

NOVES OBSERVACIONS SOBRE L'ESPELEOGÈNESI EN EL MIGJORN DE MALLORCA: ELS CONDICIONANTS LITOLÒGICS EN ALGUNS GRANS SISTEMES SUBTERRANIS LITORALS

per Joaquín GINÉS ^{1,2}, Àngel GINÉS ^{1,2}, Joan J. FORNÓS ¹, Francesc GRÀCIA ^{1,3} i Antoni MERINO ⁴

Resumen

El endokarst desarrollado en los materiales calcáreos del Mioceno superior de las Baleares es bastante más heterogéneo y complejo, en lo que respecta a su morfogénesis, de lo que se postuló hace ya algunas décadas. Ciñéndonos al ámbito geográfico de Mallorca, la exploración reciente de grandes sistemas subterráneos en los municipios de Manacor y Lluçmajor ha introducido nuevas perspectivas, en lo que respecta a las características morfológicas y la génesis de las cuevas de la región kárstica del Migjorn. En el presente trabajo se procede a efectuar una detallada discusión sobre la espeleogénesis en estas áreas litorales de nuestra isla, poniendo especial atención en el papel desempeñado por los condicionantes geológicos en la configuración de las cavidades resultantes. También se exponen, a título comparativo, los rasgos específicos de la endokarstificación en las rocas del Mioceno superior de las otras islas del archipiélago balear.

Las observaciones efectuadas en la Cova de sa Gleda y, sobre todo, en la Cova des Pas de Vallgornera ponen de manifiesto un control muy estricto de la litología sobre el patrón de estas grandes redes subterráneas y sus morfologías de detalle. Concretamente, se constata una dicotomía muy clara entre las salas y pasajes generados en las facies de frente arrecifal, con abundantes corales, y las galerías excavadas en las facies de lagoon, de permeabilidad mucho más baja; en las primeras predominan las grandes salas de colapso, mientras que en las segundas dominan las galerías de disolución sometidas a un fuerte control estructural.

La excepcionalidad de la Cova des Pas de Vallgornera, con un desarrollo actual que supera los 55.000 m y unos rasgos morfológicos únicos en nuestro ámbito geográfico, permite ilustrar a la perfección el papel clave de los condicionantes geológicos en la génesis de esta singular cueva. Asimismo, esta localidad plantea evidencias de una espeleogénesis pluricausal en la que, además de la karstificación litoral, estarían implicadas la alimentación hídrica meteórica y una posible recarga de origen hipogénico. La morfogénesis del endokarst del Migjorn de Mallorca muestra una realidad cada vez más compleja que apenas llega a ser esbozada en estas páginas, abriéndose unas perspectivas futuras de investigación de considerable amplitud.

Abstract

Regarding to its morphogenesis, the endokarst developed on the Upper Miocene carbonate rocks of the Balearic archipelago is much more heterogeneous and complex than postulated some decades ago. Within the geographical frame of Mallorca Island, the recent exploration of great underground systems in Manacor and Lluçmajor municipalities has supplied new insights on the genesis and morphological characteristics of the abundant caves existing in the Migjorn karst region. A detailed discussion on speleogenesis in this littoral area of the island is performed in this paper, paying special attention to the role of geological factors in the configuration of the resultant caves. The specific trends of endokarst in the Upper Miocene rocks from the other islands of Balearic archipelago are also exposed for comparison.

The observations carried out in Cova de sa Gleda and, specially, in Cova des Pas de Vallgornera put forward a very strict control of the lithological characteristics on the pattern of these extensive cave systems and their morphological features. In short, a very sharp dichotomy exists between the passages and chambers formed in the reef front facies, where abundant corals are present, and those galleries excavated in the lagoon facies, which show a very lower permeability. In the former the big collapse chambers are dominant, whereas in the latter the solutional passages with a strong structural control are the ruling tendency.

Cova des Pas de Vallgornera is an exceptional cave, with a current development longer than 55,000 m, showing a morphological assemblage unique in Mallorca that perfectly illustrates the key-role of geological factors in its genesis. Furthermore, this cave seems to contain evidences of a multi-causal speleogenesis embracing, besides the coastal karstification, a noticeable meteoric water recharge together with a possible basal recharge of hypogenic origin. Morphogenesis of endokarst in the Migjorn region of Mallorca Island displays a reality of increasing complexity, which merely has been outlined in this paper; the future investigation perspectives are certainly very wide and variegated.

1 Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Palma de Mallorca.

2 Grup Espeleològic EST. Palma de Mallorca.

3 Grup Nord de Mallorca (GNM). Pollença, Mallorca.

4 Grup Espeleològic de Llubí. Llubí, Mallorca.

Introducció

La carstificació de la plataforma calcària del Llevant i Sud de Mallorca ha estat objecte d'interès des de les darreries del segle XIX. De fet, una de les espectaculars cavitats subterrànies que es desenvolupen en aquests materials carbonatats del Miocè superior –concretament les Coves del Drac, al municipi de Manacor– fou documentada molt d'hora per viatgers i erudits com l'Arxiduc Lluís Salvador d'Àustria (HABSBURG-LOTHRINGEN, 1884) o GAY & CHAMPSAUR (1885), autors que descriuen la seva notable bellesa i justifiquen el seu origen en l'acció de les aigües subterrànies conjuminada amb l'existència de dislocacions de l'escorça terrestre, encara que també fan esment de l'influx marí perceptible en els nombrosos llacs de la cavitat. Les Coves del Drac foren explorades i estudiades detingudament, amb posterioritat, per part d'Edouard-Alfred Martel, personatge considerat un autèntic pioner de l'espeleologia europea. Aquest investigador francès elaborà una detallada descripció i topografia de la cavitat (MARTEL, 1896), en la qual propugnava l'actuació exclusiva de les aigües marines com a factor explicatiu en la formació d'aquesta important cova mallorquina: “... *Tout ceci démontre amplement que la caverne du Dragon est en somme une grotte marine, mais d'exceptionnelle étendue ... Aussi est-ce la mer, et non pas une rivière souterraine qui paraît avoir creusé la Cueva del Drach ... dans ces conditions, les grosses tempêtes introduisent aisément, le long des plans d'interstratification, les vagues qui peuvent alors élargir, par corrosion et érosion, toutes les fissures de la roche ...*”

A partir d'aquells moments, es va anar produint una literatura relativament abundant que fa referència a la gènesi de les Coves del Drac en particular i, més en general, a l'espeleogènesi en tota la regió càrstica del Migjorn de Mallorca, tal i com es defineix a GINÉS & GINÉS (1989). Encara que sigui molt breument, per tal de començar a situar aquestes qüestions, serà necessari fer esment d'algunes etapes clau en l'evolució de les idees sobre la formació de les cavitats naturals de les rodalies de Portocristo. Cal citar, en primer lloc, alguns treballs apareguts al llarg del primer terç del segle XX, que posen en qüestió de manera oberta la gènesi estrictament marina –argumentada per MARTEL (1896, 1903), en ocupar-se de les Coves del Drac– proposant en canvi diverses modalitats d'excavació per part de les aigües subterrànies continentals (MAHEU, 1912; FAURA y SANS, 1926; DARDER, 1930). Durant les dècades posteriors, serà habitual que es vagin reproduint, a la literatura naturalística del moment, les idees exposades durant la primera meitat del segle XX en relació amb l'indubtable origen càrstic de les Coves del Drac i les Coves dels Hams. No obstant això, també es poden trobar encara al·lusions a un possible origen marí d'aquestes cavitats subterrànies –tot resseguint les antigues argumentacions de Martel–, sobretot en publicacions de caire turístic i/o periodístic.

Cal esperar a la dècada dels 90 del segle passat per trobar referències que aportin noves dades sobre l'espeleogènesi de les Coves del Drac, com a exponent paradigmàtic de l'endocarstificació en els materials del Miocè superior del Migjorn i Llevant de Mallorca.

En aquest sentit, al treball de GINÉS & GINÉS (1992) s'efectua una revisió històrica exhaustiva de les idees que han estat exposades sobre la gènesi d'aquesta important cova, al temps que es proposa un nou model explicatiu on es contempla la seva formació en la zona de mescla litoral. Posteriorment, les importants exploracions subaquàtiques realitzades en coves litorals de la regió càrstica del Migjorn han permès precisar encara més els trets morfològics de les coves d'aquesta part de l'illa (GRÀCIA & CLAMOR, 2002; GRÀCIA *et al.*, 2000, 2003, 2005, 2006, 2007a), facilitant en gran mesura les generalitzacions sobre els mecanismes espeleogenètics implicats.

Els darrers anys, la investigació detallada d'algunes cavitats ja conegudes del sud i llevant de l'illa ha suposat l'exploració dels sistemes espeleològics més extensos de Mallorca: la Cova de sa Gleda, al municipi de Manacor (GRÀCIA *et al.*, 2007b), i la Cova des Pas de Vallgornera, a Lluçmajor (MERINO *et al.*, 2006, 2007, 2008), ambdós desenvolupats en els dipòsits postorogènics miocens i amb uns recorreguts subterranis que superen amb escreix els 10.000 i 55.000 m respectivament. Aquestes troballes recents han aportat noves perspectives sobre l'espeleogènesi a la regió càrstica del Migjorn, temàtica que serà abordada de bell nou en el present treball, dedicant particular atenció al paper que juga el factor litològic en l'organització dels sistemes endocàrstics costaners.

Marc teòric i conceptual dels processos espeleogenètics costaners

L'interès pels mecanismes que han participat en la formació de les coves existents a les illes carbonatades –i a les àrees litorals en general– és relativament recent i es remunta, a tot estirar, a la segona meitat del segle XX. Els primers treballs que s'ocupen amb detall de les morfologies peculiars de les coves litorals tenen lloc dins l'àmbit geogràfic caribenc, centrant-se tant en les àrees costaneres de Cuba (NÚÑEZ-JIMÉNEZ, 1967) com, sobretot, a l'arxipèlag de les Bahames tal i com es recull a la recent revisió del tema feta per MYLROIE & MYLROIE (2007). Al mateix temps, el caràcter excepcional d'algunes localitats de l'illa de Mallorca, com les ja referides Coves del Drac, propicià línies de treball que s'interessaven en l'endocarst de la regió del Migjorn i, concretament, en aspectes morfològics i evolutius lligats a la presència de llacs hipogeus d'aigües salabroses (GINÉS & GINÉS, 1975, 1977, 1987).

Amb la incorporació continuada de noves informacions procedents d'altres zones geogràfiques, es pot afirmar que avui en dia els coneixements sobre l'espeleogènesi en els ambients litorals és quantitativa i qualitativament important, tal i com veurem cap a la part final d'aquest apartat. Emperò abans d'entrar en matèria, i encara que el nostre objecte d'interès sigui l'endocarstificació litoral, s'ha considerat imprescindible dedicar algunes planes a situar de manera adequada

el marc conceptual en el que han anat evolucionant les teories espeleogenètiques, fins a arribar a les formulacions actuals. En aquest sentit, una exhaustiva revisió històrica d'aquestes qüestions pot ser consultada a LOWE (1992), essent necessari també fer esment de l'existència d'una important monografia (KLIMCHOUK *et al.*, 2000) que consolida l'espeleogènesi —és a dir els processos de formació de cavitats subterrànies— com a un objecte específic d'investigació dins del conjunt de l'estudi del carst.

EVOLUCIÓ GENERAL DE LES TEORIES ESPELEOGENÈTIQUES

Durant el primer quart del segle XX, les investigacions sobre el carst estan centrades en aspectes geomorfològics i hidrogeològics molt generals, relacionats (entre d'altres qüestions) amb l'adequació de les idees sobre el cicle d'erosió, proposades pel geòleg nordamericà W.M. Davis, a l'evolució geomorfològica dels territoris calcaris. Des del punt de vista de la formació de les cavitats càrstiques, aquesta època està presidida per una important controvèrsia —origen vadós *versus* origen freàtic—, que apareix ben documentada a les obres de recapitulació coordinades per SWEETING (1981) i per WHITE & CULVER (2007). Dintre d'aquesta controvèrsia, els investigadors europeus es trobaven familiaritzats amb carsts de muntanya mitjana o alta, i interpretaven les cavitats existents com a sistemes de conductes que funcionen com a autèntics rius subterrànies (MARTEL, 1921) els quals flueixen, dins una zona vadosa molt dinàmica, des dels punts d'infiltració de les aigües superficials fins a les surgències; aquests plantejaments negaven la presència d'una autèntica zona freàtica o saturada en els massissos càrstics, on tots els buits existents es trobessin ocupats per les aigües subterrànies en relació amb un determinat nivell de base. Contràriament, les àrees càrstiques estudiades pels geomorfòlegs americans (de relleu moderat i situades en uns contextos geològics ben diferents que els dels països circummediterranis) contenien extenses xarxes subterrànies excavades inequívocament en condicions freàtiques, malgrat que haguessin experimentat amb posterioritat una més o manco perllongada evolució morfo-sedimentària en la zona vadosa del carst (DAVIS, 1930; BRETZ, 1942).

Arribats a mitjans del segle XX, les idees espeleogenètiques de l'escola nordamericana —i, per extensió, dels territoris anglosaxons— relacionaven l'origen de les xarxes espeleològiques amb les lleis generals que governen la hidrologia subterrània, mantenint-se encara un cert grau de discussió sobre si les condicions dels fluxos subterrànies corresponien a rutes freàtiques profundes o es limitaven a la franja més superficial de la zona saturada (SWINNERTON, 1932). En aquest sentit, RHOADES & SINACORI (1941) postulaven la possible coexistència d'ambdós patrons de flux dins del mateix aqüífer, observant-se una evolució en el temps que parteix d'unes condicions freàtiques profundes fins arribar a una circulació epifreàtica en les proximitats de les surgències, a mesura que van progressant els processos de dissolució i eixamplament de conductes. Les investigacions desen-

volupades per aquesta escola estableixen amb claredat que l'excavació de les coves es troba en tot moment controlada pel drenatge superficial contemporani, de tal forma que es possible establir correlacions entre nivells abandonats de galeries freàtiques i antigues terrasses de sistemes fluvials (DAVIES, 1960). Segons aquest autor, l'excavació freàtica inicial dels conductes ve seguida normalment per una evolució més o manco complexa i dilatada en la zona vadosa del carst, essent factible reconèixer morfologies i sediments específics relacionats amb la seva història morfogènica desenvolupada diacrònicament en ambdues zones hidrogeològiques.

La preocupació creixent per interpretar la disposició en planta de les grans xarxes espeleològiques, permeté a PALMER (1975) distingir dos patrons bàsics de cavitats subterrànies: el *dendrític* i el *laberíntic*. La presència d'un o un altre patró vindrà condicionada per factors bàsicament hidrogeològics, en concret pel caràcter de la recàrrega de l'aqüífer. Per a aquest autor, les xarxes de planta dendrítica es corresponen amb una alimentació hídrica molt focalitzada (presència de dolines i engolidors a la superfície), ja sigui autòctona o fins i tot al·lòctona. En canvi, les coves laberíntiques es relacionen amb els valors extrems del rang de velocitats del flux de les aigües subterrànies; aquests valors extrems poden correspondre ja sigui a una infiltració molt difusa (velocitats de flux baixes) o, contràriament, a situacions topogràfiques i/o geològiques concretes on tenen lloc postes en càrrega dels aparells hidrogeològics durant moments de creixuda.

Un important pas qualitatiu dins el pensament espeleogènic actual ve donat per l'aportació de FORD & EWERS (1978), autors que analitzen la disposició de les xarxes subterrànies centrant-se en la seva component vertical, i relacionant els patrons tridimensionals de les cavitats amb els condicionants geològics i hidrològics. Les idees formulades estableixen diversos estadis pel que fa a la quantitat de discontinuïtats de la massa rocosa susceptibles de ser utilitzades per les aigües subterrànies (la *frequència de fissuració*), paràmetre que s'incrementa amb el factor temps. Aquest desenvolupament teòric, basat sobretot en localitats britàniques, integrada en un únic marc coherent les controvèrsies prèvies respecte de la gènesi vadosa, freàtica o epifreàtica dels sistemes espeleològics. De fet en un mateix sistema podran coexistir alguns sectors generats en la zona vadosa amb d'altres excavats en condicions freàtiques i, en aquest darrer cas, l'evolució en el temps de la frequència de fissuració afavorirà el canvi des d'una espeleogènesi freàtica profunda cap a una excavació epifreàtica dels conductes més moderns.

Ja a les acaballes del segle XX, PALMER (1991) publica un treball clau on desenvolupa i completa les idees exposades alguns anys abans (PALMER, 1975). Aquest investigador nordamericà continua interessat-se pels patrons planimètrics de les cavitats subterrànies, elaborant una matriu de doble entrada que té en consideració el caràcter de la recàrrega de l'aqüífer (meteòrica, ja sigui concentrada o difusa, profunda...) i el control geològic de tipus litològic-estructural (permeabilitat basada en la fracturació, en l'estratificació, o en la porositat intergranular). En la publicació que ens ocupa es fa una interessant distinció —que anirà consolidant-se en

el futur— entre l'espeleogènesi *epigènica* (relacionada amb la participació del CO₂ procedent de l'atmosfera o el substrat edàfic) i l'espeleogènesi *hipogènica*, en la qual el potencial de dissolució té un origen no atmosfèric (aportacions de H₂S, CO₂ d'origen profund, termalisme, processos de mescla en general...). L'actuació dels factors al·ludits més a dalt es materialitza en cinc patrons de coves, que es corresponen amb combinacions específiques dels dos condicionants principals: recàrrega i porositat. Els tipus de cavitats distingits per PALMER (1991, 2000) són: a) dendrític (*branchwork*), b) laberíntic anastomósat (*anastomotic maze*), c) laberíntic sobre fractures (*network maze*), d) esponjiforme (*spongework*), i e) ramiforme (*ramiform*). Al llarg del present treball es tractaran i descriuran algunes d'aquestes tipologies —en particular les tres darreres— en ocupar-nos dels sistemes espeleològics del Migjorn de Mallorca. Aquestes idees han experimentat reformulacions i desenvolupaments addicionals força complexos (PALMER, 2007), que apareixen reproduïts a la Figura 1.

Un aspecte comú, que es troba present a totes les formulacions teòriques sobre els mecanismes espeleogenètics, és la influència gairebé determinant dels condicionants geològics en la formació de les cavitats subterrànies (KLIMCHOUK & FORD, 2000). Aquesta influència abraça des de qüestions estrictament litològiques, com són la porositat primària o les característiques mineralògiques de la roca encaixant, fins al paper de les discontinuïtats de la roca (plans d'estratificació, fracturació...) en l'organització del drenatge subterrani. Dins d'aquesta línia, algunes investigacions recents posen de relleu que, freqüentment, els gran sistemes espeleològics es desenvolupen a favor d'unes poques discontinuïtats de la massa rocosa, que constitueixen horitzons preferencials on s'inicien els processos espeleogenètics. Es tracta del que es coneix actualment com a *inception horizons* (LOWE, 2000; LOWE & GUNN, 1997), els quals bàsicament s'estableixen en discontinuïtats estratigràfiques importants, on es generen els primers sistemes de protocavitats que ulteriorment evolucionaran cap a xarxes eficients de drenatge subterrani.

L'estudi de l'endocarst durant el darrer quart del segle XX, està marcat pel reconeixement de processos espeleogenètics molt particulars, però a la vegada bastant generalitzats, que estan relacionats amb la dissolució de la roca calcària per fluids d'origen profund que donen lloc a una agressivitat no meteòrica de les aigües (presència de H₂S, termalisme...); es tracta de l'espeleogènesi *hipogènica*, esmentada ja de passada en referir-nos als treballs de PALMER (1991, 2000). En aquest sentit, els exemples d'algunes cavitats molt singulars —com les existents a les Guadalupe Mountains (New Mexico, USA)— permeten reconèixer el gran abast de l'espeleogènesi ocasionada per l'àcid sulfúric, procedent de l'oxidació de fluids que contenen H₂S provinent, al seu torn, de jaciments propers d'hidrocarburs (EGEMEIER, 1981; HILL, 1990). Per altra banda, l'espeleogènesi associada a fenòmens de termalisme ha estat reconeguda i documentada amplament a partir dels carsts centreeuropeus (DUBLYANSKY, 2000, 2005). Totes aquestes qüestions es troben adequadament sistematitzades a una monografia recent (KLIMCHOUK, 2007) on es passa revista a les diferents modalitats del

que es denomina *hypogene speleogenesis*, concepte que abraça la formació de coves mitjançant processos espeleogenètics diversos (des de l'oxidació de H₂S fins a l'excavació de cavitats lligada al refredament d'aigües termals), en aquífers en els que s'observa una alimentació hídrica basal —siguin de caràcter confinat o no— en lloc d'una recàrrega d'origen meteòric. Fent referència així mateix a la carstificació hipogènica, convé deixar constància que, en el seu treball més recent, PALMER (2007) inclou les coves de la zona de mescla costanera —a les quals ens referirem més endavant— dins la categoria de les coves hipogèniques (Figura 1), donat que la seva excavació no es relaciona amb una agressivitat derivada de processos superficials controlats per la participació del CO₂ d'origen atmosfèric i/o edafològic. En aquestes pàgines, l'ús que farem de l'adjectiu *hipogènic* s'adaptarà als plantejaments de KLIMCHOUK (2007) donant-li així un contingut exclusivament hidrogeològic, que no implica cap lligam amb un o altre mecanisme responsable de l'agressivitat de les aigües subterrànies.

Les tendències més recents dins els estudis espeleogenètics es decanten per la modelització —sobretot numèrica— de la hidrogeologia dels aquífers càrstics i l'evolució de les xarxes subterrànies, amb la finalitat de corroborar i donar solidesa a les assumpcions derivades de l'observació directa de l'endocarst. Uns exemples adients d'aquestes tendències estan representats pels treballs inclosos a PALMER *et al.* (1999), així com per l'excel·lent monografia de DREYBRODT *et al.* (2005)

L'ESPELEOGÈNESI A LES ÀREES LITORALS

Centrant-nos ja en les coves dels territoris litorals (Taula I), no és fins a la dècada dels 70 del passat segle que es comença a reconèixer l'especificitat del comportament geoquímic de la zona de mescla entre les aigües dolces meteòriques i les aigües marines (PLUMMER, 1975), tenint en compte, de més a més, que els mecanismes espeleogenètics convencionals no són capaços d'explicar satisfactòriament les peculiaritats de les cavitats presents a les illes calcàries. Gairebé al mateix temps, es dona un creixent interès per la carstificació litoral en general, aspecte que es manifestarà més endavant en la presència de capítols concrets sobre la matèria en els principals manuals de geomorfologia càrstica (JENNINGS, 1985; FORD & WILLIAMS, 1989).

L'agressivitat associada a la zona de mescla litoral fou argumentada per PALMER *et al.* (1977) a l'hora d'explicar la gènesi de les coves de les Bermudes, així com per BACK *et al.* (1984) en interpretar alguns trets de la geomorfologia litoral de la península del Yucatán (Mèxic). Partint de la base d'aquests treballs, i com a resultat d'una intensa tasca d'investigació dirigida als fenòmens endocàrstics de les Bahames, MYLROIE & CAREW (1990) exposaren un model espeleogenètic que explica la formació de coves de dissolució freàtica a la franja litoral de les illes calcàries: és el tipus de cavitat que es passarà a conèixer internacionalment com a *flank margin caves*, denominació derivada del fet que aquestes coves es desenvolupen en el marge distal de la lent d'aigua dolça existent a les illes carbonatades, justament sota els flancs perifèrics dels territoris emergits.


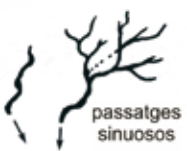
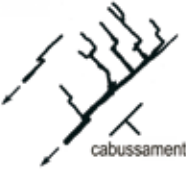
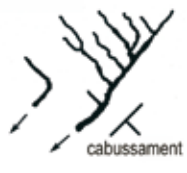












		PATRÓ GENERAL DE LA COVA	CARÀCTER ESTRUCTURAL DE LA ROCA			
			fractures	junes d'estratificació	porositat intergranular	
TIPUS DE RECÀRREGA	DEPRESSIONS CÀRSTIQUES	dolines (petites fluctuacions de la descàrrega)	<p>Cursos subterranis actius de planta dendrítica, normalment en múltiples nivells. També estan presents coves actives formades per una única galeria. Els passatges vadosos solen seguir el cabussament de les capes. Les galeries són sinuoses en roques ben estratificades i angulars en roques fortament fracturades.</p>	<p>cabussament suau</p>  <p>passatges angulars</p>	 <p>passatges sinuosos</p>	<p>ramals amb escassos tributaris</p>
		engolidors de corrents superficials (grans fluctuacions de la descàrrega)	<p>Cursos subterranis actius toscament dendrítics, o formats per una única galeria, amb xarxes anastomosades adjacents i morfologies d'injecció hídrica associades a crescudes. Algunes s'han generat al llarg de terrasses de rius, voreres de pantans o llacs.</p>	<p>cabussament acusat</p>  <p>cabussament</p>	 <p>cabussament</p>	<p>poden dispersar-se en obertures impenetrables</p>
	DIFUSA	engolidors de corrents superficials (grans fluctuacions de la descàrrega)	<p>Cursos subterranis actius toscament dendrítics, o formats per una única galeria, amb xarxes anastomosades adjacents i morfologies d'injecció hídrica associades a crescudes. Algunes s'han generat al llarg de terrasses de rius, voreres de pantans o llacs.</p>	 <p>laberints i fissures superposades sobre galeries actives</p>	 <p>laberints anastomosats</p>	<p>laberints espongiformes (rars)</p>
		a través de roques insolubles suprajacents o subjacents	<p>Extenses xarxes reticulars, sistemes de pous-canyons, o zones de porositat, segons l'estructura de la roca. Les coves es concentren just sota la base de la roca insoluble.</p>	 <p>fissures, laberints reticulars</p>	 <p>arenisca complexos de pous i canyons; dissolució a la part superior de la roca soluble</p>	 <p>arenisca buits de dissolució; les coves penetrables són rares</p>
		en roques solubles poroses o fracturades	<p>Epicarst and xarxes reticulars somes en roques fracturades, formades per recàrrega dispersa a través de totes les fissures. Cavitats espongiformes rudimentàries en roques poroses.</p>	 <p>epicarst</p>	<p>les coves penetrables son rares; amb cabussaments acusats, les juntes d'estratificació es comporten com a fractures</p>	<p>petits pous i esclèxes; la majoria es converteixen en petits porus eixamplats per dissolució</p>
		zones de mescla costaneres o profones	<p>Coves espongiformes i toscament ramiformes en les calcàries litorals poroses. Xarxes reticulars i fissures aïllades en zones de mescla profones.</p>	 <p>fissures disperses, moltes d'elles cegues, mineralitzades</p>	 <p>coves espongiformes 2-D</p>	<p>coves espongiformes, toscament ramificades</p>
		aigües termals (mesclades amb aigües meteòriques)	<p>Xarxes irregulars de fissures. És possible l'eixamplament de les juntes d'estratificació, però amb fissures estenent-se per davall. Coves espongiformes en roques poroses.</p>	 <p>xarxes irregulars de fissures</p>	<p>secció</p>  <p>juntes d'estratificació eixamplades són intersectades per fissures disperses</p>	<p>coves espongiformes</p>
		àcid sulfúric en zones d'oxidació de H ₂ S	<p>Laberints reticulars irregulars, coves espongiformes 2-D i 3-D. Poden estar presents també grans sales disperses. En els trespols normalment s'obren fissures. Algunes coves contenen corrents hídrics actius.</p>	 <p>laberints reticulars, algunes fissures aïllades</p>	 <p>patrons ramiformes i espongiformes 2-D</p>	<p>patrons espongiformes 3-D i ramiformes</p>

Figura 1: Sistematització dels patrons de les coves càrstiques en funció del tipus de la recàrrega hídrica i les característiques estructurals de la roca. Els patrons de les cavitats estan representats en planta, excepte aquells casos colorats en marró clar. Reproduït per cortesia de Arthur N. Palmer, del seu llibre "Cave Geology" (2007).

Figure 1: Summary of cave patterns in relation to the type of groundwater recharge and structural character of the rock. Cave patterns are shown in map view, except those shaded in light brown colour. Reproduced by courtesy of Arthur N. Palmer, from his book "Cave Geology" (2007).

El model establert per MYLROIE & CAREW (1990) té en consideració l'agressivitat pròpia de les zones de mescla que es produeixen a l'esmentada lent d'aigua dolça, emfatitzant en particular els processos de dissolució freàtica litoral lligats a la interfase entre les aigües dolces i les aigües marines subjacents. Les coves així generades tenen una estructura peculiar en forma de sales més aviat amples, disposades marginalment al llarg de la línia de costa, les quals es perllonguen escassament cap a l'interior mitjançant conductes menors i petits buits bastant ramificats que arriben a fer-se impenetrables. En els treballs realitzats pels esmentats autors queda patent en tot moment la subordinació de l'espeleogènesi al control imposat per la posició altimètrica del nivell marí (MYLROIE, 1983; MYLROIE & CAREW, 1988), amb la seva complexa història de fluctuacions glacioeustàtiques. La formació d'aquest tipus de coves càrstiques litorals –les *flank margin caves*– pot ser molt ràpida, havent-se documentat exemples excavats en tan sols uns quants milers d'anys en eolianites quaternàries (MYLROIE & CAREW, 1986); cal afegir que aquests mecanismes espeleogenètics han estat descrits a partir d'illes constituïdes per roques calcàries molt recents (del Quaternari o, en tot cas, neògenes), les quals es troben en una fase immadura de litificació i estan dotades sempre d'una elevada porositat primària.

Les investigacions desenvolupades a les Bahames i les Bermudes, juntament amb les efectuades en altres entorns insulars oceànics (Illa de Mona, Illes Marianes...), portaren a l'elaboració d'un model de carstificació en les illes calcàries, que contempla diferents disposicions de les roques carbonatades i del basament no carstificable (MYLROIE & CAREW, 1997, 2000). Aquest model (CIKM = *Carbonate Island Karst Model*) ha anat evolucionant amb el temps fins a assolir la formulació actual en quatre tipologies –que es pot consultar a JENSON *et al.* (2006) i MYLROIE & MYLROIE (2007)– la qual contempla la presència o no de basament impermeable, juntament amb diferents disposicions de les roques carbonatades en relació amb l'esmentat basament. Tots els casos estudiats se situen en un context de carstificació *eogenètica* (VACHER & MYLROIE, 2002) de materials carbonatats d'elevada porositat i litificació immadura, en contraposició als carsts *telogenètics* desenvolupats en roques calcàries que han sofert importants i dilatats processos de diagènesi.

La formació de cavitats en les zones costaneres dels continents han merescut també atenció, sempre en íntima relació amb les investigacions desenvolupades a les illes calcàries, emperò contemplant els trets diferencials –sobretot hidrogeològics– que la major extensió de les àrees càrstiques confereix a l'espeleogènesi litoral. Cal esmentar, per exemple, els treballs recents de SMART *et al.* (2006) sobre els gran sistemes subaquàtics del Yucatán, o les investigacions de FLOREA *et al.* (2007), que s'ocupen de l'endocarst de la península de Florida, distingint diferents nivells d'excavació de conductes en relació amb l'evolució quaternària del nivell marí. En tots els casos està admès el paper geoquímic rellevant de la zona de mescla entre aigües marines i continentals, reconeixent-se processos d'excavació actius associats a les zones d'haloclines.

EL CARST LITORAL DE MALLORCA

Fent referència de manera explícita al carst costaner de Mallorca, els treballs publicats sobre espeleogènesi són relativament escassos fins a les darreries del segle passat (Taula I). Deixant de banda les publicacions històriques de MARTEL (1896, 1903), que consideraven les Coves del Drac com a un fenomen litoral ja que se li atribuïa un origen estrictament relacionat amb l'erosió marina (GINÉS, 1999), les cavitats de l'àrea de Portocristo són contemplades amb posterioritat des de l'òptica de la carstificació convencional. Així, diferents autors proposen la seva excavació per part de les aigües subterrànies continentals que circulen cap a la costa, en forma de rius subterranis més o manco tumultuosos (MAHEU, 1912; DARDER, 1925, 1930); no obstant això, en tots els casos es fa patent la influència de la proximitat a la línia de costa, evidenciada per la presència de llacs d'aigües salabroses controlats pel nivell marí (RODÉS, 1925). Dins d'una línia semblant, encara que quelcom més encertada, FAURA Y SANS (1926) parla de l'actuació de corrents d'aigües subterrànies, a la vegada que argumenta l'acció dissolvent conjunta de les infiltracions i les aigües marines, posant l'accent així –tal vegada de manera una mica casual– en l'especificitat que suposa el caràcter litoral dels processos de carstificació que han tingut lloc.

Algunes dècades més tard, en diverses publicacions sobre coves del llevant de l'illa es posa l'èmfasi en el paper dels processos de reajustament mecànic de les voltes i parets de les cavitats (GINÉS & GINÉS, 1976, 1987; TRIAS & MIR, 1977), que pràcticament arriben a desmantellar uns buits inicials excavats en condicions freàtiques. Aquests processos queden en molt de casos fortament emmascarats per una exuberant decoració d'espeleotemes.

Cal esperar a la dècada dels 90 per trobar una discussió crítica sobre l'espeleogènesi de les famoses Coves del Drac, feta des d'una perspectiva històrica (GINÉS & GINÉS, 1992), on s'adapten a l'àmbit geogràfic del llevant i migjorn de Mallorca els coneixements generats a les illes del Carib. En aquest treball es proposa un model evolutiu per a les cavitats de la regió càrstica del Migjorn –tal i com fou definida a GINÉS & GINÉS (1989)– on es contemplen unes fases espeleogenètiques inicials, desenvolupades en condicions freàtiques a la zona de mescla litoral, seguides per processos de col·lapse generalitzat dels sòtils i parets de les coves que, a la vegada, s'intercalen amb episodis de deposició d'espeleotemes; tot això resulta condicionat i controlat en tot moment per la complexa història de les fluctuacions del nivell marí al llarg del Quaternari (Figura 2). Aquestes idees apareixen exposades i complementades en un treball posterior on s'esbossa una classificació genètica de les coves de Mallorca (GINÉS, 1995), així com en un estudi monogràfic dedicat a posar al dia els coneixements disponibles sobre el carst litoral del llevant de l'illa (GINÉS, 2000b).

Durant els darrers anys, els progressos en l'exploració subaquàtica de les coves litorals mallorquines han anat aportant un enorme bagatge de dades morfològiques, hidrològiques i espeleocronològiques (GRÀCIA *et al.*, 1997, 1998a, 1998b, 2000, 2001, 2003,

2005, 2006, 2007a; TUCCIMEI *et al.*, 2006), que permeten tenir una visió molt més acurada de la disposició tridimensional de les cavitats, dels trets morfològics dominants, de la seva extensió real i dels límits cronològics

on s'emmarca l'evolució de l'endocarst. Així mateix, les exploracions en la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor) anaven convertint aquesta localitat en una de les coves més importants de Mallorca, allora que aportaven

any	<i>bibliografia internacional</i>	<i>bibliografia Migjorn de Mallorca</i>
1896		Coves del Drac formades per erosió marina (MARTEL, 1896)
1912		Coves dels Hams excavades per un riu subterrani (MAHEU, 1912)
1925-1930		gènesi de les cavitats de Portocristo deguda a l'acció d'aigües subterrànies (DARDER, 1925; FAURA Y SANS, 1926)
1975	agressivitat de la zona de mescla entre aigües marines i continentals (PLUMMER, 1975)	
1976-1977	agressivitat de la zona de mescla en l'espeleogènesi de les Bermudes (PALMER <i>et al.</i> , 1977)	excavació freàtica de les coves de les rodalies de Portocristo (GINÉS & GINÉS, 1976; TRIAS & MIR, 1977)
1983	comencen les publicacions sobre la morfogènesi de les coves de les Bahames (MYLROIE, 1983; MYLROIE & CAREW, 1986)	
1984	agressivitat de la zona de mescla com a explicació d'alguns trets de la geomorfologia litoral del Yucatán (BACK <i>et al.</i> , 1984)	
1987-1989	les cavitats costaneres de les Bahames com a indicadores de paleonivells marins del Pleistocè superior (MYLROIE & CAREW, 1988)	definició de la regió càrstica del Migjorn i les seves característiques morfogèniques (GINÉS & GINÉS, 1987; 1989)
1990	model espeleogenètic basat en les coves de les Bahames: <i>Flank margin cave model</i> (MYLROIE & CAREW, 1990)	
1992		model genètic de les Coves del Drac basat en l'excavació litoral en la zona de mescla (GINÉS & GINÉS, 1992)
1995		classificació genètica de les coves de Mallorca (GINÉS, 1995)
1997	model que explica l'espeleogènesi en illes carbonatades: <i>Carbonate Island Karst Model</i> (MYLROIE & CAREW, 1997, 2000)	primera exploració subaquàtica rellevant en el carst del Migjorn: la Cova des Coll (GRÀCIA <i>et al.</i> , 1997)
2000-2006	evolució del <i>Carbonate Island Karst Model</i> , fins a contemplar quatre diferents situacions possibles (JENSON <i>et al.</i> , 2006; MYLROIE & MYLROIE, 2007)	exploracions subaquàtiques importants en l'endocarst del Migjorn; reconeixement de la rellevància dels processos de col·lapse i observació de dissolució en haloclines (GRÀCIA <i>et al.</i> , 2000 - 2007; GINÉS & GINÉS, 2007)
2006-2008	estudis recents sobre l'espeleogènesi a zones litorals del continent americà, com Yucatán i Florida (SMART <i>et al.</i> , 2006; FLOREA <i>et al.</i> , 2007)	exploració d'una extensa xarxa subterrània en la Cova des Pas de Vallgornera (~ 56 km), amb una morfogènesi força complexa (MERINO, 2000, 2006; MERINO <i>et al.</i> , 2006, 2007, 2008; GINÉS <i>et al.</i> , 2008)

Taula I: Evolució cronològica del coneixement sobre la morfogènesi endocàrstica a les àrees litorals, tant a escala internacional com a escala local. En groc s'indiquen les publicacions antigues sobre coves de Mallorca, mentre que en blau i en verd es ressalten, respectivament, les fites bibliogràfiques recents a nivell internacional i local.

Table I: Chronological evolution of the knowledge about the endokarstic morphogenesis in coastal areas, both at an international and local scale. The ancient publications on Mallorcan caves are shaded in yellow, whereas in blue and green are pointed out the relevant recent contributions at an international and local level respectively.

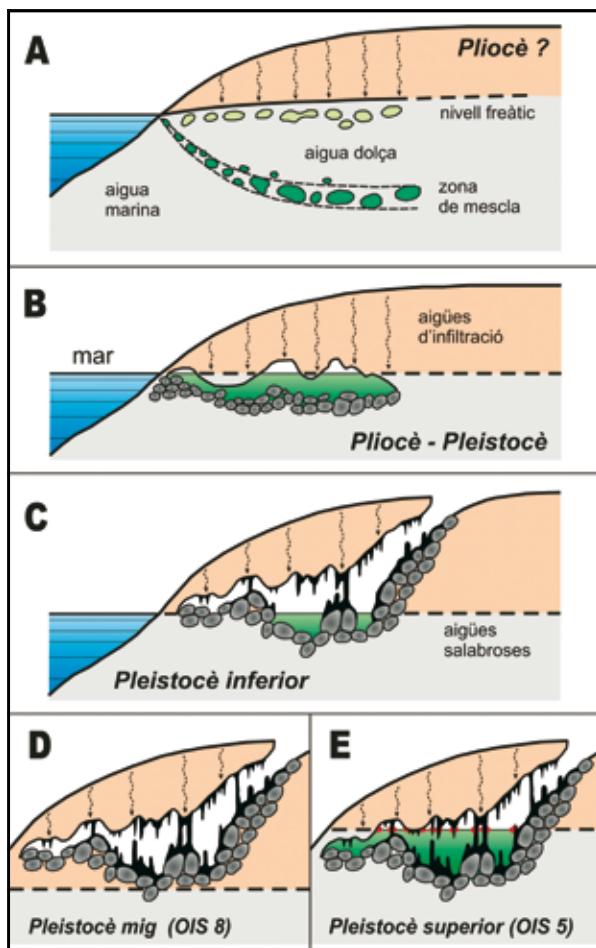


Figura 2: Seqüència evolutiva proposada per a la morfogènesi de les coves litorals del Migjorn de Mallorca (GINÉS & GINÉS, 1992). **a)** excavació inicial per dissolució en règim freàtic, lligada a situacions geoquímiques específiques (zona epifreàtica i zona de mescla entre aigües continentals i marines); **b)** desenvolupament volumètric de la cavitat mitjançant esfondraments i ajustaments mecànics de les voltes; **c)** espectaculars fenòmens d'estalagmitització cobreixen un potent substrat de blocs rocinosos; **d)** durant les oscil·lacions negatives del nivell marí es formen estalagmites aèries en el que són els actuals llacs de la cova; **e)** les fluctuacions glacioeustàtiques positives del nivell marí queden enregistrades en forma d'alineacions d'espeleotemes freàtics.

Figure 2: Evolutionary sequence proposed to explain the morphogenesis of littoral caves in the Migjorn region from Mallorca island (GINÉS & GINÉS, 1992). **a)** initial phreatic excavation by dissolution, linked to specific geochemical situations (epiphreatic zone and mixing zone between fresh and marine waters); **b)** volumetric enlargement of the caves by means of the ceiling's breakdown and collapse; **c)** spectacular speleothems deposition phenomena cover thick accumulations of fallen rock blocks and boulders; **d)** during Pleistocene sea level falls, stalagmites can be formed in the present-day pools of the caves; **e)** positive glacioeustatic fluctuations of the sea level are recorded as phreatic speleothems alignments.

noves dades morfogenètiques de rellevància (MERINO, 1993, 2000, 2002, 2006, 2007; MERINO *et al.*, 2006, 2007, 2008). Totes aquestes investigacions sustenten, en línies generals, el model evolutiu proposat el seu dia per GINÉS & GINÉS (1992), aportant endemés evidències de processos actius de dissolució freàtica en les haloclines observables en algunes cavitats (GRÀCIA *et al.*, 2007b).

Finalment, cal fer referència a alguns treballs publicats els darrers anys on es posa l'accent en el paper del processos de col·lapse i reajustament mecànic en la morfogènesi de les coves del Migjorn de Mallorca (GINÉS, 2000a; GRÀCIA *et al.*, 2006), situant al mateix temps l'espeleogènesi de l'àrea dins el context de la carstificació litoral desenvolupada en materials carbonatats relativament recents (GINÉS & GINÉS, 2007).

Els condicionants litològics: els dipòsits del Miocè superior del Sud i Llevant de Mallorca

L'illa de Mallorca està formada per una sèrie alternant de zones elevades, les Serres, i àrees deprimides, les Marines i el Pla, resultat dels moviments extensius que han afectat l'illa des del Miocè superior, i que han estructurat definitivament tot el conjunt de làmines encavalcants (el promontori balear, continuació de les serrallades Bètiques) emplaçades durant l'orogènia alpina –des de l'Oligocè fins al Miocè mig– amb una clara vergència vers el NW. Aquestes estructures compressives són clarament visibles a les Serres, els *horsts*, afectant als materials majoritàriament carbonatats mesozoics que es dipositaren al marge occidental del Tethys (FORNÓS & GELABERT, 2004).

Les zones deprimides, els *grabens*, estan reblertes pels materials considerats postorogènics i que abracen des del Miocè mig fins el Pliocè-Quaternari. Dins d'aquestes conques neògenes les parts més subsidents presenten potències importants de Pliocè i Quaternari, mentre que a les parts menys subsidents són els dipòsits tabulars del Miocè superior els que afloren amplament (Figura 3a). Aquests dipòsits conformen el relleu estructural de la part oriental i sud de Mallorca (Migjorn), que acaba a la línia de costa amb un seguit d'espectaculars penya-segats, amb una gran continuïtat només trencada per l'acció incisiva dels barrancs i torrents, i on els fenòmens endocàrstics hi són ben presents.

Malgrat l'aparent uniformitat litològica carbonatada del Migjorn, els dipòsits del Miocè superior mostren una certa complexitat, diferenciant-s'hi una sèrie de seqüències que es corresponen amb els diversos ambients deposicionals (Figura 3b), disposats en arquitectures també complexes pròpies de les plataformes carbonatades d'àmbit tropical, i que es caracteritzen des del punt de vista litològic per una gran variabilitat textural.

Així, seguint a FORNÓS *et al.* (2002b) la seqüència inferior, que correspon cronològicament al Tortonian inferior i està disposada en direcció a conca sobre el mesozoic plegat, correspon a les *Calcsilitites amb Heterostegina* (POMAR, 1979). Es tracta de materials dipositats en una plataforma marina, en un ambient de rampa carbonatada, i que estan compostos majoritàriament per calcilitites que alternen amb capes de calcarenites, la qual cosa els hi confereix una visible estratificació horitzontal. Entre els grans bioclàstics que la componen, a més d'abundants foraminífers i equinoderms, són les algues coral·linàcies el component dominant, essent els

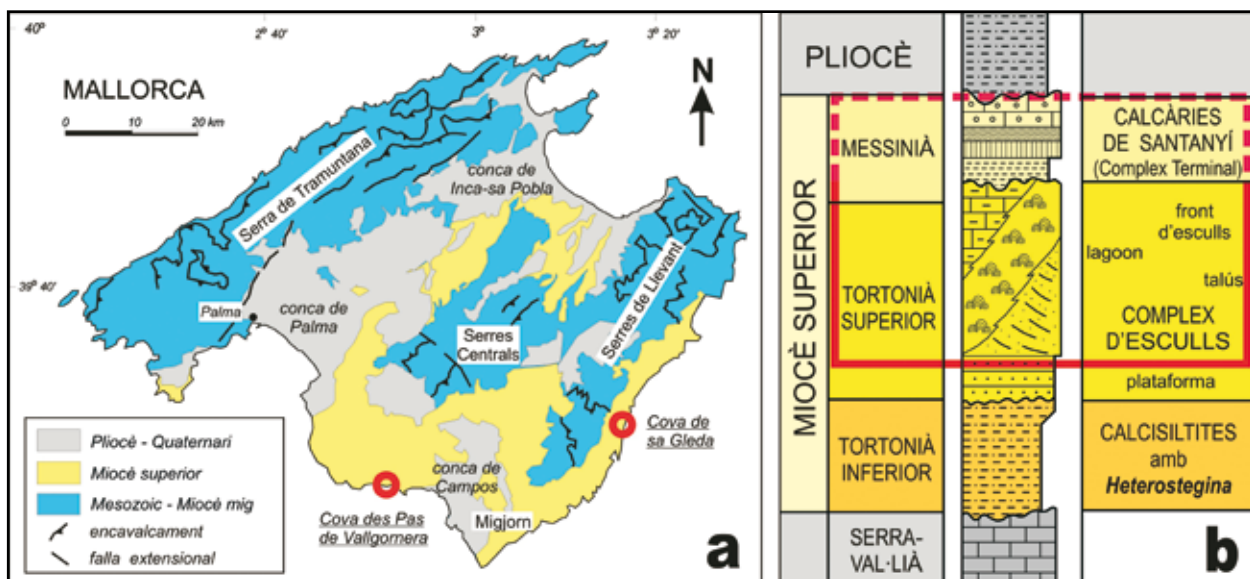


Figura 3: Mapa geològic simplificat de l'illa amb la situació de les cavitats (a) i columna litoestratigràfica sintètica del Miocè superior de Mallorca (b). Apareixen remarcades en vermell les unitats on es desenvolupa l'endocarsit del Migjorn.

Figure 3: Simplified geological map of the island with the location of the caves (a) and synthetic litho-stratigraphical column of the Upper Miocene in Mallorca (b). The geological units where the endokarst of Migjorn region is developed are highlighted in red.

coralls absents. La textura fina dels materials (*packstone* –TUCKER & WRIGHT, 1990 p. 20–) afavoreix la presència de bandes amb una intensa bioturbació. Des del punt de vista hidrològic aquesta unitat es pot considerar un aqüítard, comportant-se com una unitat semiimpermeable en la qual els fenòmens de carstificació hi són pràcticament inexistents.

Disposada de forma concordant sobre l'anterior, o discordant sobre el basament mesozoic plegat, trobem la següent unitat que correspon al *Complex d'Escullós* (POMAR *et al.*, 1983) d'edat Tortonià superior – Messinià inferior (Figura 3b). Aquesta unitat presenta una gran variabilitat textural ocasionada per la complexa arquitectura que en resulta de la disposició dels diferents subambients implicats, en funció de les oscil·lacions del nivell de la mar (POMAR *et al.*, 1996). En aquest sentit, i donada la importància que té la variabilitat textural resultant pel que fa a l'espeleogènesi, paga la pena diferenciar les litofàcies que es poden trobar dins d'aquest complex escullós, disposat en franges paral·leles a la paleolínia de costa, la progradació del qual ha donat lloc a les actuals marines. Així, les fàcies més profundes i obertes associades al desenvolupament escullós (fàcies de plataforma i de talús distal) estan formades per una alternança de calcarenites, més o menys fangoses (*grainstone-packstone*) de grans gruixuts i en les quals les algues vermelles formant rodolits són els components principals, amb nivells més calcisilític (*packstone-wackestone*) que contenen foraminífers planctònics i abundants fragments de mol·luscs, equinoderms i algues vermelles. El conjunt presenta poca porositat. A peu del talús escullós, i caracteritzat per la laminació amb fort pendent en direcció a conca, trobem sediments calcarenífics molt grollers i de gran variabilitat (*packstone, grainstone, rudstone, floatstone*) que tenen com a bioclasts fragments de mol·luscs, equinoderms, algues vermelles i verdes, briozous i també fragments de coralls. Aquesta litofàcies (fàcies de talús) es caracteritza per una elevada porositat interpartícula.

Les fàcies que pertanyen al nucli de l'escull, sigui a la cresta com a la paret progradant, presenten una textura *framestone* formada pel creixement de les colònies coral·lines, dominades pel gènere *Porites* i caracteritzades pel diferent hàbit de creixement coral·lí que varia en funció de la profunditat. L'estratificació d'aquesta fàcies de front escullós es poc visible donant cossos massius de potència variable, en els quals es fa difícil observar cap laminació. És molt abundant la presència de macroorganismes, tant reomplint els buits deposicionals com de forma incrustant sobre els coralls. Aquesta litofàcies es caracteritza tant per l'elevadíssima porositat primària de tipus interpartícula com per la porositat secundària de tipus motlle, afavorida per la diferent mineralogia carbonatada d'alguns dels seus components, especialment els coralls aragonítics. Aquest fet li confereix una especial predisposició a l'espeleogènesi càrstica en raó de la seva elevada permeabilitat (FORNÓS & GELABERT, 1995) i, en la mateixa línia, afavoreix la posterior evolució morfològica de l'endocarsit mitjançant successius processos de col·lapse i dissolució dels materials resultants (GINÉS & GINÉS, 2007).

Finalment, trobem les litofàcies corresponents als subambients més restringits del complex escullós, aquelles que corresponen al *lagoon*, en les seves parts més externes o obertes i les més internes o restringides. En funció del grau d'obertura del *lagoon*, en les fàcies que podríem denominar externes, s'incrementa la mida de gra (*grainstone-packstone*) disminuint el percentatge de fang i mostrant una major variabilitat en el tipus de components presents, com és per exemple la presència de coralls aïllats (*patch reefs*). Aquestes fàcies de *lagoon extern* presenten baixa porositat primària però assoleixen una elevada permeabilitat mitjançant la fracturació. Com a fàcies que caracteritzen els ambients hidrodinàmicament més tranquils i interns del *lagoon*, tenim aquelles que mostren una clara laminació horitzontal i una textura fina (*mudstone-wackestone*), en les quals els peloids i

mol-luscs (sencers) en són els components principals. Des del punt de vista hidrològic aquests nivells de *lagoon intern* també es poden considerar aquitards, en raó de la seva baixa porositat, i són poc favorables per a l'actuació dels processos càrstics.

La darrera seqüència pertanyent al Miocè superior correspon al Messinià (Figura 3b). A part d'una sèrie d'unitats menors –relacionades amb dinàmiques d'ambient litoral i restringit o amb fàcies de conca– presenta com a unitat més important, i molt ben representada en el Migjorn de Mallorca, les *Calcàries de Santanyí* també denominades *Complex Terminal* (ESTEBAN, 1979/80). Disposada de forma lleugerament discordant sobre una superfície d'erosió, aquesta unitat està afectada per un fort desenvolupament dels fenòmens paleocàrstics (FORNÓS, 1999). El Complex Terminal presenta dues clares associacions de fàcies: la basal, caracteritzada per una marcada estratificació en capes decimètriques (formades per *packstones* de mil·lòlids amb ostrèids i altres mol-luscs), que mostren estructures verticals degudes a arrels hidromorfes i nivells finament laminats per recobriments criptalgals; i la superior que correspon a un nivell massiu amb una gran presència de les estructures tractives d'origen mareal i composició oolítica (*grainstone*), les quals alternen amb creixements estromatolítics amb domos que poden superar el metre de diàmetre. La presència de nivells centimètrics d'argiles i de materials carbonatats fins, a la base de les Calcàries de Santanyí, individualitza aquesta unitat des del punt de vista hidrològic. A més a més, el grau de cimentació elevat i la poca porositat primària de la roca fan que l'espeleogènesi càrstica estigui en general poc desenvolupada.

Cova de sa Gleda

Localitzada a la marina de Manacor, en terrenys de Son Josep Nou, es tracta de la cavitat subaquàtica més important de Mallorca –i una de les més destacables d'Europa– amb un recorregut topografiat que supera els 10.500 m, gairebé en la seva totalitat desenvolupats per sota del nivell marí actual. Compta amb una ja extensa bibliografia (FORNÓS *et al.*, 1989; GRÀCIA & CLAMOR, 2001, 2006; GRÀCIA *et al.*, 2007a) entre la que destacarem l'estudi detallat dels tres sectors inicials de la cova publicat per GRÀCIA *et al.* (2007b), que serveix de base a la descripció que segueix i, eventualment, permetrà als interessats ampliar detalls sobre aquesta excepcional localitat.

BREU DESCRIPCIÓ DE LA CAVITAT

L'únic accés a la cova s'efectua mitjançant l'esfondrament del sòtil d'una àmplia sala (72 per 44 m), el fons de la qual, a la cota -36 m, es troba ocupat per un llac d'aigües salabroses. Aquest llac permet accedir a una extensa i voluminosa xarxa de sales i galeries, majoritàriament subaquàtiques, que inclou tan sols quatre cambres terrestres (Sala dels Dos Llacs, Sala del

Cendrar, Cambra dels Moros i l'extrem de la Galeria de les Còniques) corresponents a diversos esfondraments, que arriben fins i tot a tenir reflex a la superfície del terreny.

A la Cova de sa Gleda es distingeixen de moment cinc sectors principals (Sector Clàssic, Sector de Ponent, Sector Cinc-cents, Sector de la Unió i Sector de Gregal) els quals conformen un conjunt de passatges i sales de planta en certa manera laberíntica (Figura 4), que es desenvolupen amb una tendència general SW-NE, de forma grollerament paral·lela a la línia de costa, i a devers dos quilòmetres de la mateixa. La distància en línia recta entre els punts extrems de la xarxa topografiada fins al moment és d'uns 1.200 m. La fondària màxima que s'assoleix a les galeries submergides és de -25 m per sota del present nivell marí.

Les morfologies dominants en tota la cavitat són els esfondraments de les seves voltes i parets (Figura 5a i b). De fet, la part explorada de la cova agrupa al manco vuit grans unitats de col·lapse, gairebé independents però enllaçades de manera més aviat aleatòria. Aquestes unitats d'esfondrament tenen en general dimensions compreses entre 70 i 120 m de diàmetre, essent el factor explicatiu de les cambres terrestres abans esmentades (Figura 6), tres de les quals es relacionen al seu torn amb enfonsaments en superfície (Clot dels Ullastres i Clots des Cendrar I i II). Entre les grans sales de col·lapse existents a la cavitat destaquen, per les seves dimensions, la Sala Francesc Ripoll (100 per 80 m) i, sobretot, la Galeria Cinc-cents de devers 500 m de llargada i fins a 80 m d'amplada màxima.

Malgrat el domini morfològic dels processos de col·lapse i reajustament mecànic de les voltes, les formes de dissolució de molt variades mides i tipologies són abundants arreu de la cova (GRÀCIA, *et al.*, 2007b). Aquestes morfologies primàries de corrosió estan presents en aquelles porcions concretes de la cova que no es troben desarticulades pels esfondraments generalitzats que l'han afectada. Concretament, en algunes zones com les galeries de les Haloclines i dels Gemecs, o el Sector de Gregal, sovintegen les galeries de dissolució de seccions transversals irregulars o horitzontals, desenvolupades a favor dels plans d'estratificació (Figura 5c). Les parts de la cavitat excavades aprofitant discontinuïtats estructurals resulten molt escasses.

Els espeleotemes són certament destacables encara que es tracti d'una cova negada per les aigües freàtiques litorals. A la deposició de les formacions habituals de degoteig (estalactites, estalagmites, colades...) durant els importants descensos del nivell marí associats a les glaciacions, s'afegeix la presència de nombrosos paleonivells d'espeleotemes freàtics relacionats amb diverses estabilitzacions de la Mediterrània al llarg del Pleistocè superior (TUCCIMEI *et al.*, 2006). A diversos sectors de la cova és freqüent trobar els espeleotemes fortament alterats i dissolts, en relació amb l'agressivitat que es dona a la zona de mescla entre aigües de diferents salinitats (Figura 5d); aquests fets es mostren de manera ben patent a la Galeria de les Haloclines i la Sala Francesc Ripoll, on bona part dels espeleotemes estan molt malmesos pels processos de dissolució lligats a les haloclines. La sedimentació detrítica fina suposa un altre tret a destacar en sectors concrets de la cova, i

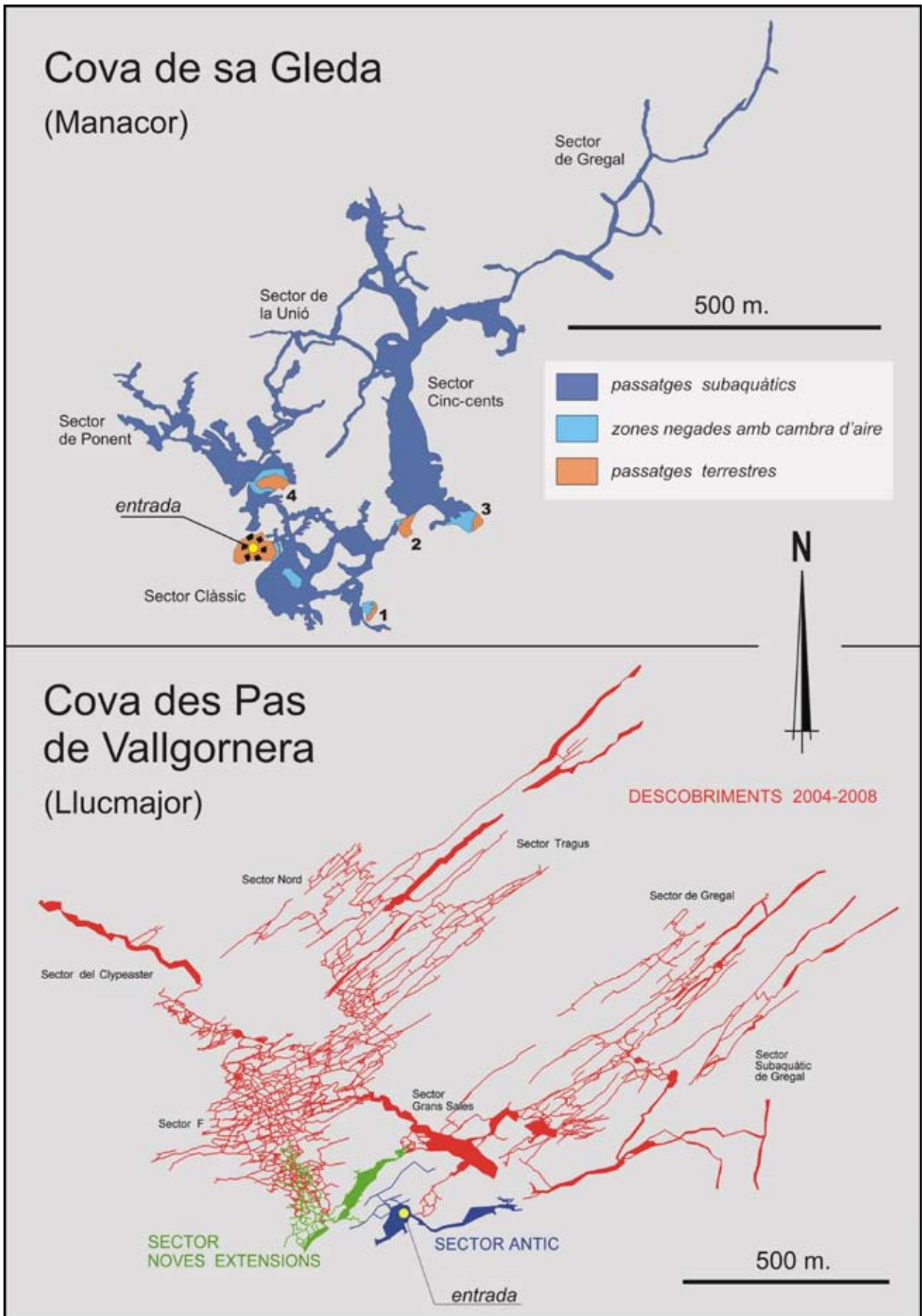


Figura 4: Topografies simplifiades de les dues principals coves càrstiques del Migjorn de Mallorca.

Figure 4: Simplified surveys of the two more extensive caves in the Migjorn region from Mallorca island.



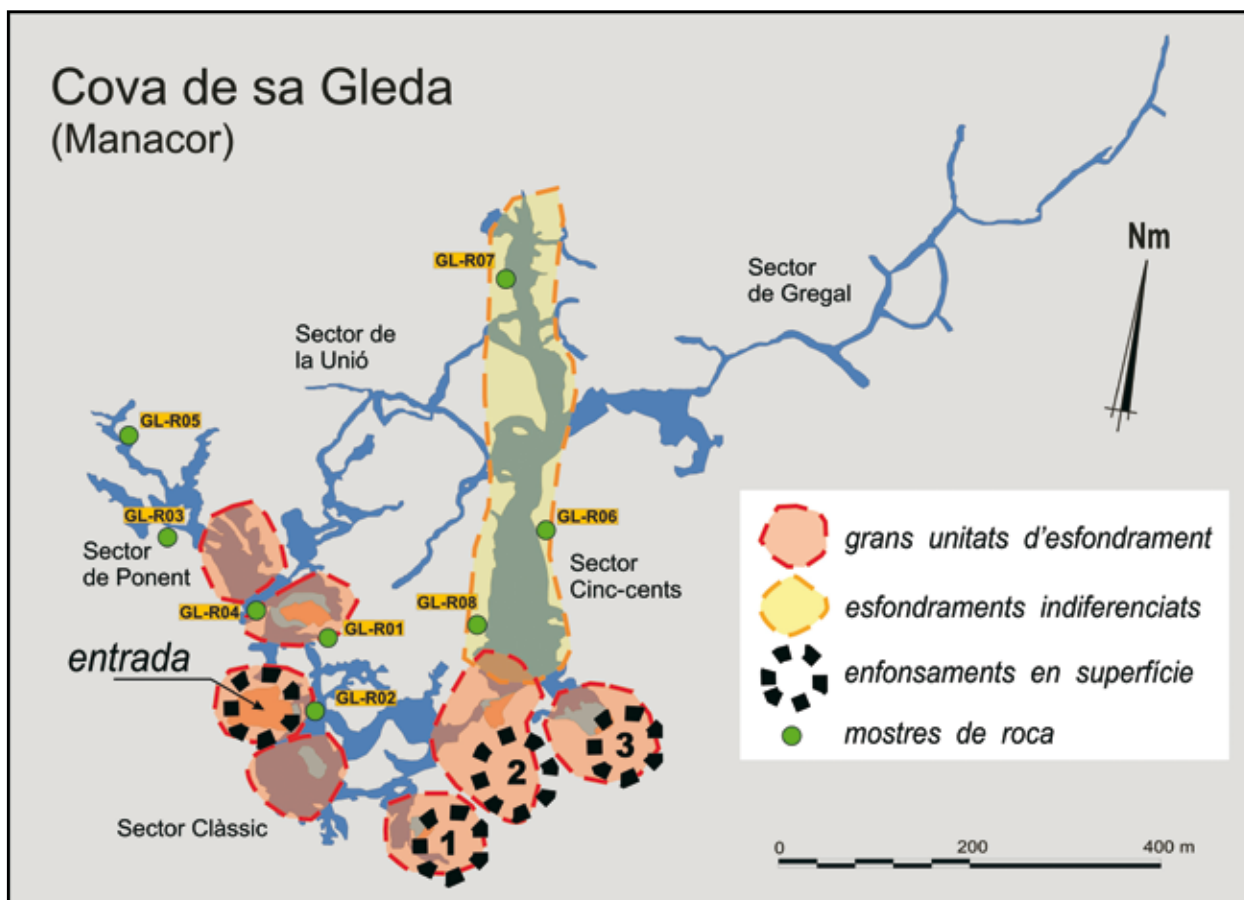


Figura 6: Topografia de la cova en la que s'indiquen les grans unitats d'esfondrament observables i la seva relació amb enfonsaments en superfície. 1) Clot dels Ullastres; 2) Clot des Cendrar I; 3) Clot des Cendrar II. També s'assenyala la localització de les mostres de roca recol·lectades.

Figure 6: Survey of the cave showing the delimitation of the main breakdown units and its relation with collapse features observed on the surface. 1) Clot dels Ullastres; 2) Clot des Cendrar I; 3) Clot des Cendrar II. The location of collected rock samples is also included in the drawing.

presenta les característiques típiques ressenyades en altres cavitats del Migjorn (GRÀCIA *et al.*, 2005, 2006). S'observen sediments al·lòctons silícis relacionats amb les obertures a l'exterior –actuals o pretèrites–, juntament amb una important sedimentació autòctona tant de precipitats químics carbonatats lligats a la superfície dels llacs com de partícules rocoses desagregades per la dissolució de les calcarenites miocenes.

ASPECTES GEOLÒGICS DE DETALL

Des d'un punt de vista geològic, a la Cova de sa Gleda s'hi observen clarament les dues unitats superiors del Miocè de Mallorca. Ja a l'esfondrament que permet l'entrada a la cavitat s'observa amb molt de detall la seqüència sedimentària pertanyent al Complex Terminal (Calcàries de Santanyí); per a la seva descrip-

ció remetem al lector al treball de FORNÓS *et al.* (1989). Aquesta seqüència es disposa sempre per damunt dels nivells del Complex d'Esculls, que és on s'hi desenvolupen totes les sales i galeries explorades fins ara a la cavitat. El contacte entre ambdues unitats consisteix en un contacte subhoritzontal, que puntualment mostra les deformacions produïdes per l'evolució del paleocarst intramiocè.

Els primers nivells observables corresponents al complex escullós –encara en la cavitat subaèria– presenten una bona estratificació plano-paral·lela en la que s'aprecia una alternança de nivells calcarenítics i calcisiltítics característics de fàcies de lagoon. Per davall, ja ràpidament i gairebé coincidint amb les parets de les parts submergides de la cova, hi trobem nivells de calcàries massives lleugerament dolomítiques sense estratificació evident i amb una gran porositat primària i de dissolució, parcialment reomplerta per ciment esparí-

Figura 5: Aspectes morfològics de la Cova de sa Gleda (Manacor). a) els blocs rocosos relacionats amb l'esfondrament de les voltes estan presents a la majoria de sectors de la cavitat; b) els mecanismes generalitzats d'esfondrament arriben a produir sales de grans dimensions (Galeria Cinc-cents); c) galeria de dissolució de secció horitzontal desenvolupada a favor dels plans d'estratificació; d) regata de dissolució generada presumiblement en relació amb les haloclines que s'observen entre -13,5 i -14 m per sota del present nivell marí. (Fotos: César Bodi).

Figure 5: Morphological aspects of Cova de sa Gleda (Manacor). a) the rock blocks produced by breakdown processes are present all along the cave; b) breakdown mechanisms contribute to the generation of chambers which dimensions are quite remarkable (Galeria Cinc-cents); c) solutional gallery with horizontal cross-section developed along bedding planes; d) solutional notch formed presumably at the current haloclines, observed between -13,5 and -14 m below the present-day sea level. (Photos: César Bodi).

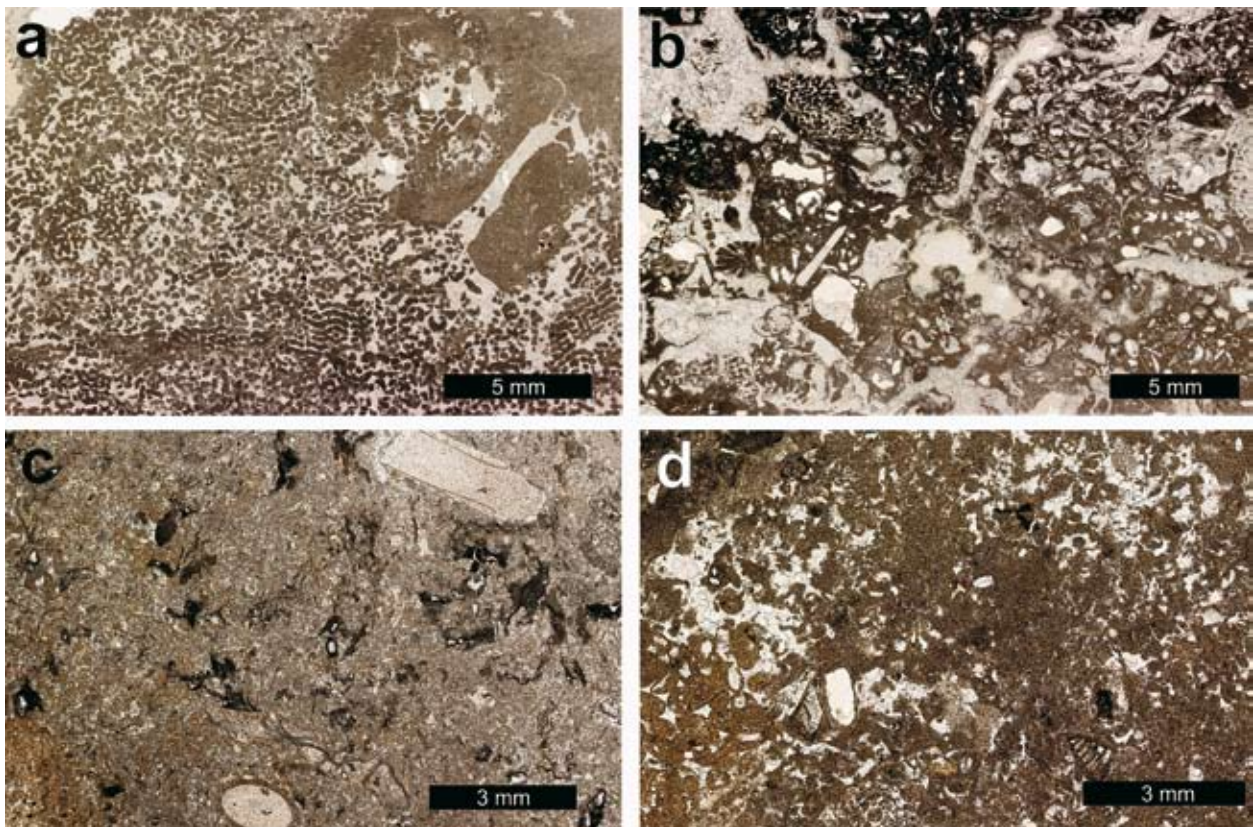


Figura 7: Làmines primes (llum paral·lela) de les fàcies del Miocè superior més representatives presents a la Cova de sa Gleda, on s'hi observen les característiques texturals i de composició. **a)** textura *framestone* amb coralls (*Porites*) de la fàcies de front d'escull; **b)** textura *rudstone* amb coralls i altra macrofauna (fàcies de front d'escull); **c)** *packstone* amb equinoderms, foraminífers i mol·luscs (fàcies de lagoon extern); **d)** *wackestone* amb abundants peloids i foraminífers (fàcies de lagoon intern).

Figure 7: Textural and compositional characteristics of representative Upper Miocene rock facies present at Cova de sa Gleda observed in thin section (parallel light). **a)** framestone texture showing corals (*Porites*) corresponding to the reef front facies; **b)** rudstone texture with corals and varied macrofauna (reef front facies); **c)** packstone with equinoderms, foraminifers and molluscs (external lagoon facies); **d)** wackestone with abundant peloids and foraminifers (internal lagoon facies).

tic. Corresponen des del punt de vista textural a *framestone* de creixement coral·lí, amb abundants coralls tipus *Porites*, que caracteritzarien les fàcies de front escullós (Figura 7a). Aquestes se complementen amb nivells més calcítics amb textures *rudstone* tot presentant abundant macrofauna de mol·luscs i també amb una gran porositat, tant primària com de motlle (Figura 7b). Les fàcies descrites estan presents al llarg tant de tot el Sector Clàssic com del Sector Cinc-cents, amb lleugeres modificacions diagenètiques que les hi donen una coloració rosada. En canvi, en direcció nord-oest (a la Sala dels Dos Llacs) afloren els materials més calcisiltítics de color blanc que mostren una bona estratificació, corresponents a fàcies atribuïdes al lagoon extern (Figura 7c). Es tracta de calcàries blanques amb textura que va de *packstone* a *grainstone*, però també *wackestone*, amb abundant presència dels foraminífers com a components bioclàstics, peneròplids, rotàlids i qualche discòrbid, endemès de fragments d'algues vermelles, briozous, equínids, balànids i, també, algun fragment de corall. Aquesta fauna és característica dels ambients de lagoon obert, probablement amb la presència d'algunes clapes de praderes de fanerògames marines donada la gran quantitat d'organismes epífits que s'hi observen. Més al nord-oest, nivells similars amb coloracions vermelloses i textures tipus *wackestone-packstone*, amb abundants foraminífers de tipus aglutinat (incloent-hi

textularíds) endemès d'abundants gasteròpodes (Figura 7d), suggereixen un ambient més restringit probablement corresponent al lagoon intern.

ASPECTES MORFOGENÈTICS

Considerada en el seu conjunt, la Cova de sa Gleda és una xarxa de sales d'esfondrament connectades entre sí mitjançant restes de galeries freàtiques, amb una disposició més aviat ramiforme (en el sentit usat per PALMER, 2000, 2007) i amb morfologies de dissolució espongiformes a petita i mitjana escala. Cal indicar que la diferenciació entre xarxes espongiformes i ramiformes efectuada per l'esmentat autor (Figura 1) es mostra bastant subtil, essent possible una gradació entre els diversos tipus de coves laberíntiques, sobretot entre els patrons espongiformes i ramiformes. En el nostre cas, l'apel·latiu de ramiforme ve justificat per tractar-se de sales i buits irregulars dotats d'una tendència lleugerament ramificada, i una peculiar disposició tridimensional, per mor de l'actuació dels processos d'esfondrament (Figura 6).

Encara que els mecanismes de reajustament mecànic de les voltes estan molt avançats i generalitzats, existeixen evidències clares de dissolució activa lligada aparentment a les haloclines actuals, situades devers -11 m a la Sala Francesc Ripoll. Cal dir, emperò, que

tant l'agressivitat associada a les zones de mescla com els mecanismes de col·lapse (i ulterior dissolució dels blocs rocosos resultants), han estat condicionats durant tot el Quaternari per les oscil·lacions glacioeustàtiques de la Mediterrània, amb l'escassa estabilitat temporal i espacial que aquest fet comporta.

La relació entre els trets morfològics de la cova i la litologia de detall no presenta pautes molt definitives, donat que tota la xarxa subterrània es troba excavada en el Complex d'Escullers del Tortonian, sense que s'observin variacions litològiques molt marcades entre els distints subambients deposicionals. Estan representats els *mudstone* microesparítics i els *grainstone* bioclàstics, si bé és en els *rudstone* i *framestone* amb coralls –dotats d'una alta porositat primària– on es desenvolupen les grans unitats d'esfondrament.

En suma, sembla tractar-se d'una cavitat relacionada, pel que fa a la seva excavació, amb la zona de mescla costanera, sense que hagi indicis de la participació d'altres modalitats espeleogenètiques (Taula II). Els buits inicials de dissolució freàtica litoral s'han excavat preferencialment en les zones de major permeabilitat, representades pels subambients deposicionals amb presència de coralls; per altra banda, és en aquests ambients amb abundants bioconstruccions coral·lines on han tingut lloc els esfondraments i col·lapses generalitzats, que desorganitzen els buits freàtics inicials. De fet, la planimetria de la cova té un cert patró laberíntic ramiforme (PALMER, 2007), però el qual és en bona

mesura conseqüència no tant de les formes primàries d'excavació, com de la coalescència de les grans unitats volumètriques generades pels successius col·lapses (GINÉS & GINÉS, 2007). Tota la morfogènesi del sistema espeleològic ha estat controlada –tal i com ja s'ha suggerit abans– per la història de les oscil·lacions de la Mediterrània durant el Quaternari, com ho posen de manifest, per exemple, els espeleotemes freàtics que enregistren antigues estabilitzacions de la superfície de les aigües freàtiques.

Cova des Pas de Vallgornera

Situada a la Marina de Lluçmajor, en terrenys de la possessió que dona nom a la urbanització on s'obre la cova, és en l'actualitat el fenomen espeleològic més extens de l'illa de Mallorca amb un recorregut superior als 55.000 m (MERINO *et al.*, 2008). La seva única entrada artificial fou perforada casualment el 1968, i les exploracions rigoroses s'han anat succeint des dels anys 80 (COLLIGNON, 1982; MERINO, 1993, 2000, 2002), amb un ritme extraordinari durant els últims cinc anys (MULET, 2006; MERINO, 2006, 2007a, 2007b, 2008; MERINO *et al.*, 2006, 2007, 2008; GINÉS *et al.*, 2008). Per a una descripció detallada de la cavitat i les seves morfologies, recomanem la lectura dels darrers treballs citats.

localitat	mecanisme espeleogenètic	tipus de cavitats i formes dominants	
		Miocè superior del Migjorn (Complex d'Escullers)	
		fàcies de front	fàcies de lagoon
Cova de sa Gleda	excavació freàtica a la zona de mescla costanera	grans cavitats ramiformes o espongiformes on dominen les morfologies de col·lapse abundants formes de dissolució i presència de galeries excavades a favor dels plans d'estratificació	presència de galeries de dissolució excavades a favor dels plans d'estratificació
Cova des Pas de Vallgornera	excavació freàtica a la zona de mescla costanera	grans cavitats ramiformes o espongiformes on dominen les morfologies de col·lapse	
	possible gènesi hipogènica: recàrrega basal i mescla amb aqüífer meteòric	galeries sinuoses excavades en la barrera de coralls escasses galeries amb clar control estructural abundants formes de dissolució	gran xarxa laberíntica amb fort control estructural petites sales de col·lapse en coralls aïllats abundants formes de dissolució freàtica soma formes de dissolució de possible origen hipogènic

Taula II: Mecanismes espeleogenètics implicats a les dues grans xarxes subterrànies estudiades, i associació morfològica resultant en funció dels condicionants litològics.

Table II: Speleogenetic mechanisms implied in the two studied caves, and resulting morphological assemblage as a function of the lithological constraints.

BREU DESCRIPCIÓ DE LA CAVITAT

La cova s'inicia amb una successió de sales que assoleixen el nivell freàtic (el Sector Antic) i comuniquen amb un espectacular conjunt de galeries i passatges aquàtics (el Sector Noves Extensions, descobert el 1994) proveïts d'una rica decoració d'espeleotemes. Després de travessar el Llac de na Gemma, un pas estret situat a la Sala de na Bàrbara marca la connexió amb les importants extensions descobertes a partir de l'any 2004. Aquests sectors recentment explorats, que de fet són els més importants del sistema espeleològic, comencen amb una agrupació de grans sales disposades en direcció NW-SE, entre les quals destaca la Sala Que No Té Nom (Figura 8a), amb unes dimensions de 200 per 80 m.

A partir d'aquest sector, denominat de les Grans Sales, es diferencien fins a sis sectors addicionals (Figura 4) que es disposen en dos pisos netament diferenciats: el primer d'ells situat al voltant (o per davall) del nivell freàtic inclou bàsicament el Sector de Gregal i el Sector Subaquàtic de Gregal, mentre que el segon es localitza a una alçada d'uns 11 m per sobre de les aigües freàtiques i abraça el Sector Tragus, el Sector Nord i el Sector F (Laberint Superior). Finalment, el Sector del Clypeaster es desenvolupa en torn al nivell freàtic, però guanya altura progressivament en desembocar a l'espectacular Galeria del Mig Quilòmetre (Figura 8b).

Els sectors interiors de la cova tenen una disposició bastant laberíntica, encara que es poden distingir al manco set grans galeries rectilínies (Galeria del Tragus, Galeria de les Columnes, Galeria del GELL, Galeria d'en Pau, Línia 200, Gran Canyó i Galeria del Quilòmetre), disposades paral·lelament en una direcció aproximada SW-NE al llarg de longituds d'ordre quilomètric. Recents exploracions subaquàtiques han posat de manifest l'existència d'extenses galeries que es desenvolupen per sota del present nivell freàtic, de les quals s'han topografiat fins al moment al manco 6.000 m, que s'agrupen en el que s'ha denominat Sector Subaquàtic de Gregal.

Principals trets morfològics

Quant als aspectes morfològics, la Cova des Pas de Vallgornera és bastant variada, circumstància que queda en part explicada per les seves excepcionals dimensions, que donen cabuda a ambients subterranis d'aspecte netament diferenciat. Els mecanismes de col·lapse de les voltes, encara que són presents en major o menor mesura tot al llarg de la cavitat, es mostren dominants al Sector Antic (Sala d'entrada i Galeria dels Blocs) i al Sector Grans Sales, ja en les zones descobertes fa pocs anys (Figura 8a). Els dos sectors citats estan enllaçats entre sí mitjançant magnífiques i molt extenses zones aquàtiques d'aigües salabroses —el Sector Noves Extensions, que inclou el Laberint Inferior i el Llac de na Gemma— on són omnipresents les morfologies de dissolució d'aparença esponjiforme, alternant amb nombrosos i delicats espeleotemes. En aquests sectors més "externs" del sistema espeleològic (en el sentit que es tracta de les parts de la cavitat més properes a la

línia de costa) són molt freqüents les bioconstruccions de coralls dissoltes (Figura 8c), de tal manera que es generen buits i concavitats de formes i superfícies ben irregulars.

Els espeleotemes en general es distribueixen arreu de la cova i exhibeixen una riquesa i varietat de formes única a Mallorca, i fins i tot remarcable a nivell internacional (MERINO, 2006, 2007a, 2007b, 2008). A banda dels espeleotemes convencionals de degoteig i de tipologies relativament poc habituals, hi ha magnífics conjunts d'helicitites i tota una immensa varietat de cristal·litzacions subaquàtiques, lligades a les grans extensions de gours que es troben a les grans galeries del Sector Tragus. També estan representats els espeleotemes freàtics, essent ben cridaners els sobrecreixements subactuals d'aragonita que es dipositen a l'actual superfície dels llacs, així com alguns paleonivells relacionats amb pulsacions transgressives del nivell marí com, per exemple, els corresponents a l'últim interglacial.

A partir del Sector Grans Sales, la morfologia i topografia del sistema canvia radicalment, ja que s'estén una zona laberíntica per damunt del nivell freàtic (Sector F) on s'observen passatges controlats per directrius estructurals ben evidents (diàclasis i fractures, en general). Dins aquest extens laberint, corresponent al nivell superior, s'individualitzen un seguit de galeries rectilínies en direcció NE (Galeria del Tragus, Galeria de les Columnes, Galeria del GELL, Galeria d'en Pau, Línia 200 i Gran Canyó) que es troben rígidament condicionades per fractures més o manco paral·leles. Les formes de dissolució freàtica esculpeixen totalment les parets de les galeries (Figura 9a), predominant les concavitats de dissolució de petita i mitjana mida (sobretot decimètriques) i molt variades tipologies; les regates horitzontals també sovintegen, associades a *facets* fortament inclinades i modelades al seu torn per petits canals subverticals de dissolució (MERINO, 2006). Tal i com ja s'ha esmentat abans, en determinats punts aquestes galeries estan ben ornamentades per espeleotemes de tot tipus, i tenen bona part dels seus paviments ocupats per fantàstics gours fins i tot de desenes de metres de longitud. Cal deixar constància, també, dels processos degradatius de la roca que es poden observar arreu de la cavitat, i que afecten principalment els sòtils i parts superiors de les parets de sales i galeries. Aquests processos donen lloc a extensions de roca pulverulenta, i més o manco pastosa, de coloracions ben diverses que van des del blanc fins al marró obscur (MERINO, 2000, 2008). Malgrat que col·loquialment se'ls denomini *moonmilk*, sembla tractar-se de fenòmens d'alteració i degradació de la roca, en els quals encara està per determinar la possible participació de microorganismes.

El Sector de Gregal arrenca de la Sala Que No Té Nom i està integrat per diverses galeries rectilínies de notable longitud, emperò d'aparença força diferent en comparació amb les galeries del Sector Tragus; aquest fet es deu a que són en la seva majoria passatges molt aquàtics, que s'estenen al voltant i per davall del nivell freàtic i és necessari recórrer bàsicament nedant. Així mateix, els processos d'esfondrament són un fenomen generalitzat tot al llarg de la Galeria del Quilòmetre (Figura 9b), el que li confereix un volum notable encara que es manté el rígid control estructural SW-NE.



Figura 8: Cova des Pas de Vallgornera (LLucmajor); aspectes morfològics de les sales i galeries corresponents a les fàcies de front d'escull. **a)** les grans sales d'esfondrament són molt abundants i assolixen grans dimensions (Sala que No Té Nom); **b)** la Galeria del Mig Quilòmetre (al Sector del Clypeaster) està excavada, sense cap control estructural, tot al llarg del front de coralls i mostra espectaculars formes de dissolució en tota la seva secció; **c)** detalls de les construccions coral·lines afectades pels processos de dissolució. (Fotos: Antoni Merino).

Figure 8: Cova des Pas de Vallgornera (LLucmajor); morphological aspects of the passages and chambers corresponding to reef front facies. **a)** breakdown chambers are very abundant reaching in some cases notable dimensions (Sala que No Té Nom); **b)** the passage called Galeria del Mig Quilòmetre (Sector del Clypeaster) runs over 500 m all along the reef front, without any structural control and showing spectacular dissolution features on its whole cross-section; **c)** detail views of coral buildings affected by solutional processes. (Photos: Antoni Merino).

Cal fer una referència especial, finalment, a la Galeria del Mig Quilòmetre que constitueix l'extrem nord-occidental del Sector del Clypeaster. Es tracta d'una curiosa galeria de dimensions respectables (500 m de llargada i 10 m d'amplada mitjana) que es desenvolupa, amb un traçat sinuós, tot resseguint el front coral·lí del complex escullós miocè, el qual ha estat literalment buidat per dissolució (Figura 8b). El control estructural del traçat d'aquest passatge és inexistent i les morfologies de dissolució esponjiformes han modelat les seves voltes i parets, així com els blocs que constitueixen el seu paviment. Els espeleotemes hi són absents, a excepció d'algun punt concret cap al final de la galeria.

Tant als passatges del nivell superior (Sector F, Sector Tragus) com als del Sector de Gregal existeixen notables acumulacions relictas de sediments fins, majoritàriament vermellosos, en ocasions recoberts per una patina negrenca que es presenta, així mateix, formant una fina crosta a les parets de determinades galeries. Algunes de les acumulacions sedimentàries observables a la cova estan relacionades amb aportacions exteriors com, per exemple, els dipòsits arenosos de l'extrem oriental de la Sala Que No Té Nom, o els nombrosos restes de *Myotragus* que es troben mesclats amb sediments fins a la part terminal de la Galeria del Tragus.

ASPECTES GEOLÒGICS DE DETALL

La Cova des Pas de Vallgornera s'ubica en la seva totalitat dins del Complex d'Esculls del Miocè superior, observant-se al llarg del seu desenvolupament les diferents fàcies que corresponen als subambients deposicionals que el caracteritzen. El Complex Terminal (Calcàries de Santanyi) aflora de forma molt limitada als penya-segats de la zona costera (Figura 10), on es disposa en contacte sobre el Complex d'Esculls mijançant una superfície d'erosió clarament visible a n'es Dos Ulls. Aquí s'hi observa un paleopenya-segat esculpit sobre fàcies de lagoon del Complex d'Esculls, amb parets verticalitzades d'uns vuit metres al peu de les quals s'hi acumulen grans blocs despresos i fossilitzats per les calcarenites corresponents a les Calcàries de Santanyi (POMAR *et al.*, 1983). Aquest contacte marca probablement el límit de la cavitat en direcció sud, al menys fins a la cota on hi afloren aquests dipòsits.

Centrant-nos en el desenvolupament de la xarxa subterrània, observem que ja des de l'entrada de la cavitat i comprnent la major part del Sector Antic, Sector Grans Sales i Sector del Clypeaster hi afloren les fàcies pròpiament característiques del front escullós (Figura 10). Estan integrades per calcàries i calcarenites de color blanc molt ben cimentades, amb textura *framesto-*

ne i *rudstone*, i presència d'abundant macrofauna així com colònies coral·lines bàsicament compostes pel gènere *Porites*; els materials tenen una gran porositat de tipus primari i també de tipus motlle (Figura 11a), parcialment reblerta per ciment esparític. Aquestes fàcies estan cobertes en aquest punt, i de forma especialment visible en part del Sector F, per fàcies de lagoon que correspondrien a una seqüència deposicional posterior al desenvolupament escullós anteriorment descrit, seguint l'arquitectura descrita per POMAR *et al.*, (1996). En aquest cas es tracta d'una roca blanca de composició calcítica amb textura *packstone* que presenta com a components principals foraminífers de tipus porcel·lanoide (alveolínids, peneròplids, miliòlids petits), alguns briozous i fragments de mol·luscs característics de condicions hipersalines i interpretats com a de fàcies de lagoon bastant restringit (Figura 11b).

En direcció norddest, seguint el model deposicional de l'escull i abraçant els sectors de Gregal, Tragus, Nord així com bona part del Sector Subaquàtic de Gregal (Figura 10), hi aflora una roca calcària blanca força pulverulenta (calcisilita) de gra fi i composició calcítica, amb textures variables tipus *wackestone*, *packstone* i fins i tot *grainstone* (Figura 11c). Els seus components principals són els foraminífers, petits miliòlids, *Elphidium*, textulàrids, *Cibicides*, *Ammonia*, a part de restes d'equínids i alguns fragments d'algues vermelles que caracteritzarien les fàcies del lagoon més obert, probablement amb clapes de praderes de fanerògames. A destacar també en aquest sector, la presència de petites colònies coral·lines, poc desenvolupades i en forma de doms d'ordre mètric (*patch reefs*), característics d'aquests nivells del lagoon extern.

Finalment, en el sector més nordoriental del recorregut de la cavitat la roca esdevé més blanca i pulverulenta (calcisilita), així com lleugerament dolomítica i amb una certa recristal·lització, mostrant a més una estratificació ben marcada. Presenta com a textura dominant la *wackestone* (Figura 11d). Les seves característiques permeten interpretar aquestes com a fàcies de transició entre el lagoon extern i l'intern, amb abundants foraminífers tipus *Elphidium*, *Cibicides* i *Ammonia*, entre d'altres, que indicarien probablement variacions estacionals de salinitat.

ASPECTES MORFOGENÈTICS

Pel que fa a la interpretació de la morfogènesi de la Cova des Pas de Vallgornera, el primer i substancial fet que crida l'atenció és sens dubte l'extraordinària magnitud del fenomen, del qual es duen topografiats fins a la data més de 55.000 m (MERINO *et al.*, 2008). El seu desenvolupament planimètric és força complex i –amb

Figura 9: Cova des Pas de Vallgornera (LLucmajor); aspectes morfològics de les galeries corresponents a les fàcies de lagoon. **a)** galeria amb formes de dissolució molt cridaneres (regates, facetes, concavitats de diverses mides...) excavada a favor d'una fractura clarament visible al seu sòtil (Foto: Antoni Merino); **b)** a la Galeria del Quilòmetre (Sector de Gregal) els processos d'esfondrament estan ben presents, encara que el control estructural (diàclasis) és evident al sòtil del passatge (Foto: Bogdan Onac); **c)** els canals ascendents de dissolució, de possible origen hipogènic, són abundants sobretot en les galeries del Sector de Gregal (Foto: Antoni Merino).

Figure 9: Cova des Pas de Vallgornera (LLucmajor); morphological aspects of the passages corresponding to lagoon facies. **a)** view of a gallery shaped with spectacular dissolution features (notches, bevels, pockets of diverse size...) and excavated along a joint clearly visible in its ceiling (Photo: Antoni Merino); **b)** in the gallery known as Galeria del Quilòmetre (Sector de Gregal) breakdown blocks are very frequent, besides the clear structural control (joints) evidenced at the passage ceiling (Photo: Bogdan Onac); **c)** conspicuous solutional rising channels, of a possible hypogenic origin, are well-represented particularly in the passages from Sector de Gregal (Photo: Antoni Merino).



algunes matisacions— entra de ple en el que podríem denominar coves laberíntiques (PALMER, 1975, 1991, 2000, 2007), encara que cal destacar, en aquest cas, que la cova mostra una disposició espacial bastant heterogènia si es comparen entre sí els diferents sectors que la integren (Figura 4). En aquest sentit, el patró laberíntic de la cavitat varia des d'una disposició esponjiforme-ramiforme en els sectors més sudoccidentals, on abunden les morfologies d'esfondrament, fins a una xarxa de galeries amb rígid control estructural, però que no arriben a formar un patró reticular massa evident.

El paper de la variabilitat litològica

Els aspectes geològics de detall són els responsables de l'existència d'ambients morfogenètics ben diferenciats, els quals estan totalment controlats per les característiques litològiques i hidrogeològiques dels subambients deposicionals dels dipòsits calcaris del Miocè superior (Taula II). Per una banda, les zones de la cavitat amb esfondraments i col·lapses generalitzats de les voltes (Sector Antic, Sector Grans Sales i començament del Sector del Clypeaster) tenen lloc en les fàcies de front coral·lí del Complex d'Esculls del Tortonià (Figura 10), on són presents per tot arreu les

bioconstruccions de coralls buidats pels mecanismes de dissolució diferencial (Figura 8c). Els processos de reajustament mecànic dels buits creats per dissolució són particularment intensos en aquestes fàcies molt poroses i poc consistents. Així mateix, un exemple paradigmàtic d'espeleogènesi del tot condicionada per la litologia és la abans citada Galeria del Mig Quilòmetre (a l'extrem NW del Sector del Clypeaster), que suposa un cas excepcional de passatge que ressegueix el front de coralls, sense cap adaptació a directrius estructurals de caràcter tectònic (Figura 8b).

En contraposició als exemples anteriors, les grans galeries i zones laberíntiques adjacents, corresponents als sectors interns de la cova (Sector Tragus, Sector Nord, Sector de Gregal), es desenvolupen en les fàcies de lagoon extern del Complex d'Esculls (POMAR *et al.*, 1996). Aquí, els materials calcaris són de caràcter bastant massiu i presenten una baixa permeabilitat però una important fracturació, en la que dominen les direccions SW-NE (Figura 10), paral·leles als accidents estructurals que determinen l'enfonsament de la veïna conca de Campos. Aquestes llargues galeries mostren també morfologies de col·lapse que, en ocasions, determinen importants eixamplaments relacionats amb la presència de construccions coral·lines aïllades (*patch reefs*) distribuïdes dins el conjunt del lagoon extern; la Plaça de

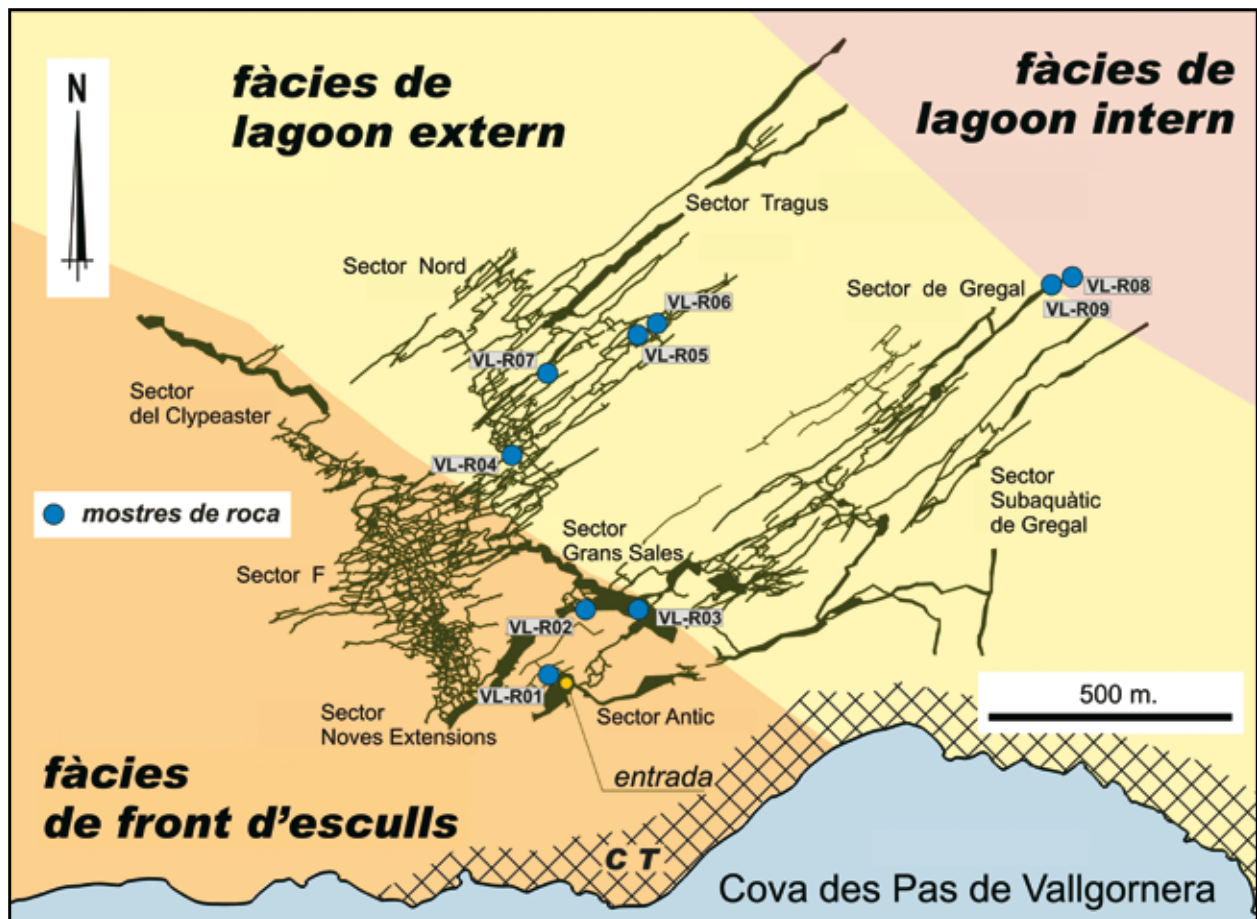


Figura 10: Desenvolupament planimètric de la xarxa subterrània, en relació amb la disposició de les fàcies del Complex d'Esculls del Tortonià superior a la plataforma de Lluçmajor. El Complex Terminal messinià (CT) aflora tan sols als penya-segats litorals de la zona.

Figure 10: The plan pattern of the cave shows clear relations with the facies disposition within the Upper Tortonian Reef Complex in the Lluçmajor platform. The Messinian Terminal Complex (CT) outcrops only at the sea cliffs of the area.

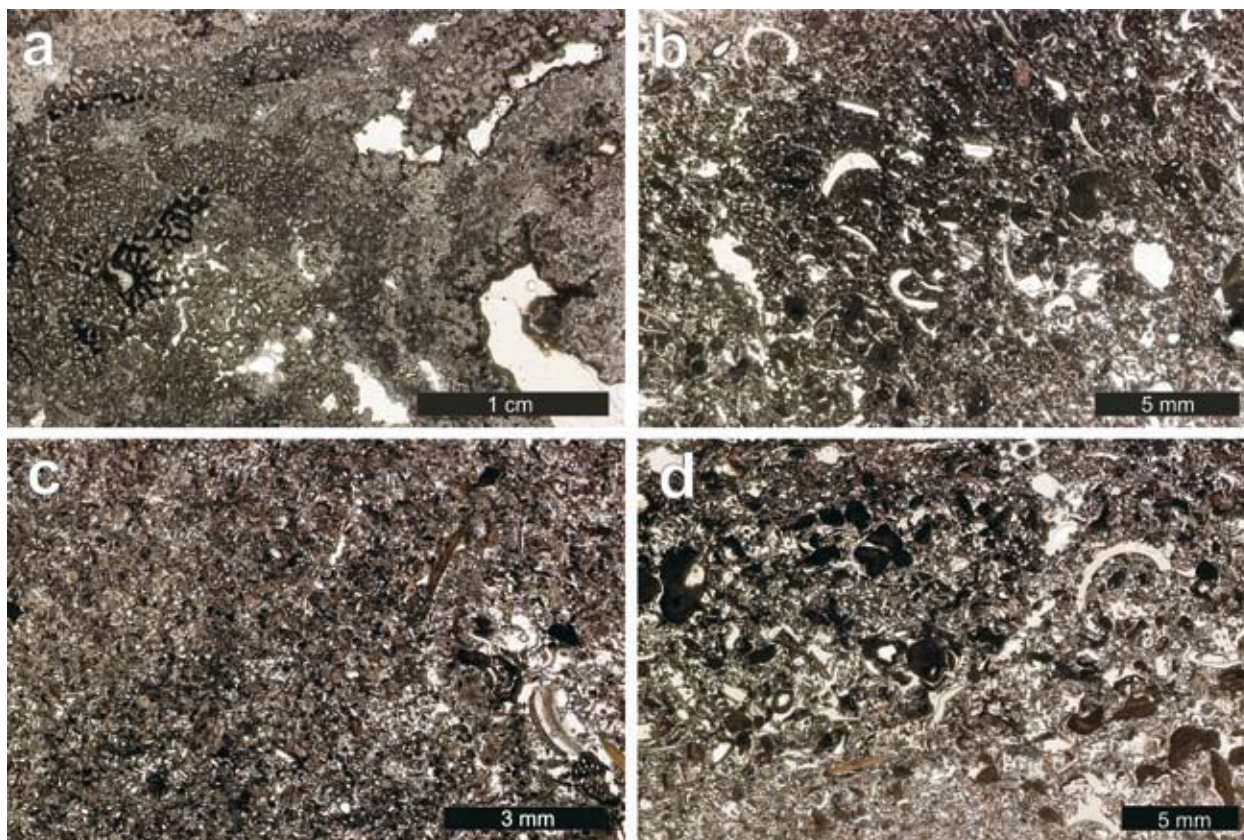


Figura 11: Làmines primes (llum paral·lela) de les fàcies del Miocè superior més representatives presents a la Cova des Pas de Vallgornera, on s'hi observen les característiques texturals i de composició. **a)** textura *framestone* amb coralls (*Porites*) i una important porositat primària, corresponent a la fàcies de front d'escull; **b)** textura *packstone* amb foraminífers, briozous i fragments de mol·luscs (fàcies de lagoon intern, condicions hipersalines); **c)** *packstone* amb foraminífers, equinoderms i algues vermelles (fàcies de lagoon extern); **d)** *wackestone-packstone* amb foraminífers (fàcies de lagoon intern).

Figure 11: Textural and compositional characteristics of representative Upper Miocene rock facies present at Cova des Pas de Vallgornera observed in thin section (parallel light). **a)** *framestone* texture showing corals (*Porites*) and abundant primary porosity, corresponding to the reef front facies; **b)** *packstone* texture with foraminifera, bryozoans and mollusc fragments (*internal lagoon facies*, hypersaline conditions); **c)** *packstone* with foraminifera, equinoids and red algae (*external lagoon facies*); **d)** *wackestone-packstone* with foraminifera (*internal lagoon facies*).

Toros i alguns altres eixamplaments de la Galeria del Quilòmetre estan relacionats amb la dissolució massiva d'edificis de coralls dispersos.

El final de les grans galeries que integren el Sector Tragus i el Sector de Gregal semblen correspondre amb un altre canvi litològic, concretament amb la presència dels dipòsits atribuïbles a les fàcies de lagoon intern del Complex d'Esculls. En la part terminal tant de la Galeria del Tragus com de la Galeria del Quilòmetre, el rocam perd el caràcter massiu que ha presentat tot al llarg d'aquests importants passatges, mostrant una disposició en bancs de materials més calcisil·làtics, de potència entre decimètrica i mètrica. Fins al moment tots els grans eixos SW-NE de la cova tenen un acabament ben net, a una distància més o manco constant en relació amb la posició deduïda del front coral·lí del Tortonian (Figura 10).

Els mecanismes espeleogenètics

Una vegada establerta la morfologia general i el patró espacial del sistema subterrani –i després de comprovar com la litologia condiciona ambdós aspectes– cal intentar reunir dades sobre els mecanismes es-

peleogenètics implicats. Els processos de mescla litoral han estat argumentats a l'hora d'explicar la gènesi de les coves costaneres del Migjorn de Mallorca (GINÉS & GINÉS, 1992; GRÀCIA *et al.*, 2007a). Certament, les zones de la Cova des Pas de Vallgornera més properes a la línia de costa no es diferencien gens, quant a la seva morfologia, de les cavitats clàssiques de l'àrea de Portocristo; en tots els casos és un fet determinant la participació dels processos d'esfondrament en la configuració volumètrica de l'endocast (GINÉS, 2000a; GINÉS & GINÉS, 2007; GRÀCIA *et al.*, 2006, 2007b).

Malgrat la gairebé inqüestionable implicació dels mecanismes espeleogenètics lligats a l'agressivitat de la zona de mescla costanera, les zones laberíntiques i –sobretot– les grans galeries dels sectors interns de la cova exhibeixen uns trets morfològics ben diferents. Es tracta d'extenses formes de conducció ben modelades per morfologies de dissolució que semblen indicar una excavació en condicions freàtiques somes. Abunden les regates horitzontals associades a *facets* de dissolució inclinades (Figura 9a), així com concavitats irregulars centimètriques i decimètriques; no s'observen vertaders *scallops* en cap part de la cavitat. Aquesta associació de caràcters morfològics apunta cap a l'existència de processos espeleogenètics que han tingut lloc en la zona

freàtica d'un aqüífer litoral, però en el qual és present una funcionalitat drenant al llarg d'una ben estructurada xarxa de fractures eixamplades per la carstificació. Malgrat l'escassa pluviometria actual, la recàrrega meteòrica de l'aqüífer és i ha estat important, sobretot si es té en compte l'extensió superficial considerable de la plataforma de Lluçmajor. Els diversos episodis de sedimentació detrítica fina observables en les parts internes de la cavitat, evidencien aportacions des de l'exterior lligades a la infiltració directa de les precipitacions atmosfèriques.

Les possibles evidències d'espeleogènesi hipogènica

Un aspecte addicional a tenir en consideració, pel que fa a l'espeleogènesi del sistema, és la possible participació de mecanismes d'excavació de tipus hipogènica, en el sentit que KLIMCHOUK (2007) dóna a aquest terme en relacionar-lo amb una recàrrega d'origen profund, no meteòrica. De fet el patró planimètric –i alguns dels trets morfològics– que presenta aquest extens fenomen espeleològic no és del tot consistent amb una alimentació càrstica convencional (veure Figura 1), a la vegada que mostra estructures laberíntiques difícils de justificar amb els mecanismes de mescla litoral, emperò semblants als patrons de les cavitats produïdes per una recàrrega profunda i la seva eventual mescla amb aqüífers meteòrics som (Taula II).

A més de la disposició espacial de la xarxa subterrània, existeixen algunes evidències que apunten també cap a la implicació de processos d'espeleogènesi hipogènica en la formació d'aquesta singular cova. En les galeries del Sector de Gregal, així com en altres parts de les zones internes de la cavitat, sovintegen uns curiosos canals ascendents de molt diverses mides que semblen correspondre's amb fenòmens de dissolució freàtica antigraavitatòria, en la línia dels *rising wall channels* documentats per KLIMCHOUK (2007) en descriure l'associació de formes que aquest autor denomina sota el terme *Morphological Suite of Rising Flow*. Les morfologies observades consisteixen en canals de dimensions que van des del mil·límetre fins a alguns decímetres d'amplada, i en ocasions de fins i tot més d'un metre de longitud (Figura 9c), que recorren verticalment per les zones extraplomades de les parets de les galeries. Freqüentment tenen el seu inici en petitíssims orificis o esclatxes de la paret situades dins concavitats alveolars centimètriques o decimètriques o, en el cas dels canals més grans, arrenquen d'estrets conductes de tan sols alguns centímetres de diàmetre; cap a dalt, aquestes formes ascendents van perdent amplada i fondària, fins a la seva total extinció. Algunes d'aquestes morfologies són similars als *bubble trails* descrits per PALMER (2007) consistents en canals originats per l'alliberament de gasos (CO₂ o H₂S, per exemple), que contribueixen a l'agressivitat de les aigües freàtiques seguint trajectòries ascendents; de moment, no existeixen indicis de que l'oxidació de H₂S sigui un procés actiu en aquesta cova.

Fent referència a formes d'escala molt superior, també s'observen, en els sectors interns de la cova, pe-

tites galeries o cambres que acaben en *culs-de-sac*, en els paviments dels quals s'obren conductes verticals impenetrables que tal vegada poden correspondre a *feeders*, en el sentit emprat per KLIMCHOUK (2007). Una darrera morfologia per ventura relacionada en qualque manera amb una alimentació hipogènica serien les *toberes* (MERINO, 2006), consistents en orificis verticals de parets llises i molt corroïdes, que comuniquen pisos superposats de galeries i presenten, a les seves voreres superiors, curioses cristallitzacions conegudes com a *cave rims*.

Totes aquestes formes podrien ser indicis d'una recàrrega hipogènica basal (KLIMCHOUK, 2007), de la qual està per determinar el seu caràcter hidrogeoquímic. Els mecanismes espeleogenètics concrets que podrien estar involucrats abraçarien des del refredament d'aigües termals, fins a l'aportació d'aigües amb elevats continguts de CO₂ hipogènica, passant també per l'agressivitat derivada dels fenòmens de mescla entre l'aqüífer meteòric som i la recàrrega profunda hipogènica (DUBLYANSKY, 2000; KLIMCHOUK, 2007; PALMER, 2007). Un altre mecanisme geoquímic implicat podria ser la generació de CO₂ com a resultat de l'oxidació de metà (CH₄) d'origen profund; gas que ha estat reportat en pous amb aigües termals de la zona meridional de Mallorca (LÓPEZ, 2007). Precisament, l'existència d'anomalies geotèrmiques a l'aqüífer lliure de la plataforma de Lluçmajor, on s'han documentat aigües termals amb temperatures de fins a 51,6° C (LÓPEZ *et al.*, 2004; LÓPEZ & MATEOS, 2006), vendria a sustentar la probable participació de l'espeleogènesi hipogènica en la configuració d'aquest gran sistema endocàrstic (Figura 12). Així mateix, les recents observacions efectuades a la Cova Nova de Son Lluís (Porreres) apuntarien també al possible origen hipogènica d'aquesta cova, situada al límit septentrional de la plataforma de Lluçmajor però ja en materials calcaris del Mesozoic (GINÉS & GINÉS, 2006).

Cal consignar, finalment, la presència de sediments específics –no observats de moment a altres cavitats del Migjorn– consistents en dipòsits negreus que apareixen com una patina que cobreix tant les parets d'algunes galeries com l'interior de les fractures del rocam Miocè o, fins i tot, els sediments detrítics vermellosos que abunden en determinats passatges. Dipòsits semblants han estat localitzats en algunes galeries submergides del Sector Subaquàtic de Gregal, on formen crostes minerals semblants a bimbolles centimètriques. En tots els casos, aquests materials presenten continguts elevats de Mn i en menor quantia de Fe, elements que són moderadament solubles en les aigües anòxiques profundes i que, en assolir els aqüífers oxigenats més superficials, poden precipitar en forma d'hidròxids i òxids (PALMER, 2007).

La posició del nivell de base i l'edat de l'endocarst

Una qüestió important, que precisa de qualque comentari al respecte, rau en la possibilitat d'esbrinar alguna dada geomorfològica sòlida que permeti situar l'evolució temporal de la gènesi de la cova. Per una banda, les fluctuacions glacioeustàtiques de la Mediterrània durant el Quaternari han determinat un nivell de base

Figura 12: Localització d'algunes anomalies geotèrmiques conegudes a la part meridional de Mallorca. 1) pous a prop de la població de Lluçmajor; 2) Païssa (Lluçmajor); 3) Font Santa (Campos). La Cova Nova de Son Lluís (Porreres), que mostra morfologies de possible origen hipogènic, se situa en materials carbonatats plegats del Mesozoic.

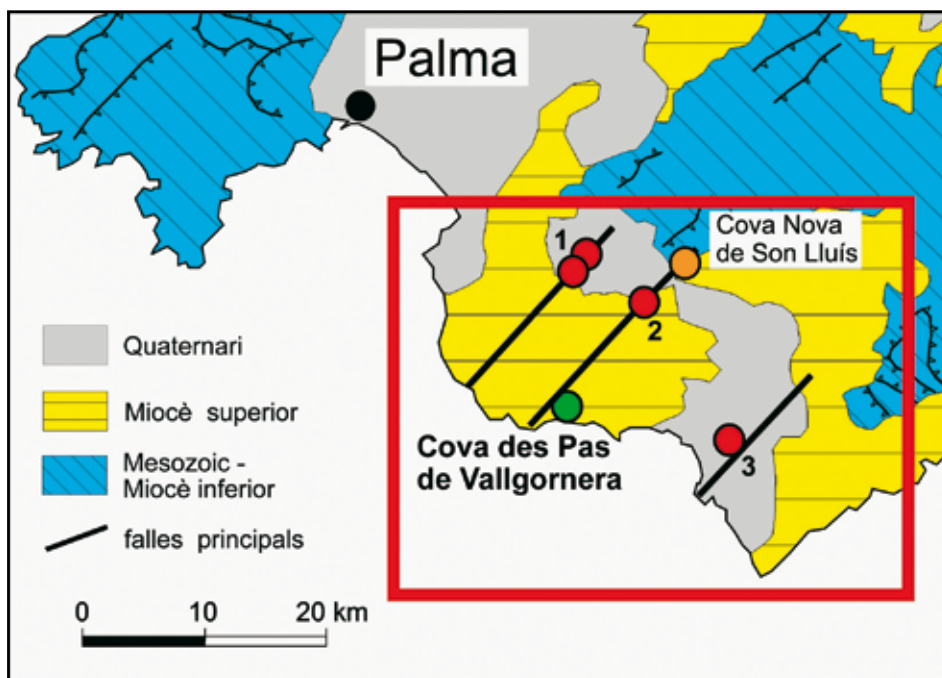


Figure 12: Location of some geothermal anomalies known at the southern part of Mallorca island. 1) wells near Lluçmajor village; 2) Païssa (Lluçmajor); 3) Font Santa (Campos). Cova Nova de Son Lluís (Porreres), that contains features of a possible hypogenic origin, is located in folded Mesozoic carbonate rocks.

molt canviant, caracteritzat per una successió de dilatats períodes de caràcter regressiu entre els que s'intercalen moments de nivell marí semblant a l'actual (interglacials), on es podria situar l'excavació del sistema en unes condicions freàtiques litorals. Si tenim present l'existència d'espeleotemes freàtics que enregistren la transgressió del darrer interglacial (PAZZELLI, 1999; MERINO, 2000), en diversos punts de la cavitat, la gènesi del sistema subterrani hauria de remuntar-se com a mínim al Pleistocè mig o, més probablement, al manco al Pleistocè inferior.

Per altra banda, a la variabilitat del nivell de base associada al glacioeustatisme, cal afegir el fet que la plataforma calcària del Miocè superior es troba afectada per una tectònica distensiva finiterciària o fins i tot quaternària. En aquest sentit, el Complex d'Esculls del Tortonà aflora gairebé al nivell de la mar a l'extrem sud de Mallorca, mentre que a l'àrea de Lluçmajor (Cap Blanc) apareix a més de 50 m d'alçada (POMAR *et al.*, 1996), posant en evidència la rellevància de les deformacions tectòniques recents que han afectat el carst del Migjorn (FORNÓS *et al.*, 2002a). Els paratges de Vallgornera - Cala Pi s'inclouen en aquest sector aixecat en termes relatius, circumstància que ve a introduir una inestabilitat addicional a l'hora d'interpretar els nivells de base que han controlat l'excavació del sistema.

Dins aquest context d'inestabilitat tectònica, és menester recordar l'existència d'un extens dèdal de galeries (Sector Tragus, Sector Nord i Laberint Superior) situades devers 11 m per sobre del present nivell marí, la posició altimètrica de les quals molt probablement és conseqüència de l'esmentat aixecament relatiu. També és interessant ressaltar la presència d'un altre important conjunt laberíntic de galeries (Sector de Gregal i Sector Subaquàtic de Gregal) que es desenvolupen en torn al nivell marí actual o per sota d'ell. Queda per resoldre la incògnita de si es tracta d'un conjunt unitari de gale-

ries generades de mode sincrònic, i després aixecades diferencialment als seus sectors més septentrionals; una altra possibilitat contemplaria una gènesi diacrònica d'ambdós pisos, essent el pis superior aixecat més antic que les galeries dels sectors de Gregal. Qualsevol de les dues possibilitats implica una antiguitat important de l'espeleogènesi, que probablement es remunti fins al Pliocè

Altres exemples d'espeleogènesi en el Miocè superior de les Illes Balears

La carstificació en els materials neògens postorogènics de les Balears no es limita a la regió natural del Migjorn de Mallorca, a la qual estem dedicant la nostra atenció, sinó que també les illes menors presenten algunes regions càrstiques ben individualitzades en roques carbonatades del Miocè superior. En aquest sentit, una visió general del carst balear publicada ja fa alguns anys (GINÉS & GINÉS, 1989) reconeixia, a més del Migjorn mallorquí, dues regions naturals amb abundants formes subterrànies dins els materials neògens tant de la meitat meridional de Menorca com de la petita illa de Formentera. En aquell treball no es profunditzava en les possibles característiques diferencials de les esmentades regions càrstiques, descrivint-les simplement com a plataformes tabulars litorals de roques carbonatades d'elevada porositat primària, que hostatgen abundants cavitats subterrànies i, en canvi, mostren un modelat exocàrstic bastant pobre. Emperò, els avenços notables dels darrers anys pel que fa al coneixement espeleològic, sobretot de l'illa de Menorca, posen de manifest que la carstifi-

cació del Miocè superior presenta a les diferents illes clars trets diferencials, controlats per factors litològics i geomorfològics dels que ens ocuparem tot seguit.

Fent referència als condicionants geològics, en línies generals les unitats que és possible reconèixer arreu de l'arxipèlag són molt similars des del punt de vista litoestratigràfic (Figura 3b). De fet, com ja hem esmentat en el cas de Mallorca, es poden distingir dins el Miocè superior de les Balears tres grans unitats, la correspondència de les quals a les diferents illes queda ben establerta a POMAR *et al.* (1996). En primer lloc trobem una unitat basal corresponent al Tortonian inferior, de caràcter calcisiltític-calcarenític, que apareix a Mallorca i Menorca, encara que tan sols dóna coves rellevants a aquesta darrera illa, tal i com es veurà més endavant (Taula III). La segona unitat (el Complex d'Esculls) pertany al Tortonian superior - Messinià inferior i està present a les tres regions càrstiques abans citades - Migjorn de Mallorca, Migjorn de Menorca i Formentera - tractant-se de fàcies d'escull d'elevada porositat primària i molt carstificables; de fet, la gran majoria de les coves de les regions al·ludides es desenvolupen en aquests complexos de materials calcaris formats per les construccions coral·lines. Finalment, trobem una tercera unitat atribuïda al Messinià (el Complex Terminal, o Calcàries de Santanyi), que no apareix representada a Menorca i tan sols hostatja alguna cova important al sud de Mallorca (Taula III).

Es procedirà ara a avaluar les característiques diferencials de l'espeleogènesi a les àrees càrstiques de les illes menors, amb la finalitat de veure com incideixen en aquests casos els condicionants litològics, en conjunció amb uns marcs geomorfològics bastant diferents dels que actuen al Sud i Llevant de Mallorca.

EL MIGJORN DE MENORCA

Aquesta regió natural, que ocupa la meitat meridional de l'illa, ofereix una relativa homogeneïtat fisiogràfica donat que està integrada en la seva totalitat per dipòsits postorogènics miocens, els quals prograden cap al sud sobre un basament tectonitzat que abraça des del Paleozoic fins al Neogen. En els materials del Miocè superior de Menorca es distingeixen habitualment dues unitats (OBRADOR & POMAR, 2004). La inferior, que sol ser designada com a *Unitat Inferior de Barres (UIB)*, mostra una gran variabilitat textural, en predominar-hi les calcarenites i calcisiltites, i fins i tot els conglomerats, segons l'ambient deposicional; des del punt de vista estratigràfic, es correspondria amb la unitat Calcisiltites amb *Heterostegina*, que apareix a la base del Tortonian de Mallorca (POMAR *et al.*, 1996). La unitat superior, en canvi, correspon al Complex d'Esculls amb abundants cossos bioconstruïts, algues coral·linàcies i rodòlits que alternen, així mateix, amb fàcies més calcarenítiques.

En general, aquestes dues unitats superposades presenten una distribució paral·lela al litoral on afloren preferentment (però de forma discontinua) els dipòsits de la unitat superior. La disposició estructural dels materials postorogènics del Migjorn és relativament simple, ja que es troben disposats subhorizontals, o una mica inclinats cap al SW. El conjunt dels materials calcaris es

presenta bombat cap al centre de la regió, formant una laxa estructura anticlinal, l'eix del qual segueix una direcció NNE-SSW (GELABERT, 2003). Aquest aixecament relatiu del sector central del Migjorn repercuteix de manera decisiva en la distribució espacial tridimensional de les unitats del Miocè superior. Com a resultat d'aquesta disposició estructural, a l'esmentat sector aixecat central predominen els dipòsits de la unitat inferior (UIB), mentre als extrems occidental i oriental aflora extensament la unitat d'esculls superior, amb una lògica conseqüència consistent en l'endocartificació diferenciada dels tres sectors que es poden distingir dins aquesta regió natural (GINÉS & FORNÓS, 2004).

La configuració litoestructural que hem descrit determina la hidrologia subterrània de les distintes subzones del Migjorn, així com l'abundància de cavitats i les seves característiques morfogèniques (GINÉS, 2003; TRIAS, 2004). Així, als dos sectors extrems (oriental i occidental) la presència de les fàcies esculloses de la unitat superior del Miocè postorogènic fa que aquests aqüífers litorals es caracteritzin per una elevada permeabilitat -fins a 25 m/dia com a valors màxims- i un funcionament hidrològic semblant al dels medis porosos (BARÓN *et al.*, 1979). En contraposició, la porció central del Migjorn presenta baixes permeabilitats del rocam (0,1 m/dia, en els materials de la Unitat Inferior de Barres), dins d'un context geomorfològic constituït per un bloc aixecat tectònicament, en el qual s'hi encaixen importants valls fluvials.

El modelat endocàrstic resultant és força distint en les tres subzones esmentades (Taula III). Per una part queda molt clarament individualitzat un sector central, en el qual el fet diferencial més destacable consisteix en l'existència de nombroses formes subterrànies de drenatge, que s'obren a les parets dels principals barrancs (TRIAS, 2004). L'evolució de les coves d'aquest sector va estar controlada -en primera instància i des dels punts de vista hidrològic i geomorfològic- per la incisió dels barrancs que integren la xarxa fluvial. Algunes de les cavitats conegudes són hidrològicament actives, com la Font de sa Vall (o Cova de s'Aigo de Son Boter, al municipi d'Es Migjorn Gran) que assoleix més de 3 km de desenvolupament, pendents de confirmació topogràfica. La gènesi i evolució del carst a la porció central del Migjorn està condicionada pel següent fet: la baixa permeabilitat, a petita escala, de la unitat inferior (UIB) que afavoreix una carstificació molt focalitzada cap a les discontinuïtats estructurals de la plataforma calcària. En particular, és a l'endocarst on es fa ben evident la concentració del drenatge a favor de les discontinuïtats estructurals, ja que les formes de drenatge que es localitzen a les vores dels barrancs exhibeixen plantes rectil·lines rígidament controlades per la fracturació que afecta la massa rocosa.

Per altra banda, les coves dels extrems occidental i oriental del Migjorn, localitzades a les fàcies esculloses de la unitat superior del Miocè postorogènic, s'haurien excavat en condicions freàtiques litorals, lligades presumiblement a l'activitat geoquímica de la zona de mescla entre aigües marines i continentals. El control estructural és molt menys evident en aquest tipus de cavitat gràcies a la major porositat i permeabilitat del rocam, que es manifesta amb la presència de llacs subterranis d'aigües

salabroses afectats per les fluctuacions del nivell marí. Com a resultat de tot això, l'endocarst d'ambdós sectors extrems ofereix trets distintius, com són el predomini de les sales àmplies evolucionades mitjançant mecanismes d'esfondrament de les voltes, com per exemple la coneguda Cova de s'Aigo (o de Parelleta) situada a Cala Blanca, al municipi de Ciutadella. Les formes de drenatge de tendència rectilínia són gairebé inexistents als dos sectors extrems del Migjorn de Menorca (GINÉS & FORNÓS, 2004; TRIAS, 2004).

Cal dedicar algun comentari a la Cova d'en Xoroi (municipi d'Alaior), cavitat explotada turísticament que s'obre als penya-segats litorals de Cala en Porter. Consisteix en un seguit de sales d'origen freàtic, disposades de manera paral·lela a la línia de costa, i dotades

d'abundants ramificacions de dimensions petites que penetren molt poc terra endins. La morfologia de la cavitat presenta acusades semblances amb les *flank margin caves* de MYLROIE & CAREW (1990); es tractaria d'un cas particular d'espeleogènesi litoral, que tan sols apareix representat clarament al Miocè superior de Formentera, tal i com es veurà a continuació.

Les dades exposades posen de manifest que el Migjorn de Menorca és un molt bon exponent de com els factors litològics –mitjançant les diferències de permeabilitat degudes a la variabilitat textural de la roca–, juntament amb els condicionants imposats per l'estructura tectònica i l'evolució geomorfològica de l'àrea, donen lloc a tipus diversos de coves dins d'una regió natural fisiogràficament d'aparença més aviat

regions càrstiques	a estratigrafia		b tipus de cavitats		
	cronologia	litologia	sales de col·lapse	galeries freàtiques	coves marginals litorals
Migjorn de Menorca (sectors oriental i occidental)	Messinià	—			
	Tortonian sup.	Complex d'Esculls	●		
	Tortonian inf.	Unitat Inferior Barres (calcarenites i calcisilites)			
Migjorn de Menorca (sector central)	Messinià	—			
	Tortonian sup.	—			
	Tortonian inf.	Unitat Inferior Barres (calcarenites i calcisilites)		●	●
Formentera	Messinià	Complex Terminal (fàcies oolítiques i estromatolítiques)			
	Tortonian sup.	Complex d'Esculls	●	●	●
	Tortonian inf.	—			
Migjorn de Mallorca	Messinià	Complex Terminal (fàcies oolítiques i estromatolítiques)		●	
	Tortonian sup.	Complex d'Esculls (fàcies de lagoon)		●	
		Complex d'Esculls (fàcies de front)	●	●	
	Tortonian inf.	Unitat Calcisilites amb <i>Heterostegina</i>			

● abundància ● presència

Taula III: Característiques de l'endocarst a les distintes regions que es poden distingir en el Miocè superior de les Illes Balears. Dades estratigràfiques (a) i tipus de cavitats representats (b).

Table III: Characteristics of the endocarst at the different regions that can be distinguished in the Upper Miocene of the Balearic islands. Stratigraphical data (a) and existing cave typologies (b).

bastant homogènia. L'actuació de processos espeleogenètics diferenciats, fa possible l'existència de cavitats litorals lligades a la zona de mescla en els extrems occidental i oriental de la regió, mentre que al sector central només estan presents formes de conducció (funcionals o no) evolucionades en relació amb la xarxa hidrogràfica exterior.

LA PETITA ILLA DE FORMENTERA

El Miocè superior de la menor de les Illes Pitiüses aflora de manera espectacular en els penya-segats de la Mola, mostrant una complexa seqüència de calcarenites esculloses amb abundants rodòlits que supera els 100 m de potència. Aquests materials es corresponen bàsicament amb el Complex d'Esculls (Tortonià superior) encara que, al Cap de Barbaria, apareixen els dipòsits del Complex Terminal (Messinià) que presenten una sedimentació de tipus oolític-estromatolític (FORNÓS, 1992).

Les coves de Formentera són relativament abundants, sobretot si es consideren les petites dimensions de l'illa, alhora que bastant variades pel que fa a la seva morfologia (TRIAS, 1983, 1986; TRIAS & ROCA, 1975). Deixant de banda algunes escasses cavitats de caire laberíntic, com les Coves de Sant Val-lero, estan representades algunes coves integrades per petites sales d'esfondrament (Cova de Can Ferrando, Cova d'en Jeroni), tipologia aquesta que, com ja s'ha vist, és habitual en les calcàries esculloses del Miocè superior de les Balears.

A banda dels tipus de coves abans esmentats (Taula III), sense cap dubte el tret més original de l'endocarst de Formentera consisteix en el que TRIAS (1983) anomena *coves de cingle*. Aquesta tipologia és molt abundant en determinats indrets de l'illa, com són la Mola i el Cap de Barbaria (TRIAS, 1986; TRIAS & ROCA, 1975), i consisteix en coves de dimensions reduïdes o modestes que reuneixen una sèrie de característiques ben definïtories: presenten boques àmplies que s'obren als penya-segats litorals; les seves plantes són allargassades i paral·leles als espadats costaners, comptant amb escassa penetració cap a l'interior del massís; normalment consten d'una sala principal de la que parteixen ramificacions de menor entitat; dominen les morfologies de dissolució, mentre que els processos de reajustament mecànic de les voltes estan poc desenvolupats.

Les *coves de cingle* que acabem de descriure es corresponen amb una precisió notable amb els caràcters morfològics de les *flank margin caves* descrites per MYLROIE & CAREW (1990). La gènesi d'aquestes "*coves marginals litorals*" —efectuant una traducció lliure i simple del terme anglès— es relaciona, tal i com ja s'ha exposat al començament del treball, amb els processos de mescla associats a la perifèria de la lent d'aigua que s'estableix a les illes carbonatades. El fet que la petita illa de Formentera ofereixi l'única representació àmplia i clara de *flank margin caves* a les Balears (Taula III), té a veure sens dubte amb la mida de les diferents unitats territorials que integren l'arxipèlag. En aquest sentit cal remarcar que, als medis insulars, la variabilitat de la seva extensió superficial té una repercussió hidrogeo-

lògica inqüestionable (MYLROIE & MYLROIE, 2007), tenint en compte que mentre la superfície d'una illa (o sigui la recàrrega) s'incrementa exponencialment segons ho fa el seu radi, el perímetre de l'illa (és a dir, les zones de descàrrega de l'aquífer) tan sols s'incrementa linealment. Així, l'augment en la mida de les illes determina la transició cap a sistemes de drenatge més organitzats en les illes majors, en detriment de les *coves marginals litorals* que serien característiques de les illes de poca entitat superficial.

En el cas de Formentera, l'abundància de *coves marginals litorals* (les *coves de cingle* de TRIAS, 1983) estaria controlada per factors geomorfològics i hidrogeològics relacionats amb l'escassa extensió superficial de la Pitiüsa menor. La gran alçada a la que s'obren alguns dels millors exemples d'aquesta tipologia —més de 100 m, pel que fa a algunes coves de la Mola— apunta cap a una cronologia relativament antiga d'aquests processos d'espeleogènesi litoral (Pleistocè inferior, al manco), donat que aquestes formes endocàrstiques costaneres han estat afectades per uns fenòmens d'aixecament neotectònic que assoleixen una magnitud gens menyspreable.

EL CARST EN EL MIOCÈ SUPERIOR DE LES BALEARS: UNA VISIÓ DE CONJUNT

A la Taula III s'ha intentat sistematitzar els tipus de cavitats dominants a les distintes regions càrstiques que es poden distingir en el Miocè superior de les Balears. Si ens centrem en primer lloc en els dipòsits del Complex d'Esculls —d'edat Tortonià superior—, els quals són presents arreu de l'arxipèlag, es pot comprovar que la morfogènesi endocàrstica és força variada en aquests materials carbonatats d'elevada porositat primària. Mentre que a Formentera predominen les *coves marginals litorals* (*flank margin caves*), per mor dels condicionants hidrogeològics lligats a les petites dimensions de l'illa, a les altres illes majors són del tot majoritàries les coves evolucionades pels esfondraments generalitzats d'unes cavitats primigènies, però amb una molt escassa pervivència de restes o evidències de les mateixes. A més a més, els importants canvis laterals i verticals de fàcies (i de permeabilitat) relacionats amb l'arquitectura del Complex d'Esculls, determinen l'existència d'altres tendències morfogèniques diferenciades (presència de conductes rectilinis i de xarxes laberíntiques) fins i tot dins el mateix sistema espeleològic, tal i com succeeix a la Cova des Pas de Vallgornera.

Els altres pisos de la seqüència carbonatada del Miocè superior (les unitats calcisilítiques del Tortonià inferior i el Complex Terminal del Messinià) hostatgen bàsicament formes de drenatge rectilínies, en general no funcionals, generades sobretot aprofitant la porositat secundària establerta a favor de la fracturació (Taula III). Tots aquests condicionaments han contribuït a configurar una realitat molt diversificada on els factors litològics determinen els valors de permeabilitat, i als quals se superposen uns marcs geomorfològics diferenciats a cada illa, que regulen el funcionament hidrològic i l'espeleogènesi desenvolupada a les distintes regions càrstiques de l'arxipèlag.

L'espeleogènesi en el Migjorn de Mallorca: una realitat cada cop més complexa

Al llarg dels primers apartats d'aquest treball hem tingut ocasió de comentar la relativa simplicitat de l'espeleogènesi en els ambients litorals (MYLROIE & CAREW, 1990, 2000; MYLROIE & MYLROIE, 2007), des d'una perspectiva purament teòrica. En definitiva, quan es parla de carstificació litoral i, en concret, de l'espeleogènesi a les illes carbonatades, s'està sempre invocant l'actuació de processos de dissolució en la zona de mescla entre aigües marines i aigües dolces, els quals tenen lloc molt sovint en materials calcaris recents amb una elevada porositat primària. Les coves resultants no tenen una funcionalitat hidrològica destacable pel que fa al drenatge subterrani, ni presenten una adaptació evident a directrius estructurals (diàclisis, falles...), degut sobretot a la important permeabilitat de la roca. Les fluctuacions glacioeustàtiques esdevingudes durant el Quaternari suposen variacions espacials notables dels nivells de base, amb clares repercussions evolutives i geocronològiques.

Descendint a un nivell més proper a la nostra realitat, s'acaba d'exposar amb cert detall fins a quin punt l'endocarst desenvolupat als materials del Miocè superior de les Balears està ben lluny de presentar una homogeneïtat morfogènica marcada. Ans al contrari, la diversitat de condicionants litològics i hidrogeològics presents a les nostres illes produeixen una varietat notable de fenòmens subterranis, que abracen des de les petites coves marginals (*flank margin caves*) de Formentera a les grans xarxes subterrànies existents en el cas del Migjorn de Mallorca, a més de l'interessant i bigarrat endocarst del Migjorn menorquí (Taula III).

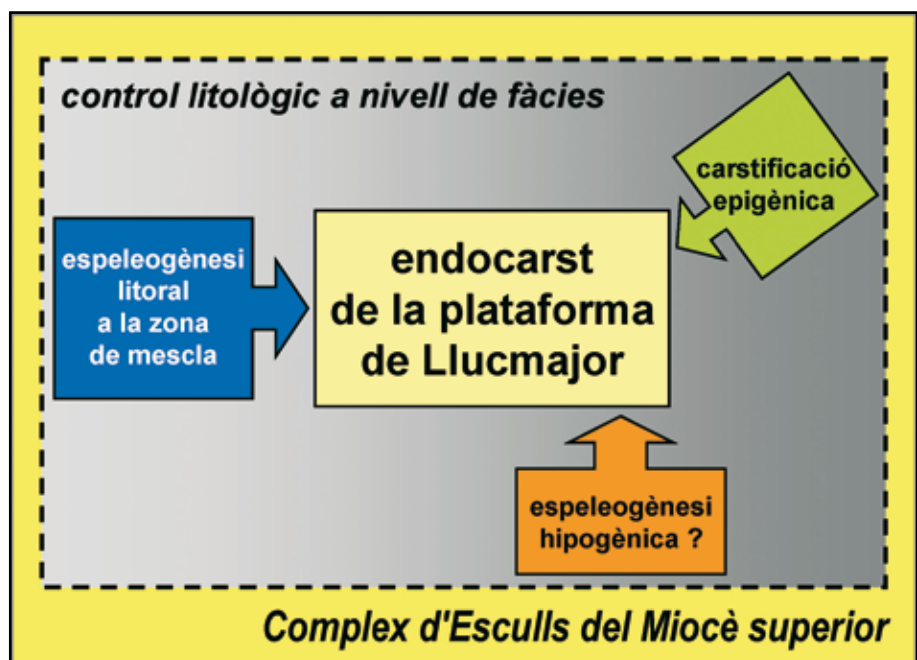
Centrant-nos finalment en el llevant i sud de Mallorca, les noves exploracions espeleològiques subaquàti-

ques, realitzades sobretot a la darrera dècada (GRÀCIA *et al.*, 2007a), han aportat nova llum que complementa l'esquema espeleogenètic proposat en treballs anteriors (GINÉS & GINÉS, 1992; GINÉS, 1995, 2000b). Un dels aspectes més destacables que es desprenen de les investigacions recents és sens dubte el notable desenvolupament planimètric assolit per algunes cavitats, en particular com a resultat de l'exploració i topografia de les seves galeries submergides; aquest fet té el màxim exponent en el cas de la Cova de sa Gleda, a Manacor, que supera els 10 km de recorregut majoritàriament subaquàtic (GRÀCIA *et al.*, 2007b). Altres cavitats com la Cova des Coll, a Felanitx –també de dimensions notables, ja que assoleix els 7 km de desenvolupament– mostren un control estructural evident, al temps que tenen una funció de drenatge més activa, relacionada en bona mesura amb els fluxos provocats per les oscil·lacions mareals (GRÀCIA *et al.*, 2005). En general, resulta cridanera l'elevada connectivitat existent entre algunes coves properes, malgrat que el seu tret morfològic dominant sigui la concatenació de grans sales d'esfondrament gairebé independents les unes de les altres (GINÉS, 2000a); aquesta situació queda ben representada pel sistema espeleològic Pirata - Pont - Piqueta, a Manacor, recentment estudiat per GRÀCIA *et al.* (2006). En algun cas concret, com a la Cova de s'Ònix i la Cova dels Fumassos (GINÉS *et al.*, 2007), trobem fenòmens de col·lapse en els materials rocinos del Miocè superior, emperò induïts per la carstificació de les calcàries mesozoiques subjacents; no obstant això, aquesta situació no pareix generalitzable al conjunt del Migjorn i tan sols ha estat observada a les dues localitats esmentades, molt properes entre si.

Per acabar, cal fer una menció a part de la Cova des Pas de Vallgornera (MERINO *et al.*, 2006, 2007, 2008; GINÉS *et al.*, 2008), a Lluçmajor, cavitat del tot singular dins l'endocarst del Migjorn de Mallorca, en la qual es conjuminen aspectes clàssics dins la configuració morfològica de les coves litorals d'aquesta regió

Figura 13: La Cova des Pas de Vallgornera mostra evidències d'una gènesi complexa en la que conflueixen tres vectors espeleogenètics que han actuat conjuntament, però molt condicionats pels factors litològics.

Figure 13: The genesis of Cova des Pas de Vallgornera is a complex matter owing to the confluence of three speleogenetic vectors that have acted altogether, but conditioned by strong lithological factors.



càrstica amb d'altres trets força especials (Taula II). Els aspectes singulars d'aquesta localitat, que podem qualificar d'excelsionals, fins i tot a escala internacional, són ben explícits i cridaners. Per una banda, es tracta d'una xarxa subterrània de magnitud inesperada (més de 55 km de desenvolupament), en la que és patent un control litològic molt rígid que determina característiques netament diferenciades en els diversos sectors de la cova. En aquest sentit salta a la vista una clara dicotomia entre els sectors de la cavitat excavats en les fàcies corresponents al front coral·lí i aquells altres que es desenvolupen a les fàcies més internes del Complex d'Esculls del Miocè superior. Com a conseqüència de tot això, coexisteixen a la mateixa cova zones de grans sales de col·lapse (fàcies de front amb construccions coral·lines) i sectors francament laberíntics on s'individualitzen nombroses galeries paral·leles de major entitat (fàcies de lagoon), en les quals són ben presents les directrius estructurals SW-NE associades a l'enfonsament de la cubeta de Campos. Finalment, cal consignar l'observació d'evidències morfosedimentàries que podrien apuntar cap a una participació hipogènica (*sensu* KLIMCHOUK, 2007) en la recàrrega i l'excavació del sistema subterrani.

Tot això dibuixa un panorama força complex pel que fa a l'espeleogènesi en la plataforma de Llucmajor, que és menester tenir en consideració en interpretar l'endocarst del Migjorn de Mallorca, encara que aquest model no ha de ser necessàriament extensiu al conjunt de la citada regió càrstica. La complexitat del fenomen il·lustrat per la Cova des Pas de Vallgornera queda reflectida a la Figura 13, on es postula la confluència de tres vectors espeleogenètics: dissolució freàtica litoral associada a la zona de mescla, carstificació epigènica produïda pel drenatge de les precipitacions meteòriques, així com una probable recàrrega basal hipogènica relacionada amb les anomalies geotèrmiques conegudes a aquesta part de l'illa (LÓPEZ *et al.*, 2004; LÓPEZ & MATEOS, 2006; LÓPEZ, 2007). L'actuació dels tres vectors espeleogenètics citats resulta mediatitzada en tot moment pels canvis laterals i verticals a nivell de fàcies, que es donen en els diversos subambients deposicionals que constitueixen el Complex d'Esculls del Miocè superior, els quals provoquen importants variacions de paràmetres hidrogeològics clau com la porositat i la permeabilitat.

Aquest entramat de condicionants litològics i processos genètics diferenciats –dels quals està per determinar la seva importància relativa– constitueixen un objecte d'investigació sobre el que només s'han insinuat ara les seves línies més bàsiques. Les perspectives futures de treball en aquestes excepcionals coves del Migjorn de Mallorca són d'una amplitud considerable.

Agraïments

El present treball s'ha beneficiat de les intenses activitats exploratòries i topogràfiques portades a terme pels equips d'espeleòlegs del Grup Espeleològic de Llubí, Agrupació Voltors i Grup Nord de Mallorca, els

quals estan treballant de forma continuada en la Cova des Pas de Vallgornera i en la Cova de sa Gleda. En especial, cal agrair la col·laboració en les tasques de camp dels següents companys: Toni Croix, Mateu Fiol, Andreas Kristofersson, Guillem Mulet i Toni Mulet. Les aportacions efectuades pels companys espeleobussejadors Bernat Clamor, Mateu Febrer i Pere Gamundí han estat també inestimables. Les fotografies subaquàtiques es deuen a l'autoria de César Bodi i Oscar Espinasa. El col·lega i amic Dr. Bogdan Onac (Institute of Speleology Emil Racovitza, Cluj i University of South Florida, Tampa) ha subministrat també material fotogràfic, al mateix temps que ha contribuït amb dades sobre aspectes mineralògics, geocronològics i morfològics.

Ens plau expressar el nostre reconeixement al Dr. Arthur N. Palmer (State University of New York, Oneonta) per la seva amabilitat en permetre la reproducció de material gràfic per ell elaborat.

Les presents investigacions han comptat amb la col·laboració de personal divers lligat a la Universitat de les Illes Balears. Concretament, el Dr. Guillem Mateu-Vicens ha participat amb el reconeixement dels foraminífers, mentre que Joan Miquel Carmona, del Departament de Ciències de la Terra, ha contribuït amb la confecció de les làmines primes. A Joan Cifre, dels Serveis Científico-Tècnics de la UIB, es deu l'obtenció de difractograms de les mostres.

Els treballs subaquàtics han estat finançats parcialment gràcies als projectes de la Fundació "SA NOSTRA", Caixa de Balears, dins les convocatòries d'ajuts per a projectes de Conservació de la Biodiversitat 2007 i 2008. Volem agrair al Sr. Andreu Ramis, al Sr. Antoni Sorà, al Sr. Bartomeu Tomàs i a la Sra. Eva Villalonga de la Fundació "SA NOSTRA", Caixa de Balears les seves atencions i bones disposicions.

Finalment, cal consignar que bona part de les tasques desenvolupades s'emmarquen dins del projecte d'investigació del *Ministerio de Ciencia e Innovación - FEDER CGL2006-11242-C03-01/BTE*.

Bibliografia

- BACK, W.; HANSHAW, B.B. & VAN DRIEL, J.N. (1984): Role of groundwater in shaping the eastern coastline of the Yucatan Peninsula, Mexico. In: LAFLEUR, R.G. (ed.) *Groundwater as a geomorphic agent*. Allen & Unwin Inc. 281-293. Boston, USA.
- BARÓN, A.; BAYÓ, A. & FAYAS, J.A. (1979): Relación modelo geológico – modelo hidrogeológico. Ejemplo: el acuífero mioceno de la isla de Menorca. *Act. II Simposio Nacional Hidrogeología*. 4, 19 pàgs. Pamplona.
- BRETZ, J.H. (1942): Vadose and phreatic features of limestone caverns. *The Journal of Geology*, 50 (6): 675-811.
- COLLIGNON, M. (1982): Une première des spéléos namuroises a Majorque (Espagne). *Au Royaume d'Hades. Groupe Spéléo Namur-Ciney*, 2: 15-26. Bouge, Bèlgica.
- DARDER, B. (1925): La tectonique de la région orientale de l'île de Majorque. *Bull. Soc. Géol. de France*, 4^e série, 25 (4-5): 245-278. París.
- DARDER, B. (1930): Algunos fenómenos cársticos en la isla de Mallorca. *Ibérica*, 33 (818): 154-156. Tortosa, Tarragona.
- DAVIES, W.E. (1960): Origin of caves in folded limestone. *Nat. Speleol. Society Bulletin*, 22 (1): 5-18. Huntsville, USA.

- DAVIS, W.M. (1930): Origin of limestone caverns. *Geological Society of America Bulletin*, 41: 475-628.
- DREYBRODT, W.; GABROVŠEK, F. & ROMANOV, D. (2005): *Processes of speleogenesis: a modeling approach*. Karst Research Institute at ZRC SAZU. ZRC Publishing. 376 pàgs. Ljubljana.
- DUBLYANSKY, Y. (2000): Hydrothermal speleogenesis: its settings and peculiar features. In: KLIMCHOUK, A.B.; FORD, D.C.; PALMER, A.N. & DREYBRODT, W. (eds.) *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. 292-297. Huntsville, USA.
- DUBLYANSKY, Y. (2005): Hydrothermal caves. In: CULVER, D.C. & WHITE, W.B. (eds.) *Encyclopedia of caves*. Elsevier. Academic Press. 300-305. Burlington, USA.
- EGEMEIER, S.J. (1981): Cavern development by thermal waters. *Nat. Speleol. Society Bulletin*, 43: 31-51. Huntsville, USA.
- ESTEBAN, M. (1979/80): Significance of the Upper Miocene Reefs of the Western Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 29: 169-188.
- FAURA Y SANS, M. (1926): *Cuevas de Mallorca*. XIV Cong. Geol. Intern., Inst. Geol. España, Gráficas Reunidas, S.A. 78 pàgs. Madrid.
- FLOREA, L.J.; VACHER, H.L.; DONAHUE, B. & NAAR, D. (2007): Quaternary cave levels in peninsular Florida. *Quaternary Science Reviews*, 26: 1344-1361.
- FORD, D.C. & EWERS, R.O. (1978): The development of limestone cave systems in the dimensions of length and breadth. *Canadian Journal of Earth Science*, 15: 1783-1798.
- FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W. (1989): *Karst geomorphology and hydrology*. Unwin Hyman. 601 pàgs. Londres.
- FORNÓS, J.J. (1992): Geología de las Pitiüses. La Era Terciaria. *Guía de la Naturaleza de Eivissa y Formentera*, 3: 25-36. Eivissa.
- 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. & GELABERT, B. (1995): Litología i tectònica del carst de Mallorca / Lithology and tectonics of the Majorcan karst. In: GINÉS, A. & 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 de Mallorca.
- FORNÓS, J.J. & GELABERT, B. (2004): Balears. In: VERA, J.A. (ed.) *Geología de España*. Sociedad Geológica de España - IGME. 450-464. Madrid
- FORNÓS, J.J.; GELABERT, B.; GINÉS, A.; GINÉS, J.; TUCCIMEI, P. & VESICA, P.L. (2002a): Phreatic overgrowths on speleothems: a useful tool in structural geology in littoral karstic landscapes. The example of eastern Mallorca (Balearic islands). *Geodinamica Acta*, 15: 113-125.
- FORNÓS, J.J.; POMAR, L. & RAMOS-GUERRERO, E. (2002b): Balearic Islands. In: GIBBONS, W. & MORENO, T. (eds.) *The Geology of Spain*. The Geological Society. 327-334. London.
- FORNÓS, J.J.; PRETUS, J.L. & TRIAS, M. (1989): La Cova de sa Gleda (Manacor, Mallorca), aspectes geològics i biològics. *Endins*, 14-15: 53-59. Palma de Mallorca.
- GAY, S. & CHAMPSAUR, B. (1885): *Album de las Cuevas de Artá y Manacor*. Luis Fábregas, Librería Española. 50 pàgs + 25 gravats. Palma de Mallorca. Barcelona.
- GELABERT, B. (2003): La estructura geològica de Menorca: las zonas de Tramuntana y Migjorn. In: ROSSELLÓ, V.M.; FORNÓS, J.J. & GÓMEZ-PUJOL, L. (eds.) *Introducción a la Geografía Física de Menorca. Guía de Campo de las XVIII Jornadas de Geografía Física*. AGE - Universitat de València - Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 10: 39-48. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. (1999): Edouard-Alfred Martel et la spéléologie à Majorque. *L'Année Martel 1997. L'homme qui voyageait pour les gouffres*. 291-300. França.
- GINÉS, A. (2000a): Patterns of collapse chambers in the endokarst of Mallorca (Balearic Islands, Spain). *Acta Carsologica*, 29 (2): 139-148. Ljubljana.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1975): Los medios lacustres hipogeos representados en el karst mallorquín, y sus respectivas tendencias morfogénicas. *Endins*, 2: 9-12. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1977): Datos bioespeleológicos obtenidos en las aguas cársticas de la isla de Mallorca. *6è Simposium d'Espeleologia*. Escola Catalana d'Espeleologia - S.I.S. del C.E. de Terrassa. 81-95. Terrassa, Barcelona.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1987): Características espeleológicas del karst de Mallorca. *Endins*, 13: 3-19. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1992): Las Coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes històrics y espeleogenéticos. *Endins*, 17-18: 5-20. Palma de Mallorca.
- 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. (1995): L'endocarst de Mallorca: els mecanismes espeleogenètics / Mallorca's endokarst: the speleogenetic mechanisms. In: GINÉS, A. & GINÉS, J. (eds.) *El carst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. *Endins*, 20 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 3: 71-86. Palma de Mallorca.
- 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. Inèdit.
- GINÉS, J. (2003): 5. El modelado kárstico. In: ROSSELLÓ, V.M.; FORNÓS, J.J. & GÓMEZ-PUJOL, L. (eds.) *Introducción a la Geografía Física de Menorca. Guía de Campo de las XVIII Jornadas de Geografía Física*. Asociación de Geógrafos Españoles - Universitat de València - Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 10: 65-70. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & FORNÓS, J.J. (2004): 16. Caracterització del carst del Migjorn: la seva contribució al modelat del territori. 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: 259-274. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1976): Ses Coves del Pirata. *Endins*, 3: 41-45. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1989): El karst en las Islas Baleares. In: DURÁN, J.J. & LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. (eds.) *El karst en España*. Sociedad Española de Geomorfología. Monografía 4: 163-174. Madrid.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (2006): La Cova Nova de Son Lluís (Porreres, Mallorca). Notes sobre aspectes històrics i geoespeleològics. *Endins*, 29: 5-24. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J.; FORNÓS, J.J.; TRIAS, M.; GINÉS, A. & SANTANDREU, G. (2007): Els fenòmens endocàrstics de la zona de Ca n'Olesa: la Cova de s'Ònix i altres cavitats veïnes (Manacor, Mallorca). *Endins*, 31: 5-30. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; MERINO, A.; MULET, A. & MULET, G. (2008): La Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca). Una localitat excepcional des del punt de vista del patrimoni geoespeleològic. In: PONS, G.X. (ed.) *V Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears*, Soc. Hist. Nat. Balears, 59-60. Palma de Mallorca.
- GRÀCIA, F. & CLAMOR, B. (2001): La Cova de sa Gleda. *Subterrànea*, 16: 24-34. Madrid.
- GRÀCIA, F. & CLAMOR, B. (2002): Las exploraciones subacuáticas en el karst litoral del Migjorn de Mallorca / Les exploracions subaquàtiques al carst costaner del Migjorn de Mallorca. *Boletín SEDECK*, 3: 56-75. Madrid.
- GRÀCIA, F. & CLAMOR, B. (2006): Cova de sa Gleda. In: MAYORAL, D. & MATEU, T. (eds.) *Mallorca, bellezas en la oscuridad. Guía práctica y visual de la espeleología en Mallorca*. Espeleo Mallorca S.C. 229-238. Sant Llorenç des Cardassar, Mallorca.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; AGUILÓ, C. & WATKINSON, P. (1998a): La Cova des Drac de Cala Santanyí (Santanyí, Mallorca). *Endins*, 22: 55-66. Palma de Mallorca.

- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; FORNÓS, J.J.; JAUME, D. & FEBRER, M. (2006): El sistema Pirata - Pont - Piqueta (Manacor, Mallorca): geomorfologia, espeleogènesi, hidrologia, sedimentologia i fauna. *Endins*, 29: 25-64. Palma de Mallorca.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; JAUME, D.; FORNÓS, J.J.; URIZ, M.J.; MARTÍN, D.; GIL, J.; GRÀCIA, P.; FEBRER, M. & PONS, G.X. (2005): La Cova des Coll (Felanitx, Mallorca): espeleogènesi, geomorfologia, hidrologia, sedimentologia, fauna i conservació. *Endins*, 27: 141-186. Palma de Mallorca.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; LANDRETH, R.; VICENS, D. & WATKINSON, P. (2001): Evidències geomorfològiques dels canvis del nivell marí. In: PONS, G.X. & GUIJARRO, J.A. (eds.) *El canvi climàtic: passat, present i futur*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 9: 91-119. Palma de Mallorca.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B. & LAVERGNE, J.J. (2000): Les coves de Cala Varques (Manacor, Mallorca). *Endins*, 23: 41-57. Palma de Mallorca.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B. & WATKINSON, P. (1998b): La Cova d'en Passol i altres cavitats litorals situades entre Cala sa Nau i Cala Mitjana (Felanitx, Mallorca). *Endins*, 22: 5-18. Palma de Mallorca.
- GRÀCIA, F.; FORNÓS, J.J. & CLAMOR, B. (2007a): Cavitats costaneres de les Balears generades a la zona de mescla, amb importants continuacions subaquàtiques. In: PONS, G.X. & VICENS, D. (eds.) *Geomorfologia litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 299-352. Palma de Mallorca.
- GRÀCIA, F.; FORNÓS, J.J.; CLAMOR, B.; FEBRER, M. & GAMUNDÍ, P. (2007b): La Cova de sa Gleda I. Sector Clàssic, Sector de Ponent i Sector Cinc-cents (Manacor, Mallorca): geomorfologia, espeleogènesi, sedimentologia i hidrologia. *Endins*, 31: 43-96. Palma de Mallorca.
- GRÀCIA, F.; JAUME, D.; RAMIS, D.; FORNÓS, J.J.; BOVER, P.; CLAMOR, B.; GUAL, M.A. & VADELL, M. (2003): Les coves de Cala Anguila (Manacor, Mallorca). II: La Cova Genovesa o Cova d'en Bessó. Espeleogènesi, geomorfologia, hidrologia, sedimentologia, fauna, paleontologia, arqueologia i conservació. *Endins*, 25: 43-86. Palma de Mallorca.
- GRÀCIA, F.; WATKINSON, P.; MONSERRAT, T.; CLARKE, O. & LANDRETH, R. (1997): Les coves de la zona de ses Partions - Portocolom (Felanitx, Mallorca). *Endins*, 21: 5-36. Palma de Mallorca.
- HABSBURG-LOTHRINGEN, L.S. (1884): *Die Balearen in Wort und Bild geschildert*. Brockhaus. Vol. 5. Leipzig.
- HILL, C.A. (1990): Sulfuric acid speleogenesis of Carlsbad Cavern and its relationship to hydrocarbons, Delaware Basin, New Mexico and Texas. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 74: 1685-1694.
- JENNINGS, J.N. (1985): *Karst geomorphology*. Basil Blackwell. 293 pàgs. Oxford.
- JENSON, J.W.; KEEL, T.M.; MYLROIE, J.R.; MYLROIE, J.E.; STAFFORD, K.W.; TABOROŠI, D. & WEXEL, C. (2006): Karst of the Mariana Islands: the interaction of tectonics, glacio-eustasy, and freshwater/seawater mixing in island carbonates. In: HARMON, R.S & WICKS, C. (eds.) *Perspectives on karst geomorphology, hydrology and geochemistry*. Geological Society of America, Special Paper 404: 129-138.
- KLIMCHOUK, A.B. (2007): *Hypogene speleogenesis: hydrogeological and morphogenetic perspective*. National Cave and Karst Research Institute. Special Paper 1. 106 pàgs. Carlsbad, New Mexico.
- KLIMCHOUK, A.B. & FORD, D.C. (2000): Lithologic and structural controls of dissolutional cave development. In: KLIMCHOUK, A.B.; FORD, D.C.; PALMER, A.N. & DREYBRODT, W. (eds.) *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. 54-64. Huntsville, USA.
- KLIMCHOUK, A.B.; FORD, D.C.; PALMER, A.N. & DREYBRODT, W. (eds.) (2000): *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. 527 pàgs. Huntsville, USA.
- LÓPEZ, J.M. (2007): *Las manifestaciones hidrotermales del sur de Lluçmajor, Mallorca*. Memòria d'Investigació. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 132 pàgs. Inèdita.
- LÓPEZ, J.M. & MATEOS, R.M. (2006): Control estructural de las anomalías geotérmicas y la intrusión marina en la plataforma de Lluçmajor y la cubeta de Campos (Mallorca). *Las aguas subterráneas en los países Mediterráneos*. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 17: 607-613. Madrid.
- LÓPEZ, J.M.; MATEOS, R.M. & BALLESTER, A. (2004): Aportaciones del sondeo de investigación geotérmica Lluís Moragues al modelo de funcionamiento hidrogeológico de las aguas termales de la plataforma de Lluçmajor (Mallorca). *VIII Simposio de Hidrogeología*. Asociación Española de Hidrogeólogos. 2: 379-388. Zaragoza.
- LOWE, D.J. (1992): A historical review of concepts of speleogenesis. *Cave Science*, 19 (3): 63-90.
- LOWE, D.J. (2000): Role of stratigraphic elements in speleogenesis: the speleoception concept. In: KLIMCHOUK, A.B.; FORD, D.C.; PALMER, A.N. & DREYBRODT, W. (eds.) *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. 65-76. Huntsville, USA.
- LOWE, D.J. & GUNN, J. (1997): Carbonate speleogenesis: an inception horizon hypothesis. *Acta Carsologica*, 26 (2): 457-480. Ljubljana.
- MAHEU, J. (1912): Exploration et flore souterraine des cavernes de Catalogne et des Iles Baléares. *Spelunca*, 8 (67-68): 1-108. París.
- MARTEL, E.A. (1896): Sous Terre. Cueva del Drach, a Majorque. *Ann. Club Alpin Franc.*, 23: 1-32. París.
- MARTEL, E.A. (1903): Les cavernes de Majorque. *Spelunca*, 5 (32): 1-32. París.
- MARTEL, E.A. (1921): *Nouveau traité des eaux souterraines*. Librairie Octave Doin. 838 pàgs. París.
- MERINO, A. (1993): La Cova des Pas de Vallgornera (Lluçmajor, Mallorca). *Endins*, 19: 17-23. Palma de Mallorca.
- MERINO, A. (2000): Nuevas extensiones de la Cova des Pas de Vallgornera (Lluçmajor, Mallorca). *Endins*, 23: 7-21. Palma de Mallorca.
- MERINO, A. (2002): La Cova des Pas de Vallgornera (Lluçmajor, Mallorca). *Boletín SEDECK*, 3: 134-141. Madrid.
- MERINO, A. (2006): Espeleotemas poco frecuentes y morfologías de corrosión hallados en la Cova des Pas de Vallgornera. *Endins*, 30: 49-70. Palma de Mallorca.
- MERINO, A. (2007a): Algunos espeleotemas poco habituales hallados en la Cova des Pas de Vallgornera. Nuevas observacions. *Endins*, 31: 111-116. Palma de Mallorca.
- MERINO, A. (2007b): Solutional sculpturings and uncommon speleothems found in the Cova des Pas de Vallgornera, Majorca, Spain. *NSS News*, 65 (9): 14-20. Huntsville, USA.
- MERINO, A. (2008): Nueva aportación al conocimiento de los espeleotemas y morfologías existentes en la Cova des Pas de Vallgornera. *Endins*, 32. Palma de Mallorca.
- MERINO, A.; MULET, A. & MULET, G. (2006): La Cova des Pas de Vallgornera: 23 kilòmetros de desarrollo topografiado (Lluçmajor, Mallorca). *Endins*, 30: 29-48. Palma de Mallorca.
- MERINO, A.; MULET, A.; MULET, G.; CROIX, A. & GRÀCIA, F. (2007): La Cova des Pas de Vallgornera (Lluçmajor, Mallorca): 40 kilòmetros de desarrollo topografiado. *Endins*, 31: 101-110. Palma de Mallorca.
- MERINO, A.; MULET, A.; MULET, G.; CROIX, A. & GRÀCIA, F. (2008): La Cova des Pas de Vallgornera (Lluçmajor, Mallorca) alcanza los 55 kilòmetros de desarrollo topográfico. *Endins*, 32. Palma de Mallorca.
- MULET, G. (2006): Cova des Pas de Vallgornera. In: MAYORAL, D. & MATEU, T. (eds.) *Mallorca, bellezas en la oscuridad. Guía práctica y visual de la espeleología en Mallorca*. Espeleo Mallorca S.C. 249-266. Sant Llorenç des Cardassar, Mallorca.

- MYLROIE, J.E. (1983): Karst Geology and Pleistocene history of San Salvador Island, Bahamas. In: GERACE, D.T. (ed.) *Proceedings of the First Symposium on the Geology of San Salvador Island, March 22-25, 1982*. CCFL. 6-11. Ft Lauderdale, Florida.
- MYLROIE, J.E. & CAREW, J.L. (1986): Minimum duration for speleogenesis. *Com. 9º Cong. Intern. Espeleol.*, 1: 249-251. Barcelona.
- MYLROIE, J.E. & CAREW, J.L. (1988): Solution conduits as indicators of late Quaternary sea level position. *Quaternary Science Reviews*, 7: 55-64.
- MYLROIE, J.E. & CAREW, J.L. (1990): The flank margin model for dissolution cave development in carbonate platforms. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15: 413-424.
- MYLROIE, J.E. & CAREW, J.L. (1997): Land use and carbonate island karst. In BECK, B.F. & STEPHENSON, J.B. (eds.) *The engineering geology and hydrogeology of karst terranes*. Brookfield. 3-12. Balkema.
- MYLROIE, J.E. & CAREW, J.L. (2000): Speleogenesis in coastal and oceanic settings. In: KLIMCHOUK, A.B.; FORD, D.C.; PALMER, A.N. & DREYBRODT, W. (eds.) *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. 226-233. Huntsville, USA.
- MYLROIE, J.R. & MYLROIE, J.E. (2007): Development of the carbonate island karst model. *Journal of Karst and Cave Studies*, 69 (1): 59-75. Huntsville, USA.
- NÚÑEZ-JIMÉNEZ, A. (1967): *Clasificación genética de las cuevas de Cuba*. Academia de Ciencias de Cuba. 224 pàgs. La Habana.
- OBRADOR, A. & POMAR, L. (2004): 4. El Miocè del Migjorn. 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: 73-92. Palma de Mallorca.
- PALMER, A.N. (1975): The origin of maze caves. *National Speleological Society Bulletin*, 37: 56-76. Huntsville, USA.
- PALMER, A.N. (1991): Origin and morphology of limestone caves. *Geological Society of America Bulletin*, 103: 1-21.
- PALMER, A.N. (2000): Hydrogeologic control of cave patterns. In: KLIMCHOUK, A.B.; FORD, D.C.; PALMER, A.N. & DREYBRODT, W. (eds.) *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. 77-90. Huntsville, USA.
- PALMER, A.N. (2007): *Cave geology*. Cave Books. 454 pàgs. Dayton, Ohio.
- PALMER, A.N.; PALMER, M.V. & QUEEN, J.M. (1977): Geology and the origin of caves in Bermuda. *Proceedings 7th International Speleological Congress*. 336-338. Sheffield.
- PALMER, A.N.; PALMER, M.V. & SASOWSKY, I.D. (1999): *Karst modeling*. Karst Water Institute, Special Publication 5. 265 pàgs. Charlottesville, USA.
- PAZZELLI, L. (1999): *Variazioni del livello del mare nel Mediterraneo occidentale durante il Tardo Pleistocene, misurate attraverso la datazione U/Th di concrezioni freatiche su speleotemi sommersi nelle grotte costiere dell'isola di Mallorca (Spagna)*. Tesi di Laurea. Università degli Studi "Roma Tre". 114 pàgs. Inèdit.
- PLUMMER, L.N. (1975): Mixing of sea water with calcium carbonate ground water. In: WHITTEN, E.H.T. (ed.) *Quantitative studies in geological sciences*. Geological Society of America Mem. 142: 219-236.
- POMAR, L. (1979): La evolución tectonosedimentaria de las Baleares: Análisis crítico. *Acta Geológica Hispánica*, 14: 293-310.
- POMAR, L.; ESTEBAN, M.; CALVET, F. & BARÓN, A. (1983): La Unidad Arrecifal del Mioceno Superior de Mallorca. En: POMAR, L., OBRADOR, A., FORNÓS, J.J. & RODRÍGUEZ-PÉREA, A. (eds.) *El Terciario de las Baleares*. Guía de las Excursiones del X Congreso Nacional de Sedimentología. Menorca. 139-175.
- POMAR, L.; WARD, W.C. & GREEN, D.G. (1996): Upper Miocene reef complex of the Llucmajor 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, 5: 191-225.
- RHOADES, R. & SINACORI, N.M. (1941): Patterns of groundwater flow and solution. *Journal of Geology*, 49: 785-794.
- RODÉS, L. (1925): Los cambios de nivel en las cuevas del Drach (Manacor, Mallorca) y su oscilación rítmica de 40 minutos. *Mem. Acad. Cienc. Art. Barcelona*, 19 (7): 207-221. Barcelona.
- SMART, P.L.; BEDDOWS, P.A.; COKE, J.; DOERR, S.; SMITH, S. & WHITAKER, F.F. (2006): Cave development on the Caribbean coast of the Yucatan Peninsula, Quintana Roo, Mexico. In: HARMON, R.S & WICKS, C. (eds.) *Perspectives on karst geomorphology, hydrology and geochemistry*. Geological Society of America, Special Paper 404: 105-128.
- SWEETING, M.M. (ed.) (1981): *Karst Geomorphology*. Hutchinson Ross Publishing Company. Benchmark Papers in Geology, Vol. 59. 429 pàgs. Stroudsburg, Pennsylvania.
- SWINNERTON, A.C. (1932): Origin of limestone caverns. *Geological Society of America Bulletin*, 43: 662-693.
- TRIAS, M. (1983): *Espeleologia de les Pitiüses*. Institut d'Estudis Eivissencs. Estudis breus, 2. 59 pàgs. Eivissa.
- TRIAS, M. (1986): Contribució al catàleg espeleològic de Formentera. *Endins*, 12: 25-29. Palma de Mallorca.
- TRIAS, M. (2004): 17. El paisatge subterrani meridional de Menorca. 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: 275-290. Palma de Mallorca.
- TRIAS, M. & MIR, F. (1977): Les coves de la zona de Can Frasquet - Cala Varques. *Endins*, 4: 21-42. Palma de Mallorca.
- TRIAS, M. & ROCA, L. (1975): Noves aportacions al coneixement de les coves de sa Mola (Formentera) i de la seva importància arqueològica. *Endins*, 2: 15-33. Palma de Mallorca.
- TUCCIMEI, P.; GINÉS, J.; DELITALA, C.; GINÉS, A.; GRÀCIA, F.; FORNÓS, J.J. & 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.
- TUCKER, M. & WRIGHT, V.P. (1990): *Carbonate sedimentology*. Blackwell Scientific Publications. 482 pàgs.
- VACHER, H.L. & MYLROIE, J.E. (2002): Eogenetic karst from the perspective of an equivalent porous medium. *Carbonates and Evaporites*, 17 (2): 182-196.
- WHITE, W.B. & CULVER, D.C. (eds.) (2007): *Benchmark papers in karst science*. Karst Water Institute. Special Publication, 11. 590 pàgs. Leesburg, VA.

