

# L'entorn geogràfic, geomorfològic i geològic de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca)

Joan J. FORNÓS<sup>1,2</sup>, Lluís GÓMEZ-PUJOL<sup>1</sup> i Guillem MAS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grup de Recerca de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Palma. Email: joan.fornos@uib.cat

<sup>2</sup>Societat Espeleològica Balear. Palma.

## Abstract

The Upper Miocene deposits forming a tabular carbonate platform known as Marina de Llevant is the ideal substratum for the development of coastal karstic cavities such as the Coves del Drac. The caves are carved on Upper Miocene calcarenites that show an important primary porosity as well as a series of poor penetrative joints that initially controlled the development of former conduits; the presence of breccia deposits related with intramiocene paleokarst structures may also have influenced the initial subterranean flow. Anyway, the final morphology of the cave is clearly determined by the vertical evolution due to the abundant collapse chambers present in the cavity. The presence of littoral Pleistocene aeolianite deposits on the present-day coast does not seem to have interacted in any case with the few sediment deposits present inside the cave.

## Resum

La plataforma carbonatada tabular formada pels dipòsits cenozoics que conformen la denominada Marina de Llevant és el substrat idoni per al desenvolupament de cavitats càrstiques litorals com són les coves del Drac. Aquestes estan esculpides dins del materials calcarenítics del Miocè superior els quals presenten una elevada porositat primària i una fissuració poc penetrativa que controla en primera instància el desenvolupament dels conductes primigenis. A la vegada, altres fenòmens com la presència de puntuals nivells de bretxes, degudes a paleocol·lapses càrstics intramiocenes, poden haver influït en la direccionalitat del flux subterrani inicial. La morfologia final de la cova, però, queda determinada per l'evolució en la vertical deguda als abundants esfondraments que presenta la cavitat. La presència de dipòsits d'eolianites pleistocenes al litoral no sembla haver interactuat en cap cas amb els escassos dipòsits sedimentaris presents a l'interior de la cavitat.

Fornós, J.J.; Gómez-Pujol, L. i Mas, G. (2018): L'entorn geogràfic, geomorfològic i geològic de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca). *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 1: 49-63. ISSN 2605-3144. © Societat Espeleològica Balear. **Rebut:** 20 desembre 2018; **Revisat:** 14 gener 2019; **Acceptat:** 21 gener 2019. **Publicat online:** 30 gener 2019

## Introducció

Les coves del Drac són un fenomen endocàrstic destacable (GINÉS & GINÉS, 1992, 2007; GRÀCIA, 2015), amb una llarguíssima història pel que toca a la seva coneixença, ocupació i explotació (GINÉS & GINÉS, 2018), que s'obre en el planell calcari costaner del Llevant de Mallorca (ETRS89 UTM 528340-4376285). Concretament al terme municipal de Manacor, a la localitat del Porto Cristo i en un sector comprès entre cala Murta i cala Manacor (Figura 1), a les antigues terres de la possessió de Son Moro, una segregació del gran latifundi que fou el Rafal Pudent al s. XV (GUIJON & CABRER, 2005).

L'objectiu del present treball consisteix en fer una breu descripció geomorfològica de la zona en la qual es troben les coves així com descriure l'emplaçament geològic, amb els seus paràmetres estratigràfics i estructurals, i fer una primera discussió de com aquests han condicionat el desenvolupament espeleogenètic de la cavitat.

## L'entorn geogràfic

En un context regional, les coves del Drac es troben dins la unitat morfoestructural de la marina de Llevant, un relleu tabular confegit per la progradació d'un escull carbonatat durant el miocè superior –adossat al vessant oriental de les serres de Llevant–, que es tradueix en una superfície subhoritzontal, un altiplà, lleugerament inclinat cap al mar on cau a plom amb penya-segats entre 25 i 10 m d'alçària (Figura 2). Des de cala sa Nau (s'Horta) fins a cala Manacor l'amplària mitjana d'aquesta unitat assoleix els 3,4 km, tot i que a partir de cala Manacor i fins la punta de n'Amer (Sant Llorenç) depassa els 4 km.

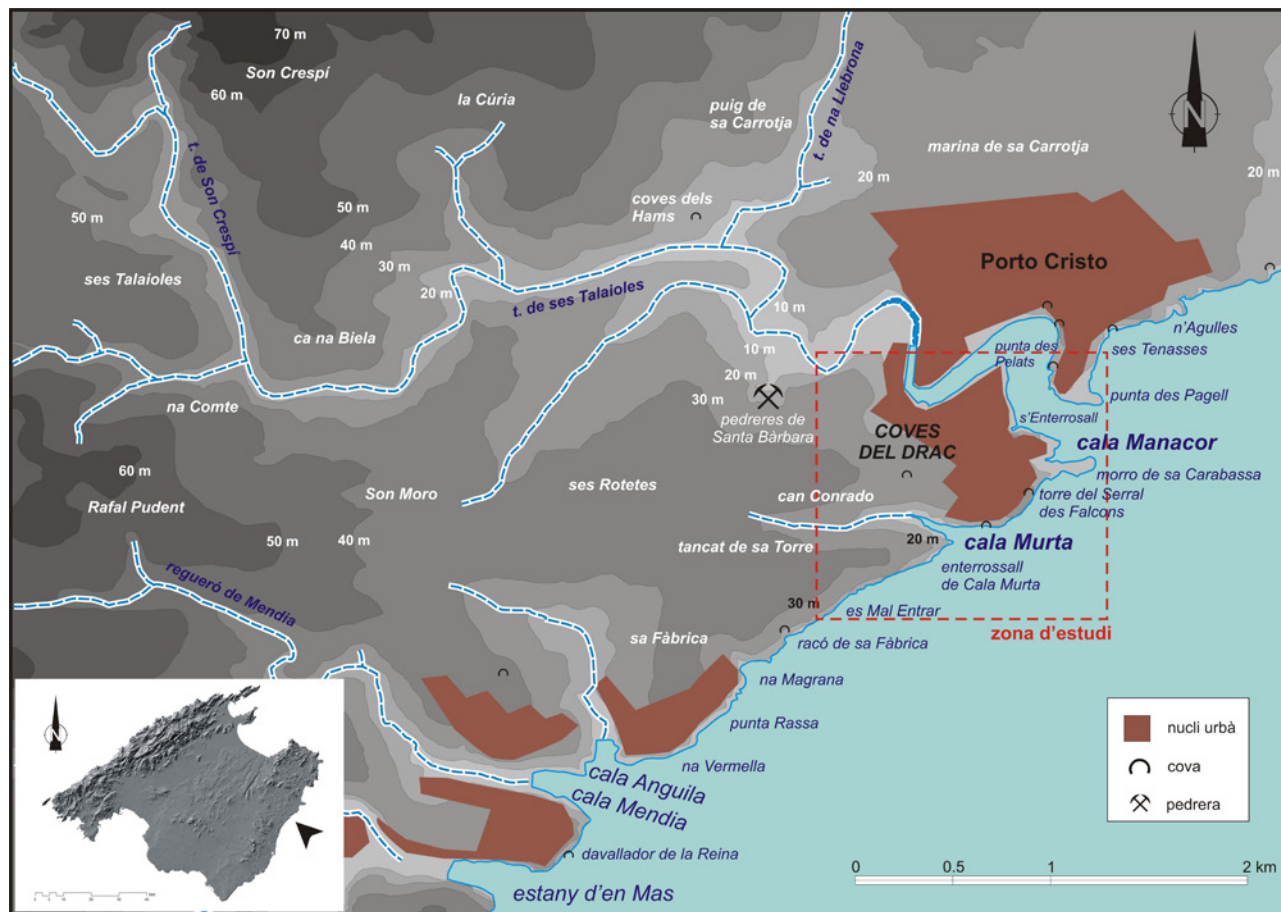


Figura 1: Mapa de localització de les coves del Drac al llevant de Mallorca.  
 Figure 1: Map of the eastern part of Mallorca showing the location of Coves del Drac.

En els contorns de les coves del Drac, els afloraments dels rocams del miocè superior assoleixen cotes màximes d'alçària al voltant dels 55 m (can Bisbal) –just a tocar de les serres de Llevant– i baixen, després de 4,45 km de recorregut lineal perpendicular a la línia de costa, fins als 20 m (Torre des Serral des Falcons) en arribar a les crestes dels penya-segats, típicament verticals, que cauen dins el mar. Tot plegat confereix a la zona un pendent del 0,67% que entra, i de llarg, en la categoria de superfícies horitzontals. Una horitzontalitat que s'hauria de matisar. En primer lloc perquè a mode d'amfiteatre aquest planell compta amb els relleus de les serres de Llevant, que s'alcen entre els 100,7 m del turó de Son Suau, els 111,6 del turó de Can Caules, els 141,61 m del puig de Son Manxo, els 145,47 m del puig de Mancades o més a ponent els 332,41 m del puig de So na Moixa. Uns turons, els més abruptes dels quals estan formats per les dolomies taulejades, margues i carniols del triàsic superior – juràssic inferior; mentre que els de vessants més suaus i tènues es construeixen a partir de les margocalcàries del juràssic mitjà o de les margues i gresos turbidítics del miocè inferior. I en segon lloc, perquè el desenvolupament de la xarxa de drenatge, així com alguns fenòmens exocàrstics, introdueixen una rugositat que no fa que aquest planell calcarí sia fàcilment transitable transversalment.

Tanmateix les coves que ens ocupen resten a una contrada que queda delimitada al nord-est i el sud-est per la línia de costa; i als altres extrems per les divisòries –parlar de carenes induiria a una imatge del relleu exagerada– de dues conques de drenatge dissimètriques. Al nord-oest la complexa conca del torrent de ses Talaioles de 57,6 km<sup>2</sup> de superfície i al sud-oest la conca del torrent de Cala Anguila amb una superfície d'1,1 km<sup>2</sup>. El torrent de ses Talaioles destaca perquè la xarxa de drenatge té un grau de desenvolupament notable a capçalera arran de la complexitat litològica i estructural de les serres de Llevant, mentre que en endinsar-se en el rocam miocè s'encaixa i controlat per fractures i matisat per semidolines (?) o col·lapses càrstics, articula falsos meandres que en entrar en contacte en el mar resulten en la característica forma de la Cala Manacor. A la segona de les conques la xarxa és simple i lineal i la traça de quasi bé 1 km respon a dues fractures quasi bé perpendiculars que moren en una cala de parets verticals, amb alguna que altre inflexió en planta associada a paleocol·lapses càrstics.

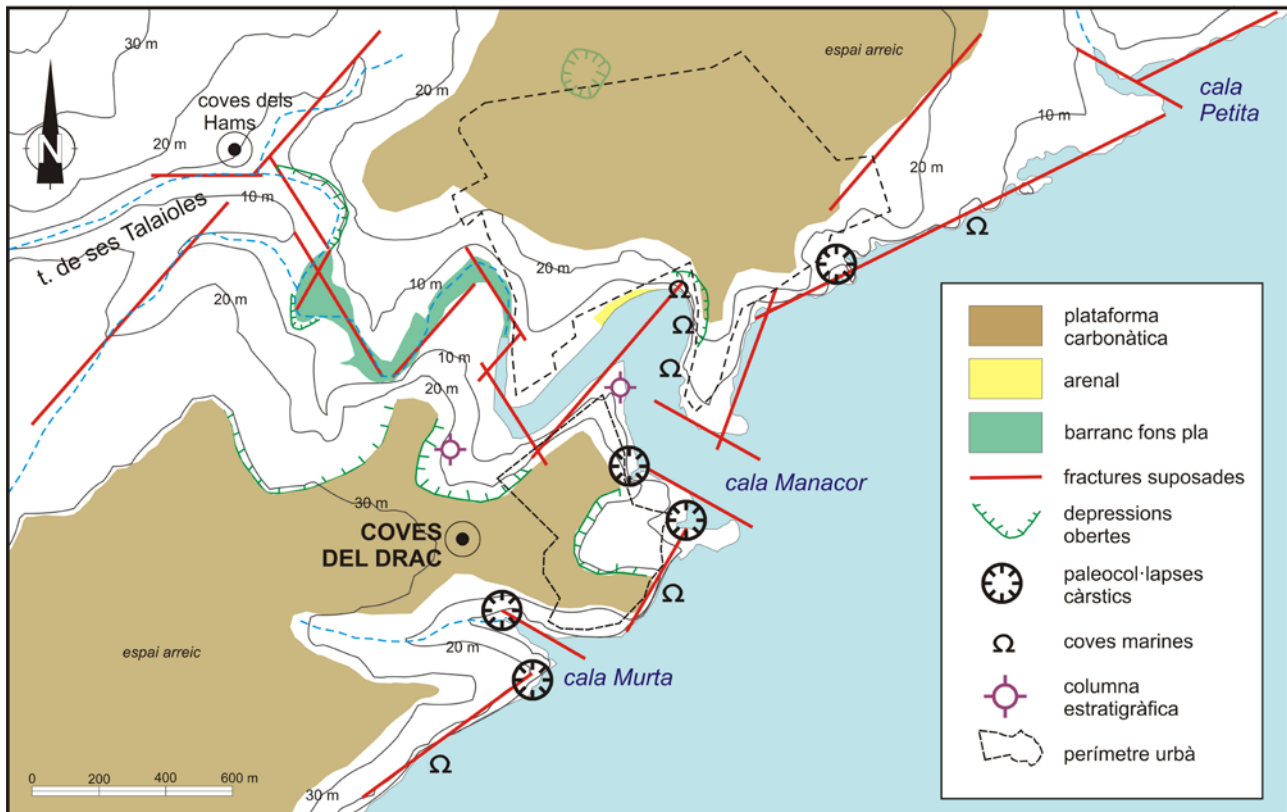


Figura 2: Mapa de detall de la zona de les coves del Drac amb els principals trets geomòrfics i estructurals.  
 Figure 2: Geomorphologic and structural trends sketch of the Coves del Drac and surroundings.

Aquest espai entre conques i relativament pla podria qualificar-se d'arreic, atès que l'horitzontalitat d'aquesta taula, amb un pendent del 0,69% –calculat entre la torre des Falcons i ses rotetes de Son Rapinya– no permet l'articulació d'una xarxa de drenatge, excepció feta del xaragall d'ordre 1 que acaba a cala Murta i que aprofita una diàclasi amb una traça  $110^\circ$  per desenvolupar-se. El control estructural del xaragall o torrentó de cala Murta no pot separar-se del retoc càrstic; el seu tram superior que discorre dins el tancat de sa Torre té un perfil còncau però tènue, que en poc menys de 250 m baixa dels 31 m als 25 m s.n.m (un pendent del 2,8%), llavors s'encaixa durant 360 m amb un pendent força còncau, del 5,8%, a tocar de les cases de can Conrado, per acabar caient 4 m d'alçària en menys de 40 metres de recorregut (pendent del 10%). Tant la concavitat del perfil del torrent, com els relleixos que presenta o els petits circs que retoquen la tirania del traçat lineal associat a la fracturació, juntament amb els paleocol·lapses càrstics dels flancs de cala Murta –que afavoreixen el desmantellament marí de la cala– contribueixen a estalonar la importància del carst en la configuració del relleu d'aquest entorn. No de bades la mateixa presència de les coves del Drac, la cova de cala Murta o la dels falsos meandres de la cala Manacor també en són clares evidències. GÓMEZ-PUJOL et al. (2013) i GRÀCIA et al. (2011) ja apunten aquest fet en relació a la morfologia de les cales del Llevant de Mallorca; al mecanisme i la formació de les quals poden extrapolar-se els descrits per a les tan semblants cales menorquines (*vid.* FORNÓS, 2004; FORNÓS et al., 2017; ROSSELLÓ, 2004).

La línia de costa també contribueix a definir l'empremta geomòrfica del sector d'estudi (Figura 2). Els prop de 4 km que separen la punta de na Vermella, al vessant oriental de la gola de cala Anguila, de la punta des Pelats, dins cala Manacor, constitueixen unes alineacions de penyes verticals de 10 a 20 m d'alçària que assoleixen la seva màxima expressió a les timbes de la torre des Falcons, a tocar de cala Manacor, on el penya-segat cau a plom 24 m. A grans trets és un litoral acusadament rectilini, seguint una traça  $045^\circ$  i que FREEMAN et al. (1989) i també SÀBAT et al. (2011) associen a una falla que controla la geometria de la costa oriental de Mallorca. Quan els penya-segats no cauen a plom i a la base hi trobam un perfil tipus rampa (p.ex. punteta des Mal Entrar, es Morret, racó de sa Pedrera) és perquè un tascó de calcarenites bioclàstiques quaternàries apuntala una paret de calcarenites del miocè. Així doncs, la geometria dels penya-segats respon a la presència d'eolianites (paleodunes) adossades als penya-segats lligades a nivells marins més baixos que, tot sovint, han estat explotades com a pedreres.

La linealitat de la costa, sols queda interrompuda en una escala de major detall, per algunes inflexions i concavitats decamètriques i per les entrades majors de cala Murta i cala Manacor. Les primeres, de les que serien exemples na Magrana, es racó de sa Fàbrica, s'Enterrossall de cala Murta, es racó d'es Morro o s'Enterrossall –dins cala Manacor– no són, sinó, res més que petits circs-amfiteatres (de 20 a 40 m de diàmetre), de vegades coalescència de varis d'ells, associats al buidament o a les línies de debilitat que afavoreixen l'erosió diferencial, de paleocol·lapses càrstics que es tractaran amb detall més endavant. Tot sovint al peu dels penya-segats hi apareixen cavitats d'erosió marina (p.ex. cova des Falcons o de sa Torre, cova Baixa, la balma de na Vermella, etc.).

Tant cala Murta com cala Manacor entren ben de ple a l'esquema del concepte geomòrfic de cala, en el sentit que ambdues són penetracions marines, a un litoral carbonatat de caràcter tabular, arran de la inundació eustàtica d'un antic curs fluvial en la morfogènesi de les quals, de més a més del paper de la fracturació distensiva i la carstificació, també hi participen els mecanismes de col·lapse i la dinàmica litoral així com les variacions glacio-eustàtiques del nivell marí, especialment durant el quaternari (ROSSELLÓ, 1995 i 2005). Cala Murta amb els seus 225 m de tirat, una gola de 100 m d'amplària i una amplària mitjana de 45 m com ja s'ha apuntat té un condicionament fractural; mentre que els 1800 m de tirat de cala Manacor –una de les més grans de Mallorca i per ventura de la Mediterrània occidental (*vid.* ROSSELLÓ, 2005; p. 11)–, els 210 m de la seva gola i una amplària mitjana de 100 m i el caràcter meandritzant del seu tirat la ubiquen en la tipologia de cales “fluvio-estructurals”, tot i els retocs que les semidolines o col·lapses donen als falsos meandres de la cala. El retoc d'antuvi des Riuet no permet observar-hi des de 1956 la tipologia de tancament en cordó dunar i estany, pròpia de les grans cales, que segurament s'endinsava terra endins fins posicions properes a les veïnades coves dels Hams; encara ara hom cerca les estructures d'un port romà que se suposa que hi hauria d'haver i al que estaria lligat el derelict de “les llumetes” (MUNAR et al., 2016).

Pel que fa als aspectes climàtics, els voltants de les coves del Drac queden emmarcats en els trets característics del clima mediterrani sec subhúmit. Un marcat estiu eixut i un màxim de precipitació durant la tardor. Les temperatures mitjanes anuals estan al voltant dels 17°C, la temperatura mitjana del mes més càlid es situa entorn als 24°C i la del mes més fred tot just baixa als 10°C (AMENGUAL et al., 2009). Des del punt de vista pluviomètric la precipitació mitjana enregistrada és lleugerament superior als 400 mm i les precipitacions es concentren en els mesos de tardor amb una alta probabilitat d'episodis extrems (AMENGUAL et al., 2009). Tanmateix, a escala interanual, la distribució de les precipitacions és força variable i des que es compta amb estacions meteorològiques, en el context de Manacor i el llevant de Mallorca, s'han destacat quatre períodes secs, a meitat de la dècada dels quaranta, els anys centrals de la dècada dels seixanta, el període comprès entre 1981 i 1984 i el que abasta entre 1998 i 2001 (GRIMALT, 2002).

El paisatge vegetal està molt modificat: la zona més oriental és simplement urbana amb els creixements associats al nucli del Porto Cristo i l'abandonament de l'explotació agrària dels voltants de les coves ha permès que de 1956 s'expandís el pinar (*Pinus halepensis*) i una garriga baixa, a la franja més costanera, on predominen formacions arbustives esclerofil·les, principalment, amb ullaastre (*Olea europea*) i mata (*Pistacia lentiscus*).

## L'entorn geològic

### *Estructura del llevant mallorquí*

L'estructura geològica mallorquina és el resultat de l'orogènia alpina que s'inicià a principis del cenozoic i que culminà en la nostra zona durant el langhià ja al miocè mitjà (GELABERT et al., 1992; SÀBAT et al., 2011). Com a resultat de l'apropament entre les plaques africana i euroasiàtica, bona part dels sediments marins carbonatats depositats durant el mesozoic a l'oceà Tethys foren comprimits, empesos cap el NW i aixecats donant com a resultat el conegut com a Promontori Balear, continuació vers el NE de les serralades Bètiques, del que les Balears en formen la part emergida. Aquesta estructuració d'escurçament resolta a base d'encavalcaments és la responsable dels relleus de les serres (serra de Tramuntana i serres de Llevant, a part d'algunes elevacions a la zona central de l'illa) que impliquen majoritàriament els materials mesozoics i bona part dels cenozoic fins el miocè mitjà. Posteriorment, té lloc un període de distensió (SÀBAT et al., 2011), que modela la fisiografia mallorquina en una sèrie de *horsts* (serres) i *grabens* (conques i depressions), essent aquestes darreres reblertes per la sedimentació terrígena, originada en els processos erosius que afecten els principals relleus, i un important desenvolupament de la sedimentació carbonatada (POMAR et al., 1983; POMAR, 1991; FORNÓS & POMAR, 1983) que dona lloc al desenvolupament de la plataforma tabular de la marina de Lluçmajor i marina de Llevant d'edat miocè superior. És en aquesta plataforma tabular carbonatada, especialment a la zona litoral on el desenvolupament dels processos càrstics adquireix la seva màxima representació en relació a les oscil·lacions del nivell marí.

### *Unitats miocenes de la plataforma de Llevant*

La plataforma carbonatada de Llevant està formada per una sèrie d'unitats que presenten unes característiques sedimentològiques (fàcies) força diferenciades tant des del punt de vista composicional com textural.

La **Unitat d'Esculls** fou definida inicialment per ESTEBAN (1979) i POMAR et al. (1983) en els espectaculars afloraments als penya-segats de la plataforma de Lluçmajor. Està constituïda per bioconstruccions esculloses atribuïdes al tortonià superior-messinià (BIZON et al., 1973), ALVARO et al., 1984; POMAR et al., 1996).

Aquests esculls es disposen horitzontalment formant una plataforma en la que es poden distingir quatre associacions de fàcies principals derivades de la geometria i arquitectura dels esculls. En general correspon a un escull barrera o de franja amb totes les seves fàcies associades: (i) fàcies de llacuna (*lagoon*) o reraescull (*back-reef*), d'extensió cap a terra, (ii) front d'escull o de coralls pròpiament dit, (iii) fàcies de talús i (iv) fàcies de plataforma oberta, aquestes dues darreres en direcció cap a conca oberta.

Les fàcies de la llacuna (*lagoon*) o reraescull (*back-reef*) estan formades per estrats horitzontals limitats per superfícies d'erosió, amb potències que oscil·len entre els 20 cm i els 3 m. A la part més propera a l'escull (lagoon extern o obert) predominen les clapetes de coralls (*patch reefs*), amb diàmetres que poden arribar fins el 10 m. Entre les clapetes d'escull apareix sediment bioclàstic de gra mida arena. La mida de les clapetes i les colònies coral·lines disminueix amb la distància al front de l'escull. Les zones més distals de l'escull (lagoon intern o restringit) es caracteritzen per la presència d'arenas bioclàstiques, amb fragments de mol·luscs i foraminífers bentònics (alveolínids, sorítids i miliòlids). Localment, a les zones més internes, també apareixen sediments fins (*packstone*) amb traces d'arrels verticals (manglars), estromatòlits, crostes edàfiques (calitx) i paleosols. En algunes localitats els sediments llacunars calcaris passen en direcció a terra cap a dipòsits de tipus terrigen-siliciclàstic (argiles, llims i conglomerats) del **Complex Terrigen Marginal** (ESTEBAN, 1979), corresponents a ventalls deltaics i al·luvials.

Les fàcies de front d'escull estan constituïdes per calcàries i dolomies massives amb clara estratificació sigmoidal. El límit superior correspon normalment a una superfície d'erosió que, en direcció a conca, es correlaciona amb una superfície de conformitat. Els principals components són els coralls (*Porites*, *Tarbellastraea*, *Siderastraea*) en posició de vida, algues rodofícies, foraminífers, vermètids, briozous i serpúlids, presentant gran activitat d'organismes perforants (bivalves, cucs i esponges).

Les fàcies de talús es disposen per sota de les fàcies de front d'escull i per sobre les de plataforma oberta, presentant capes inclinades (cliniformes) amb cabussaments que van des de menys de 10° a la part distal fins als 30° a la part proximal. En general presenten una seqüència granocrescent, lligada a l'increment dels components derivats del front d'escull. Els components són principalment fragments de coralls, algues rodofícies (rodòlits), mol·luscs i equinoïdeus. Localment es troben constituïdes per capes de segments d'*Halimeda*.

Les fàcies de plataforma oberta estan formades per calcisilitites blanques fortament bioturbades amb foraminífers planctònics, equinoïdeus, pectínids i ostrèids d'aigües profundes (*Neopycnodonte*). Localment poden contenir abundants rodòlits i/o biostromes d'algues rodofícies. Es disposen en capes mal definides subhoritzontals o amb un suau cabussament cap a conca.

Aquesta unitat seria comparable a les unitats coral·lines (*Reef Unit* o *Reef Complex*) que apareixen a les plataformes carbonatades tortomessinianes marginals de la Mediterrània (ESTEBAN, 1996; POMAR et al., 1996; SAINT MARTIN, 1990; SAINT MARTIN & ROUCHY, 1990; CORNÉE et al., 2004).

Les fàcies biocalcarenítiques carbonatades de la Unitat d'Esculls, poden formar importants aquífers si se situen sobre la unitat del tortonià inferior de **Calcisilitites amb *Heterostegina*** (POMAR et al., 1983), de caràcter menys permeable i no visible en aflorament.

La presència de materials detrítics (margues ocràcies i conglomerats) corresponents a la unitat de **Margues de la Bonanova** (FORNÓS, 1983; FORNÓS & POMAR, 1983), depositats entre els la Unitat d'Esculls i la Unitat de Calcàries de Santanyí, només apareix quan ens aproximem als principals relleus de les serres situats als marges de conca. Cap a conca, aquests dipòsits es correlacionen amb una discontinuïtat (conformitat correlativa intra-messiniana) que els separa dels de la Unitat d'Esculls dels de la unitat de Calcàries de Santanyí (MAS, 2015).

La **Unitat de Calcàries de Santanyí (Complex Carbonàtic Terminal)** definida per FORNÓS & POMAR (1983) es correspon amb el Complex Carbonàtic Terminal d'ESTEBAN (1979, 1996) a nivell de la Mediterrània. La seva potència és variable, sense sobrepassar els 30 m. El seu límit inferior està constituït en els marges de conca per una superfície erosiva desenvolupada sobre les Margues de la Bonanova o el substrat anterior, passant cap a centre de conca a una conformitat correlativa a sostre de la Unitat d'Esculls, mentre que el seu límit superior ho constitueix un canvi bruscat als dipòsits *Lago Mare* o una nova superfície erosiva mitjançant la que se sobreposen els pliocens (MAS, 2015).

Aquesta unitat està relacionada amb la *Crisi de Salinitat Messiniana* i litològicament està composta per dipòsits carbonatats litorals, formats per llims carbonatats, *grainstones* oolítics i microbialites (estromatòlits

i trombòlits). Correspon a una seqüència transgressiva desenvolupada en un ambient restringit de fácies evaporítiques, manglars, llacunes i bancs d'arena (FORNÓS, 1983; FORNÓS & POMAR, 1983). A la zona de la plataforma de Santanyí, la Unitat de Calcàries de Santanyí se situa directament sobre una discontinuïtat intra-messiniana a sostre de la Unitat d'Esculls, que pot estar localment carstificada.

Les fàcies Pont d'Inca (GARCÍA-YAGÜE & MUNTANER, 1968; POMAR et al., 1983) es caracteritzen per una forta diagènesi que afecta localment a sostre les Calcàries de Santanyí, arribant a afectar fins i tot alguns trams erosionats de la Unitat d'Esculls, en forma de forta recristal·lització, nivells de sílex, dissolució i gran porositat, proporcionant uns colors obscurs als materials afectats. Alguns autors (POMAR et al., 1983) indiquen que les fàcies Pont d'Inca podrien estar relacionades amb condicions de hipersalinitat.

La unitat fini-messiniana **Formació ses Olles** (MAS, 2014) i les unitats del Pliocè marí (**Calcisiltites de Son Mir** i **Calcarenites de Sant Jordi**, POMAR et al., 1983) no afloren a la plataforma de Llevant, possiblement com a conseqüència de la forta erosió messiniana (discontinuitat fini-messiniana) i/o erosió posterior.

### ***Estratigrafia i sedimentologia del voltants de les coves del Drac***

Les observacions realitzades als penya-segats, des de la bocana del port de Manacor (punta des Pelats, UTM 528897-4376639) fins a cala Murta (UTM 528535-4375944), conjuntament amb la informació obtinguda a partir de la pedrera Santa Bàrbara (UTM 527912-4376583), ubicada just a 600 m al NW de l'entrada de les coves del Drac, ens permeten establir la estratigrafia dels voltants de la cavitat que en bona part correspon a les fácies de plataforma i talús fins al front d'escull de la **Unitat d'Esculls**.

Localment i de forma sintètica, des del nivell del mar fins a l'altura de les primeres edificacions del casc urbà, es poden observar (Figura 3A):

a) 8-10 m de calcisiltites i calcarenites blanques (*packstone-wackestone*) amb força bioturbació per galeries tipus *Thalassinoides* i algun equinoideu detritívor (Figura 3B). Es disposen en capes mal definides,

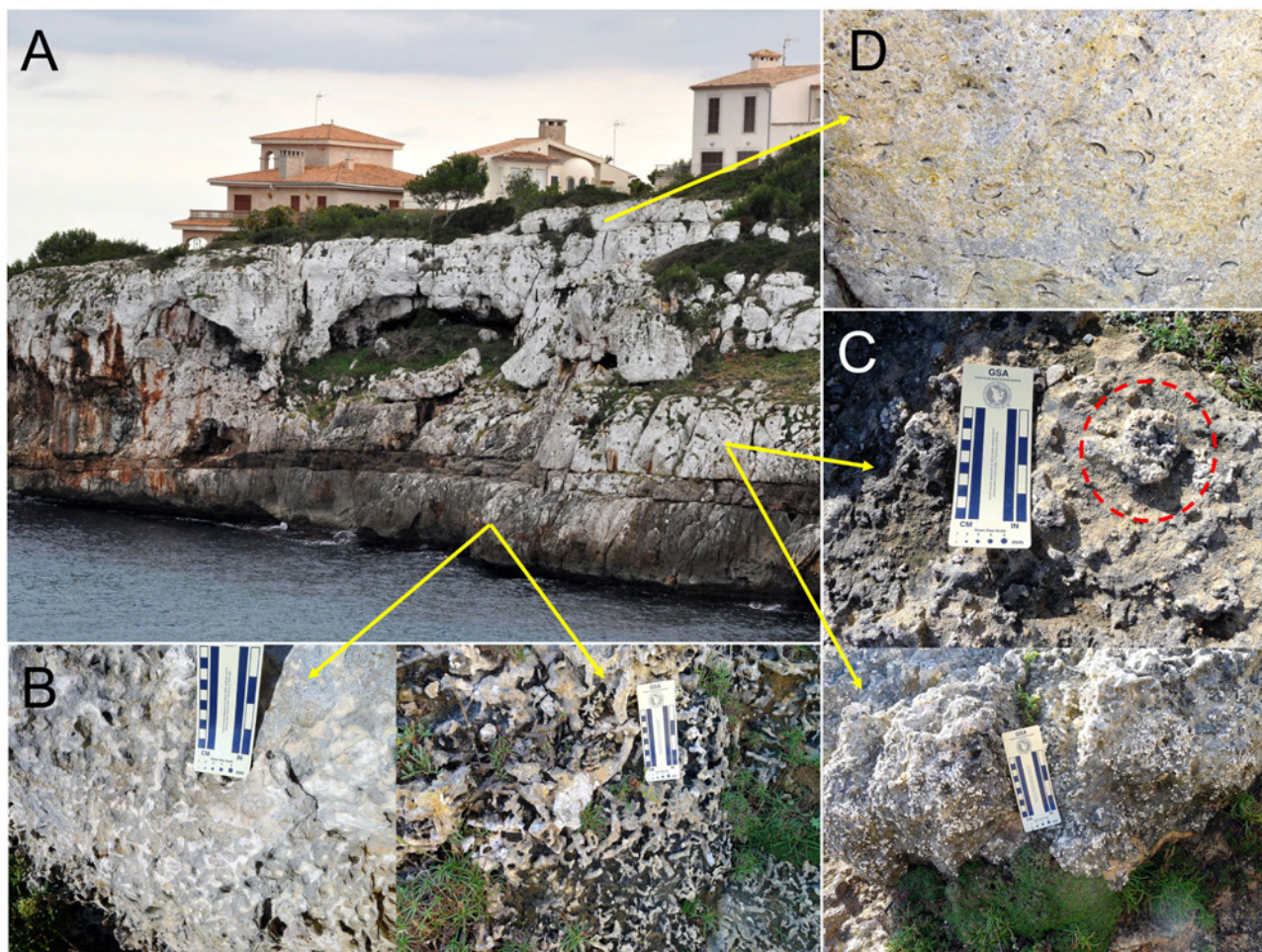


Figura 3: A: Vista general de les fácies de la Unitat d'Esculls al penya-segats del sector de migjorn de la bocana de cala Manacor; B: Detall dels nivells inferiors de plataforma amb forta bioturbació; C: Detall del nivell intermedi de talús amb rodofícies i rodòlits; D: Detall dels nivells superiors proximals amb motlles de bivalves.

Figure 3: A: General view of Reef Unit facies present in the southern entrance cliffs of Cala Manacor; B: Detail of the platform lower levels showing a well-developed bioturbation; C: Detail of the intermediate slope level showing red algae and rhodoliths; D: Detail of the upper proximal levels showing bivalve casts.

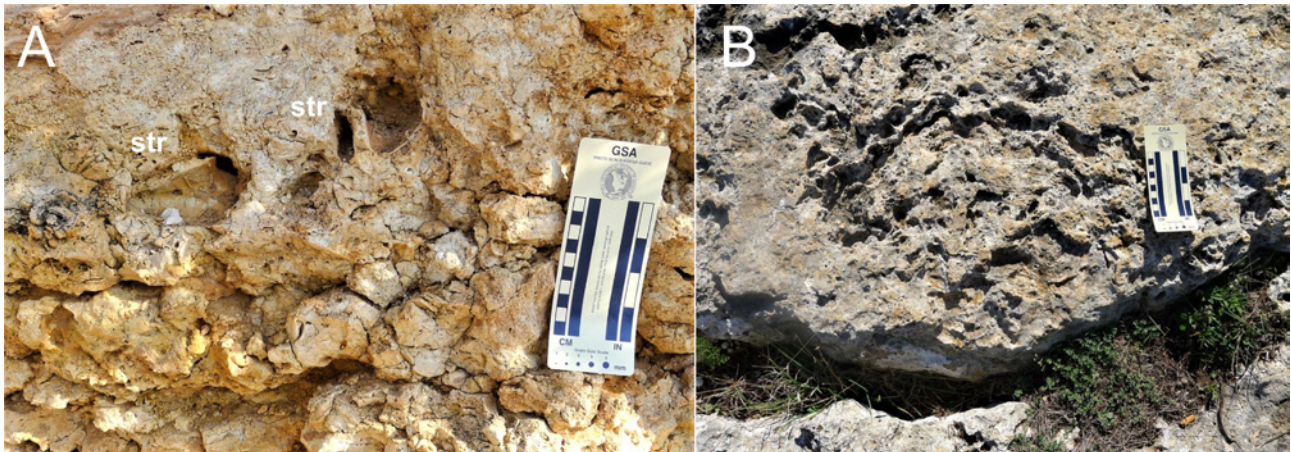


Figura 4: Nivells superiors proximals (front d'escull) de la Unitat d'Esculls. A: Lumaquel·la de motlles de mol·luscs, en la que es poden diferenciar motlles del gasteròpode *Persististrombus coronatus* (Defrance, 1827) (str); B: Corall (*Porites* sp.) aïllat.

Figure 4: Proximal upper levels (reef front) of the Reef Unit. A: Mollusc coquina casts. Notice the presence of *Persististrombus coronatus* (Defrance, 1827) (str) gastropoda; B: Isolated (*Porites* sp.) coral.

subhorizontals o amb suau cabussament (*clinoforms*). La capa superior, d'uns 0,5-0,7 m de potència, presenta forta carstificació amb inclusió de llims vermells i colades, el que fa que sembli millor definida. Corresponen a facies *foramol* de plataforma oberta o talús distal.

b) 4-5 m de calcisiltites i calcarenites (*packstone-grainstone*) amb abundants fragments de rodofícies i rodòlits complets. Contenen equinoïdeus detritívors i alguns bivalves (*Amusium* sp.). Corresponen a facies de talús *rodalgal*.

c) 10 m calcarenites (*grainstone*) amb motlles de bivalves (Figura 3D), que cap a sostre passen cap a una lumaquel·la (*rudstone*) de motlles de mol·luscs (Figura 4A) i fragments d'algues calcàries (Figura 4A), amb presència esporàdica d'alguna colònia de corall (*Porites* sp.) aïllada (Figura 4B). Entre els mol·luscs destaquen principalment els gasteròpodes, com *Persististrombus coronatus* (Defrance, 1827) i els bivalves. Cap a sostre el conjunt es troba fortament afectat per activitat perforadora d'organismes litòfags (*Entobia* isp., *Lithodomus* isp.). Corresponen a facies proximals de màxima energia (front d'escull).

La pedrera Santa Bàrbara, situada un poc més a l'interior que les coves, es troba avui per avui inactiva, però fins fa poc s'hi explotà *marès* blanc del tortonià-messinià (Litotipus T2; MAS, 2017). A la base de la mateixa es pot observar un *marès* format per calcisiltites i calcarenites blanques (*packstone-wackestone*) amb força bioturbació per galeries tipus *Thalassinoides* i algun equinoïdeu detritívor, que es poden correlacionar amb els nivell inferior (a) dels penya-segats.

En conjunt, la sèrie miocena correspon a una seqüència normal regressiva (FSST, *falling-stage systems tract*), desenvolupada per complet durant la deposició de la Unitat d'Esculls, que passa de facies distals profundes (talús-plataforma) a facies proximals de màxima energia del front d'escull. Encara que no observable en la zona d'estudi, aquesta seqüència resta probablement, sobre les **Calcisiltites amb *Heterostegina***.

#### ***Els dipòsits pleistocens (eolianites)***

Un dels fets característics observable a la zona costanera és la presència de pedreres (MAS, 2013) que han estat explotades per a l'extracció de *marès* i que constitueixen els dipòsits més recents de la zona estudiada. Es tracta d'acumulacions presents de forma intermitent de calcarenites depositades per l'acció del vent (eolianites). Encara que són presents en acumulacions relativament importants (racó de ses Pedreres, ses Pedreres (Figura 5), racó des Morro), també són visibles com a pegats incipients que queden després de l'erosió marina a la zona, per exemple, a s'Enterrossall o davall de la torre des Serral dels Falcons, entre d'altres.

Les eolianites estan formades per arenas carbonatades amb mida de gra de fina a gruixada i composta pràcticament en la seva totalitat per bioclasts d'origen marí amb abundants peloides. La presència dels elements terrígens, normalment alguns grans de quars i altres litoclasts carbonatats, es pot considerar testimonial. Aquests dipòsits mostren una marcada laminació mil·limètrica que mostra cabussaments asimptòtics a la base que oscil·len en valors que van des dels 15° als 30°.

L'acumulació eòlica, formada per una calcarenita composta per restes bioclàstiques, mostra una deposició molt condicionada per la morfologia prèvia del basament tal i com ho mostren les estructures sedimentàries presents. Aquest basament, sia el penya-segat, sia la depressió formada per un paleocol·lapse



Figura 5: Eolianites pleistocenes adossades al penya-segat format pels materials del miocè superior a la zona de ses Pedreres.  
Figure 5: Cliff-front pleistocene aeolianites related to the miocene deposits at Ses Pedreres.

miocè, és el condicionant de l'atrapament de l'arena i del desenvolupament de la duna o sistema dunar. La direcció de les laminacions seria molt variable doncs, atenent a la paleotopografia original existent en el moment de la deposició.

A part d'això, puntualment s'hi observen estructures d'arrels i icnites de *Myotragus* que deformen les laminacions. Per similitud amb dipòsits similars que mostren totes les mateixes característiques, i que es localitzen per tot el litoral oriental mallorquí (CLEMMENSEN et al., 2001; FORNÓS et al., 2002, 2009), considerem que aquests dipòsits corresponen al pleistocè superior.

## Paleocarst

Un dels fets més rellevants i a la vegada espectaculars que afecten als dipòsits del miocè superior de la zona oriental de Mallorca, són els paleocol·lapses càrstics (FORNÓS, 1999; GINÉS, 2000; ROBLEDO, 2005). Es tracta del col·lapse de cavitats inicialment formades dins de les facies de la unitat escullosa, preferentment relacionades amb el front escullós o zones amb presència abundant de coralls com puguin ser les del lagoon extern. El col·lapse de les cavitats afavorides per la dissolució preferent de la mineralogia aragonítica dels coralls, que té lloc abans, durant i després de la deposició de les Calcàries de Santanyí, dóna lloc a disposicions molt variables. Aquestes van: (a) des d'una simple flexió (subsidiència) de les capes inferiors de les Calcàries de Santanyí (nivells de manglar i altres nivells margosos i de laminites microbials) i el seu posterior rebliment fossilitzant el depocentre; (b) una flexió similar però amb formació de bretxes amb major o menor desenvolupament; o bé (c) a la bretxificació de tots els nivells implicats, amb la tendència al rebliment de la cavitat subjacent creada.

Al llarg de la costa hi destaquen nombrosos exemples d'aquest procés que tingué lloc al miocè terminal i que són especialment visibles a la zona de Mondragó i a Portocolom (GINÉS, 2000).

A la zona costanera propera a les coves del Drac els fenòmens paleocàrstics hi són evidents (Figura 6). A la zona de s'Enterrossall tota la seqüència miocena aflorant està fortament bretxada. Les bretxes estan formades per grans clastos que presenten un grau d'arrodoniment molt baix i una elevada heterometria,





Figura 6: Els paleocol·lapses càrstics a la zona litoral del les coves de Drac. A: Bretxes monomíctiques al racó des Morro; B: Bretxes degudes al paleocol·lapse i rebliment detrític càrstic posterior a la riba meridional de cala Murta; C: detall de les bretxes associades al paleokarst a la riba septentrional de cala Murta; D: depressió deguda a un paleocol·lapse càrstic, posteriorment reblida per una duna pleistocena al morro de sa Carabassa.

Figure 6: Karst paleocollapses in the littoral area of Coves del Drac. A: Monomictic breccias at Racó des Morro; B: Paleokarst collapse breccia with a posterior detrital karstic filling in the northern walls of Cala Murta; C: Detail of breccias associated to paleokarst features in the northern side of Cala Murta; D: Depression originated by a karstic paleocollapse and subsequently filled by pleistocene aeolianites at Morro de sa Carabassa.

insinuant-se parcialment un lleu encaix en el que seria l'estratificació original (Figura 7). El contacte de les bretxes amb el substrat encaixant no sempre és nítid. Entre les bretxes s'hi observa matriu llimosa vermella probablement resultat de la infiltració posterior de material procedent del sòl. L'estructura més dèbil de la brexificació ha afavorit en aquest punt l'acció erosiva de la dinàmica marina que ha format una petita cala de forma circular que s'endinsa uns 40 m i té una obertura màxima de 25 m. A la zona del racó des Morro hi trobem una altra petita cala també desenvolupada a favor d'un conjunt de paleocol·lapses que afecten també a la zona des morro de sa Carabassa (Figura 6D). En aquest punt, concretament a l'istme que separa el morro, hi trobem una gran depressió causada per un col·lapse molt més important que els descrits anteriorment en el que l'encaix amb el dipòsits del substrat queda clarament delimitat en el seu contacte occidental per una fractura de direcció 135° que marca clarament l'esfondrament del mateix. Aquesta depressió ha estat reblerta posteriorment per una característica duna pleistocena adossada al penya-segat, al racó de sa Pedrera (Figura 6D).

Un cas complex que no hem pogut aclarir, fa referència a la cova des Coloms situada just davall de sa torre de cala Manacor. Encara que des de la mar la forma suggereix la presència d'una cova marina formada per l'erosió diferencial del flanc d'un típic col·lapse intramiocè, com és el cas de les descrites per GINÉS (2000), el fet de la no implicació de les fàcies del Complex Terminal i l'aparent estratificació horitzontal en el que seria el con de depressió (FORNÓS, 1999), ens fan desestimar aquest fet.

A la zona de cala Murta s'hi observen fins a tres paleocol·lapses alineats en la mateixa direcció d'obertura de la cala (125°). En aquest cas es tracta de col·lapses més localitzats amb poc desenvolupament horitzontal que supera escassament els 50 m de diàmetre en planta, encara que algun d'ells mostra una certa coalescència. Estan formats per bretxes monomíctiques (Figura 6C) formades per clastes heteromètrics i subangulosos, que no arriben a ser superiors al metre de diàmetre el més grossos a diferència dels observats al racó des Morro. La presència de matriu formada per llims vermellosos és important, i hi destaca en un d'ells, localitzat a la riba dreta de la cala, un rebliment detrític càrstic posterior important. És freqüent la presència de dipòsits d'espeleotemes.

Un cas molt diferent, i molt més espectacular és el paleocol·lapse que es pot veure a s'Enterrossall de cala Murta (Figura 7A). Descrit per primera vegada per FORNÓS (1991), correspon a un gran col·lapse delimitat parcialment per fractures formades durant l'esfondrament que impliquen a la part superior de la seqüència miocena (el Complex Terminal o Calcàries de Santanyí) en el seu rebliment.

Es tracta d'un aflorament d'uns 60 m de llargada per 45 m d'amplada en planta en el que s'hi observa inclòs dins d'un paquet de bretxes molt heteromètriques una bona part de la seqüència atribuïble al miocè terminal o Calcàries de Santanyí, que no afluïren en tota aquesta zona de cala Manacor. El col·lapse es pot considerar complex, des del punt de vista de la seva formació i evolució, probablement amb més d'una etapa. En una d'elles el col·lapse hauria provocat l'esfondrament de la unitat superior, que mostra una potència aproximada de 9 m, i en la que són visibles amb una bona estratificació lleugerament basculada, les subunitats deposicionals de les Calcàries de Santanyí (complex de manglar, nivells amb estromatòlits i grainstones oolítics amb abundants estructures sedimentàries). Això constitueix un cas excepcional de preservació dins d'un carst dels fenòmens d'erosió d'una seqüència sedimentària.

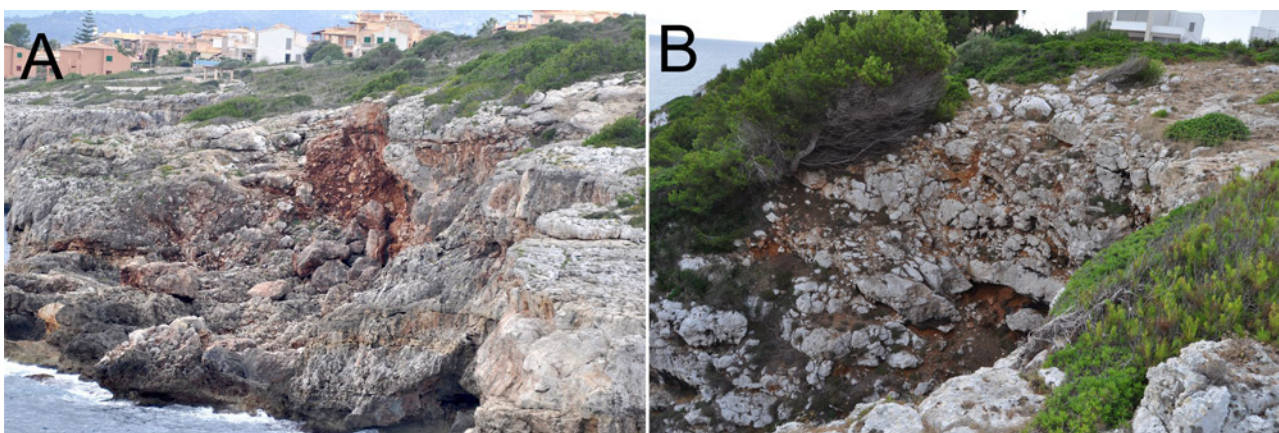


Figura 7: A: S'Enterrossall de cala Murta, correspon a un paleocol·lapse càrstic miocè reblert per la seqüència del Complex Terminal (Calcàries de Santanyí). B: Aspecte de les bretxes de la Unitat d'Esculls a s'Enterrossall.  
 Figure 7: A: S'Enterrossall of Cala Murta, corresponds to a miocene karstic paleocollapse filled by the Terminal Complex sequence (Santanyí Limestones). B: Breccia deposits from the Reef Unit at s'Enterrossall.

## Paràmetres estructurals

Les característiques de les unitats miocenes, que mostren la seva disposició horitzontal original amb un lleuger pendent deposicional progradant cap el SE (140°), no semblen indicar cap tipus de deformació estructural tectònica digna de menció. Malgrat tot, al llarg de tota la zona estudiada s'han pogut observar algunes petites fractures i una abundant diaclasió molt incipient i sense pràcticament cap tipus de desplaçament. Hem de recordar que aquests dipòsits pertanyents al miocè superior són considerats post-tectònics en relació al principal episodi compressiu que va configurar les Balears, amb el seu màxim ocorregut durant el miocè mitjà (langhià). Amb posterioritat, Mallorca només ha sofert fenòmens distensius (SÀBAT et al., 2011), si bé, alguns autors (GIMÉNEZ & GELABERT, 2002; GIMÉNEZ, 2003; MAS et al., 2014) han indicat que a partir del pliocè aquest règim extensiu-distensiu s'hauria acabat i ha estat substituït per nou règim de tipus direccional.

Al llarg de tot el recorregut, especialment a la zona litoral s'han fet mesures de la microtectònica i, quan ha estat possible, també s'han mesurat les alineacions factibles en el traçat, tant de la costa (penya-segats, cales) com del desenvolupament de les galeries i conductes de les coves del Drac, d'acord amb la nova topografia detallada que s'està realitzant (ENSENAT et al., 2018).

A la Figura 8, es poden observar les principals direccions estructurals mesurades a partir de la microfissuració. La direcció predominant és NE-SW, amb una dispersió relativament petita. En línies generals en la geomorfologia de l'àrea d'estudi sembla força clar el control estructural tant de la línia de costa com de les cales, així com en la localització dels paleocol·lapses càrstics (Figura 2).

L'observació de la traça de possibles lineacions en el traçat de la topografia de la cova, sembla també indicar un lleuger control estructural de la mateixa, possiblement més emmascarat pel fet de l'abundància dels esfondraments (GINÉS & GINÉS, 1992, 2007; GRÀCIA, 2015) que formen les sales principals de les coves (Figura 9). Els conductes amb traçats lineals més clars, tots ells en la zona submergida de la cova,

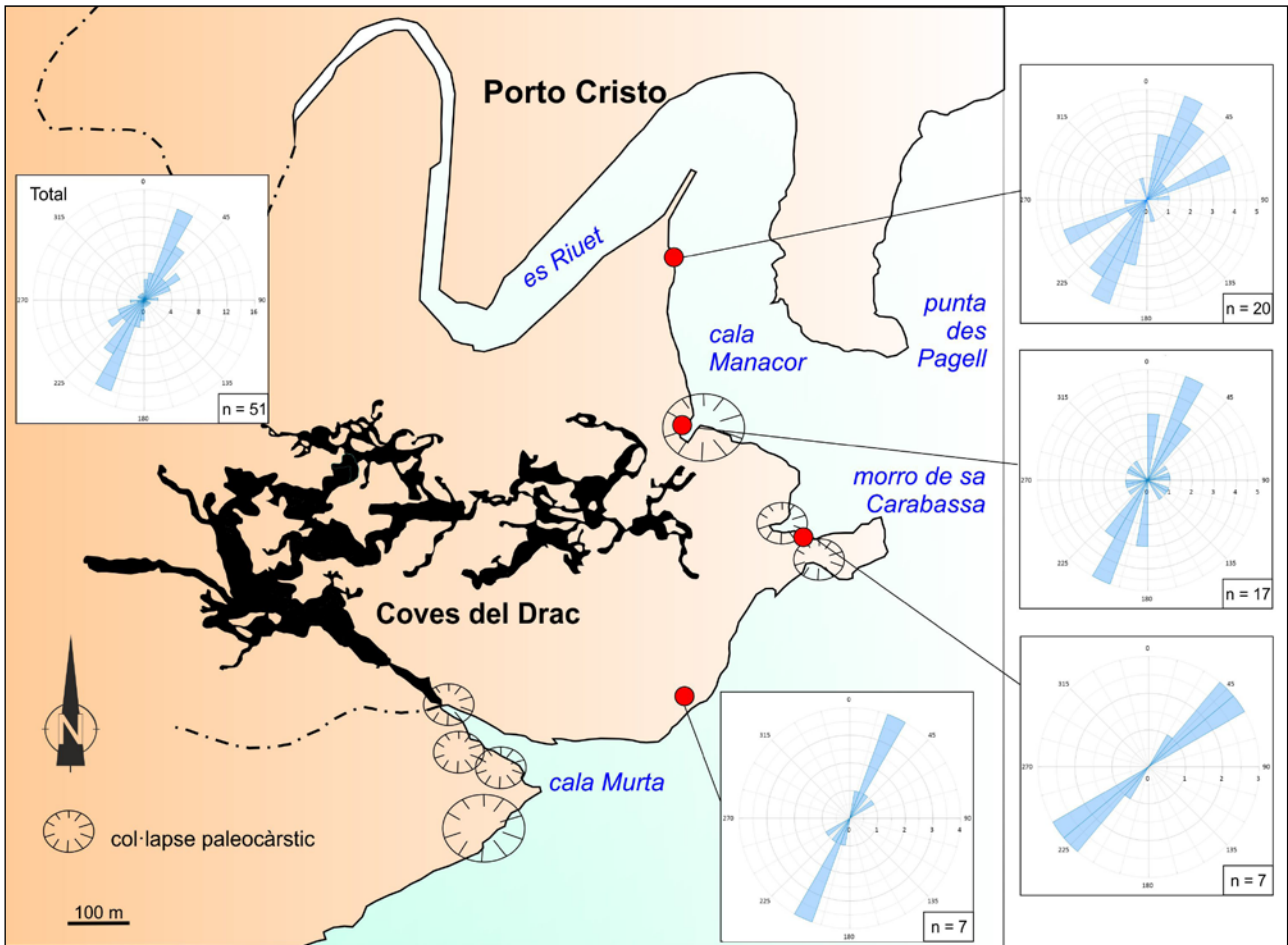


Figura 8: Principals alineacions estructurals predominants del diaclasament i microfracturació observats a la zona de les coves del Drac.  
 Figure 8: Main structural trends of joints and microfracturing present in the surroundings of Coves del Drac.

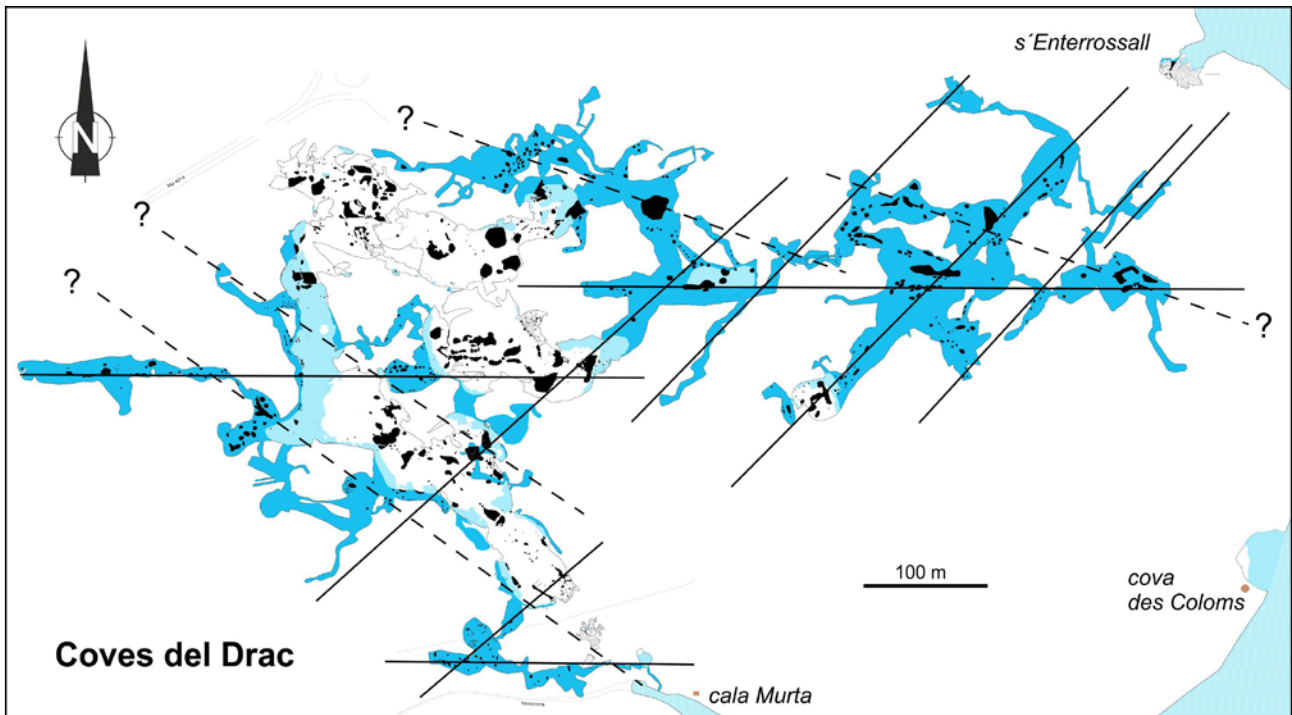


Figura 9: Principals lineacions estructurals deduïbles i suposades mitjançant el traçat geomorfològic de les coves del Drac i zones adjacents.  
 Base topogràfica SEB (Societat Espeleològica Balear).  
 Figure 9: Main deduced structural trends from the geomorphologic outline of Coves del Drac topography and adjacent areas.  
 Topographic base SEB (Societat Espeleològica Balear).

segueixen una marcada direcció NE-SW (045°). La resta del traçat sembla estar lleugerament modulada per un altre grup de lineacions pràcticament perpendiculars a les anteriors (125°) i unes possibles lineacions W-E.

La línia de costa, especialment en el sector més meridional, també presenta un traçat força rectilini de direcció aproximada NE-SW (045°) advocant d'aquesta manera per un control estructural de la mateixa. Basta fixar-se també, a una escala un poc més ampla, amb el traçat del riu del port de Manacor per adonar-se de les ziga-zagues lineals que fa el mateix i que clarament indiquen la importància que segur ha tingut la fracturació, al nivell que sigui, en el seu traçat, direccions que per altre banda coincideixen grosso-modo amb les mesurades.

El mateix passa amb cala Murta, encara que en aquest cas sembla que el seu traçat ve donat per la coalescència de paleocol·lapses càrstics, possiblement també condicionats d'alguna manera per la fracturació prèvia (de direcció 135°); aquesta mateixa direcció coincideix amb la traça que uniria s'Enterrossall amb els col·lapses del racó des morro de sa Carabassa.

## El paper de la geologia en la morfogènesi de les coves del Drac

Resulta evident que qualsevol estudi que vulgui centrar-se en la morfogènesi d'una cavitat càrstica haurà de tenir present els aspectes geològics, tant pel que fa al substrat (quasi sempre carbonatat), com l'estructura i disposició de les diferents unitats sedimentàries sobre les quals s'hi desenvolupa. El paper de la litologia i l'estructura del carst a les coves mallorquines ha estat tractat de forma general (FORNÓS & GELABERT, 2011) però fins a la data, són pocs els estudis centrats en les coves del Drac que hagin tingut present els paràmetres geològics, llevat d'alguns aspectes relacionats amb la composició litològica (i/o química) de la roca o alguna direccionalitat estructural més o menys aparent. Malgrat des del segle XIX ja hi ha treballs científics que descriuen la cavitat, no hi ha cap treball específic que abordi aquest punt més que d'una manera generalista o de passada (*vid.* MARTEL, 1896; FAURA I SANS, 1926; entre d'altres). Ja en època més recent, altres autors hi aporten els trets fonamentals tot tenint en compte els processos espeleogenètics (GINÉS & GINÉS, 1992, 2007; GRÀCIA, 2015;). En aquest mateix sentit, cal destacar l'extens treball sobre l'espeleogènesi de la cavitat de GINÉS et al. (2018).

A part de la importància que té l'estructura, que ja hem comentat anteriorment, cal fer un parell de comentaris addicionals sobre el paper en la morfogènesi de la cavitat de l'estratigrafia i del paleocarst que afecta als materials del miocè superior.

### *Implicacions de l'estratigrafia*

La morfologia actual de la cova sembla no tenir un condicionant litològic clar relacionat amb les característiques texturals i de permeabilitat de la roca, donat el seu estat evolutiu de maduresa en el que predominen les formes degudes als esfondraments dels conductes primigenis afavorits, en darrer cas, pels plans d'estratificació (sempre horitzontals, o seguint una lleugeríssima inclinació deposicional en direcció a la mar) i una feble diaclasació.

En qualsevol cas podem dir que els nivells superiors (sostre) visibles a l'entrada de les coves es corresponen amb fàcies de nivells calcarenítics proximals amb motlles de bivalves (Figura 10A i A') que passen, endinsant-nos en la cavitat, a nivells de talús *rodalgal* amb rodòlits i equinoderms detritívors (Figura 10B i B') amb una mida de gra mitjana lleugerament inferior (calcarenites/calcisiltites). Tanmateix, ambdues unitats presenten una elevada porositat primària, la qual cosa implica una bona permeabilitat.

En aquest sentit cal tenir en compte que les fàcies biocalcarenítics carbonatades de la Unitat d'Esculls poden formar importants aquífers si se situen sobre la unitat inferior menys permeable, com les fàcies calcilitítics de plataforma externa de la mateixa Unitat d'Esculls o la Unitat de Calcisiltites amb *Heterostegina* (tortonià inferior) o altres formacions anteriors de caràcter impermeable (margocalcàries de l'eocè o basament mesozoic), com és el cas que ens ocupa encara que no siguin directament visibles en la zona estudiada però que sí formen part del subsòl on s'hi assenten.

Així, sembla que per damunt del lleuger control de l'estructura, la relativa uniformitat textural de la roca, afavoriria el flux difús tant de la infiltració de l'aigua de precipitació, com l'escolament regional subterrani de l'aquífer miocè (GINÉS et al., 2018). La presència d'una estratificació d'ordre mètric, també marcaria els principals punts de debilitat que permeten entendre el procés d'espeleogènesi de la cova.

### *Implicacions del paleocarst*

A l'interior de les coves del Drac, al contrari del que passa clarament a la costa on els paleocol·lapses càrstics hi són ben evidents, no s'ha pogut constatar ni s'hi han trobat evidències de la seva presència,

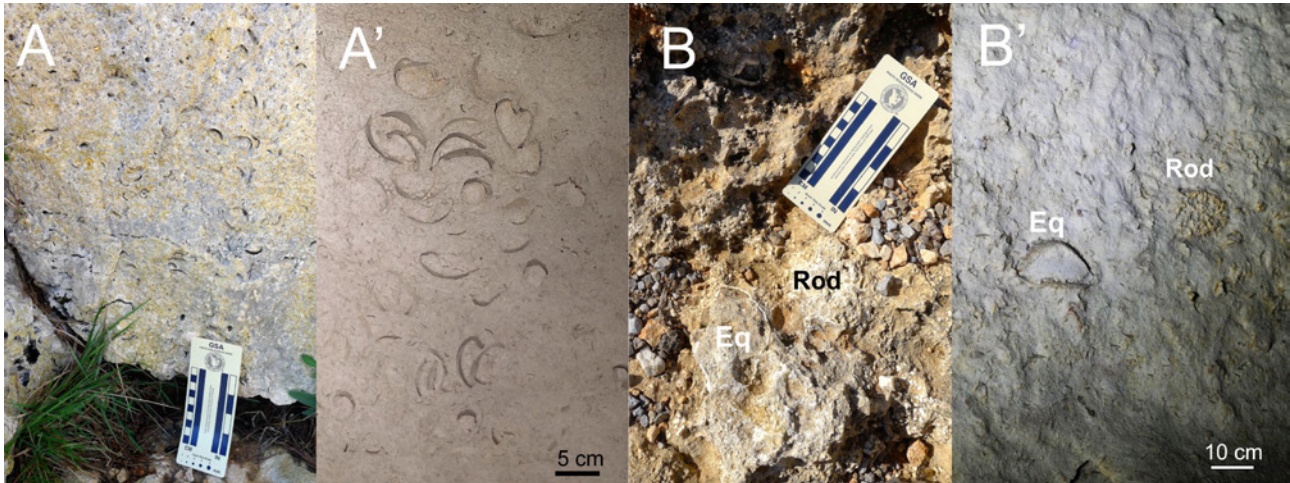


Figura 10: Correlació de fàcies observades als penya-segats (A, B) amb les observades al sostre de l'entrada de les coves del Drac (A', B'), corresponents a fàcies proximals amb motlles de bivalves (A, A') i fàcies de talús *rodalgal* amb rodòlits (rod) i equinoïdeus (eq) (B, B').  
 Figure 10: Relation of the observed facies at the cliff littoral outcrops (A, B) and the ones present at the Coves del Drac entrance, showing the proximal facies with bivalve casts (A, A') and the slope rhodalgal facies with rhodoliths (rod) and echinoderms (eq) (B, B').

sia en forma de dipòsits de bretxes, sia en el basculament i/o deformació de les capes del miocè. A la zona litoral en canvi, els paleocol-lapses modelen clarament la morfologia de detall de la costa, donant evidents endinsades (“enterrossalls”), i controlant clarament la formació i, especialment, el desenvolupament de les cales (cala Murta, racó des Morro, racó de sa Pedrera) i, de retruc part dels processos sedimentaris posteriors durant el pleistocè (Ses Pedreres).

Malgrat tot, una visió global de la topografia de la cova sembla suggerir, al menys en la seva etapa d'espeleogènesi primerenca, un condicionament del flux subterrani, afavorit per la diaclasació i per unes direccions preferents de circulació probablement condicionades per la major porositat que presenten les bretxes dels paleocol-lapses miocens. Aquest fet sembla evident tant a la zona de s'Enterrossall, cap a on semblen dirigir-s'hi tant la *galeria dels Domassos* com la *galeria Despullada*, com la continuació de la *cova dels Francesos* en direcció cap el Dolç de cala Murta. Malgrat tot, les característiques del conductes originals, de forma probable, queden finalment desdibuixats per la progressió evolutiva de la cavitat en el seu estadi de maduresa amb la creació de grans sales per la migració per esfondrament dels conductes en la vertical (GINÉS et al., 2018).

## Agraïments

El present treball s'emmarca dins del projecte d'investigació del MINECO, CGL2016- 79246-P (AEI-FEDER, UE). Un agraïment molt especial per als propietaris, gestors i personal de les coves del Drac per les grans facilitats i amabilitats dispensades en tot moment durant el temps que ha durat la nostra recerca dins i fora de la cova. Agraïm a Ana Entrena i Joaquín Ginés els comentaris i suggeriments que de ben segur han millorat el text final, així com a Josep Juárez l'ajuda en la determinació d'algunes de les espècies de mol·luscs i a Miquel Àngel Gual, Juan José Ensenyat, Vicenç Pla i Biel Santandreu per les localitzacions compartides.

## Bibliografia

- ALVARO, M.; BARNOLAS, A.; DEL OLMO, P.; RAMÍREZ DEL POZO, J. & SIMÓ, A. (1984): El Neógeno de Mallorca: Caracterización sedimentológica y bioestratigráfica. *Boletín Geológico y Minero*, 95(1): 3-25.
- AMENGUAL, A.; BERGAS, P. & RIERA, I. (2009): *Escenaris de biodiversitat a Manacor*. Manacor, Ajuntament de Manacor. 72 pp.
- BIZON, G.; BIZON, J.J.; BOURROUILH, R. & MASSA, D. (1973): Présence aux îles Baléares (Méditerranée Occidentale) de sédiments “messiniens” déposés dans une mer ouverte à salinité normale. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série D*, 277(12): 985-988.

- CLEMMENSEN, L.B.; LISBORG, T.; FORNÓS, J.J. & BROMLEY, R. (2001): Cliff-front aeolian and colluvial deposits, Mallorca, Western Mediterranean: a record of climatic and environmental change during the last glacial period. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 48: 217–232.
- CORNÉE, J.J.; SAINT MARTIN, J.P.; CONESA, G.; MÜNCH, P.; ANDRÉ, J.P.; SAINT MARTIN, S. & ROGER, S. (2004): Correlations and sequence stratigraphic model for Messinian carbonate platforms of the western and central Mediterranean. *International Journal of Earth Sciences*, 93: 621–633.
- ENSEÑAT, J.J.; GRÀCIA, F.; GINARD, A.; MASCARÓ, G.; SANTANDREU, G.; PÉREZ, J.; TRIAS, M.; FERNÁNDEZ, J.F.; BOVER, P.; CIRER, A.; PLA, V.; LÁZARO, J.C.; VICENS, D.; ANSALDI, D.; BASCUÑANA, F.X.; CLAMOR, B.; LOZANO, A.; PERELLÓ, M.À.; GUAL, M.À.; VIVES, M.À.; GAVIÑO, B.; GAMUNDÍ, P.; BONNÍN, M.; GRANELL, Á.; BETTON, N.; FRANGLÉN, N. & BORNEMANN, D. (2018): Nou plànol topogràfic de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca). *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 1: 65–76. Palma.
- ESTEBAN, M. (1979): Significance of the upper Miocene coral reefs of the Western Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 29: 169–188.
- ESTEBAN, M. (1996): An overview of Miocene reefs from Mediterranean areas: general trends and facies models. In: FRANSEEN, E.K.; ESTEBAN, M.; WARD, W.C. & ROUCHY, J.M. (eds.) *Models for Carbonate Stratigraphy from Miocene Reef Complexes of Mediterranean Regions*. SEPM, Tulsa, Oklahoma, USA. Concepts in Sedimentology and Paleontology Series, 5: 3–53.
- FAURA I SANS, M. (1926): *Cuevas de Mallorca*. XIV Congreso Geológico Internacional, Excursión C-5. Instituto Geológico de España. Gráficas Reunidas, S.A. 78 pàgs + 10 làms. fotos + 4 plànols. Madrid.
- FORNÓS, J.J. (1983): *Estudi sedimentològic del Miocè terminal a l'illa de Mallorca*. Tesina de Llicenciatura. Universitat de Barcelona. 228 pp.
- FORNÓS, J.J. (1991): La Unitat Calcàries de Santanyí (Miocè superior) a la zona de Cala Murta (Marina de Llevant, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 34: 33–40.
- FORNÓS, J.J. (1999): Karst collapse phenomena in the Upper Miocene of Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean). *Acta Geologica Hungarica*, 42(2): 237–250.
- FORNÓS, J.J. (2004): Morfologia costanera i processos litorals: el paper de la fracturació i el carst. In: FORNÓS, J.J.; OBRADOR, A. & ROSSELLÓ, V.M. (eds.) *Història Natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'influx humà*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 11: 201–212. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears.
- FORNÓS, J.J. & GELABERT, B. (2011): Condicionants litològics i estructurals del carst a les Illes Balears. *Endins*, 35: 37–52. Palma.
- FORNÓS, J.J. & POMAR, L. (1983): Mioceno superior de Mallorca: Unidad calizas de Santanyí (“Complejo terminal”). In: POMAR, L.; OBRADOR, J.; FORNÓS, J.J. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. (eds.), *El Terciario de las Baleares (Mallorca - Menorca)*. Guía de las excursiones. X Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 1983. Grupo Español de Sedimentología. Palma de Mallorca, 177–206.
- FORNÓS, J.J.; BROMLEY, R.; CLEMMENSEN, L.B. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. (2002): Tracks and trackways of *Myotragus balearicus* Bate (Artiodactyla, Caprinae) in Pleistocene aeolianites from Mallorca (Balearic islands, western Mediterranean). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 180: 277–313.
- FORNÓS, J.J.; CLEMMENSEN, L.B.; GÓMEZ-PUJOL, L. & MURRAY, A.S. (2009): Late Pleistocene carbonate aeolianites on Mallorca, Western Mediterranean: a luminescence chronology. *Quaternary Science Reviews*, 28: 2697–2709.
- FORNÓS, J.J.; GÓMEZ-PUJOL, L.; ROSSELLÓ, V.M.; GELABERT, B.; SEGURA, F.; & PARDO-PASCUAL, J.E. (2017): Karst, acantilados y cales en el Migjorn de Menorca. In: GÓMEZ-PUJOL, L. & PONS, G.X. *Geomorfología litoral de Menorca: dinàmica, evolució i pràctiques de gestió*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 25: 283–296. Palma.
- FREEMAN, R.; SÀBAT, F.; LOWRIE, W. & FONTBOTÉ, J.M. (1989): Palaeomagnetic results from Majorca (Balearic Islands, Spain). *Tectonics*, 8: 591–608.
- GARCIA-YAGÜE, A. & MUNTANER, A. (1968): *Estudio hidrogeológico del llano de Palma*. Ministerio de Obras Públicas. D.G.O.P. i S.G.O.P. 3 toms. Madrid.
- GELABERT, B.; SÀBAT, F. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1992): A structural outline of the Serra de Tramuntana of Mallorca (Balearic Islands). *Tectonophysics*, 203: 167–183.
- GIMÉNEZ, J. (2003): Nuevos datos sobre la actividad post-Neógena en la Isla de Mallorca. *Geogaceta*, 33: 79–82.
- GIMÉNEZ, J. & GELABERT, B. (2002): *Análisis de la actividad tectónica reciente en la isla de Mallorca*. III Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica, Valencia, Vol 1: 390–394.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1992): Las Coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes históricos y espeleogenéticos. *Endins*, 17–18: 5–20. Palma.
- GINÉS, A. & 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, J. (2000): *El karst litoral en el Levante de Mallorca: una aproximació al conocimiento de su morfogènesis y cronología*. Tesis Doctoral. Universitat de les Illes Balears. 595 pp.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (2018): Aspectes històrics i bibliogràfics de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca). *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 1: 21–47. Palma.

- GINÉS, J.; GINÉS, A.; GRÀCIA, F. & 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.
- GÓMEZ-PUJOL, L.; GELABERT, B.; FORNÓS, J.J.; PARDO-PASCUAL, J.E.; ROSSELLÓ, V.M.; SEGURA, F. & ONAC, B.P. (2013): Structural control on the presence and character of cales: observations from Balearic Islands limestone rock coasts macroforms. *Geomorphology*, 194: 1-15.
- 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. Inèdit.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; GAMUNDÍ, P.; FORNÓS, J.J. & VICENS, D. (2011): Relació genètica i hidrològica entre coves, cales i altres entrants al Migjorn de Mallorca *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 54: 161-176. Palma.
- GRIMALT, M. (2002): Sequeres a Manacor i llevant de Mallorca (1941-2001). *El segle XX a Manacor: II Jornades d'Estudis Locals de Manacor*: 131-146. Manacor, Ajuntament de Manacor.
- GUIJON, M. & CABRER, M.A. (2005): Recull toponímic en el municipi de Manacor. In: FERRER, A. & SALAS, M. (coords.) *Espai, fet urbà i societat a Manacor*. III Jornades d'Estudis Locals. Ajuntament de Manacor, 393-408, Manacor.
- MARTEL, E.A. (1896): Sous Terre (neuvième campagne). Cueva del Drach, a Majorque - Scialets du Vercors - Chouruns de Dévoluy. *Ann. Club Alpin Français*, 23ème année. 368-413 + 1 plànol. París.
- MAS, G. (2013): La pedra de marès de Manacor: patrimoni natural i cultural. In: FERRER, A. & SALAS, M. (coords.) *(Manacor. Fets i Protagonistes VI)*. Ajuntament de Manacor. pp 443-465.
- MAS, G. (2014): Definició i caracterització de la Formació ses Olles (Lago Mare, Messinià terminal) a l'illa de Mallorca (Illes Balears, Mediterrània occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 6: 209-231. Palma.
- 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.
- MAS, G. (2017): Hacia una tipología de la piedra de marés de Mallorca. Concepto, caracterización y estratigrafía. *Boletín Geológico y Minero. Monográfico Piedra Natural: Geología, economía, medio ambiente y patrimonio arquitectónico*, 128(2): 301-328.
- MAS, G.; GELABERT, B. & FORNÓS, J.J. (2014): Evidencias de desplazamiento direccional de la falla de Sencelles (Mallorca, Islas Baleares). In: ÁLVAREZ-GÓMEZ, J.A. & MARTÍN GONZÁLEZ, F. (eds.): *Una aproximación multidisciplinar al estudio de las fallas activas, los terremotos y el riesgo sísmico. Segunda reunión ibérica sobre fallas activas y paleosismología, Lorca (Murcia, España)*. pp. 47-50.
- MUNAR, S.; DE JUAN, C.; MARTÍN, A. & RODRÍGUEZ, J. (2016): Ses llumetes: Excavación arqueológica subacuática de una nave romana del siglo I d.C. en la playa de Porto Cristo. In: ANGLADA, M.; RIERA, M. & MARTÍNEZ, A. (coords). *VII Jornades d'Arqueologia de les Balears*. Maó, 30 de setembre i 1 i 2 d'octubre de 2016: 217-224. Maó, Consell Insular de Menorca.
- POMAR, L. (1991): Reef geometries, erosion surfaces and high frequency sea-level changes, Upper Miocene Reef Complex, Mallorca, Spain. *Sedimentology* 38, 243-269.
- POMAR, L.; ESTEBAN, M.; CALVET, F. & BARÓN, A. (1983): La Unidad Arrecifal del Mioceno superior de Mallorca (Itinerario D). In: POMAR, L.; OBRADOR, J.; FORNÓS, J.J. & RODRÍGUEZ-PÉREA, A. (eds.) *El Terciario de las Baleares (Mallorca - Menorca)*. Guía de las excursiones, X Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 1983. Grupo Español de Sedimentología, 139-175.
- POMAR, L.; WARD, W. C. & GREEN, D.G. (1996): Upper Miocene Reef Complex of the Lluçmajor area, Mallorca, Spain. In: FRANSEEN, E.; ESTEBAN, M.; WARD, W.C. & ROUCHY, J.M. (eds.). *Models for Carbonate Stratigraphy from Miocene Reef Complexes of the Mediterranean regions*. SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology Series, 5: 191-225.
- ROBLEDÓ, P.A. (2005): *Los paleocolapsos kársticos en las plataformas carbonatadas del Mioceno superior de Mallorca: análisis geográfico, genético, geológico y evolutivo*. Tesi Doctoral. Universitat de les Illes Balears.
- ROSSELLÓ, V.M. (1995): Les cales, un fet geomòrfic epònim de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 38: 167-180.
- ROSSELLÓ, V.M. (2004): El litoral i les cales. In: FORNÓS, J.J., OBRADOR, A. & ROSSELLÓ, V.M. (eds). *Història Natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'influx humà*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 11: 177-200. Palma.
- ROSSELLÓ, V.M. (2005): Cala, una mesoforma litoral: concepte, models i aproximació morfomètrica. *Cuadernos de Geografía*, 77: 1-18.
- SÀBAT, F.; GELABERT, B.; RODRÍGUEZ-PÉREA, A. & GIMÉNEZ, J. (2011): Geological structure and evolution of Majorca: Implications for the origin of Western Mediterranean. *Tectonophysics*, 510: 217-238.
- SAINT MARTIN, J.P. (1990): Les formations récifales coralliennes du Miocène supérieur d'Algérie et du Maroc. *Mém. Museum Histoire Naturelle Paris*. Sciences de la Terre, 56.
- SAINT MARTIN, J.P. & ROUCHY, J.M. (1990): Les plates-formes carbonatées messiniennes en Méditerranée occidentale: leur importance pour la reconstitution des variations du niveau marin au Miocène terminal. *Bull. Soc. Géol. France*, 6: 83-94.



