renovables, energies alternatives (mal anomenades renovables) o recursos recalcitrants, en el sentit de no reciclables ni renovables. La taxa de consum depèn del consum *per capita* i del nombre de persones o població mundial. Finalment, el temps és el grau de sostenibilitat, que pot ser llarg o curt en funció de com es manegi el quocient entre recursos i taxa de consum. Ja sabem que del Segon Principi no en sortirem.

#### *L'estoc de recursos*

Si utilitzem bàsicament l'energia del Sol, (i ho podem fer en la forma fotovoltaica, mecànica, tèrmica o gravitacional amb proximitat a la font i minimitzant transformacions), reciclem els elements materials utilitzant un estoc estable de proximitat i minimitzant el transport i evitem els recursos i energies

recalcitrants i contaminants, estarem “copiant” l'estratègia de sostenibilitat de la Biosfera actual... que no ha donat un mal resultat.

### *La taxa de consum*

La taxa de consum implica la població planetària i el consum *per capita*. Referent a la població, hem d'entendre que no hi ha cap necessitat de crear fills per a la guerra dels recursos; que no es tracta de ser més, sinó millors. No és tan senzill com pareix; estem dissenyats per a reproduir-nos tant com es pugi. L'espècie humana, com les altres, depenia de la seva capacitat reproductiva, per tant, primer hem d'assumir aquest fet natural i actuar contra natura, tal i com fem amb tantes altres coses. En qualsevol cas, quina seria la població mundial òptima sostenible? Jo sols puc dir objectivament que l'actual no ho és i el canvi global n'és l'evidència.

El següent punt és el consum *per capita*, que podem dividir en consum necessari per a una vida digna, consum innecessari per a l'ostentació i altres coses estúpides, i el consum que ens eleva com a persones, o sigui per a la bellesa, la bondat i la saviesa.

També aquí haurem d'actuar contra natura. Estem dissenyats per a menjar fins a l'obesitat en presència de menjar, perquè en condicions naturals no tens mai assegurat el següent àpat, per tant ens havíem d'assaciar al màxim. De la mateixa manera, estem dissenyats per a emmagatzemar estris que ens facilitin la vida i la defensa (una despesa significativa que va des del petit ganivet als teus impostos per a pagar portaavions i què sé jo). Fins i tot, com a recol·lectors estem dissenyats no sols per a recollir fruits, bolets o el que sigui, sinó que el nostre subconscient pot entendre les compres compulsives i innecessàries com a una recol·lecció primària necessària per a la supervivència. Si volem disminuir la despesa innecessària haurem de ser conscients i lluitar no sols contra la propaganda de l'economia consumista sinó contra el nostre disseny natural. No és tan difícil, estem avesats a anar contra natura.

La mateixa ostentació també resulta ser natural. Darwin, que no era gaire darwinista, explica el mal de ventre que sentia quan veia un paó i la seva ostentosa coa, que considerava inexplicable i d'aquí els caràcters sexuals secundaris o la selecció en relació amb el sexe que tant el va preocupar i que actualment han desenvolupat tant R.O. Prum com M.J. Ryan, citats anteriorment.

Quin seria el consum *per capita* òptim i sostenible? Jo sols puc dir objectivament que l'actual no ho és, i a més la iniquitat continua.

### *El temps de sostenibilitat*

El temps de sostenibilitat és el quocient entre l'estoc de recursos, que hem desenvolupat, i la taxa de consum, que hem descompost. Si volem que aquest sistema antròpic i termodinàmicament obert, allunyat de l'equilibri, però estable, persisteixi, sens dubte haurem de canviar. Estem cansats de ser competitiu, tal vegada ha arribat l'hora de ser competents i cooperatiu.

## **Conclusió**

La ciència avisa, però al mateix temps “pitja l'accelerador”, untada per el sistema financer convencional. Aquesta economia internacional o BAU, crea informació i moltes coses bones irrenunciable, però requereix de més recursos dels que disposem i dissipa una enorme i innecessària entropia a una velocitat no assimilable per el Planeta; el Canvi Global és el resultat. Per altre banda oblida que com deien els epicuris, l'objectiu de la vida humana pot ser el plaer (per a tothom) i els millors i vertaders plaers son tranquils, senzills, naturals i barats, lligats a la creació de saviesa, bellesa i bondat. Tal vegada ha arribat l'hora de rebutjar la velocitat (en les rutes turístiques, en el creixement dels conreus, en la realització d'obres etc.), la mobilitat amb mitjans feixucs i d'alta acceleració, el transport horitzontal de llarga distancia, la complexitat innecessària (parafernàlia tecnològica informàtica, burocràcia de tot tipus, etc.), l'ornament desproporcionat (ostentació de tot tipus), la competitivitat,

etc. Cal recuperar el ritme de la Biosfera, que és el del flux d'energia solar que la fotosíntesi entretén en la seva dissipació, recuperar el que Jean Giono anomenà les "riqueses vertaderes" i anar a favor de ser competents i cooperatius com la vida mateixa. Justament aquest és el darrer nivell de complexitat dins la nostra comprensió actual, la simplificació intel·ligent.

### **Post scriptum**

La cooperació natural espontània existeix. El Dr. Antoni Rodríguez Perea, company, amic i col·lega, és una prova inductiva al seu favor. Comprovada per tothom que el coneix.

### **Agraïments**

He d'agrair l'ajuda i correcció de Marta Martínez Mestre.

### **Bibliografia**

- APPLETON, J. (1993): *La estética de la supervivencia. Ecosistemas*, 6: 16-21.
- BASCOMPTE, J., FLOS, J., GUTIERREZ, E., JOU, D., MARGALEF, R., SIMÓ, C. i SOLER, V. (1995): *Orden i Caos en Ecologia*. Editorial Universitat de Barcelona, Barcelona, 248 pp.
- BERTALANFFY, L. (1976): *Teoría General de los Sistemas*. Editorial Fondo de Cultura Económica. México. 311 pp.
- BERTALANFFY, L. (1979): *Perspectivas en la Teoría General de Sistemas*. Alianza Editorial. Madrid. 166 pp.
- CAIRNS-SMITH, A.G. i HARTMAN, H. (1986): *Clay Minerals and the Origin of Life*. Cambridge University Press. Cambridge. 208 pp.
- CHAPMAN, C.R. i MORRISON, D. (1994): Impacts on the Earth by asteroids and comets: assessing the hazards. *Nature*, 40: 33-40.
- DAMASIO, A. (2010): *En Busca de Spinoza*, Editorial Planeta. Barcelona. 382 pp.
- DAMASIO, A. (2018): *Y el Cerebro Creó al Hombre*. Editorial Planeta. Barcelona. 541 pp.
- DE CASTRO, R. (2019): *Reencontrando a Gaia*. Ediciones del Genal. Málaga. 269 pp.
- DE ROSNAY, J. (1977): *El Macroscopio. Hacia una Visión Global*. Editorial AC. Madrid. 289 PP.
- DE WAAL, F. (2019): *El Último Abrazo*. Tusquets Editores. Barcelona. 378 pp.
- DUGATKIN, L.A. (2007): *Que és el Altruismo*. Katz Ediciones. Buenos Aires 271 pp.
- ELLERS, J., KIERS, E.T., CURRIE, C.R. i MCDONALD, B.R. (2012): *Ecological interactions drive evolutionary loss of traits. Ecological Letters*, 15: 1071-1082.
- GUERRERO, R. i BERLANGA, M. (2006): Life's unity and flexibility the ecological link. *International Microbiology*, 9: 225-235.
- GUERRERO, R. i BERLANGA, M. (2009): The evolution of microbial life: paradigm change in microbiology. *Contributions to Science*, 5(1): 12-21.
- LORENZ, K. (1985): *La Otra Cara del Espejo*. Plaza y Janes Editores. Barcelona. 374 pp.
- MANCUSO, S. (2017): *El Futuro es Vegetal*. Galaxia Gutemberg. Barcelona. 237 pp.
- MARGALEF, R. (1978): *Perspectivas de la Teoría Ecológica*. Editorial Blume. Barcelona. 110 pp.
- MARGALEF, R. (1980): *La Biosfera entre la Termodinámica y el Juego*. Ediciones Omega. Barcelona. 236 pp.
- MARGALEF, R. (1991): *Teoría de los Sistemas Ecológicos*. Publicacions Universitat de Barcelona. Barcelona. 290 pp.
- MARGALEF, R. (1997): *La Nostra Biosfera*. Publicacions de la Universitat de València. València. 220 pp.
- MARGULIS, L. (1981): *Symbiosis in Cell Evolution*. M.H. Freeman and Company. New York. 452 pp.
- MARGULIS, L. (1990): Kingdom Animalia: The zoological malaise from a microbial perspective. *Amer. Zool.*, 30: 861-875.
- MARGULIS, L. i SAGAN, D. (2003): *Captando genomas: una teoría sobre el origen de las especies*. Editorial Kairós. Barcelona. 285 pp.
- MICHOD, R.E. i HERRON, M.D. (2006): Cooperation and conflict during evolutionary transitions in individuality. *European Society for Evolutionary Biology*, 19: 1406-1409.
- OPARÍN, A.I. (1970): *Origen de la Vida sobre la Tierra*. Editorial Tecnos. Madrid. 365 pp.



- PRIGOGINE, I. (1983): *¿Tan Solo Una Ilusión?. Una Exploración del Caos al Orden*. Tusquets Editores. Barcelona. 332 pp.
- PRUM, R.O. (2019): *La Evolución de la Belleza*. Editor Ático de los Libros. Barcelona. 452pp.
- RUFFIÉ, J. (1988): *El Sexo y la Muerte*. Editorial Espasa-Calpe. Madrid. 299 pp.
- RYAN, M.J. (2018): *El Gusto por la Belleza*. Antoni Bosch Editor. Barcelona. 286 pp.
- SCHRÖDINGER, E. (1983): *¿Que és la Vida?*. Tusquets Editores. Barcelona. 139 pp.
- SCHRÖDINGER, E. (1983): *Mente y Materia*. Tusquets Editores. Barcelona. 95 pp.
- SZATHMÁRY, E. (2015): Toward major evolutionary transitions theory 2.0. *PNAS* 18, 112 (33): 10104-10111.
- TASSIN, J. (2018): *Pensar como un Árbol*. Plataforma Editorial. Barcelona. 159 pp.
- THOM, R. (1987): *Estabilidad Estructural y Morfogénesis*. Gedisa Editorial. Barcelona. 363 pp.
- VARELA, F.G., MATURANA, H.R. i URIBE, R. (1974): Autopoiesis: The organization of living systems, its characterization and a model. *Biosystems*, 5(4): 187-196.
- WÄCHTERSCHÄUSER, G. (1988): Before enzymes and templates: theory of surface metabolism. *Microbiological Reviews*, 52: 452-484.
- WOLFE, D. W. (2019): *El Subsuelo*. Editorial Planeta. Barcelona. 350 pp.

---

Data recepció: 30.07.21

Data revisió: 15.08.21

Revisió acceptada: 28.08.21

# EL FETITXE ECOTURÍSTIC CAPITAL, TURISME, NATURALES

Antoni Albert Artigues i Macià Blàzquez-Salom

Grup d'Investigació Sostenibilitat i Territori (GIST), Universitat de les Illes Balears,  
Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears)

**Resum:** La subordinació de la natura a la producció de valor fonamenta la seva mercantilització per a l'expansió del capitalisme. La subsumpció formal incorpora inputs de la natura, mentre que la subsumpció real produeix natura, transformant-la convenientment per satisfer la morfologia, ordenació i funcionalització que la converteix en un producte turístic. Aquest procés requereix l'escissió i alienació de la humanitat de la resta de natura. L'ecoturisme embolcalla la natura, els habitants i els turistes amb el vel d'un fetixisme espacial, que emmascara les condicions reals de la seva producció, per convertir els llocs, les gents i les seves produccions patrimonials en un esquer del consum per a l'oci, a la recerca d'un espai paradisiac il·lusori on perseguir la recuperació de la comunió amb l'entorn. L'obtenció de noves plusvàlues, amb la venda de béns-servis transitoris, persegueix així solucionar temporal i espacialment les crisis d'acumulació de capital amb la combinació de (in)satisfacció psicològica i el salvament del capitalisme amb la conservació de la naturalesa.

**Paraules clau:** capital, turisme, naturalesa, Mallorca.

**Abstract:** Nature's subordination to the production of value is the basis of its commodification for the expansion of capitalism. Formal subsumption incorporates inputs from nature, while real subsumption produces nature, conveniently transforming it to fit in with the morphology, regulation and functionalization of a tourism product. This process calls for humanity's removal and estrangement from the rest of nature. Ecotourism wraps nature, the local inhabitants and tourists in a veil of a spatial fetishism, masking the real production conditions and converting places, people and their heritage into bait for leisure consumers in search of an illusory paradise where they can become at one with the environment. By generating new surplus value from the sale of transitory goods- services, a temporary spatial solution is sought to the crisis in capital accumulation through a combination of psychological (dis)satisfaction and nature conservation as a way of rescuing capitalism.

**Keywords:** capital, tourism, nature, Mallorca.

*Presenciando la demolición, una Ceres con la nariz rota  
y el pelo desvaído, veteado de negro el tocado de  
mieses...*

Alejo Carpentier, *Viaje a la semilla* (1944).

*Nasciam frutos enormes, as árvores carregadas desde  
os troncos até os mais altos galhos, cocos de tamanho  
nunca visto antes, a melhor terra do mundo para o  
plantio do cacau, aquela terra adubada com sangue...*

Jorge Amado, *Terras do sem fim* (1943)

## Introducció

Encara que alguns han errat el camí pretenent magnificar i aplicar distància entre geòlegs i geògrafs, quan ens vam incorporar a l'aleshores Departament de Ciències de la Terra vam tenir l'extraordinària sort de trobar a Antonio Rodríguez Perea. Una infinitat d'oportunitats obertes per Antonio, les experiències compartides i el seu infatigable ànim per millorar el que ens envolta han anat forjant una amistat que reclama la nostra participació en aquest merescut i sentit homenatge. Per a això, plantegem aquest "diàleg invisible" en que tractam: les relacions entre capitalisme i naturalesa, el paper del turisme

en el sistema capitalista i el paper del turisme de natura –i més concretament, de l'ecoturisme– en l'alteració del medi natural.

### Capital i natura

Un dels temes centrals en la història del pensament geogràfic ha estat i continua sent la relació entre l'home (social) i el medi ambient (natura). Horacio Capel va assenyalar que ja a Alexander von Humboldt, "... apareix clarament la relació entre grans estructures físiques i activitats humanes" (CAPEL, 1981: 15). Des d'una altra perspectiva acadèmica, el biòleg català Ramon Folch iniciava els seus *Conceptes socioecològics de partida* afirmant que "El territori és una construcció socioecològica. Sobre una matriu biofísica preexistent –i sempre restant– els humans hem aixecat un espai d'artificialitats oportunes, o no tant" (FOLCH, 2003: 19). Per la seva banda, Alfred Schmidt va recordar que Marx, a *Crítica de l'economia política*, considerava que "tota elaboració de la naturalesa només es desenvolupa dins de i mitjançant una determinada forma social" (SCHMIDT, 1977: 91) i abans, a *La ideologia alemanya*, deia que "mentre hi ha homes, la història de la natura i la història dels homes es condicionen recíprocament" (SCHMIDT, 1977: 45).

Vivim el temps en què el capitalisme s'ha expandit en totes direccions "amb l'objecte de reproduir-se quantitativament i qualitativament" (TAGLIAVINI i SABATELLA, 2012: 106), i en aquesta expansió global la unitat natura-ésser humà s'ha trencat greument com a resultat del funcionament mateix del sistema capitalista. Seguint a Neil SMITH (2007), en el capitalisme la producció social de la naturalesa consisteix en la seva mercantilització, que la sotmet al valor de canvi, mentre que és l'origen de tots els valors d'ús. La mercantilització de la naturalesa és possible a partir de la seva objectivació; és a dir, de la seva consideració com externa a la societat, del seu tractament com a dipòsit de recursos (i residus), que proporciona elements –físics, químics, biològics– explotables i transformables en mercaderia a través del procés de treball capitalista. L'externalització de la naturalesa en el capitalisme va facilitar aconseguir, des de la I Revolució Industrial fins l'apogeu dels "30 gloriosos" (1945-1975), les majors cotes de producció i consum massius, però a costa de ser altament destructiu pel medi ambient. A partir de la dècada de 1980, l'anterior antagonisme vers la naturalesa anirà essent substituït per noves vies de capitalització. Llavors és quan el neoliberalisme es constitueix com a projecte i praxi, divers social i geogràficament, de "recuperació capitalista". A partir de llavors, "el que és bo per a la naturalesa, és bo per als negocis".

La globalització com expansió espacial del capitalisme, fins i tot per sobre dels marcs naturals i de les formacions socials precapitalistes, constitueix una solució, en el sentit que dóna al terme David HARVEY (1982; 1989), als excessos de capital sense oportunitats d'inversió rendible (crisi de sobreacumulació). Aquesta solució requereix l'acumulació per desposseïció, és a dir l'acumulació de capital mitjançant l'aplicació de mecanismes depredadors, violents o no. Entre d'altres, consisteix en l'expansió creditícia i del capital financer, la fixació de drets de propietat sobre ecosistemes i la biodiversitat, la privatització de béns i empreses públiques, o la mercantilització de la naturalesa en tota la seva extensió.

A més, l'expansió qualitativa del capitalisme suposa que el capital cerqui de forma constant noves característiques i nous objectes de la naturalesa per incorporar-los al consum mercantil. És a dir, el capitalisme no només inclou la naturalesa sinó que, a més, la subordina a la producció de valor. És el que Neil SMITH (2007) i Noel CASTREE (2008) denominen "internalitzar el medi biofísic com a estratègia d'acumulació" i que suposa afegir a la subsumpció formal de la naturalesa al capital, la seva subsumpció real. A la primera subsumpció, la formal, l'acumulació de capital es produeix facilitant la contínua **subordinació per expansió** dels recursos naturals com "inputs" tal qual disponibles: com ara, d'arbres com troncs i arbres que cal deixar créixer després de l'anterior tala, desplaçant-i ampliant les àrees forestals. Aquesta expansió es fa per via del colonialisme "clàssic" o per la del neocolonialisme de les corporacions transnacionals. En la segona subsumpció, la real, el capital circula **a través** de la naturalesa; no de forma incidental, sinó com una estratègia buscada. D'aquesta manera, és la mateixa naturalesa la que circula a través del capital com a mercaderies de "naturalesa produïda". Seguint amb l'exemple anterior, arbres amb modificació genètica per accelerar el seu creixement i avançar el ritme de tala.

Com també pot ser en forma d'actius financers: crèdits i derivats ambientals, futurs de matèries primeres, etc. A la subsumpció formal, la naturalesa es sotmet com un conjunt exogen de propietats materials; mentre que en la subsumpció real, el capital s'apodera de i produeix la naturalesa.

La constant necessitat d'expandir-se del capitalisme topa, però, amb l'obstacle d'un planeta per definició finit, limitant l'expansió de l'extracció de recursos naturals. La contradicció central del capitalisme ve determinada per la necessitat que té el capital d'augmentar l'apropiació de plusvàlua de la feina, alhora que aquell requereix que una quantitat suficient d'aquesta es destini a la força de treball perquè la producció sigui objecte de consum. A la contradicció primera s'hi afegeix la que James O'CONNOR (1996) va designar com a "segona contradicció del capitalisme". A mesura que es produeix l'expansió de la producció capitalista, augmenta més la pressió sobre els recursos limitats, de manera que els costos de producció tendeixen a augmentar, mentre disminueix la demanda i, finalment, es genera l'estancament econòmic. No obstant això, el capitalisme s'ha obert camí davant d'aquesta "segona contradicció" internalitzant els recursos naturals com a condicions integrals d'una producció capitalista sostenible o "capitalisme verd", que a més impulsi el consum "in situ" i en el moment de la naturalesa. Com per exemple es fa amb el turisme.

D'ençà de l'inici de la crisi financera de 2008, les relacions societat-naturalesa s'han alterat i transformat intensament arreu del planeta, a partir del desplegament de diverses polítiques neoliberals (CORTÉS VÁZQUEZ i APOSTOLOPOULOU, 2019). L'agenda neoliberal entrellaça, d'una banda, pràctiques que tenen objectius centrals en l'economia i la societat, i d'una altra, les que constitueixen la neoliberalització de la naturalesa. Entre les primeres són essencials la liberalització global del comerç i dels fluxos de capitals, la flexibilització-precarització del treball, l'austeritat fiscal i la representació marginal del sector públic en l'activitat econòmica; en particular, en la provisió de serveis fonamentals, adduint una suposada superioritat en eficiència i competitivitat del sector privat. Però el neoliberalisme també és un projecte d'assalt ambiental executat a través de la privatització de béns i de drets prèviament estatals, comunals o simplement "no posseïts", per posar-los a disposició d'inversors de qualsevol lloc. Així es promou la mercantilització de béns i drets abans protegits i ara sotmesos a escala global a les regles del lliure mercat, la desregulació o marxa enrere en la regulació pública del medi ambient, la re-regulació entenent per tal el desplegament de polítiques que afavoreixin les esmentades privatització i mercantilització, i la constitució de mecanismes de governança amb la societat civil, en particular mitjançant la incorporació d'ONGs i fundacions en una esfera negociada amb empreses. En paral·lel vénen impulsant-se modalitats de "capitalisme verd" com preteses sortides a les crisis econòmica i ambiental. La creació de diversos instruments de mercat ambiental (com ara de quotes de carboni, compensacions de protecció de la biodiversitat a canvi de condonació del deute o pagaments per serveis ecosistèmics) se suma a pràctiques conservacionistes públic-privades, que poden atorgar el protagonisme al tercer sector o ser pròpia i directament privades. El resultat és, no només l'extensió quantitativa de la producció capitalista de naturalesa, sinó també un desenvolupament qualitatiu de la mateixa, mitjançant la introducció de nous àmbits d'explotació com, per exemple, els de turisme de natura als quals ens referirem més endavant.

## Capital i turisme

Freqüentment s'addueix, a partir de les informacions estadístiques de la UNWTO, que el turisme és un dels principals subsectors de l'economia mundial. Després de la crisi de 2008, 2019 va ser el desè any consecutiu de creixement en el turisme internacional. Si el 2008 el total d'arribades turístiques internacionals es va calcular en 922 milions, onze anys més tard va arribar als 1.460 milions (UNWTO, 2021), un increment de 58%. Els comptes del turisme internacional, corresponentment, van augmentar un 56,8% entre 2008 i 2019, de 944 mil milions de dòlars a 1.481 mil milions (UNWTO, 2021). Un relat d'èxit que la mateixa font subratlla indicant que el turisme va representar el 2019 un 7% dels ingressos de totes les exportacions mundials (tercera activitat econòmica just per darrere de les exportacions de combustibles –primer ítem– i de productes químics, i superant les del sector automobilístic i dels

aliments), amb la qual cosa el turisme va implicar un 28% dels ingressos mundials d'exportacions de serveis. Entre les grans regions turístiques mundials, la Mediterrània va continuar liderant el creixement en arribades (303.900.000; 20,8% mundial), encara que una mica menys en ingressos (234.400.000.000 dòlars; 15,8% mundial).

Com explicar l'irrefrenable ascens del turisme al món? Els plantejaments acadèmics, encara a l'ús, adopten una perspectiva que posa l'accent en la demanda o alternativament centrada en l'impuls de les organitzacions internacionals del i pel desenvolupament. Encara que són explicacions diferents entre si, no per això són mútuament excloents; mes bé, són discursos que es reforcen mútuament.

Amb l'enfocament de la demanda, el turisme contemporani s'explicaria, particularment d'ençà de 1945, a partir del desig d'un creixent nombre d'individus-clients que aspiren a gaudir d'un lapse espai-temporal de "fugida i desconnexió" de la seva vida quotidiana. Aquest desig s'estimula amb canvis legislatius en les condicions de treball: vacances pagades, reducció de la jornada de treball, relativa disminució de labors físiques i d'altres millores socials. El fordisme satisfia aquesta demanda mitjançant el paquet turístic integrat i de consum de masses. Un producte industrial que s'ha diversificat en el post-fordisme, fent-se mes variat en opcions, ara "més individualitzades".

No ha faltat qui ha considerat que el creixement global del turisme respon, al menys parcialment, a les propostes formulades des de diverses instàncies internacionals (UNWTO, ONU, UNCTAD, OCDE, OMC, Banc Mundial...) en pro d'aquest sector com a estratègia preferent a perseguir l'anomenat desenvolupament econòmic. Aquesta proposició va dirigida en particular a les societats "menys desenvolupades", per tal de fer-les transitar des d'una "economia de plantació" a la del ressort (Pantojas García, 2006).

Alternativament a aquest enfocament neoclàssic, la perspectiva centrada en l'oferta posa l'accent en el gradual desenvolupament d'un "univers" d'agents econòmics, fonamentalment privats, que han anat ocupant tots els graons de la cadena de valor de la producció de l'oci turístic: des de les agències de viatges i touoperadors que capten la demanda/clientela; fins a les diferents companyies de transport –essencialment aeri, però també de creuer, ferroviari i per carretera–; passant pel conglomerat d'empreses d'allotjament turístic-hoteler i d'altres modalitats, que ha evolucionat cap a la seva transnacionalització oligopolística. Evidentment, l'expansió d'aquesta oferta s'ha produït en funció de les expectatives de negoci i guany.

L'anàlisi crítica, radical, del turisme el concep com un mitjà fonamental perquè el sistema capitalista s'expandeixi i resolgui les seves contradiccions internes. Apartant-se dels camins prou solcats per les perspectives "clàssiques-neoclàssiques", el neozelandès Stephen G. BRITTON (1982) va inaugurar la comprensió del turisme en la seva relació amb el capitalisme, explícitament com "*un producte de l'empresa capitalista metropolitana*" (1982: 331). Nou anys més tard, el mateix Britton afirmava que el turisme era el principal component de la internacionalització de les economies capitalistes occidentals (cit. in FLETCHER, 2011). Més d'una dècada després, inaugurada la nova centúria, altres estudiosos, com Raoul BIANCHI (2009), Chris GIBSON (2009) i Robert FLETCHER (2011), han desenvolupat les seves pròpies anàlisis en aquesta mateixa línia crítica.

La mercantilització de l'oci, en general i turístic en particular, constitueix una de les formes a través de les quals el capitalisme pot expandir-se i s'expandeix socialment. D'una banda, penetrant la vida de les persones en el seu temps no-productiu, però reproductiu. D'altra banda transformant i alterant l'espai, a territoris i llocs (MARTÍNEZ, 2018) que eren abans al marge del sistema, per adaptar-los convenientment per a la seva explotació natural i social.

La dinàmica del turisme ha seguit i segueix un desenvolupament paral·lel al del capitalisme, que avança vers tots els racons de la planeta, tal i com va modelitzar Erdmann GORMSEN (1981). El turisme ha estat i continua sent una força de primer ordre en l'expansió espai-temporal del capitalisme, integrant –parcial o totalment– formacions socials senceres: des de les pre-capitalistes "indígenes", fins a diverses de les nominalment autoproclamades "socialistes" com la Xina, Vietnam o Cuba. El capitalisme turístic afegeix a la seva borsa de compra els espais naturals de tota casta; des dels comunals "primigenis", fins als rurals. Així sotmet les seves propietats abiòtiques i biòtiques com a mers recursos –o "inputs"–, per elaborar el "producte turístic", en una subsumpció primerament formal, per llavors

transformar-los convenientment per satisfer la morfologia, ordenació i funcionalització urbana-turística que culmina la seva subsumció real.

La mercantilització de l'oci suposa ampliar el consum en l'esfera de la circulació, incorporant recursos naturals i socials-culturals; patrimoni natural i patrimoni cultural en una terminologia acadèmica estàndard, per fer factible aquest consum ampliat.

El turisme és, segons FLETCHER (2011) i TAGLIAVINI i SABBATELLA (2012), particularment funcional en la dinàmica del capitalisme quan aquest ha d'afrontar situacions de crisi. Seguint els plantejaments generals de David Harvey (1982; 1989) sobre les solucions espai-temporals amb les que superar les crisis de sobreacumulació de capital, certament el turisme contribueix a la recerca i ocupació de noves àrees rendibles per l'expansió geogràfica del capital (YRIGROY, 2015), alhora que possibilita també el desplaçament temporal del capital (YRIGROY, 2019). Així mateix, també disposam de recerques (BUADES, 2006; 2009) que han subratllat el paper fonamental de l'Estat com a col·laborador necessari, a través de mesures de privatització de béns públics i/o de re-regulació pro-privada<sup>1</sup>, per contribuir a aquesta solució espacial que promou el turisme per a superar les crisis de sobreacumulació del capitalisme. En definitiva, el desenvolupament turístic proveeix al capitalisme d'un mitjà per trobar una sortida als excessos de capital i mantenir-se en el temps.

El paper del turisme en la superació de les crisis capitalistes de sobreacumulació és rellevant, en particular quan es tracta de desplaçar geogràficament els mateixos capitals turístics de les àrees anomenades madures cap a d'altres espais que puguin oferir renovades expectatives de rendibilitat, com bé va testificar el desplaçament de les cadenes hoteleres de matriu balear cap a diverses zones del Carib i del sud-est asiàtic des de mitjans de la dècada de 1980 (MURRAY, 2012). Lluny de ser un exemple aïllat, el cas de les multinacionals hoteleres d'arrel balear revela un fons més estructural.

La major part dels béns-serveis<sup>2</sup> que els turistes consumeixen arreu del món són subministrats precisament per un reduït grup de transnacionals interrelacionades entre elles i, de forma cada vegada més intensa, amb el món financer (YRIGROY, 2019). Les multinacionals, també les turístiques<sup>3</sup>, es caracteritzen per la seva provisió global dels factors de producció –matèries primeres, productes semielaborats i components, treball, capital i coneixement– aprofitant els avantatges específiques de cada localització en termes de costos d'adquisició, costos laborals, capacitació professional i connectivitat a les xarxes de transport i comunicacions. Així mateix, en la seva elecció de localitzacions a escala global, les multinacionals del turisme tenen molt presents els avantatges comparatius que poden derivar-se dels diferents marcs de regulació existents entre els diversos territoris: duaners, fiscals, laborals, mediambientals, i també de subvencions i compensacions.

Des de la dècada dels 1950, amb el turisme de masses primer i després amb el turisme post-fordista, les grans corporacions turístiques han demostrat una alta capacitat per modelar, no només els fluxos turístics, sinó també les polítiques econòmiques, laborals, ambientals o territorials en funció dels seus interessos, exercint un considerable poder de negociació davant els poders públics, en les seves diverses escales. Arran de la seva negociació, les administracions proporcionen: facilitats infraestructurals –com ara l'adaptació de vies de transport terrestre, marítim i aeri; millores en connectivitat, logística i provisió d'energia; extensió de sòl suficient a preu "satisfactori"...–, fiscals –rebaixes o exoneració d'impostos, ajudes i subvencions directes, facilitats per a la "repatriació" de beneficis...– i marcs jurídics "segurs", estables en el temps, i "flexibles", és a dir adaptats als seus interessos (ARTIGUES i BLÁZQUEZ, 2019).

En el seu paper de contribució a l'expansió capitalista, les multinacionals turístiques han comptat amb l'impuls i el beneplàcit d'organismes internacionals perquè actuessin com a suposats vectors de

<sup>1</sup> L'informe d'UNWTO de 2009 titulat "*Roadmap to Recovery*" reclamava explícitament "l'eliminació de tots els obstacles al turisme, especialment pel que fa a fiscalitat i a la "sobre-regulació" (citat a FLETCHER *et al.* (2019): 1749).

<sup>2</sup> La noció de "continuum be-servei" prové dels estudis de mercat. Un tractament d'aquest tema pot consultar-se a <http://www.bms.co.in/explain-the-goods-service-continuum/>.

<sup>3</sup> Per exemple, el major operador turístic mundial, el grup TUI PLC, posseeix aproximadament 3.500 agències de viatges, set línies aèries amb 155 avions, 10 vaixells de creuer, una dotzena de cadenes hoteleres repartides en 28 països amb una oferta de 285 hotels i més de 163.000 llits, i una força laboral de 48.000 treballadors (ARTIGUES i BLÁZQUEZ, 2019).

desenvolupament, a canvi de la seva contractació dependent, així com del suport efectiu del poder de l'Estat com a vector geo-estratègic davant de possibles influències anti-capitalistes (BUADES, 2009).

Seguint l'exposat en termes generals per Ricardo MÉNDEZ (1997), la geografia de l'expansió turística capitalista ha evolucionat des de la difusió per contigüitat –amb la instal·lació en els territoris més pròxims (per exemple, des de les Balears cap a les Canàries)–, vers un esquema de cada vegada més dispers, que ha assolit la seva plenitud amb la difusió jeràrquica des dels enclavaments més desenvolupats, però de costos creixents, cap a les destinacions emergents, "en vies de desenvolupament" (o "menys desenvolupades"), que ofereixen presumptes "béns naturals gratuïts" i costos substancialment inferiors. En definitiva, l'expansió turística es fonamenta en i reforça la geografia desigual del capital: espais centrals de direcció i gestió, a més de mercats-clients principals, que integren i dominen les perifèries productives a partir de l'oferta de medi natural i de treball turístic (MURRAY, 2021).

Però aquesta expansió capitalista del turisme s'ha frenat, externa i abruptament. Recordant una vella i popular *guaracha* de Carlos Puebla, ara es pot dir que "*Aquí pensaban seguir /ganando el ciento por ciento / con casas de apartamentos / y echar al pueblo a sufrir. / Y seguir de modo cruel / contra el pueblo conspirando / para seguirlo explotando.../y en eso llegó...*" el Covid-19 i "*Se acabó la diversión,...y mandó parar*". El confinament s'ha imposat a la mobilitat i el resultat –provisional– ha estat l'ensorrament turístic. Les grans corporacions (i les petites empreses i molts treballadors dependents) pressionen perquè els Estats reactivin el cicle aturat. Aparentment sense haver pres nota del que va passar amb l'encara molt propera (i present) crisi de l'any 2008, tornen les veus que reclamen fons públics per als rescats empresarials, reprenent el conegut plany de "socialitzar pèrdues i privatitzar guanys". Aquella **Era de la Incertesa** de què va parlar GALBRAITH (1981), ara la llegim en versió ampliada i renovada; probablement –com sempre–, les nuvolades s'escampin i seguirem avançant, de la mà d'una nova ronda d'acumulació, cap a la propera crisi.

## Turisme i naturalesa

L'expansió global contemporània del turisme té, cada vegada més, un dels seus eixos principals en la pluri-modal manifestació del "turisme de natura". Dos indicadors a l'ús així ho confirmen: el 2018 –just abans de la pandèmia de Covid-19–, el turisme de natura va suposar el 4% del PIB turístic mundial –uns 343.600.000.000 de dòlars– i va donar ocupació, directa i indirecta agregades, a 21,8 milions de treballadors a tot el món. Xifres, sense cap dubte, importants però amb un repartiment continental bastant concentrat: a l'Àfrica el "turisme de vida salvatge"<sup>4</sup>, en 2018, va representar un 36,3% el total en aquest continent, i a Amèrica Llatina va significar un 8,6%.

Tot i que la perspectiva acadèmica més ortodoxa centra el turisme en els elements "viatge" i "estada" (a URRY (2004), pot llegir-se, fins i tot, que el viatge és "l'essència del turisme"), no és menys cert que els recursos territorials, tant els que constitueixen el patrimoni natural com els de l'herència sociocultural, constitueixen el veritable punt de partida; és a dir, són la matèria primera que, convenientment transformada, dona lloc al producte turístic i sense la qual no hi ha experiència turística. Aquesta centralitat real del medi natural en el turisme (inherent, d'altra banda, a qualsevol ocupació i transformació humana històricament concreta de l'espai) s'oculta, tant a l'acadèmia com en el negoci, sota les designacions de múltiples ofertes turístiques, des de la dominant i cent vegades repetida turisme de sol i platja fins a les més postmodernes i postfordistes de turisme d'aventura, turisme excursionista, turisme de muntanya, turisme blau, o ecoturisme. Una mistificació que, amb molt d'encert, Ojeda (2019) explica aplicant el concepte marxista de fetitxisme: "*...la transformació de les relacions humanes i el producte del treball humà en objectes, experiències i persones que són comprades i consumides en desconnexió amb les relacions i els contextos en què es van produir*" (OJEDA, 2019: 463).

<sup>4</sup> Les xifres que reportem procedeixen de WTTC (2019) i es refereixen a allò que el document anomena "wildlife tourism", una noció una mica més restrictiva que l'anomenat "turisme de natura" i més laxa que l'ecoturisme.

La naturalesa, en el turisme, és un fetitxe. No obstant això, com en l'aprenent de bruixot de Goethe (i de Paul Dukas), la relació entre el novici -turisme- i l'objecte encisat -natura- resulta altament problemàtica. Tot i que els promotors internacionals (i nacionals), institucionals (i empresarials) han renovat aquell discurs segons el qual el desenvolupament turístic era una "promesa de benestar que s'aboca al llarg i ample –*spillover effect*– i de dalt a baix –*trickle down effect*–", ara com a promissori enginy que ha de permetre assolir el desenvolupament sostenible, la realitat de la naturalesa és obstinada. Un turisme, voraç consumidor d'energies fòssils, és responsable d'entre el 5 i el 8% de totes les emissions mundials de CO<sub>2</sub> (LENZEN *et al.* 2018 citat a MÜLLER *et al.*, 2021),<sup>5</sup> percentatge del qual tres quartes parts correspon al transport/viatge i un cinquè a l'allotjament/estada (Alba Sud *et al.*, 2017). L'emergència climàtica fa, a més, que el turisme hagi d'enfrontar-se, en un efecte retorn, als impactes directes i indirectes, com ara l'alteració dels "actius" ambientals, estacionalitat i destinacions modificades, danys en infraestructures, etc. El turisme centrat en la mar i els espais litorals representa aproximadament un 80% del turisme mundial i és un contribuent net a la contaminació marina, causant, com en la trajectòria del bumerang, de la pèrdua de la biodiversitat aquàtica (segons el *Living Planet Report 2018* de la WWF, ha desaparegut el 60% de les espècies animals entre 1970 i 2014 (citat a MÜLLER *et al.*, 2021)), la modificació a la llarga irreversible de platges i línies de costa i la salinització dels aqüífers. Tantes i tan greus col·lisions entre turisme i natura que s'han d'explicar.

En la mesura en que el turisme es planteja com la comercialització d'una experiència –tanmateix subjectiva–, que adquireix el subjecte-turista quan compra els serveis d'un proveïdor, sempre es necessita una base material transformada/produïda. És a dir, el turisme funciona com a procés de turistització<sup>6</sup> d'un lloc/destí i d'una gent/societat receptora que l'habita amb les seves produccions patrimonials. Turistitzar és el procés que se segueix mitjançant un conjunt de transformacions de l'espai i de la vida –natural i social– perquè siguin funcionals en l'acumulació capitalista (CAÑADA, 2017) operada a través de la "indústria sense xemeneies".

La producció de l'espai turístic implica sempre l'apropiació dels recursos naturals i socials (aigües –dolces i/o salades–, terres –fèrtils o ermes–, boscos, pastures, matollars, ciutats...), bé pels mecanismes del lliure mercat, bé pels canvis normatius i de planejament, o recurrent a la violència, sense que això signifiqui que siguin camins excloents entre si.

Quan ha tingut lloc l'apropiació de la territorialitat preexistent (CAÑADA, 2017) es desplega la producció de la territorialitat turística. Aquesta producció social de l'espai utilitza el dret de propietat, les regulacions (quan n'hi ha) dels usos de terra, la delimitació d'itineraris i de tancaments (DEVINE i OJEDA, 2017), la dotació d'allotjament, infraestructures i equipaments, etc. En suma, defineix què s'inclou (i fins a quin punt) com a objecte de desig turístic i amb quin preu, i per tant, qui hi té i qui no accés, o qui és i qui no és turista.

Mentre la producció turística té lloc considerant la naturalesa com inesgotable i externa, esqueixada de l'actuar i l'esdevenir dels humans, la segona contradicció del capitalisme s'extrema. De cada vegada es redueixen més els recursos naturals, que són realment limitats, al mateix temps que les seves rendes augmenten; la qual cosa incrementa els costos de producció, fa que l'alça dels seus preus faci minvar la seva demanda i s'amenaci el creixement econòmic (FLETCHER, 2011). Arribats a aquest punt, la turistització ha de seguir endavant internalitzant els recursos naturals com a condicions essencials de producció i gestionar-los perquè la seva explotació sigui "sostenible" (perquè pugui mantenir-se en el temps), per tal de "... salvar el capitalisme fent negoci amb la conservació de la naturalesa" (MÜLLER i BLÁZQUEZ, 2020: 198).

L'extracció de recursos naturals va ser, i continua sent, coetània i compatible amb la formació de "reserves i parcs" de naturalesa, on es preserven fragments de naturalesa sense qüestionar el fons de la producció capitalista d'espai. Els parcs pioners de Yellowstone (1872) i Yosemite (1890) es van

<sup>5</sup> D'acord amb d'altres fonts, el percentatge atribuïble al turisme és del 8% (LENZEN *et al.* citat a MÜLLER *et al.*, 2021).

<sup>6</sup> Empram aquest neologisme, així com el verb turistitzar, justament per expressar "fer turístic" i diferenciar-ho, com es proposa en <https://www.fundeu.es/recomendacion/turistificacion-neologismo-valido/>, de turistificació, un altre neologisme de l'anglès *touristification*, que es reservaria si és el cas per al·ludir als efectes i impactes de l'activitat turística.



crear en ple avanç de la "conquesta de l'Oest". Els primers parcs espanyols de Covadonga i Ordesa (1918), es declaren quan en l'alta muntanya s'impulsava una política de pantans artificials i producció hidroelèctrica. I el primer *parc natural* de Mallorca (S'Albufera d'Alcúdia, 1988), quan la pressió urbanoturística, literalment, ja envoltava aquella àrea de l'illa exemple mundial del "turisme de sol i platja". Era i és un "conservacionisme rígid" (BÜSCHER i FLETCHER, 2014), que requereix la intervenció directa de l'Estat com a gestor de les contradiccions del desenvolupament capitalista. Un capitalisme que, mentre explota tots els espais del planeta, no té un greu inconvenient en protegir certes àrees com a compensació (MÜLLER *et al.*, 2021).

Des de la dècada de 1980, abunden de cada vegada més els testimonis del sotmetiment al pensament i a la praxi neoliberals del treball i l'ocupació, la provisió de benestar (salut, educació, habitatge ...), la política industrial o el comerç. Així es presenten les variades manifestacions del mateix projecte de recuperació-reconversió del capitalisme, que suposa l'expansió sense barreres del lliure mercat. No es tracta només del triomf i del triomfalisme del mercat com a mecanisme d'assignació de tots els recursos i béns, i la corresponent reconfiguració dels límits entre mercat, estat i societat civil; sempre en favor del primer amb el suport del segon, per davant de l'última. També consisteix en l'impuls de nous capitalismes verds, consistents en maquillatges de *green branding* i hipòcrites responsabilitats socials corporatives (BUADES, 2010).

En aquest context, el turisme contribueix amb la producció de destinacions ficticiament paradisiàques i modalitats de suposat baix impacte, que fins i tot ajuden a la conservació ambiental i beneficien les comunitats locals (OJEDA, 2019). D'entre totes les opcions de "viatge a la trobada del que és natural" (FLETCHER, 2011), l'ecoturisme mereix, per moltes i diverses raons, ser examinat en particular.

L'ecoturisme s'ha promocionat com l'opció turística més concordant amb les pautes del desenvolupament sostenible, segons es van establir a l'anomenat Informe de la Comissió Brundtland de 1987 i a la no menys esmentada Címera de Rio de 1992. Des de llavors, ha comptat amb el suport explícit d'institucions internacionals (ONU), institucions financeres, organitzacions no governamentals del més variat tenor, acadèmics, empresaris i comunitats locals. Fins i tot, Nacions Unides va promulgar l'any 2002 com a Any Internacional de l'Ecoturisme. Molts i molt diferents actors reunits al voltant d'una alternativa que, nominalment, es pretén responsable, en pro de la conservació mediambiental i del benestar de la població receptora. Tot plegat, el que faria d'ella una opció superior al vell turisme de masses, perquè ve a compensar els nombrosos impactes negatius d'aquell i constituiria una estratègia *win-win* (MÜLLER *et al.*, 2021), on tots els actors guanyen alguna cosa, però sense qüestionar la desigualtat. D'aquesta sort, l'ecoturisme és una modalitat en ràpid creixement. El 2004, la UNWTO va informar que seguia un ritme tres vegades superior al conjunt de l'activitat turística (citat a FLETCHER, 2011). Es planteja que l'ecoturisme podria, fins i tot i en certes circumstàncies, contribuir a l'empoderament autogestionat en algunes comunitats i servir d'aquesta manera a la justícia socioespacial; com ara en el cas de l'anomenat turisme de base comunitària o turisme rural comunitari.

No obstant això convé no perdre de vista que l'ecoturisme ha sorgit com una "tercera onada del desenvolupament turístic, connectada amb el capitalisme global" (Urry citat en FLETCHER i NEVES, 2011: 63). L'ecoturisme –si més no el majoritari i "no comunitari"– és també una de les vies a seguir per solucionar les contradiccions inherents al procés d'acumulació capitalista, en la mesura que incorpora els principis del lliure mercat i la desregulació en el govern dels recursos naturals, posant-los sota la decisió d'actors no estatals que se'ls apropien privadament i els comercialitzen com a "producte turístic alternatiu".

És evident que amb l'ecoturisme s'abandona la producció extractivista que arrenca els recursos *externs* de la natura i els transforma en mercaderies, que han de transportar-se als mercats de consum. Per contra, l'ecoturisme *internalitza* la naturalesa per produir in situ el valor i desplaçar els consumidors del punt de producció, on paguen per interactuar amb els recursos abans no valorats monetàriament. L'ecoturisme és l'epítom de l'estratègia que consisteix en desviar excedents de capital cap a espais poc o gens mercantilitzats i en els quals ara obtenir noves plusvàlues; ajustant-se a la definició d'una solució espacial, en termes harveynians. Donat que el contacte amb la naturalesa es consumeix en el mateix

instant, es ven un bé-servi transitori; per la qual cosa l'ecoturisme ofereix, a més, una solució temporal a través de la reducció al mínim temps de rotació per recuperar el capital invertit.

L'ecoturisme pretén oferir la doble il·lusió de mantenir l'acumulació sense fi i, alhora, facilitar el consum sense conseqüències. Però, en termes reals i malgrat les seves repetides advocacions com a fórmula per a la conservació de la natura i per aconseguir el desenvolupament econòmic-social, l'ecoturisme proporciona un "no desenvolupament", consistent en l'exclusió d'aquells canvis que poguessin malmetre el paisatge idealitzat que constitueix el seu reclam de venda. D'altra banda, lluny de ser innocu, l'ecoturisme depèn, en la seva geografia desigual de producció i consum del Centre a la Perifèria, del transport aeri de llarga distància, amb tota la seva càrrega de petjada climàtica<sup>7</sup>. De fet, l'ecoturisme crea les seves particulars "bombolles turístiques", aïllant i enfosquint els efectes ambientals i socials que contradiuen la imatge virtuosa que els seus promotors precisen i publiciten.

Els promotors turístics, que busquen la capitalització del medi natural, troben en l'ecoturisme una de les palanques amb què desplaçar la conservació ambiental de la banda de l'obtenció de guanys. Aquest procediment, en condicions normals, s'aconsegueix aplicant els mecanismes de lliure mercat sancionats amb el legal dret a la propietat privada. Però, de vegades, "on no n'hi ha prou amb la llei, s'hi arriba amb la força" i quan la mercantilització de la naturalesa no pot solucionar-se mitjançant la "simple" desposseïció –pel tancament privat de terres, aigües, boscos o platges–, llavors el capital ecoturístic, en aliança amb l'Estat, recorre a la "desposseïció violenta", militaritzant els espais naturals i expulsant als residents. Així ho ha testimoniado DEVINE (2017: 638) a la regió nord guatemalenc (inclosa al projecte "Biosfera Maya"), fent-se a més ressò de situacions similars a Colòmbia, Mèxic o Sud-àfrica.

Encara més enllà d'això, l'ecoturisme no només desposseeix, sinó que també esborra i redefineix la població resident en les seves relacions amb la naturalesa i en la seva capacitat autònoma per decidir la seva forma de vida (DEVINE i OJEDA, 2017: 609-610). Així és com l'ecoturisme ho embolcalla tot –la natura– i a tots –els habitants del lloc i, en un altre sentit, els turistes– amb l'espèl vel d'un fetitxisme espacial; el fetitxe de la creació d'un espai paradisiac il·lusori, desconnectat de les condicions reals de la seva producció (ARTIGUES i BLÁZQUEZ, 2016; OJEDA, 2019). El rerefons mercantil de l'ecoturisme interpel·la, no sempre dissimuladament, els estats afectius del visitant vinculant-los a l'aire lliure, la bona vida del bon salvatge, comunió amb la naturalesa; en el que FLETCHER i NEVES (2012) anomenen "solució psicològica" aportada per aquest turisme.

La fugida al paradís, mitjançant la seva recuperació transitòria en el viatge a la destinació ecoturístic, es fonamenta en la desigualtat i en la privatopia; tota ella emmascarada amb l'imaginari occidental consumista (ARTIGUES i BLÁZQUEZ, 2016). Així es conforma un embolcall fetitxitzant d'una pluralitat d'imatges adreçades a l'ocultació de la seva finalitat primordial, que és la mercantilització de la naturalesa i de la humanitat. Així, els espais ecoturístics són físicament illes (les Desertas i les Selvagens de l'arxipèlag de Madeira, la cubana de la Juventud, la maia de Mujeres, la de Pasqua, o els arxipèlags de les Galápagos i de Fernando de Noronha) o es presenten com tals (Monteverde [CR], Tulum [Mex], Ciudad Perdida de la Sierra Nevada de Sta. Marta [Col], o Canela i Chapada Diamantina [Br]); per tal de mostrar-les com "aïllades" dels horrors i dels errors de la civilització capitalista. Així es construeix un imaginari estandarditzat de clares aigües turqueses, sorres blanquíssimes, densa vegetació, animals exòtics, dones semi-nues o abillades amb vestits folklòrics i homes musculosos i somrients; tot amanit, quan és possible, amb una mica d'arqueologia i antics ritus escenografiats. Vet aquí la "...recurrent geografia de llocs remots, encara per descobrir" (OJEDA, 2019: 465).

En aquesta hora greu de la pandèmia de Covid-19<sup>8</sup> i de l'aprofundiment i l'extensió de les crisis ambientals, potser, la reflexió hauria de portar-nos a plantejaments que superin les escissions mercantils que el turisme, inclòs l'anomenat "de natura", estableix entre els ecosistemes i les societats.

<sup>7</sup> Encara que l'impacte ambiental del transport aeri és difícil d'avaluar amb precisió, es calcula que un vol Frankfurt-l'Havana representa, suposant un nivell de 110 g/km/pax, 0,89 Tm d'emissions de CO<sub>2</sub>/passatger; o un vol Londres-Cancún, 0,87 Tm d'emissions de CO<sub>2</sub>/passatger.

<sup>8</sup> A les 19:35 (hora local) del 8-06-2021, 3.739.884 morts i 173.738.634 casos a tot el món segons el COVID-19 Dashboard de l'CSSE a la Johns Hopkins University, consultat a <https://www.arcgis.com/apps/dashboards/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6>

Abordar l'horitzó d'un decreixement just, com proposen MÜLLER *et al.* (2021), mitjançant propostes com: enfortir els viatges de proximitat, obrir la gestió dels espais naturals i artificials a la participació col·lectiva –i restringir la de les transnacionals del turisme–, finançar els àmbits de recreació natural amb fonts locals –i sostreure'ls dels inversors globals–, restaurar les connexions respectuoses amb el medi ambient i avançar en la justícia socio-espacial. Potser i per començar, cal "qüestionar algunes idees que es tenen sobre el que és la felicitat i com s'aconsegueix", en paraules d'Horacio Capel (BENACH i CARLOS, 2016: 230).

## Agraïments

Aquesta publicació contribueix als projectes: "Overtourism in Spanish Coastal Destinations. Tourism Degrowth Strategies" (RTI2018-094844-B-C31) i "The urban conflict in the spaces of reproduction. Housing as a scene of social conflict" (RTI2018-094142-B-C22), finançats per: MCIN/AEI /10.13039/501100011033/ i per FEDER "Una manera de fer Europa."

## Bibliografia

- ALBA SUD *et al.* (eds.) (2017): *Transforming tourism. Tourism in the 2030 agenda*. Metchild mauer, Berlí.
- ARTIGUES, A. I BLÁZQUEZ-SALOM, M. (2016): Huidas al paraíso y la realización mercantil del sueño. In: BENACH, N., ZAAR, M. i VASCONCELOS, M. (eds.) *Actas del XIV Coloquio Internacional de Geocrítica. La utopía y la construcción de la sociedad del futuro*. Universitat de Barcelona, Barcelona.
- ARTIGUES, A. i BLÁZQUEZ-SALOM, M. (2019): Empresas multinacionales turísticas. In: CANYADA, E. i MURRAY, I. (eds.): *Turistificación global. Perspectivas críticas en turismo*. 199-224. Icaria, Barcelona.
- BIANCHI, R. (2009): The "critical turn" in tourism studies: a radical critique". *Tourism geographies*, 1, 14: 484-504.
- BENACH, N. i CARLOS, A.F.A. (eds.) (2016): *Horacio Capel. Pensar la ciudad en tiempos de crisis*. Icaria, Barcelona.
- BUADES, J. (2009): *Do not disturb Barceló. Viaje a las entrañas de un imperio turístico*. Icaria, Barcelona.
- BUADES, J. (2010): Turismo y bien común: de la Irresponsabilidad Corporativa a la Responsabilidad Comunitaria. *Opiniones en desarrollo. Programa Turismo Responsable*, 7.
- BUADES, J. (2014) [2006]. *Exportando paraísos. La colonización turística del planeta*. Alba Sud, Barcelona.
- BÜSCHER, B. i FLETCHER, R. (2014): "Accumulation by conservation". *New Political Economy*, 20, 2: 273-298.
- BRITTON, S. (1982): "The political economy of tourism in the Third World". *Annals of Tourism Research*, 9: 331-358.
- CAÑADA, I. (2017): Implicaciones socioambientales de la construcción del espacio turístico. Alba Sud, investigació i comunicació per al desenvolupament.
- CAPEL, H. (1981): *Filosofía y ciencia en la Geografía contemporánea. Una introducción a la Geografía*. Barcanova, Barcelona.
- CASTREE, N. (2008): Neoliberalising nature: the logics of deregulation and reregulation. *Environment and Planning A*, 40: 131-152.
- CORTÉS VÁZQUEZ, J.A. i APOSTOLOPOULOU, I. (2019): Against neoliberal natures: environmental movements, radical practice and "the Right to Nature". *Geoforum*, 98: 202-205.
- DEVINE, J. (2017): Colonizing space and commodifying place: tourism's violent geographies. *Journal of Sustainable Tourism*, 25, 5: 634 -650.
- DEVINE, J. i OJEDA, D. (2017): Violence and dispossession in tourism development: a critical geographical approach. *Journal of Sustainable Tourism*, 25, 5: 605-617.
- FLETCHER, R. (2011): Sustaining Tourism, Sustaining Capitalism? The Tourism Industry 's Role in Global Capitalist Expansió ". *Tourism Geographies*, 13: 3, 443-461.
- FLETCHER, R. (2019): Ecotourism after nature: Anthropocene tourism es a new capitalist fix. *Journal of Sustainable Tourism*, 27: 4, 522-535.
- FLETCHER, R. i NEVES, K. (2012): Contradictions in Tourism: the promise and pitfalls of ecotourism es a manifold capitalist fix. *Environment and Society: Advances in Research* 3: 60-77.
- FLETCHER, R., MURRAY, I., BLANCO-ROMERO, A. i BLÁZQUEZ-SALOM, M. (2019): Tourism and degrowth: an emerging agenda for research and praxi. *Journal of Sustainable Tourism*, 27, 12: 1745-1763.

- FOLCH, R. (coord.) (2003): *El territorio como sistema. Conceptos y herramientas de ordenación*. Diputació de Barcelona, Barcelona.
- GALBRAITH, J.K (1981): *La era de la incertidumbre*. Plaza y Janés, Barcelona.
- GIBSON, C. (2009): Geographies of tourism: critical research on capitalism and local livelihoods. *Progress in Human Geography*, 33, 4: 527-534.
- GORMSEN, E. (1981): The spatio-temporal development of international tourism. Attempt at a centre periphery model. In: Union Geographique Internationale (ed.): *La Consommation d'espace par le tourisme et sa preservation*. 150-170. entre des Hautes Etudes Touristiques (CHET), Aix-en-Provence.
- HARVEY, D. (1982): *The limits to capital*. University of Chicago Press, Chicago.
- HARVEY, D. (1989): *The condition of postmodernity: an inquiry into the origins of cultural change*. Blackwell, Londres.
- HARVEY, D. (1993): The nature of environment: the dialectics of social and environmental change. *The Socialist Register*, 29: 1-51.
- HARVEY, D. (2014): *Diecisiete contradicciones y el fin del capitalismo*. Traficantes de Sueños, Madrid.
- MARTÍNEZ GUTIÉRREZ, E.M, (2018): Reflexividad urbana y mirada turística: sobre la producción y el consumo de los espacios urbanos. *OBETS, Revista de Ciencias Sociales*, 13-1: 355-381.
- MÉNDEZ, R. (1997). *Geografía económica. La lógica espacial del capitalismo*. Ariel, Barcelona.
- MÜLLER, N. i BLÁZQUEZ-SALOM, M. (2020): L'ús públic en la custòdia de territori. ¿Cap a un domini d'interessos privats?. In PONS, G.X., BLANCO-ROMERO, A., Navalón-García, R., Troitiño-Torralba, L., Blázquez-Salom, M. (eds.): *Sostenibilitat turística: overtourism vs undertourism*, *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 31: 197-208. Societat d'Història Natural de les Balears, Palma.
- MÜLLER, N., BLÁZQUEZ-SALOM, M. i FLETCHER, R (2021): "Ecoturismo de proximidad: la apuesta de convivencial". In: CAÑADA, E. i IZCARA, C. (eds.): *Turismos de proximidad. Un plural en disputa*. Icaria, Barcelona.
- MURRAY, I. (2012): *Geografies de l'capitalisme balear: poder, metabolisme socioeconòmic i petjada ecològica d'una superpotència turística*. Tesi doctoral. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, Palma.
- MURRAY, I. (2021): La quiebra del turismo global. In: *La cara oculta del turismo. Reflexiones desde colectivos sociales ante la reactivación del turismo post-COVID*. CGT-Baladre-Ecologistas en Acción, Madrid.
- O'CONNOR, J. (1996): Las dos contradicciones del capitalismo. *Ecología Política*, 12: 111-112.
- OJEDA, D. (2019): La playa vacía, el bosque exuberante y el otro exótico: herramientas para el análisis crítico del turismo de naturaleza. In CAÑADA, E. i MURRAY, I, (coord.): *Turistificación global. Perspectivas críticas en turismo*. 463-473. Icaria, Barcelona.
- PALAFOX MUÑOZ, A. (2017): Turismo e imperialismo ecológico: el capital y dinámica de expansión. Prefacio para su análisis, *Ecología Política*, 52: 18-25.
- PANTOJAS GARCÍA, I. (2006): De la plantación al resort: El Caribe en la Era de la Globalización. *Revista de Ciencias Sociales (UPR)*, 15: 82-99.
- SCHIMDT, A. (1977): *El concepto de Naturaleza en Marx*. Madrid. 2a. edició. Siglo XXI, Madrid.
- SMITH, N. (2007): Nature as accumulation strategy. *The Socialist Register*, 43: 16-36.
- URRY, J. (2004): *La mirada del turista*. Universidad de San Martín de Porres, Lima.
- TAGLIAVINI, D. i SABBATELLA, I. (2012): La expansión capitalista sobre la Tierra en todas las direcciones. Aportes del Marxismo Ecológico. *Theomai*, 26: 106-126.
- UNWTO (2021): *International Tourism Highlights, 2020 edition*. UNWTO, Madrid.
- WTTC (World Travel and Tourism Council) (2019): *The Economic Impact of Global Wildlife Tourism*.
- YRIGOY, I. (2015). *La urbanización turística como «solución espacial»*. *Agentes, planeamiento y propiedad en la Playa de palma y Magaluf (Mallorca)*. Tesi doctoral. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, Palma.
- YRIGOY, I. (2019): (De)construyendo el vínculo entre hoteles y finanzas desde la economía política del turismo. In: CAÑADA, E. & MURRAY, I. (eds.): *Turistificación Global. Perspectivas críticas en turismo*. 225-240. Icaria, Barcelona.

---

Data recepció: 23.06.21

Data revisió: 05.07.21

Revisió acceptada: 15.07.21



# DUES OROGÈNIES <sup>1</sup>

Onofre Rullan

Grup de Recerca sobre Sostenibilitat i Territori, Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears,  
Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears)

**Resum:** S'analitza, comparativament, la producció de l'espai a Mallorca forjada per dues convulsions socioeconòmiques força transcendents. Per un costat el Big Bang del "paleocapitalisme" que s'inicia amb la definitiva derrota forana de les Germanies (1523) i, per l'altre, la irrupció del model econòmic vinculat al turisme i a l'activitat immobiliària que es desplega a l'illa a partir de la dècada del 1950. Es constaten els paral·lelismes i les diferències entre ambdues transformacions. Tot plegat, per aprofundir en el mecanisme de producció d'espai i plantejar-se com gestionar-lo per prioritzar l'interès general davant d'interessos privats i especulatius.

**Paraules clau:** *producció de l'espai, model econòmic, turisme, activitat immobiliària, Mallorca.*

**Abstract:** The production of space in Mallorca results from two seminal socio-economic convulsions. This paper analyzes both of them. Firstly the Germanies rebellion defeat (1523) that is understood as the Big Bang of 'paleocapitalism' at the Island; and secondly the emergence of the tourism and real estate economic model deployed in the island since 1950. Our analysis front both episodes and show parallelisms and differences between them. All in all, in order to deep in the mechanism of space production and envisage how to manage it in order to prioritize the general interest in front of private and speculative interests.

**Keywords:** *production of space, economic model, tourism, real state, Mallorca.*

*Cuentan que en cierta ocasión comentaron a un filósofo el milagro del martirio de San Dionisio, el cual tras cortarle la cabeza el verdugo, anduvo cuarenta leguas. El filósofo, ante el público expectante, señaló: lo importante y maravilloso no es que anduviera tan larga distancia decapitado; lo verdaderamente importante fue que el santo pudo dar así el primer paso. El resto, en realidad, fue fácil.*

J. M. Soriano (1997)

## Introducció

Cal advertir al lector, per tal de no provocar falses expectatives, que aquest text no va de geologia, va de transformacions socioeconòmiques i territorials. S'usarà orogènesi en sentit metafòric —també per honorar l'homenejat en aquest volum— com a excusa per parlar de dos dels grans canvis que han afectat Mallorca tot produint nous espais. Per tant, es parlarà de producció d'espais atès que s'entén l'espai no només com a geometria, contenidor inert, escenari i llenç en blanc sobre el que la societat s'hi acobla. L'espai és, sobretot, un producte humà fruit de les relacions socials i econòmiques que s'hi han projectat i s'hi projecten.

Efectivament, l'espai no és quelcom aliè als humans que els vengui donat per endavant, l'espai és una producció humana. L'espai és relació social, gradient de preus, previsions i possibilitats urbanístiques, drets de propietat, plans d'expansió empresarials, topografies positives de riquesa i

---

<sup>1</sup> Versió ampliada de la conferència "L'empremta humana a l'entorn de la Ruta de Pedra en Sec" Pronunciada a Palma (19/11/2020) dins la Jornada Tècnica «La ruta de pedra en sec: una visió des de la ciència», organitzada pel Departament de Sostenibilitat i Medi Ambient del Consell de Mallorca [accessible a <https://www.youtube.com/watch?v=vPtU4YchceM>]. He d'agrair a Antoni A. Artigues la lectura del manuscrit d'aquest treball que ha estat clau per a perfilar correctament molts dels conceptes i idees que aquí s'exposen.

negatives de pobresa, emplaçaments amb valors simbòlics, pors i gaudis, indrets que generen atracció i d'altres que generen repulsió... Però tan important com entendre que l'espai és un producte, és adonar-se que les característiques que el defineixen són mutants i que aquests canvis es duen a terme a velocitat molt elevada en comparació, per exemple, amb els canvis que afecten al relleu o al clima. El que avui és desitjat -com la costa turística, les zones rurals o els closos antics de les ciutats- fa dos dies s'abandonava. Això passava quan la costa era improductiva i hi havia amenaces de pirates, el camp es deixava enrere per anar a les ciutats industrioses i els closos antics es degradaven mentre creixien els blocs de pisos amb ascensor dels eixamples. D'aquí que, des de l'obra seminal d'Henri LEFEBVRE (2013 [1974]), continuada per geògrafs com Harvey, Smith o Soja, es parli directament de producció de l'espai. En paraules d'un d'aquests continuadors de l'obra de Lefebvre, David Harvey: "La geografia no són muntanyes, rius i valls, sinó allò que els humans hi projectem"<sup>2</sup>. Una projecció, podria matisar-se, força canviant en el temps.

Si des d'aquest enfocament es vol aproximar-se a la geohistòria de Mallorca, sens dubte hi destaquen dues grans convulsions que han produït diferents espais, dues grans orogènesis seguint amb la metàfora geològica, que han canviat radicalment les condicions de subsistència dels humans que han habitat i habiten a l'illa. Ben segur que no són les úniques, però no seria gens atrevit dir que són dues de les més destacades per tal d'explicar el que s'ha projectat i es projecta sobre les muntanyes, els torrents (ja que no tenim rius) i les valls de la Mallorca del darrer mig mil·lenni.

La primera gran convulsió (segles XV i XVI) feu que, lentament, pagesos i pageses esdevinguessin amos, missatges, jornalers i collidors; en definitiva, que passessin a ser llogaters i assalariats del camp. Aquesta fou la irrupció del que podria anomenar-se el "paleocapitalisme" agrari. La segona orogènia, activa des de la segona meitat del segle XX, ha suposat que aquells amos, missatges, jornalers i collidors passin a ser jardiniers, cambriers, picapedrers i *kellys*, per mor del darrer episodi del capitalisme a l'illa de Mallorca. És cert que, entre i entre, hi hagué una orogènia industrial que finalment seria eclipsada per l'orogènia turística i que l'acumulació industrial significà l'establiment de relacions socials que feren passar d'aquell "paleocapitalisme agrari" al capitalisme modern i que introduí la fonamental relació capital-treball assalariat. La fase industrial de l'economia mallorquina constituí un "bressol" d'acumulació que, amb el temps, havia de facilitar les inversions en espai econòmic turístic. Però, per raons d'extensió, s'haurà d'obviar aquest episodi tot i s'hagi de tenir ben present.

Tornant a la metàfora, cal recordar que les orogènies, tant les geològiques com les socioeconòmiques, no són fenòmens aïllats. Ans al contrari, sempre són manifestacions locals de processos d'abast més general. Si la tectònica de plaques explica les orogènies geològiques, és l'expansió geogràfica dels diferents modes i relacions de producció el que explica les orogènies socioeconòmiques. Mallorca, tot i ser una illa, ja fa segles que no resta aïllada.

### De pagesos a amos, missatges, jornalers i collidors

Sovint és útil començar analitzant el resultat d'un procés per tal d'entendre'l. Com era l'espai resultat d'aquell ja llunyà paleocapitalisme? Per contestar aquesta pregunta serà útil viatjar fins al segle XVII i situar-se entre les dues grans convulsions que aquí es comenten. És aleshores quan Vicenç Mut formà un interessant mapa de Mallorca com a portada del segon volum de la *Historia de Mallorca* publicada el 1650<sup>3</sup>. Aquest mapa, orientat amb el SW a la part superior, juga amb la cita bíblica "*A fructu frumenti, vini et olei*" per diferenciar el Migjorn cerealista, el Pla vitícola i la Serra olivarera (ROSSELLÓ, 2013: 221).

<sup>2</sup> <https://www.lavanguardia.com/lacontra/20190620/463003105468/es-ridicul-que-sigui-milionari-pel-fet-de-tenir-un-pis.html>

<sup>3</sup> Tot i que l'autoria de Mut ha generat algun dubte (ROSSELLÓ & BÄR, 2015: 20). Se'n pot veure una bona reproducció del mapa a [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f4/Vicen%C3%A7Mut\\_Mapa\\_Mallorca1650.jpg/735px-Vicen%C3%A7Mut\\_Mapa\\_Mallorca1650.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f4/Vicen%C3%A7Mut_Mapa_Mallorca1650.jpg/735px-Vicen%C3%A7Mut_Mapa_Mallorca1650.jpg)

Fou Vicenç M. Rosselló Verger qui se n'adonà que el mapa estava identificant i cartografiant la trilogia mediterrània descrita pels geògrafs francesos de principis del segle XX (ROSSELLÓ, 2013: 221) i revaloritzada pels dietistes de la segona meitat del XX. Si aquest mapa va ser el resultat, la resposta, quina havia estat la pregunta?, quin havia estat el procés que conduí a la producció d'aquest espai?

Què representen aquests productes que ja s'havien consolidat al segle XVII? Què vol dir que s'hagués produït un espai agrícola de vinya, cereals i olivars? Doncs l'emergència d'un paisatge agrari pensant amb el blat, un producte bàsic en la cultura alimentària cristiana i que era insuficient per a les necessitats interiors. Això obligava a recórrer a les importacions que es sufragaven amb endeutament i a les vendes d'oli a l'exterior i, en menor mesura, de vi. Tot plegat per contrapesar el dèficit comercial provocat per la carència de blat. Es tracta de tres productes que no es fan malbé a curt termini i, per tant, poden ser inserits dins xarxes comercials de llarg abast. A més a més, el gra, l'oli o el vi es poden fer servir com a renda en espècies en societats poc monetitzades com ja s'havia experimentat a l'antiguitat.

La trilogia mediterrània, per tant, cal convenir que deu el seu èxit a les possibilitats que ofereix per al comerç, més que per les seves qualitats nutricionals. Des de la seva consolidació, aquesta trilogia és completament inserida dins la cultura culinària mediterrània i, de forma directa o indirecta, ha seguit representada sobre les taules tradicionals mallorquines quan, amb independència dels plats que es servien, presidien la taula les olives i el setrill d'oli (serra de Tramuntana), el vi (Pla i Raiguer) i el cereal en forma de pa (Migjorn) (Fig. 1).



**Fig. 1.** La trilogia mediterrània representada sobre les taules tradicionals i el seu desplegament espacial (Fotografia: Onofre Rullan).

Com es produí aquest espai paleocapitalista d'olivars, vinyes i cereals? Quina fou la força impulsora de la primera de les dues grans transformacions? Què hi havia abans de la Muntanya olivarera, el Pla i Raiguer vitícola i el Migjorn cerealícola que mapificà Vicenç Mut? Doncs un espai molt més forestal, menys connectat amb l'exterior, molt centrat en l'autoconsum quan a producció agrària però que, a



partir dels segle XV i XVI, començà a trencar la seva relativa autarquia tot transformant els espais agraris cap a la producció de clara vocació comercial i exportadora. Com començà a erosionar-se aquella llunyana semiautarquia?

Per respondre aquesta pregunta ha de contextualitzar-se el final de la baixa edat mitjana, a les portes del que serà l'edat moderna, amb el renaixement i l'humanisme com a referents culturals i el mercantilisme com a referent econòmic. Ambdues novetats arribaren des de les ciutats-estat de la península itàlica, especialment de Gènova i Venècia. L'entrada a l'edat moderna suposa, entre d'altres, l'expansió del comerç de llarg abast des d'aquestes ciutats que, lentament, desplaçaran el feudalisme gràcies a l'expansió del capitalisme comercial (ARRIGHI, 1999: 107-134). Un comerç que, abans del descobriment sobtat i posterior conquesta d'Amèrica, des de la Mediterrània es dirigia cap a l'est, cap a la llunyana Àsia per la ruta de la Seda.

Aquest flux comercial en direcció est també seduí la corona d'Aragó que, després de les conquestes peninsulars i illenques, girà els seu interès cap a la Mediterrània oriental en el seu anhel de contactar i intercanviar amb les economies asiàtiques que oferien productes amb tant de valor afegit com la seda o les espècies. Però mantenir una xarxa comercial tan extensa té un preu: s'ha de custodiar militarment l'intercanvi comercial i això s'ha de pagar d'alguna forma; bé amb préstecs de la primitiva banca, o bé amb impostos i confiscacions als productors, en aquells moments pagesos i menestrals. La fallida de la banca barcelonesa de finals dels segle XIV (ARRIGHI, 1999: 144), provocada en gran mesura per la insolvència de la corona per fer front a les despeses militars del seu desplegament mediterrani, abocà la monarquia a la pressió fiscal per tal de poder mantenir i fer front als costos de protecció de la seva xarxa comercial mediterrània.

En aquest sentit, les guerres entre Palma i la part forana de Mallorca (MORRO, 2020) són l'expressió del rebuig a l'extracció fiscal a la qual foren sotmesos els pagesos emfitèutics forans i els menestrals de la ciutat per part dels estaments amb interessos comercials gestionats des del port de Palma. Calia abastir-se de blat de fora de l'illa i pagar els costos de protecció militar de les xarxes comercials i, per això, s'havia de "produir un espai" que, arraconant l'autoconsum dels pagesos emfitèutics, fos apte per al comerç exterior i fornís de productes comercialitzables més enllà del reduït mercat interior. La vinya i especialment l'olivar estaven destinats a complir aquest rol.

Dues grans guerres, ambdues amb victòria nobiliària i ciutadana, foren les que consolidaren el canvi de model. La primera durà tres anys (1450-1453) i enfrontà forans, als que s'hi uniren menestrals de la ciutat, i estaments ciutadans; la segona fou de dos anys (1521-1523) i enfrontà menestrals de la ciutat, als que s'hi uniren pagesos forans, i la majoria de nobles ciutadans. La primera, com es veu, va ser una rebel·lió d'origen pagès amb recolzament menestral, la segona fou ja d'origen urbà i menestral amb recolzament pagès. Però en ambdós casos les revoltes foren contra la confiscació de fet que suposava la forta extracció fiscal a que eren sotmesos pagesos i menestrals. Per pagar l'avitualment de blat i el desplegament militar per la Mediterrània s'emetia deute públic, els anomenats censos, que la corona havia de tornar amb fortíssims interessos que, fins i tot, en ocasions eren perpetus. La fallida era qüestió de temps i, per pagar els creditors es va arribar a "privatitzar" la recaptació dels impostos,<sup>4</sup> al temps que s'anaven incrementant per sobre de les possibilitats de pagesos i menestrals. Això és l'anomenat Contracte Sant (1405) que els agermanats aboliren amb l'anomenada Santa Quitació però que fou restablerta i incrementada després de la derrota dels revoltats de 1523.

La definitiva derrota pagesa de la Germania (1523) va accelerar la repressió<sup>5</sup> contra els revoltats: gran part de la pagesia forana i la menestralia així com alguns estaments més insignes que havien simpatitzat amb ells. Els pagesos foren multats i les seves terres sovint confiscades o, en el millor dels casos, seguiren sent sotmesos a una forta pressió fiscal. El resultat final de tot plegat fou que molts

<sup>4</sup> La gestió privada directa de la recaptació dels impostos per part dels creditors fou una pràctica també posada en pràctica a Gènova amb la fundació de la Casa di San Giorgio el 1407 (ARRIGHI, 1999; 138-9).

<sup>5</sup> Molts pagesos forans foren enforcats (penjat a la forca) després de la derrota forana. La toponímia ens ha deixat testimoni de moltes d'aquests forques que, tanmateix, seguiren sent utilitzades fins el 1832 [[http://toponimiamallorca.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=523:ses-forques&catid=24&Itemid=173](http://toponimiamallorca.net/index.php?option=com_content&view=article&id=523:ses-forques&catid=24&Itemid=173)]

pagesos forans es veren abocats a vendre, quan no foren confiscats, les seves propietats rurals foranes que adquirí o confiscà la noblesa ciutadana que havia sortit victoriosa del conflicte. S'ha quantificat en prop de 600, les finques foranes que passaren a mans d'estaments nobles ciutadans, de les quals un 61% eren alqueries assimilables a grans propietats, un procés que es donà en successives onades de desposseïció (JOVER *et al.*, 2019: 3 i 11).

Aquests pagesos desposseïts a l'inici de l'edat moderna havien estat, fins aleshores, pagesos emfitèutics, això vol dir que no eren arrendataris de les terres sinó propietaris del seu dret d'ús (perpetu o a llarg termini) que podien deixar en herència als seus fills o que podien vendre a tercers. Aquest tipus de propietat precapitalista, de fet, estava segmentada entre els titulars del domini útil (els pagesos) i del domini directe (els senyors feudals). Els primers pagaven una renda fixa als segons, satisfeta sovint en espècie, i que no estava sotmesa a cap tipus de variació. En altres paraules, el senyors feudals eren propietaris de la terra i per això en rebien una renda fixa i els pagesos ho eren de l'ús de la terra i per això eren els beneficiaris de la major part de la producció.

A partir del segle XVI, entre d'altres efectes de la derrota forana, la cosa canvia i la noblesa ciutadana es fa també amb el domini útil de la terra i l'emfiteusi comença a ser substituïda progressivament pels contractes d'arrendament. Amb aquests contractes els senyors lloguen la propietat als pagesos, que ara es començaran a dir amos, a canvi d'una renda, satisfeta de cada vegada més freqüentment en metàl·lic. Aquesta renda podrà variar en acabar els contractes i els arrendataris, a diferència del que passava amb el pagesos emfitèutics, no tindran cap dret a seguir amb l'explotació. Arran d'aquest canvi en les titularitats es començarà a parlar de "possessions" (normalment possessions de nobles propietaris ciutadans) en comptes d'alqueries i rafals com es deia fins aleshores. La toponímia, que mai és innocent ni asèptica, també sofrí un canvi radical i és quan es generalitzà l'ús del Son (contracció d'açò d'en) més nom del nou propietari, normalment ciutadà. Aquests nous topònims, desplaçaren la majoria dels que s'utilitzaven fins aleshores, de la mateixa manera que els nous propietaris desplaçaren els vells. En un document del 1511, reproduït per Josep Maria QUADRADO (1986 [1895]: 309-325), es pot avaluar la dimensió dels canvis de propietat des de mans foranes a ciutadanes. Així mateix es poden rastrejar els canvis en la majoria de denominacions de les finques que porten aparellats aquests canvis de titularitats.

Però la repressió i el canvi en el sistema de la propietat que es derivà no fou l'únic que afectà l'illa, el nou sistema generà un important canvi en els productes conrats i en la seva comercialització. A l'edat moderna s'expandeix sobretot l'olivar que ja reflectia perfectament el mapa de Vicenç Mut del 1659. L'oli, des d'aleshores, esdevé la gran base econòmica exportadora (BIBILONI, 1995) que gestionaran els estaments ciutadans moderns amb interessos comercials que s'han fet amb la plena propietat les terres dels emfitèutics forans medievals.

Els canvis en la propietat i els conreus generaren una nova distribució de rols en la producció agrària: els senyors com a plens propietaris residents a Palma, els amos com a arrendataris de les possessions, els missatges com a treballadors fixos de les possessions, els jornalers eren els treballadors temporals de les possessions i les collidores foren les treballadores temporals per a determinades feines agrícoles com la collita de l'oliva (JOVER i PUJADAS-MORA, 2020). S'estaven destruint els mitjans de subsistència de la baixa edat mitjana i s'estaven implantant els de l'edat moderna en un procés clar de proletarització dels treballadors i treballadores agràries. De fet és quan comença a desaparèixer la mà d'obra esclava ja que pot ser substituïda per treballadors i treballadores agraris de salaris baixos (JOVER *et al.*, 2019).

L'adquisició, o confiscació segons els casos, de finques foranes per part dels estaments ciutadans comportà sovint la concentració de la propietat i, consegüentment, un cert grau de latifundització. A l'altre extrem del mapa social, una part important dels desposseïts hagueren d'abandonar les seves antigues terres tot esdevenint captaires i veient-se abocats a la misèria, al bandolerisme o, en el millor dels casos, llogant-se com a missatges o jornalers temporals. Molts pocs pogueren seguir amb les seves explotacions, ara com a amos que arrendaven les possessions als senyors.

El desplaçament de la producció agrària basada en l'autoconsum provocà un excedent de mà d'obra pagesa que, poc a poc, s'anirà concentrant a redós dels pobles que, a partir del segle XVI, en començaren a consolidar. Fins aleshores, les concentracions urbanes fora de la capital eren més aviat minses (LÓPEZ BONET, 2003). Tot fa pensar en una tendència a la concentració des de foravila cap a la

vila, unes concentracions que inicialment s'han d'entendre, en part, com a lloc de refugi dels desposseïts. Des dels pobles podien esperar a ser contractats temporalment a les possessions i podien recol·lectar (caragols, llenya, bolets...), caçar i conrear mínimament en clau d'autoconsum i autosubsistència.

Aquests radicals i violents canvis en l'acumulació de les rendes de la terra és un clar exemple del que, des del marxisme, s'anomena acumulació originària o primitiva<sup>6</sup>. Es tracta d'una separació dels mitjans de subsistència d'una part important dels pagesos forans, d'una confiscació, en aquest cas amb violència. El cas fa entendre l'afirmació de Marx, en parlar de l'acumulació originària al primer tom de *El Capital*, quan proclamà que *La violència és la comare de tota societat vella prenyada d'una nova. Ella mateixa és una potència econòmica* (MARX, 1998 [1867]: 939-940). Aquesta nova societat, on la pagesia haurà de vendre la seva força de treball com a missatges, jornalers o collidors, estava forjant el mercat i la societat capitalista. Així s'ha plantejat des de la història econòmica (JOVER i PUJADAS-MORA, 2020: 40):

*“En la isla de Mallorca a lo largo de los siglos XV y XVI se produjeron intensos conflictos sociales por la posesión de la tierra que cristalizaron en una derrota campesina y una fuerte acumulación de tierras en manos de una nueva aristocracia terrateniente (Tello et al., 2018). Uno de los rasgos originales del desarrollo agrario de la isla fue la intensa transformación de los mercados de trabajo en el siglo XVI con la desaparición de la esclavitud y la creación de un amplio mercado de trabajo asalariado (Jover et al., 2019). El avance de este capitalismo agrario fue más intenso en el sector oleícola como consecuencia de que los predios destinaban sus producciones de aceite a los mercados atlánticos (Bibiloni, 1995).”*

### **D'amos, missatges, jornalers i collidors a jardiners, picapedrers, cambrers i kellys**

Des d'aquella ja llunyana orogènia socioeconòmica que transformà la Mallorca baixmedieval, hi ha hagut moltes altres transformacions que han canviat els mitjans de subsistència dels mallorquins i les mallorquines. En són bons exemples d'aquestes transformacions l'expansió de la vinya, la ramaderia, els ametllers o la patata, unes expansions que es feren a costa (o en competència) del cereal o rompent espais fins aleshores forestals però aprofitats per caça i/o recol·lecció. Per no parlar de la mateixa activitat industrial desenvolupada des del segle XIX (CELA, 1979: 29-62; MANERA, 2001: 195-296) que absorbí recursos humans i naturals (com l'aigua) fins aleshores vinculats a activitats agràries. Tots són bons exemples de transformacions socioeconòmiques, impulsades per les elits econòmiques de cada moment, que produïren espais amb finalitats exportadores i deixaren en un segon pla el mercat interior o la subsistència de la població mallorquina més enllà de la seva necessària reproducció com a força de treball. Però l'anàlisi d'aquestes transformacions ultrapassaria les pretensions d'aquest escrit.

D'entre totes les transformacions econòmiques i espacials que han afectat la Mallorca contemporània cal destacar-ne una que, com la comentada a l'epígraf anterior, es pot titllar de gran orogènia. Ens referim a la irrupció d'activitats turístiques i immobiliàries en les seves diferents modalitats (ARTIGUES, 2006). Tot i que aquests dos tipus d'activitats han tingut algun episodi conjuntural d'interessos suposadament enfrontats, la veritat és que són dues manifestacions de la mateixa orogènesi transformadora de les condicions de vida de la població mallorquina. Un analista econòmic (BARDOLET, 1980: 58), tot referint-se als anys 1969-73, afirmava que:

*“Sólo en Mallorca se calculan unas 6.120 hectáreas de urbanizaciones, que, con unas diferencias de precios entre vendedor propietario primero y usuario de la parcela de 300 pesetas metro cuadrado (...), representaría un capital de cerca de 20.000 millones de pesetas. Este capital no ha beneficiado tanto al primitivo propietario, sino al intermediario y al especulador, que en muchos casos no ha sido residente, y por tanto este capital no se ha invertido en la isla sino en otra parte. A falta de suficientes medios,*

<sup>6</sup> La desposseïció dels pagesos forans, entesa com a l'acumulació originària o primitiva, ja fou plantejada per Gabriel JOVER (1995: 11).

*fueron los T.O. [Tour Operadors] quienes financiaron una parte importante del sector [turístico-inmobiliari] (...) y se aseguraron un control sobre su inversión mediante el sistema de contratación.”*

Sense entrar en la fiabilitat d'aquestes xifres, la citació palesa l'existència de dues situacions diferenciades, per un costat el que anomena com a primitiu propietari i, per l'altre, l'intermediari i l'especulador. Els primers, locals i els segons, normalment, no residents. Conscientment o inconscient s'està dibuixant una certa confrontació d'interessos davant la irrupció del negoci turístic i immobiliari. Com si algú, l'impulsor del nou negoci, anàs a desposseir d'alguna cosa a algú altre, el propietari local dels terrenys. La citació s'oblida de la resta de la gent, treballadors i treballadores locals i forans no propietaris de terrenys. L'oblit segurament s'explica per mor que aquests només eren força de treball que l'havien de vendre al preu que se'ls imposava.

Més enllà dels suposats interessos confrontats, es fa necessari adoptar un enfocament més holístic per tal d'entendre els aspectes territorials que acompanyen les activitats turístiques i immobiliàries. En ambdós casos es tracta de produir un espai que faci possible comerciar amb l'exterior amb el territori com a producte estrella, com abans es va fer amb els olivars i la vinya. En uns casos el territori es llogarà per als curts períodes de temps de les estades turístiques, en altres es vendrà per a urbanitzacions per a compradors estrangers o residents que, directament o indirecta, han guanyat diners amb el turisme. El primer negoci sovint és titllat de productiu ja que "s'elabora" un producte, l'estada turística, que es ven a un preu superior al seu cost de producció. El segon cas sol ser taxat d'especulatiu ja que, a part de la producció de l'edifici, el guany realment interessant ve determinat, sobretot, per la revalorització que s'espera que experimentin les propietats en cicles alcistes. En el primer cas es fa negoci amb el temps de durada de l'estada turística, en el segon amb l'espai i l'entorn construït que es posa en venda.

Tot plegat descriu el que Henri Lefebvre i altres autors marxistes posteriors -especialment David HARVEY (2004 [2003]: 92-97)- anomenaren circuits primari i secundari de capital. El circuit primari acumula excedent produït (oli, sabates o estades turístiques) i venent a preu superior als costos de producció, mentre que el circuit secundari ho fa absorbint l'excedent del circuit primari i invertint-ho en capital fix (ampliacions fabrils, carreteres, aeroports o urbanitzacions) que revaloritza el territori i l'entorn construït cara a la seva venda a mitjà o llarg termini. Això fa possible acumulacions futures per increments del valor dels terrenys i les construccions. El negoci turístic combina ambdós tipus d'acumulacions (Fig. 2) en tant en quant "produeix estades turístiques" i pot invertir els excedents en ampliacions hoteleres, urbanitzacions, infraestructures o en expansions de mercat més enllà de la zona geogràfica original.

Dos circuits, per tant, gens independents, ja que són precisament els excedents del primari els que es poden invertir en el secundari quan aquell esgota les seves possibilitats de creixement i/o expansió. Tot plegat ens ubicaria davant d'una orogènia unitària, malgrat els seus resultats espacials puguin ser formalment diferents. Els puntuals enfrontaments entre els interessos per produir estades turístiques amb els dels que volen revaloritzar l'entorn construït han estat més o menys visibles fins a finals dels segle XX. Però des d'aleshores les discrepàncies s'han dissipat quan s'han dirigit les reinversions d'excedents turístics cap a l'exterior (península, Carib...) i/o cap a inversions urbanes (gentrificació). Ara, quan també s'inverteixen excedents en urbanitzacions fora de Mallorca i es fan hotels al centre de la ciutat, les tensions a l'interior de les elits econòmiques s'han calmat. Ja no som a les dècades del 1980 i 1990 quan s'estava digerint la transició del fordisme més productivista al nou el model neoliberal financiaritzat i especulatiu.

La metàfora geològica de l'orogènesi també servirà per descriure la convulsa transformació viscuda per l'illa de Mallorca des de mitjans segle XX. Però, com és ben conegut, al llarg d'aquests processos processos que duren milions d'anys, es registren períodes de màxima activitat orogènica que els geòlegs anomenen fases, separats per períodes de relativa calma. Seguint amb la metàfora podríem dir que els períodes de màxima activitats orogènica serien els booms turístics i els de relativa calma les crisis que els separen. Abans de la incidència de la COVID sobre la nostra societat i la seva activitat econòmica s'havien identificat quatre booms turístics separats pels corresponents períodes de crisi (RULLAN, 2019: 43-45). Allò que s'aborda aquí és la primera fase de l'orogènesi turística, el que s'ha anomenat com a



**Fig. 2.** Els negoci turístic i immobiliari, les dues fórmules d'acumulació de capital a Mallorca des de la segona meitat del segle XX. Font: foto Ultima Hora modificada.

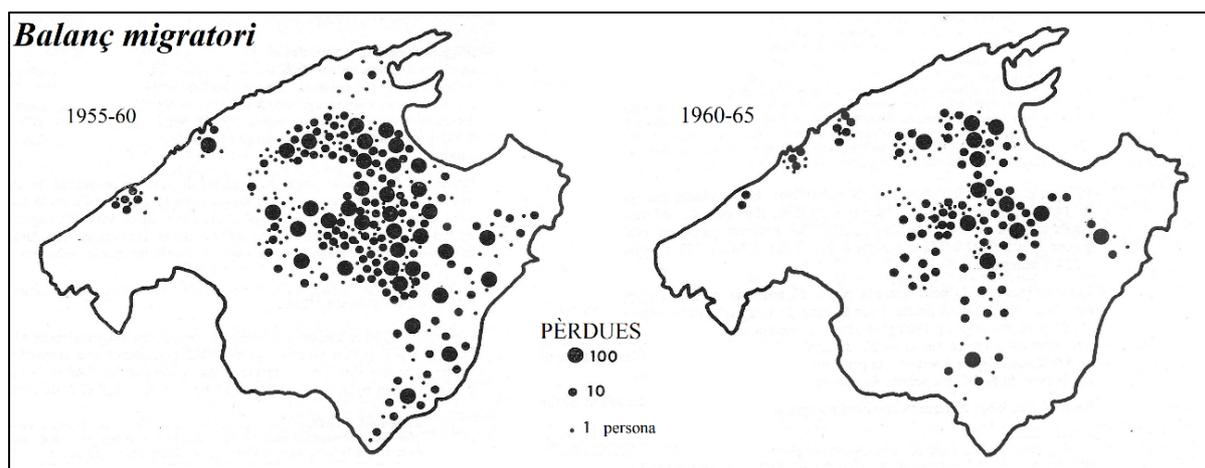
primer boom turístic. Posteriorment a aquesta primera fase s'han encadenat d'altres, l'anàlisi de les quals ultrapassa també les possibilitats d'aquest text tot i que se deixaran apuntades. Però com diu la citació que encapçala aquest treball, la primera passa és la important, la resta és fàcil...

Tot parant l'atenció, per tant, en el "Big Bang" del nou model d'acumulació d'excedents, no tot era desplaçar turistes i destruir i/o canviar radicalment els mitjans de subsistència de la població. Calia, a més a més, urbanitzar la població rural, entenent aquí urbanitzar en sentit demogràfic, calia que la població emigràs dels pobles rurals per anar a vendre la seva força de treball a les ciutats i zones turístiques. Sovint s'han explicat aquests moviments migratoris com a iniciatives dels propis emigrants que, fugint de les seves zones rurals, anaven a cercar millors condicions econòmiques a ciutats i zones turístiques. Sens dubte aquest factor hi era, però no cal oblidar que tan interessats estaven els camperols en convertir-se en treballadors més ben pagats com a cambres i picapedres, com els empresaris de ciutats i zones turístiques en aconseguir mà d'obra barata per posar en marxa els nous negocis. De fet, com en altres èpoques històriques, sovint han estat els contractadors els que han anat a cercar els contractats; en ocasions oferint expectatives de millora en el nivell de vida (no tant en la qualitat de vida) o, com en altres èpoques, exercint directament la violència (esclavisme).

En el cas que ens ocupa algunes investigacions de l'època palesaven com el moviment migratori cap als territoris turístics comptava amb determinats reclams als destins de la migració, a les noves zones turístiques. Així ho constatà Mario Gaviria quan assenyalà que:

*"es frecuente encontrar determinadas personas, empleadas o no en el sector hotelero, pero generalmente con un puesto de trabajo fijo en función de su mayor cualificación, que actúan como verdaderos "cónsules" en sus pueblos e incluso zonas de origen."* (GAVIRA, 1974: 161)

A escala espanyola Mario Gaviria va descriure el moviment demogràfic provocat per la transformació turística de la costa mediterrània espanyola tot afirmant que: *Se exporta mano de obra, se importan turistas* (GAVIRIA, 1974: 155). Aquesta “exportació”, fins al 1973 calculada en un milió de persones, resultà afavorida especialment per la firma de l’acord entre l’Estat espanyol i l’antiga RFA sobre migració<sup>7</sup>. Pel que fa a la “importació”, la progressió anà dels 76.428 turistes arribats en vols xàrter l’any 1957 als 9,8 milions de 1973<sup>8</sup> (GAVIRIA, 1974: 66). Un circuit convectiu demogràfic també detectat entre altres centres urbans capitalistes i la seva perifèria, és el cas que es donava entre el porto-riquenys que emigraven a Nova York al temps que els novaiorquesos anaven a fer turisme i invertien a Puerto Rico (GAVIRIA, 1974: 14).



**Fig. 3.** El desplaçament de població rural mallorquina cap a Palma i zones turístiques entre 1955 i 1965. Font: BISSON (1977: 253), traduït i recompost.

Això es palesà especialment a escala espanyola però, amb diferències d’ordre quantitatiu, també a Mallorca. En el cas mallorquí, en tractar-se d’un dels epicentres de turisme espanyol, la repercussió demogràfica, pel que fa a l’“exportació” de mà d’obra, no fou tan evident com a escala espanyola. A Mallorca també “s’importà mà d’obra” des de les zones rurals, com a Alemanya que se n’importà des del sud peninsular. A escala estrictament insular també es pogué identificar el fenomen tot i que l’emigració des dels nuclis rurals mallorquins d’interior cap als costaners i turístics fos més modesta. Jean BISSON (1977), amb dades de la tesi de Bartomeu BARCELÓ (1970), ho va analitzar i mapificar. El deixeble de Max Derruau, en la seva anàlisi (BISSON, 1977; 251-5) mostra dues fases de l’impacte demogràfic provocat pel primer boom turístic (Fig. 3). A la primera (1955-60) hi hagué 31 de 52 municipis d’aleshores que perderen, en total, 5.079 efectius. Es tracta de municipis del Pla i, en menor mesura, de la costa de Llevant que es desplaçaran cap al litoral i cap a la ciutat de Palma. La capital, per la seva part, en aquesta mateixa fase, guanyarà 10.721 efectius. La diferència entre ambdues xifres era coberta per la immigració procedent dels espais rurals sud-espanyols que no havien optat per Alemanya. Al següent quinquenni (1960-65) ja només són 22 els municipis que perden població (2.268 persones). El turisme de la costa de Llevant vincla la tendència als seus municipis i el Pla ja s’ha buidat prou. Ara, el creixement turístic ja és cobert quasi plenament pels immigrants (58.866 ja residents l’any 1965). Bisson calcula que, a l’estiu de 1965, Mallorca carregava amb una població extra d’unes 200.000 persones, 175.500 turistes més 25.000 treballadors temporals. Unes xifres que, comparades amb les

<sup>7</sup> *Acuerdo entre el Gobierno del Estado Español y el Gobierno de la República Federal de Alemania sobre migración, contratación y colocación de trabajadores españoles en la República Federal de Alemania* (MUÑOZ, 2014: 24-25)

<sup>8</sup> En el cas de Mallorca, a partir de la irrupció de l’aviació comercial moderna des Son Bonet i Son Sant Joan, les xifres es van disparar, els turistes que visitaren l’illa amb vols xàrter el 1973 varen ser 2.849.632 (BARCELÓ, 2000: 42). Setze anys abans, l’any 1957, per primera vegada els passatgers arribats en avió a Palma havien superat els que ho feien en vaixell.

actuals, semblen ridícules però que aleshores suposaven un autèntic terratrèmol territorial, cultural i econòmic, amb rèpliques que a dia d'avui encara es fan sentir.

És força seductora la temptació d'establir paral·lelismes entre, d'una banda, la pagesia forana de la baixa edat mitjana i gran part de la societat rural preturística i, de l'altra, entre els senyors ciutadans que emergiren a l'edat moderna i els inversors turístics i immobiliaris de la segona meitat del segle XX. En aquest sentit, si la convulsió baixmedieval s'emmarcava en el context de l'incipient capitalisme comercial, quin era el context de la convulsió turística?

La producció de l'espai turístic i immobiliari de Mallorca comença a finals del XIX/principis del XX i no deixa d'estar vinculada a la visió romàntica de la natura i a l'exotisme del sud als ulls de les societats occidentals que estaven vivint la revolució industrial (BUADES, 2004; CIRER, 2009). Però el turisme o l'activitat immobiliària, a Mallorca, farà un salt quantitatiu a la segona meitat del segle XX en coincidir, per un costat, la guerra freda i, per l'altre, la necessitat d'invertir els excedents industrials centre i nord-europeus que s'estaven generant un recompost el sistema després de la II Guerra Mundial.

Però hi havia un petit problema "estètic": aquestes inversions dels excedents s'anaven a fer en un estat nascut d'un cop d'estat que posava el país en sintonia amb els règims nazi alemany i feixista italià. L'aïllament i l'autarquia, ben viva fins a finals de la dècada del 1950, són el reflex de la conjuntura de boicot al règim de Franco després de la II Guerra Mundial. Però en el context de la guerra freda, mantenir el règim feixista espanyol aïllat era un perill potencial pels interessos econòmics capitalistes: en qualsevol moment l'asfixia del règim el podia fer tombar i obrir una escletxa en el flanc sud d'Europa caient sota l'òrbita dels antics països comunistes. Així, i per iniciativa nord-americana, es signaren els acords corresponents (Pacte de Madrid de 1953, Conveni d'ajuda nord-americana per a Espanya de 1954, visita d'Eisenhower de 1959...) que suposaven, per un costat, la tolerància i acceptació del règim franquista i, per l'altre, la seva plena incorporació a l'òrbita econòmica i militar capitalista occidental (BUADES, 2009; 2010). L'entrada al govern (1959) dels anomenats tecnòcrates -polítics formats a l'estranger en la doctrina capitalista- va impulsar el Pla d'Estabilització que obriria l'economia a l'exterior, en especial pel que fa a inversions estrangeres. Tot plegat en el marc de l'acceptació del règim com a membre de les principals institucions internacionals.

L'obertura a la inversió estrangera ho era també al nou tipus d'empresa capitalista d'encuny nord-americà que progressava després de la II Guerra Mundial i s'expandia arreu del món no comunista. Aquest tipus d'empresa era d'un model que se'n diu integrat verticalment. Consisteix en la formació de grans corporacions, multinacionals se'n deien aleshores, que abaratien costos tot controlant des de la producció fins a la comercialització (ARRIGHI, 1999: 347-59). Aquesta integració vertical es podia fer via absorcions o amb els corresponents acords entre empreses.

Aquest apropament al capitalisme occidental proporcionà accés a l'energia (petroli), a la tecnologia i a la maquinària estrangera. Això es feia mitjançant acords o constituint filials a Espanya d'empreses capitalistes estrangeres. Però la factura del petroli o la maquinària industrial s'havia de pagar i, important aquests productes, el dèficit comercial s'agreujava ja que les remeses del emigrants i les mínimes exportacions no assolien ni de prop el muntant de les importacions. Liberalitzar fluxos de capital en forma d'importacions i inversions estrangeres o devaluar de fet la pesseta per mor de l'homologació dels tipus de canvi amb el dòlar (LÓPEZ i RODRÍGUEZ, 2010: 141-2), no era suficient. Pagar la factura a l'exterior només fou possible gràcies a l'eclosió d'una nova forma d'extreure excedents: el turisme i l'activitat immobiliària.

L'allau de turistes i d'edificis, tant d'ús hotelier com residencial, com ja s'ha apuntat, representa les dues cares d'una mateixa moneda. De fet, s'ha constatat el comportament interdependent i simultani a Espanya entre els ingressos per turisme i la inversió estrangera en immobles (SASTRE JIMÉNEZ, 2002). Ambdós fenòmens s'han d'emmarcar en l'oportunitat de negoci que suposava la inversió d'excedents de les recuperades empreses occidentals en un territori força més barat en tots els aspectes. L'any 1950 el PIB per càpita espanyol era equivalent només al 39% de l'alemany o al 48% del britànic, uns percentatges que pujaren fins al 52 i 72% respectivament l'any 1970 (PRADOS, 2017). Aquest i altres indicadors oferien als inversors europeus prometedores expectatives derivades d'aquesta versió del desenvolupament geogràfic desigual. Als països del sud d'Europa en general, com a Mallorca, tot era

més barat<sup>9</sup>, tant les estades turístiques com els solars i els xalets i si, a més, era una terra *Where the Sun shines* (BUADES, 2004), la tempesta era perfecta. Només calia dissimular que es feien negocis amb una dictadura feixista. El fordisme fou un mecanisme circular on els empresaris més potents podien recuperar part de les sumes abonades als treballadors convertint-los, també, en clients. Per això les vacances pagades en el context del turisme de masses representaven un potencial negoci turístic i els diners dels més estalviadors del negoci immobiliari.

Aquella primera allau turística i immobiliària s'activà a partir de tota una sèrie de mesures tan polítiques com empresarials que, conjuntament, feren possible aquesta segona gran transformació comentada aquí. Sovint es discuteix si el nou escenari s'assolí a instàncies dels clients de, la demanda, o dels empresaris, l'oferta. Al nostre parer no hi ha cap dubte: fou l'oferta (d'hotels, de vols, de crèdits...) la que va instar als clients a venir a passar 10 dies a Mallorca o a comprar-hi una residència. No és que la demanda activàs i forçàs l'oferta; fou l'oferta la que, en publicitar el destí, va generar i activar la demanda.

Els experts en la gènesi o incorporació al mercat de l'oferta turística i immobiliària de Mallorca, coincideixen en atribuir a un triple origen el finançament per a la construcció de la primera oferta hotelera: autofinançament local a partir dels excedents agraris, industrials i comercials, préstecs de la banca oficial (el crèdit hotelier) i privada i préstecs dels *Tours Operadors* (TTOO) als hotelers locals. El pes de cadascuna d'aquestes fonts pot variar segons les èpoques i les estimacions dels investigadors però hi ha unanimitat en considerar el paper del TTOO com a clau per a entendre el procés. Els préstecs del TTOO s'havien de retornar mitjançant preus pactats d'un nombre determinat d'estades a uns quants anys vista i així, a més de finançar part de la construcció dels hotels, asseguraven una demanda a mitjà termini. Aquest fet en ocasions s'ha assenyalat com a una de les explicacions que avui en dia les cadenes hoteleres balears siguin de capitals majoritàriament locals i no foranes com a altres regions turístiques espanyoles.

Però, i això és important, l'activitat empresarial que desenvoluparen els TTOO no era com la d'abans de II Guerra Mundial. A la dècada del 1960, els TTOO que duïen turistes a Mallorca ja actuaven sota els principis de la integració vertical. Es tractava d'empreses capitalistes multinacionals, que responien als interessos dels seus accionistes i que eren especialitzades en una determinada línia de negoci. Pel que fa al negoci turístic, abans de la II Guerra Mundial, els viatges quasi sempre eren auto-organitzats pels propis turistes: compraven els bitllets, reservaven l'allotjament, feien excursions pel seu compte, etc., tot i excepcions com la de Thomas Cook que ja tenia la seva pròpia agència de viatges al final del segle XIX. Però a la represa de les dècades del 1950 i 1960 les estades turístiques ja eren organitzades per uns TTOO que, en primer lloc, creen una oferta amb tots els seus components i, en segon lloc, van a cercar els consumidors amb fortes inversions en publicitat. D'aquesta manera, els majoristes internalitzen els costos de transacció pactant amb altres empreses o controlant directament totes les fases productives: agències de viatges, companyies aèries i contractes hotelers de fins a 8 anys amb preus pactats, contractes molts dels quals arribaren fins al 1977. És el que s'anomenen paquets turístics que es paguen en origen i, com s'ha dit, tenen una derivada important ja que *en turismo, da más dinero sacar al cliente fuera de su país que recibirlo* (GAVIRIA, 1974: 30). És quan, com a política d'integració vertical, apareixen les companyies xàrter que fan la competència a les companyies de bandera. A Gran Bretanya els TTOO tenien les seves pròpies companyies aèries i a Alemanya es signen acords, això fa que dins del preu del paquet sovint es pressioni per baixar el preu de l'allotjament a abonar als hotelers locals i pujar el preu de l'avió (SASTRE ALBERTÍ, 1995: 82).

Els TTOO són empreses integrades verticalment, directament o mitjançant acords entre vàries d'elles, que actuen com una única organització pel que fa a pràcticament tota l'activitat que du a terme el turista, des que surt de casa seva fins que se hi torna. D'aquesta manera s'aconsegueix abaratir preus i convertir el turisme en un producte de masses, tot acumulant excedents gràcies a l'increment de la massa potencial de clients i a la reducció dels guanys de les empreses intermediàries.

---

<sup>9</sup> Rober Graves ho deixà claríssim quan, l'any 1964, escrigué que, a Mallorca, hi podia viure *por la cuarta parte de lo que costaría en Inglaterra* (GRAVES, R. & HOGARTH, P. (1997 [1964]: 7).



Més endavant, arran de la crisi de 1973, després de la fallida de moltes empreses intermediàries locals (petits hotels i agències de viatges, empreses de transport...) hi haurà també processos de concentració horitzontal que desembocaran en la creació de les actuals cadenes hoteleres transnacionals amb vincles orgànics amb els TTOOs. Però això ja és la segona fase de l'orogènesi turística que aquí no s'abondarà.

La inversió estrangera havia estat força restringida pel règim franquista fins aquesta primera "liberalització" econòmica implantada pels tecnòcrates a instància dels governs i empreses transnacionals occidentals. Al marge d'operacions d'enginyeria legal dutes a terme sota testaferrós, aquestes inversions es començaren a materialitzar en forma dels crèdits als hotelers locals ja esmentats i, com a l'altra cara de la mateixa moneda, també en forma d'inversió directa en terrenys costaners pensant tant en el gaudi de la propietat com en les expectatives d'una ulterior revalorització.

Pel que fa a l'arribada de capitals inversors a Espanya, hom destaca sovint la importància que tingué al seu moment l'anomenada Llei Strauss de l'antiga República Federal Alemanya. Es tracta de la *Llei Fiscal sobre Ajuda a Països en Desenvolupament*, vigent entre 1968 i 1972, que feia possible la sortida de capitals de la recuperada Alemanya per ser invertits en països subdesenvolupats, com així era considerada l'Espanya d'aleshores. L'impacte d'aquesta disposició ha estat analitzada sobretot a les Illes Canàries (GAVIRIA, 1974: 328; MURRAY, 2015: 232) tot i que a Mallorca i Eivissa es coneixen també un nombre important d'urbanitzacions promogudes especialment amb diners alemanys malgrat que els compradors també podien ser d'altres nacionalitats occidentals. La Llei Strauss va ser una disposició gràcies a la qual invertint en terrenys i apartaments a Espanya, segon GAVIRA (1974: 292)

*"se está exento de pagar impuestos y puede declararlo durante doce años como pérdidas (...) [Amb aquesta llei] los profesionales alemanes, con más de cuatro millones de pesetas de ingresos anuales, prefieren comprar terrenos y apartamentos en España o participar en un fondo de inversión inmobiliaria en España que pagar la cantidad correspondiente a la Hacienda alemana".*

Si en un primer moment la novetat turística-immobiliària va poder ser impulsada per empresaris locals, aviat la iniciativa passà clarament als inversors forans. Les empreses locals quedaren progressivament relegades a la construcció i a la gestió dels hotels mentre que les estrangeres assumien cada cop més pes en la promoció urbanística i en la contractació hotelera. L'efecte combinat de tot plegat va provocar una certa commoció en les vivències de la població, en l'espai viscut i *La prensa del país tildó a la pacífica avalancha [de turistes] de "invasión", y los comentaristas hablaban de "colonias" de turistas esparcidos por la costa española* (PARCK, 2009 [2006]: 2).

En termes lefebvrians el que s'ha tractat fins ara és, com ho fou al segle XV i XVI, la producció d'un nou espai. I aquest nou espai és fruit de la dialèctica que vincula orgànicament tant el que concebien els planificadors i les corporacions empresarials (una nova Mallorca), el que vivien personalment la població resident (una nova invasió?) i els immigrants (inserció en una societat amb referents culturals diferents) i el que es percebia quotidianament (allau de noves urbanitzacions i infraestructures). La combinació de tot plegat farà possible la destrucció dels mitjans d'existència anteriors i el seu reemplaçament pels nous. Entre aquestes noves infraestructures que faran possible la nova invasió pacífica (PARCK, 2009 [2006]) hi destaquen Son Sant Joan (1958), la base militar del puig Major (1957-9), la conclusió de la carretera Andratx-Pollença (1961), l'autopista Son Sant Joan-Palma (1968), els embassaments del Gorg Blau i Cúber (1969-72), la segona pista de Son Sant Joan (1972), l'autopista de ponent fins a Palma Nova (1973), etc. La construcció del nou territori anà acompanyada de la destrucció d'elements essencials de l'anterior espai geogràfic com el desmantellament dels trens a Santanyí, Felanitx, sa Pobla, Manacor i Artà (1964-77), dels tramvies de Palma o l'abandó de gran part de la producció agrària i industrial. La urbanització de sementers i hortes abans productives o la conversió d'antigues naus industrials en habitatges exemplifiquen aquest procés de "destrucció creativa" tot parafrasejant Joseph Schumpeter.

A partir de la dècada del 1960 l'èxode rural havia deixat gran part de la ruralitat mallorquina sense treballadors del camp i amb amos sense la posició social de dècades anteriors; el turisme costaner i la

implosió de Palma absorbien tota l'activitat. L'abandonament del camp posaria en safata l'arribada dels inversors que es trobaren amb unes possessions amb una renda potencial enorme que, per a ells, es venien a preu de ganga.

S'havien canviat les condicions econòmiques de la població però, a diferència del succeït arran de la derrota forana abans comentada, no hi va haver violència física, no hi va haver forques.... Però sí que hi hagué violència emocional exercida sobre molts grups de gent: sobre els camperols andalusos que abandonaven la seva terra, sobre els amos que havien d'abandonar les seves possessions, sobre els obrers de les fàbriques que s'havien de desplaçar a la costa en bicicleta a fer de picapedrers, sobre les dones que s'havien de llogar per fer netes habitacions d'hotels i, en general, sobre tot el patrimoni immaterial, inclosa la llengua catalana que, lentament, anirà essent arraconada per pressió, no només del castellà sinó també de l'anglès. Com també hi hagué violència urbanística en destruir gran part del patrimoni material, paisatgístic i natural que havia conviscut amb les condicions de subsistència preturístiques.

### I la història continuà...

La violència física no és sempre estrictament necessària per dur a terme els grans canvis estructurals de les societats. A la prehistòria del capitalisme, quan aquest sistema econòmic comença a pressionar contra el feudalisme, sí que sovint hi hagué violència física: les *jacqueries* franceses, la insurrecció camperola anglesa de finals del XIV, els *ciompi* italians, els *irmandinhos* gallecs, els *comuneros* de Castella, les guerres camperoles alemanyes de principis del XVI o les germanies de Mallorca i de València. És la violenta acumulació originària que desposseint els pagesos, poc a poc, obrirà pas al capitalisme. Però els episodis de desposseïció s'han de sostenir en el temps per tal de mantenir el sistema, en cas contrari el sistema és desinfla un cop esgotats els seus jaciments d'extracció de rendes. En moltes ocasions la violència originària torna aparèixer en forma de guerres colonials o repressions a l'interior dels Estats, però en altres la violència no adopta la forma de guerres o reprimendes contra la protesta i la contestació. David Harvey ha assenyalat que:

*“ha habido casos de acumulación originaria relativamente pacíficos en los que la población no se vio expulsada de la tierra, sino atraída por las posibilidades de empleo y las perspectivas de una vida mejor ofrecidas por la urbanización y la industrialización. El desplazamiento voluntario a las ciudades huyendo de la situación precaria y con frecuencia calamitosa de la vida rural, en busca de un salario relativamente estable y más alto, se ha dado a menudo (incluso sin estos procesos de desposesión forzosa de la tierra a los que se refiere Marx y de los que hay abundantes pruebas históricas). La historia de la acumulación originaria es, por tanto, mucho más matizada y complicada en sus detalles, y hay importantes aspectos de su dinámica que Marx no toma en consideración.”* (HARVEY, 2004 [2000]: 295).

D'aquí que David Harvey hagi proposat parlar, més que d'acumulació originària, d'acumulació per desposseïció (HARVEY, 2004 [2003]: 111-140). El canvi en la denominació no és trivial i respon a dos objectius: d'una banda fugir de la localització temporal només primigènia de la desposseïció en la prehistòria del capitalisme i, de l'altre, fer palès que no sempre la desposseïció es manifesta clarament en forma de violència física sinó que també ho pot fer en mercats i condicions comercials no exercides per la força. En paraules del mateix Harvey, tot referint-se als diversos episodis d'acumulació violenta i no violenta, cal acabar amb la *ficción benevolente pero profundamente engañosa promovida por los manuales de economía y (...) reconocer la relación simbiótica entre ambas formas de apropiación* (HARVEY, 2014: 85).

A la dècada del 1960 a l'Europa occidental, després de la recuperació posterior a la II guerra Mundial, hi havia sobreacumulació i excedents de capital. Per altra banda, a les economies més perifèriques com l'espanyola, la portuguesa, la grega o la turca hi havia una potencial mà d'obra barata i, concretant en

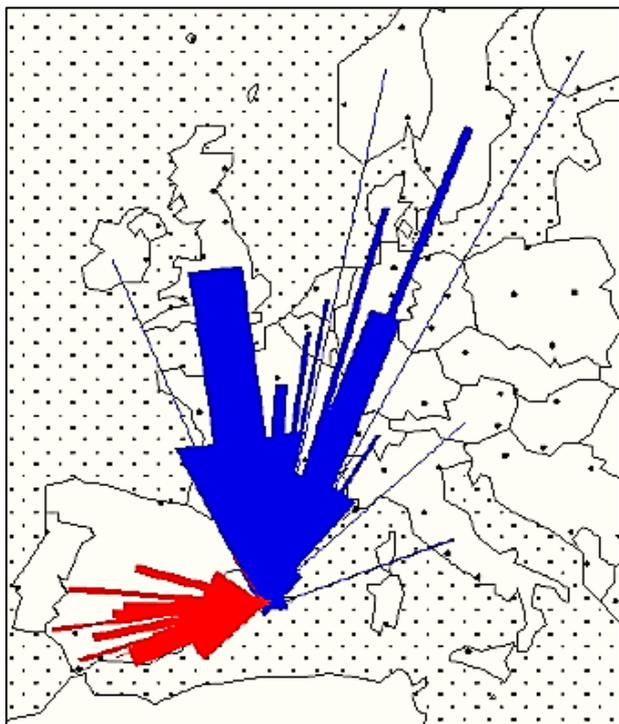


Fig. 4. La "importació demogràfica" de Mallorca a la dècada del 1960, immigració sudpeninsular i aflluència turística europea. Font: Rullan 2002: 361-362).

el cas mallorquí, certa tradició turística prebèlica i un fort potencial territorial per seguir aquella tradició. En posar en contacte sobre les platges ambdós excedents (de capital/turistes i de mà d'obra barata) aflorava ràpidament un ús força lucratiu que cristal·litzà demogràficament, tot matisant Mario Gaviria, important mà d'obra i turistes (Fig. 4).

En el cas que ens ocupa els capitals provenien d'Europa i la mà d'obra del sud de la península i, en molt menor mesura, de la ruralitat mallorquina. Això va ser el que hem anomenat com a primer boom turístic que, en poques dècades, destruiria les formes d'existència anteriors. Aquella primera acumulació turística no va ser físicament violenta, però sí que ho va ser emocionalment, urbanísticament i ambientalment. Però tot i això, la història va continuar.

Després de l'inici de la crisi del model productiu fordista (1973), arribaren altres fases de l'orogènesi com la impulsada per l'eufòria neoliberal de l'anomenat segon boom turístic (1985-92) o la tercera i la quarta vinculades a la unió monetària i a la radicalització de les

polítiques neoliberals. Successives onades d'inversions en forma d'apartaments, turisme residencial, lloguer turístic, turisme urbà i altres modalitats s'han anat afegint, en successives fases, al procés orogènic turístic i immobiliari. Seguint Harvey, l'acumulació per desposseïció és palesa sobretot arran de les polítiques neoliberals que s'enceten després de la crisi del model productiu fordista iniciada el 1973 i s'implanten especialment a la dècada del 1980. Aquesta desposseïció s'executa privatitzant béns fins aleshores públics o comuns tot passant els negocis i la producció a funcionar sota el domini dels interessos financers. Les crisis entre boom i boom foren aprofitades per fer canvis estructurals a favor del interessos de les elits econòmiques i implementant polítiques públiques afavoridores de les capes altes de la piràmide social.

Avui, inserits de ple en les estratègies de financiarització neoliberal global, les formes d'extracció de rendes turístiques i immobiliàries són diferents de les del primer boom turístic (YRIGOY, 2019) i és l'habitatge el que segurament està sofrint més les conseqüències d'aquestes noves formes d'acumulació amb desnonaments i lloguer turístic que provoca puja de preus. S'està desposseïnt a àmplies capes de població d'un bé que dècades enrere no exigia tant d'esforç financer com ara. Però aquell ja llunyà "Big Bang" fou el detonant de tot el que ha vingut després. El causant de que d'amos, missatges, jornalers i col·lidors, mallorquins i immigrants, majoritàriament, passessin a fer de jardineros, picapedrers, cambres i *kellys* amb condicions laborals cada cop més flexibles i precàries.

Com s'ha vist, tots aquests canvis estructurals tenen algunes característiques anàlogues i d'altres diferents: el mercantilisme i l'humanisme renaixentista impulsaren la primera orogènia, el fordisme i la modernitat tardana la segona; a la primera hi hagué violència física, a la segona emocional; tant la primera com la segona generaren dependència econòmica dels mercats exteriors (oliverers o turístics); la primera generà desplaçament de foravila cap als pobles i cap a Palma, la segona de la ruralitat sudpeninsular a Palma i zones turístiques mallorquines; la primera concentrà la propietat i els negocis en mans de residents a Palma, la segona també en mans europees; la primera sembrà oliveres, la segona hotels, apartaments i xalets...

L'endeutament de l'administració i l'extracció bancària són comunes als dos cassos, així com la desposseïció i els desplaçaments de la població tot i que amb formes diferents. Tot plegat ha estat així atès que es tracta de dos processos de producció d'espai. Això vol dir que hi pot haver altres convulsions de caràcter general que, a mitjà-llarg termini, podrien conduir a espais millors, o pitjors... Tot depèn de si s'és capaç de llegir correctament l'espai produït i produir-ne d'altres amb la premissa de l'interès general de la població i no dels accionistes de les empreses que fins ara l'han produït.

## Bibliografia

- ARRIGHI, G. (1999). *El largo siglo XX. Dinero y poder en los orígenes de nuestra época*. Akal Ediciones, Madrid.
- ARTIGUES, A. A. (2006): Funcionalización turística y proceso de urbanización en la isla de Mallorca, in Artigues A. A. et al. *Introducción a la Geografía Urbana de las Illes Balears. Guía de campo*. GIST, Palma.
- BARCELÓ, B. (1970): *Evolución reciente y estructura actual de la población en las Islas Baleares*. CSIC/IEI, Madrid-Ibiza. 399 pp.
- BARCELÓ, B. (2000): Història del turisme a Mallorca. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 50: 31-55.
- BARDOLET, E. 1980): *El turismo en Baleares*. Banca March, Madrid. 69 pp.
- BIBILONI, A. (1995): *El comerç exterior de Mallorca. Homes, mercats i productes d'intercanvi (1650-1720)*. El Tall editorial, Palma.
- BISSON, J. (1977): *La terre et l'homme aux îles Baleares*. Aix-en-Provence, EDISUD. 416 pp.
- BUADES, J. (2004): *On brilla el sol. Turisme a Balears abans del boom*. Res Pública Edicions, Eivissa. 253 pp.
- BUADES, J. (2009): Mare Nostrum: la geopolítica de la guerra freda, la Mediterrània i les geografies del complex militar-turístic. Treball de DEA, UIB.
- BUADES, J. (2010): Geopolítica del turisme. *L'Espill*, 35: 79-90.
- CELA, C. J. (1979): *Capitalismo y campesinado en la isla de Mallorca*. Siglo XIX, Madrid.
- CIRER, J. C. (2009): *La invención del turismo de masses a Mallorca*. Edicions Documenta Balear, Palma. 377 pp.
- GAVIRIA, M. (1974): *España a Go-Go. Turismo chárter y nacionalismo del espacio*. Ediciones Turner, Madrid. 356 pp.
- GRAVES, R. & HOGARTH, P. (1997 [1964]): *Por qué vivo en Mallorca*. J. J. de Olañeta, Palma. 155 pp.
- HARVEY, D. (2004 [2000]): *Guía de El Capital de Marx*. Akal, Madrid.
- HARVEY, D. (2004 [2003]): *El nuevo imperialismo*. Akal, Madrid.
- HARVEY, D. (2014): *Diecisiete contradicciones y el fin del capitalismo*. IAEN-Traficantes de sueños, Quito-Madrid. 294 pp.
- JOVER, G. (1995): Endeutament, desigualtat econòmica i desposseïció pagesa. El cas de la parròquia de Petra 1443-1524 (Mallorca). *Recerques: història, economia, cultura*, 33: 9-32.
- JOVER, G. i PUJADAS-MORA, J. Ma (2020): Mercado de trabajo, género y especialización oleícola. Mallorca a mediados del siglo XVII. *Historia agraria: Revista de agricultura e historia rural*, 80: 37-69.
- JOVER, G., MAS, A., SOTO, R. i TELLO, E. (2019). Socioecological Transition in Land and Labour Exploitation in Mallorca: From Slavery to a Low-Wage Workforce, 1229-1576. *Sustainability*, 11 (1): 1-26.
- LEFEBVRE, H. (2013 [1974]): *La producción del espacio*. Capitán Swing, Madrid.
- LÓPEZ BONET, J. F. (2003): Els nuclis urbans a la part forana en el repoblament de Mallorca (s. XIII-XIV). In: CLARAMUNT, S. (coord.), *El món urbà a la Corona d'Aragó del 1137 als decrets de Nova Planta: XVII*. Vol. 3: 461-496. Publicacions Universitat de Barcelona, Barcelona.
- LÓPEZ, I. i RODRÍGUEZ, E. (2010): *Fin de ciclo. Financiarización, territorio y sociedad de propietarios en la onda larga del capitalismo hispano (1959-2010)*. Traficantes de Sueños, Madrid.
- MANERA, C. (2001): *Història del creixement econòmic a Mallorca (1700-2000)*. Lleonard Muntaner Editor, Palma.
- MARX, K. (1998 [1867]): *El capital*. Siglo XXI, México-Madrid, tom 1.
- MORRO, G. (2020): *Les revoltes populars a Mallorca. El conflicte de 1391. Forans contra ciutadans (1450-1453). La Germania (1521-1523)*. Lleonard Muntaner Editor, Palma. 164 pp.
- MUÑOZ, A. (2014): Una introducción a la historia de la emigración española en la República Federal de Alemania (1960-1980). *IBEROAMERICANA. América Latina - España - Portugal*, 12 (46): 23-42.
- MURRAY, I. (2015): *Capitalismo y turismo en España. Del "milagro económico" a la "gran crisis"*. Alba Sud, Barcelona. 313 pp.
- PARCK, S. D. (2009 [2006]): *La invasión pacífica. Los turistas y la España de Franco*. Tuner Publicaciones, Madrid. 343 pp.

- PRADOS, L. (2017): *Spanish Economic Growth, 1850-2015*. Palgrave Macmillan, London. 393 pp.
- QUADRADO, J. M. (1986 [1895]): *Forenses y Ciudadanos*. Govern Balears/Miquel Font editor, Palma.
- ROSSELLÓ, V. M. (2013): La serra de Tramuntana de Mallorca. Paisatge físic i cultural. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 76: 215-230.
- ROSSELLÓ, V. M. i BÄR, W. F. (2015): *Joan B. Binimelis, Vicenç Mut i els mapes murals de Mallorca (segles XVII-XVIII)*. Universitat de València/Institut d'Estudis Catalans, València. 193 pp.
- RULLAN, O. (2002): *La construcción territorial de Mallorca*. Editorial Moll, Palma. 435 pp.
- RULLAN, O. (2019): Islas globales y paisajes culturales postmodernos en las Islas Baleares. In: TRILLO, J. M. i LOIS, R. C. (eds.), *Paisaxes nacionals no mundo global*: 18-43. Universidade de Santiago de Compostela, Grupo de Análise Territorial (ANTE), Santiago de Compostela.
- SASTRE ALBERTÍ, A. (1995): *Mercat turístic balear*. Institut d'Estudis Balearics, Palma. 144 pp.
- SASTRE JIMÉNEZ, L. (2002): Simultaneidad e interdependencia entre los flujos de ingresos por turismo e inversión extranjera en inmuebles en España. *Información Comercial Española, ICE: Revista de economía*, 802: 129-140.
- TELLO, E., JOVER, G., MURRAY, I., FULLANA, O. i SOTO, R. (2018): From Feudal Colonization to Agrarian Capitalism in Mallorca: Peasant Endurance under the Rise and Fall of Large Estates (1229-1900). *Journal of Agrarian Change*, (48), 483-516.
- YRIGOY, I. (2019): (De) construyendo el vinculo entre hoteles y finanzas desde la economía política del turismo. In: CAÑADA, E. i MURRAY, I. (Eds.), *Turistización global. Perspectivas críticas en turismo*: 225-239, Barcelona, Ed. Icaria.

---

Data recepció: 04.06.21

Data revisió: 15.06.21

Revisió acceptada: 23.07.21

# LES ILLES TURISTIFICADES. CLASSIFICACIÓ PER TIPOLOGIES D'ALLOTJAMENT TURÍSTIC A ESCALA MUNICIPAL DE LES ILLES BALEARS

Maria Antònia Martínez-Caldentey i Ivan Murray

Grup d'Investigació en Sostenibilitat i Territori (GIST), Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears, Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears).

**Resum:** Les Balears són un arxipèlag de la Mediterrània amb les tensions socioespacials pròpies d'un espai hiperturístic. Un dels principals trets de les illes és l'elevada densitat de places turístiques. Per a l'estudi s'ha realitzat un anàlisi espacial de la tipologia d'allotjament turístic i del volum de places, a escala de municipi. La hipòtesis és que l'intens monocultiu turístic a les Illes Balears ha permès l'expansió turística més enllà de la franja litoral, tot definint diferents tipus d'especialització turística als diferents municipis. Els resultats obtinguts mostren la especialització en l'oferta d'allotjament turístic al conjunt dels 67 municipis de les Illes Balears.

**Paraules clau:** allotjament turístic, hiperturísticació espacial, municipis, Illes Balears.

**Abstract:** The Balearic Islands are an archipelago of the Mediterranean with the socio-spatial tensions own of a hyperturistic space. One of the main trets of the islands is the high density of tourist places. For the study he has carried out a spatial analysis of the typology of tourist accommodation and of the volume of places, on a municipal scale. The hypothesis is that the intense tourist monoculture in the Balearic Islands has allowed the tourist expansion more in the coastal strip, to define different types of tourist specialization to the different municipalities. The results obtained show the specialization in the offer of tourism allotment to the set of the 67 municipalities of the Balearic Islands.

**Keywords:** touristic offer, hyperturistic space, municipalities, Balearic Islands.

## Introducció

El turisme, com activitat productiva, es troba compassat al ritme del capitalisme. En el cas de l'estat espanyol el turisme de masses esdevingué com a solució econòmica i política pel règim franquista, que s'asfixiava sota l'autarquia i ha esdevingut una de les principals vies d'acumulació junt amb la immobiliària (MURRAY, 2015).

La producció turística ha anat mutant mentre s'aprofundia la mercantilització de les distintes dimensions de la vida, intensificant les seves dinàmiques a mesura que el capitalisme era més nociu amb el gir neoliberal dels anys setanta del segle XX, on l'acumulació per desposseïció copsava la vida (HARVEY, 2014). Tal com exposà RULLAN (1998), l'activitat turística a les Illes Balears s'ha anat desenvolupant al ritme dels booms turístics que coincideixen amb els diferents cicles sistèmics d'acumulació del capital a escala global. Així, el turisme ha comportat la transformació de l'espai mitjançant l'expansió de la urbanització (PONS *et al.*, 2014), la colonització mercantil i la cultural per part de les elits capitalistes transnacionals (CAÑADA y MURRAY, 2019). D'altra banda, aquest procés ha anat acompanyat d'una creixent precarització de bona part de la població. Així, la polarització socioespacial dibuixa *a grosso modo* uns espais de producció turística que cada cop són més heterogenis, uns espais d'inversió-residència de les elits transnacionals, i uns espais de reproducció de les classes precaritzades. Una part significativa està composta per les treballadores i treballadors que alimenten la màquina turística. Una màquina turística que s'alça sobre els allotjaments turístics, que aquí s'estudien, i s'alimenta del volum de places, que han crescut de manera significativa des de la crisi immobiliària-financera global de l'any 2008.

La realitat urbana del turisme deixa una gran empremta sobre l'espai i ho fa adaptant el territori a la seva conveniència. El cas de les Illes Balears són un cas paradigmàtic dels impactes de la indústria turística. Així, es troba part de la vorera de la mar folrada de formigó, soterrant la franja de litoral. Però

també a l'interior de les illes, on les edificacions en forma d'allotjaments turístics rurals i habitatges turístics s'han estès significativament.

El present estudi fa una aproximació a la realitat turística-urbana de les Illes Balears mitjançant un estudi espacial a nivell estadístic i cartogràfic. S'ha realitzat una classificació municipal en base a les tipologies d'allotjament turístic, el que ha permès visualitzar les divergències en l'especialització de la producció turística, tot mostrant que el monocultiu turístic no és homogeni.

## Materials i mètodes

L'àrea d'estudi la conformen el conjunt de les Illes Balears a nivell de municipi, el que permet observar l'heterogeneïtat de la producció turística de l'arxipèlag, doncs encara que el monocultiu turístic és molt elevat a totes les Balears, les modalitats de producció turística varien. L'anàlisi que s'ha dut a terme es troba dins el marc quantitatiu crític, estadístic i cartogràfic. En primer lloc, s'han recollit les dades del volum de places turístiques per municipi a l'any 2019, així com al tipus d'allotjament al qual pertanyen a partir de l'Institut d'Estadística de les Illes Balears (IBESTAT)<sup>1</sup>, excepte les dades dels habitatges d'ús turístic que procedeixen de l'Institut Nacional d'Estadística (INE)<sup>2</sup>. Els tipus d'allotjament turístic estudiats són: hotels, apartaments turístics, habitatges d'ús turístic (HUT), allotjaments rurals i càmpings. En aquest punt, cal subratllar que la quantitat i qualitat de les dades municipals de l'allotjament turístic a les Illes Balears, contrasta amb la pobresa —i fins i tot absència— de dades d'allotjament turístic a escala municipal d'altres comunitats autònomes de l'estat espanyol. En segon lloc, s'ha calculat l'índex de densitat turística a nivell municipal per tipologia turística que s'obté dividint el nombre de places de cada tipologia per la superfície de cada municipi. La classificació de cada tipologia per tal de determinar el grau d'intensitat s'ha realitzat mitjançant el mètode de ruptures naturals (Natural Breaks de Jenks), on les classes extrems es basen en les agrupacions pels valors similars, mentre es maximitzen les diferències entre classes (JENKS, 1967). En tercer lloc, s'ha realitzat una anàlisi clúster mitjançant el programa IBM-SPSS per a la classificació de la tipologia d'allotjament turístic en base al pes proporcional d'aquella tipologia de cada municipi respecte del total d'aquella tipologia pel conjunt de l'arxipèlag, de forma que s'aconseguís una categorització dels principals tipus d'allotjament, així com les combinacions entre els més predominants. Finalment s'han bolcat les anàlisis estadístiques al programa ArcGIS, tot aplicant un mètode de classificació bivariat en el que es combina per una banda les tipologies extrems a partir de l'anàlisi clúster, i per una altra banda les dades de densitat turística de cada municipi.

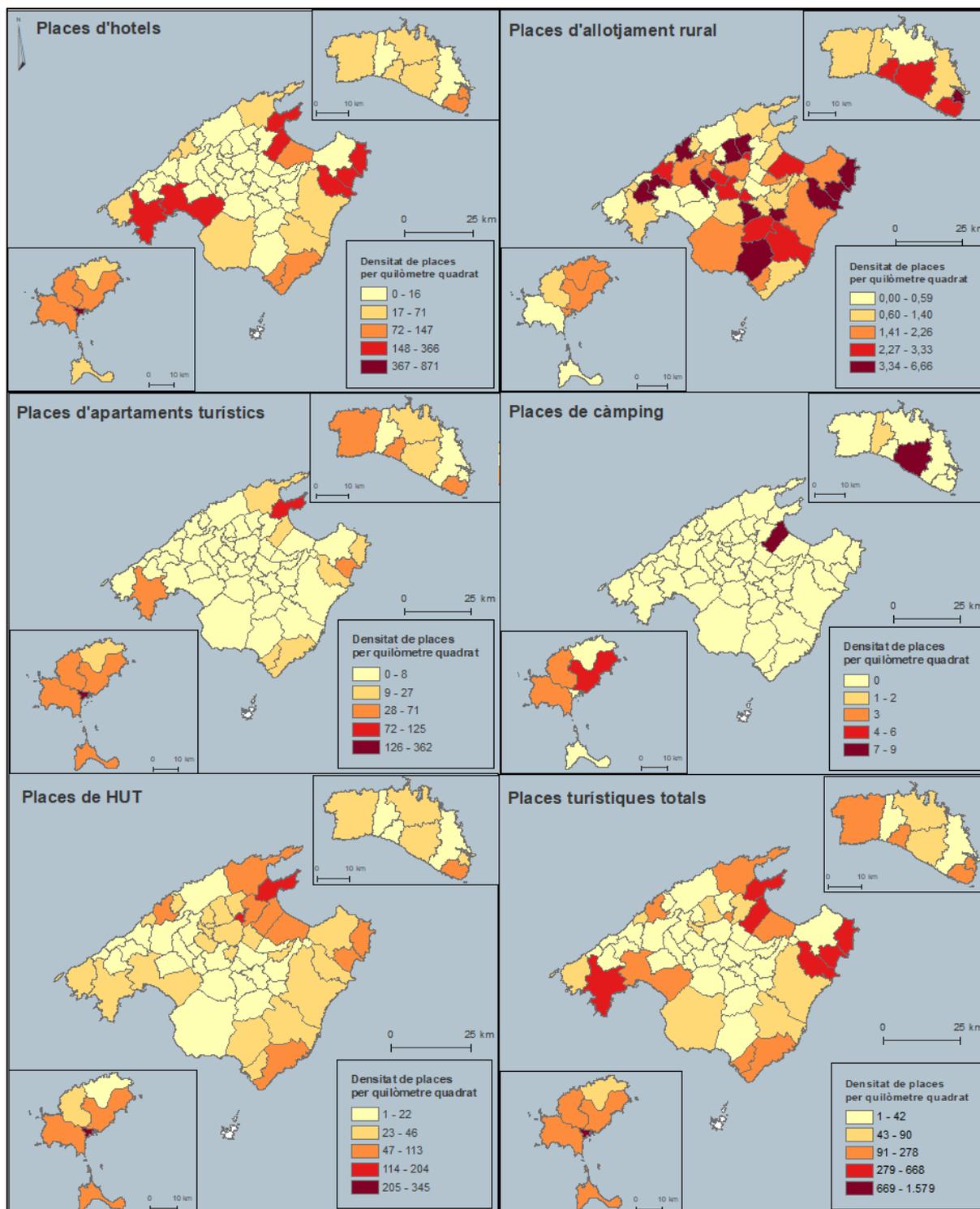
## Resultats

Els primers resultats obtinguts (Fig. 1) mostren l'especialització turística dels 67 municipis de les Illes Balears en base a les distintes tipologies d'allotjament turístic en base a l'indicador de densitat turística per superfície (places turístiques per quilòmetre quadrat). Aquestes cartografies permeten observar el nivell d'intensitat turística per municipi.

L'allotjament turístic hotelier a l'illa de Mallorca es conforma per anells, tot concentrant-se en la franja litoral, on destaquen els municipis de la Badia de Palma, Palma i Calvià, i al Nord i Nord-est de l'illa, els d'Alcúdia, Muro, Sant Llorenç des Cardassar, Son Servera i Capdepera. Mentre que els municipis de l'interior romanen dins un nivell baix de places hoteleres. En el cas de Menorca la major densitat hotelera es concentra a l'extrem oriental de l'illa, es Castell i Sant Lluís. A Eivissa i Formentera els allotjaments hotelers presenten una densitat mitjana, amb l'excepció de Sant Joan de Labritja al Nord

<sup>1</sup> Allotjaments turístics per illa i municipi, tipus i categoria i any. [https://ibestat.caib.es/ibestat/estadistiques/per-territori/3/1b7fa42e-fef0-43ef-ab5f-cbb2b0e3e972/ca/U208009\\_0002.px](https://ibestat.caib.es/ibestat/estadistiques/per-territori/3/1b7fa42e-fef0-43ef-ab5f-cbb2b0e3e972/ca/U208009_0002.px)

<sup>2</sup> Mesurament del nombre d'habitatges turístics a Espanya i la seva capacitat. [https://www.ine.es/experimental/viv\\_turistica/experimental\\_viv\\_turistica.htm](https://www.ine.es/experimental/viv_turistica/experimental_viv_turistica.htm)



**Fig. 1.** Volum de places per quilòmetre quadrat per tipologia d'allotjament turístic a nivell municipal de les Illes Balears. Font: dades de 2019 recollides del portal estadístic Ibestat, excepte les dades d'habitatges d'ús turístic que procedeixen de l'INE. Elaboració pròpia.

d'Eivissa que presenta el nivell més baix de l'illa, mentre que Eivissa vila destaca per la major densitat de totes les Balears. Aquest fet es degut a la combinació d'una elevada concentració hotelera i una reduïda superfície. En segon lloc, els apartaments turístics, allà on aquest allotjament es troba més consolidat és a Formentera i Eivissa. La distribució dels apartaments turístics a Menorca es concentra a Ciutadella, Migjorn Gran i Sant Lluís. A Mallorca destaca el municipi d'Alcúdia. En tercer lloc, las majors



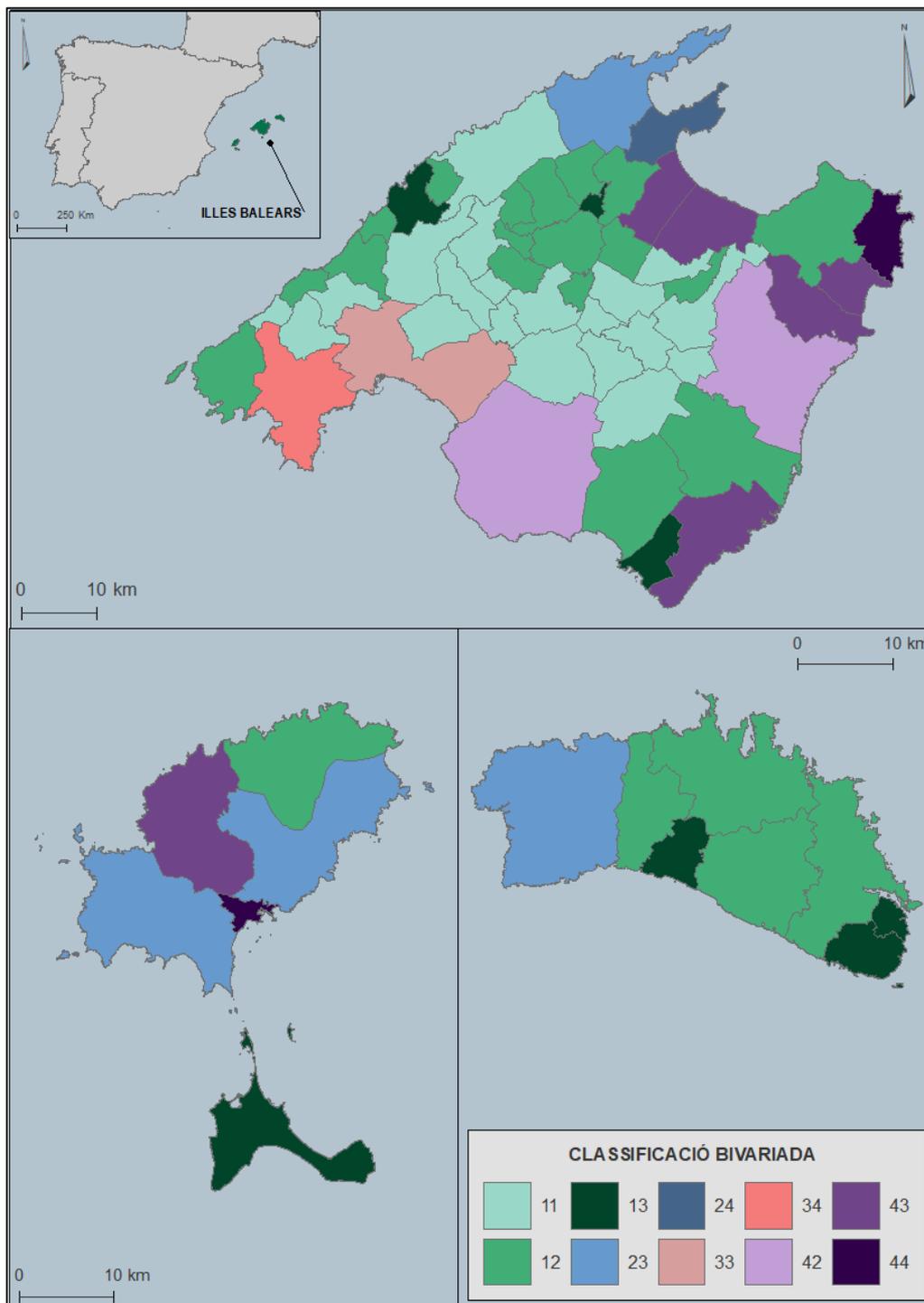
densitats d'habitatges d'ús turístic es concentren en els municipis de la Badia d'Alcúdia, Sóller, Capdepera, Son Servera i Santanyí. En el cas de les illes de Menorca, Eivissa i Formentera els HUT segueixen el mateix patró que dels hotels i apartaments turístics, tot indicant que els habitatges d'ús turístic no obren el mercat turístic a territoris no turístics, sinó que aprofundeixen la intensitat turística als espais ja de per sí turísticats. En quart lloc, els patrons espacials de l'allotjament rural difereixen de les altres tipologies descrites, doncs a Mallorca les places turístiques rurals es concentren sobretot als municipis de l'interior i la Tramuntana, com: Sóller, Campanet, Campos, Esporles, Montuïri i Selva. Mentre que a Menorca i Eivissa la seva presència és bastant homogènia, doncs els seus municipis són interiors i litorals al mateix temps. En cinquè lloc, la tipologia de càmping a les illes és més bé testimonial, tot diferenciant-se d'altres territoris on és troba molt més arrelat, com a Catalunya. Així, destaquen els municipis de Muro (Mallorca), Alaior (Menorca), Santa Eulàlia des Riu, Sant Antoni de Portmany i Sant Josep de sa Talaia (Eivissa).

Finalment, el darrer mapa mostra la totalitat de les places turístiques per quilòmetre quadrat. La cartografia mostra, en el cas de Mallorca, un patró espacial anellat, on la major concentració turística es produeix a la franja litoral, mentre que va rebaixant-se a mesura que avança cap a l'interior. D'altra banda, les illes de Menorca, Eivissa i Formentera mostren una homogeneïtat bastant sòlida en intensitat turística mitjana-alta en pràcticament la totalitat dels seus municipis. Si bé la intensitat és major a Eivissa i Formentera que a Menorca.

La següent cartografia (Fig. 2) representa la distribució espacial resultant de la combinació dels resultats del clúster i les dades de densitat d'allotjament turístic. S'han obtingut deu categories que es basen en la intensitat turística així com en el tipus d'allotjament predominant. Les Pitiüses presenten una predominança en hotels i apartaments turístics, d'intensitat turística mitjana-alta, excepte el municipi d'Eivissa vila i Sant Antoni de Portmany, on també hi ha allotjament rural. Mentre que Sant Joan de Labritja (Eivissa) i Formentera mantenen una intensitat mitjana i mitjana-alta amb predomini de les HUT i allotjament rural. L'illa de Mallorca es pot dividir en dues àrees: el litoral i l'interior. Els municipis del litoral de l'illa de Mallorca són els més turísticats, però presenten diferències interessants tal com es pot veure en el mapa. A bona part del litoral, amb l'excepció dels municipis més aïllats, és on s'aglomeren majoritàriament els allotjaments hotelers, apartaments turístics i HUT. Així mateix, destaquen els municipis de Santanyí, Sant Llorenç des Cardassar, Son Servera, Capdepera, Muro, Alcúdia, Calvià i Palma per tenir una especialització d'allotjament mixt i la densitat turística més alta. Mentre que a l'interior de l'illa els municipis tenen una especialització turística en allotjament rural amb un volum mitjà-baix. Així mateix, també es poden detectar diferències entre els municipis de l'interior mallorquí que malgrat presentar una estructura semblant pel que fa a tipologies, els municipis entre Inca i sa Pobla presenten una major densitat que no els de la resta de l'interior. Una explicació plausible podria ser que aquests municipis es troben a l'àrea d'influència dels municipis costaners, especialment després de la construcció de l'autopista Inca - sa Pobla. En darrer lloc, els municipis de l'illa de Menorca es perfilen baix l'allotjament hotelier, apartaments turístics i allotjament rural en la majoria dels casos, tot exceptuant Ciutadella on predominen els apartaments turístics, hotels i HUT. Finalment es pot deduir una interrelació entre la densitat de places mitjana-baixa amb l'especialització turística rural, mentre que la densitat turística més elevada va lligada als hotels, apartaments turístics i habitatges d'ús turístic (HUT).

## Conclusions

L'anàlisi mitjançant ruptures naturals representada a la primera cartografia, així com l'anàlisi clúster com a mapa bivariat posterior, ha permès identificar les distintes especialitzacions turístiques que es donen a l'arxipèlag Balear, mostrant unes illes quarterades. Així mateix, s'ha lligat amb la densitat turística, que en aquest estudi s'ha entès com el volum de places turístiques per quilòmetre quadrat. D'aquesta forma s'ha pogut comprovar, més enllà del que ja és sabut sobre el fet que a l'illa de Mallorca és la seva línia de costa la que es troba més turísticada, que es donen graus d'intensitat i especialit-



**Fig. 2.** Mapa bivariat entre els resultats del clúster sobre la tipologia d'allotjament turístic i la intensitat turística (places turístiques/km<sup>2</sup>) a nivell municipal de les Illes Balears. Font: dades de 2019 recollides del portal estadístic lbestat, excepte les dades d'habitacles d'ús turístic que procedeixen de l'INE. Elaboració pròpia. 11) Intensitat mitjana-baixa i especialització en HUT i allotjament rural. La classificació bivariada correspon: 12) Intensitat mitjana i especialització en HUT i allotjament rural; 13) Intensitat mitjana-alta i especialització en HUT i allotjament rural; 23) Intensitat mitjana-alta i especialització apartaments turístics, hotels i HUT.; 24) Intensitat elevada i especialització apartaments turístics, hotels i HUT; 33) Intensitat mitjana-alta i especialització en allotjament hotelier; 34) Intensitat elevada i especialització en allotjament hotelier; 42) Intensitat mitjana i especialització en hotels, HUT i allotjament rural; 43) Intensitat mitjana-alta i especialització en hotels, HUT i allotjament rural; 44) Intensitat elevada i especialització en hotels, HUT i allotjament rural.

zacions diferenciades tant a l'interior com als espais litorals. Mentre que Menorca i les Pitiüses mantenen una turisticació més homogènia, si bé a Menorca la densitat turística no és tan elevada.

Igualment, s'ha de tenir en compte que encara què en les anàlisis realitzades la densitat turística varia, de baixa a alta, sempre es tracta d'uns valors notables, doncs el llindar del turisme és elevat de per sí al territori d'estudi. La producció turística a les Illes Balears que s'ha desplegat en diferents graus i múltiples variants productives en forma de tipologies d'allotjament turístic, presenta un volum de places turístiques per damunt de les possibilitats de la terra i les persones, tot seguint el camí de destrucció i fugida cap endavant, propi del sistema capitalista neoliberal. Així, des de mitjans segle XX cada crisi capitalista s'ha resolt amb l'aprofundiment de l'especialització turística balear, tot augmentant contradictòriament la seva vulnerabilitat (MURRAY *et al.*, 2017).

Aquest estudi té la fortalesa d'haver realitzat una anàlisi espacial completa a una escala detallada, com és la municipal. Això ha afavorit el poder presentar les múltiples dimensions de la producció turística a través de l'allotjament que es donen arreu de les Illes Balears. D'aquesta forma s'ha pogut observar que l'arxipèlag Balear no és turísticament homogeni, ni en el tipus d'especialització en l'allotjament turístic, ni en la intensitat de places per quilòmetre quadrat. En qualsevol cas, l'estudi reflecteix com l'expansió de la frontera de mercantilització turística ha definit l'espai de l'arxipèlag com un espai de producció turística amb múltiples i diverses funcionalitats i especialitzacions productives, la qual cosa es correspon perfectament a les transformacions del capitalisme global sota les lògiques postfordistes de segmentació productiva. Aquesta tendència, impulsada per la lògica de l'acumulació, s'ha fonamentat en la cerca de la diferència com eix clau per a l'extracció de plusvàlues. Emperò, contradictòriament, l'avanç de la frontera de la turisticació ha anat convertint l'espai insular en un espai cada cop més homogeni, tot deteriorant aquelles condicions de diferenciació que eren clau per a l'augment de la taxa de beneficis (SMITH, 2010).

Finalment, cal tenir present que la dinàmica turística exacerbada que es produeix a les Illes Balears, converteix l'espai en un producte turístic de consum degut a la intensa mercantilització que es produeix en ell, subjugant el valor d'ús sobre el valor de canvi (LEFEBVRE (2017)[1968]; HARVEY, 2014). Així, és necessari realitzar un pensament col·lectiu conscient sobre les implicacions que comporten les dinàmiques turístiques en l'espai, com la massificació de places turístiques que es pot apreciar en els resultats presentats mitjançant la cartografia realitzada. Doncs el turisme és més que un tipus d'activitat productiva, va més enllà del mercat, lligant a les persones i els territoris a dinàmiques que afavoreixen al capital, però que no té perquè repercutir de forma beneficiosa sobre les persones involucrades i els espais que aquestes habiten.

### Agraïments

Aquest estudi de recerca ha sigut possible gràcies al "Overturism a les destinacions costaneres espanyoles. Estratègies de decreixement turístic "(RTI2018-094844-B-C31), projecte d'investigació, dirigit pel Ministeri de Ciència i Innovació d'Espanya i l'Agència Estatal de Recerca, amb finançament del Fons Europeu de Desenvolupament Regional.

### Bibliografia

- CAÑADA, E. i MURRAY, I. (2019): *Turisticación global. Perspectivas críticas en turismo*. Icaria, Barcelona.
- HARVEY, D. (2014): *Diecisiete contradicciones del capital y el fin del neoliberalismo*. Traficantes de Sueños, Madrid, 294 pp.
- JENKS, G. F. (1967): The data model concept. In: *Statistical mapping, International Yearbook of Cartography*, 7: 186–190.
- LEFEBVRE, H. (2017)[1968]: *El derecho a la ciudad*. Capitán Swing, Madrid, 168 pp.
- MURRAY, I. (2015): *Capitalismo y turismo en España. Del "milagro económico" a la "gran crisis"*. Alba Sud Editorial, Barcelona, 284 pp.

- MURRAY, I., YRIGOY, I. i BLÁZQUEZ-SALOM, M. (2017). The role of crises in the production, destruction and restructuring of tourist spaces: the case of the Balearic Islands. *Investigaciones turísticas* 13: 1–29.
- PONS, A., RULLAN, O. i MURRAY, I. 2014. Tourism capitalism and island urbanization: tourist accommodation diffusion in the Balearics, 1936-2010. *Island Studies Journal*, 9(2): 239-258
- RULLAN, O. (1998): De la cova de canet al tercer boom turístic. una primera aproximació a la geografia històrica de Mallorca. AA.VV. *El medi ambient a les Illes Balears. qui és qui? Palma*: 171-21. Caixa de Balears, Sa Nostra, Obra Social i Cultural, Palma.
- SMITH, N. (2010). *Uneven Development. Nature, Capital and the Production of Space*. Verso Books, London.

---

Data recepció: 21.07.21

Data revisió: 28.07.21

Revisió acceptada: 01.08.21



# LA DENOMINACIÓ DE LES CALES DE MALLORCA

Vicenç M. Rosselló i Verger

Departament de Geografia, Universitat de València. Av. Blasco Ibañez, 28. 46010 València.

**Resum:** La cala, entesa com una vall d'erosió i curta llavorada sobre el rocam calcari, és una forma típica del món baleàric. Des del vessant toponomàstic, la denominació de les cales presenta una riquesa patrimonial que paga de sistematitzar. A partir de la cartografia històrica (Binimelis, 1595), del mapa militar de 1915 i dels treballs de Mascaró i Aguiló es revisen i comenten els topònims relatius a les cales de Mallorca. Així, i majoritàriament vistes des del mar, les cales assumeixen el nom de navegants, mariners, propietaris del territori, formes naturals icòniques, referents vegetals o animals i algun fet històric.

**Paraules clau:** cala, toponomàstica, Mallorca.

**Abstract:** The “cala”, understood as a short valley of erosion carved on limestones, is a typical form of the Balearic Islands. From the toponymic aspect, the denomination of the calas displays a patrimonial wealth that should be systematized. Based on the historical cartography (Binimelis, 1595), the military map of 1915 and the work of authors, such as, Mascaró and Aguiló, the toponyms relating to the calas of Mallorca are reviewed and commented. Thus, and mostly seen from the sea, the calas take the name from navigators, sailors, landowners, iconic natural forms, plant or animal landmarks and an historical event.

**Key words:** cala, topony, Mallorca.

## Introducció

La meua preocupació per una forma tan típica del món baleàric (FUMANAL et al., 1997; ROSSELLÓ, 1982, 1995, 1998, 2003, 2004, 2005, 2007 i 2012, i FORNÓS *et al.* 2007 i 2017) és ben manifesta com la meua afició coneguda a la toponomàstica. Per això emprendre en honor del meu amic i company d'aventures, Antonio Rodríguez Perea, una mescla de natura i humanisme que no sortirà del solc traçat pels editors. M'he centrat al concepte de cala, “vall d'erosió curta i submergida”, sobretot en rocam calcari.

He maldat per seguir la denominació de les cales, caletes i calons des de final del segle XVI (Binimelis, 1595 i edició crítica de Moll, 2014), mapa manuscrit d'en Landaeta (1736), del canonge Despuig (1785) (Fig. 1) i el quadre anònim d'una col·lecció privada que sembla ser-ne còpia pictòrica, de l'Estat Major 1/100.000 (1915) i d'en J. Mascaró (1958) i dels treballs de C. Aguiló (1996-2017) per comparar les fonts i comprovar que la major part dels topònims s'han mantingut fidels i uns pocs han evolucionat per raons turístiques o poblacionals (les inicials del termes municipals respectius serviran per localitzar les cales).

Vistes des de la mar, les cales assumeixen el nom dels navegants, sobretot pescadors, que les anomenen com dels propietaris del territori ocupat, per la forma natural o d'algun vegetal —o animal— que les caracteritza o qualche material que se n'extreu. Hi ha, de més a més, la circumstància històrica que s'hi ha esdevingut com un incendi, un llamp, un naufragi...

## La propietat: llinatges, prenom i malnoms

Tenim tres dotzenes de topònims que lliguen els noms de les cales amb els possibles propietaris que duïen els cognoms o llinatges respectius. Inicia el caló de n'Adrover a Santanyí, altrament dit de sa Comuna (AGUILÓ, 2017). Enfront de sa Dragonera hi ha la cala en Basset conservada amb la preposició elidida. A l'illa del davant està la cala en Begur i a la costa de Llucmajor la cala Beltran (majoritària caiguda de l'article personal). A l'illa de Cabrera trobam la cala Borri —ara cala des Burrí— que és un llinatge o



**Fig. 1.** Mapa del canonge Despuig. L'única al·lusió a l'autoria és la dedicatòria del mapa a la princesa Maria Luisa de Borbón (1784).

malnom. Cala Brafi (F <*Ibrahim*, sc. COROMINES i MASCARÓ, 1989). Cala los Camps (un nom discutit) podria provenir d'un cognom, tot i que en Binimelis (1595) anota *cala del camp*. Cala d'en Claret és ben clar i predomina als mapes del segle XVII i XVIII i coincideix amb el port de Valldemossa. Portocolom (F) és una autèntica cala que duu un cognom. Cala en Feliu, l'enregistra d'antuvi en Binimelis, caló d'en Ferrà (San) i cala Ferrer o Ferrera es multiplica (F, que en Despuig, 1785, escriu *Cala Ferrer*). Cala Fornells, que es conserva en plural a Calvià, probablement ha evolucionat al plural per contaminació del paral·lel menorquí (COROMINES, VI: 124). A Cabrera es troba cala Galduf o Ganduf fossilitzada, cosa que s'esdevé igualment a cala en Gosaubà (< *Gonsaluo* a Binimelis, 1595). Cala Magraner (M) conserva el topònim en qualque publicació mudat a Magrana. Cala Massot (Matsoc) usurpa el nom de la talaia i Binimelis l'anota amb ç. Mondragó (San) és un altre llinatge com Morlanda feminitzat i que perviu (M, Holanda?). Cala en Peiàs deu correspondre al topònim *Pallars* (a ponent de s'Estanyol); podria ser d'en Pallars (Lluc, dit d'*Empeiàs* per mossèn Despuig) per iodització: probablement correspon a un propietari medieval; ara és inusitat. Caló d'en Pellicer s'enregistra el segle XVIII i deu subsistir. Cala Peretó, escrit com cal a l'obra d'en Binimelis, ara es diu caló de n'Aladern. Cala Saguer —que encerta el mapa pictòric de la col·lecció privada— és un clar cognom català; cala en Tugores, figura com a *Togores* o *Entugoras* al gravat de 1785: sembla que s'ha espoltrit; la documenta AGUILÓ (2017) el 1235 com a propietat de n'Arnau Tugores. Cala Vinyes, a la badia de Ciutat, tant pot descendir d'un llinatge com d'un vinyet: l'enregistram el segle XVIII i cala Virgili (F) probablement correspon a un propietari medieval.

Els prenom van lligats a es Domingos (M, Gran i Petit, en singular); la *cala den Hierony* d'en Binimelis ara s'anomena cala Moll; caló d'en Marçal (F), Portopetre (San, que seria "mossàrab" o romànic precatalà), i els malnoms del caló d'en Rafelino (M), cala de na Magrana (M), caló d'en Manuell (F, *Manuella* a Despuig), caló d'en Garrot (San), caló d'en Perdiu (San), des Moro, d'en Pastera (San, Despuig), en Basi (Bací? Ll, Despuig). Cala de na Picarandau, la recull AGUILÓ (2011) a Artà.

El capítol dels malnoms és més reduït (13) i solen anar precedits de l'article personal *en*. Cala en Boixar és a gregal de Cabrera;<sup>1</sup> caló d'en Busques equival a caló de na Fontanella (AGUILÓ, 2017); cala en Tió compareix a l'illeta des Conills i a la costa d'Andratx, caló d'en Manuell (F, *Manuella* a Despuig), caló d'en Garrot (San),<sup>2</sup> caló d'en Perdiu (San), des Moro, cala en Moix o des Moix (Ll, AGUILÓ, 1986), d'en Pastera (San, Despuig), en Basi (Bací? Ll, Despuig), Bassí, diminutiu de Bas (AGUILÓ, 1986); cala d'en Roig s'hi suma i cala Rigau a sa Dragonera, ara convertida en *Regau*, probablement Rigal en origen. Cala en Roqueta (San, AGUILÓ, 2017). Cala Tonó (1785) potser un nom o un malnom.

Cala Llombar(d)s respondria (COROMINES i MASCARÓ, 1989) al llatí *LUMBARIOS*, si no vé d'un llinatge o d'uns immigrants, documentat el 1446 en el sentit de 'mercadors' (AGUILÓ, 2017). El mateix és el cas de cala *Proençals* que en Binimelis transcriu acuradament entre les cales Pedrera i Peretó i suara s'ha restaurat amb el nom d'una *villegiatura*. Potser calgui afegir-hi els rètols de cala Brafi, derivat del nom

<sup>1</sup> L'orientació va en el sentit de l'accepció malsonant del mot.

<sup>2</sup> Es diu també d'en Cen(d)rí (AGUILÓ, 2017).

semític Ibrahim, el de cala Matzoc (predominant el segle XVIII, *Marzoch*), llinatge aràbic i el de cala Marmassén que Coromines (1996) fa derivar de MÁRMAR + SÁMMÎ, aràbics.

La pertinença a les possessions veïnes es mostra a la caleta d'Ariant, cala de Bóquer (la romana *Bocchoris*) i la cala de *Tuyent*, reportada a l'obra de Binimelis i al mapa d'en Landaeta (1736); igual caldria dir de la cala de Santa Ponça. Cala de Deià respon (Binimelis, 1595), com també cala Manacor,<sup>3</sup> amb la preposició *de* elidida, com la cala Santanyí, documentada el 1340 (AGUILÓ, 2017). Cala Castell correspon al castell del Rei de Pollença; la cala del Corral Nou és enregistrada per Binimelis, en canvi, AGUILÓ (1996) la dona per esvaïda. Cala Ensiola o Anciola podria entroncar amb l'etimologia llatina FONTICELLA que suggereix COROMINES (1986). Cala de Font Salada o Celada seria el mateix. Mendia Vell i Mendia Nou són dues possessions que consigna el mapa actual, prop de Santa Cirga.<sup>4</sup> El mapa d'en Despuig hi posa al terme de Manacor un *Mendiga* a 6,7 km de la cala Mendia (Fig. 2), mossàrab segons COROMINES i MASCARÓ (1989).<sup>5</sup>

### La marineria i les pesqueres

El món mariner sovinteja al litoral i sobretot a les cales que empra com a refugi i base. Arriba a la *culassa* de la cala de Sant Nicolau o Portopí on hi havia una capelleta (BINIMELIS, 1595) o al caló de *Port Alt*, documentat el 1405 i 1595 per l'autor anterior com a cala Portals Vells on hi havia una de les pedreres de la Seu de Mallorca; ara és el caló de Portals Vells. El caló des Còmit apareix als mapes de 1785 quan encara sabien el càrrec que exercia: un oficial de la galera; ara ja no es diu i s'anomena caló de Son Caios o cala Estància (P) a l'enfront de l'illot de sa Galera (al barri de l'horrible nom de Can Pastilla).<sup>6</sup>



**Fig. 2.** Mapa oficial actual. Sota l'apel·latiu "turístic" de Cala Romántica s'agrupen cala Anguila, cala Mendia i s'estany d'en Mas. Font: GOIB\_MapaBase\_IB: IDEIB, SITIBSA.

<sup>3</sup> Cala Manacor va passar a *Portocristo*, arran de la guerra civil dels tres anys (1936-1939).

<sup>4</sup> Hi va nàixer mossèn Antoni M. Alcover.

<sup>5</sup> La mania mossaràbiga de Joan Coromines compareix al desgraciat tom I de l'*Onomasticon Cataloniae*.

<sup>6</sup> *Cala Espofinador* (TOFIÑO, 1786) és el nom deformat de cala Espalmador a l'arxipèlag de Cabrera (AGUILÓ, 2002).



Les barques serveixen per denominar cala Barca (M, 1785) —el nom era confusionari— que ara es diu cala Mendia per la possessió veïna. La cala Galiota és a Cabrera on el rellotge s'ha endarrerit i la de topònim idèntic es troba al ponent immediat del port de Campos (SS) on sembla que perdura. La cala de sa/la Nau (sud de SLI), documentada el 1450 (AGUILÓ, 2002) i la de Felanitx predomina des d'en Binimelis al llarg dels segles XVII-XVIII. Els vents serveixen d'orientació als mariners i per això trobam la cala de Llebeig a sa Dragonera i el caló de Gregal o Gargal als mapes de 1785: ara es diu caló de la Reina: hi estava molt exposat el litoral de Lluçmajor. Cala Barques (sospit que Varques, encara que en Despuig posi *Cala Barca*, M). Caló de sa Galera surt a Santanyí. Cala Antena esmenta una part de la barca (M). Cala Barca Trencada (San) és un episodi anterior a 1784, perquè ho reporta en Despuig. Cala Bóta esmenta un element habitual de la càrrega que duïen els vaixells (AGUILÓ, 2002).

El peix que agafen els mariners per ofici o afició han arribat a denominar determinades cales: cala Anguila (M), *cala Dento* (Binimelis, 1595, Capdepera) que després ha evolucionat a Déntol (segle XVIII), nom que es conserva a migjorn de la cala Matzoc. Cala Gamba —un crustaci— antigament era *cala de Gambes* (Ciutat, Binimelis, 1595); Tofiño (1786) cita el caló de ses Gambes (San, AGUILÓ, 2017) i al terme de Capdepera figura cala *Retjade* com a topònim, actualment en bona ortografia, cala Rajada. *Cla desarts* que transcriu Despuig i *cla dels Sards*, que posa la còpia pictòrica, deu correspondre al *Diplodus sargus*, abundós a la nostra Mediterrània: caldria escriure cala des *Sargs*.

### La natura: grandària, vegetals, animals i colors

La toponímia referida al medi natural és la més nombrosa en aquesta classificació elemental: una setantena d'ítems. Començam —per deformació professional i en honor de l'homenatjat— pels que esmenten la geomorfologia litoral. A part de les que al·ludeixen a la situació (cala des Freu, cala Solana, cala Agulla (Cap<sup>a</sup>, *Gulla*, 1785, referida al cap), ara s'ha desplaçat a la badiola. Les dimensions i la forma hi compten: cala Gran (San), cala Major (P) (Fig. 3), cala Mitjana (A i F, conservades), cala Petita (SLI, vigent) i Calallonga (documentada el 1331, San, AGUILÓ, 2017), un arcaisme servat que s'entravessa amb el ll. COLLONICUM) que ha donat Calonge, documentat el 1236 (AGUILÓ, 2017). De cales Estretes, n'hi ha tres: una a Artà per distingir-la de cala Torta<sup>7</sup> i cala Mitjana i una a Felanitx i una altra a l'illa des Conills (arxipèlag de Cabrera) que fa honor a la seva estretor (índex T/E: 3,53; ROSSELLÓ, 2005). Cala Curta (A, ara ses Manganetes), cala Torta (A) i la multitud de *calons* —inclòs el del nord d'Albercuix. El caló des Macs (San) es refereix als còdols redonencs i *es Caló* per antonomàsia indica cala Moltó de Betlem (A, AGUILÓ, 2011).

Cala *Enderrossay* figura a Binimelis (1595) com a esment d'una ensulsiada a Lluçmajor (cf. cap *Enderrocat*);<sup>8</sup> cala Murada, enregistrada el segle XVI pel mateix autor, deu al·ludir als penya-segats que hi penetren amunt del meandre del riu de sa Plana. Al·ludien a la forma cala Ansa des Serrill, caló des Serral, cala Barbacana (F), caló des Corral (San) o determinades connotacions: caló Blanc (M), cala Vella (P), caló des Macs (duplicat a San) i el misteriós caló des Màrmols, datat el segle XVIII, castellanisme inexplicable en aquella ocasió (*Los Marmols* a mossèn Despuig). No podria ser que els pescadors que identificaven els mabres (*Lithognathus mormyrus*) optassin pel castellanisme *màrmols*?, Cala Anclità (AGUILÓ, 2011) la registra aquest autor al terme d'Artà.

Cala Rafalbeig és explicada com ar. RAFF AR-AL-BĀĪD = 'els ràfecs blancs' per Coromines i Mascaró (1989). El caló de de Cova en Borges pretén d'esmentar aquest accident (Pollença). Cala des Clot s'ha tramudat a *Ensenada* (Alcúdia); cala Cocó (sa Dragonera) respon a un accident càrsic mentre que cala Codolar (Escorca) i caló des Macs (1785) indiquen l'existència de còdols redons a la platja: s'ha conservat al sud del port de Cas Català a la partió dels termes. Cala de l'Olla coincideix a Cabrera amb un element càrsic molt comú: una dolina capturada per l'erosió litoral (FORNÓS *et al.*, 2007). Cala Pudent es conserva enfront de la central tèrmica de Sant Joan de Déu. Cala Mosques o Morques ara es diu cala Blava quan

<sup>7</sup> No opina igual C. Aguiló (2011) que la introdueix per cala de s'Estret.

<sup>8</sup> Hi ha molts *enderrossalls* vius al litoral de Mallorca.



**Fig. 3.** Fragment del mapa de mossèn Despuig (1785). Al terme de Ciutat, *cala Major* i *cala Nova*; al de Calvià: *caló dels Macs*, *caló de les Jerras*, *cala Burgit* i *aló des Guix*.

el topònim antic ha topat amb l'especulació dels anys 1950's. *Cala Burgit* (Santanyí, 1785) i a llevant de les Illetes deuen haver correspost a la remor —brogit, metatitzat— que fa l'onatge.

L'altra designació natural de les cales es fixa en els vegetals (18 ítems) i les exposaré per ordre alfabètic. Començ amb la *cala Ampla del Revellar* (Artà, 1785) que correspon a un col·lectiu d'ullastres (*Olea europaea*) baixos i espinescents que sembla un topònim oblidat. La *cala Boscana* (BINIMELIS, 1595: *boscona*), que predomina el segle XVII a Alcúdia, s'ha esvaït. La *cala de ses Donardes* (LI, AGUILÓ, 1986) correspon a l'*Agave americana*, introduïda després del segle XVI. El *caló de ses Favas* (San) fa el nom d'una de les lleguminoses més conrades. *Calapí*, autoritzada pel mateix historiador Binimelis i fins i tot, per les mateixes cartes portolanes anteriors, es manté vivent i com a model de les cales profundes (Fig. 4). *Cala Donzell* —un dels escassos topònims no traduïts del cartutx de Cabrera del gravat d'en Despuig— es basa en l'*Artemisia absinthium*, destil·lat per a l'absenta.

De cales Figueres, n'hi ha tres, dues enregistrades per Binimelis a Pollença i Calvià i una tercera només al parell de mapes de 1785 a Santanyí:<sup>9</sup> no és estrany que els mariners es fixassin en un arbre que donava fruita alimentària i encara resta al quart sud-est del gravat de 1785, *cala Figuereta* —per evitar tautologies— que segueix al gregal des Màrmols (Santanyí). *Cala Gremonia* (*Agrimonia eupatoria*) s'imposa al litoral, vora s'Evangèlica a la gola dels torrent des Rajolí i es manté durant els segles XVII-XVIII per donar lloc al "coll de sa Gramola"!!! *Cala Lledó* (Binimelis anota el 1595 *cala Lladro*, a sa Dragonera); correspondria al *Celtis australis* que devia ser importat des d'abans de la conquesta catalana. La *cala de*

<sup>9</sup> Una d'elles és documentada el 1306 com a propietat de la viuda de n'Esteve Figuera (AGUILÓ, 2017).



**Fig. 4.** Fragment del mapa de mossèn Despuig (1785). *Cala Pi* (Calapí), al terme de Lluçmajor, model de cala profunda.

*la Lletretera* (Manacor) de Binimelis pertoca a una *Euphorbia nutans* o *peplis*; cala Mata s'enregistra a Artà (1785) al nord de la *villegiatura* de Betlem, amb el nom de la *Pistacia lentiscus*. Cala Murta descendeix del *Myrtus communis* i està incardinada a Manacor i Pollença des dels temps més remots. Cala Pilota (al nord de cala Virgili) és referida a la parella de 1785 i es podria relacionar amb les bolles que es formen sobre les platges on s'acumulen les fibres de *Posidonia oceanica*. Cala en Timó (AGUILÓ, 1986) correspon al fitònim *Teucrium polium*. Les caletes del Pinar o *tres cales juntes* se situen a la península d'Alcúdia des de Binimelis. Cala Poll (F) correspon a *Populus nigra*. El mateix historiador i geògraf (1595) assenyala el caló del Romaní o cap del Romaní abans de l'illa de sa Galera (P) i després de ses Fontanelles; avui deu coincidir amb cala Estància. Caló des Sivinar (San) deriva del *Juniperus phoenicea*.

El ram dels animals és prou més escàs (8). En mancar d'ordenació assumiré el de l'alfabet. Als mapes de 1785 hi ha una cala dels Bocs (C) en un indret una mica feréstec a migjorn de Portal(t)s. *Cala de cunills*, que consigna el repetit autor a la vora sud de Sant Elm i que el parell de mapes de 1785 transcriuen com a *Cala Escunijs*. Un estrany *Escalon del Corzo* que figura al cartutx de Cabrera al gravat d'en Despuig (1785) podria traduir-se per caló del Cabirol, però és problemàtic. Cala Falcó (M) i cala Gavina és el nom que aplica Binimelis a una indentació de Campos: sembla que el volàtil s'ha esvaït. Cala de Gos (Binimelis i Despuig) planteja un problema perquè recentment es presenta com a cala d'Egos (Egües) i s'ha creat punta de l'Egüeta. A la fi, cala del Moscar ha estat traduïda per cala Blava, després d'haver passat per cala Mosques (P).

El color del terrenys crida l'atenció dels mariners al caló de s'Argentera (Binimelis, 1595) i les dues cales Blanques dels termes de Calvià i Andratx, la segona de les quals és anotada per Binimelis. La paleta dels que posen els noms és molt migrada: només hi ha dues cales Roges (*cala roja* o *roge*, posa Binimelis) i *Cala Rotja* escriuen Despuig i Maçana des de 1785 al terme de Capdepera que aleshores era d'Artà. Cala Fosca (A, AGUILÓ, 2011) esmenta el color gris o ombrívol de l'indret. Les mines o pedreres transcendeixen al caló des Guix (una de les poques vegades que el gravador Muntaner empra l'article salat que rectifica el copista-pintor com a pedrera. Cala Pedrera, la reporta Binimelis a Artà (Cap, avui). Podria coincidir amb Pedruscada, *villegiatura* del sud.

### Circumstàncies diverses: defensa, hagiografia, episodis i nou encuny

La vigilància —tot i que n’hi ha d’altres casos relacionats amb talaies— justifica el caló de n’Aguait, vigent, transcrit pel parell de 1785 en femení. Cala de sa/la Mora pot pertànyer a un episodi llegendari a la costa de Bàltx (Sóller), com el caló des Moro (San). Cala des Tests (Escorca, 1785) podria fer parella amb l’oposat pel diàmetre caló de ses Gerres o Gerretes de Cas Català dels mateixos mapes. Cala Nova (Calvià, redescoberta?) i *Nueba* del gravat d’en Despuig s’oposa a cala Veya/Veia (1785) que pot al·ludir a l’ús que se’n va fer en temps passats. Cala s’Almonia que predomina els segles XVII-XVIII té una clara etimologia aràbiga AL MÚNIJA, ‘jardí’, ‘hort’ que predomina el Set-cents en la forma *Salmonia*. La cala *Regel* (Binimelis), Regell o *Ratgell*, perduda el segle XVIII (Llucmajor) no he sabut interpretar-la, mentre cala Tonó deu ser un malnom (Artà W). Una circumstància ocasional o habitual justifica el caló de sa Senyora (de Son Verí, Llucmajor) que devia tenir un lloc de bany reservat. El topònim cala Varques —la gent de la meua edat distingeix perfectament la *b* de la *v*— s’adaptaria a les *avarques*, però Binimelis al manuscrit de 1595 posa *Cala Varques* o *Vanques*... Els dels Sis-cents escriuen cala Varques. El caló des Pou (San), reuneix una pedrera de marès i un pou del que només es conserven les ruïnes.

L’hagiografia ens subministra quatre topònims: caló de Nostra Dona, front a l’illa del Sec, que podria tenir relació amb l’oratori de cala Portal(t)s Nous, i el caló de Santa Maria —no oblidem el cognom— que trobam a Cabrera (gravat de 1785). La cala de S<sup>t</sup>. Antoni, l’enregistra Binimelis (1595) al nord de cap Enderrocat; és estrany que escapàs a la perspicàcia del canonge Despuig. La cala de Sant Vicenç (que Binimelis com a format a València escriu Vicent, com la majoria de mapistes del segle XVII). Tot i que el primer document que esmenta la cala amb aquest nom és de 1417, no té raó J. Berard (1789) quan fa arribar al taumaturg per mar a la cala; el caló de Sant Vicenç (LI, AGUILÓ, 1986) conserva la seua denominació.

La cala Extremer, apuntada per Binimelis (prop de cala Castell a Pollença), transcrita per en Despuig, no ha deixat rastre al litoral actual: ¿podria al·ludir al “queixal de l’enteniment”? No hi ha dubte que la cala Llamp o des Llamp era un fenomen enregistrat abans del temps d’en Binimelis (Andratx),<sup>10</sup> mentre que cala Socorrada (Santanyí), escrit *Secorrada* al parell de mapes de 1785, responia a un incendi i testimonia la pronúncia d’aquella saó. Cala Enganapastor (M) es refereix a un esdeveniment concret, com cala Bota al mateix terme que esmenta una troballa casual i el caló des Soldat que evoca un episodi concret (M). El duplicat caló de ses Dones/ses Monges (F i San) implica la separació de sexes vigent a l’antic règim. Ja hem al·ludit a sa Barca Trencada (San) com a episodi anterior a 1784. El caló de ses Egües —pronunciat *Egos*— esmenta els banys d’aquestes bísties que s’hi verificaven a partir de la possessió de Santanyí on es criaven (sa Punta). El caló des Llamp, on hi va pegar un temps passat aquest fenomen atmosfèric, és un record de Portopetre. El caló des Homos Morts és una referència temporal dels que s’hi negaren o els va aportar la mar (San, documentat el 1782, AGUILÓ, 2017).

Cala Bona i cala Millor a Son Cervera succeeixen el port Vell i port Nou on es feren casetes els nous rics de l’interior devers el canvi de segles XIX-XX i abans de la guerra civil (1936-1939). El mateix, amb una altra orientació esdevingué a cala d’Hort, explicat pel mateix promotor, que va donar *Cala d’Or*, *villegiatura* planificada per l’arquitecte Bellini (1934) a ses Puntetes: Calallonga, caló de ses Dones i cala Gran, fundada per l’antiquari eivissenc Josep Costa (1932). Cala Blava és la vella cala de Moscar o cala Mosques (LI) rescatada per una altra *villegiatura* més recent. Cala Pudent (P), vora es Carnatge, s’ha convertit en cala de sa Creueta i el caló de Solimina<sup>11</sup> (San) i la cala *Esmeralda* del mateix litoral ha substituït el caló dels Corralis (AGUILÓ, 2017).

<sup>10</sup> Baltasar Porcel la fa reviure el 1963 a *La lluna i el Cala Llamp* (una de les seves primeres novel·les) que era un vaixell de pesca.

<sup>11</sup> Qualque erudit devia haver sentit i llegit *Salamina*?

## Bibliografia

- AGUILÓ, C. (2011): *La toponímia de la costa d'Artà*. Palma, Edicions Documenta Balear. 382 pp.
- AGUILÓ, C. (1996): *La toponímia de la costa de Lluçmajor*. Barcelona, Institut d'Estudis Catalans. 184 + fotografies
- AGUILÓ, C. (2002): *Toponímia i etimologia*. Barcelona, Publicacions de l'Abadia de Montserrat. 330 pp.
- AGUILÓ, C. (2017): *La toponímia de Santanyí i Ses Salines* (tesi doctoral). Universitat de les Illes Balears. Departament de Filologia Catalana. Tres volums.
- BERARD, J. [1789] (1983): *Viaje a les Villas de Mallorca*. Edició de Llorenç Pérez. Palma, Ajuntament de Palma. 303 pp.
- COROMINES, J. (1996): *Onomasticon Cataloniae, V*. Barcelona, Curial. 488 pp.
- COROMINES, J. (1996): *Onomasticon Cataloniae, VI*. Barcelona, Curial. 475 pp.
- COROMINES, J. i MASCARÓ, J. (1989): *Onomasticon Cataloniae, I*. Barcelona, Curial. 314 pp.
- FORNÓS, J.J., GINÉS, J., GÓMEZ-PUJOL, L., RIQUELME, J. i ROSSELLÓ, V.M. (2007): Descripció geomòrfica des Màrmols fins as Balç (Santanyí): un segment modèlic del litoral marinenc de Mallorca. A: PONS, G. X. i VICENS, D. (Eds.), *Geomorfologia litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 14: 259-286.
- FORNÓS, J.J., GÓMEZ-PUJOL, L., ROSSELLÓ, V.M., GELABERT, B., SEGURA, F. I PARDO, J.E. (2017): Karst, acantilados y calas en el Migjorn de Menorca. GÓMEZ-PUJOL, L. i PONS, G. X. (Eds.): *Geomorfología litoral de Menorca. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 25: 283-296.
- FUMANAL, M.P., PARDO, J.E., RODRÍGUEZ-PEREA, A., ROSSELLÓ, V.M. i FORNÓS, J.J. (1997): Elementos morfogénéticos de calas y barrancos del sur de Menorca. *Actas del XV Congreso de Geógrafos Españoles: 245-286*. Santiago, Universidade de Santiago.
- MOLL, J. (2014): *Joan Binimelis: Descripció particular de l'illa de Mallorca e viles*. [Edició crítica a cura de Juli Moll]. Monuments d'Història de la Corona d'Aragó. València, V., Publicacions de la Universitat de València. 359 + CD pp + disquet.
- ROSSELLÓ i VERGER, V.M. (1982): Cala and Cala coast. In: Schwartz, Maurice L.: *The Encyclopedia of Beaches and Coastal Environments*: 185. Stroudsburch, Hutchinson Ross.
- ROSSELLÓ i VERGER, V.M. (1995): Les cales un fet geomòrfic epònim de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 38: 167-180.
- ROSSELLÓ i VERGER, V.M. (1998): Torrents i cales de Mallorca: aspectes geomorfològics. A: FORNÓS, J. J. (Ed.), *Aspectes geològics de les Balears*: 331-360. Palma de Mallorca, Universitat de les Illes Balears.
- ROSSELLÓ i VERGER, V.M. (2003): Las calas y la costa del Migjorn. *Introducción a la Geografía física de Menorca*: 87-99. Palma, Asociación de Geógrafos Españoles – Universitat de València.
- ROSSELLÓ i VERGER, V.M. (2004): El litoral i les cales. A: FORNÓS, J.J., OBRADOR, A. i ROSSELLÓ, V.M. (Eds.) *Història Natural del Migjorn de Menorca. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 11: 177-200.
- ROSSELLÓ i VERGER, V.M. (2005): Cala, una mesoforma litoral: concepte, models i aproximació morfològica. *Cuadernos de Geografía*, 77: 1-18.
- ROSSELLÓ i VERGER, V.M. (2007): Cales, torrents, fractures i carst a Mondragó. A: PONS, G. X. i VICENS, D. (Eds.), *Geomorfologia litoral i Quaternari. Homenatge a J. Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 14: 287-297.
- ROSSELLÓ i VERGER, V.M. (2012) (Coord.): La cala encantada. Ciència i cultura al voltant de la cala mediterrània. Monogràfic. *Mètode*, 74: 39-91.

---

Data recepció: 12.07.21

Data revisió: 18.07.21

Revisió acceptada: 28.08.21

# NOTA SOBRE ELS TOPÒNIMS BALEÀRICS FORMATS AMB CALA + ARTICLE + NOM

Cosme Aguiló

Institut d'Estudis Catalans

**Resum:** Aquest article pretén mostrar la nòmina dels topònims baleàrics formats amb el genèric *cala* + article + substantiu, per tal de contribuir a l'establiment de llurs grafies de manera més coherent possible, especialment pel que fa a noms del tipus *Calespiques*, *Calesfonts*, en els quals la pluralitat de *cala* és només aparent.

**Paraules clau:** *cala*, toponomàstica, Mallorca.

**Abstract:** This article aims to show the list of the Balearic toponyms formed with the generic *cala* + article + noun, in order to contribute to the establishment of their spellings in the most coherent way possible, especially with regard to names such as *Calespiques*, *Calesfonts*, since in this toponyms the plurality of *cala* is only apparent.

**Keywords:** *cala*, topony, Mallorca.

## Introducció

L'objectiu d'aquest petit treball és fer una aproximació als noms de lloc de les illes Balears formats amb la paraula *cala*, seguida d'article (amb totes les flexions de nombre i de gènere) i de substantiu determinant. El paradigma d'aquesta mena de noms constitueix una relació tancada que es caracteritza per la seva brevetat i circumscripció a les Balears estrictes. Intentarem explicar que el fet que noms dels tipus *Calesfonts* o *Calespiques* són en realitat falsos plurals de *cala*, cosa que ajudarà, pensam, a establir les grafies de tots ells de manera coherent.

Advertim, d'entrada, que els únics problemes d'escriptura afecten els topònims que s'expliquen en l'apartat 4, els quals corresponen als que tenen com a determinant un mot femení en plural. Són uns pocs topònims, propis sobretot de Menorca, que sovint han estat motiu de controvèrsies a la premsa i que podem trobar escrits en obres importants de manera no coincident amb les propostes que aquí es faran. Que els problemes que esquitxen les grafies d'aquests noms de lloc no tenen solucions visibles a primer cop d'ull es constata en diverses publicacions.<sup>1</sup>

## *Cala* + article masculí singular + nom

En coneixem dos exemples a les illes: *cala es Corpetar* (Ciutadella) i *cala es Codolar* (Escorca). El segon és només una variant, segurament més primitiva, de *cala Codolar*.<sup>2</sup> Cal pensar que en l'estructura profunda hi ha una preposició caiguda: *\*cala des Corpetar* i *\*cala des Codolar*. Aquests dos topònims no presenten cap tipus de problema, ja que partim d'una sola *cala* on hi havia un corpetar (que intuïm que era de corbs marins), en el primer cas, o on hi ha un codolar, en el segon.

Un tercer cas seria el de *cala es Teix* (Escorca), però no és més que una variant de *cala es Tests*, sorgida possiblement per homonimització formal, nom, aquest darrer, encasellat en l'apartat següent. Qualsevol persona dedicada a la geobotànica sap que a Mallorca els teixos, supervivents d'una flora relictiva, ocupen els cims més alts de la serra de Tramuntana i no creixen en les cotes situades a ran de mar.

---

<sup>1</sup> Cf. *Calesmorts*, *Calespous*, al costat de *cala es Tests*. J. Miralles i Monserrat, X. Gomila i Pons i E. Ribes i Marí. *Nomenclàtor toponímic de les illes Balears*. En línia: notib.recerca.iec.cat. Cf. *Cala Es Morts* (Ciutadella, Ferreries), *Cala Morts* (es Mercadal), *Cala Es Pous*, *Cales Coves*, *Calas Piques* (sic) i *Cala Fonts*. J. Mascaró Pasarius (1946-1951). *Mapa General de Menorca*.

<sup>2</sup> *Cala Codolar*, en el mapa Despuig (1785).

**Cala + article masculí plural + nom**

En tots els casos, el genèric *cala* té un únic referent. En sabem cinc ocurrències, una de les quals es repeteix per tres vegades: *cala es Morts* (Ciutadella, Ferreries, es Mercadal)<sup>3</sup>, *cala es Pous* (Ciutadella) i *cala es Tests*<sup>4</sup> (Escorca). En tots els casos hi ha una sola *cala*.

Repetim que aquest darrer topònim té una variant, sorgida per una homonimització formal que, en tenir el determinant en singular, se situa dins l'apartat descrit sota el número 1: *cala es Teix*. Sense conèixer *de visu* l'indret, pensam en la possibilitat que els fragments de ceràmica que donen nom a l'entrada marina puguin correspondre a les restes d'algun naufragi de qualsevulla nau grega o romana. Com en els casos de l'apartat anterior, sembla evident que hi ha hagut una caiguda de preposició *\*cala des Tests > cala es Tests*.

El topònim de *cala es Pous* necessita un poc més d'explicació. És molt clar que el determinant ha sofert una pluralització, pel fet que en l'única *cala* que hi ha hom hi troba un sol pou, el qual està situat en la part alta del canaló que hi desemboca. Es tracta d'una modesta captació de l'aigua amb unes piques per abeurar bestiar. Què va passar? Doncs que la pronúncia del primitiu *\*cala es Pou*, per causa de l'elisió de la vocal inicial de l'article, neutra com la del final de *cala*, feia sentir el nom com si fos *\*cales Pou* i aleshores s'anivellava amb una concordança de nombre fent-ne *\*Calespous*, que d'escriure-ho així seria una grafia gens recomanable de la més adequada *cala es Pous*.

**Cala + article femení singular + nom**

Sols se'n pot citar un cas, el de *cala sa Nau* (Felanitx)<sup>5</sup>, el qual tampoc no planteja cap mena de problema de grafia, tot i que de vegades hom el pugui trobar escrit amb l'article aglutinat, *\*cala Sanau*, en publicacions actuals. La paraula *nau*, que ha perdut gran part de la vitalitat que tenia temps enrere, no és totalment desconeguda dels parlants actuals, ja sigui gràcies a l'escolarització, o al fet d'haver sobreviscut en el cançoner, en les frases fetes («anar barca davant nau»), en la terminologia agrària (peres de la nau), o en altres topònims de les Illes (*cala Nau*, Sant Llorenç). La presència d'una nau ancorada a *cala sa Nau* és patent en el primer document conegut de l'indret, el qual precisa que la nau d'en Monbrú «stava surta en la cala de Calasanau».<sup>6</sup>

**Cala + article femení plural + nom**

Aquesta és una estructura que la proposam només com a originària de topònims en què la paraula *cala* sembla que s'hi troba en plural, cosa només aparent. Se'n poden citar els cinc casos següents: *Calespiques* (Ciutadella), *Calescoves* (Alaior), *Calesfonts* (es Castell), *Calesmosques* (Llucmajor) i *Calesegües* (Santanyí). Cal que assenyalem que els dos darrers topònims són variants raríssimes de *cala Mosques* o *cala Mosca*<sup>7</sup> i del *caló de ses Egües*.

En tots els casos hi ha una sola *cala*, tot i que es podria argumentar que en el cas de *Calescoves* n'hi ha dues. En realitat són dos calons amb una entrada comuna, com en el cas de *cala Figuera* (Santanyí), una sola gola marina amb dos calons. És més, si hem de fer cas de l'atles nàutic de Menorca, de

<sup>3</sup> Agraesc les informacions de Joan F. López Casanovas.

<sup>4</sup> Apareix documentada el 1585 com a *Cala Stest*. A. Ordinas Garau, G. Ordinas Marcé i A. Reynés Trias (2006: 131). *La costa d'Escorca*. Palma: Institut d'Estudis Balearics i Conselleria de Medi Ambient, Govern de les Illes Balears. *Cala Estets*, en el mapa Despuig (1785).

<sup>5</sup> No interessen aquí les variants, molt minoritàries, d'aquest topònim, una de les quals és producte de la influència exercida pels noms de *cala* + article personal masculí.

<sup>6</sup> ROSSELLÓ VAQUER, Ramon (1975). *Cronicó felanitxer*. Felanitx: Ajuntament de Felanitx.

<sup>7</sup> AGUILÓ, Cosme (1996: 133). *La toponímia de la costa de Llucmajor*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans. Treballs de l'Oficina d'Onomàstica, II.

Buenaventura,<sup>8</sup> el caló occidental de Calescoves té el nom propi de caleta de Sant Domingo. A Calespiques no hi ha més d'una cala, perquè les entrades veïnes tenen també denominacions diferents. Sembla que el determinant tenia com a motivació unes piques per abeurar el bestiar que hi havia dins el canaló.<sup>9</sup> De la mateixa manera, a Calesfonts hi ha una única cala i moltes fonts.<sup>10</sup> Una cosa semblant es pot dir de Calesmosques i de Calesegües, on hi ha un únic referent geomorfològic.

L'evolució de tals noms, segons el nostre parer, ha anat en aquest sentit: *\*cala de ses Piques* > *\*cala ses Piques* > *Calespiques*; *\*cala de ses Coves* > *\*cala ses Coves* > *Calescoves*; *\*cala de ses Fonts* > *\*cala ses Fonts* > *Calesfonts*; *\*cala de ses Mosques* > *\*cala ses Mosques*<sup>11</sup> > *Calesmosques* (vora el més freqüent *cala Mosques*); *\*cala de ses Egües* > *\*cala ses Egües* > *Calesegües* (al costat del tradicional *caló de ses Egües*<sup>12</sup>). O sigui, que en tots els casos sembla haver-hi hagut caiguda de preposició i síncopa. Com ens fa notar Nicolau Dols, si hi hagués hagut un ús formal d'aquests topònims, cosa que particularment pensam que és poc probable, l'evolució de *\*cala les Piques* cap a *Calespiques*, per posar sols un exemple, hagués tengut el camí encara molt més fàcil. En la parla ràpida, el pas de *\*cala ses Piques* a *Calespiques* no troba esculls intransitables i cau a plom la vocal situada en posició pretònica, feble a més no poder.

No hi ha res de semblant a les Pitiüses, segons ens informa Enric Ribes, tot i que es troben exemples a les costes de diverses parròquies de noms de cales on no s'ha consumat totalment la caiguda de la preposició (i fins i tot en algun cas de l'article), que es conserva en variants que encara són vives. A tall d'exemples: *cala de Boix* (Sant Carles), *cala des Xuclar* (Sant Joan), *cala d'Albarca* (Sant Mateu) i *cala de Llenya* (El Pilar de la Mola).

És la nostra intenció ajudar a posar una mica d'ordre en la qüestió: si escrivim sense problemes *cala sa Nau*, *cala es Tests*, *cala es Corpetar*, amb tota naturalitat, res no ens impedeix escriure *cala es Morts* i *cala es Pous*, encara que en el darrer cas només hi hagi un sol pou. L'evolució ha encaminat el determinant cap al plural i és un bon testimoni que interessa conservar. L'aglutinació en els casos com *Calesfonts*, *Calespiques* i *Calescoves* és la grafia més adequada, pel fet que la part inicial d'aquests tres noms no representa, si la nostra exposició és correcta, el plural de *cala*, sinó l'evolució del mot *cala* seguit de l'article femení plural *ses*. Deixam de banda els casos de *Calesmosques* i *Calesegües*, arreplegats amb el segell de la raresa en estudis nostres. Ambdós foren aportats per un sol informant en cada cas i és preferible usar els més habituals *cala Mosques* i *caló de ses Egües*, que tanmateix es troben, ambdós, en el camí de l'agonia, suplantats per la glotofàgia dels neotopònims de les respectives indústries del turisme.

---

Data recepció: 16.07.21

Data revisió: 28.07.21

Revisió acceptada: 28.07.21

---

<sup>8</sup> BUENAVENTURA, Alfonso (2004: carta 54). *Menorca. Atlas náutico*. Maó: Menorca S.A.

<sup>9</sup> Segons les informacions que agraïm a Antoni Bonet.

<sup>10</sup> D'acord amb les informacions que agraïm a Xavier Gomila.

<sup>11</sup> Un document de 1343 transcriu *Cala de Mosques* i el mapa Despuig (1785) *Cala de moscar*. C. Aguiló, *Op. cit.* Nom avui suplantat pel turístic *cala Blava*, car els dípters són mals reclams per a la indústria de l'oci.

<sup>12</sup> Elevat pel turisme de manera innecessària a la categoria de cala amb la denominació postissa de *cala Egos*.





# MAPES D'ALTRI: MARTÍ MARIA BONEO I VILLALONGA (1759-1805) UN CARTÒGRAF I EXPLORADOR MALLORQUÍ A L'OMBRA DE FÈLIX D'AZARA

Lluís Gómez-Pujol

Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears,  
Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears)

**Resum:** El present treball revisa els aspectes biogràfics del guardiamarina i cartògraf mallorquí Martí Maria Boneo i Villalonga (1759-1805), així com les seves produccions cartogràfiques. Nascut en el si d'una nissaga de militars de marina i emparentat amb els membres més destacats de la il·lustració mallorquina, Martí Maria de Boneo es formà a l'Acadèmia de Guardiamarines de Cadis sota el mestratge dels cartògrafs Vicente Tofiño de San Miguel i José Varela. Com a membre de les Partides de Límits del Virregnat del Río de la Plata –en ple conflicte amb la corona Portuguesa i els seus interessos al Brasil– dugué a terme multitud d'exploracions i campanyes hidrogràfiques a l'Amèrica meridional. Estudis recents l'apunten com l'autor de *facto* de la Carta del riu Tebicuary o com a auxiliar de la Carta Esfèrica del Paraguai de Fèlix d'Azara. Altres produccions seves són un dels primers plànols urbans de Buenos Aires que traspuja el regust de la cartografia urbana de Palma de finals del XVIII.

**Paraules clau:** cartografia històrica, Martí M. Boneo Villalonga, Amèrica meridional.

**Abstract:** The present work reviews the biographical aspects of the Majorcan naval guard and cartographer Martí Maria de Boneo i Villalonga (1759-1805), as well as his cartographic productions. Member of a lineage of navy soldiers and related to the most prominent Majorcan Enlightenment referents, Martí Maria Boneo trained at the Cádiz Marine Academy under the mastery of the cartographers Vicente Tofiño de San Miguel and José Varela. As a member of the Boundary Parties of the Viceroyalty of the Río de la Plata –in full conflict with the Portuguese crown and its interests in Brazil– he carried out many explorations and hydrographic campaigns along the Southern American fluvial systems. Recent studies point to him as the de facto author of the Tebicuary Map and assistant of the Spherical Charter of Paraguay by Felix de Azara. Another of his productions is one of the first urban maps of Buenos Aires. This map that exudes the aftertaste of the urban cartography of Palma at the end of the 18th century.

**Key words:** historical cartography, Martí M. Boneo Villalonga, Southern America.

## *Excusatio non petita, accusatio manifesta*

Resulta, si més no, curiós que un geomorfòleg com el qui subscriu embasti un treball de cartografia històrica, amb un fort regust de genealogia, per brufar la jubilació d'un dels geòlegs-geomorfòlegs més actius de la Universitat de les Illes Balears. Val a dir que vaig restar temptat de tornar a la conca de Valldurgent, a Calvià, i reprendre aquell primer mapa geomorfològic que juntament amb Alícia Bauzà van Slingerlandt aixecàrem per comanda d'Antonio Rodríguez-Perea, el 1995, com a treball de curs de l'assignatura de Geomorfologia d'aquell estimulant Pla d'Estudis de Geografia de 1994 (RULLAN, 2013). Pla que, de la mà del propi Antonio, Rosa M. Mateos, Lluís Pomar i molt especialment de la mà i mestratge de Joan J. Fornós, m'empeltà de geòleg. Finalment vaig deixar anar el retorn a la conca que, des del coll des Vent, cap a llebeig, aboca sobre Calvià, ja que la naturalesa d'aquest volum jubilar i la idiosincràsia de la persona a qui retem homenatge, fa que no em pugui estar de relligar la vida d'un marí i cartògraf, l'obra del qual quedà emmascarada sota l'ombra de la fama i nom de l'il·lustrat Fèlix d'Azara.

La justificació, que certament no és necessària, revelarà el pecat: corria el 1997 quan vaig començar a col·laborar amb el grupuscle d'investigació BALIT (Balears Litoral) capitanejats per Antonio Rodríguez-Perea, Jaume Servera Nicolau i assistits per José Àngel Martín Prieto. Llavors, encara fèiem aixecaments amb pantòmetre a les platges de Santa Ponça i Cala Millor, quelcom anecdòtic –tot i que eficient– en comparació amb el seguiment que avui en dia fem de les platges amb tècniques de videomonitoratge, inversió batimètrica o LIDAR. Explicava llavors, Antonio, que havia viscut 15 anys a la seva Tarragona natal, 15 anys a Barcelona i 15 anys a Mallorca i, que aprofitava qualsevol ocasió, des del descans al

camp o l'obligada aturada gastronòmica –d'anada o tornada d'una jornada de feina– per amenitzar la sobretaula amb les seves anècdotes de marí mercant i militant dels primers moviments d'objecció de consciència, laïcistes i altres tantes causes. Encara ara, quan camina, hom hi aprecia aquell aire de llop de mar... A les mateixes tertúlies resultava i resulta impossible que, sobre qualsevol tros de paper, Antonio no acabi il·luminant un esquema o bastint les bases d'un mapa temàtic. Tant és si parla d'estratigrafia, de geomorfologia o de panells solars... el mapa, l'esquema, el croquis són elements substancials del seu llenguatge. Així doncs, no és d'estranyar que la combinació d'home de mar, d'home de mapes i d'explorador del nostre homenatjat, em remeti a la figura d'un dels meus avantpassats: Martí Maria Boneo i Villalonga. Encara que, a diferència d'Antonio, aquest no seria gens laïcista i, segurament, sent fill de casa bona com era –tot i que liberal en el sentit primigeni (PERÑARRUBIA, 2014)– un home de l'aparell de l'Estat, al cap i a la fi, discutiria aferrissadament amb Antonio. Tanmateix, el nostre Martí Maria Boneo seria víctima del propi sistema al qual servia i les causes perdudes sempre són el tema final on van a petar les sobretauls del nostre geòleg esporlerí d'adopció i de cor. Així doncs, la present contribució malda per revisar els aspectes biogràfics del guardiamarina i cartògraf mallorquí Martí Maria Boneo i Villalonga (1759-1805), així com les seves produccions. Tot plegat sota l'estela d'una sentència quasi bé clàssica, del geògraf radical Yves Lacoste, que el geògraf mallorquí Vicenç M. Rosselló Verger refon quan reflexiona sobre la cartografia històrica: “els mapes són, si més no, també, per fer la guerra...”

### Una biografia turbulenta per a un servidor de l'Estat

Martí Maria Boneo i Villalonga (1759-1805), –a qui no s'ha de confondre amb el seu homònim i nebot Martí Maria Boneo i Villalonga (1784-1852)– fou el petit dels cinc fills de Martí Boneo i Brondo (1722–1798) i de Jerònia Villalonga i Vallès (1726–1800).

Per part de pare, el nostre Martí Maria pertanyia a la família Boneo, una nissaga d'origen francès i ascendència flamenca que, com bé rebla el seu Rei d'Armes del S.XVII, s'instal·là primer a Navarra, per acabar tenint un paper important, un cop establerts al Puerto de Santa María, al golf de Cádiz, com a Membres de l'Armada i alts funcionaris de l'Estat (BONEO i CRUZ, 2009). El primer Boneo en arribar a Mallorca fou Antoni Boneo i Morales-Guerra de los Ríos (1692–1761), capità del Regiment d'Infanteria de Sòria i Governador del Castell de Bellver (ENSEÑAT, 1981). La seva arribada a Mallorca es produeix a cavall de l'ascens de la casa de Borbó al tron dels regnes hispànics, com a membre de la nova administració i de l'aparell imposat pel Decret de Nova Planta (PASCUAL, 2016). No és d'estranyar, doncs, que aquest oficial de la nova administració borbònica es casàs amb Catalina Brondo i Julià, filla del molt botifler i noble Ramon Brondo i Puigdorfila i d'Aina Julià i Garriga, també de família de reconeguda simpatia filipista (MUNTANER *et al.*, 2006). No debades, el seu cunyat Jaume Brondo i Julià, capità del regiment de Dragons de Palma, cavaller de Calatrava, fou regidor perpetu de Palma per la classe de nobles del nou règim municipal instaurat per Felip V (ENSEÑAT, 2021). Per part de mare, Martí Maria era fill de la noble senyora Jerònia Villalonga i Vallès i, per tant, net del noble Francesc Villalonga i Dameto (1680-1726), –branca fiduciària de Villalonga-Escalada– i de la seva esposa Catalina Vallès i Berga (1694-1745). Per tant, cosí segon de Marc Antoni Vallès i Orlandis (*olim.* Reus de Sollerich), vescomte d'Almadrà i primer marquès de Sollerich.

Els Boneo no només eren una família de militars i membres de l'administració, sinó que estaven imbuïts per l'esperit de la il·lustració, tant en els aspectes més econòmics, com en els culturals. El seu paper com a membres de l'aparell de l'Estat i la racionalització i ordenació de la hisenda pública els valgué de ser titllats de “*azote de la isla*” en un opuscle anònim (CAMPANER, 1984; p. 556). Així mateix, al poc d'instal·lar-se a Mallorca apareixen com a propietaris d'una fàbrica de seda que aplicava els darrers avenços en la producció del teixits de luxe –introducció del torn piemontès i l'arribada d'artesans catalans formats a França– motiu pel qual són denunciats pels fabricants tradicionals per la competència deslleial i la manca de permisos o el vistiplau del gremi (DEYÀ, 2008). També apareixen com a participants dels cenacles il·lustrats a l'entorn de la Societat Econòmica Mallorquina d'Amics del

País o a les tertúlies del polifacètic Bonaventura Serra i Ferragut (1728-1784) (PASCUAL, 2002), un dels representants més genuïns de la il·lustració a Mallorca (PASCUAL, 2008). No debades, les estretes relacions amb el Canonge Despuig –després purpurat de l'Església– també queden paleses ja que afillolà i oficià el baptisme d'alguns dels fills d'Antonio Boneo Villalonga, germà del nostre Martí Maria (vid. ENSENYAT, 2021). L'esperit racionalista també quallaria a la nissaga, de manera que dues accions com l'ordenació i identificació amb rajoles de les illetes i cases de la ciutat (BIBILONI, 2012) –al cap i a la fi una acció amb un clar rerefons de tipus impositiu i de govern– o l'elaboració del catàleg de nobles aptes per a la defensa de l'illa i per al servei militar, que prengué forma en *l'Alistamiento Noble de Mallorca del año 1762* (RAMIS D'AYREFLOR, 1911), també són el resultat de la iniciativa que tenien els membres d'aquesta família.

Martí Maria Boneo i Villalonga (Fig. 1) neix el 18 de juliol de 1759 a la parròquia de Santa Creu. Els seus habitaven una casa a l'antic carrer de la Munició –avui en dia carrer del Forn de la Glòria– que limitava amb el carreró que, encara avui, es coneix com a carrer de Can Boneo i antigament com a carrer “que no passa”. Nasqué el mateix any de l'inici del Regnat de Carles III i poca informació es conserva sobre la seva infantesa i formació, fins que seguint les passes del seu germà Antoni, el juny de 1773, amb 14 anys d'edat, sol·licità l'ingrés a la Reial Companyia de Guardiamarines Reials de Cádiz on un cop autoritzat prengué possessió de la seva plaça el 31 d'agost de 1773 (BONEO i CRUZ, 2013). Un any després de l'ingrés de Martí Maria al cos de guardiamarines, els seus pares i germanes es traslladarien a Amèrica arran del nomenament del seu pare, Martí Boneo i Brondo com a Corregidor del districte de Porco, a la Intendència de Charcas (Bolívia) (ENSEÑAT, 1981).

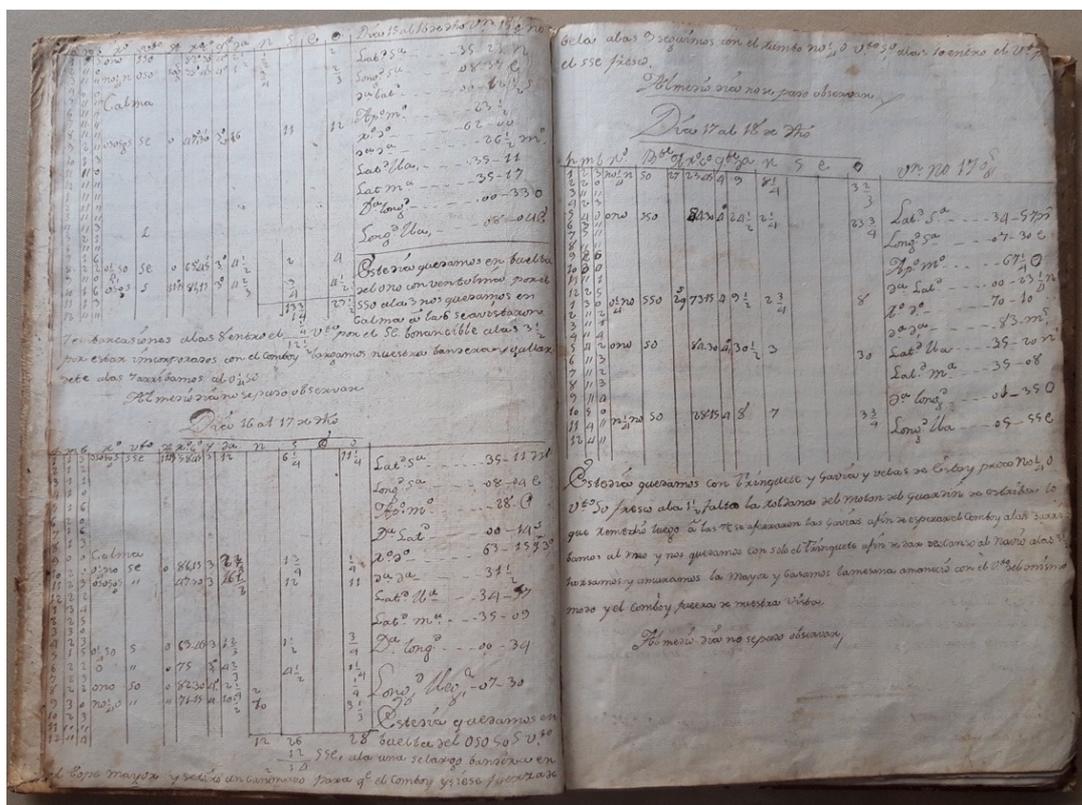
La Companyia de Guardiamarines Reials de Cádiz era una institució docent i militar de gran rellevància al segle XVIII, fins al punt que competia amb renom amb l'Acadèmia de Matemàtiques i Artilleria per a Enginyers Militars de Barcelona (CAPEL, 2006). El programa formatiu, inicialment dissenyat per José Patiño, incloïa dos semestres amb classes diàries, matí i horabaixa, de matèries d'aritmètica, geometria, trigonometria, àlgebra, rudiments de nàutica, navegació, cartografia, hidrografia, instrumentació, astronomia, francès i anglès, esgrima, ball i instrucció militar (vid. MADRID et al., 2020).<sup>1</sup> Val la pena d'apuntar que des de 1755 Vicente Tofiño de San Miguel –ben conegut en els cercles il·lustrats mallorquins i autor d'una cartografia de l'illa de Mallorca (ROSSELLÓ, en premsa; VIDAL, 2008)– era professor de matemàtiques de l'acadèmia i el 1768 en fou nomenat director (CAPEL, 1982). Altres professors de rellevància del jove Boneo foren el mestre de maniobres Santiago Agustín de Zuloaga, el professor de matemàtiques Fèlix de Berenguer –que arribaria a ser Governador de Filipines i més tard Virrei de Nova Espanya– o José Varela i Ulloa (1748-1794) que seria un dels padrins i protectors de Martí Maria (BONEO i CRUZ, 2013). José Varela fou un dels més estrets col·laboradors de



Fig. 1. Retrat a plomí de Martí Maria Boneo i Villalonga, cortesia del Museu Enrique Udaondo (Luján, Argentina).

<sup>1</sup> Al segle XVIII cartografia i geografia eren gairebé dos mots sinònims. La Geografia del vuit-cents, era hereva de la revolució científica del S. XVII, és a dir una disciplina astronòmica–matemàtica, continuació dels continguts d'aquella part general de la *Geographia Generalis* de Vareni als quals complementaven en un segon pla els continguts de la part descriptiva. Aquests darrers abocats als aspectes d'història natural, etnografia, etc. (CAPEL, 1980).

Tofiño de San Miguel i assistí al famosíssim matemàtic francès La Borda a l'expedició hidrogràfica a les Illes Canàries i la costa occidental d'Àfrica (GONZÁLEZ i MARTÍN-MERAS, 2003). El programa formatiu de l'acadèmia gaditana, integrava un període teòric amb un de pràctic en el qual els alumnes eren embarcats per aprofundir en les tasques hidrogràfiques, astronòmiques i de navegació. Així doncs, després del primer any d'estudis, segons el lligall 627 d'assumptes personals de l'Arxiu de Marina, Martí Maria aprovà els seus exàmens amb el següent comentari "*talento mediano, aplicación mucha, conducta buena, embarcado en el Andaluz*". Curiosament qui esdevindria el seu superior i amic, Félix de Azara, obtindria uns resultats no gaire diferents en la seva etapa formativa. CAPEL (2006), que en reproduïx l'expedient, apunta la valoració del futur naturalista i cartògraf de prestigi reconegut: "*Aprovechamiento teórico, bueno; aprovechamiento practico y dibujo, mediocrementemente*". El 10 de novembre de 1714 Martí Maria Boneo és nomenat alferes de fragata i embarca en el xambequí 'El Andaluz'. De les tasques que desenvolupà durant aquest període pràctic en sabem ben poca cosa, llevat que assistí al rescat de la ciutat de Melilla, navegà per aigües de Màlaga i realitzà tasques hidrogràfiques (BONEO i CRUZ, 2013). Tanmateix, es pot inferir que les tasques que realitzava a bord del xambequí no devien ser gaire diferents que les consignades pel seu germà Antonio Boneo i Villalonga que s'havia incorporat sis anys abans a la Companyia de Guardiamarines Reials de Cádiz i de qui sí es conserva a l'Arxiu Villalonga-Boneo el quadern de bitàcola amb les corresponents consignacions de rumb, posició, velam, treballs hidrogràfics i altres detalls de la navegació (Fig. 2).



**Fig. 2.** Les tasques que Martí Maria Boneo Villalonga desenvolupà durant el seu primer any de pràctiques embarcat a "el Andaluz" no devien ser gaire diferents de les que consignà el seu germà Antoni, que havia ingressat sis anys abans al cos de guardiamarines i que quedaren consignats al seu quadern de bitàcola conservat a l'Arxiu Villalonga-Boneo amb les anotacions de rumb, posició, velam, treballs hidrogràfics i altres detalls de navegació.

Acabat el primer any d'aprenentatge pràctic és ascendit a tinent de fragata i destinat a Cartagena, tot embarcant a l'urca "Polonia" i després a l'"Asunción".<sup>2</sup> Haurà de transcórrer quasi bé un altre any

<sup>2</sup> AGMAB, CA 8118/352

perquè passi de bon de veres a exercir de mariner de guerra, atès que l'octubre de 1776 embarcarà a la fragata "Venus", creuarà l'Atlàntic i, sota les ordres del capità Gabriel de Guerra, i com a part de l'esquadra dirigida per Pedro Cevallos, des del febrer de 1777 fins a finals de 1778, navegarà les aigües del Río de la Plata (Argentina) tot participant en el conflicte naval entre el Regne de Portugal i la corona espanyola. El 1778 és ascendit a alferes de navili i, un cop acabades les dissensions, almanco formalment amb els portuguesos, arran del Tractat de Sant Ildefons de 1777, la nau Venus és destinada al Plata, amb seu a Montevideo. Per aquest motiu Martí Maria arribà a exercir d'Oficial d'Ordres de l'Esquadra del Río de la Plata. El 1779 li arribarà l'ascens a tinent de navili (BONEO i CRUZ, 2013) i acabarà la seva etapa de marí de guerra.

El 1780 per exprés desig del seu antic professor José Varela, Martí M. Boneo i Villalonga s'integrarà a les partides de la Comissió de Límits que tenen per objecte la delimitació de la frontera hispanoportuguesa i quedarà adscrit a la tercera partida, sota el comandament de Félix d'Azara (BONEO i CRUZ, 2013). Hi servirà poc més de dotze anys, realitzant campanyes per terra, remuntant les aigües del Tebicuary –un dels rius més llargs i de major cabal de l'actual Paraguai– o fins i tot desenvolupant tasques d'espionatge al llarg del riu Paraguai i el Mato Grosso, on consignarà la violació per part dels portuguesos del tractat de límits arran de la creació dels assentaments fluvials d'Albuquerque i Nova Coimbra (CARDOZO, 1987). El 1792 demanarà de ser retirat del servei de la comissió de límits afectat d'escorbut i sordesa, cosa que li serà concedida juntament amb l'ascens a capità de fragata. El 1793 retorna a la metròpoli, poc després d'haver contret matrimoni amb la criolla–filla de mercaders, Cipriana de Viaña.

De retorn a la Península Ibèrica i d'una primera destinació al Ferrol passarà a Cartagena. Poca cosa es coneix de la seva activitat durant aquest període, llevat d'una llarga estada a Aranjuez –on naixeria la primera filla– per tal de creuar-se a l'ordre de Santiago fent ús del privilegi reial concedit als seus avantpassats. En conseqüència, n'esdevingué cavaller el 1794 (BONEO i CRUZ, 2009).<sup>3</sup> El 1795 el nou virrei de Mar del Plata, Pedro de Melo i Portugal el reclamà a Buenos Aires. A principis de 1796 l'ascendiren a Capità de Fragata amb la condició que retornàs a Amèrica,<sup>4</sup> cap a on s'embarcà amb la jove família el 10 de març de 1796.

Arribats a Buenos Aires, apareixerà desenvolupant diferents funcions de l'administració del virregnat i exercint tasques de supervisió i control administratiu del "cabildo" de Buenos Aires que li valdran nombrosos enemics (vid. BONEO i CRUZ, 2013). Així, el 1798 actuarà de jutge del Consell de Guerra General, el 1799 dirigirà les obres de l'empedrat i sanejament de Bons Aires, el 1800 emprendre la plaça de bous i el mapa de Bons Aires i el 1802 el moll i la recava i, finalment, el 1803 el teatre de la ciutat. També restarà implicat en la creació i l'equip docent de l'Acadèmia de Nàutica del Real Consulat de Bons Aires (DE PAULA, 1995). El traspàs del seu protector, el virrei Melo, així com els creixents conflictes entre els interessos criolls –representats pel cabildo del Bons Aires– i els de la corona –representats per l'administració virregnal– el trobaran al bell mig, amb l'execució del projecte de l'empedrat o la cartografia de Bons Aires (BONEO i CRUZ, 2013), ambdós projectes orientats a millorar la hisenda i les càrregues impositives a la colònia (FAVELUKES, 2014). Tot plegat li generarà nombrosos enemics que faran mans i mànigues per destituir-lo, que el difamaran i acusaran de malversació, per tal que fos cessat i en el seu lloc ubicar a una persona més afí als interessos de la burgesia criolla, de cada vegada més distant dels interessos de la metròpoli i de la Corona a la qual Martí Maria servia obcecadament (BONEO i CRUZ, 2013).

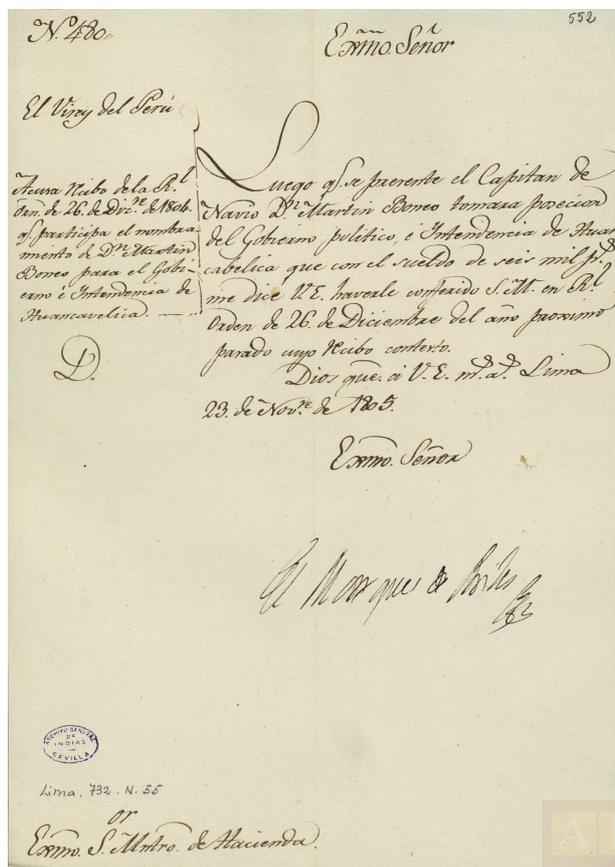
Finalment, la destitució com a intendent de policia de Bons Aires l'obligarà a retornar a la Península Ibèrica –aquest cop deixant la família a l'Amèrica meridional– i reincorporar-se al seu destí a Cartagena. El març de 1804, malalt, demanarà permís per restar a l'Escorial.<sup>5</sup> Poca cosa es coneix d'aquestes estades properes a la Cort, llevat que a finals del mateix any és nomenat Governador de Huancavelica

<sup>3</sup> AHN, Órdenes Militares, Santiago, Caja 218, Expediente nº 1.145

<sup>4</sup> AGMAB, Leg. 620/159, fs 70-74.

<sup>5</sup> AGMAB, Leg. 620/159 fs. 141-147.

(Perú) per mediació del Ministre Soler (Fig. 3).<sup>6</sup> Tanmateix la malaltia li impedirà el retorn al continent americà i el 1805 demanà permís per retornar a Mallorca. Arribat a Ciutat i instal·lat a la casa familiar, i sota la cura dels seus germans, el 24 de maig de 1805 dictà testament.<sup>7</sup> Morí el 6 del juny següent (ENSEÑAT, 1981), tot deixant dona i set fills –de 2 a 10 anys d’edat– a Buenos Aires que encetaran la branca argentina dels Boneo (BONEO i CRUZ, 2009).



**Fig. 3.** Nomenament de Martí Maria Boneo Villalonga com a Governador de Huancavelica (1805). AHN, Arxiu General d’Índies, Signatura Lima.732.N55.

### Mapes per fer la guerra: les partides de límits i la posició de la frontera hispano-lusitana a Amèrica

Dos fets són claus per contextualitzar l’activitat i la producció cartogràfica de Martí Maria Boneo i Villalonga. D’una banda, la creació del nou virregnat del Río de la Plata, amb capital a Buenos Aires, que el 1770 separà Buenos Aires, Tucumán, Cuyo i Paraguai de la dependència de Lima (Virregnat del Perú); i d’altra banda, el tractat de Sant Ildefons de 1777.

El nou virregnat s’havia creat per tal de consolidar la creixent puixança econòmica de l’àrea drenada pel Plata, així com per la necessitat de dotar la regió d’una organització política i administrativa que pogués dissuadir o reduir les pretensions d’avanç de la frontera terrestre per part dels portuguesos i la dels anglesos sobre el sector més meridional del continent americà i de les seves illes atlàntiques (SILVA, 1993). Tant és així que, nou dies després de la creació del nou virregnat, Carles III també ordenà la creació del *Real Apostadero Naval de de Montevideo* (MARTÍNEZ, 1968), estació naval on un any més tard, Martí Maria Boneo i Villalonga seria l’oficial d’ordres de l’Esquadra del Río de la Plata.

<sup>6</sup> AGMAB, Leg. 620/159, fs. 156-167.

<sup>7</sup> ARM, R-221. Quadern 1799-1805. Fol. 415-497.

A la creació del nou virregnat l'acompanyaria la implementació del Tractat de Sant Ildefons de 1777, actualització del de Madrid de 1750 i que, a canvi d'algunes concessions territorials al continent americà –pobles guaranis i missions ignasians al vessant oriental del riu Uruguay–, conferí a la monarquia hispànica la titularitat de la colònia de Sacramento, el riu de la Plata, la colònia africana de Guinea i l'abandonament de les pretensions portugueses sobre les Filipines i les Marianes (MARTÍN-MERAS, 2012).

Tanmateix, el tractat preveia una delimitació precisa dels límits per a aquelles zones en què la cartografia existent no era prou precisa i encomanava la demarcació de la frontera a quatre comissions mixtes d'experts integrades per dos comissaris, un representant de la corona portuguesa i l'altre de la hispànica. Aquest floret de demarcadors s'embarcaren el 1781 a Lisboa cap a Rio de Janeiro sota pavelló portuguès, atès que la corona hispànica estava en guerra amb Anglaterra (CAPEL, 2006) per dividir-se després en vuit partides, quatre d'espanyoles i altres quatre de lusitanes, tot i que amb l'obligació de reunir-se i contrastar els respectius treballs (MARTÍN-MERAS, 2012). Totes les partides restaven sota la supervisió de José Varela i Ulloa –antic professor a Cádiz del nostre Martí Maria Boneo– que, un cop instal·lats a Asunción, el reclamaria perquè s'incorporàs com a segon comissari a la Tercera Partida de Límits, liderada per l'enginyer militar convertit en capità de fragata, l'insigne Fèlix d'Azara (OCAMPO, 2002).

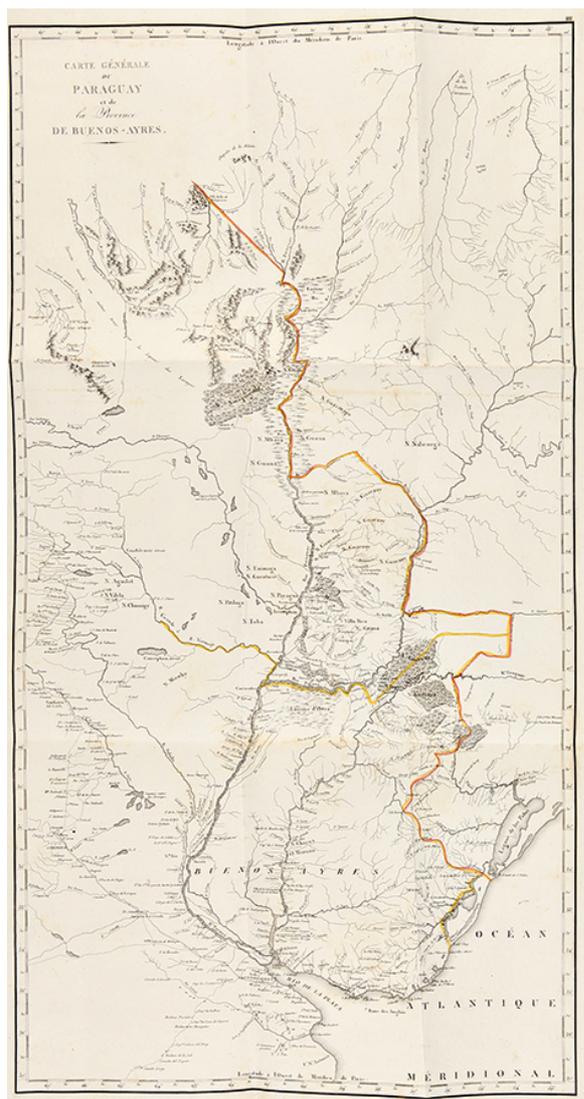
Cada partida estava integrada per un nombre diferent de membres en funció de l'àmbit geogràfic que els corresponia abastar (Taula 1) i la integraven tant personal civil com militar. Una part de la partida estava formada per personal de suport entre els quals s'hi comptaven flequers, fusters, mossos, ferrers, mosso de quadra, cuiners, etc. L'equip tècnic de la partida (comissari, capità, ajudant, pilot-geògraf i mestre d'instrumentari-astrònom) tenien per missió l'aixecament detallat de la cartografia de les zones frontereres en litigi, així com la redacció dels diaris de navegació. En qualsevol cas, tots aquests aixecaments cartogràfics anaven acompanyats d'una recollida de dades de caràcter històric, demogràfic i d'història natural orientats a facilitar una vasta informació territorial a l'administració i facilitar així el seu govern (CAPEL, 2006). Al cap i a la fi, el coneixement geogràfic no té exclusivament la funció de fixar límits, fronteres, a l'espai sobre el qual s'exerceix o manté el poder un estat, sinó que serveix per produir –o reproduir a les colònies– tot un ordre social que va més enllà de l'estrictament econòmic (SLUYTER, 2001).

MONCADA (2011) destaca especialment en aquest sentit la tasca desenvolupada per la tercera partida, els resultats de la qual, a diferència de les altres, tot i que inicialment confidencials i restringits a les autoritats virregnals i de la metròpoli, bastirien l'esquelet de l'obra naturalística de Félix d'Azara. La tercera partida tenia base a Asunción i des d'allà havia de demarcar el riu Ygurey fins la seva unió amb el Paraguai, bé fos a Corrientes o al riu Apa. De fet la partida havia de trobar-se amb la corresponent portuguesa, que tenia base a la ciutat de São Paulo, al riu Ygatimí (DE ANGELIS, 1941).

Funció	1a partida	2a partida	3a partida	4a partida
Comissari	José Varela Rosendo Rico (2n)	Diego de Alvear	Félix d'Azara	Juan Francisco Aguirre
Capità	Bernardo Lecoq	José Bayrero	Martí M. Boneo	–
Ajudant	Juan José Varela	Juan J. Valdés	Pedro Cerviño	–
Pilot, geògraf	Joaquín Gundín	Andrés de Oyarbide	Ignacio Pasos Juan L. Insiarte	Pablo Zízur
Astrònom, mestre d'instrumentació	José Santaella	José M. Cabrer	José Sourryère de Souillac	Julio R. De César
Capellà	Manuel de la Mata	Bernardo Fontanes	Antonio Arcos	Ramón Varela
Interventor	José Ortiz	Manuel Moreno	Bernabé Bueno	Lorenzo Figueroa
Cirurgià	Juan de Molina	Félix Pineda	José Martí	Vicente Verduc
Escorta	Juan A. Sancho	Tomás de Ortega	Manuel de Rosas	Santiago Gómez

**Taula 1.** Composició de les partides de límits de la corona hispànica a l'Amèrica Meridional per desenvolupar el Tractat de Sant Ildefons de 1777. Modificat de MAZZOLA (2008).





**Fig. 4.** *Carta Esférica ó Reducida a las Provincias del Paraguay, Corrientes y Misiones Guaranís* de Félix d'Azara. Publicada a *Voyage dans l'Amérique Méridionale* (1809).

cites del mateix cartògraf per posar sobre la taula que, en absència de dades o d'exploració pròpia, afegia a les cartes treballs d'altres autors que tenia en bona consideració, o les aportacions de les altres partides de límits o aquells aixecaments que encomanava al seus subalterns. Al cap i a la fi, eren els mapes d'altri:

*“Por lo tocante a los ríos, he aquí cómo los he puesto en mi carta. El río Paraguay, y parte de sus vertientes que no he cortado, se ha dirigido por el mapa que de él hicieron los demarcadores de los límites del año 1754. Lo mismo he practicado con el río Paraná desde el pueblo de Corpus para el norte, y para el sur lo he dirigido hasta Corrientes por la derrota que de mi orden hicieron don Pedro Cerviño y don Ignacio Pazos, aquél ingeniero y este piloto de mi*

<sup>8</sup> En el pròleg de *Apuntamientos para la historia natural de los cuadrúpedos del Paraguay y Río de la Plata* (AZARA, 1802) el propi Azara confessa: *“Había apenas dispuesto mis ensayos en el orden más claro que me había sido posible adoptar, cuando recibí orden del virrey de bajar a Buenos Aires donde el capitán de fragata D. Martín Boneo me entregó los doce primeros volúmenes de la Historia Natural de Buffon, traducidos en lengua castellana por D. Joseph Clavijo y Faxardo y como no había sino este número de volúmenes traducidos, don Pedro Cerviño me prestó el resto en original”*.

El desembre de 1783, passat Nadal, Azara i Boneo, acompanyats d'una petita escorta, partiren a cavall per explorar el territori comprès entre Bons Aires i Asunción, mentre s'iniciaven les tasques de construcció de les embarcacions que permetrien l'ascens del riu. Pocs dies abans de la partida, segons testimoni del propi Azara,<sup>8</sup> Pedro Cerviño i Martí M. Boneo li regalaren els trenta-sis toms de la *Història Natural, General i Particular* de George Louis Leclerc, Comte de Buffon, que resultaran de tanta influència a l'obra del naturalista aragonès (GALERA i FRÍAS, 1996), tot i que n'arribarà a bastir una discreta crítica quant als processos d'especiació i al paper de la selecció natural (RAMÍREZ i GUTIÉRREZ, 2010).

D'aquest viatge, que durà quasi bé un mes i mig, deixaria tot d'anotacions i comentaris a propòsit de la fauna, la vegetació, la hidrografia i el poblament que quedarien recollits a *Viajes Inéditos de D. Félix de Azara desde Santa Fe a la Asunción* (AZARA, 1873). Durant l'expedició anirien prenent nota de la posició dels brancals dels rius i la seva geometria per tal d'incorporar les observacions que els permetria emprendre les successives versions i afegitons de la *Carta Esférica ó Reducida a las Provincias del Paraguay, Corrientes y Misiones Guaranís* (Fig. 4) que apareixeria al seu *Voyage dans l'Amérique Méridionale* (AZARA, 1809).

Si bé entre la historiografia espanyola existeix la tendència d'atribuir en exclusiva la cartografia aixecada a la iniciativa i mà d'Azara (vid. CAPEL, 2006; TORRENS, 1978), MARTÍNEZ (1997) destaca el mètode de compilació i d'integració dels mapes d'altri en l'obra d'Azara. De fet a partir del propi testimoni d'Azara (vid. AZARA, 1847), Martínez (1997) en detalla el seu pla cartogràfic i aprofita

*división. De Corrientes para el sur he puesto el Paraná por la navegación que de él hizo don Juan Francisco Aguirre, teniente de navío y comandante de la cuarta división de demarcadores. Él mismo me ha facilitado el plano del río Paraguay desde su unión con el de Paraná hasta la Asunción. De aquí para el noreste se ha situado por el mapa de dichos señores demarcadores del citado año, menos el Xexury que ha sido dirigido por la derrota de dicho ingeniero Cerviño, quien, juntamente con el teniente de navío don Martín Boneo, hizo la carta del río Tebicuary por mi mandato. Los demás ríos, de menos nota, se han puesto por los cortes que se le han dado en los viajes y por las mejores noticias que he podido adquirir, y no es fuera de caso advertir que anteriormente hice otra carta en la que no están bien situados los ríos Uruguay y Paraná de Corpus para el norte...”*

Així, dels deu mapes del Virregnat de la Plata atribuïts a Azara que obren en el Museu Naval i el Servei Geogràfic de l'Exèrcit (vid. MARTÍNEZ, 1997) n'hi ha com a mínim sis, en què per pròpia mà d'Azara en la documentació adjunta, o bé a la pròpia cartella del mapa es reconeix aital pràctica. L'ús de la carta esfèrica, la projecció més utilitzada de l'armada espanyola de l'època, així com el reticulat a llapis superposat que es troba als mapes –mètode de treball usual en els guardiamarines gaditans– la indicació de les mesures registrades a cada una de les expedicions, estalonarien el paper dels seus assistents en l'elaboració de les cartes. Certament la producció cartogràfica de les partides de límits era un treball col·lectiu i jerarquitzat –al front del qual Azara– i el fruit d'una divisió tècnica del treball. El coneixement, i la cartografia, és també una obra col·lectiva, un producte social.

Tanmateix, la historiografia argentina i paraguaiana és més taxativa i té tendència –encara que amb la mateixa ambigüitat que els hispànics utilitzen per mantenir la paternitat d'Azara– d'atribuir a Pasos, Cerviño i Boneo força dels mapes centrats en els rius Paraguay i Paraná (vid. BONEO i CRUZ, 2009; CARDOZO, 1959; DE ANGELIS, 1941). En aquest sentit el 1785, Azara encomanà a Pere Cerviño i Martí Boneo la navegació, exploració i cartografia del riu Tebicuary. De més a més dels mapes, s'havia de realitzar un detallat diari de la navegació. D'aquest darrer document, n'existeix un exemplar atribuït a Azara, però del qual diversos autors en dubten de l'autoria i l'atribueixen directament a Boneo, atès que Azara no participà a l'expedició. Documentalment consta que restava en altres ocupacions durant les poc més de tres setmanes (del 19 d'agost a l'11 de setembre de 1785) que durà la campanya al front de la qual estava Martí Maria (VELÁZQUEZ, 1993). No s'ha pogut localitzar la carta que aixecaren Cerviño i Boneo del Tebicuary, però la precisió del traçat i la consignació de les latituds i longitud –que només poden respondre a observacions de camp– respecte de la resta de brancals del Paraguay recollits a diferents mapes del Museu Naval de Madrid (MN) atribuïts a Azara (vid. MARTÍNEZ, 1997) com són la *Demostración geográfica del Río Paraguay desde la Ciudad de Corrientes, hasta la de la Asunción y terrenos enmediato a él* (MN, 42C-2), el *Plano de los Ríos Curugay y Xexury lebandado en el año 1788* (MN, 42C-1) o la



**Fig. 5.** Carta Esférica de la Provincia del Paraguay según los últimos reconocimientos particulares de las 3ª y 4ª Partidas de Demarcación en el año 1787 á 1791 (MN 42 B-3) atribuida a Félix d'Azara.

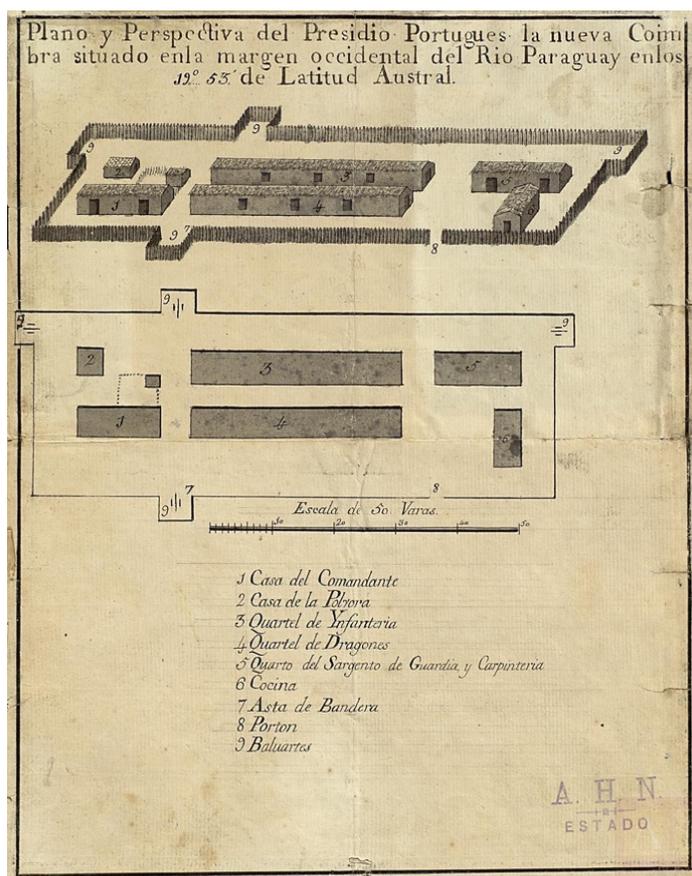


Fig. 6. Perspectiva i plànol de Nova Coimbra de Martí Boneo, 1790 (AHN, Estado, MPD, 92).

*Carta Esférica de la Provincia del Paraguay según los últimos reconocimientos particulares de las 3ª y 4ª Partidas de Demarcación en el año 1787 á 1791* (MN 42 B-3) (Fig. 5), podrien inspirar-se en els treballs hidrogràfics desenvolupats per Boneo i Cerviño. Tot i que no són prou concloents, la cal·ligrafia i la grafia dels nombres recordarien, especialment per a MN 42C-2, algunes de les cartes manuscrites de Martí Maria Boneo que recullen BONEO Y CRUZ (2013).

Tanmateix, l'anonimat cartogràfic perseguirà Boneo. Novament el 1790 assumeix la responsabilitat d'encapçalar el reconeixement del riu Paraguay fins al Matto Grosso,<sup>9</sup> aquest cop acompanyat pel pilot Ignacio Pasos i vuit soldats. D'aquesta expedició es conserva un diari atribuït a Ignacio Pasos,<sup>10</sup> així com una carta autògrafa de Martí Maria Boneo datada el novembre de 1790 i adreçada al seu mentor José Varela<sup>11</sup> en què reconeix haver traçat una carta del riu Paraguay i es dol de les modificacions i mutilacions que han fet sobre el seu mapa, tot excusant-se davant el mestre:

*“A mi llegada merecí que estos señores me honrasen aprobando mi conducta; pero después tuve el disgusto de que al señor de Alós no hubiese agrado que yo hubiese puesto en la carta del río que de orden del Excelentísimo virrey de Buenos Aires se había ejecutado aquella expedición, de que resultó mandarlos rascar furtivamente y substituir en su lugar lo que le pareció, que no he querido saber, sin embargo de haberle propuesto en el instante que me insinuó su desagrado el remedio reducido a lo mismo, que mandó ejecutar, siendo para mí lo más doloroso, que por habérsele calado el papel al sujeto a quien encargó la diligencia, fue preciso cortar un pedazo y echar un remiendo en el agujero; y de esta suerte caminó dicha carta a S.E. el correo pasado; de forma que las satisfacciones que recibí los primeros días de mi llegada se me acedaron con este pasaje, y con otros que fueron como consecuencias del resentimiento del señor de Alós, si no me engaño.”*

La navegació del Paraguay fins al Matto Grosso aflorarà la dimensió militar, d'espionatge, dels demarcadors. La localització de dos establiments, la població d'Albuquerque i el presidi de Nova Coimbra, fora dels dominis de la corona portuguesa obligaran Martí Boneo a consignar la violació del Tractat de Sant Ildefons i a romandre i compilar durant dies el màxim d'informació sobre els establiments i les seves dotacions militars que prendran cos en un minuciós informe que recupera el capítol *“Papel que le tocó desempeñar a Martín Boneo”* de l'obra de CALVO (1862). La correspondència entre Boneo i els oficials portuguesos dels nous establiments no deixa de tenir tints de tragicomèdia, ateses les formes i els continguts, de vegades fins i tot en forma d'amenaça explícita, a l'hora de dirimir

<sup>9</sup> AGMAB, Leg. 620/159 fs. 54-55.

<sup>10</sup> *Diario de una navegación y reconocimiento del Río Paraguay desde la ciudad de Asunción hasta los presidios portugueses de Coimbra y Albuquerque* recollit a ANGELIS (1941)

<sup>11</sup> AHN, Estado, Negociado Portugal. Límites en las posesiones de América entre España y Portugal, 4500/Nº8/Nº13

la usurpació territorial i l'excusa que bé valdria d'argument per a l'inici d'un nou conflicte militar entre les dues potències de l'Amèrica meridional. De més a més de la cartografia que no s'ha pogut localitzar, així com a complement del diari de navegació esmentant anteriorment, de la navegació del Paraguai també en resultà un producte cartogràfic com el plànol i perspectiva del Presidi de Nova Coimbra<sup>12</sup> (Fig. 6). Producte al qual recentment GUTIÉRREZ (2005), en relació a la mateixa expedició, hi ha afegit la vista del Fort del Príncipe de Beira<sup>13</sup>, l'autoria del qual s'atribueix a Martí Maria Boneo (Fig. 7).

El 1792 Martí Maria Boneo sol·licitarà, tot posant per excusa motius de salut, retirar-se de la Comissió de la Partida de Límits i tornar al seu cos d'origen<sup>14</sup>. Els conflictes amb el governador intendent del Paraguai –Joaquim d'Alós i Bru– i la seva desídia respecte de la tasca de la Partida de Límits i les violacions del Tractat de Sant Ildefons, constatades pel nostre protagonista, en serien la causa final. El propi Azara ho apuntaria en un memorial adreçat al Rei el 1794, en què desqualificà Alòs tot acusant-lo d'apropiar-se dels mapes i de les dades recollides i analitzades per la Comissió de Límits i d'emetre informes com si en fos l'autor (ANGELIS, 1941). El mateix any, el virrei del Río de la Plata, Nicolás de Arredondo, seguint instruccions del ministre Godoy, ordenaria la recollida de tots els plànols i descripció dels forts portuguesos, perquè el Govern de la metròpoli ho revisàs. Prèviament Alòs havia fet retirar la descripció i els mapes de la província fetes pels enginyers i ajudants encarregats de la demarcació de límits (BONEO i CRUZ, 2013). Tot plegat suposaria que el 1795, per segon cop, Azara demanàs de ser retirat de la direcció de la tercera partida de límits. El 1796 se li donaria el comandament de la frontera sud del virregnat i es dedicaria a explorar i fer avançar la frontera cap a la Patagònia, per finalment retornar a la Península el 1801 arran del nou conflicte bèl·lic amb la corona portuguesa i l'estat de desordre de la hispànica (CAPEL, 2006). Deixà la correspondència, cartes geogràfiques, manuscrits i altres elements científics a Pedro Cerviño per tal d'evitar "*las contingencias del cruce del Atlántico en tiempos de guerra*" (MAZZOLA, 2008).



Fig. 7. Perspectiva del Fort del Príncipe de Beira atribuït a Martí Maria Boneo, 1790 (AHN, Estado, MPD, 91).

<sup>12</sup> AHN, ESTADO, MPD, 92.

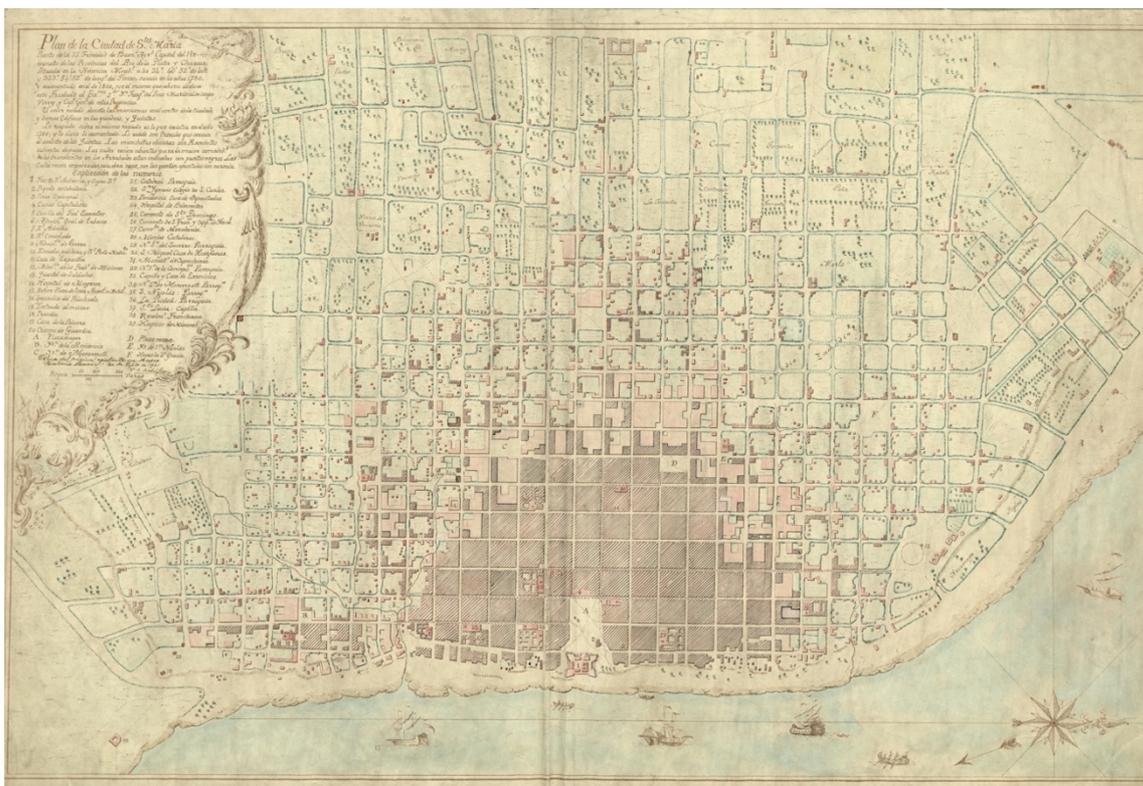
<sup>13</sup> AHN, ESTADO, MPD, 91.

<sup>14</sup> AGMAB, Leg. 620/159 fs. 49-68.

## Mapes per controlar el territori: el plànol de Buenos Aires

Tres anys després de la seva partida Martí M. Boneo tornà a Amèrica. Aquest cop s'establí a Buenos Aires i ocupà inicialment els assumptes de Marina.<sup>15</sup> Cap al 1799 el Marquès d'Avilés, Virrei del Río de la Plata, li encomanà les tasques de supervisió i disseny de l'empedrat i sanejament de Buenos Aires. Començà un turmentós període on Martí Boneo restà al bell mig dels conflictes, i en serà l'ase dels cops, entre el poder local, encarnat a l'ajuntament de Buenos Aires, i el de la metròpoli de la mà de la cort virregnal. BONEO i CRUZ (2013) detallen i expliquen, amb exuberància de fonts i testimonis, la naturalesa i el desenvolupament d'aquest conflicte. El que, al cap i a la fi, no deixen de ser els prolegòmens del divorci dels interessos de la burgesia criolla i els de la metròpoli i el bessó dels futurs processos d'independència. El projecte de l'empedrat anirà acompanyat del títol d'Intendent de Policia de Buenos Aires, un càrrec només subordinat al Virrei i encarregat del registre, llicències d'obra, nomenclatura de carrers i obres públiques amb disposició de fons econòmics, capacitat impositiva o disposició de mà d'obra a compte de condemnes a treballs forçats de la població reclusa.

És en el marc d'aquestes funcions on es materialitza la darrera obra cartogràfica coneguda de Martí Maria Boneo. Es tracta del *Plano de la Ciudad de Santa María Puerto de la S.S. Trinidad de Buenos Aires capital del Virreynato de las Provincias del Río de la Plata y charcas* (1800), al qual la historiografia argentina es refereix com al "Plano Boneo" (TAULLARD, 1941). De fet hi ha dues versions del mateix plànol; una que reproduïx TAULLARD (1941) que data de 1800 i de la qual no es coneix el parador, dedicada al virrei Avilés, i una segona versió dedicada al virrei Pino (ca. 1803). D'aquesta darrera, l'exemplar que actualment resta a les col·leccions del *Archivo General de la Nación Argentina*, sota la signatura AR-AGN-MAP01-II54, és una còpia de l'original que existia al Museu Històric Nacional de l'Argentina (Fig. 8).



**Fig. 8.** Plànol Boneo de Bons Aires (1802) (AGN, ARAGN, MAP-II-54). Imatge reproduïda per cortesia de l'*Archivo General de la Nación* (Argentina).

<sup>15</sup> AGMAB, Leg. 620/159 fs. 70-74.

El plànol Boneo és una representació planimètrica (116 x 170 cm) de la ciutat de Buenos Aires (ca. 1800) amb escala gràfica de 300 vares castellanes precedida del gal·licisme “pitipié”, l'escala real calculada de forma aproximada és 1:3.600. És un mapa manuscrit, a tinta i plomí i il·luminat amb colors. L'orientació ve indicada per una rosa de vuit vents principals, més altres vuit auxiliars i de menor entitat, amb una flor de llis que indica el N en direcció perpendicular al marge dret del plànol. De cada un dels vents principals es projecten línies de direcció que es perllonguen fins a topar amb la costa o amb el marge del mapa. Tot el plànol està encapsulat en un doble marc on es juga amb el gruix del traç per donar-hi volum. Així, els marges esquerra i superior del marc interior són més amples que el marge dret i l'inferior i viceversa. Al marge superior esquerra hi ha una cartel·la de regust barroc amb el títol del plànol, la latitud i longitud de la ciutat respecte del meridià del Fierro [el Hierro] (extrem occidental de les Canàries) –tota una deixa ptolemaica–. De més a més hi ha 39 nombres amb indicació dels edificis singulars. Addicionalment, al plànol, també s'hi registren prop de quaranta topònims interiors entre els quals trobam noms de camins, equipaments (i.e. Juego de Pelota, Matadero), noms de finques o districtes de la ciutat.

Malgrat que es tracta d'una planimetria, hi ha abundants indicacions del relleu. Tot al voltant de la riba i en el sector sud, en una diagonal que arriba a la cartel·la, s'hi observa un ombrejat que indica cert desnivell. A la línia de costa els penya-segats no utilitzen aquesta semiòtica, per bé que queden representats per una veladura més ocre i detall a plomí del relleu. Aquest recurs ja apareix a dos plànols anònims de Buenos Aires de 1780-1790 (FAVELUKES, 2009), algun dels quals se sospita que també sia obra de Boneo. Altrament, la decoració del front marí amb la rosa del vent i el tirat de les seves direccions, recorda els recursos emprats per Cànoves al seu mapa de 1726 de la ciutat de Palma i que llavors persistiria en el de Ballester de 1760. TOUS (2002) atribueix, els vaixells i les barcasses especialment a la influència del mapa de la Ciutat de Mallorca d'Antoni Garau (1664). Finalment, hi ha un element que crida l'atenció, per la seva posició i significat: es tracta d'una fletxa indicant una direcció S-SE just part davall de la rosa dels vents. Atesa la formació de marí de Martí M. Boneo, és possible que es tracti d'una indicació relativa a la direcció dels corrents a la desembocadura del Río de la Plata, o bé al vent dominant de la zona. Al cap i a la fi, un fet o una informació estranya en un producte de cartografia temàtica que està orientat als aspectes urbanístics.

El plànol aporta una llegenda en forma de text en què s'explicita el significat de les trames i els colors emprats. Aquest fet és important perquè no es tracta d'una coloració ornamental i estètica, sinó que duu implícites característiques de mapa temàtic. Així els polígons de color rosat són edificacions, on el ratllat indica que aquestes ja existien abans de 1780, d'aquí que, a la cartel·la, hi consti “*sacado en los años 1780 y aumentado en el de 1800 por el mismo que ahora dedica este traslado al Excmo. Sr. Dn. Juaqn. Del Pino, Mariscal de Campo, Virrey y Capn. Gen. de estas Provincias*”. De més a més també indica un altre tipus de poblament com són els “*ranchitos cubiertos de paja*” que es veuen en forma de petits quadrats negres a la zona més allunyada del centre, especialment en el sector meridional. Hi ha una trama verda per a la representació de les bardisses que tanquen les quintes. Els carrers oberts en els ravals estan marcats amb línies de punts negres i els carrers empedrats a 1800 mitjançant línies de punts vermells. La inscripció de la llegenda ha obert el debat a propòsit de si Boneo també és l'autor d'uns plànols manuscrits anònims a una tinta de Buenos Aires, però que comparteixen alguns elements estilístics amb el reproduït a Taullard i el de *Archivo General de la Nación*. L'ús de les ombres per indicar el desnivell del sector costaner i meridional de la ciutat, així com el tractament del front marítim o la irregularitat de les quadres del sector sud-occidental de Bons Aires, serien alguns dels elements a considerar (TAULLARD, 1940; FAVELUKES, 2004).

El plànol Boneo permet apreciar l'estructura en quadrícula característica de l'urbanisme colonial a Amèrica (TERÁN, 1989), un escaquer amb una de les quadrícula alliberada per a les funcions de plaça d'armes heretada dels enginyers militars i després adoptada pels enginyers civils i els arquitectes (TERÁN, 1999) sobre la que es desenvolupen els serveis públics de clavegueram, empedrat, abastament d'aigua, etc. FAVELUKES (2009) afirma que aquest plànol no constitueix només una operació de descripció de l'espai des d'un vessant de defensa o d'interessos militars, sinó que depassa d'aquestes funcions i esdevé una eina estadística de caracterització del creixement urbà, dels usos de la ciutat, de

les tipologies residencials i de l'estat de la seva pavimentació i tipologia de camins. És un instrument que més enllà de descriure el territori, està realitzat des d'una òptica de control territorial i d'un control, de més a més, dinàmic. És, en aquest sentit, un plànol que respecte dels contemporanis és innovador i que s'avança al seu temps, a la vegada que es considera que és la font en què Pedro Cerviño i Félix d'Azara s'hi recolzaren per fer els seus plànols de Bons Aires que, a diferència del de Boneo, regularitzaran i donaran format geomètric a tota la zona occidental de la regió (FAVELUKES, 2004).

## Epíleg

Tot creuant l'Atlàntic com el nostre protagonista i com també ha fet el nostre homenatjat mantes vegades, resulta difícil no recórrer a l'aforisme de l'autor de *"Cien Años de Soledad"* i murmurar silenciosament, en parlar de Martí Maria Boneo i Villalonga, allò de "la mort no arriba amb la vellesa, sinó amb l'oblit". L'oblit és la condemna que tocà al cartògraf mallorquí que fou mà dreta d'un personatge de la transcendència de Félix d'Azara; l'oblit d'un cartògraf deixeble de José Varela; l'oblit d'un autor amb una obra de la qual hi ha nombrosíssimes referències, però de la qual s'han perdut quasi tots els originals; l'oblit d'un autor l'obra del qual inspirà i bastí els mapes d'altri; d'un autor l'obra del qual ha quedat sota un anonimat volgut o bé imposat per la situació geopolítica del moment convuls que li tocà de viure. L'oblit d'un dels artífexs dels Buenos Aires modern...

Si bé la historiografia argentina el recupera a poc a poc, malgrat que fou un dels servidors de la Corona i dels interessos de la metròpoli que s'encarà als sectors que llavors alimentarien el naixement de l'Argentina independent (vid. BONEO i CRUZ, 1013); la historiografia hispànica i la mallorquina no han posat gens d'esment a la seva vida i obra. Resistiria l'insigne i reconegudíssim Felip Bauzà (vid. PICORNELL et al., 1992) –malgrat els paral·lelismes vitals i professionals– un acarament amb la trajectòria i producció del nostre protagonista? Tant se val...

El fat perseguí en vida el nostre personatge, víctima del propi sistema què servia, i la seva memòria també s'esmunyí amb la decadència econòmica i moral de la Corona borbònica i el seu aparell. Com si es tractàs d'una tragèdia grega, el 6 de juny de 1805 Martí Maria Boneo i Villalonga traspasà malalt a Ciutat de Mallorca, mentre a l'altre costat de l'Atlàntic, a Buenos Aires, es desfermà una tempesta marina com es recordaven poques. Una tempesta que esbaldregà i engolí el moll que Martí Maria havia dissenyat i executat acompanyant el seu pla d'empedrat de la ciutat. Diuen BONEO i CRUZ (2013), a propòsit de l'esdeveniment: "*pareciera que en el mismo momento de su muerte, la historia comenzara a borrar las huellas de Martín Boneo*". Per desdeny, ni la mort li valgué el respecte. Arran del seu traspàs, enterrament i gestió de la *manda pia* s'organitzà un "canamunt i canavall" que acabà en litigi entre els religiosos de Sant Francesc –on fou enterrat a la tomba dels Villalonga-Escalada– i els de Sant Agustí que en reclamaren el cos i la *manda* per ser Cavaller de Sant Jaume i sota l'excusa de donar compliment a les constitucions de l'ordre "*santiaguista*" (vid. LLABRÉS, 1958; Vol.1. pàg. 91).

Valgui, doncs, aquesta revisió com a testimoni de la vida i obra de Martí Maria Boneo Villalonga i que així es pugui aplicar al nostre protagonista allò que dicta el filacteri de l'estudi de Can Pacs-Fuster al carrer Morei (vid. VALERO, 2003; p. 86), tan proper a la que fou la darrera casa dels Boneo a Ciutat de Mallorca: "*per un tal bé, repòs tendrà ma [sa] vida*".

Que aquesta sobretaula i els seus esquemes hagin estat només una mínima part d'allò d'il·lustradores i d'enriquidores que són les tertúlies i anècdotes del nostre marí, geòleg, geomorfòleg, activista sindical i social que a qui avui retem homenatge, d'aquest infatigable discutidor i seductor que és Antonio.

## Agraïments

Voldria agrair totes les facilitats i els recursos que tant l'*Archivo General de la Nación Argentina*, com l'*Archivo General de la Marina* han posat al meu abast. Han resultat valuosíssimes les informacions i

obra del parent llunyà i descendent de la línia argentina dels Boneo, Martín Francisco Boneo Sanseverino. Igualment el treball no hauria estat possible sense els documents de l'arxiu Villalonga-Boneo que han posat a la meua disposició Carme i Francisca Villalonga Planas, així com l'enginyer i prestigiós historiador colombí Alfonso Enseñat de Villalonga (respectivament senyoràvia, tia àvia i oncle de l'autor). Els comentaris i suggeriments de Maria Roig, d'Antoni Albert Artigues, del Dr. Joan Fornós i del Prof. Vivenc M. Rosselló i Verger han millorat substancialment la versió original del treball.

## Bibliografia

- ANGELIS, P. de. (Ed.): 1941. *Colección de obras y documentos relativos a la Historia Antigua y Moderna de las Provincias del Río de la Plata*. Tomo VI, Peuser, Buenos Aires.
- AZARA, F. de. (1802): *Apuntamientos para la historia natural de los cuadrúpedos del Paraguay y Río de la Plata*. Imprenta de la Viuda Ibarra, Madrid. 2 vols.
- AZARA, F. de. (1809) : *Voyages dans l'Amérique Méridionale (1781-1801)*. Dentu, Paris. 4 vols.
- AZARA, F. de. (1847): *Descripción e historia del Paraguay y del Río de la Plata. Obra Póstuma de Félix de Azara*. Imprenta Sánchiz, Madrid.
- AZARA, F. de. (1873): *Viajes inéditos de D. Félix de Azara desde Santa Fe a la Asunción, al interior del Paraguay y los pueblos de misiones. Con una noticia preliminar por D. Bartolomé Mitre y algunas notas por Juan María Gutiérrez*. Imprenta y Librería de Mayo, Buenos Aires. 254 pp.
- LLABRÉS, J. (1958): *Noticias y relaciones históricas de Mallorca, Siglo XIX*. Ed. Del Autor. Palma.
- BIBILONI, G. (2012): *Els carrers de Palma. Toponímia i patrimoni de la Ciutat*. Edicions Gabriel Bibiloni, Palma. 940 pp.
- BONEO, M.F. i CRUZ, J. (2009): *La familia Boneo. Cinco siglos de Historia*. Buenos Aires, Lara Prod. Ediciones, Buenos Aires. XXX pp.
- BONEO, M.F. i CRUZ, J. (2013): *El intendente olvidado de Buenos Aires*. Letemendia Casa Editora, Buenos Aires. 264 pp.
- CALVO, C. (1847): *Colección completa de los tratados, convenciones, capitulaciones, armisticios y otros actos diplomáticos de todos los estados de América Latina, comprendidos entre el golfo de Méjico y el cabo de Hornos, desde el año de 1493 hasta nuestros días: precedidos de una memoria sobre el estado actual de la América, de cuadros estadísticos, de un diccionario diplomático y de una noticia histórica sobre cada uno de los tratados mas importantes*. A. Durand. Buenos Aires.
- CAPEL, H. (1980): La personalidad geográfica de Varenio. In: CAPEL, H. (Ed.), *Bernhard Varenio. Geografía General en la que se explican las propiedades generales de la Tierra*: 12-82. Ediciones de la Universidad de Barcelona, Barcelona.
- CAPEL, H. (1982): *Geografía y Matemáticas en la España del siglo XVIII*. Oikos-Tau, Barcelona.
- CAPEL, H. (2006): El ingeniero militar Félix de Azara y la frontera americana como reto para la ciencia española. A: Ballarín, I., Contreras, J.R., Español, M. (Coord.). *Tras las huellas de Félix de Azara (1742-1821). Ilustrado altoaragonés en la última frontera sudamericana*. Diputación de Huesca, Huesca. p. 83-132 .
- CARDOZO, E. (1959): *Historiografía paraguaya*. Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Méjico.
- CARDOZO, E. (1987): *Breve historia del Paraguay*. Ed. El Lector, Asunción.
- DEYÀ, M.J. (2008): La tecnología aplicada al sector manufacturer de les Illes Balears durant el segle XVIII. A: MOLL, I., VIDAL, J.M. (Coords.), *Història de la Ciència a les Illes Balears*. Volum III, La Il·lustració. Govern de les Illes Balears, Palma. pp. 363-380.
- ENSEÑAT, A. (1981): *La familia Boneo de Mallorca*. Bolletí de la Societat Arqueològica Lul·liana, 38: 439-454.
- ENSEÑAT, A. (2021): *Raíces y ramas de la muy ilustre y antiquísima familia Villalonga del Reino de Mallorca. Años 730-1980*. Treball inèdit. Madrid.
- FAVELUKES, G. (2004): *El plano de la ciudad. Expansión y control urbano en la modernización temprana de Buenos Aires (1750-1870)*. 2 Vols. Tesis doctoral. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- FAVELUKES, G. (2009): Orden simbólico y orden práctico: operaciones gráficas sobre la Ciudad (Buenos aires, 1740-1820). En: Mendoza, H. i Lois, C. (Coord.). *Historias de la Cartografía de Iberoamérica. Nuevos caminos, viejos problemas*: 57-95. Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán.
- FAVELUKES, G. (2014): La construcción del territorio. Miradas, mediciones, dibujos en la historia de Buenos Aires. *Revista Iberoamericana de Urbanismo*, 11: 117-130.



- GALERA, A. i FRÍAS, M. (1996): Félix de Azara y Georges Lucien Leclerc: dos formas de iluminar la naturaleza americana. *Asclepio*, 48: 27-36.
- GONZÁLEZ, F.J. i MARTÍN-MERAS, L. (2003): *La Dirección de Trabajos Hidrográficos (1797-1908). Tomo I: Historia de la Cartografía Náutica en la España del siglo XIX*. Lunweg Editores – Ministerio de Fomento, Madrid.
- GUTIÉRREZ, R. (2005): Fortificaciones en Iberoamérica. Fundación Iberdrola, Madrid.
- MADRID, M.J., LÓPEZ-ESTEBAN, C. i JIMÉNEZ-FANJUL, N. (2020): La enseñanza de las matemáticas en la Academia de Guardiamarinas de Cádiz: una visión a partir de tres libros clave. A: López-Esteban, C. I., Maz-Machado, A. (Eds.) *Las matemáticas en España durante el siglo XVIII a través de los libros y sus autores*. Ediciones Universidad de Salamanca, Salamanca. pp. 93-113.
- MARTÍN-MERAS, L. (2012): Fondos cartográficos y documentales de la Comisión de Límites de Brasil en el siglo XVIII en el Museo Naval de Madrid. *Terra Brasilis*, 7-8-9: 1-81.
- MARTÍNEZ, C. (1997): Aportaciones cartográficas de D. Félix de Azara sobre el Virreinato del Río de la Plata. *Revista Complutense de Historia de América*, 23: 167-192.
- MARTÍNEZ, H. (1968): *El Apostadero de Montevideo*. Instituto Histórico de Marina, Madrid. 272 pp.
- MAZZOLA, M. C. (2008): Félix de Azara: itinerario intelectual de un funcionario singular. *Boletín de Investigación y Debate*, 8: 2-97.
- MONCADA, J.O. (2011): *La cartografía española en América durante el siglo XVIII. La actuación de los ingenieros militares*. Anais do 1º Simpósio Brasileiro de Cartografia Histórica: pp 15. Paraty, 10 a 13 de maio de 2011.
- MUNTANER, M.J., MASSOT, M.J. i SEGUÍ, J. (Eds.). (2006): *La Guerra de Successió a Mallorca, 1700-1715. Una aproximació als protagonistes*. Ajuntament de Palma, Palma. 240 pp.
- OCAMPO, A. (2002): *La conquista científica de Azara en el Paraguay. Su fascinación y respeto para la naturaleza*. Instituto de Estudios Altoaragoneses, Huesca. pp. 251.
- PASCUAL, E. (2001): El Decret de Nova Planta de Mallorca. Temps del Leviatan. Leonard Muntaner, Palma. 96 pp.
- PASCUAL, M.J. (2008): Bonaventura Serra i la Història Natural a les Illes Balears. A: MOLL, I., VIDAL, J.M. (Coords.), *Història de la Ciència a les Illes Balears*. Volum III, La Il·lustració. Govern de les Illes Balears, Palma. pp. 138-147.
- PASCUAL, M.J. (2002): *La Historia Natural de Bonaventura Serra i Ferragut (1728-1784): Un ilustrado mallorquín*. Col·lecció Rúbrica, 9. Ajuntament de Palma, Palma. 126 pp.
- PAULA, A.S.J. de. (1995) El Real Cuerpo de Ingenieros Militares y la cultura artística en el sur de América. *Seminario de Crítica del Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas*, 56: 1- 50.
- PEÑARUBIA, I. (2004): *Els primers demòcrates. Diccionari biogràfic del liberalisme mallorquí (1808-1837)*. Edicions Documenta Balear, Palma. 287 pp.
- PICORNELL, C., GINARD, A. i SEGUÍ, J.M. (1992): *Felip Bauzà i el periple americà*. Govern de les Illes Balears, Comissió V Centenari del descobriment d'Amèrica. Palma. pp. 69.
- RAMIS D'AYREFLOR, J. (1911): *Alistamiento noble de Mallorca del año 1762. Noticias genealógicas, heráldicas y biográficas de los individuos y familias continuados en el mismo*. Palma, Imprenta de Amengual y Muntaner. 604 pp.
- RAMÍREZ, N. i GUTIÉRREZ, G. (2010): Félix de Azara. Observaciones conductuales en su viaje por el Virreinato del Río de la Plata. *Revista de Historia de la Psicología*, 31: 51-74.
- ROSSELLÓ, V.M. (en premsa): La campanya de Vicente Tofiño a Mallorca i la col·laboració del canonge Despuig (1783-1784). *Randa*, 86.
- RULLAN, N. (2013): El pla d'estudis d'Alícia. A: A.A.V.V. En l'Espai-Temps. Homenatge a Alícia Bauzà van Slingerlandt. Universitat de les Illes Balears, Palma. pp. 27-34.
- SLUYTER, A. (2001): Colonialism and landscape in the Americas: material/conceptual transformations and continuing consequences. *Annals of the Association of American Geographers*, 91: 410-428.
- TAULLARD, A. (1940): Los planos más antiguos de Buenos Aires (1580-1880). Peuser, Buenos Aires.
- TERÁN, F. (1989): *El sueño de un orden. La ciudad hispanoamericana*. Centro de Estudios Experimentales de Obras Públicas, MOPU, Madrid. 302 pp.
- TERÁN, F. (1992): El urbanismo europeo en América y el uso de la cuadrícula. Cerdá y la ciudad cuadrícula. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 31: 21-40.
- TORRENS, F. (1978): La aportación de Félix de Azara al conocimiento geográfico de América Meridional en el siglo XVIII. *Revista de Geografía*, 12: 49-62.
- TOUS, J. (2002): *Palma a través de la cartografía (1596-1902)*. Ajuntament de Palma, Palma. pp. 398.
- SILVA, H.A. (1993): El comercio entre España y el Río de la Plata. *Estudios de Historia Económica*, 26. Banco de España, Madrid. pp. 144.
- VALERO, G. (2003): *Palma, ciutat de llegenda*. R. i J.J. de Olañeta Eds., Palma.

- VELÁZQUEZ, R.E. (1994)\_ El diario de la navegación del río Tebicuary, atribuido a Azara (1785). *Historia Paraguaya. Anuario de la Academia Paraguaya de la Historia*, 31: 161-224.
- VIDAL, T. (2008): Cartografia i cartògrafs a les Balears. A: MOLL, I., VIDAL, J.M. (Coords.), *Història de la Ciència a les Illes Balears*. Volum III, La Il·lustració. Govern de les Illes Balears, Palma. pp. 307-362.



# Bloc 4

## Testimoniatsges



Societat d'Història Natural de les Balears



# ARP. L'ENGINY DOCENT

Macià Blázquez-Salom<sup>1</sup>

Grup d'Investigació Sostenibilitat i Territori (GIST), Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears  
Cra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears)

**Resum:** Antoni Rodríguez Perea ha desplegat el seu enginy amb generositat per afavorir l'aprenentatge de l'alumnat de Geografia de la Universitat de les Illes Balears, amb un aprofitament apassionat del treball de camp. Ens centram aquí en l'anàlisi de la contribució a l'aprenentatge de l'alumnat d'aquesta activitat docent, a partir de l'exemple del mestratge de n'Antoni. Es presenta, primerament, una reflexió sobre la utilitat d'aquesta metodologia d'aprenentatge; a continuació es rememora el seu ús als estudis de Geografia de la UIB, i, finalment, es recupera un exemple de l'aportació d'Antoni Rodríguez, a partir de la meua vivència personal als Campaments de Pràctiques als Alps amb ell i amb d'altres companys i alumnat de la Llicenciatura i del Grau en Geografia de la UIB.

**Paraules clau:** *educació superior, campaments de pràctiques, estil docent.*

**Abstract:** Antoni Rodríguez Perea has generously displayed his cleverness, with a passionate use of fieldwork, to encourage the learning of Geography students at the Universitat de les Illes Balears. This contribution focuses on the analysis of this teaching activity, based on the example of Antoni's mastery, to improve the student's learning. First, a reflection on the usefulness of this learning methodology is considered; the following is a reminder of its use in Geography studies at the UIB; and, finally, an example of the contribution of Antoni Rodríguez is recovered, from my personal experience in the Fieldwork Camp carried out in the Alps with him and with other colleagues and students of the Degree in Geography at the UIB.

**Keywords:** *university teaching, fieldwork practices camps, teaching style.*

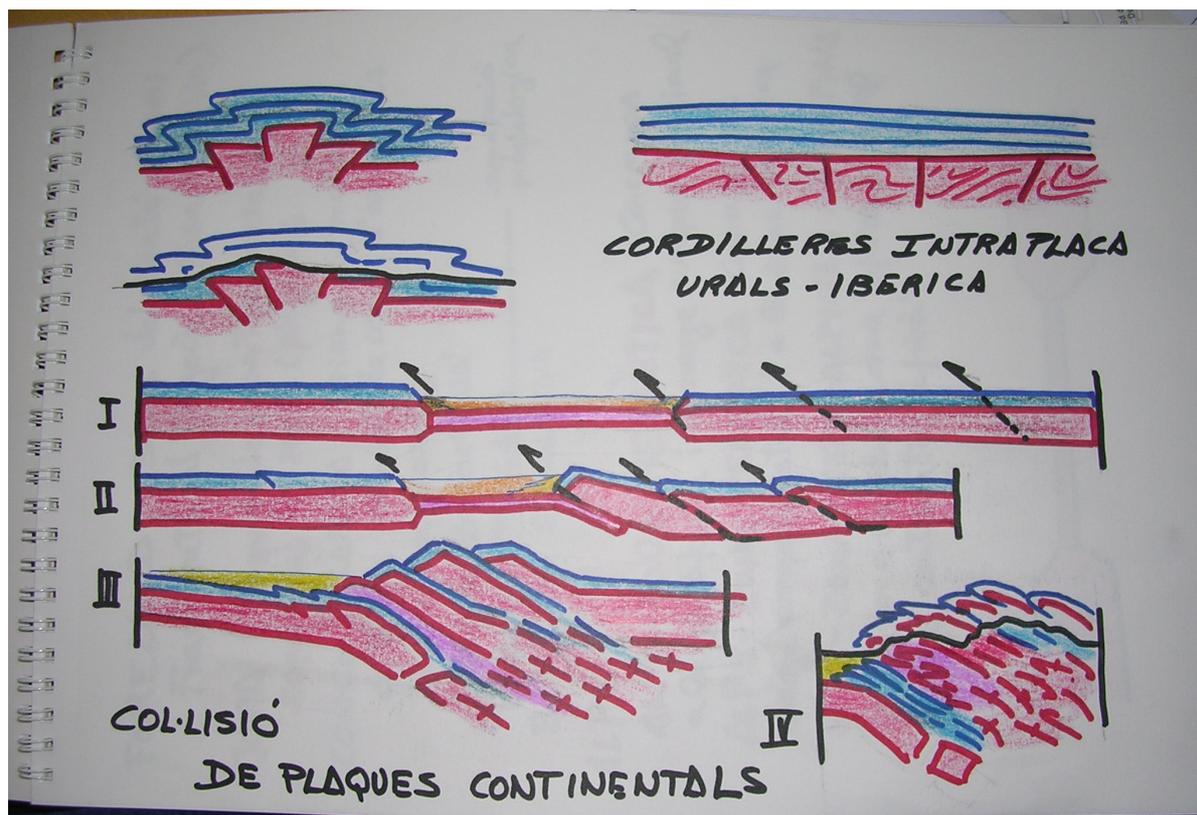
## Introducció

La qualitat de la docència no es premia gens a l'acadèmia espanyola. Sí que s'afavoreixen en canvi la publicació de recerca i la gestió administrativa, que donen oportunitats de promoció i l'accés a complements salarials. En aquest context, no abunda el professorat que posi gran interès en l'aprenentatge de l'alumnat, perquè la seva recompensa és només el reconeixement, com ara el d'aquest llibre d'homenatge. El millor exemple de bon professor, dins la meua experiència, és el d'Antoni Rodríguez Perea [ARP]. No he estat mai matriculat com alumne seu (com tampoc ho he estat d'Antoni Albert Artigues Bonet, de qui també he après molt), però sí m'he beneficiat molt de fer treball de camp plegats, especialment dels Campaments de Pràctiques amb alumnat als Alps (els anys 1997 y 2008) i a Noruega (l'any 1998). Aquesta docència de camp amb n'Antoni no es reconeixia de bon començament amb crèdits oficials; és a dir, era un a més a més, una activitat addicional als requeriments laborals i institucionals de la Universitat. La seva motivació, pel professorat i l'alumnat, era explorar i aprendre amb treball de camp veritablement apassionant i auster, perquè recorriem Europa en autocar, dormíem a càmpings i n'Antoni ens feia aixecar abans de les 8 del matí, amb el seu entusiasme reforçat si sabia que algú havia vetllat. L'herència del mestratge de n'Antoni va marcar el disseny dels plans d'estudis de la Llicenciatura i del Grau en Geografia, que incorporaren assignatures de treball de camp als plans d'estudis de 1995 (a dues assignatures de Pràctiques), 2009 i 2017 (a l'assignatura d'Anàlisi Geogràfica Integrada). De Campaments de Pràctiques sense reconeixement acadèmic també en férem, que jo hi participàs, a Escòcia (1999) i Catalunya (2000). Com assignatures reglades vaig formar part del professorat de sortides de treball de camp a: Eivissa (2004, 2005 i 2006), Galícia (2007), Tenerife (2009), Menorca (2010), Madrid (2012), Múrcia (2013) i Girona (2014).

L'estructura d'aquest petit homenatge a n'Antoni té tres apartats: el primer resumeix el marc teòric de l'aprofitament del treball de camp per a l'estudi de la Geografia. El segon apartat repassa les meues experiències més reeixides de contribucions del treball de camp a l'ensenyament de la Geografia a la

---

BLÁZQUEZ-SALOM, M. (2021): ARP. L'enginy docent. In: *De la terra a la mar i de la mar a la terra. Homenatge a Antonio Rodríguez-Perea*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 34: 365-375. ISBN: 978-84-09-34554-0



**Fig. 1.** Talls geològics esquemàtics del quadern de camp d'Antoni per explicar la formació dels grans conjunts de relleu associats a la tectònica de plaques.

UIB; i per últim recupera els continguts de l'experiència dels viatges d'estudis als Alps, compilada arran de la seva presentació al meu projecte docent per concursar a les places de Professor Titular d'Escola Universitària l'any 1998 i, a Titular d'Universitat, l'any 2001. He mantingut el seu disseny, a mode de fitxa de guia per a l'alumnat, retocada pel Campament de Pràctiques del 2008, en temps verbal present i les referències bibliogràfiques, pròpies d'una sistemàtica documentalista del segle passat. Es tracta, així doncs, d'una mena d'exercici de redacció dels apunts que vaig prendre durant els meus tres Campaments de Pràctiques als Alps. N'Antoni identificava la meua expressió d'incomprensió mentre ell explicava (amb esquemes i mapes que dibuixava pel camí, Fig. 1), entremig de les cares d'assentiment condescendent de l'alumnat. Vull dir amb això que les errades o imprecisions del text de la memòria són només meves.

### Aprentatge de camp

El contacte directe amb la realitat a través del treball de camp es pot emprar a l'ensenyament de la Geografia com a mitjà per potenciar habilitats i actituds, i adquirir eines útils. La observació i recopilació de dades estimula els mètodes de recerca actius i participatius (BREITBART, 2010). Aquesta és una pràctica connectiva (HAIGH, 2017) que permet crear una relació empàtica i emocional entre l'aprenent i un "altre" (MONK, 2000). En una època d'augment de l'aïllament social, les Tecnologies de la informació i la comunicació (TIC) condueixen a la discontinuïtat espai-temporal, a la desterritorialitat i al consum de versions fragmentades de la realitat (ANTOLÍN, 2019). L'ensenyament a través del treball de camp pot ajudar a pal·liar aquesta desconexió de la realitat, per "connectar la teoria de l'aula amb el món real, on aprendre a practicar les capacitats, les habilitats geogràfiques i generals del Grau, com ara la resolució de problemes, el pensament crític, el treball en equip i la intel·ligència emocional" (FRANCE i HAIGH, 2018, p. 508). L'acarament a situacions reals contribueix a fomentar l'interès de

l'alumnat (SANTIAGO, 1998), amb l'oportunitat d'experimentar fenòmens naturals per a la seva anàlisi i interpretació científica (SÁNCHEZ i GODOY, 2002). Aquest procés cognitiu és d'aprenentatge significatiu quan els estudiants adquireixen coneixements i habilitats per afrontar processos de resolució de problemes (TORRISI-STEEL, 2009).

L'experimentació mitjançant el treball de camp consisteix en una anàlisi de les variables que determinen un fenomen no reproduïble. Això implica estudiar la realitat, especulant amb les explicacions mitjançant una anàlisi exploratòria hipotètic-deductiva. La informació directa recollida al camp proporciona dades de primera mà, mostres quantitatives, qualitatives o mixtes que són difícils d'obtenir mitjançant altres mètodes analítics remots, com ara l'anàlisi de cartografia, la fotografia aèria o imatges de satèl·lit. El treball de camp contribueix a la comprensió dels fenòmens geogràfics mitjançant el desenvolupament de tècniques com l'observació, la conjectura i l'explicació sobre el terreny.

Les activitats docents de treball de camp es poden classificar diferenciant dues actituds bàsiques de l'alumnat: 1) quan només observa i escolta, essent dependent de l'explicació del docent; i 2) quan participa i interactua, per exemple, prenent mostres i notes o apunts per respondre preguntes d'investigació i amb el desenvolupament de la seva autonomia (KENT, GILBERTSON i HUNT, 1997). El treball de camp demostra la seva eficàcia per assumir la responsabilitat d'aprendre en contextos significatius, desenvolupar habilitats i competències –com ara observació, anàlisi, resum, autonomia, tècniques de mostreig i l'aplicació general dels coneixements adquirits–, enriquint l'aplicació de mètodes hipotètic-deductius científicament sòlids, per provar dissenys conceptuals on el coneixement teòric es pot contrastar amb les realitats espai-temporals de la construcció social de l'espai, obtenir una visió holística de fenòmens complexos i coneixements sobre situacions que es produeixen a la superfície de la Terra, les seves disparitats espacials, canvis i possibles interrelacions causals (BLÁZQUEZ-SALOM i BLANCO-ROMERO, 2021).

Dit això, tinguem present fins a quin punt Antoni Rodríguez no és gens partidari de les elucubracions pedagògiques. Coincideix en això amb Robert Fletcher en proposar que "pel treball de camp només cal obrir bé els ulls" (FLETCHER, 2007, p.19).

### Treball de camp als estudis de Geografia de la UIB

No pocs geògrafs han defensat expressament el treball de camp a la docència, amb l'establiment de mètodes i bons exemples pràctics del seu ús. Ens fixam, entre els clàssics, particularment, en Piotr A. KROPOTKIN (1885), Elisée RECLUS (1901) o Carl O. SAUER (1956). Però també en l'aplicació pràctica i crítica de William Bunge, que va promoure "expedicions geogràfiques urbanes" a finals dels anys 1960 com a projecte educatiu que involucrà als habitants de barris desfavorits per tal de fomentar mètodes d'ensenyament democràtics i participatius i formes de recerca activistes (BENACH, 2017). Les excursions geogràfiques arrelen a Espanya amb la Institució Lliure d'Ensenyament, que tan influïren en les figures de Manuel de Terán o Lluís Solé Sabarís. I per aquest costat entronca la Geografia a la UIB, amb la dedicació a l'organització de sortides de camp i viatges d'estudis per part d'Albert Quintana Peñuela o Bartomeu Barceló Pons. Jaume Gual Carbonell –geògraf i fotògraf– enregistrà l'erudita excursió guiada per Albert Quintana el curs 1977-1978, per a l'assignatura d'Introducció a la Geografia (QUINTANA, 2008). I encara, i ja al final de la seva dedicació a la docència, Bartomeu Barceló (Catedràtic de Geografia Humana i fundador del Departament de Geografia de la UIB) organitzà un viatge al Marroc l'any 1985, en què vaig poder participar. El nostre recorregut, extenuant, en autocar pel Rif s'estalonà d'aturades de treball de camp amb el suport de professorat de la Universitat de Rabat. Miquel Grimalt Gelabert professor de Geografia Física a la Universitat de les Illes Balears– participà, com jo mateix, d'aquell viatge al Marroc i aplicà el treball de camp amb dedicació a la seva docència, fent-se càrrec l'any 1991 de l'organització de les *VII Jornades de Campo de Geografia Física de l'Associació Espanyola de Geografia*, juntament amb Antoni Rodríguez (GRIMALT *et al.*, 1991).



Menció a part mereix l'assumpció d'aquesta tècnica d'aprenentatge per part d'Onofre Rullan Salamanca, professor d'anàlisi geogràfica regional també al Departament de Ciències de la Terra [actualment Geografia] de la Universitat de les Illes Balears. Vaig poder ajudar Rullan quan jo era becari del Govern de les Illes Balears, els anys 1990 i 1991, amb les sortides de camp de l'assignatura d'Introducció a la Geografia de primer curs, i orientà la meua tesi doctoral, a partir de 1993, amb el mostreig intensiu de dades mitjançant treball de camp. Més tard, ja com a col·legues de despatx, vaig gaudir de l'aprenentatge de les nostres sortides de camp per a l'estudi de l'ordenació del territori i l'urbanisme turístic a Mallorca i a Eivissa, on compartirem la preparació del VIII Col·loqui i Jornades de Camp de Geografia Urbana al si del Grup d'Investigació Sostenibilitat i Territori (ARTIGUES *et al.*, 2006). Rullan va promoure l'aplicació de tècniques de treball de camp a la docència del pla d'estudis de la Llicenciatura en Geografia, a la recerca en Geografia i a l'Associació de Geògrafs de les Illes Balears (que organitzà sortides de camp, com ara traveses integrals de Mallorca). La remembrança d'aquell pla d'estudis al llibre d'homenatge a Alícia Bauzá van Slingerlandt deixa constància del fruit de la unió amb n'Antoni i els seus col·legues geòlegs: "La unió de geògrafs i geòlegs al si del Departament de Ciències de la Terra va tenir la seva influència i, entre d'altres, el treball de camp, tan testimonial a l'antic pla de Filosofia i Lletres, va començar a esdevenir força present en tot tipus de tesis, no només les de Geografia Física..." (RULLAN, 2012, p. 29).

Per a mi, Antoni Rodríguez contribuí, com cap d'altre col·lega, a fer avançar les tècniques d'aprenentatge sobre el terreny, amb la docència de les assignatures de les que es va fer càrrec (expliquen que en acabar el curs amb la primera promoció de la Llicenciatura en Geografia, li feren mamballetes d'entusiasme), el suport a la recerca de molts companys, imprimint seriositat a l'organització de la docència del Departament de Ciències de la Terra i amb els Campaments de Pràctiques als Alps. Les explicacions d'Antoni sobre els Alps empraven la vivència de l'espai per fer-nos percebre la concepció abstracta de la seva evolució, en les dimensions visibles i en les invisibles, havent-ho d'imaginar en temps geològics. Aprenguérem a aplicar seva fórmula de treball per desvetllar també les "forces geològiques" de l'ordenació del territori, sovint sotmesa al poder del capital per explotar la societat i la natura prenent reduir-les a ser mercaderies (LEFEBVRE, [1974], 2013).

### **Campament de Pràctiques als Alps (el Valais)**

Aquest Campament de Pràctiques es realitzà amb alumnat de la Llicenciatura de Geografia, sobretot de segon i tercer curs, que ja han fet l'assignatura de Geografia Física d'Europa. El seu principal propòsit és realitzar una aproximació geogràfica a la regió alpina del Valais. La logística del Campament implica l'alumnat i el professorat, que selecciona lectures de suport per a la seva preparació prèvia.

#### *L'itinerari*

Accedim a l'entorn dels Alps des de Barcelona, per Montpeller i Valence fins a Saint-Étienne-de-Crossey, al NW de Grenoble, per veure les morfologies heretades del glaciari al massís de la Chartreuse. La continuació del recorregut voreja el massís del Jura fins la vall alpina de Ginebra, des d'on recorrem les valls del Rhône Mitteland i el Valais, fins al seu naixement al pas de Furka. Des d'Yvorne, podem contemplar el delta del Roine en el llac Léman i el perfil de la vall, amb les seves diferents zonacions altitudinals d'ocupació del sòl. El corredor del llac Léman a Martigny ens dóna accés a la Valais, des d'on emprenem el recorregut corresponent al principal objectiu del Campament, fins a la glacera del Roine, el naixement del riu. Visitam també l'allau de blocs de la carretera de Zermatt, a l'altura de la vila de Randa. La ciutat de Sion (Fig. 2), al punt mig de la Valais, possibilita la referència a l'evolució cultural de la vall, atès que constitueix la seu del poder del Regne Burgundi (Borgonya), feudal i eclesiàstic, en la seva frontera amb els Alamans, hereus respectivament de les cultures francòfona i germànica.

Pujant fins a prop del port de Furka, visitam la llengua actual de la glacera del Roine (*Rhonegletscher*) i la vall inferior, que es va veure afectada pel glacialisme durant la Petita Edat de Gel. La següent visita la realitzam a la vall de Binntal, protegida com a Reserva Natural, que s'aprofita, d'una banda, per introduir el sistema de protecció d'espais naturals suís i, de l'altra, per aproximar-nos als estatges subalpí i alpí. L'estació turística de Saas Fee representa la tipologia de *ressort* turístic hivernal dels Alps suïssos francòfons, controlats per companyies hoteleres de capital forà, associades a un gran desenvolupament de pistes d'esquí. Des d'aquesta estació turística hivernal ens dirigim a visitar les glaceres de Fee i de Allalin. Sortim del Valais pel Pas del Simplon, per baixar per la vall Divedro, en direcció a Domodossola, on visitam un aflorament de la discontinuïtat de Mohorovičić, entre les zones externes subalpines o austroalpines. Ja sobre el mantell africà, baixem cap a la vall del Po, i per la Costa Blava francesa, ens dirigim de tornada a Barcelona.



Fig. 2. La ciutat de Sion fotografiada des del Castell de Tourbillon. Autor: Macià Blázquez, 1997.

### Els objectius i continguts del Campament

Els principals objectius docents i continguts del Campament, especialment relacionats amb la temàtica de l'assignatura de Geografia Física d'Europa, es concreten en estudiar sobre el terreny:

- L'estructura geològica dels Alps és producte de la col·lisió de les plaques africana, de la regió apúlica, i l'europea, donant lloc a serres convergents cap al NW. La zona interna dels Alps, Alps penínics, mostra materials cristal·lins, granits i gneis del sòcol, molt deformats; mentre a les zones externes, Alps helvètics, subalpines a nord i a sud, apareixen materials de cobertura calcaris, sovint meta-mòrfics. El Valais és una de les zones de contacte entre aquests dos àmbits. Situats sobre la mateixa formació, podem relacionar els mapes i talls geològics amb el paisatge que ens envolta, per així explicar-nos i pot ser comprendre el procés de l'oro-gènia, l'alçament isostàtic i l'erosió que van conformar els Alps actuals (Fig. 3).
- Les valls interiors, com és el cas del Mittelland, es troben reblertes de molasses del miocè, producte de l'erosió durant l'orogènia. La mateixa geologia caracteritza també la plana del Po.



Fig. 3. Mapa geològic de l'àmbit de l'itinerari, dibuixat per Antoni Rodríguez-Perea durant un dels Campaments de Pràctiques. La seva perícia amb el dibuix també influí bons deixebles seus; sovint signant amb les seves inicials, ARP.



**Fig. 4.** Grup d'alumnat del Grau en Geografia de la UIB amb Antoni Rodríguez Perea, Guillem X. Pons Buades i José Ángel Martín Prieto a Villadosola, el 7 de març de 2008., 1997.



**Fig. 5.** Grup d'alumnat de la Llicenciatura en Geografia i col·legues de la UIB amb Antoni Rodríguez Perea als peus del Cerví o Matterhorn, el pinacle o agulla glacial esculpit per les glaceres. Autor: Macià Blázquez, 1997.

- També en referència a l'estructura geològica, l'aflorament de la discontinuïtat de Mohorovičić, que visitam a Villadosola (Fig. 4) possibilita mostrar i explicar, sobre el terreny, el procés de subducció de la placa africana, més en concret adriàtica o apúlica, amb l'europea, que pinça l'escorça oceànica.

- El delta proglaciar de Saint-Étienne-de-Crossey, al massís de la Chartreuse, a NW de Grenoble, es va formar per efecte de la modificació dels materials morènics del glaciari del riu Isère, afluent del Roine. Aquest tipus de morfologies fluvio-glacials mostra una estructuració granulomètrica laminar, de vegades entrecreuada, dels sediments, diferenciada clarament dels dipòsits de till, no jerarquitzats, que trobarem en els dominis plenament glacials. Els còdols diferencien també l'erosió fluvial, que va formar el delta. La presència d'alguns blocs angulosos, entre les sorres, dóna un potent recurs educatiu de caràcter inductiu per determinar la procedència glacial dels sediments, atès que es tracta de dropping stones, que van ser traslladades pel gel fins al delta.

- El llac Léman o de Ginebra mostra l'empremta, per sobre-excavació, del glaciari de la vall que baixava per l'actual conca del Roine.

- L'allau de roques de Randa es va deure a la inestabilitat de l'aflorament rocós de la vall de Zermatt, per la coincidència de la seva vergència a l'est i l'orientació N-S de la vall. Les roques són d'origen sedimentari metamorfitzades en gneis. L'últim i més espectacular desprendiment va mobilitzar, l'any 1991, al voltant de setze milions de metres cúbics de material, arrasant setze cases, la via de tren i la carretera.

- La vall en U, o gaveta, mostra l'efecte diferencial de l'erosió glacial, arrencant i arrossegant els materials de les parets de la vall.

- Els grans pics dels Alps, representats en la Valais, entre d'altres, per la muntanya que visitam, el Cervino de 4.478 m s.n.m, mostren els efectes de l'erosió glacial que va definir el seu perfil actual, denominat horn (Fig. 5).

- Les restes dels períodes d'estabilització i

retrocés del glaciari són molt visibles en forma de morenes frontals a la vall que s'estén davant de la llengua del glaciari del Roine, a Gletsch.

- Visitam la glacera del Roine amb una petita excursió, fins situar-nos damunt mateix de la llengua. En aquest punt d'observació privilegiat podem apreciar la seva extensió i gruix, entrecreuat pels seracs, que denoten les àrees compressives i les expansives del moviment del gel (Fig. 6).
- Els còdols transportats pel gel es diferencien clarament dels que són producte de l'erosió fluvial, per ser angulosos, de formes romboïdals, però d'arestes arrodonides. La matriu en la que els trobam no està organitzada per granulometries, és el till glacial que forma les morenes laterals i frontals.

- Altres morfologies del terreny lligades a la proximitat del pis nival són els canals d'allaus, que s'aprecien per tot arreu i suposen un greu risc per a les edificacions, instal·lacions i infraestructures desenvolupades pels habitants d'aquestes regions.
- Les pluges de convecció orogràfica, fins i tot en el període estival, que és quan visitam la regió, es produeixen amb insistència, sobretot en les vessants situades més a sobrevent de les depressions ligurs i del corrent de l'oest, d'on procedeixen les depressions atlàntiques.
- En canvi, a sotavent de les depressions atlàntiques i mediterrànies s'evidencia el Föhn, vent càlid i sec subsident, com succeeix al Valais.
- El règim fluvial es regeix, en aquesta regió, per la fusió de la neu primaveral i els cursos es troben majoritàriament regulats, mitjançant la construcció d'esculleres.
- Els Alps formen un nus hidrogràfic en el que neixen els rius més importants d'Europa occidental, desaiquant a la majoria dels seus mars. Això succeeix per exemple en el port de Furka, on neix el Danubi, que desguassa a la Mar Negra i el Rin que ho fa al Mar de el Nord.
- El paisatge vegetal del Valais, que podem observar i analitzar des d'Yvorne, mostra els pisos d'ocupació del sòl i els estatges altitudinals de vegetació, que evolucionen d'acord amb la següent sèrie, de la vall a les crestes:



**Fig. 6.** Antoni Rodríguez-Perea i Jaume Servera als peus del fi de la glacera, snout, del Roine. Autor: Macià Blázquez, 1997.

- Cultiu intensiu en el fons pla, sobre els dipòsits al·luvials més fèrtils.
- Arbrat de secà a les vessants, escapant de les inversions tèrmiques del fons de la vall. El seu xerofitisme respon a la sequedat que proporcionen l'orientació de solana i la menor humitat dels vessants, arran de l'escalfament del vent, a recer de les depressions atlàntiques.
- Amb un llindar ben definit, persisteix la vegetació forestal, que en un primer pis, montà, està formada per arbres d'espècies planocaducifòlies i coníferes: roure pènol, *Quercus robur*; pi silvestre, *Pinus sylvestris*; bedoll, *Betula pendula*; faig, *Fagus sylvatica*; avet blanc, *Abies alba*; avet vermell, *Picea abies*; làrix, *Larix decidua*; salze, *Salix sps*; freixe, *Fraxinus excelsior*; til·ler, *Tilia cordata*, etc.
- El pis subalpí mostra el predomini de les coníferes, abans esmentades, amb la qual cosa els sòls passen de ser forestals a podzols. El període de vegetació és més breu que en les vessants baixes i en fons de la vall.
- Els prats herbacis de l'estatge alpí es veuen enriquits per la presència de plantes de l'estrat herbaci perennes, rizomatoses i bulboses, que experimenten un ràpid creixement a la primavera i es seguen per ser aprofitades com a pastura per al bestiar establulat a l'hivern.
- Les neus perpètuas determinen l'últim pis altitudinal, caracteritzat pels sòls Rankers i litosòls. Els més estesos representants del poblament vegetal són les moltes i els líquens.

- Els plans elevats, com en el fons de les gavetes glacials entre Gletsch i el port de Furka, mostren els primers exemples de torberes, entrecruades per cursos d'aigua d'una xarxa divagant o anastomosada. També trobam en aquests hàbitats formacions arbustives de bruguerola (*Calluna vulgaris*), ginebró nan (*Juniperus communis* subsp. *alpina*), làrix, neret (*Rhododendron ferrugineum*), salze o vern (*Alnus glutinosa*).
- A Binntal, fem una excursió ultrapassant la línia forestal fins a una alçada de 2.137 on trobem el llac de Massersee, que es troba envoltat de plans coberts de torberes d'esfagnes. Aquest estatge alpi té característiques biogeogràfiques pròpies d' insularitat, amb gran varietat de falgueres.
- Més enllà de les característiques de la Geografia Física, el Campament possibilita aproximar-nos a l'etiologia dels paisatges culturals i d'anàlisi socioambiental, que resumim en les següents continguts per a la seva anàlisi sobre el terreny:
  - Els Alps són un dels principals encreuaments de camins d'Europa, entre la Mediterrània i l'Europa central i septentrional, entre les cultures llatines i eslaves.
  - El seu valor agrològic, hídric i estratègic el converteix en un territori triat per al poblament.
  - Una bona mostra de poblament ancestral el visitam a la ciutat de Sion.
  - Bona part dels seus paisatges culturals tradicionals es basen en economies ramaderes de transhumància, que aprofiten les pastures alpines d'estiu.
  - Les explotacions turístiques alpines suposen la desforestació, la construcció d'infraestructures de greu impacte paisatgístic, l'augment del consum d'aigua, l'augment de la contaminació, i la competència per la terra i la mà d'obra amb les activitats agrícoles, que es veuen forçades a retrocedir.
  - S'aprecien amb claredat els efectes de la pèrdua del bosc, *waldsterben*, que ja afecten més del 20% dels arbres de la Confederació Helvètica.
  - Una altra important faceta de l'explotació antròpica del medi rural és la intensificació de l'agricultura, que es veu afavorida pel proteccionisme comercial de l'Estat suís, per considerar-lo un sector estratègic per a l'auto-abastament i garantir el poblament rural. El proteccionisme es concreta en mesures de limitació de les importacions i subsidi de la producció interna.
  - L'estructura de la propietat és extremadament minifundista, amb un 20% de les propietats d'extensió inferior a una hectàrea. Un alt percentatge d'agricultors, el 40%, ho són a temps parcial.
- A l'igual que succeeix amb l'altre destinació dels Campaments de Pràctiques que hem fet, Noruega, els suïssos van rebutjar, mitjançant referèndum, pertànyer a la Comunitat Europea el 1992.
- També a l'igual que Noruega, Suïssa es caracteritza pel desenvolupament pioner de l'aprofitament hidroelèctric dels seus cursos d'aigua, abastint mitjançant aquest sistema un 55% del consum, amb un total de 450 centrals (1990). També disposen de cinc centrals nuclears, que proveeixen de l'altre 40% del consum elèctric intern; malgrat que una moratòria, acordada el 1990, manté d'altres sis centrals nuclears en procés de construcció suspès.
- La indústria suïssa es caracteritza per la seva elevada sofisticació; basada en una industrialització primerenca, ha evolucionat fins a convertir-se en pionera de l'expansió multinacional. Les seves exportacions compensen el dèficit de productes alimentaris, combustibles, metalls i minerals de l'Estat suís.
- La funció territorial d'encreuament de camins per a tota Europa suposa el desenvolupament d'una extensa xarxa de transports, amb l'increment recent del trànsit per carretera, tant de mercaderies (que s'ha multiplicat per tres des de 1960), com de passatgers. En canvi, la xarxa ferroviària es troba estancada des dels anys 1930. Alguns dels passos de major rellevància són el de Sant Bernat, entre les valls d'Aosta i la Valais, del Simplón, de la Valais a la vall Divedro, i el de Sant Gotardo, de Goms a Ticino per connectar Berna i Milà. Una altra de les grans obres d'infraestructura de rellevància són els túnels construïts en aquests passos, el més recent a Lötschberg, comunica Berna i Milà. El control d'aquests passos va ser la principal causa de la formació de la confederació Helvètica, al segle XIII.

- L'estructura administrativa de la Confederació Helvètica també mereix un punt d'atenció explicatiu dels seus paisatges culturals i de la seva evolució socioeconòmica. L'alta renda per càpita, poc atur i baixa inflació proporcionen un elevat nivell de benestar que es culmina amb una organització pionera en democràcia directa. A més, Suïssa és el paradigma de la neutralitat i l'estabilitat polític-social, un país segur per al capital. Tant és així que és el paradigma dels paradisos fiscals, caracteritzats per: la baixa o nul·la fiscalitat per als no residents, garantir el secret bancari, oferir "procediments flexibles" de registre per a empreses exteriors que s'hi radiquin i atreure així risc delictiu (blanqueig de capitals procedents del crim, droga, terrorisme, tràfic de persones...) i el frau fiscal.
- Un exemple d'aquesta idiosincràsia és el Überfremdung, o malestar suís, vers la immigració d'estrangers, que es releguen a ocupar llocs de treball rebutjats pels autòctons. També es fa referència al conformisme polític preponderant i a la identificació de la població suïssa amb el seu Estat.

### Principals fonts d'informació de la memòria del Campament de Pràctiques als Alps

- AGÈNCIA EUROPEA DE MEDI AMBIENT (1998): *Medi Ambient a Europa. L'Informe Dobris*, Oficina de Publicacions Oficials de les Comunitats Europees i Ministeri de Medi Ambient, Luxemburg i Madrid.
- ANDERSEN, BG i BORNS, HW (Jr.) (1997): *The Ice Age World. An Introduction to Quaternary History and Research with Emphasis on North America and Northern Europe During the Last 2.5 Million years*, Scandinavian University Press, Oslo.
- BIROT, P. (1970): *Les régions naturelles du globe*, Masson, Paris.
- BUSONI, I. (1982): Tres estados neutrales. Tres sociedades estables. In LLUCH, E. *Geografía de la sociedad humana. 4: Los Grandes conjuntos geográficos: 271-292*, Planeta, Barcelona.
- CHAVAGNEUX, C. i PALAN, R. (2007): *Paradis fiscaux*. La Découverte, Paris.
- CLOZIER, R. (1968): *Alemania y Estados Alpinos*, Moretón, Bilbao.
- DEMANGEON, J. (1989): *Los medios 'naturales' del globo*, Masson, Barcelona.
- DERRUAU, M. (1976): *Europa*, Labor, Barcelona.
- EMBLETON, C. (Ed.) (1985): *Geomorphology of Europe*, MacMillan, Londres.
- HEWETT, J. (Ed.) (1995): *European Environmental Almanac*, Earthscan, Londres.
- HOFFMAN, G.W. (Ed.) (1989): *Europe in the 1990s: A Geographical Analysis*, John Wiley & Sons, Nova York.
- KNAFOU, R. (1994): *Les Alps*, Presses Universitaires de France, París.
- MÜLLER, P. (1979): *Introducció a la Zoogeografia*, Blume ecologia, Barcelona.
- OZENDA, P. (1994): *Végétation du Continent Européen*, Delachaux et Niestlé, París.
- PEARCE, EA i SMITH, CG (1998): *The Hutchinson World Weather Guide*, Helicon, Oxford.
- POLUNIN, O; WALTER, M. (1989): *Guia de la vegetación de Europa*, Omega, Barcelona.
- UICN (1991): *Protected Areas of the World. A review of national systems*, UICN, Gland.
- WALLEN, C.C. (Ed.) (1970): *World Survey of Climatology. Volume 5. Climates of Northern and Western Europe*, Elsevier, Amsterdam.
- WALTER, H. (1998): *Vegetació i Zones Climàtiques del Món: l'Estructuració ecològica de la Geobiosfera*, Promocions i Publicacions Universitàries, Barcelona.

### Cloenda

Antoni Rodríguez Perea deixa empremta a la Geografia balear, perquè així ho testimonia el seu alumnat i els col·legues de l'acadèmia. Aquest geòleg i capità de la marina mercant transmet un entusiasme poc comú en la docència, amb el rigor, la meticulositat i el compromís pel treball de camp. Encara que esgoti l'emeritatge, confiam gaudir per molts d'anys del seu enginy docent i per contar històries. Perquè, com va escriure Walter Benjamin, és un capità que sap narrar:

*"La Bellver és una bonica i ample motonau a la que hom donaria un millor destí que el de servir l'escàs tràfic amb les Illes Balears. I en efecte la seva imatge es va fer petita al meus ulls quan la vaig veure l'endemà al moll*

*d'Eivissa preparant-se pel viatge de tornada, perquè jo havia imaginat que des d'allà continuaria a les Illes Canàries. Em vaig detenir a contemplar-la i vaig tornar a pensar en el capità O..., de qui m'havia acomiadat un parell d'hores abans, el primer i potser l'únic narrador amb qui he creuat a la vida, perquè, com he dit més d'un pic, s'està acabant l'art de relatar, i en recordar les moltes hores que el capità O... passava al pont de comandament, caminant d'un extrem a l'altre guaitant la llunyania, vaig comprendre també que qui no s'avorreix no sap narrar." (El mocador, 1932).*

## Agraïments

Aquesta publicació contribueix al projecte "Overtourism in Spanish Coastal Destinations. Tourism Degrowth Strategies" (RTI2018-094844-B-C31) finançat per: FEDER/Ministerio de Ciencia e Innovación – Agencia Estatal de Investigación.

## Bibliografia

- ANTOLÍN, J.E. (2019): El ecologismo en la época de la pospolítica. Del ecologismo militante al emocional: límites estructurales del discurso ecologista. *Ecología Política*, 58: 19-26.
- ARTIGUES, A.A., BAUZÀ, A., BLÁZQUEZ, M., GONZÁLEZ, J.M., MURRAY, I. i RULLAN, O. (2006). Introducció a la Geografia Urbana de las Illes Balears. In: *Guía de campo. VIII Coloquio y Jornadas de campo de Geografía Urbana*. Illes Balears, 19-24 de junio de 2006. Universitat de les Illes Balears, Palma.
- BENACH, N. (2017): *William Bunge. Las expediciones geográficas urbanas*. Barcelona: Icaria, Espacios Críticos.
- BLÁZQUEZ-SALOM, M., i BLANCO-ROMERO, A. (2021): Fieldwork in Ground Zero, Mallorca. A Methodological Fieldwork Proposal for a Geographical Analysis of Tourist Areas. *Investigaciones Geográficas*, (75): 43-59. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.BB>.
- BREITBART, M.M. (2010): Participatory Research Methods. In CLIFFORD, N., FRENCH, S. i VALENTINE, G. (Eds.), *Key Methods in Geography (second edition)* : 141-156. Londres: SAGE Publications.
- FLETCHER, R. (2007): The Fieldworker's Magic. *Anthropology News*, 48(2): 19-19. <https://doi.org/10.1525/an.2007.48.2.19>
- FRANCE, D., i HAIGH, M. (2018): Fieldwork@40: fieldwork in geography higher education. *Journal of Geography in Higher Education*, 42(4): 498-514. <https://doi.org/10.1080/03098265.2018.1515187>
- GRIMALT, M., RODRÍGUEZ, A. (Eds.), (1991): *Libro guía de las excursiones de las VII Jornadas de Campo de Geografía Física*. Universitat de les Illes Balears. Palma.
- HAIGH, M. J. (2017): Connective practices in sustainability education. *Journal of Applied Technical and Educational Sciences*, 7(4), 6-30.
- KENT, M., GILBERTSON, D.D. i HUNT, C.O. (1997). Fieldwork in Geography Teaching: a critical review of the literature and approaches. *Journal of Geography in Higher Education*, 21 (3): 313-332.
- KROPOTKIN, P. A. (1885): What Geography Ought to Be. *The Nineteenth Century*, 18: 940-956.
- LEFEBVRE, H. [1974] (2013): *La producción del espacio*. Capitán Swing. Madrid.
- MONK, J. (2000): Looking out, looking in: The 'other' in the journal of geography in higher education. *Journal of Geography in Higher Education*, 24(2), 163-177.
- QUINTANA, A. (2008). Excursió de l'assignatura "Introducció a la Geografia". In ARTIGUES, A.A., BLÁZQUEZ, M., GUAL, J., MATEU, J., MURRAY, I. i RULLAN, O. (eds). *Albert Quintana: el seu temps i la seva obra*: 386-405. Govern de les Illes Balears, Palma,
- RECLUS, E. (1901): *L'Enseignement de la géographie*. Bruselas: Institute Géographie de Bruxelles.
- RULLAN, O. (2013): El pla d'estudis d'Àlicia. In BAUZÀ VAN SLINGERLAND, A. En l'espai – temps. Homenatge a Àlicia Bauzà van Slingerlandt: 27-34. Grup d'Investigació en Sostenibilitat i Territori, Universitat de les Illes Balears i Centre d'Excel·lència per a la Integració de les Dimensions Natural i Social de la Sostenibilitat, Universitat de Lund, Palma.
- SÁNCHEZ, M. i GODOY, I. (2002). El trabajo de campo como estrategia metodológica para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. *Boletín Multidisciplinario*, 12(1). Fundación CENAMEC. Caracas.
- SANTIAGO, J. (1998). Las concepciones de los educadores sobre la geografía y su enseñanza desde el trabajo cotidiano. ULA. Departamento de Pedagogía. *Revista de Investigación y Postgrado de la UPEL*, 13(2): 55-86.

SAUER, C. O. (1956): The Education of a Geographer. *Annals of the Association of American Geographers*, 46: 287-299.

TORRISI-STEEL, G. (2009): *Pedagogical Perspectives on M-Learning*. *Encyclopedia of Information Science and Technology*. <https://doi.org/10.4018/978-1-60566-026-4.ch485>

---

Data recepció: 20.07.21

Data revisió: 27.08.21

Revisió acceptada: 02.09.21





# L'ART DE VIURE UNES QUANTES VIDES

Miquel Canals

GRC en Geociències Marines, Departament de Dinàmica de la terra i de l'Oceà,  
Facultat de Ciències de la terra, Universitat de Barcelona, Campus de Pedralbes, Martí i Franquès, s/n, 08028 Barcelona

**Resum:** El text que segueix és una visió personal d'alguns passatges de la vida i afanys de l'Antònio Rodríguez Perea — conegut com *el Capi*—. Primer, marí mercant, després geòleg i, sobre tot, un activista i un lluitador de causes que s'ho valien. Hi ha moltes vides a la vida de l'Antònio, totes en una, de les quals només us en puc parlar d'unes quantes. Ha solcat l'oceà, ha explorat la terra emergida, ha ajudat a crear un sindicat, ha acollit gent de llarga estada a casa seva, ha participat en gestió política, ha estat amic dels seus amics, ha fet feliç als que l'han envoltat i molt més que jo, senzillament, ignoro. En homenatge a l'Antònio, tot i esperant la setena onada.

**Paraules clau:** *marina mercant, geologia, sindicalisme, gestió política, activisme social.*

**Abstract:** This is a personal view of some fragments I know about the life and endeavours of Antonio Rodríguez Perea — also known as "*el Capi*", "*the Captain*"—. First, a merchant officer, then a geologist and, above all, an activist and a fighter for worthy causes. There are several lives in Antonio's live, all in one, of which I can tell just about some. He has sailed the ocean, explored the emerged land, helped creating a union, hosted people at home in the long term, got involved in political governance, been a friend of his friends, made happier the life of everyone around and many more I simply ignore. In homage to Antonio, while still waiting for the seventh wave.

**Keywords:** *merchant marine, geology, union force, political governance, social activism.*

## A manera d'introducció

El desembre de 2020, l'amic Lluís Gómez-Pujol de la UIB em va enviar un correu, com a una pila més de "companys, col·laboradors i antics alumnes", on ens deia que *el Capi*, l'Antònio Rodríguez Perea — permeteu-me que escrigui "*Antònio*", doncs així és com ho pronunciem la majoria—, es jubila "definitivament" el proper mes d'octubre de 2021. Primer vaig pensar allò de, renoi, com passa el temps, i passa per a tothom, per a un mateix també. Però tot seguit em vaig dir: «això no pot ser veritat; com és possible que un *homenot* —en el sentit de Josep Pla— com *el Capi* es jubili "de-fi-ni-ti-va-ment"?». Un activista com ell, amb el seu aire entre *cheguevaresc* i *fidelcastrità* —*puro* inclòs—, un lluitador de causes perdudes i també guanyades, un romàntic, un *bon vivant*, algú que manté el tresor de no deixar mai de sorprendre's, no es jubila mai. Va contra la seva manera de ser. És, "de-fi-ni-ti-va-ment", contranatural.

En el seu correu, Lluís es referia a "...una publicació en forma de miscel·lània, i així reconèixer la projecció i influència d'Antonio en els camps de la hidrologia, estratigrafia, geomorfologia litoral i gestió-planificació territorial a les Illes Balears". No en dubto pas de la "projecció i influència" de l'Antònio en tots aquests camps. Segur que la té però, malauradament, vaig pensar, jo no he col·laborat amb ell en cap d'aquests àmbits —tot i que a algun m'hi referiré de resquitllada més endavant—. La meva relació amb *el Capi* és tota d'una altra mena. Malament anàvem, doncs. Uf! Amb les ganes amb que la faria, una contribució!

El mes de gener de 2021 rebo un altre correu de Lluís on em diu que "...hi ha autors que han demanat de contribuir amb treballs més vivencials o d'estat de la qüestió d'un aspecte o tema en el que han col·laborat amb Antonio. Queda a la vostra consideració". Se m'obre el cel: aquí sí que hi puc encaixar. De pet cap a una contribució "més vivencial". Demanaven un títol i, després de pensar-hi unes estones, remeto el següent: "*Antonio Rodríguez Perea, el Capi: del Sindicato Libre de la Marina Mercante a la UIB*". He de confessar que ara que m'he posat, per fi! —tot i les ganes inicials, no és senzill trobar el

moment—, a escriure, no sé si el mantindrè o el canviaré. Ja veurem com raja, com flueix —si flueix— això de l'escriptura.

Més endavant, ja al febrer —concretament el 23-F, quina punteria, Lluís!— m'assabento que la miscel·lània es titularà "*De la terra a la mar i de la mar a la Terra. Homenatge a Antonio Rodríguez-Perea*". Pas mal, penso, tot i que això de "de la mar a la Terra...". Sort que ho salva la T majúscula. Fins i tot té un lligam amb allò de la "Marina Mercante" i la UIB. Veurem.

Convé aclarir, perquè ningú es dugui a engany, que aquesta contribució no deixa de ser una mena de semblança esbiaixada i fragmentària —senzillament perquè sé el que sé, i ignoro el que ignoro, que és molt— d'un llop de mar i de muntanya. Torna allò de la mar i la Terra.

Per escriure aquest text m'he basat principalment en la memòria, que tendeix a desdibuixar-se amb el pas del temps, tot i que alguns fets, situacions i persones hi queden marcades per sempre més. Això de la memòria és, per altra banda, una mena de bèstia que, sense que un se n'adoni, escapça i recrea al seu gust —suposant que en tingui, de gust—, de manera que allò que un dona per cert potser ho és, sí, però mistificat en major o menor mesura. Ja se sap que aquest que tenim dins la closca va al seu aire i és molt selectiu i, de vegades, un punt embolicoques. Amb tot això vull dir que qualsevol errada o inexactitud en aquest text, que segur que n'hi haurà, s'ha d'atribuir a la meva persona, i només a ella. Vull confiar en que l'homenatjat, amb la seva bonhomia, em sabrà disculpar i que els més memoriosos o coneixedors amablement em reconduiran.

Essent aquesta contribució de caràcter "més vivencial", és obvi que en alguns aspectes es toca la intimitat o l'esfera privada no només de l'homenatjat sinó també d'altres persones. Aquest és un aspecte certament delicat i que he procurat tractar en tot moment amb capteniment. Espero no generar cap mena d'incomodat a ningú, sinó més aviat, si algun dels al·ludits llegeix aquest text, despertar memòries, tal vegada adormides, d'un temps que va ser i durant el qual, i ara me n'adono més que mai, vam ser feliços, doncs érem personatges amb causa.

## L'estudiant de Geologia

Amb l'*Antònio* ens vam conèixer metre cursàvem la llicenciatura de Geologia a la Universitat de Barcelona, a l'edifici històric. Era un grup ben peculiar, aquell, amb un seguit de personatges gairebé de novel·la, des del criptocomunista que se les donava de ben informat dels entrellats del tardofranquisme fins el que s'amagava dins la carpeta el diari esportiu dels dilluns, lectura considerada impròpia d'un universitari. O des de la que semblava fervent religiosa a parelles de pelatge ben diferent, des de la que era un sí però no, fins la que lluia amb una llum *beatliana*.

*El Capi* era (és!) un personatge amb un perfil propi, diferenciat del que es podria considerar un universitari estàndard, si és que realment existia això de l'"universitari estàndard". Era més gran en edat i més madur, més reflexiu i amb més visió que la majoria de nosaltres. S'adonava d'aspectes i giragonses de la realitat que a la resta ens passaven per alt. En aquest sentit, ens va obrir els ulls en temes docents, de relació amb el professorat, sobre la universitat i sobre "el sistema" en el seu conjunt. Eren uns anys de molta agitació política. El nostre pas per la universitat va coincidir amb la fi del franquisme i el naixement de quelcom de nou, allò que després es va dir "la transició". Sovint, la universitat era tancada dies, setmanes o fins i tot mesos per raó de protestes, vagues i conflictes de diversa índole, generalment vinculades amb la situació política que s'estava vivint. Protestàvem els estudiants, una part del professorat (amb els PNNs en primera línia), i també una bona part de la societat. Els grisos eren dia si i dia també a les portes de la universitat, i quan s'esqueia a l'interior, atonyinant a tort i a dret. El nostre segon curs, 1975-76, ben poques classes vam fer, doncs l'inici de curs va coincidir amb la mort del dictador, el 20 de novembre de 1975. Es parlava de l'"aprovat general polític".

En aquest context, l'*Antònio* tenia allò que en diem "aura" i "*autorictas*"<sup>1</sup>, quelcom que ens enlluera-

<sup>1</sup> "*Auctoritas*" és un terme del dret romà, la traducció del qual per "autoritat" no reflecteix, ni de bon tros, el seu significat original. Comporta un grau de legitimitació reconegut per un col·lectiu, arrelat en un saber i en una templança, el qual només

nava, ens l'escoltàvem molt. Resulta que abans d'estudiar Geologia ja era pilot, o potser capità, de la marina mercant, la seva primera vida professional. Compatibilitzava mesos a la mar, centrats entorn l'estiu, amb períodes d'estudi a la universitat. Ens explicava que amb els diners que guanyava en uns mesos a la mar li donava per viure la resta de l'any. Sens dubte, estudiava Geologia perquè li venia de gust, i prou. Ens explicava històries de pirateria moderna, de certes aigües en que calia posar vigilància armada al vaixell, de les dificultats de l'estiba a coberta, doncs una estiba mal feta podia desequilibrar i fer bolcar un vaixell, i tantes altres coses. És probable que la meua proclivitat cap a les Geociències Marines vingui d'aquelles contalles, si més no en part. Amb tot, ell anava passant assignatures al seu ritme, fins que es va llicenciar l'any 1981 i doctorar l'any 1984, el dia de Sant Miquel, segons veig que consta en un CV recent que amablement m'ha facilitat un amic comú. Segona vida professional: la de geòleg.

### Les sortides de camp mentre érem estudiants

Les sortides de camp de Geologia, alumnes i professors més o menys barrejats, segons on i per segons què, mereixen un capítol apart, ni que sigui breu. Qualificaria de memorable la sortida de geomorfologia i tectònica a la serra de Prades amb els professors d'aleshores, pot ser no tant per la component geològica, que també, sinó sobretot pels partits de futbol que jugàrem a la plaça Major de Prades, on hi ha la famosa font d'on raja cava durant festes, calçats amb xiruques, professors i alumnes, patacada ve i destrallada va. Tot i fer oposicions a trencar alguna cama, per sort l'assumpte es va saldar només amb alguna lesió menor.

Amb el Dr. Oriol Riba, ACS, visitarem Mallorca i la serra d'Albarrasí, a Terol. En aquests sortides ens sentíem extraordinàriament ben tractats, ens ho passàvem bé i, a més, apreníem, i no només Estratigrafia. A Mallorca visitarem la *Fundación Europea Dragan*, al passeig Marítim, creada per un magnat del gas, l'edifici de la qual va ser enderrocat l'any 2010. També sentíem que ens apropàvem al món del petroli, doncs algun dia ens acompanyava l'Eduard Clavell, qui en aquell temps treballava per una petroliera americana, per a nosaltres un món inassolible encara. També visitarem la casa d'En Joan Miró, parent del Dr. Riba, i la d'En Joan Cuerda, militar i geòleg. I gaudíem amb els esmorzars que gairebé amorosament encarregava el Dr. Riba, amb ensaïmades, embotits de l'illa com el camaïot i la sobrassada, i pa sense sal. Era un aprenentatge amable, sobre Geologia, Estratigrafia i, pel damunt de tot, el món, del que encara n'érem tant ignorants la majoria (Fig. 1). Poc ens podíem pensar llavors que Mallorca, i la Universitat de les Illes Balears, la UIB, acabarien sent el destí de l'*Antònio*.

A Albarrasí, l'arribada anyal de "*los estudiantes del profesor Riba*" era tot un esdeveniment local. La cerca de fòssils i la visualització d'estructures bioconstruïdes eren part dels atractius del campament (Fig. 2). El Dr. Riba sempre es guardava algun fòssil a la butxaca per fer-lo aparèixer miraculosament quan començàvem a estar cansats o les nostres cerques no donaven fruit. Sempre he pensat que aquestes sortides, i altres, van influir en molts de nosaltres, i també en *el Capi*, ni que no ens adonéssim del tot aleshores, en decantar-nos cap a l'Estratigrafia.

Una altra sortida que, entre moltes altres, va deixar petjada en la majoria de nosaltres fou la de Santa Pola, a Alacant, i la conca de Fortuna, a Múrcia, on prenguérem contacte directe amb la temàtica del messià, que aleshores era un tema candent o *hot topic*, com preferiu (Fig. 3). *El Capi* potser encara recordi els despertars, excessivament matiners pel gust de la majoria, al crit d'*Achtung, achtung, das brot ist hier!* que et foradava el cervell.

També vàrem tenir ocasió de visitar algunes instal·lacions industrials, com ara les mines de la conca potàssica catalana (Fig. 4), amb dinar inclòs, invitats per l'empresa explotadora. Veritablement, de sortides de camp, la majoria d'un dia a una setmana de duració, en vàrem fer un grapat durant els estudis de Geologia, i a llocs molt diversos. Van ser molt profitoses tant des del punt de vista formatiu

---

s'atorga a algunes persones. L'"*auctoritas*" la té la persona amb coneixement i capacitat per emetre una opinió qualificada, la qual tot i no poder ser imposada, té un valor moral molt fort. L' *Antònio* tenia i té "*autorictas*".



**Fig. 1.** Fotografia de grup a cap Formentor (1977 o 1978), a Mallorca, durant una estada d'estudis. L'Antònio Rodríguez Perea és el segon per la dreta, assegut a terra. El Dr. Oriol Riba és darrere seu. Les tres persones de l'esquerra, que no formaven part del grup, sembla que xalaven d'allò més.



**Fig. 2.** Fotografia de grup d'un campament a la serra d'Albarrasí, a Terol. L'Antònio Rodríguez Perea és el de més a l'esquerra a la fila del darrere. El Dr. Oriol Riba és al centre de la imatge, a la segona fila. Maig de 1977.



**Fig. 3.** Fotografia de grup al càmping on estàvem allotjats durant un campament a Santa Pola, a Alacant, i la conca de Fortuna, a Múrcia. L'Antònio Rodríguez Perea és el segon per la dreta, assegut al terra. Abril de 1978.



**Fig. 4.** Grup d'estudiants prestos per baixar a les galeries subterrànies de la mina de sal i potassa de Balsareny, al Bages, Barcelona, per una visita d'estudis. L'Antònio Rodríguez Perea és el primer per la dreta. Abril de 1978.

com cultural i humà. Apreníem i veiem món i gents diverses i, de tant en tant, ens convidaven! Jovenets com érem, no es podia demanar més! Pensàvem que l'havíem encertada de ple i estàvem disposats a menjar-nos el món.

### **El Sindicato Libre de la Marina Mercante**

Mentre tot això passava, l'Antònio activista treballava de valent per, i es comprometia en, la constitució del *Sindicato Libre de la Marina Mercante* (SLMM). Ho vaig saber per algun neguit, alguna angoixa i també alguna corredissa de la que em va fer partícip i que, més tard, he pogut contextualitzar millor a partir, sobretot, de la tesi doctoral de ZAMORA I TERRÉS (1996).

L'SLMM es va fundar l'abril de 1975 i tenia un seguit de trets diferencials respecte al sindicalisme vertical precedent: no només era un sindicat de classe, democràtic i assembleari, com altres que s'estaven configurant en aquella època, sinó que es tractava d'una organització unitària de tots els treballadors d'un vaixell. Això no era pas poca cosa, doncs a l'època hi havia un sentiment molt arrelat entre els professionals de la marina mercant, molt especialment els oficials, de comptar amb organitzacions específiques. L'SLMM es va adherir a la primera convocatòria de vaga general del postfranquisme, el 12 de novembre de 1976, adhesió amb la que palesava la seva voluntat de ser un actor rellevant en les lluites del moviment obrer de l'època. L'SLMM cridà a "*todos los sectores relacionados con la mar a celebrar asambleas en los buques, muelles, etc. donde se discuta y explique el significado de esta jornada*". Recordant el cuirassat *Potemkin*. No és, però, el meu objectiu ara i aquí, explicar amb pèls i senyals ni la història de la transició sindical després de la dictadura ni la de l'SLMM, cosa de la qual sóc perfectament incapaç. Per això ja hi ha l'esmentada tesi d'En Zamora. Em limitaré a uns apunts breus tot i seguint la petja del nostre homenatjat.

Així doncs, he rastrejat l'Antònio dins la tesi d'En Zamora, que és molt rica en tota mena de detalls, noms inclosos. El seu nom surt en relació amb la "*Propuesta de ratificación de la Secretaria General elegida en la Coordinadora Estatal del Sindicato Libre de la Marina Mercante celebrada el día 1-2 de julio de 1978 en Madrid*" sotmesa al Congrés Extraordinari d'agost del mateix any, la qual fou ratificada amb 251 vots a favor, 240 en contra, 18 blancs i 1 nul, és a dir pels pèls, cosa que mostrava un evident grau de divisió entre els delegats de vaixell. Sembla ser que també hi havia components personals que pesaren lo seu en la votació. Sí que es va aprovar per unanimitat una "*Ponència Unitària*" presentada, entre altres, per diversos responsables de l'estructura de terra, inclòs Rodríguez Perea, el nostre *Capi*. Tercera vida: la del sindicalista.

Trobem un *Antonio Rodríguez* com a membre de la comissió negociadora del segon conveni amb ANAVE, l'associació de naviliers espanyols, comissió escollida a la Segona Assemblea de Delegats de Vaixells, celebrada a Madrid els dies 16 i 17 de desembre de 1978. Tots els elegits, fins un total de 29, eren membres de l'SLMM. Aquest *Antonio Rodríguez* apareix identificat com a segon oficial de NAVICASA, amb 103 vots, dins una forquilla que anava de 123 a 83 vots.

El nom d'*Antonio Rodríguez* és també a la llista de 60 membres del Comitè Estatal escollit al III Congrés de l'SLMM l'agost de 1979 a la Corunya, i dels 20 membres electes que, també l'any 1979, formaren la Comissió Negociadora del tercer conveni general amb la patronal ANAVE, gens disposada a arribar a cap mena d'acord. Vull pensar que ni que no consti el segon cognom, *Perea*, es tracta d'*el Capi*. I sinó, ja em sabreu disculpar.

Segons explica Zamora, la divisió sindical del moviment obrer, així com la dimissió de persones clau i un seguit de maniobres, acabaren per fer inviable la continuïtat de l'SLMM, de manera que al seu V congrés, reiteradament posposat fins que s'efectuà al desembre de 1985, es va aprovar per amplia majoria la seva integració a Comissions Obreres, arribant així al seu final l'intent sindical unitari més agosarat de la marina mercant.

Més enllà de la component estrictament sindical, també recordo alguns membres del jove sindicat que vaig conèixer puntualment a través de l'Antònio, de vegades només passant per un hola, una breu conversa i un adéu. Molts eren bascs. Un d'ells, especialment, em va *frapar* —colpir, si voleu—. He

oblidat el seu nom, i crec que era oficial de màquines. Era basc, això ho sé segur, i tenia la closca mig esclafada, segons algú em va explicar —o potser m'ho he imaginat—, per una biga que li havia caigut damunt. Duia unes ulleres de motllura negra gruixuda amb vidres també gruixuts. Amb tot, duia una “marxa” que feia enveja. Segur que l'*Antònio* el recorda perfectament, amb totes les precisions que a mi se m'escapen.

### Pisos compartits

Bona part del que he narrat fins aquí ho sé perquè el darrer curs de la llicenciatura de Geologia, i més enllà, vam compartir pisos. Bé, això és cert però no ho és: la veritat és que *el Capi*, i la seva companya, Na Bel, em van acollir a casa seva, primer al carrer Riera Blanca de l'Hospitalet, en un edifici molt alt proper al metro, i després al carrer Aragó de Barcelona. Els hi estaré eternament agraït.

Al carrer Aragó érem un grup de nois i noies, cadascú amb les seves dèries i els seus afanys. Gaudíem molt del moment —i segurament aleshores no n'érem prou conscients—, que era prou vívid en tots els aspectes. A més de l'*Antònio* i Na Bel, hi havia també la Clarissa, metgessa, ebrenca; el Jesús, matemàtic, càntabre; la Dolors, química, altcampenca; i jo mateix, és clar. Érem tan diferents entre nosaltres! Però justament per això aquell viure i convida plegats era especialment enriquidor. Amb la perspectiva que dona el temps, puc dir ara que l'ambient que hi havia en aquella comunitat era extraordinari. No cal, però, amagar que molt de tant en tant calia fer algun petit exercici d'harmonització, de “*templar gaitas*”. Res més natural. Tot era aprenentatge, de totes i tots, per a totes i tots plegats.

Més endavant és va “incorporar” al grup Don *Antònio*, el pare de Na Bel, metge retirat, que tenia el seu propi espai, adjacent al pis compartit. Al cap de no res ja ens trobàvem ben a gust amb la nova situació, uns i altres. Era com l'avi de tots. M'agradava molt parlar amb ell. Aquell home tenia un sentit de l'humor molt divertit, una fina ironia. Vam passar molt bones estones.

D'aquells anys, hi hauria moltes anècdotes per contar, però en aquest punt m'imposo una prudent autocontenció. Tot i els anys ja viscuts a Barcelona, jo, que encara tenia un solatge de noi de poble, estava meravellat de que hi pogués haver al món persones tan acollidores com l'*Antònio* i Na Bel. Aquest acolliment no sé si es podria qualificar com a quarta vida de l'*Antònio*, però en tot cas sí que va donar vida a més de quatre.

### Destí Mallorca i el cost d'una illa verda

Va arribar després la partida de l'*Antònio* cap a Mallorca, crec que el 1980, moment a partir del qual els nostres contactes es van anar espaïant en el temps. Això, no vol pas dir, però, que no procurés anar seguint, ni que fos des de la distància, les seves fetes i fites.

Des del punt de vista professional, diria que en la decisió d'anar a Mallorca hi va tenir a veure Lluís Pomar, qui en aquells anys anava tirant la canya a joves geòlegs per atreure'ls cap a la UIB, i ben fet que feia. És obvi que durant la ja llarga estada a les Illes, l'*Antònio* ha tingut una trajectòria remarcable, polifacètica, de compromís amb la nova terra d'acollida i amb la seva gent. A la UIB va anar pujant, esglaó a esglaó, aquesta mena d'escala que als universitaris ens duu a l'Olimp dels Deus —millor no creure-s'ho!—. L'agost de 1999 esdevingué Director General de Recursos Hídrics del Govern de les Illes Balears, presidit per Francesc Antich, del PSOE, càrrec en que el es mantingué fins la fi del mandat, cessant a primers de juliol de 2003. Tornaria a ocupar el mateix càrrec durant un període més breu, entre febrer de 2010 i juny de 2011, un altre cop sota la presidència de Francesc Antich.

En alguna de les nostres trobades ocasionals i converses un punt apressades, i gairebé sempre acompanyats, de les tres darreres dècades, fos per motiu de la lectura d'alguna tesi o per algun altre assumpte acadèmic, l'*Antònio* ens explicava com de bé es viu a Mallorca, de les fabuloses vistes des de casa seva al Port des Canonge, a Banyalbufar, i de *tutti quanti*. També, breument, parlàvem d'assumptes personals, i ens preguntàvem per la família. Va bé? Bé va! I tots contents.



Sempre he pensat que a un *homenot* com ell, primer marí mercant i després geòleg i moltes més coses, això d'anar a viure a una illa li esqueia especialment, doncs una illa no deixa de ser una mena de vaixell molt gran —de pedra, això sí— ancorat al mig del mar. “De-fi-ni-ti-va-ment”, sí.

Una de les contalles que he recordat molt sovint fa referència al preu de tenir una Mallorca més verda. Parlava, l'*Antònio*, de la gran quantitat d'aigua potable que es perd a Mallorca pel mal estat de la xarxa de distribució, a través de degotalls i fuites. I també explicava que com més verda era l'illa, més recursos hídrics es detreien dels aqüífers, doncs els boscos, els arbres, les plantes en general, necessitem captar aigua pel seu creixement. Són màquines de transformar aigua líquida en arrels, brancam i fullatge. Quina paradoxa! Des d'aleshores em miro els paisatges verds de la Mediterrània amb uns altres ulls!

Per si calguessin més proves d'activisme i compromís, veiem que, en el marc de la societat balear, l'Antoni ha estat president i vicepresident de la Societat d'Història Natural de les Balears, i és membre del Grup Balear d'Ornitologia, a més de ser-ho d'altres societats i associacions foranes. A la UIB ha estat president de la Junta de Personal Docent i Investigador, i director del Departament de Ciències de la Terra. Tot això, i no només, des del meu punt de vista, més que assoliments són indicadors d'un tarannà i d'una manera de fer: ser on toca i fer el que cal en cada moment. I aquí sí que hi poso una altra vida: la cinquena, la del compromís amb el país, la seva gent i les seves institucions per ajudar a millorar-los.

### Congressos i reunions: la cara humana

De congressos en podríem parlar —i escriure— una estona també. Per més que Barcelona es proclamés com a “ciutat de fires i congressos”, sempre he pensat que Mallorca és “terra de congressos a mida de les persones” —regalo l'eslògan, si algú el vol!—. En quin altre lloc del món sinó, durant un congrés, apareix una al·lota amb una senalla plena de coques fetes a casa, saborosíssimes, que els participants ens cruspim en un tres i no res en un parc a l'aire lliure?

L'*Antònio*, amb una colla d'amics i col·legues de la UIB i de més enllà, es va implicar en l'organització del *X Congreso Nacional de Sedimentología*, fet a Menorca, a Maó, l'any 1983, però amb excursions a Mallorca i Menorca. A banda de ser el meu segon congrés presencial *ever*, va ser tota una descoberta també des del punt de vista humà, doncs durant el mateix vam *practicar* el gin Xoriguer i els seus diversos preparats, com la pomada o el sífó, amb l'ajut inestimables d'*el Capi* i la seva colla illenca. Hi va haver molta animació, moltes llengües desfermades i molt bon ambient.

Fent un salt considerable en el temps, la darrera trobada amb l'*Antònio* —i amb en Joan Fornós, en Bernadí Gelabert, en Francesc Xavier Roig i altres — a Mallorca va ser amb motiu de la reunió final d'un projecte europeu sobre tsunamis, l'acrònim del qual era ASTARTE, que vol dir “*Assessment, Strategy And Risk Reduction for Tsunamis in Europe*”. Els vaig demanar d'acompanyar-nos i, sobre tot, guiar-nos en una sortida de camp per visitar dipòsits de tsunamis all llarg de les costes de l'illa. La resposta va ser ràpida i afirmativa, tot foren facilitats i la sortida, que vam fer el 8 d'abril de 2017, fou genial. Alguns dels participants a la reunió, acostumats a exercicis de modelització de tsunamis amb supercomputadors, es van trobar de cop i per primera vegada davant blocs de roca d'unes quantes tones de pes que antics tsunamis havíem bolcat damunt de penya-segats d'altura més que notable. I això en aquest gran vaixell petri ancorat a la Mediterrània que es diu Mallorca! El programa, prou atapeït per a un sol dia, incloïa els sectors d'es caló d'es Serral, del cap ses Salines i la Colònia Sant Jordi, i de la cala Pi i es Bancals. Era ben xocant veure unes quantes desenes de persones. Algunes vingudes de l'altra punta del món, trescant per aquells caminols i fent equilibris damunt els roquerars. Els més agosarats s'acostaven al caire dels penya-segats més alts per fer-se ben capaços del seu desnivell i de la brutal força dels tsunamis.

L'*Antònio*, amb posat tranquil, amb ulleres fosques i una gorra damunt la testa, tan aviat feia explicacions al grup, com responia a qüestions en petit comitè o individualment, com ajudava En Bernadí a sostenir panells amb mapes, talls i esquemes geològics (Fig. 5).



**Fig. 5.** L'Antònio Rodríguez Perea amb en Bernadí Gelabert as caló d'es Serral, explicant a un grup de participants a la reunió final del projecte europeu ASTARTE la distribució dels dipòsits de blocs de la zona, atribuïts a tsunamis, el 8 d'abril de 2017. Entre les primeres fotografies (Fig. 1 i 2) i aquesta han passat 40 anys.

Si aquesta serà la darrera sortida o, més en general, experiència que compartim, el temps ho dirà. Per la meua part no quedarà pas, doncs encara em queden per descobrir la sisena i la setena vides, com a mínim, de l'Antònio.

Una llegenda diu que cap marí ho és del tot fins que no ha superat la seva setena onada, un repte que posa a prova els més valents i que pot prendre les formes suaus de la mar rissada o aixecar-se en ones gegantines. D'on ve aquesta llegenda, que té diferents versions, ningú ho sap ben bé. Hi ha qui ho relaciona amb el set, número bíblic per excel·lència, i també amb els set mars de la Terra (MOLLÀ AYUSO, 2008). En tot cas, els marins veterans, asseguren que la setena onada sempre apareix, més d'hora o més tard, a la vida de les persones que han fet de la mar i de l'entrega generosa als altres la seva raó de ser, en uns casos per fer-los invulnerables als embats de la mar —la mar és la vida— i en altres per acompanyar-los fins la seva òrbita.

Quan i on sigui, que la teua setena onada sigui ben dolça. T'ho has guanyat al llarg de les teves diverses vides!

## Bibliografia

MOLLÀ AYUSO, L. (2008): *La séptima ola*. Ed. Juventud, Barcelona. 348 pp.

ZAMORA i TERRÉS, J. (1996): *El sindicato libre de la marina mercante, un intento de unidad sindical (notas para una historia del movimiento obrero en la marina mercante)*. Tesi Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. 667 pp. + annexos.

—  
Data recepció: 26.07.21

Data revisió: 28.07.21

Revisió acceptada: 14.08.21



# ANTONI RODRÍGUEZ-PEREA, GEÒLEG “PEL·LICULERO”, GEÒLEG DE PEL·LÍCULA

M. Magdalena Brotons Capó

Departament de Ciències Històriques i Teoria de les Arts, Universitat de les Illes Balears,  
Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears)

**Resum:** Tot aprofitant l'afecció al cinema d'Antonio Rodríguez-Perea es reflexiona sobre la relació del cinema i la geologia a propòsit de la pel·lícula *Un lugar en el Mundo* (1992) del director argentí Adolfo Aristarain. A partir del personatge del geòleg, Hans Mayer Plaza i la seva estada a las Quijadas, es repassen les visions sobre els continguts de la disciplina, la importància de la tasca de camp i la influència del paisatge i dels conflictes socio-econòmics en la vida dels habitants d'aquesta regió Argentina.

**Paraules clau:** cinema, geologia, *Un lugar en el mundo*, Adolfo Aristarain.

**Abstract:** Inspired on Antonio Rodríguez -Perea's fondness for cinema, this work addresses the relationship between cinema and geology. It departs from the movie *Un lugar en el Mundo* (1992) by Argentine director Adolfo Aristarain. Hans Mayer Plaza, a geologist, is the main character of the movie. His adventures at the Quijadas region are the excuse to review the geology disciplines, the role of fieldwork or the influence of landscape in the professional practice, as well other socio-economic issues and conflicts in the lives of the inhabitants of this region of Argentina.

**Keywords:** cinema, geology, *Un lugar en el mundo*, Adolfo Aristarain.

## Introducció

Per a la meua companya del Departament de Ciències Històriques i Teoria de les Arts, Isabel Escandell i per a mi, les 13h era l'hora de dinar a Can Tomeu, el bar de l'edifici Mateu Orfila del Campus de la Universitat de les Illes Balears. Durant els anys que vaig estar fent la tesi doctoral, el Campus era gairebé ca meua i dinava quasi cada dia a aquesta hora. Anava al Mateu Orfila perquè és el millor lloc de la Universitat per menjar un menú casolà, i hi anava a les 13h per coincidir amb un grup de professors del Departament de Geografia, entre els quals hi havia Antonio. Durant aquella hora no es parlava de feina: ni de classes, ni d'articles, ni d'alumnes... Es parlava de menjar, de sexe, de política... i de cinema. Com que som professora d'història del cinema, sovint els nostres col·legues del departament de Geografia me demanaven per tal o qual estrena, o es comentaven escenes de pel·lícules vistes fa anys... I rèiem. Record riure cada migdia, amb acudits d'aquells homenots que semblava que es barallaven per veure qui la deia més grossa. Així que un dia varen rebre l'apel·latiu ben merescut de “pel·liculeros”. “Pel·liculeros” no tan sols perquè els agradés el cinema, sinó per les històries i aventures que contaven, dignes d'un guió de pel·lícula. A part de les visites ocasionals del geògraf Biel Sevilla, que monopolitzava la conversa quan venia a dinar amb nosaltres, el cap del grup era sempre Antonio Rodríguez-Perea. Amb el seu posat greu, de savi, era, sens dubte, el més sarcàstic de tots. Amb la seva ironia, sempre tenia un comentari oportú per a les ocurrències de la resta. I amb Antonio, a més de riure, podíem parlar de cinema, de vegades fins i tot, de manera seriosa. Coincidíem en gustos, i ens fèiem recomanacions.

Així, quan me varen proposar participar en l'homenatge que se li estava preparant per al seu comiat de la Universitat, tot i que en un primer moment vaig pensar que no hi tenia cabuda en una publicació de geòlegs per a geòlegs, vaig decidir que encara que jo no hi tingués res a dir, potser el cinema sí.



Fig. 1. Cartell de la pel·lícula *Un lugar en el mundo*, A. Aristarain, 1992.

## Cinema i Geologia

La relació del cinema amb una altra branca del coneixement és un lloc comú. El cinema sovint s'utilitza per parlar de moltes qüestions no específicament cinematogràfiques, és a dir, ni de fotografia, de muntatge, d'elements de guió, o de treball dels actors, sinó que moltes vegades és una eina que serveix als docents i divulgadors per parlar de biologia, física, matemàtiques, psicologia, política, història, turisme... i també geologia. La geologia com a escenografia cinematogràfica, els paisatges on s'ubiquen narracions fantàstiques o recreacions històriques, ha estat tractat tant per historiadors del cinema com també per geòlegs. Un exemple és l'article "*El empleo de la geología como soporte ambiental en el cine*" publicat al *Boletín Geológico y Minero* (MARTÍNEZ PARRA, 2000). L'autor presenta una relació de la utilització de paisatges com a escenaris cinematogràfics, així com la recreació d'escenaris naturals a través de decorats. El text incideix en el fet que el coneixement del paisatge geològic facilita l'ambientació de les històries, afavorint a la recreació de llocs fantàstics i irreal, i contribuint a la credibilitat de les històries.

A la pàgina [geologicalmanblog.com](http://geologicalmanblog.com) s'analitzen els orígens geològics dels decorats de varis films, i es destaquen algunes pel·lícules on apareix un geòleg a la trama. El més habitual són les pel·lícules de ciència-ficció o de catàstrofes naturals, on el geòleg és el professional que aporta la part científica de la història. A aquesta web, i a moltes altres pàgines on podem trobar informació sobre la relació entre la geologia i el cinema, destaca sempre un film per sobre els altres, on el geòleg és un element clau de la narració, el personatge amb el qual comença la història que se'ns conta. Es tracta de "*Un lugar en el mundo*" del director argentí Adolfo Aristarain, de 1992 (Fig. 1).

Hans Mayer Plaza, el geòleg que interpreta l'actor José Sacristán, es presenta amb una certa fatxenderia quan coneix al jove Ernesto, al qual li comana que dugui els seus aparells a l'hotel de Valle Bermejo, a la província de San Luis (Argentina) on Hans ha de passar un temps per dur a terme una feina. Segur de si mateix, un poc prepotent, descobrim que fa feina pel cacic local. "*Junto piedras, vivo de eso*", és la primera definició que Hans dona de la seva feina.

Ernesto se sent tot d'una atret per l'espanyol. A ell també li agraden les roques ("*las piedras*", com diu a la pel·lícula, tot i que el terme "pedra" és incorrecte en geologia), que recull i guarda a la seva habitació. Però el jove de dotze anys també somia en guanyar doblers. La seva mare Ana li diu "*si tiene guita no es geólogo*" quan el nen li mostra la propina que Hans li ha donat per fer el transport.

Al llarg de la cinta descobrim la història personal de Hans Mayer. És un rodamóns seductor i bevedor, que va descobrir la seva vocació tirant pedres contra els grisos durant la dictadura de Franco. És l'heroi que guanya una cursa a cavall i és l'amic lleial, capaç de renunciar a l'amor en favor de l'amistat. Mario, pare d'Ernesto, és un professor de sociologia exiliat durant la dictadura, interpretat per l'actor Federico Luppi, habitual a la filmografia d'Aristarain; igual que Cecilia Roth, que interpreta a Ana, la seva esposa. Hans i Mario són dos personatges oposats: l'argentí decidí vincular-se a la terra

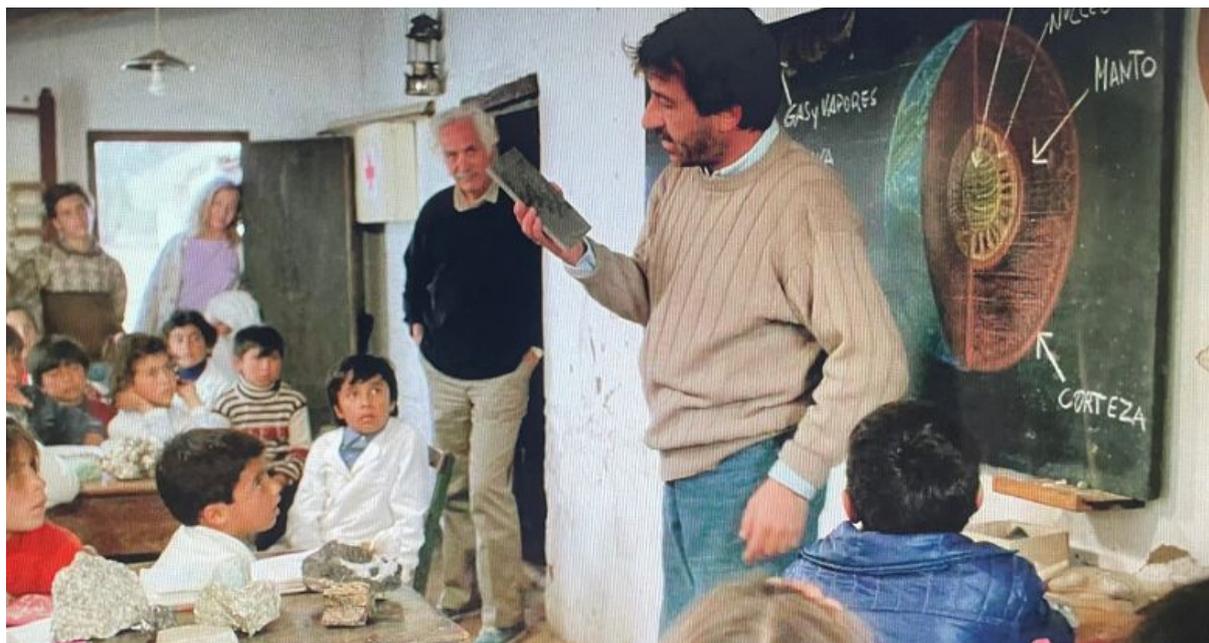


Fig. 2. El protagonista, Hans, ensenyant geologia als alumnes de Mario.

mentre que l'espanyol assumeix la seva condició d'apàtrida. Hans admira la superioritat moral de Mario, que acaba convertint-se en la consciència crítica del geòleg. La condició econòmica del professional de geologia es defineix d'una altra manera durant una conversa entre Hans i Ernesto:

- ¿Te gustaría ser geólogo?
- ¿Se gana mucha plata?
- Depende, como en cualquier trabajo. Un poco de talento, un mucho de suerte, un mucho de “si, señor”... Si lo que te importa es el dinero, tendrás dinero. Serás un tipo de mierda como yo, pero tendrás dinero”.

No se si estarien molt d'acord Antonio i els altres geòlegs amb els qui compartia el dinar. En qualsevol cas, aquesta és la imatge que dona Hans de si mateix, una imatge de mercenari. “*Donde me pagan, allá voy*” dirà en un altre moment. Però aquesta afirmació s'anirà matisant al llarg de la cinta. Tot i que al principi Hans diu que el cacic Andrada l'ha contractat per cercar petroli, el que en realitat fa és estudiar el terreny per fer una presa hidroelèctrica que ha de construir l'empresa espanyola Tulsaco, nom que apareix a moltes de les pel·lícules d'Aristarain com a paradigma de corrupció empresarial.

A petició de Mario, Hans accedeix a fer classes a un grup de nins del poble. Tot i que accepta a contrarcor, sembla com si ho hagués fet tota la vida. Professor didàctic i divertit, entusiasma als alumnes amb les seves explicacions. Els hi parla del planeta Terra, els hi explica l'acció erosiva de la pluja a les muntanyes, animant als nens a escoltar les “pedres” (Fig. 2). Però per entendre el que diuen les roques, explica Hans, és necessari conèixer el seu idioma. El geòleg és aquell que coneix l'idioma de les roques, i pot desxifrar així la seva història. Hans explica, de manera senzilla, branques de la geologia com la geodinàmica, la petrologia sedimentària i la mineralogia. El director va tenir l'ajuda del seu germà Lorenzo, geòleg de professió, que el va assessorar en els elements tècnics que es descriuen al film.

Marc Martínez Parra analitza al seu article “*Los geólogos en el cine y la televisión. Personajes reales e inventados. Un análisis de su transposición a la pantalla*”, els conceptes que anem aprenent al mateix temps que els alumnes al film:

- Geodinàmica interna: “... *día y noche camináis sobre una alfombra muy gorda pero en realidad pisáis fuego líquido y es que, aunque parezca un cuento chino, nada está quieto y nada es lo*

*que parece.*” Es refereix a l’escorça terrestre (“*alfombra muy gorda*”), als magmes que hi ha tant a l’escorça com al mantell (“*fuego líquido*”) i també al moviment lent de les plaques tectòniques, les quals es mouen a una velocitat similar a la que creixen les ungles (“*nada está quieto y nada es lo que parece*”)

- Geodinàmica externa: “*Nada es tonto, nada es insignificante. El hielo, por ejemplo, es el peor enemigo de la montaña. Cuando llueve se mete en las grietas y al llegar la noche se hace hielo. Aumenta de volumen y rompe la piedra. Poco a poco la deshace. La montaña lo sabe y se queja, no puede defenderse pero se queja. Antes de la tormenta se oye un zumbido. “Canto de abejas” le llaman, porque es como un chisporroteo, como el zumbido de las abejas.*” En aquest cas es refereix a la meteorització i la erosió de les muntanyes, mitjançant el tasconament degut al gel (gelifracció).
- Petrologia sedimentària: “*¿De qué me habla a mi esta piedra? Yo si la oigo porque conozco su idioma. Me cuenta historias, me habla de millones de años, de tormentas de viento y de lluvia, veo cielos oscuros y relámpagos y de animales y plantas como esta hoja han sido arrastrados por la tormenta y se han ido amontonando hasta formar esto*”. En aquest paràgraf fa referència a les roques sedimentàries, les quals són producte de l’erosió, transport i sedimentació en un ambient continental o marí i, per aquest motiu poden contenir restes fòssils.
- Mineralogia (manejan una làmpada de llum ultraviolada): “*Sólo a oscuras se puede ver el alma de las piedras. Cada una tiene el alma de un color y de una forma distinta*”. En aquesta escena mostren el reconeixement de diverses roques i minerals, alguns dels quals brillen amb una increïble varietat de colors brillants si els incideix llum ultraviolada (es tracta de minerals i roques fluorescents).

El personatge de Hans és el prototipus d’antiheroi amb el qual l’espectador sent immediatament afinitat. S’assembla als protagonistes de les històries de cinema negre dels films clàssics de Hollywood: desarrelat, perdedor en l’amor, però seductor, treballa per doblers, però no dubta en desafiar a Andrada quan conta el vertader motiu de la seva feina a Mario i al seu fill. La pel·lícula *Un lugar en el*



Fig. 3. Hans ensenya geologia al jove Ernesto a la Sierra de las Quijadas.



**Fig. 4.** El paisatge al Parque Nacional de la Sierra de las Quijadas (Argentina).

*mundo* també presenta reminiscències de Western, per la inexistència de l'Estat, l'exaltació de l'èpica i la presència del “foraster” (Hans) (CASELLA, 1993: 109-122). Al seu estudi sobre la cinematografia d'Aristarain, Fernando Brenner apunta la influència d'*Arrels profundes* (*Shane*, George Stevens, 1953) (BRENNER, 1993: 49).

Comparteix amb el film d'Stevens el plantejament, situacions i similitud d'alguns personatges: l'arribada d'un foraster a una zona rural, inhòspita i on hi ha un conflicte entre una comunitat de camperols i un terratinent; la història contada des del punt de vista d'un nin, preadolescent en el cas del film argentí. També coincideixen l'amistat entre el líder dels camperols i el foraster; l'atracció que sorgeix entre el personatge femení i Shane i, també, l'enfrontament als homes del terratinent. Fins i tot els noms dels personatges són similars: Shane i Hans. El final, però, és diferent. Mentre que Shane triomfarà en la lluita pel seu somni encara que això el dugui a la mort, Hans continuarà amb la seva vida d'etern errant.

També trobem la presència de la geologia als paisatges, amb plans de gran bellesa visual i amb panoràmiques de gran força expressiva. La pel·lícula es va filmar al *Valle del Conlara*, a *Parque Nacional de la Sierra de las Quijadas* i a la ciutat de *Villa Merlo* (Fig. 3). *La Sierra de las Quijadas* presenta un magnífic i àrid escenari, de vermelloses parets erosionades per l'aigua i el vent, amb laberints i barrancs espectaculars. Al film és el lloc on Hans fa prospeccions per establir-hi una presa d'aigua. Tot i que el geòleg li diu al jove Ernesto: “*Camina con respeto, estamos pisando el fondo del mar*” en realitat en aquesta zona no hi va haver mai la mar. Amb aquests colors vermellosos, alternant gresos i lutites, el paisatge correspon a un ambient clarament continental.

Per a Francesc Vilaprinyó *Un Lugar en el mundo* és la pel·lícula més ideològica d'Aristarain. L'autor assenjala que aquest component és palès als diàlegs on els personatges descarreguen la seva tensió personal i ideològica (VILAPRINYÓ, 2013: 109). El film va suposar un punt i a part a la carrera del



director, després del fracàs del seu anterior treball *The Stranger* i alguns anys sense filmar. Aristarain va passar del cinema negre dels seus inicis a un cinema molt més personal, sense abandonar però la petjada de la dictadura militar que d'una manera o altra sempre és present a les seves històries.

El desembre de 2019 José Sacristán va ser nomenat geòleg honorífic per part de l'Il·lustre Col·legi Oficial de Geòlegs (ICOG) pel seu paper a aquesta pel·lícula. Pensem que més enllà de la interpretació de Sacristán, el que es va premiar en realitat és al personatge escrit per Aristarain. Hans és el geòleg que enamora als espectadors, l'Indiana Jones de la geologia, és el "pel·liculero" de la geologia i també un geòleg de pel·lícula, tal qual Antonio Rodríguez-Perea.

## Bibliografia

- BRENNER, F. (1993): *Adolfo Aristarain*, Centro Editor de América Latina, Buenos Aires
- CASELLA, K. (1993): Entre líneas de fuego. Sobre *Un lugar en el mundo* de Adolfo Aristarain. In: González, H. i Rinesi, E. (eds.), *Apuntes para una historia social del cine argentino*: 109-122. Manuel Suárez ed., Buenos Aires
- MARTÍNEZ PARRA, M. (2000): El empleo de la geología como soporte ambiental en el cine. *Boletín Geológico y Minero*, 111 (5): 79-84.
- VILAPRINYÓ, F. (2013): *Dictadura militar argentina y el cine de Adolfo Aristarain*, Universitat de Barcelona, Barcelona.

---

Data recepció: 16.08.21

Data revisió: 03.09.21

Revisió acceptada: 05.09.21

# SOBRE FÒSSILS I TSUNAMIS

Josep Juárez-Ruiz

Museu Balears de Ciències Naturals  
Cra. Palma – Port de Sóller, km. 30, 07100 Sóller (Illes Balears)

Segurament, dels autors que signem els diversos texts que integren aquest volum dedicat a n'Antonio, soc un dels que el coneixen de fa menys temps a nivell personal (aproximadament 4 anys). No obstant això, sí que tenia coneixement previ de la seva valuosa tasca científica i per això em vaig sentir molt honorat quan per fi el me varen presentar. En aquest sentit, escric unes breus línies que relaten els fets que m'acabaren portant a la seva coneixença. Des de llavors i des del camp de la paleontologia, existeix a una grata col·laboració amb ell i el seu equip, focalitzada en l'estudi dels dipòsits de tsunami a Mallorca, una col·laboració que es manté a dia d'avui. Crec que aquest relat és un bon exemple de com de beneficioses poden ser les relacions entre els científics acadèmics i aquelles persones que, com jo, naturalistes afeccionats, maldam per explorar i estudiar el medi amb el màxim de rigor.

Aquesta història comença realment uns anys abans de conèixer n'Antonio, fa devers 7 o 8 anys, a una zona costanera anomenada es Bancals, situada a les proximitats de cala Pi, a la Marina de Lluçmajor. El topònim d'aquesta costa es deu a la forma esgraonada que tenen els seus penya-segats, que en efecte recorden molt als bancals construïts per facilitar les tasques agrícoles a zones de pendent acusat. Aquesta peculiar topografia ja va ser estudiada a de la dècada dels anys 60 pel paleontòleg autodidacta Juan Cuerda, el gran referent pel que fa a l'estudi del pleistocè marí a Balears. Juntament amb l'erudit local Josep Sacarés, qui també va explorar molts dels jaciments de la Marina abans de ser estudiats. Cuerda va publicar un seguit de treballs on interpretava aquestes formacions com a rases d'abrasió marina que marcaven antics nivells de la mar (CUERDA i SACARÉS, 1966, 1970, 1992). Les evidències que portaven cap aquesta conclusió, de la pròpia geomorfologia, eren tot un seguit de dipòsits que contenien fòssils de mol·luscs litorals del pleistocè mitjà i superior, a diferents altures sobre el nivell de la mar actual. Així doncs, segons aquesta interpretació, es Bancals s'haurien format durant la història geològica recent, en diferents intervals on el nivell del mar era més alt que l'actual i erosionava la costa a cada vegada menys altura, formant, en conseqüència, els característics graons. No obstant això, investigacions posteriors varen posar en dubte la teoria de Cuerda (que ell extrapolava allà on investigava), ja que aquesta no tenia en compte la possibilitat que alguns dels dipòsits amb fauna marina fossin acumulats per episodis de temporals marins, que haurien transportat les closques dels mol·luscs a alçàries molt superiors a la del nivell mitjà de la mar. De fet, tècniques de mesura més modernes apuntaven a que la mar, durant els intervals geològics estudiats per Cuerda, no va arribar a assolir ni de lluny les altures equiparables a algunes dels replans d'es Bancals (veure GINÉS *et al.*, 2020).

Així estaven les coses quan em trobava amb un company de recerca fent una sortida de camp es Bancals (Fig. 1). L'objectiu d'aquesta sortida no tenia en principi res a veure amb estudiar les causes que formaren aquella costa, sinó solament pretenia localitzar els diferents jaciments publicats (vid. VICENS, 2015) i, eventualment, poder documentar fauna fòssil inèdita. Estant en el terreny, ens va sorprendre l'enorme quantitat de blocs dispersos, alguns dels quals tenien mides mètriques realment cridaneres. Òbviament, també degueren cridar l'atenció dels antics investigadors, que els interpretaren dins el context de les rases marines i com a blocs de tempesta. Particularment, a mi se me feia difícil de creure que blocs de tals dimensions i pes poguessin ésser transportats per temporals a altures de més de 23 metres sobre el nivell del mar actual; fins i tot imaginant un eventual nivell marí antic pocs metres part damunt de l'actual com el del màxim climàtic del darrer interglacial. El més sorprenent de tota aquella sortida va ser trobar un bloc que devia fer uns dos metres i mig de llarg amb restes d'un nivell endurit amb fòssils de mol·luscs, que ràpidament vaig identificar com pertanyent a un dels dipòsits documentats a la bibliografia, situat uns metres més avall. Baixant el penya segat en direcció perpendicular a la costa,



**Fig. 1.** Vista d'Es Bancals mostrant part dels 'graons' que conformen la seva geomorfologia.

a un seguit de metres vaig veure el negatiu de l'enorme roca, en efecte coincidint amb el jaciment paleontològic. A la tornada, el meu company i jo parlàvem entusiasmats sobre la possibilitat de que un tsunami gegant hagués arrabassat parts del penya-segat i les hagués transportat fins la seva localització actual en forma de grans blocs. Ara bé, la meua ignorància pel que fa a la geomorfologia i geodinàmica litorals m'impedien abordar amb una mínima base científica aquesta qüestió. Per pal·liar aquesta mancança vaig parlar en primer lloc amb la geòloga Rosa María Mateos, a qui la hipòtesi li va semblar interessant, si bé les seves ocupacions impedien en aquell moment tenir temps per fer una visita a la zona amb ella, pel que l'assumpte va quedar oblidat.

Un parell d'anys més tard, casualment vaig conèixer a un dels col·laboradors de n'Antonio, en Francesc Xavier ("Xisco") Roig, a una conferència que ell impartia organitzada per Geoilles a final de març de l'any 2016, i que duia per títol "Blocs de tempesta i tsunami a les costes de les Illes Balears". Després d'aquesta i tenint constància prèvia dels seus estudis sobre dipòsits de tsunami al Mediterrani (ROIG-MUNAR, 2016, entre d'altres), li vaig comentar en privat l'existència de l'aflorament d'es Bancals, el qual vàrem acabar per visitar al poc temps. Em va gratificar molt saber que un vertader coneixedor en la matèria avalava amb la seva experiència i coneixement el que jo sols podia intuir. Ell em va descobrir algunes de les claus amb les que es podia identificar una tsunamita, així com diferenciar-les dels dipòsits produïts per temporals, anomenades tempestites, tasca que sembla força difícil en segons quins casos. També em va advertir sobre la possibilitat de trobar una tsunamita fossilitzada a Mallorca (la que havíem observat semblava relativament recent), tal vegada camuflada dins algun dels molts jaciments estudiats per en Cuerda i per altres autors recentment a la resta de les illes Balears. Temps més tard s'acabarien publicant les dades d'aquells blocs de tsunami a un complet estudi en el que s'establiria com a causa del dipòsit un sisme ocorregut a Algèria (MARTÍN-PRIETO *et al.*, 2018).

A partir de llavors, vaig mirar amb altres ulls els jaciments del pleistocè, cercant sobre la pista que en Xisco m'havia donat. Més tard als mateixos Bancals vaig observar en un dels dipòsits amb fauna marina termòfila pròpia del màxim climàtic del darrer interglacial, varis blocs mètrics fossilitzats pel sediment amb fauna. Aquets, estaven a poc més de mitja alada del penya-segat (uns 15 m), podrien haver-se dipositat per despreniments, però aquesta interpretació era descartada perquè els blocs



**Fig. 2.** Sortida de camp a Torre de s'Estalella. D'esquerra a dreta: José Àngel Martín, Antonio Rodríguez Perea i l'autor. Foto: F. X. Roig.

corresponien a unitats estratigràfiques de la base del talús (mesclats, sí hi havia blocs despresos d'unitats superiors). Un cop que es va constatar que aquells blocs havien estat transportats en direcció ascendent, vaig tornar a aparaular una sortida amb en Xisco. Va ser precisament en aquesta nova exploració quan vaig conèixer Antonio, del qual em va cridar l'atenció la seva humilitat i saviesa. També vaig conèixer aquell dia al geòleg Bernadí Gelabert, que forma part d'aquest grup de treball. Amb ells també hi era en Xisco. Així doncs, els vaig dur a veure el que havia descobert, si és que realment havia descobert alguna cosa. Sorprenentment, les mesures sobre la inclinació i les estimacions de les masses dels blocs, semblen apuntar cap a la tsunamita fòssil que ells havien predit anys enrere. Força entusiasmats, em demanaren que fes memòria de les meves sortides de camp, per si hagués alguna possibilitat de visitar altres llocs potencialment interessants.

Al temps i atenent la petició que em feren, anàrem a visitar el jaciment de Torre de s'Estalella, una clàssica localitat del pleistocè marí que, a més, coincideix amb una tsunamita subactual que anys enrere en Xisco havia estudiat (ROIG-MUNAR, 2016). En aquesta ocasió, apart de n'Antonio, en Bernadí, en Xisco i jo, ens acompanyava un equip de televisió d'IB3, que va fer un petit reportatge sobre els blocs de tsunami on n'Antonio va donar una lliçó magistral a l'audiència. Després que l'equip partís, anàrem a revisar el dipòsit del pleistocè (en realitat, varis dipòsits petits que formaven un sol conjunt en el passat), que conté fossilitzats nombrosos blocs de grans dimensions a diverses altures. De nou, les dades recopilades semblaven apuntar a la presència d'una tsunamita fossilitzada, anàloga en edat a la del pleistocè d'Es Bancals. Per acabar d'arrodonir el dia ens reunirem per menjar i agafar forces al conegut restaurant de carretera Cas Busso amb l'especialista en la Crisi de Salinitat del Messinià Guillem Mas i el pioner que molts anys enrere havia explorat primerament la zona que actualment estem estudiant: Josep Sacarés.

De més a més de l'alegria i l'honor que me produí col·laborar amb n'Antonio i el seu equip, crec que de tant en quant és oportú contar les anècdotes que hi ha rere les investigacions científiques, a risc de semblar un cronista erudit del segle XIX. Els articles són imprescindibles per al desenvolupament científic, sí, però sovint el seu llenguatge àrid i les dades empíriques oculten una realitat personal, que, de donar-se a conèixer, ajudaria a generar interès entre el públic. Aquest interès és, al cap i a la fi, un combustible molt necessari per la ciència.

## Bibliografia

- CUERDA, J. i SACARÉS, J. (1966): Nueva contribución al estudio del Pleistoceno marino del término de Lluchmayor (Mallorca). *Boll. Soc. Hist, Nat, Balears*, 12: 63-99.
- CUERDA, J. i SACARÉS, J. (1970): Formaciones marinas correspondientes al límite pliocuaternario y al Pleistoceno inferior de la costa de Lluchmayor (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears.*, 16: 105-134.
- CUERDA, J. i SACARÉS, J. (1992): *El Cuaternari al Migjorn de Mallorca*. Conselleria de Cultura, Educació i Esports del Govern Balear. Palma. 130 pp.
- GINÉS, J., GINÉS, A., FORNÓS, J. J., GRÀCIA, F., TUCCIMEI, P., SOLIGO, M., ONAC, B. P. i VICTOR, P. J. (2020): El nivell marí a Mallorca durant el darrer interglacial (MIS-5): estat de la qüestió basat en les datacions d'espeleotemes freàtics. *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 3: 115-132.
- MARTÍN-PRIETO, J. A., ROIG-MUNAR, F. X., RODRÍGUEZ-PEREA, A., GELABERT, B. i VILAPLANA, J. M. (2018): Acumulació de blocs en la costa acantilada del sur de Mallorca (Es Bancals): Evidència de tsunamis procedents de Argèlia. In: GARCIA, C., GÓMEZ-PUJOL, L., MORÁN-TEJADA, E. i BATALLA, R. (eds.), *Geomorfologia del Antropoceno Efectos del cambio global sobre los procesos geomorfológicos*: 165-1168. Universitat de les Illes Balears, Sociedad Española de Geomorfología. Palma.
- ROIG-MUNAR, F. X. (2016): *Blocs de tempesta i tsunami a les costes rocoses de les Illes Balears. Anàlisi geomorfològica i morfomètrica*. Tesis doctoral. Departament de Geodinàmica i Geofísica. Universitat de Barcelona. 410 pp
- VICENS, D. (2015): *El registre paleontològic dels dipòsits litorals quaternaris a l'illa de Mallorca (Illes Balears, mediterrània occidental)*. Tesis doctoral. Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. 986pp.

---

Data recepció: 05.10.21

# EL CAPI

Rosa M. Mateos

Área de Riesgos Geológicos, Instituto Geológico y Minero de España  
Urb. Alcázar del Genil, Edificio Zulema, Bajo, 18006 Granada

Antonio, Antoni, Antoñico ya era una leyenda cuando llegué a Mallorca. Se decía de él que había sido marino mercante y capitán de un carguero que daba vueltas por el vasto mundo. Quizás de ahí le vino el interés por la Tierra, de tanto atravesar meridianos y paralelos con su barco de hierro. Jamás supe si esta historia era verdad, pero Antonio se quedó con el apodo de *El Capi* para toda la vida.

El Capi es un hombre grande de manos delicadas y con una voz de tenor que debería haber sido educada para la lírica. Fue una gran pérdida que no eligiera la ópera ni la farándula. A cambio se hizo geólogo, y utilizó su timbre especial para dar unas clases excepcionales, repletas de pedagogía y entendimiento, que despertaron entre el alumnado de la *Universitat de les Illes Balears*, la UIB, un gran interés por las Ciencias de la Tierra. Yo tuve la suerte de compartir con él asignatura, y acompañarle a un viaje universitario por las cumbres alpinas. En la subida al refugio del glaciar *Monte Rosa* estuvimos a punto de perder a varios alumnos por el camino; otros casi se nos despeñan, pero disfrutamos de una semana única de geomorfología glaciar y paisajes suizos de alta montaña que nunca he podido olvidar. Todo lo que sé de morrenas, circos, bloques erráticos y aristas se lo debo al Capi.

Tuve también la ocasión de campear con él por la Tramuntana, saltando *marjades* por los parajes de Banyalbufar. Gracias a Antoni conocí a los *Amics de Banyalbufar*, que tenían la maravillosa costumbre de celebrar unas suculentas sardinadas en la cala del mismo núcleo mariner. Reivindicábamos así medidas de protección frente a los desprendimientos rocosos. Justo debajo del estrato amenazante. Los geólogos somos así: por una copa de malvasía vendemos nuestra alma.

Apenas tengo recuerdos de su etapa más política como director general. Pienso -desde el cariño- que cuando El Capi se pone en modo reivindicativo se vuelve un poco cascarrabias. Es más, estoy segura que es mucho más flexible e indulgente de lo que dice y aparenta. Yo me quedo con sus bellas explicaciones sobre las dunas de *Es Trenc* o sobre los entresijos geológicos que originan *Ses Fonts Ufanes de Gabellí*.

Desde la admiración de una forastera apátrida, estoy feliz que Antonio se libere por fin de sus cargas laborales y se dedique al libre albedrío. Desde las cumbres de Sierra Nevada espero que llegue un buen día con su puro, su voz de Pavarotti y su barco de hierro. Prometo recibirle con un buen plato alpujarreño y vino del país para que recupere su sustrato geológico. A fin de cuentas, estas son las cosas que realmente importan.

Gràcies Antonio.

Una forta abraçada. Salut i Sort!!!!

---

Data recepció: 16.08.21











**Societat d'Història  
Natural de les Balears**



9 788409 345540