



Universitat
de les Illes Balears

TESI DOCTORAL
2015

Programa de Doctorat de Geografia

**LES CAVITATS SUBAQUÀTIQUES DE LES
ZONES COSTANERES DEL LLEVANT I MIGJORN
DE MALLORCA**

Francesc Gràcia Lladó

Director: Joan J. Fornós Astó

Doctor per la Universitat de les Illes Balears

Capítol 10. PATRONS DE LES COVES AL CARST EOGENÈTIC COSTANER DEL MIGJORN I LLEVANT DE MALLORCA

10.1. Introducció

Aquest capítol està basat en l'article de GINÉS *et al.* (2009). El coneixement dels patrons de les coves està en funció òbviament de les estadístiques sobre les topografies disponibles de les cavitats. La topografia de cavitats costaneres s'inicia en la dècada del segle XIX, amb l'exploració i topografia de gairebé 2 quilòmetres de les famoses coves del Drac per Eduardo A. Martel. Durant anys, la gran quantitat de dades topogràfiques recollides per espeleòlegs convencionals (no espeleobussejadors) semblaven confirmar que les coves més típiques de la plataforma superior del Miocè del sud-est de Mallorca consisteixen bàsicament en una o més sales d'esfondrament connectades en un patró pel que sembla a l'atzar i inundades parcialment per la pujada postglacial del nivell del mar (Fig. 10.1).

El coneixement de les coves depèn de la disponibilitat de mapes detallats de les cavitats. La realització de la topografia de les coves situades en les proximitats del mar és obstaculitzada amb freqüència per la proximitat del nivell de les aigües freàtiques (Fig. 10.2). Moltes coves costaneres apareixen inundades en gran part del seu desenvolupament per la pujada postglacial del nivell del mar i la pujada consegüent del nivell freàtic. Per aquesta raó, l'elaboració de les topografies de les coves en aquests sistemes càrstics parcialment o total submergits requereix no només fer la topografia de les galeries i sales aèries, sinó també les extensions que es troben inundades sota el nivell de les aigües. Les recents exploracions dels espeleobussejadors i les detallades topografies de cavitats realitzades de les zones submergides incrementen el coneixement dels sistemes de coves litorals de la regió del Migjorn i Llevant. Aquestes noves dades suggereixen que els coneixements anteriors sobre els patrons de les coves que es troben en aquest carst eogenètic s'han de posar al dia per recollir la informació proporcionada aquestes dues darreres dècades. A partir d'aquestes informacions, tres noves evidències importants han de ser considerades: 1) la connectivitat entre les coves arriba a ser major

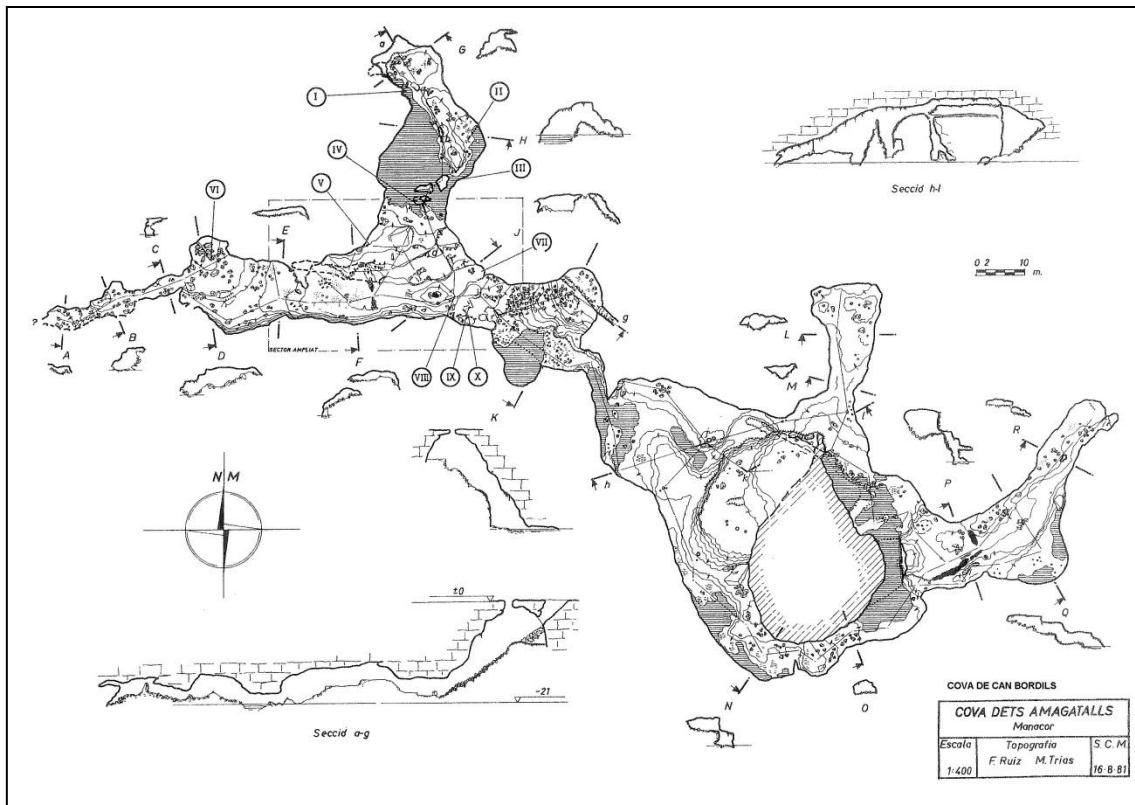


Figura 10.1: Exemple de topografia “clàssica” a on apareixen els llacs representats. Es pot interpretar la cavitat com una unió de diferents sales d’esfondrament.

de l'esperat; (2) les unions entre les diferents cavitats es localitzen per sota del nivell de les aigües; (3) les morfologies d'esfondrament també caracteritzen una part de les porcions submergides de les coves costaneres, encara que per segons quines cavitats o bé zones determinades, abunden les galeries freàtiques poc evolucionades que també connecten cavitats o bé representen continuacions de l'aparell endocàrstic.

Un dels objectius principals en la topografia és l'anàlisi i interpretació dels patrons de les coves. Això és especialment cert en el cas del carst costaner, perquè les comparacions entre els patrons de diverses cavitats poden reflectir diversos processos espeleogenètics, tals com la relació entre el desenvolupament de la cova i el glacioeustatisme, la presència de galeries freàtiques poc evolucionades i poc desplaçades en vertical respecte als horitzons espeleogenètics que les generaren, el paper dels processos d'esfondrament en l'evolució de les coves o les influències bioclimàtiques, geoquímiques i estructurals implicades, ja que la informació significativa pot ser obtinguda emprant mapes detallats de les coves.

La topografia de coves en el carst costaner de la regió del Migjorn i Llevant, té una llarga història d'exploració, topografia i discussió científica sobre els mecanismes de formació de les cavitats, que s'inicia a finals de la segona meitat del segle XIX. En resum, tres períodes principals poden distingir-se: 1) les descripcions pioneres

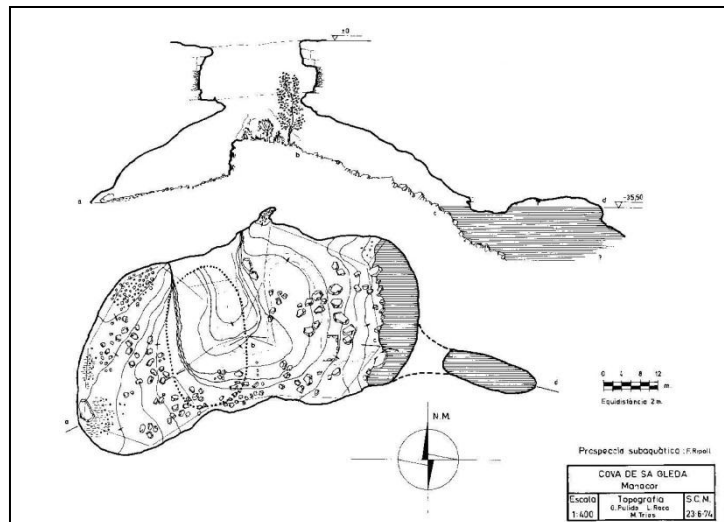


Figura 10.2: L'entrada de la cova de sa Gleda és un altre bon exemple de com pot canviar el coneixement d'una cavitat amb el temps i com evoluciona la seva topografia.

d'alguns cèlebres cavitats litorals (incloent el mapa de Martel de les coves del Drac); 2) les topografies convencionals de moltes coves de la regió suggereixen un patró típic i repetit format de sales d'esfondrament pel que sembla aïllades, unides entre si de forma aleatòria; i 3) les topografies recents dels espeleobussejadors demostren connexions subaquàtiques entre les coves i en alguns casos fins i tot amb la mar i l'existència de xarxes de galeries freàtiques d'important recorregut espeleomètric.

10.2. Topografia de cavitats: Una qüestió d'accessibilitat

Produir mapes precisos i detallats de les coves requereix superar els problemes tècnics implicats en l'exploració de cada cavitat i el més important, travessar tots els espais mínimament penetrables de la cova. La disponibilitat de mapes de coves segueix depenent de l'exploració, que s'incrementa amb el temps (Figs. 10.2, 10.3). No obstant això, el límit més obvi per a la topografia de coves és la grandària mínima accessible per poder penetrar, per la qual cosa, moltes zones d'una cova estan fora de l'accés d'espeleòlegs i només pot ser interpretada a través d'observacions indirectes.

Inaccessibilitat representa la major part de l'insatisfactori coneixement de les coves costaneres i sistemes de coves en totes les zones càrstiques litorals amb l'augment del nivell del mar holocè que va inundar les zones baixes de les cavitats. D'altra banda, els carsts eogenètics no són propensos a promoure el desenvolupament de conductes

ben estructurats, malgrat la seva inherent gran conductivitat hidràulica, impeding l'observació directa i la cartografia de la multitud de diminuts buits interconnectats que transmeten l'aigua cap al mar. D'altra banda, encara és difícil establir generalitzacions sòlides, perquè només una petita proporció de llocs al voltant del món estan a la base de l'enfocament teòric actual als sistemes càrstics costaners (per exemple, Bahames, Mallorca, Florida o Yucatán) i la comparació entre aquests llocs costaners és encara una tasca a desenvolupar en el futur proper.

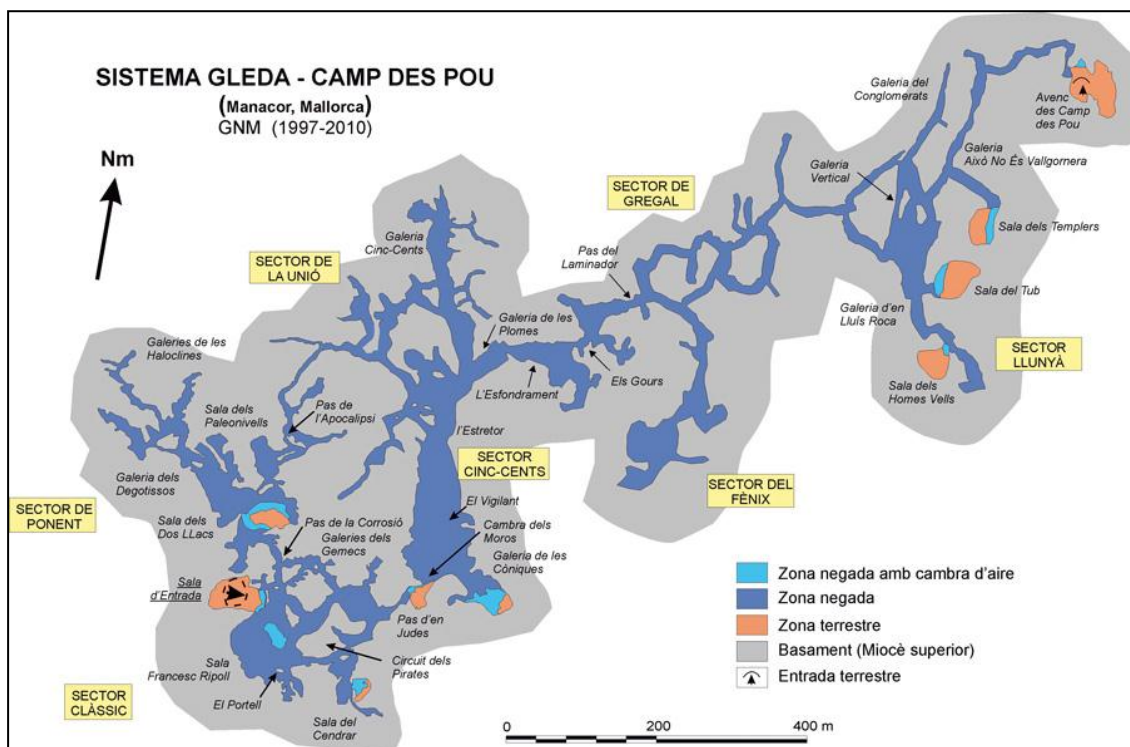


Figura 10.3: Evolució del coneixement de la cavitat, ara sistema Gleda-Camp des Pou i de la seva representació mitjançant la topografia.

10.3. Topografia de coves: Una qüestió de metodologia i estratègia de mostreig

La topografia i cartografia de coves són més que una simple tasca descriptiva. Encara que algunes morfologies de coves són sorprenents, moltes característiques importants s'ignoren amb freqüència en la majoria dels mapes de cavitats. S'apliquen criteris selectius implícitament quan els espeleòlegs trien què forma millor descriu el

perímetre d'una cova, o quan es tracen a l'interior les característiques més rellevants que adjuntar en el dibuix. Les topografies de les coves són l'única manera d'estudiar el patró de les coves, però aquests mapes estan lluny de ser representacions objectives.

Un enfocament alternatiu és assumir aquests fets com el biaix d'incertesa d'un "mètode de mostreig" en particular, amb el que evitant inesperats "artefactes gràfics" que introduir informació enganyosa a través de la cartografia. D'aquesta manera, la topografia de la cova es converteix en un mètode de mostreig específic per a la recollida de dades de camp precises per exemple, en el cas del carst del Llevant i Migjorn de Mallorca, la nostra anàlisi actual dels patrons de coves costaneres es basa en un enfocament de tres nivells sobre la base de la següent escala de grandària i la complexitat cada vegada major: segments de cova, coves individuals i sistemes de cavernes.

10.4. Mapes de segments de coves

L'anàlisi detallada de determinats segments de cavitats, especialment a partir de l'estudi i interpretació de les seccions, pot permetre identificar les característiques de diagnòstic que es relacionen amb específics ambients geoquímics. Per exemple, les grans sales poden estar relacionades amb els buits de dissolució que es desenvolupen en els marges litorals de la costa, o per una especial litologia que ha afavorit especialment la dissolució d'aquests grans volums de roca. Algunes galeries de cavitats són representatives de haver estat generades per la dissolució de la zona de mescla aprofitant fractures verticals, plans d'estratificació o bé són galeries freàtiques circulars poc condicionades per la tectònica o la separació entre capes (Fig. 10.4). També és important informar de la presència significativa de formes de dissolució, així com a mesurar la seva grandària i la freqüència d'aparició. Els mapes de coves proporcionen poca informació sobre les morfologies de corrosió a petita escala (per exemple, presència o absència de regates de corrosió, facetes, morfologies espongiformes, penjants, etc.). En escales més grans, no obstant això, algunes dades significatives poden ser obtingudes mitjançant l'anàlisi de sales i galeries en vista de planta. Les seccions transversals també són informatives perquè les seves formes comunament donen una idea de la seva gènesi. Endemés, el pis de sales i galeries requereix atenció

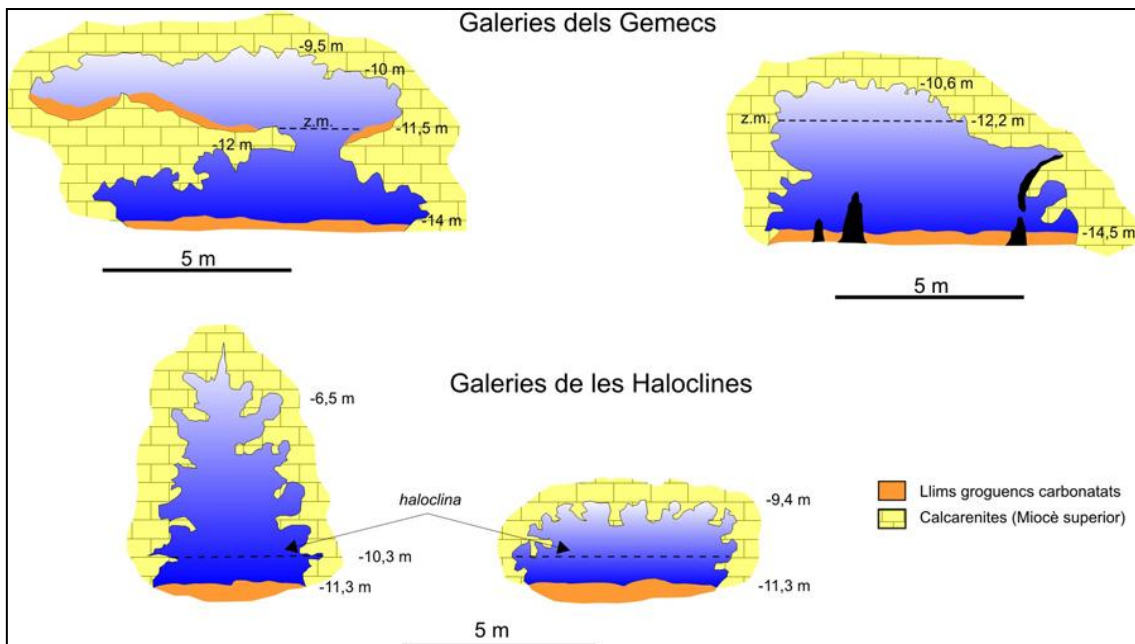


Figura 10.4: Seccions de cavitat que subministren la informació de que es tracta de galeries freàtiques generades per processos de dissolució. En aquest cas s'han representat fins i tot la presència de sediments i de morfologies de corrosió.

detallada per representar als plànols, quan es tracta de reconèixer la presència de sediments, espeleotemes pavimentaris o acumulacions de blocs.

En el carst eogenètic del Migjorn i Llevant, els espeleòlegs terrestres tenen tradicionalment ben representada la riquesa en espeleotemes, els nombrosos casos de processos d'esfondrament i acumulació de blocs i l'escassetat de morfologies de dissolució en quedar desmantellades pels blocs a resultes dels processos d'esfondrament. Això és fàcil de reconèixer en el conjunt de topografies de cavitats realitzades pels espeleòlegs mallorquins abans de les topografies de cavitats o trams subaquàtics. La gran majoria de mapes disponibles representen, detalladament, les sales d'esfondrament amb la presència en planta de blocs caiguts i espeleotemes, fins i tot per sota del nivell freàtic (Fig. 10.5). Més recentment, no obstant això, la topografia realitzada en algunes cavitats subaquàtiques ha incorporat símbols específics amb la finalitat d'indicar la presència de morfologies de dissolució, com certs conjunts de formes de corrosió, incloent les morfologies espongiformes i galeries i conductes individuals (GRÀCIA *et al.*, 2005, 2006a, 2007a). Aquesta informació té un valor addicional, ja que els buits apareixen estructurats en horitzons de dissolució, per sota del nivell freàtic i són inaccessibles pels espeleòlegs convencionals terrestres.

10.5. Mapes de coves individuals

Els mapes de cavitats individuals tradicionals terrestres, en molts de casos han quedat modificats amb els nous descobriments efectuats pels espeleobussejadors, que han incrementat considerablement els mapes antics. La major part dels mapes de cavitats són artefactes de cada etapa de les exploracions, respecte de la veritable cova. En el carst eogenètic de Mallorca, se donen excel·lents exemples de cavitats que il·lustren el resultat de les noves tècniques d'exploració. Per exemple les coves del Drac de Portocristo i la cova Genovesa es varen explorar prèviament per espeleòlegs convencionals que elaboraven mapes detallats tradicionals que s'aturaven en arribar als llacs.



Figura 10.5: Fragment de la planta d'una topografia a on es veu clarament que es tracta d'una entrada d'esfondrament que davalla en rost fins als llacs. També està representada la continuació sota l'aigua en forma de trama.

La zona càrstica al voltant de Portocristo a on es troben les cèlebres coves del Drac, que reflecteix, a gran trets, les característiques típiques de les coves de la regió del carst del Migjorn i Llevant (GINÉS & GINÉS, 1989; GINÉS 2000a, 2000b). La part terrestre d'aquesta cova exhibeix globalment un conjunt de grans unitats d'esfondrament, connectades a l'atzar i envoltades perifèricament per llacs d'aigua salobre. Aquest patró és fàcil de reconèixer a través dels mapes publicats d'aquesta cova durant el darrer segle (MARTEL, 1896; MAHEU, 1912; FAURA & SANS, 1926; GINÉS & GINÉS, 1992; GINÉS *et al.*, 2007). La topografia de la cova actualitzada destaca la direcció en funció del drenatge de les aigües subterrànies. A la seva ubicació entre Portocristo i la encaixada i petita cala Murta. Fins ara, només algunes exploracions esporàdiques de espeleobussejadors havien afegir algunes extensions subaquàtiques

significatives a les coves del Drac (CLARKE, 1991). Les actuals exploracions efectuades a la cavitat han subministrat interessants novetats topogràfiques i espeleogenètiques que fan replantejar-se algunes teories clàssiques fins ara mateix al respecte (inèdit, consultar capítol 9.3).

La cova Genovesa també proporciona un bon exemple dels canvis notables en la seva planimetria com a resultat de les exploracions subaquàtiques i la topografia de detall. Fa vint anys, la cova coneguda incloïa només dues sales d'esfondrament típiques, prop de l'entrada. La topografia recent ha demostrat una ruta errant en direcció de cap a cala Anguilla, oculta als espeleòlegs convencionals, per sota de l'actual nivell freàtic (GRÀCIA *et al.*, 2003a). Tals descobriments suggereixen que les coves anteriorment conegudes, només són accessibles parcialment sense equip d'espeleobusseig. Això pot interpretar-se com que només són accessibles la part superior dels extensos sistemes de coalescència de sales, les arrels originals de les quals com són les galeries freàtiques es trobarien principalment a diferents cotes per sota de l'actual nivell del mar.

10.6. Mapes de sistemes de coves en el carst del Llevant i Migjorn

Els sistemes de coves es poden definir com un conjunt de coves interconnectades per passatges practicables o vinculats hidrològicament o bé com una cova amb un complex i extens recorregut de sales i galeries (GILLIESON, 1996). Com era d'esperar, només algunes de les coves topografiades encaixen dins d'aquest tercer nivell d'escala de la interpretació. A saber, la cova des Coll, la cova dels Ases, la cova de Cala Varques ACD o cova des Xuetes, el sistema Pirata-Pont-Piqueta, el sistema Gleda-Camp des Pou i es Dolç, tenen diverses entrades connectades. Complexos de coves extenses, incloent la cova des Pas de Vallgornera, la cova de Cala Varques B, la cova des Drac de Cala Santanyí, la cova d'en Bassol i les coves del Drac només tenen una entrada coneguda.

Com a resultat de les exploracions sistemàtiques subaquàtiques realitzades al llarg de les darreres dues dècades en els llacs glacioeustàtics de les cavitats del Migjorn i Llevant de Mallorca, diverses coves s'han connectat amb èxit sota l'aigua. L'exploració

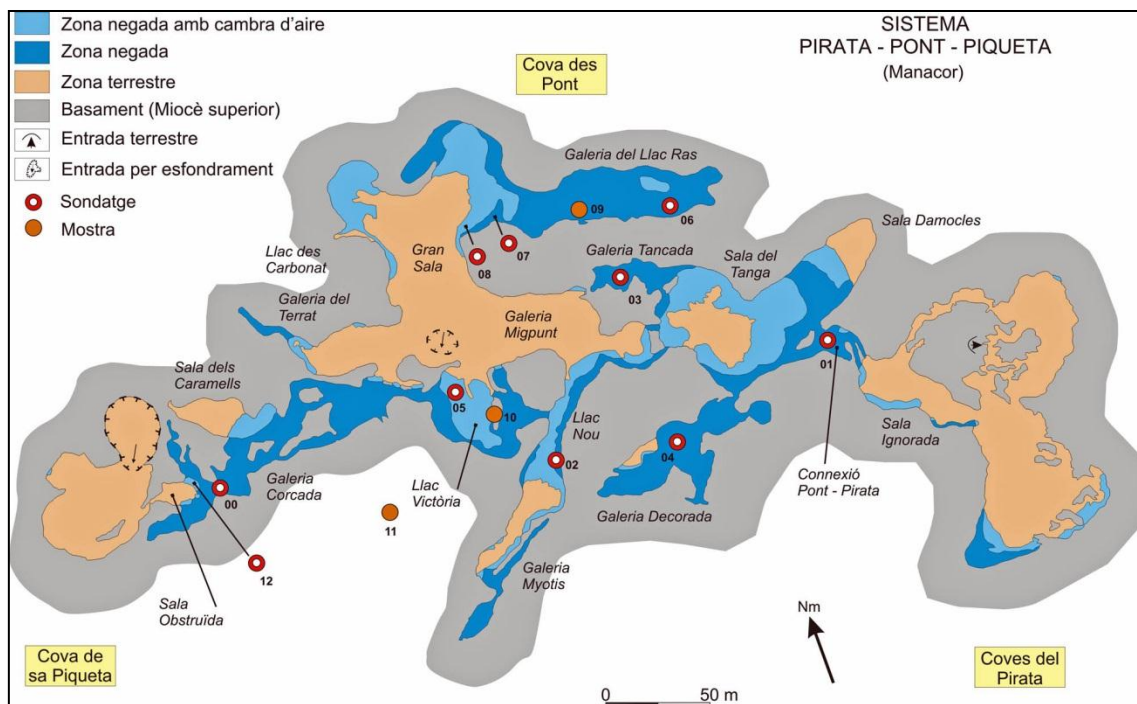


Figura 10.6: Sistema de coves enllaçades per galeries subaquàtiques. Hi ha marcades a la topografia mostres de sediments, el que implica la utilitat de la topografia per a altres aspectes a més a més del purament descriptiu o morfològic.

de dues d'elles (la cova des Coll i la cova dels Ases) van portar a una obertura directa al mar, demostrant una connexió hidrològica entre les coves i les sortides d'aigua salobre existents al llarg del litoral a través de conductes accessibles als espeleòlegs bussejadors. Això seria extensible a la cova des Drac de Cala Santanyí, la cova d'en Bassol, és Dolç i les coves del Drac, on només petits esfondraments o acumulacions de sediment impedeixen l'accés directe, però no la connexió des del punt de vista hidrogeològic entre les cavitats i la mar.

La cova des Coll té actualment més de 7 quilòmetres de galeries i sales explorades i topografiades, dels quals pràcticament la totalitat es troben sota l'aigua (GRÀCIA *et al.*, 2005) i destaca per la seva tendència clarament direccional. El patró de la cova no només inclou diverses sales d'esfondrament, sinó també notables galeries freàtiques o de dissolució que formen laberints de conductes. La cova dels Ases és un conjunt de sales d'esfondrament típiques connectades amb la mar a través d'una galeria totalment inundada (GRÀCIA *et al.*, 1997). En tota l'àrea càrstica de les cales de Manacor l'èxit de les exploracions proporcionen una visió sobre el patró del sistema de coves costaneres d'aquesta part de Mallorca. Tres sistemes de coves que s'han

desenvolupat no gaire lluny de la costa no mostren un drenatge directe cap al mar. El sistema Gleda-Camp des Pou té més de 13 km de sales submergides i grans galeries (GRÀCIA *et al.*, 2007). Les coves de Cala Varques ACD o cova des Xuetes consta de tres coves connectades que envolten la cala del mateix nom (GRÀCIA *et al.*, 2000), juntament amb la cova de Cala Varques B, la cova des Genet, la cova des Coloms II i la cova de ses Tortugues. El sistema Pirata-Pont-Piqueta (Fig. 10.6) mostra trajectòries erràtiques i caòtiques (més de 3 km) caracteritzat per la coalescència de vuit grans unitats d'esfondrament, sense connectivitat hidrològica eficient entre elles, i obert a la superfície a través de tres dolines d'esfondrament (GRÀCIA *et al.*, 2006). Els patrons de coves ramiformes dominen en aquests tres sistemes de coves veïnes. Emperò les exploracions prossegueixen i les novetats seguiran ampliant el coneixement del nostre carst eogenètic.

Capítol 11. CARACTERÍSTIQUES HIDROLÒGIQUES DE LES CAVITATS

11.1. Introducció

A l'illa de Mallorca es poden diferenciar diverses regions geològiques condicionades per l'estructuració postalpina. Aquesta estructuració configurarà l'illa en tres àrees muntanyoses (serra de Tramuntana, serres Centrals i serres de Llevant) que limiten dues conques sedimentàries o depressions (conca de Palma - Inca - Sa Pobla i conca de Campos - Manacor). Així mateix, encerclant gran part de les serres Centrals i les de Llevant, durant el Miocè superior s'instal·laren unitats esculloses que avui en dia conformen les Marines

(marina de Lluçmajor, de Llevant i Marineta). Exceptuant els aquífers localitzats a les depressions terciàries, a la resta de regions geològiques hi predominen els aquífers formats en roques carbonatades els quals en la majoria dels casos presenten processos de

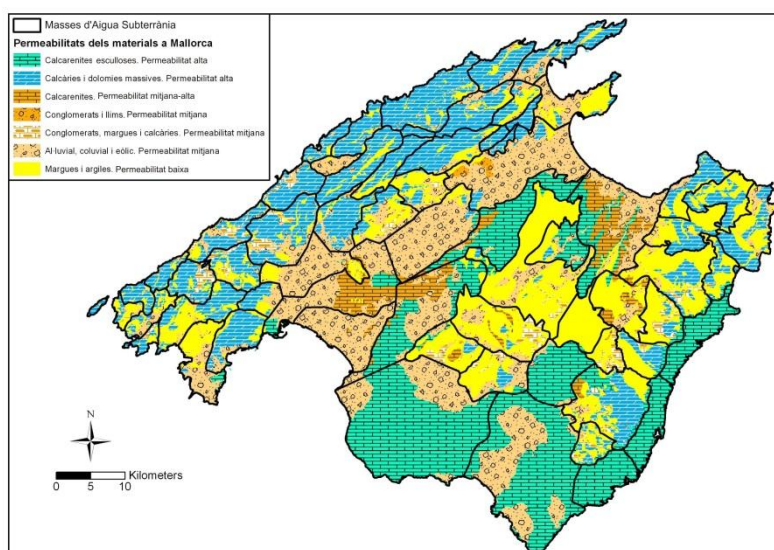


Figura 11.1: Els materials calcaris del litoral del Llevant i Migjorn, del Miocè superior i Plio-Pleistocè, han donat lloc a un funcionament hidrològic basat en la doble porositat. Unitats hidrogeològiques de Mallorca (GÓMEZ *et al.*, 2014).

carstificació. Algunes de les masses d'aigua càrstiques que s'han explotat intensament o més representatives de Mallorca es mostren a la Figura 11.1 (GIMÉNEZ, *et al.*, 2014).

En aquestes masses s'hi ha desenvolupat un carst que és visible en superfície mitjançant macroformes de relleu com poden ser canyons càrstics i àrees deprimides endorreiques. També s'hi han desenvolupat importants sistemes càrstics subterranis, dels quals ens ocupam en aquesta Tesi, que bàsicament aprofiten la porositat primària dels materials, al temps que segueixen els sistemes de fractures i les discontinuïtats sedimentàries. Aquests sistemes de galeries solen estar doncs orientats en direccions

localidad	lago	muestra	distancia al mar (m)	T (° C)	pH	C (μ S/cm)	TSD (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)
agua del mar	—	AM	0	25	8,2	—	—	10768,0	399,1	412,3	1292,0	141,7	2712,0	19353,0
Cova des Drac de Cala Santanyi	sala de entrada	CS-A1	58	17,6	7,0	40500	20000	8379,6	311,9	412,8	977,1	212,5	1733,8	18655,5
Cova den Passol	Sifó des Crancs	PS-A1	119	18,7	7,7	15500	7780	2849,0	100,6	252,5	336,6	202,3	567,8	6168,3
	Sifó des Somnis	PS-A2	187	18,9	7,3	14350	7810	2681,4	95,6	286,6	336,6	303,5	573,4	5911,3
Cova des Pas de Vallgornera	Platja des Fòssils	VL-A1	400	19,4	7,3	9140	4590	1843,5	65,4	153,4	215,3	264,0	362,2	3419,8
	s'Amfiteatre	VL-A2	400	19,6	7,5	6810	3430	1374,2	52,3	133,9	176,7	278,2	254,6	2719,0
Cova de sa Gleda	sala de entrada	GL-A1	1475	13,4	7,5	5920	2999	1039,0	38,2	155,9	135,4	317,7	138,6	2098,6
pozo nº 1	—	PZ-1	3400	18	7,6	4530	—	640	24	170	99	219	258	1339
pozo nº 2	—	PZ-2	6000	18	7,9	2850	—	360	17	140	66	244	102	720

Figura 11.2: Paràmetres de l'aigua superficial dels llacs d'algunes cavitats litorals. Per a cada mostra s'indica la distància al mar, la temperatura, el pH, la conductivitat i la salinitat total, quantificades per mitjà d'un conductímetre portàtil. En el laboratori es van determinar les concentracions dels ions. Extret de GINÉS (2000).

preferents i poden tenir longituds quilomètriques com en el cas de la cova des Pas de Vallgornera, a Lluçmajor.

Pel seu grau d'explotació, d'entre les masses conformades per materials calcaris del Miocè superior i Pliocè a Mallorca es pot destacar la massa de Llubí, de la qual l'any 2006 se n'extragueren 10,4 hm³, i la massa de Pont d'Inca, de la qual se n'extragueren 14,1 hm³ (SEP, 2011). La transmissivitat elevada d'aquestes masses i el fet que totes elles estan connectades amb el mar fan que la seva explotació sigui molt delicada. Aquesta circumstància, juntament amb l'explotació intensiva d'alguns sectors d'aquestes masses contingudes en els materials de les plataformes neògenes, han provocat que moltes d'elles estiguin afectades per processos d'intrusió marina.

Els mecanismes d'endocarfificació, que han afectat als materials calcaris del litoral del Llevant i Migjorn, especialment als dipòsits calcarenítics del Miocè superior i Plio-Pleistocè, han donat lloc a un funcionament hidrològic actual basat en la doble porositat (BAYO *et al.* 1986). L'elevada porositat intergranular dels materials seria responsable d'un comportament hidrodinàmic en certa manera similar al d'un aquífer isòtrop, portant al seu càrrec la funció capacitiva o d'emmagatzematge; d'altra banda la porositat secundària resultant de la dissolució càrstica, exercida seguint les pautes de fissuració, respondria en bona mesura de la funció transmissora del sistema, mitjançant l'establiment de xarxes de drenatge eficients (GINÉS, 2000).

Els trams de les cavitats inundades està regulat per la posició del nivell de la mar, que és la que determina la fondària a on es trobarà el nivell freàtic en materials d'elevada porositat primària i també secundària. La superfície de les aigües subterrànies es veu afectada, amb el normal desfasament, per les mareas baromètriques.

La figura 11.2. agafada de GINÉS (2000) replega alguns resultats de les anàlisis i mesures efectuades en alguns dels llacs de cavitats litorals. Per a cada mostra s'indica la temperatura i el pH mesurats in situ, igual que la conductivitat i salinitat total, quantificades per mitjà d'un conductímetre portàtil. En el laboratori es van determinar les concentracions de la resta dels ions. Tots els valors corresponen a la franja superficial de l'aigua dels llacs, indicant-se en cada cas la distància des del punt de mostreig a la línia de costa. És interessant destacar els elevats valors que presenten les variables analitzades en aquelles localitats més pròximes al litoral, sempre en clara relació inversa a la distància del punt de mostreig amb respecte a la línia de costa. Per observar millor aquesta tendència, llevat de les dades de quatre cavitats mostrejades i de l'aigua marina, s'inclouen els valors procedents de dos pous de Lluçmajor i Santanyí, però situats fins a 6 km terra endins (ITGE-98). Els valors més elevats de les variables es registren a la cova des Drac de Cala Santanyí, ja que es tracta d'un llac que posseeix una comunicació directa amb la mar oberta, presentant un quimisme proper al de l'aigua marina. Per contra, els valors mínims han estat obtinguts a la cova de sa Gleda, a una distància a la mar propera als 2 km. En tots els casos es detecta un decrement exponencial en les concentracions.

Així, l'aigua superficial dels llacs d'entrada oscil·len entre un 80% d'aigua salada en el cas de la cova des Drac de Cala Santanyí (situada a només uns 50 m de la costa), fins als 5% de la cova de sa Gleda que s'acosta als 2 km de distància a la mar. A la cova d'en Bassol, a poc més d'un centenar de metres de la mar, el percentatge estimat d'aigua marina supera el 20%.

11.2. Perfils verticals de salinitat i temperatura

L'estudi d'alguns perfils hídrics dels llacs d'entrada es va fer a GINÉS (2000) i ja es va fer patent la distribució típica vertical en franges d'aigua de diferent salinitat. El règim tèrmic i de salinitat d'algunes de les cavitats ha estat estudiat mitjançant sondes oceanogràfiques pertanyents a l'IMEDEA. L'aparell realitza lectures automàtiques cada

segon de salinitat, temperatura a més de la fondària, mentre es desplaçat molt lentament per un cabussador. Les dades posteriorment són transferides a un ordinador.

S'ha de dir que l'estudi en profunditat de les característiques físico-químiques de les aigües és una de les investigacions pendents a fer, especialment amb un seguiment estacional. Tanmateix, l'objecte de les nostres investigacions i la disponibilitat de les sondes ha fet que només s'han fet estudis de perfils hídrics puntuals i sense continuïtat en el temps al llarg de tot un any.

VARIACIÓ VERTICAL DE TEMPERATURES

El règim tèrmic de les aigües de les cavitats és bastant homogeni, llevat dels llacs d'accés a les coves que presenten una àmplia entrada i que acusen de forma notòria

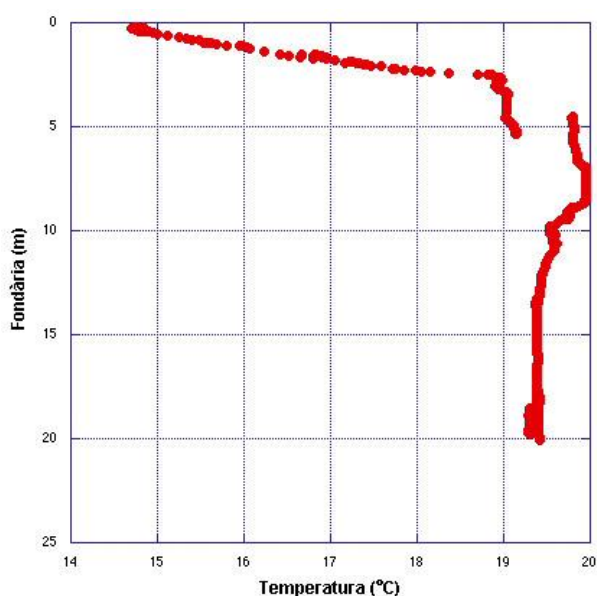


Figura 11.3: Perfil integrat de temperatura de l'aigua corresponent a la sala d'Entrada i la galeria Esfondrada de la cova Genovesa. Es distingeix una termoclina acusada entre la superfície i els 3 m de fondària, quan la temperatura de l'aigua s'estabilitza i es manté entre 19 i 20° C fins el fons de la cavitat. Es produeix una estratificació inversa, amb l'aigua més calenta ocupant les capes fones i la freda les superficials, tan característica dels llacs anquihalins.

les oscil·lacions tèrmiques de l'exterior (Fig. 11.3). És el cas de la cova de sa Gleda, el llac Victòria i alguns altres de la cova des Pont, la cova Genovesa i les entrades des Dolç, per posar alguns exemples. Per contra, entrades de cavitats estretes, o bé situades enfora de les entrades i per suposat llacs interiors no acusen diferències significatives tèrmiques en la columna hídrica.

Així les columnes d'aigua presenta una acusada estratificació tèrmica, si bé aquesta és inversa: l'aigua més calenta (entre 19 i 20 °C) ocupa les capes més fones de la cavitat (des de 3 m per avall), en lloc de trobar-se en superfície. Per sobre trobem una massa d'aigua en la que es desenvolupa una acusada termoclina (des dels 13°C de l'hivern a es Dolç, els 14'8 °C Genovesa o els 12,4°C de sa Gleda de la superfície als esmentats 19 a 20°C a uns 2 a 3 m de fondària). Aquesta estratificació inversa s'explica

per la salinitat més elevada de l'aigua marina, que la fa més densa que l'aigua dolça o salobre per molt freda que aquesta sigui. L'aigua superficial dels llacs és per altra banda més freda que la fonda per mor de la pèrdua de calor que pateix cap a l'atmosfera de la sala d'Entrada de les cavitats, en connexió amb l'exterior (Fig. 11.3). Aquest fet no passa a les cambres d'aire interiors, sense connexió directa amb l'exterior (sala del Pou Negre i sala de les *Bonellia viridis*).

A l'interior de la columna hídrica les variacions són molt petites, entorn a poc més d'1°C, ja que de 18,6 °C puja a devers 20°C. En perfils efectuats a sales interiors, sense comunicació amb l'exterior, efectuats a l'hivern dins la sala dels Dos Llacs de la cova de sa Gleda, la temperatura en superfície era de 19,5°C i pujava a 19,9°C a uns -5,5 m, per mantenir-se fins als -8 m i davallar als 18,6°C als -16 m, i d'aquí mantenir-se fins els -25 m. En aquesta sala interior, sense connexió amb l'exterior, únicament es donen oscil·lacions de temperatura de 1,3°C en tot el perfil hídric de 25 m. La columna d'aigua de la cova d'en Bassol presenta valors de 18,5°C en superfície, fins als 5 m, a on puja als 20°C, que es manté a la cota 6,5 m per després davallar ràpidament fins als 12 m en valors de 18,5°C.

La temperatura de l'aigua a la sala Benvinguda de la cova des Coll es manté en un mes d'octubre després d'un llarg període de sequera per sobre dels 20°C entre la superfície i 6 m de fondària (a 21,2°C), per davallar bruscament a 18,9°C en pocs metres. Aquests fets, amb temperatures superiors als 21°C reflecteixen clarament la influència marina en la porció superior de la columna d'aigua (el perfil de la figura fou realitzat a començaments d'octubre, quan la temperatura de la mar assoleix aquests valors). Aquesta franja d'aigua es veu afectada pels corrents intensos que es produeixen entre la mar i l'interior de la massa càrstica, a partir d'un comportament de tipus vasos comunicants. L'aigua marina entra dins la cova en baixar les pressions baromètriques, però nomé afecta a les capes superiors. L'aigua del fons de la cavitat es manté als voltants dels 18,8°C i 19°C, com altres masses d'aigua salada conegudes a cavitats litorals semblants d'altres indrets de les Balears. A es Dolç, la temperatura de l'aigua es manté pràcticament constant al llarg de tot el perfil mesurat, anant al voltant dels 19°C, exceptuant a la superfície dels llacs, on es fa notar la temperatura exterior i per aquest motiu pot tenir valors més elevats a l'estiu i més freds a l'hivern. A la cova des Pas de Vallgornera, la temperatura de l'aigua és força homogènia en tot el perfil mesurat, anant

dels 19,8°C a 0 m als 20,1°C a partir dels 4,5 m de fondària, per tant, les oscil·lacions de temperatura mesurades no superen els 0,3°C en tot el perfil hídric de 10 m.

VARIACIÓ VERTICAL DE SALINITAT

S'ha d'especificar què, malgrat les cavitats litorals presenten hídricament grans similituds, així i tot existeixen algunes particularitats que les distingeixen. No només la distància a la mar fa que l'amplitud de les franges d'aigua siguin diferents. Un altre factor afegit que implica característiques diferencials és la presència d'una connexió directa amb la mar. La intensitat dels corrents que drenen l'aigua de l'interior del massís càrstic, així com si presenten a més a més, importants entrades directes d'aigua marina alteren la disposició vertical de les capes d'aigua. També suposen diferències a nivell ecològic important que determinen la presència d'espècies marines filtradores. Es Dolç seria el cas d'una cavitat a on gairebé sempre predomina la sortida d'aigua i no s'ha detectat entrades importants de cap a l'interior. La cova des Coll i el Dolç de Cala Murta són les que coneixem amb més oscil·lacions d'entrades i sortides contínues. La cova dels Ases, a pesar de tenir una àmplia connexió submarina es troba aturada de forma directa, pels esfondrament que conformen la majoria del sector Antic.

Un altre grup de cavitats serien les que es troben comunicades de forma més

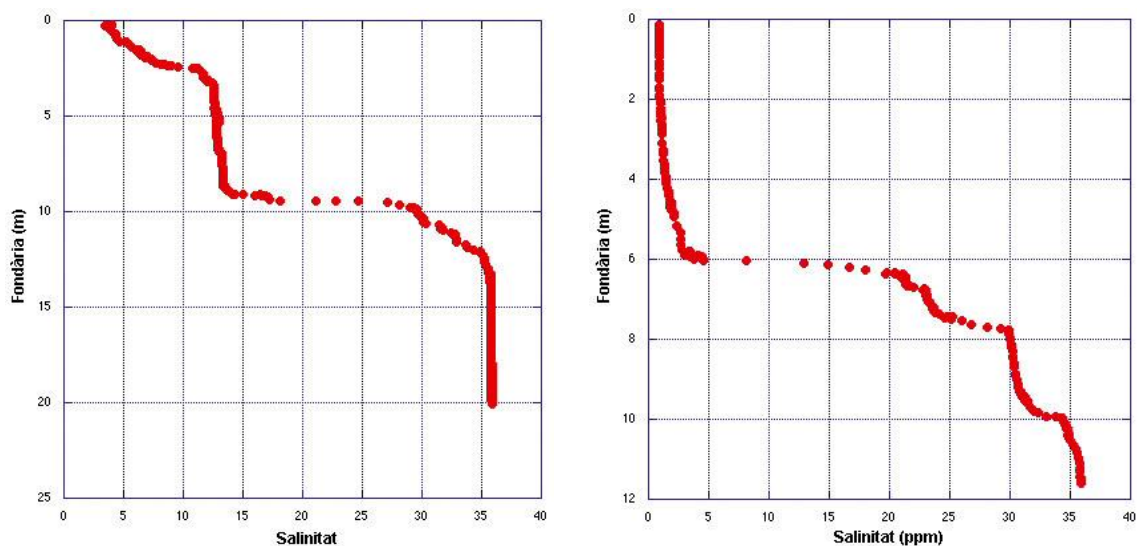


Figura 11.4: Cova Genovesa. Esquerra. Perfil de Salinitat (‰) integrat de la sala d'entrada i la galeria Esfondrada. Poden distingir-se clarament dues masses d'aigua ben diferenciades, una entre els 3 i els 9 m, i l'altra entre 13 i el fons de la cavitat (20 m).

Dreta. Distorsió del perfil de Salinitat (‰) a la sala del Pou Negre resultant de l'abocament incontrolat i continu de volums considerables d'aigües residuals. El gruix d'aigua dessalada és considerable (fins a 6 m, amb els 2 m més superficials amb salinitat inferior a l'1‰).

indirecta i amb corrents baromètrics menys intens que no pas les del grup anterior. Serien les que presenten un perfil més típic i menys alterable, i a on les diferències són a causa de la distància que les separa del litoral. S'han detectat a les cavitats presència de picnoclines múltiples (Fig. 11.4).

Algunes d'elles actuen com a engolidors de les aigües de superfície en produir-se intenses precipitacions, és el cas de la cova de sa Gleda, la cova des Pont i l'avenc des Camp des Pou principalment. En aquests casos el volum d'aigua i sediments que penetren pot ésser considerable.

Cova des Coll. Les particularitats hídriques, amb connexió directa amb la mar, amb forts corrents d'entrada i sortida segons el règim baromètric alteren el típic perfil de salinitat de la columna d'aigua, excepte a les capes inferiors a on es donen les característiques hidrogràfiques més constants (Fig. 11.5). Aquests corrents, temporalment i en alguns indrets, poden ésser espectaculars, com és en el cas del sector del Poble, a on es concentra el flux hídric a causa de la morfologia a escala de megaforma de la cavitat. Es té constància que en produir-se l'arribada dels efectes del terratrèmol d'Argèlia el dia 4 de juny de 2003 a les 18,33 la retirada de l'aigua de la mar va provocar corrents amb velocitats impressionants que sortien de la cova (informador Guillem Mas de

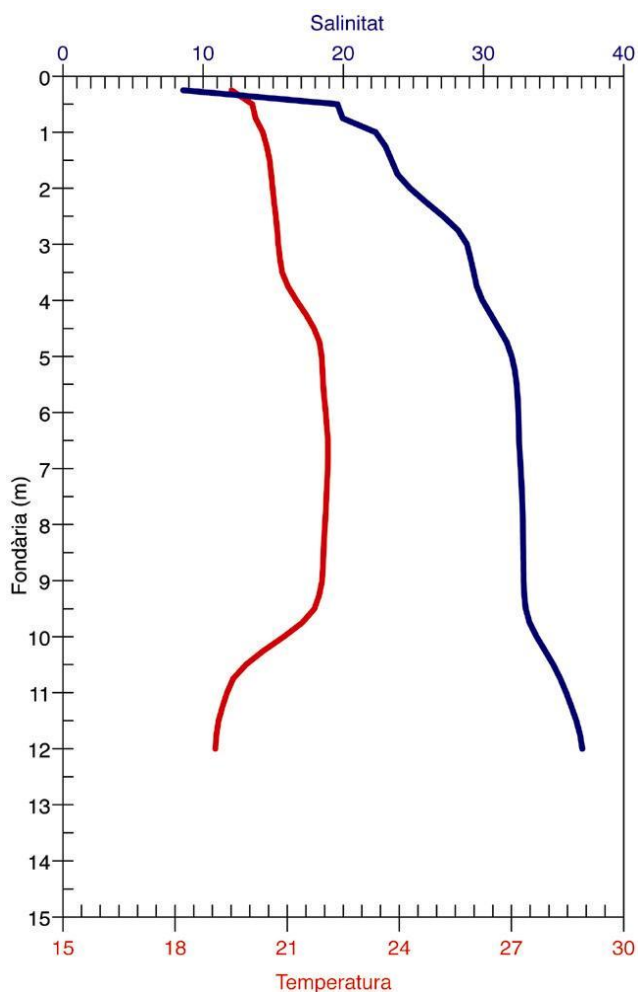


Figura 11.5: Perfil de salinitat (‰) i temperatura (°C) a la sala Benvinguda (cova des Coll) el mes d'octubre. Els corrents que es produeixen dins la cavitat fan que la columna d'aigua no sigui molt estable mecànicament, excepte a les capes inferiors a on es donen les característiques hidrogràfiques més constants.

Portocolom).

La columna d'aigua presenta a la sala Benvinguda quatre porcions ben diferenciades. En primer lloc, una acumulació lenticular d'aigua dessalada superficial molt prima (menys d'un metre de gruix), producte de la percolació i mescla de la escorrentia superficial sobre la massa d'aigua subjacent (Fig. 11.5). Aquesta és una capa salobre (fins a 5 m de fondària) producte directe del flux i reflux de la mar al llarg dels corredors de la cova, i llur mescla amb l'aigua dolça infiltrada. Segueixen dues capes: una, entre 5 i 10 m de fondària, pot qualificar-se com aigua marina modificada per dilució amb passats episodis d'intrusió d'aigua dolça i l'altre, de 10 m fins al fons, d'aigua pràcticament marina. La salinitat a la sala Benvinguda (sector dels Autèntics) en superfície és de 8 ‰ i puja progressivament a 20 ‰ només a 0,5 m de profunditat i d'aquí passa gradualment fins a 31 ‰ als 5 m. Dels 5 als 10 m pràcticament es manté constant fins que després augmenta ràpidament fins els 37,5 ‰.

Un fenomen molt interessant i encara no detectat a cap altre cavitat és l'existència d'un flux d'aigua vertical, especialment els mesos pluviosos, entre la galeria del Flux i la sala Benvinguda. Al llarg d'una bona part de la galeria l'aigua superior, menys densa i estratificada circula per damunt de la capa més salada que queda a baix fins assolir el laminador d'entrada a la galeria i puja de forma espectacular dels -9 m fins a la superfície (cota 0 m), fregant la paret de la sala Benvinguda. El sostre de la galeria actua de trampa hidrogràfica de la massa d'aigua en relació amb la massa de referència situada a les proximitats.

Cova Genovesa. L'aigua superficial és ja d'entrada salobrosa (salinitat al voltant del 4 ‰), i ens trobem immediatament una picnoclina superficial desenvolupada entre 1 i 3'5 m, on l'aigua ateny els 13'5 ‰ de salinitat (Fig. 11.4). Per davall d'aquesta cota la salinitat de l'aigua es manté estable fins als 9 m de fondària. Aquesta capa d'aigua situada entre els 3'5 i els 9 m constitueix una de les dues masses d'aigua caracteritzables a la cavitat. Dels 9 m fins als 13 m es desenvolupa una segona picnoclina, fins que l'aigua ateny salinitats pràcticament marines (36 ‰). Aquesta segona massa d'aigua marina ocupa la resta de la columna d'aigua, fins els 20 m de fondària màxima de la cavitat.

La comparació dels perfils de salinitat de la columna d'aigua als diferents sectors de la cova Genovesa ha permès detectar una distorsió important de la columna a la zona propera al pou negre, on el gruix de la lens superficial d'aigua dolça és apreciable (als 2 m superficials l'aigua té una salinitat inferior a 1 ‰, i no ateny els 5 ‰ fins als 6 m). Això s'explica per la intensitat dels abocaments d'aigües residuals en l'esmentada sala, i a l'aparent dificultat que aquesta aigua dolça contaminada ("aigües brutes") té per difondre's horitzontalment cap a la resta de sectors de la cavitat. La connexió d'aquestes sales amb la resta de la cavitat es fa pel laminador de la correntia situat entre -9'5 i -10 m de fondària, fet que dificulta la comunicació de l'aigua de les capes superficials (GRÀCIA *et al.*, 2003a).

Cova des Pont. La cavitat es comporta, en casos de fortes precipitacions, d'engolidor de les aigües dels voltants. Així, les intenses pluges arrosseguen aigua amb fang dins el llac Ras i llac Victòria, de forma que la visibilitat es torna gairebé nul·la a les zones més properes.

La columna d'aigua presenta quatre masses d'aigua amb característiques ben diferenciades (Fig. 11.6). En primer lloc, una capa d'aigua que va dels 0 als 1,8 m amb una salinitat que augmenta de 6 ‰ als 14 ‰. Dels 1,8 m als 4,5 m pràcticament es manté constant en 14 ‰ per després augmentar dels 4,5 m als 7 m, entre 14 ‰ i 33 ‰ fins que després es manté constant pràcticament al voltant dels 34 ‰.

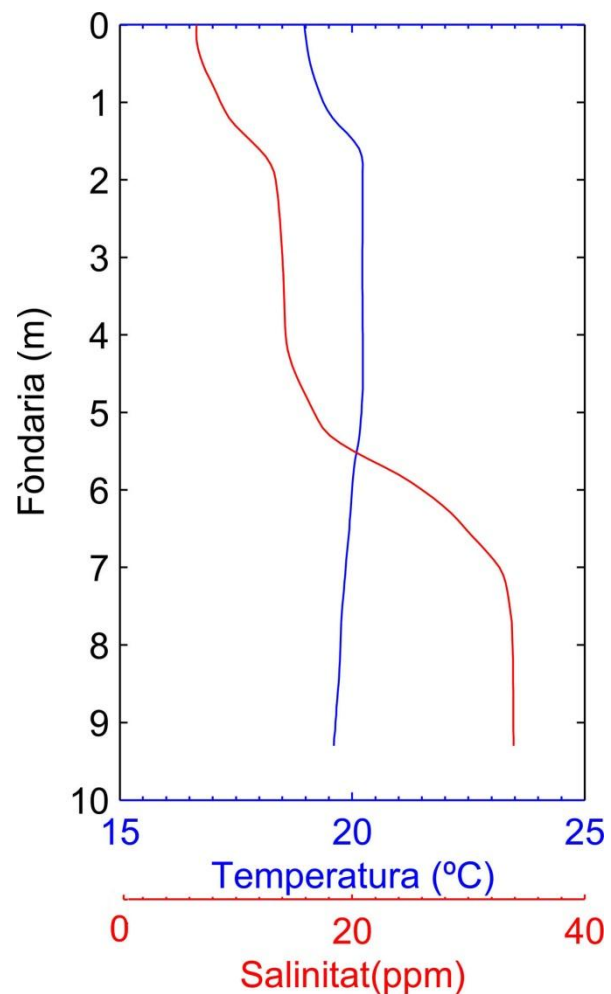


Figura 11.6: Perfil de salinitat (ppm) i de temperatura (°C) a la galeria Decorada (cova des Pont), sistema Pirata-Pont-Piqueta.

Algunes mesures del pH de diferents mostres d'aigua denoten aigües lleugerament àcides (entre 6,4 i 6,9), el que indicaria que els processos de corrosió de les aigües són actius actualment.

Cova de sa Gleda. La cova de sa Gleda presenta un perfil estratificat, que posseeix fins a 5 capes de diferent salinitat (Fig. 11.7). La cova posseeix per tant picnoclines múltiples, a causa de la distància considerable que la separa de la costa, que arriba als 1,7 km. La salinitat el mes de gener del 2005 en superfície donava valors de 4 ‰ i pujava gradualment fins als 9 ‰ als -2 m. A partir d'aquí fins als -5,5 m es produïa una primera estabilització fins als 10,5 ‰. Als -5,5 m passa de sobte dels 10,5 ‰ als 16 ‰

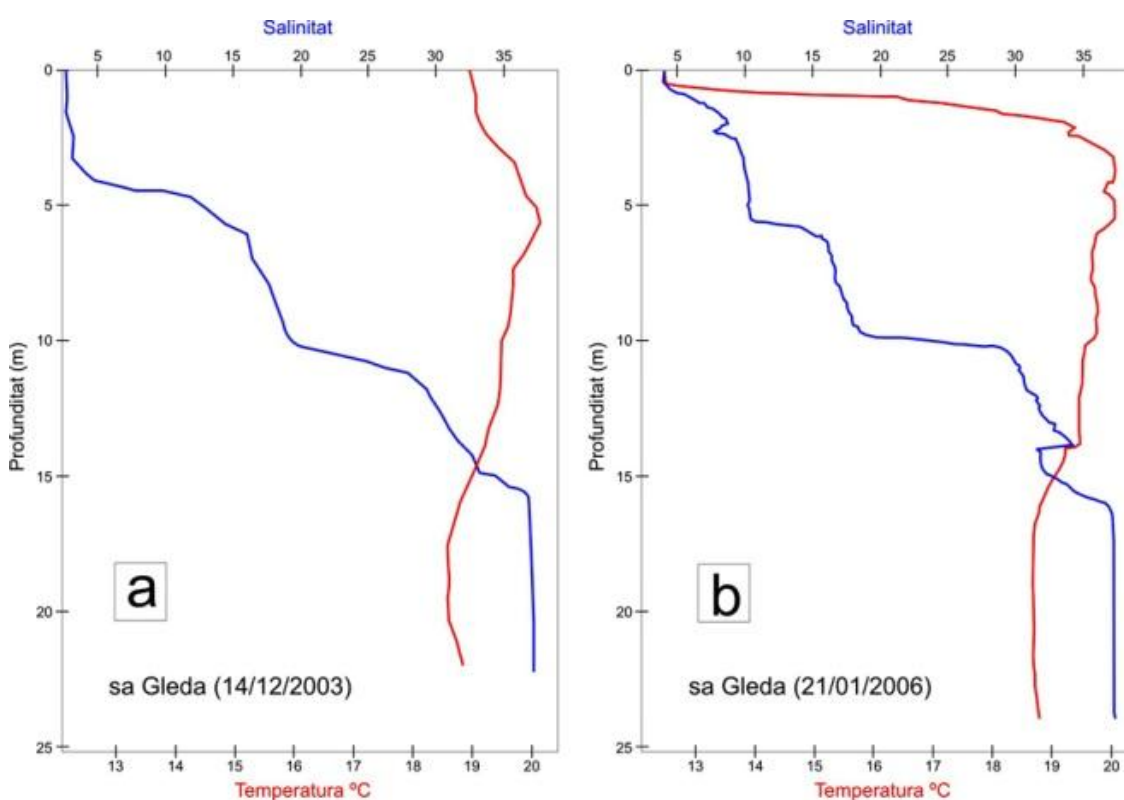


Figura 11.7: a) Perfil de salinitat (‰) i de temperatura (°C) a la sala dels Dos Llacs (Sistema Gleda-Camp des Pou) efectuat el mes de desembre de 2003. En aquesta sala interior, sense connexió amb l'exterior, la temperatura en superfície era de 19,5°C i únicament es mesuren diferències de temperatura de 1,3°C en tot el perfil hídric de 25 m. Els canvis d'aigües de menor a major salinitat al llarg de la columna d'aigua es produeix a zones de transició (zones de mescla) denominades haloclines o picnoclines (4 molt clares al perfil hídric). b) Dades de la sala Francesc Ripoll (sector Clàssic). La temperatura de l'aigua superficial en el llac de la sala d'Entrada al mes de gener de 2005 ha estat mesurada en 12,4°C, mentre que a 2 m de profunditat assoleix, en una termoclina espectacular, els 19°C. A partir d'aquest punt la temperatura es manté entre els 19°C i 20°C. La raó de la temperatura tan baixa als primers metres està relacionat amb la temperatura hivernal exterior, a causa de l'àmplia entrada de la cavitat.

formant el primer escaló important a la gràfica. Des d'aquí s'ha de davallar fins als -10 m a on la salinitat únicament assoleix els 19 ‰. En aquesta fondària es torna a produir el segon escaló fins a valors de 29,5 ‰. Dels -10 m fins als -16 m es produeix una pujada gradual fins als 37 ‰, per mantenir-se gairebé constant d'ençà d'aquesta cota fins als -25 m, màxima cota de la cavitat. Uns valors de salinitat i cotes de fondària molt semblants es van obtenir amb la medició d'aquesta variable el desembre de 2003.

Com és de preveure es produeixen petites oscil·lacions de les franges d'haloclines en funció de les estacions; així s'han mesurat diferències de 0,8 m a la cota d'haloclines entre l'estiu i l'hivern. Degut a la ubicació de la cova enmig d'una petita torrentera, l'única entrada actual penetrable (sala d'Entrada), es veu afectada per les aigües que conflueixen i es precipiten per la boca en cas de fortes precipitacions. Aquest fenomen ocorregué l'any 1990 i va ésser descrit per espeleobussejadors britànics (CLARKE, 1991-92), fenomen que va tornar a ésser observat l'any 2001, en el qual les fortes pluges van provocar l'entrada de sediment que van afectar especialment la sala Francesc Ripoll (GRÀCIA & CLAMOR, 2001a).

Cova d'en Bassol. La cova, per estar situada a poca distància terra endins, presenta l'aigua superficial ja d'entrada salobrosa (salinitat al voltant del

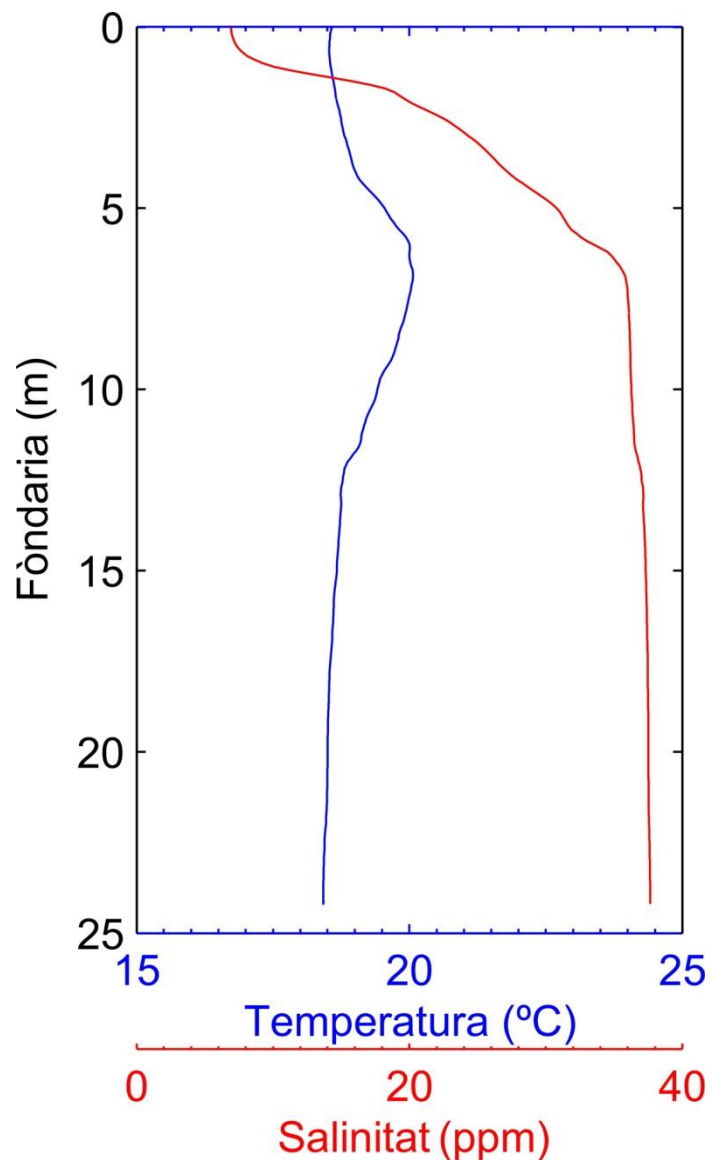


Figura 11.8: Característiques hidrològiques del sifó dels Somnis a la cova d'en Bassol. La proximitat a la mar caracteritza aquesta cavitat litoral.

7 ‰). Per davall, passa immediatament a una zona de mescla, entre 1 i 7 m, on l'aigua puja gradualment de salinitat i ateny els 36‰. A partir d'aquesta cota la salinitat de l'aigua es manté estable, augmentant molt lentament i de forma constant fins als 24 m de fondària, a on s'assoleixen els 38‰. Aquesta capa d'aigua situada entre els 7 i els 24 m constitueix la massa d'aigua principal i més estable de la cavitat (Fig. 11.8).

Es Dolç. Les mesures corresponen al dia 17-II-2012. Presenta dues capes de salinitat diferent (Fig. 11.9). La primera capa té uns valors d'increment gairebé constant des de 9 ‰ en superfície fins assolir a l'haloclina valors similars als de l'aigua de la mar, això és de 35‰. La cota a on es troba l'haloclina pot variar molt en funció de l'època de l'any entre els -6 i -11 m de fondària. És ben apreciable en alguns llocs com la massa d'aigua superior, més dolça, es desplaça a major velocitat de cap a la mar, per damunt de la massa d'aigua de major salinitat.

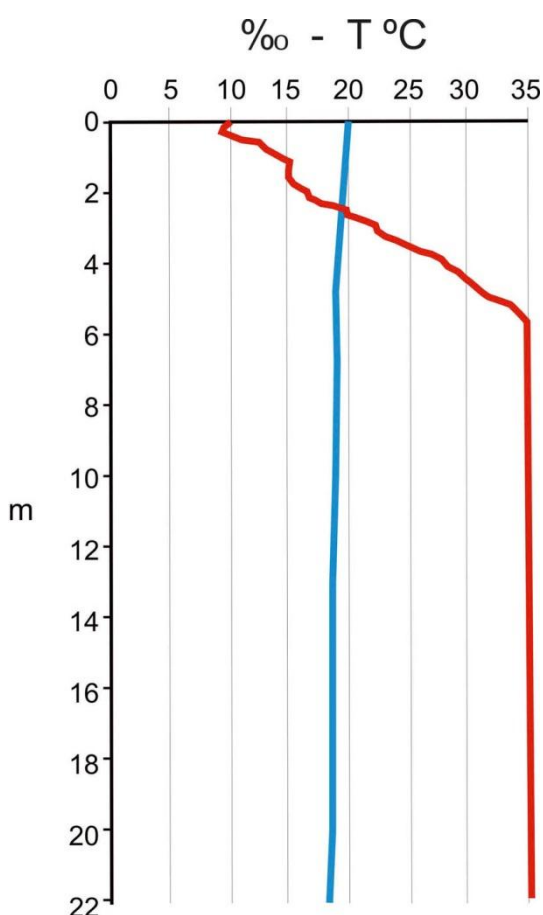


Figura 11.9: Perfil hídric d'Es Dolç entre 0 i -22 m, que mostra l'estratificació en dues capes de salinitat diferent.

Cova des Pas de Vallgornera. Les mesures corresponen al dia 28-VI-2008 (Fig. 11.10).

Els dos indrets de la cavitat on s'han pres les mesures són la galeria Collonuda Nord (sector de Gregal), entre -2,5 i -7 m i al sector Antic, entre 0 i -7 m. Les aigües presenten 3 capes de salinitat diferent, la primera capa té uns valors gairebé constants de 12 mS/cm des de 0 m fins als 1,5 m de fondària. Una segona capa de transició (picnoclina), entre -1,5 m i -3 m i augmenta la salinitat dels 12 mS/cm fins als 35 mS/cm. La darrera franja hídrica amb valors de 52 mS/cm abraça dels 3 m fins als 10 m de fondària i correspon ja a valors de salinitat quasi marina. Si es comparen els valors per als dos perfils, la galeria Collonuda Nord, en estar a les zones més internes presenta una menor salinitat de la capa superior, encara que assoleix els valors

de la piconclina a la mateixa cota. Com és de preveure es produeixen petites oscil·lacions a escala centimètrica de les franges de piconclines en funció de les estacions i del règim de precipitacions.

11.3. Les cavitats com a surgències submarines

Les surgències submarines, anomenades dolços a Mallorca, en ocasions provenen de cavitats assequibles a l'home mitjançant tècniques d'espeleologia subaquàtica GRÀCIA *et al.*, (2011a, 2011b).

Cala Murta, al terme de Manacor, posseeix una gola de 100 metres d'amplària, amb 225 metres de recorregut longitudinal i 45 d'amplària mitjana. L'aiguaneix sorgeix gairebé al fons de la cala, al costat

nord i a pocs metres de fondària i procedeix d'una cavitat d'uns 100 metres de recorregut lineal. En períodes de pluges intenses seguides de bonança a la mar, la surgència flueix amb un gran cabal. A més a més del drenatge de l'aigua dolça d'infiltració, la davallada del nivell marí en condicions d'altres pressions baromètriques, és un factor primordial per explicar la sortida de l'aigua, que adquireix gran espectacularitat i fins i tot produeix turbulències ben visibles des de les penyes. Per contra, la deposició de sediments marins pels temporals, especialment arenes, i els corrents marins d'entrada, poden arribar a reblir el conducte subterrani. En canviar les condicions atmosfèriques, el flux d'aigua de sortida arriba a ésser tan fort que

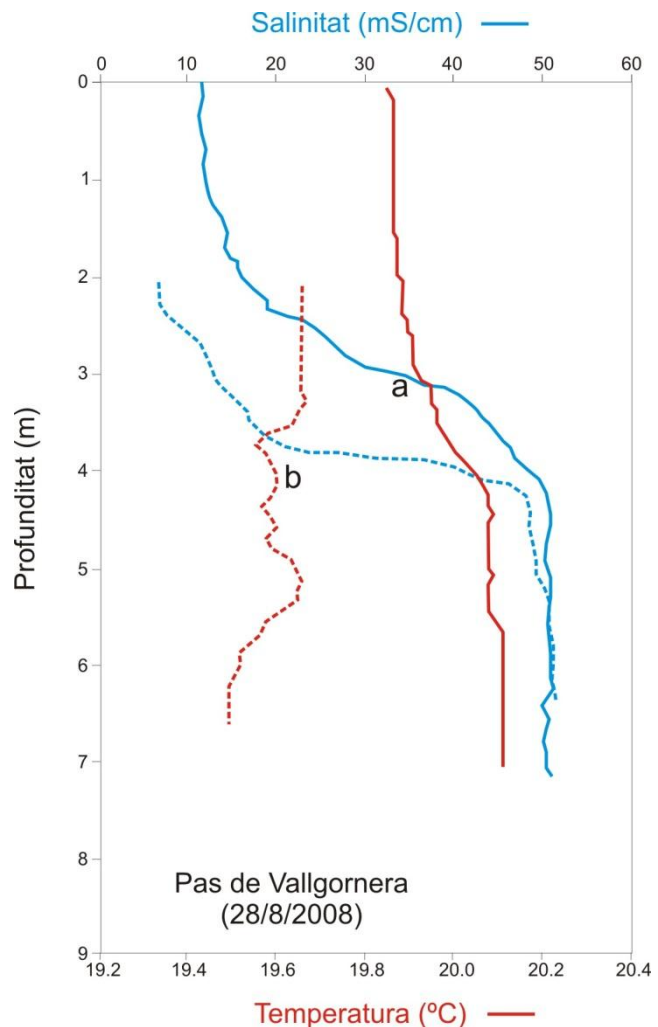


Figura 11.10: Perfil hídic de dues localitzacions de la cova des Pas de Vallgornera. a) Branca Oriental del sector Antic, entre 0 i -7 m; b) Sector Subaquàtic de Gregal, entre -2,5 i -7 m. GRÀCIA *et al.* (2009a).

buida novament d'arenas la galeria. Aquest aiguaneix sens dubte està relacionat amb les coves des Drac, del qual està separat per pocs metres de distància. Més al sud, la cova des Coloms de Cala Varques, relacionada genèticament amb la cova des Genet, de la qual està separada per un esfondrament, actua com a dolç de la cala.

A Portocolom (Felanitx), es troba es Rivetó, nom aplicat a una raconada del port que recorda una cala interior. Aquest topònim sol estar associat a surgències submarines, com s'Esdolç o barraques d'Aigo Dolça (AGUILÓ, 1991). L'aiguaneix, que surt de dins un escar, constitueix l'entrada submarina a la cova des Coll, important formació endocàrstica de 7.090 metres amb fort control estructural, a on la permeabilitat associada a la fracturació adquireix major rellevància, en presentar aquests materials una porositat bastant més baixa que els dipòsits escullosos d'altres indrets de la regió del Migjorn (GRÀCIA *et al.*, 1997, 2005). Els canvis baromètrics es tradueixen en corrents de sortida o d'entrada, a mode de vasos comunicants, per compensar la diferència de nivell de la mar i de les aigües subterrànies. D'aquesta manera, quan puja la mar, a causa de la comunicació directa que té amb la cova es produeix l'entrada de l'aigua. El fenomen contrari passa en davallar el nivell de la mar, quan l'aigua surt de la cavitat cercant l'equilibri hidrostàtic. Un cas extraordinari del qual es té constància va succeir en produir-se l'arribada dels efectes del terratrèmol d'Argèlia el dia 4 de juny de 2003 a les 18,33. La retirada de l'aigua de la mar va deixar es Rivetó en eixut. Aquest fenomen va provocar corrents amb gran força que sorgien del Dolç i que fins i tot arrabassaren els llaüts que es trobaven amarrats a les proximitats de l'escar.

A 2,5 km al sud es troba cala sa Nau, a on la toponímia recull un altre topònim de rivetó. L'aigua brolla sota l'arena del fons marí al costat sud de la platja, a poc més d'un metre de fondària. Aquest dolç procedeix de la cova de ses Barraques, molt propera a la cova d'en Bassol i caracteritza la platja, ja que suposa un contrast tèrmic important. A l'estiu l'aigua que surt del sistema endocàrstic pot suposar una diferència tèrmica entre la mar i les aigües subterrànies d'entre 6 i 10°C.

També la cova des Riu a cala Santanyí presenta aquest topònim i constitueix l'aiguaneix provinent de la cova des Drac de Cala Santanyí.

En un paisatge litoral del tot diferent, sense penya-segats, com són les platges de la Colònia de Sant Jordi, es troba es Dolç, a ses Salines. Cedeix el seu nom a tota la platja, per la menor salinitat de l'aigua a la mar i per l'espectacular sensació tèrmica del contrast, entre l'aigua de la mar i l'aigua subterrània que aflora a la bassa des Dolç.

Capítol 12. LES MORFOLOGIES DE CORROSIÓ DE LA ZONA DE MESCLA D'AIGÜES

12.1. Introducció

El litoral és la franja de la costa que es veu influenciada per la presència o l'acció de la mar. A Mallorca el litoral és de naturalesa carbonatada i al seu interior tenen lloc importants processos geoquímics i espeleogenètics (MYLROIE & CAREW, 1990). La litologia porosa i permeable d'aquests materials al litoral del Llevant i Migjorn de l'illa, possibilita la intrusió de les aigües marines de cap a l'interior al llarg de quilòmetres. Les oscil·lacions glacioeustàtiques quaternàries (GINÉS, 2000) fan que el nivell de la mar hagi oscil·lat per damunt i per davall del nivell actual en funció dels canvis climàtics càlids i freds respectivament. Així, la línia de costa ha canviat amb el temps, amb la qual cosa el concepte de litoral adquireix una nova dimensió i una major complexitat espacial i temporal.

L'extensió de la franja litoral en el carst és variable en funció de la morfologia i dinàmica costera, essent especialment important en relació als aspectes geoquímics de la mescla d'aigües meteòriques i marines (HANSHAW & BACK, 1979). S'ha d'obviar l'accepció de carst litoral com a centrada única i exclusivament en el micromodelat superficial (lapiaz litoral o costaner), ja que s'ha d'ampliar el concepte a l'endocarst, això és, a tot el conjunt de conductes, galeries, o sales i altres morfologies de dissolució, així com a altres processos evolutius en els quals intervé la influència marina en el sentit de FORD & WILLIAMS (2007). Amb aquest capítol s'intenta arreplegar i compilar la informació disponible sobre les morfologies de dissolució de les cavitats litorals del Miocè superior de Mallorca, lligades a la zona de mescla d'aigües (GRÀCIA *et al.*, 2011c; GRÀCIA & FORNÓS, 2014). El catàleg de formes de corrosió de les cavitats litorals és especialment interessant des d'un punt de vista genètic. S'ha de tenir present que el seu estudi i anàlisi pot permetre comprendre i valorar els primers estadis de formació i evolució de l'endocarst litoral, ja que aquestes morfologies són les generadores de les pròpies cavitats, que per elles mateixes són ja morfologies de corrosió a nivell de megaformes. Algunes de les morfologies compilades en aquest apartat poden trobar-se també a les cavitats que s'han generat totalment o parcial per aigües hipogèniques i també pot tractar-se d'un origen poligenètic.

12.2. Espeleogènesi

La carstificació litoral, especialment a les illes carbonatades, té lloc amb l'actuació dels processos de dissolució a la zona de mescla entre aigües marines i aigües meteòriques, la qual afecta molt sovint a materials geològicament recents, a l'anomenat carst eogenètic (GINÉS & GINÉS, 2007). A pesar d'aquesta suposada simplicitat, altres aspectes contribueixen al control espeleogenètic de les cavitats litorals. Així hi ha morfologies lligades genèticament a la carstificació epigènica produïda pel drenatge de les precipitacions meteòriques així com, en alguna localitat, altres formes lligades a una possible recàrrega basal hipogènica (GINÉS *et al.*, 2008, 2009a) relacionada amb anomalies geotèrmiques, a la zona del Migjorn de Mallorca. Tot això condicionat per la litologia calcarenítica, que presenta abundants canvis de fàcies, tant verticals com horitzontals, que provoquen variacions fonamentals en els paràmetres hidrològics com són la permeabilitat i la porositat. En ocasions, la presència de zones de les coves que es desenvolupen associades a diferents fàcies, com són les fàcies de front d'escull i les fàcies de *lagoon* creen una gran variabilitat de morfologies (GINÉS *et al.*, 2008, 2009b; GRÀCIA *et al.*, 2009b). La roca, en el primer cas, és molt porosa (amb gran porositat primària i mòldica), en comparació amb la de la fàcies de *lagoon* d'aspecte més massiu, molt poca porositat primària i només amb permeabilitat secundària deguda a la fracturació. Aquest contrast litològic, fins i tot dins la mateixa cavitat, constitueix un excel·lent motiu d'investigació de les morfologies de corrosió resultants.

12.3. Hidrologia

La gènesi de les cavitats i de les morfologies de corrosió que presenta l'endocarst de la franja litoral es produeix amb especial intensitat dintre dels materials eogenètics del Miocè superior, Pliocè i Pleistocè; aquests fenòmens es relacionen amb els complexos mecanismes que es donen a la zona de mescla de les aigües dolces (aigües meteòriques) i de l'aigua salada (aigua marina), a l'anomenada zona de mescla costanera (*coastal mixing zone*). Les cavitats litorals estudiades presenten un perfil hídric amb una marcada estratificació que pot arribar a constar de fins a cinc capes amb diferent salinitat (GRÀCIA *et al.*, 2007a), les quals es disposen en ordre creixent de salinitat, per efecte de les diferències de densitat. Els canvis de menor a major salinitat al llarg de la columna de l'aigua es produeixen a zones de transició (mescla)

denominades haloclines o pycnoclines. Les zones de mescla en aquests medis hipogeus tan tranquils resten molt estables al llarg del temps, produint-se petites variacions que es tradueixen en lleus oscil·lacions centi-decimètriques condicionades per la dèbil oscil·lació mareal del Mediterrani occidental, les oscil·lacions baromètriques i les aportacions superficials d'aigües meteòriques. La temperatura també resta estable al llarg de la columna hídrica (entre els 18 i 20°C), només amb variacions significatives (al voltant dels 5°C) als primers metres, coincidint amb les variacions estacionals en el cas dels llacs amb una connexió directa amb l'exterior de mida important.

12.4. Catàleg de morfologies de corrosió

Tradicionalment s'ha dedicat sempre molta d'atenció i reconeixement a les formacions litoquímiques o espeleotemes, que es troben a les cavitats com a conseqüència dels mecanismes de precipitació, i s'han menyspreat les formacions primàries, generades pels mecanismes de dissolució de les aigües químicament agressives. Antigament, i encara ara, és habitual parlar de morfologies espongiformes (*spongework*) de forma global per incloure gran part de les morfologies de dissolució freàtica presents. Però creiem que és important intentar anar més enllà d'aquesta generalització i aprofundir en la riquesa de les formacions primàries. És com si tots els espeleotemes no es tractessin més que de forma global, sense entrar en la gran riquesa de tipologies que existeixen. D'ençà de les exploracions iniciades l'any 1994 a la cova des Coll i a la cova des Pas de Vallgornera, amb la troballa d'una gran riquesa de formes de corrosió, es va veure la pobresa dels termes que s'empraven i la necessitat d'aclarir i aprofundir en l'estudi d'aquest aspecte de l'endocarst.

Les dificultats per catalogar i sistematitzar les morfologies primàries rau molt sovint, en la dificultat d'atribuir les morfologies de corrosió a una determinada tipologia, ja que es presenten juxtaposicions de diferents classes, amb formes intermèdies i diferents gradacions d'intensitat en el procés de la dissolució. També les variacions de mida de les morfologies suposa un increment de la dificultat de classificació. La litologia juga així mateix un paper clau en el desenvolupament i evolució de les morfologies de corrosió, afavorint de forma preferent algunes tipologies segons la facilitat de dissolució de la roca (Figs. 12.1, 12.2).

Català	Anglès	Castellà	Fàcies de roca preferents
MEGAFORMES (d'ordre quilomètric a hectomètric)	MEGAFORMS (kilometric to hectometric order)	MEGAFORMAS (de orden kilométrico a hectométrico)	
Sistemes de cavitats ramiformes	<i>ramiform caves</i>	Sistemas de cavidades ramiformes	FE, RE
Xarxes freàtiques amb fort control estructural	<i>structural networks</i>	Redes freáticas con importante control estructural	LE
MACROFORMES (d'ordre hectomètric a decamètric)	MACROFORMS (hectometric to decametric order)	MACROFORMAS (de orden hectométrico a decamétrico)	
Galeries freàtiques de control estructural estratigràfic	<i>bedding-plane phreatic passages</i>	Galerías freáticas de control estructural estratigráfico	FE, LE, LI
Galeries freàtiques de control estructural tectònic	<i>joint-guided phreatic passages</i>	Galerías freáticas de control estructural tectónico	LE
Galeries freàtiques de secció circular	<i>tubular passages</i>	Galerías freáticas de sección circular	FE, RE
Salas freàtiques circulars	<i>globular halls</i>	Salas freáticas circulares	FE, RE
MESOFORMES (d'ordre decamètric a mètric)	MESOFORMS (decametric to metric order)	MESOFORMAS (de orden decamétrico a métrico)	
Cambres freàtiques circulars	<i>phreatic chambers, globular chambers</i>	Cámaras freáticas circulares	FE, RE
Columnes de roca	<i>rock pillars</i>	Columnas de roca	FE, RE, LE, LI
Envans	<i>partitions, rock spans</i>	Tabiques de disolución	LE, FE
Ponts	<i>bridges</i>	Puentes	LE, FE
Facetes	<i>solution facets</i>	Facetas	LE
Regates de corrosió	<i>corrosion notches</i>	Entalladuras de corrosión	LE
Morfologies espongiformes	<i>spongework</i>	Morfologías espongiformes	FE, RE, LE
Galeries cegues	<i>dead ends</i>	Galerías ciegas	FE, RE, LE
Conductes seminals o iniciadors		Conductos seminales o iniciadores	FE, RE, LE
MICROFORMES (d'ordre mètric a centimètric)	MICROFORMS (metric to centimetric order)	MICROFORMAS (de orden métrico a centimétrico)	
Morfologies espongiformes	<i>spongework</i>	Morfologías espongiformes	FE, RE
Arcs	<i>archs</i>	Arcos	LE, FE, RE
Pinacles	<i>çers</i>	Pináculos	LE, FE, RE
Esperons	<i>rocky jags</i>	Acicates	LE, FE, RE
Penjants	<i>rock pendants</i>	Colgantes rocosos	LE, FE, RE
Concavitats poc marcades	<i>subdued pockets</i>	Concavidades poco pronunciadas	FE, RE, LE
Tupins de paret, sostre i pis	<i>wall pockets, ceiling pockets, floor pockets</i>	Concavidades alveolares de pared, techo y suelo	FE, RE, LE
Cúpules	<i>cupolas, bellhollers</i>	Cúpulas	FE, LE
Nínxols de paret	<i>wall niches</i>	Nínchos de pared	FE, RE, LE
Canals subverticals de dissolució	<i>wall combs</i>	Canales subverticales de disolución	LE

Figura 12.1: Inventari de morfologies de corrosió en català, anglès i castellà. A la darrera columna s'indica la fàcies de roca preferent a on es desenvolupen: Front escullós (FE), Rera escull (lagoon amb clapés d'escull) (RE), Lagoon extern (LE), Lagoon intern (LI).

El seu estudi a Mallorca s'ha anat incrementant progressivament gràcies a les recerques i aportacions efectuades per l'equip d'espeleòlegs subaquàtics del Grup Nord de Mallorca a les coves del Migjorn i Llevant mallorquí (GRÀCIA *et al.*, 1997, 1998a, 1998b, 2000, 2003b, 2005, 2006a, 2006b, 2007a, 2009a, 2009b, 2010a, 2010b, 2011b; 2011c; GRÀCIA & FORNÓS, 2014) i a l'equip d'espeleòlegs que exploren i documenten la cova des Pas de Vallgornera (MERINO, 1993, 2000, 2006, 2007a, 2007b; MERINO *et al.*, 2006, 2008, 2009; GINÉS *et al.*, 2008, 2009b, 2009c i 2011c). Alguns dels termes inicialment emprats corresponen a BRETZ (1942), NÚÑEZ JIMÉNEZ (1967), FORD i WILLIAMS (1989) i SLABE (1995). Aquí no tractam de les



Figura 12.2: Exemple de la complexitat i superposició de morfologies de corrosió. Es poden apreciar morfologies espongiformes al sostre i parets, així com facetes i solcs verticals superposats. Cova des Pas de Vallgornera. Foto A. Cirer.

morfologies generades exclusivament pels processos hipogènics de caràcter hidrotermal, ja que es tracten a un altre capítol.

El catàleg de formes s'ha estructurat en 4 categories diferents (Fig. 12.1). **Megaformes** (organització de les xarxes endocàrstiques), **macroformes** (morfologies d'ordre hectomètric a decamètric), **mesoformes** (morfologies d'ordre decamètric a mètric) i **microformes** (morfologies d'ordre mètric a centimètric). Algunes de les morfologies es poden trobar a la vegada en dues categories diferents.

Les diferents formacions primàries es presenten sovint imbricades i superposades a diferents escales de mida. De forma global podem pensar que la cavitat, per ella mateixa, correspon a una *megaforma* (d'ordre quilomètric a hectomètric). En aquest cas aquesta megaforma, estaria formada per un conjunt de diferents galeries i sales que les podríem agrupar dins la consideració de *macroformes* (d'ordre hectomètric a decamètric). La galeria, considerada ella mateixa una forma de dissolució, podria presentar, a tall d'exemple, a ambdós costats, regates i facetes que serien considerades com a *mesoformes* (d'ordre decamètric a mètric) i que podrien estar situades sovint a

diferents nivells. Les facetes, a la seva vegada, podrien presentar solcs subverticals sobreposats; en aquest cas parlariem de les *microformes* (d'ordre mètric a centimètric).

MEGAFORMES

Corresponen a aquest grup les morfologies de corrosió d'ordre quilomètric a hectomètric i corresponen a la pròpia organització de les xarxes endocàrstiques litorals.

Sistemes de cavitats ramiformes (*ramiform caves*)

Una sèrie d'unitats d'esfondrament s'han anat connectant i creixent tridimensionalment (GINÉS & GINÉS, 2007; GRÀCIA *et al.*, 2007a, 2010a), fins a donar lloc a una disposició en planta de caràcter *ramiforme* en el sentit enunciat per PALMER (2007). Aquest patró més aviat aleatori es veu fortament condicionat per la litologia dels dipòsits carbonatats del Miocè superior (GINÉS *et al.*, 2008, 2009b), essent possible observar-ho amb claredat en les fàcies de front d'escull, com a resultat de la dissolució extensiva de les construccions de coralls.

Exemples ben representatius d'aquestes megaformes són el sistema Pirata-Pont-Piqueta (TRIAS & MIR, 1977; GRÀCIA *et al.*, 2006a), la cova Genovesa o d'en Bessó (GRÀCIA *et al.*, 2003a, 2003b), el sistema Gleda-Camp des Pou (GRÀCIA *et al.*, 2007, 2010a; GINÉS *et al.*, 2008), les coves del Drac (GINÉS & GINÉS, 1992) i els sectors més propers a la línia de costa de la cova des Pas de Vallgornera, a on es troben les sales d'esfondrament excavades a les fàcies d'escull.

Xarxes freàtiques amb fort control estructural (*structural networks*)

Les fàcies corresponents a ambients de *lagoon* del Miocè superior postorogènic de les Balears, presenten una porositat relativament baixa i una permeabilitat relativament alta associada a la fracturació (GINÉS *et al.*, 2008, 2009). Dins d'aquesta litologia, algunes localitats del Migjorn de Mallorca com la cova des Coll, a Felanitx (GRÀCIA *et al.*, 2005), constitueixen extensos sistemes freàtics litorals on és ben patent un fort control estructural (diàclasis i fractures en general) pel que fa a la disposició en planta de les cavitats. Es tracta d'un subtipus de cova de la zona de mescla litoral, però caracteritzat per un patró planimètric (GINÉS *et al.*, 2009) marcadament rectilini, força diferent en relació al caràcter *ramiforme*, abans descrit, de les coves excavades dins els materials escullosos. Per altra banda, els sectors interns de la cova des Pas de

Vallgornera, desenvolupats en fàcies de *lagoon*, estan constituïts per un extens laberint de galeries, controlades estructuralment per importants fractures on predomina la direcció SW-NE. Amb una freqüència menor, els plans d'estratificació poden assolir un paper important en el desenvolupament d'algunes coves litorals, com succeeix a la cova Figuera, a Manacor (GINÉS & GINÉS, 2009).

MACROFORMES

(morfolgies de corrosió d'ordre hectomètric a decamètric)

Galeries freàtiques de control estructural estratigràfic

(*bedding-plane phreatic passages*)

La dissolució aprofita els plans d'estratificació, i genera seccions horitzontals (Fig. 12.3), en ocasions d'amplades importants. Al sistema Gleda-Camp des Pou suposen una part important de les galeries de la cavitat i explica l'elevat quocient entre l'amplària i l'alçària dels àmbits (la sala dels Paleonivells, els laminadors prop del pas de l'Apocalipsi, part de les galeries de les Haloclines, algunes zones del sector de la Unió).



Figura 12.3: Galeria freàtica de control estructural estratigràfic del sistema Gleda-Camp des Pou. S'aprecia que la galeria segueix un pla d'estratificació que condiciona la seva secció de tendència horitzontal (Foto: A. Cirer).



Figura 12.4: Galeries freàtiques de control estructural tectònic de la cova des Coloms de cala Falcó i de la cova des Coll. Les diàclasis han servit de línies de menor resistència per a la corrosió i donen lloc a les galeries que en secció transversal tenen una tendència vertical (Fotos: A. Cirer i M. Perelló).

En el cas de la cova des Coll formen una part important de les galeries del sector del Poble, sector del Descobriment, sector del Patatús i sector dels Autèntics. A la cova des Pas de Vallgornera hi ha importants galeries d'aquest tipus, dins la fàcies de *lagoon* extern, al sector Subaquàtic de Gregal a on les amplades són molt importants (en alguns llocs superen els 25 m). La part final de la galeria Grup Nord de Mallorca, a on entra ja dins el *lagoon* intern, presenta el sostre totalment pla i també les podem incloure en aquesta tipologia. A la fàcies de front d'escull, al sector Antic, també hi son presents, formant sales d'uns 2 m d'alçària i molt espaioses, que superen els 16 m. A altres cavitats litorals de Mallorca, com per exemple la cova Genovesa (GRÀCIA *et al.*, 2003a, 2003b), formen sales com la sala GNM.

Galeries freàtiques de control estructural tectònic (*joint-guided phreatic passages*)

Són les galeries a on predomina el control estructural tectònic, a partir de fractures que serveixen de línia de menor resistència per a la corrosió dins la zona de mescla i

donen lloc a les galeries que en secció transversal tenen una tendència normalment vertical (Fig. 12.4). L'alçària d'aquestes galeries arriba a assolir els 10 m a la galeria Miquel Àngel Barceló (cova des Pas de Vallgornera). Aquestes galeries solen tenir associades regates de corrosió i facetes, sovint a diferents nivells. A les zones subaquàtiques de la cova, les galeries de control estructural tectònic són majoritàries i es troben a les galeries de les Grans Sales, alguns trams del sector Antic i la major part de la galeria Miquel Àngel Barceló, trams de la galeria Grup Nord de Mallorca, galeria Endavant les Atxes, part de les galeries de l'Extremunció i galeria Collonuda Nord. És molt freqüent que en moltes zones es trobin disposades vàries galeries en forma paral·lela, associades a l'equidistant distribució de les diàclasis també paral·leles, i que presentin fenòmens de coalescència. A la cova des Coll, a la part oriental de Mallorca (GRÀCIA *et al.*, 2005), aquestes formen la majoria de galeries del sector del Poble, sector del Descobriment, sector del Patatús i sector dels Autèntics. Al sistema Gleda-Camp des Pou les galeries de control estructural tectònic es troben especialment al sector Llunyà. A la cova des Coloms I es troben a la part terminal de la cavitat (GRÀCIA *et al.*, 2010b).

Galeries freàtiques de secció circular

(tubular passages)

Presenten generalment seccions circulars, semicirculars o el·líptiques, encara que n'hi ha que tenen una secció més irregular, sense una forma clara (Fig. 12.5). En la seva gènesi no ha intervingut de forma tan activa el control estructural tectònic o estratigràfic, encara que és freqüent que hi siguin presents les diàclasis. En els casos de l'existència de galeries paral·leles molt properes, solen presentar també morfologies de coalescència. A la cova des Pas de Vallgornera es troben especialment al sector Antic, de secció generalment irregular i que no segueixen una direcció clara, no presenten trams molt rectes i allargats, com és el cas de les galeries de control estructural tectònic i presenten abundants galeries laterals. A la cavitat es troben especialment a les fàcies de front d'escull i, a les fàcies amb clapetes d'esculls existents dins del *lagoon* extern, com és el cas d'algunes zones de la galeria Grup Nord de Mallorca, a on s'assoleixen els 2,5 m d'alçària i els 5 m d'amplària. Al sector Antic, dins la fàcies d'escull, l'alçària és de 1,7 m i l'amplària entre 3,5 i 4 m. A la cova des Coll estan localitzades a les



Figura 12.5: Galeria freàtica de secció circular de la cova Genovesa. (Foto: A. Cirer).

galeries Laberíntiques del sector dels Espectres i a les galeries Corcades del sector del Patatús i en gran part de galeries del sector dels Autèntics (GRÀCIA *et al.*, 2005). Les mides en secció agafades al sector dels Espectres donen uns valors generals d'alçària entre 0,9 i 1,8 m; el quocient entre amplària i alçària de les seccions és de 1,4 i 1,8 (sense tenir en compte els valors de galeries fusionades). A la cova de sa Gleda es localitzen, especialment les de secció irregular, en algunes zones del circuit dels Pirates, galeries dels Gemecs i galeries de les Haloclines.

Sales freàtiques circulars (*globular halls*)

Venen a esser unitats de dissolució semi-independents que en planta tenen forma irregular o més o menys circular. En aquesta classificació incorporam les que superen els 10 m d'eix. A la cova des Pas de Vallgornera es localitzen especialment a les fàcies de front d'escull i, a les fàcies amb clapes d'escull, dins del *lagoon* extern. A la cova des Coll (GRÀCIA *et al.*, 2005), algunes de les sales estan connectades amb la resta de la cavitat mitjançant estretes galeries freàtiques de secció circular (corredors). El diàmetre arriba a assolir els 25 m (sala del Cap Buit, al sector Final); les descrites a la cova des Coll són de sostre baix.

MESOFORMES

(morfolgies de corrosió d'ordre decamètric a mètric)

Cambres freàtiques circulars

(*phreatic chambers, globular chambers*)

Són unitats de dissolució semi-independents de forma circular i de sostre generalment baix (Fig. 12.6). En aquesta tipologia incloem les que es troben entre 2 i 10 m de diàmetre. Es presenten sovint fusionades o associades a altres morfolgies de corrosió, com són galeries freàtiques de secció circular o irregular. A la cova des Pas de Vallgornera també es localitzen als laterals del sector Antic i algunes zones del sector Subaquàtic de Gregal, preferentment lligades a les fàcies de front d'escull o a on hi ha clapes de creixement coral·lí dins la fàcies de *lagoon* extern. A la cova de sa Gleda es localitzen escampades a diferents indrets, com és el cas de les galeries de les Haloclines (GRÀCIA *et al.*, 2007a). A la cova Genovesa es troben presents als laterals de la galeria Myotragus i a la sala Final. Algunes de les cambres estan connectades amb la resta de la cavitat mitjançant estrets corredors freàtics (GRÀCIA *et al.*, 2003a).

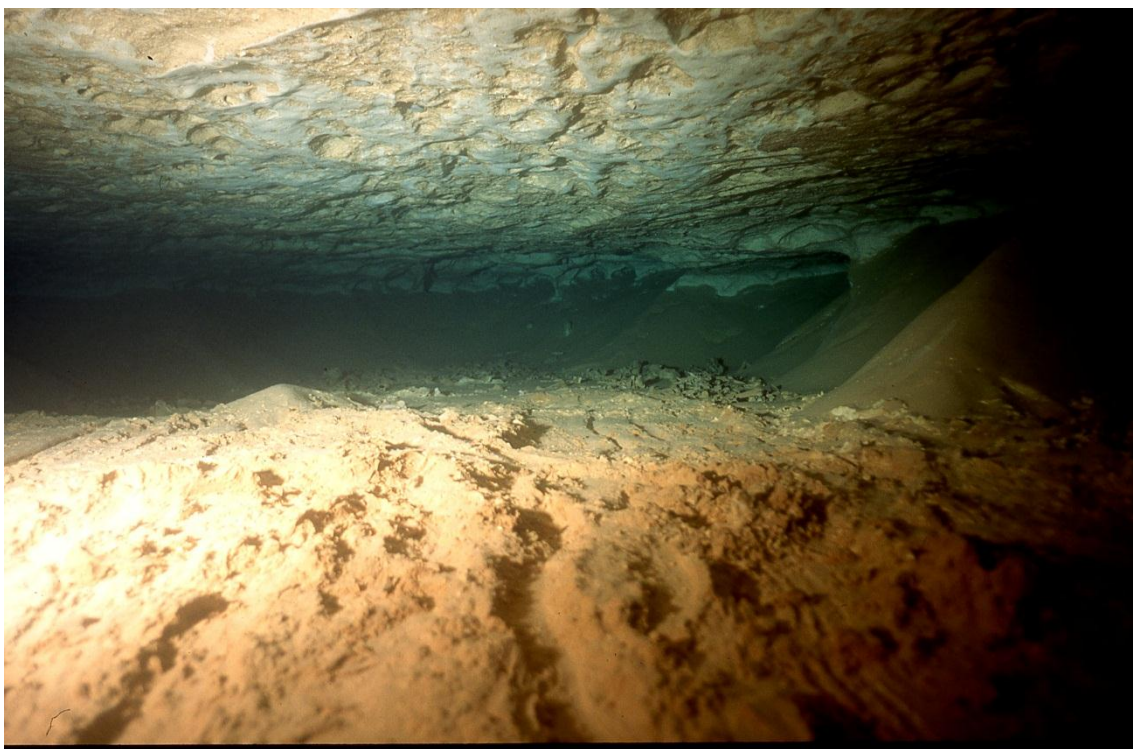


Figura 12.6: Cambra freàtica circular, al lateral d'una galeria de la cova Genovesa. Les dimensions són d'uns 25 m² i el sostre entre 0'5 i 1 m d'alçària. Foto P. Gracia.



Figura 12.7: Antics envans de roca, dissolts a la base que separaven galeries freàtiques estructurals tectòniques. Actualment es poden definir com a penjants allargats i paral·lels. Sector Llunyà del sistema Gleda-Camp des Pou. Foto A. Cirer.

Columnes de roca (*rock pillars*)

Es tracta de morfologies de corrosió, formades per roca mare, que connecten sostre i pis. Sovint són formes que s'han generat a partir d'envans en avançat estat d'evolució. Són molt abundants i es troben repartides pels diferents sectors de la cova des Pas de Vallgornera, encara que són molt més espectaculars i abundants a les fàcies de front d'escull de la cavitat, com a conseqüència de la gran quantitat de galeries que s'obrin pertot arreu, fet que provoca que quedin romanents de roca mare que constitueixen les columnes, de diàmetre molt variable. A aquesta cova són especialment abundants a les galeries de l'Extremunció i a la galeria Collonuda Sud; també al sector Antic són freqüents. Altres cavitats a on són molt abundants o presenten exemplars espectaculars són el sistema Gleda-Camp des Pou i la cova des Coll.

Són les parets que separen galeries o cambres paral·leles (Fig. 12.7), que a mesura que avança la dissolució de la roca es van tornant més primes, fins que es van desdibuixant en subdividir-se, foradar-se o bé caure en perdre sustentació. Mostren, per



Figura 12.8: Doble nivell de facetes superposades en dos nivells diferents i posseeixen solcs verticals. Cova des Pas de Vallgornera (Foto A. Cirer).

tant, segons l'estadi evolutiu diferents estadis de dissolució i es presenten associades a altres morfologies de corrosió com ara ponts i arcs que permeten veure o passar d'una galeria a l'altra, columnes de roca, penjants, pinacles i esperons. Aquestes altres morfologies als primers estadis tenen formes molt allargades, per posteriorment anar-se'n desdibuixant l'antic envà original. A la cova des Coll i a la cova des Pas de Vallgornera els envans són extraordinàriament abundants, a causa de la gran quantitat de galeries paral·leles que es troben (especialment les de control estructural tectònic) les quals originen freqüents envans verticals. Són més escasses a les fàcies d'escull i més abundants a les de *lagoon* extern. Han estat citades a gairebé totes les cavitats subaquàtiques del llevant de Mallorca (GRÀCIA *et al.*, 2000, 2003b, 2005, 2010b). N'hi ha que es troben en estadis avançats de dissolució en zones concretes de l'envà, on pot arribar a desaparèixer la roca per complet de forma local. Així, si ha desaparegut la roca de la base l'envà es troba en un estadi de transició cap a penjant. En el cas de que s'hagi dissolt per complet la part superior de l'envà, aquest evoluciona de cap a un pinacle.

Terrasses (*terrasses*)

Es produeix en obrir-se l'envà horitzontal que separa una galeria superior d'una inferior. Una localitat molt característica és la galeria de les Tortugues a la cova de Cala Varques B.

Ponts (*bridges*)

Són restes de la massa rocosa, d'ordre mètric a decamètric, que abans separava àmbits pròxims. En ocasions procedeixen d'envans, bé verticals, comunicant dues galeries paral·leles, o bé horitzontals o terrasses, permetent l'accés entre pisos diferents. Si es troben en una cota a on es produeix la dissolució de la roca, se seguiran eixamplant o bé cauran per inestabilitat contribuint a l'increment del buit. El seu desmantellament per corrosió origina esperons. Són abundants tant a la fàcies de *lagoon* extern, com a les fàcies de front d'escull, així com quan hi ha clapetes de creixement coral·lí dins les fàcies de rere escull. Al sistema Gleda-Camp des Pou són més presents a les galeries dels Gemecs i s'han format per la destrucció del pis que separava dos nivells superposats de galeries (GRÀCIA *et al.*, 2007a). La cova des Coll presenta també aquesta morfologia repartida arreu de la cova (GRÀCIA *et al.*, 2005). La cova

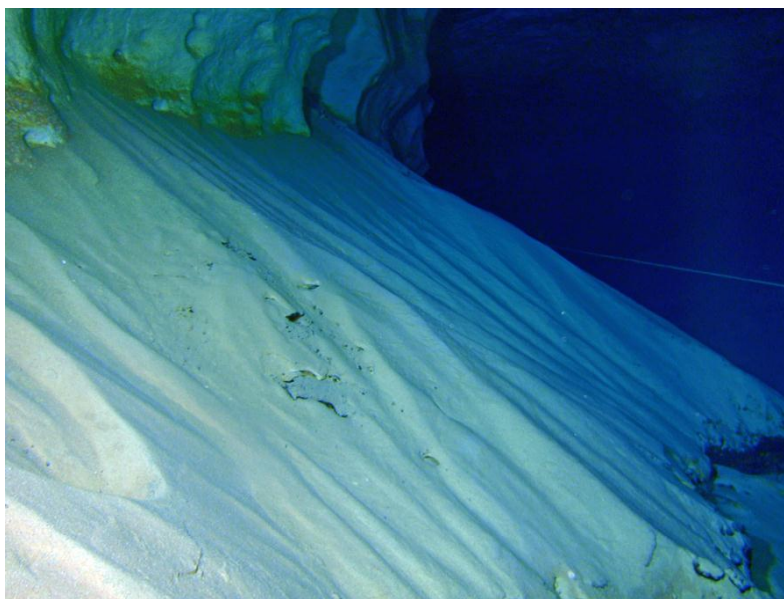
des Coloms I i la cova de Cala Varques B són altres cavitats a on es troben sovint (GRÀCIA *et al.*, 2010b, 2000). Tanmateix, una bona part d'altres cavitats amb continuacions subaquàtiques posseeixen ponts.

Facetes (*solution facets*)

Superfícies inclinades de roca, llises o amb solcs que segueixen el pendent. Es presenten associades generalment a les regates de corrosió, de les quals parteixen i constitueixen el seu límit inferior (Figs. 12.8, 12.9). Longitudinalment segueixen les galeries freàtiques estructurals i les galeries freàtiques de secció circular i es disposen a ambdós costats formant superfícies inclinades (*facets*), generalment entre 35 i 50°. La seva alçària està compresa entre 0,3 i 2 m, encara que el més habitual és de 0,5 i 1 m. La gran longitud que poden arribar a assolir, la qual pot superar el centenar de metres, fa que estiguin incloses dins les mesoformes. Es poden trobar a diferents nivells, essent molt freqüent trobar dos o tres a diferents fondàries, associades generalment a regates de corrosió. Són més abundants i marcades, així com molt més clares, les que es formen a les galeries freàtiques estructurals tectòniques. Es localitzen a galeries de qualsevol amplada, algunes de molt angostes fins a d'altres que superen els 15 m, encara que s'han pogut generar dins una galeria més estreta i per unió de vèries laterals arribar a formar una galeria molt més ampla, amb els laterals que presenten facetes.

A la cova des Pas de Vallgornera és una de les morfologies de corrosió més característiques, localitzades a qualsevol fàcies, encara que molt més abundants i marcades a les galeries estructurals tectòniques de les fàcies de *lagoon* extern. S'han

Figura 12.9: Regata de corrosió amb faceta d'un metre d'amplària amb solcs que segueixen el pendent. La inclinació de la superfície de la faceta és d'un 40°. Foto F. Gràcia.



trobat a les galeries subaquàtiques a fondàries compreses entre -1,5 i -2 m; -1,5 i -3 m; -2,3 i -2,8 m; -2,3 i -3,6; -3,1 i -3,6 m; -3,7 i -4m; -2,6 i -4,6 m; -4,2 i -4,7 m; -4,2 i -5m; -4,9 i -5,4; -5 i -5,6 m; i -6 i -6,7 m. La cova des Coll (GRÀCIA *et al.*, 1997, 2005) va esser la primera localitat a on es van detectar sota l'aigua. Les facetes de la cova de sa Gleda, localitzades fins ara a les galeries de les Haloclines, no presenten canals subverticals de dissolució. La separació de les parets de les galeries on es troben sol estar entre 6 i 15 m. La fondària on es troben les facetes està compresa entre -13,5 m i -14 m. A un lateral de la galeria Cinc-cents es troben facetes entre -7,5 m a la part superior i -8.5 m al límit inferior (GRÀCIA *et al.*, 2007a). A la cova des Coloms I també es troben facetes a les galeries freàtiques de control estructural tectònic.

Regates de corrosió (*corrosion notches*)

Morfologies de corrosió negatives, a mode d'osca o soles horitzontals, que profunditzen a la roca mare i que es perllonguen, en ocasions, desenes de metres al llarg de les parets de les galeries i sales (Fig. 12.10). Indiquen el nivell d'haloclines actuals o pretèrites, encara que també podrien correspondre a antics nivells freàtics. Solen estar



Figura 12.10: Regata de corrosió molt marcada que afecta a espeleotemes i que continua al llarg de les parets de la galeria. Sector de Ponent del sistema Gleda-Camp des Pou. Foto C. Bodi.

acompanyades per facetes, que les limiten per davall. A les zones subaquàtiques de la cova des Pas de Vallgornera es troben regates a -0,5; -1,4; -1,6; -2,2; -2,3; -2,7; -2,9; -3; -3,2; -3,3; -3,4; -3,5; -4,3; -4,4; -4,6; -5,4; i -5,6 m. A la cova Genovesa se n'han observat als -7,8 m i als -10,5 m associades a facetes i pentinades de roca (GRÀCIA *et al.*, 2003b). També estan citades a la cova des Moro a +23,5 i +23,9 m (TRIAS, 2000). Se n'han trobat a la cova des Coll aproximadament a uns -3 m respecte del nivell actual de la mar; altres cotes de regates menys importants s'han localitzat a -0'5 m (galeria de les Formacions i galeria del Segon Pou) i a -2'2 m (galeria dels Encomanats a Déu), ambdues pertanyen al sector del Patatús. Estan associades amb les morfologies anomenades canals subverticals de dissolució o "pentinades de roca" (GRÀCIA *et al.*, 1997; GRÀCIA *et al.*, 2005; MERINO, 2006). A la cova de sa Gleda algunes de les existents són regates ben marcades i molt clares (GRÀCIA *et al.*, 2007a). És un dels llocs més evidents pel que fa la seva importància en la gènesi de les cavitats litorals. La localització més bona és la que es troba al llarg de més de 150 m de la galeria més central de les galeries de les Haloclines, a la cota d'entre -13,5 i -14 m, i penetra a les parets i espeleotemes entre 0,3 m i 1 m. La regata, molt marcada i horitzontal, ha afectat per igual a la roca mare de les parets i als espeleotemes. Vàries columnes han estat seccionades per la dissolució de l'aigua a la franja corresponent a aquesta regata. També han afectat, entre d'altres espeleotemes, un gran massís estalagmític, envoltat per aquest solc perfecte. La regata continua per les dues parets d'una àmplia galeria, estant associada a la gènesi d'alguns tupins i galeries iniciadores. En alguns llocs, per davall de les regates se situen facetes associades. Curiosament la roca rogenca de tota la galeria és molt massiva i presenta molt poques morfologies de corrosió, llevat de les que ara comentam. Per contra, les altres galeries veïnes, amb profusió de morfologies de dissolució, tenen la roca en avançat estat de corrosió i no posseeixen regates.

Morfologies espongiformes (*spongework*)

A escala de mesoformes, denominam morfologies espongiformes a les zones de les galeries o sales amb una elevada densitat de morfologies de corrosió de mida més petita, com són els penjants, esperons, columnes de roca, tupins de paret i sostre, pinacles, conductes seminals, envans de dissolució, arcs o altres mesoformes i microformes. Globalment adquireixen així un aspecte càdtic, ple de sortints i forats, és a dir morfologies positives i negatives, de molt diferents mides i formes (Fig. 12.11). A



Figura 12.11: Morfologies espongiformes a escala de mesoformes. Denominam així a les zones d'aspecte caòtic de les galeries o sales amb una elevada densitat de morfologies de corrosió de mida més petita, com són els penjants, esperons, columnes de roca, tupins de paret i sostre, pinacles, conductes seminals, envans de dissolució, arcs o altres mesoformes i microformes. Cova des Pas de Vallgornera (Foto A. Cirer).

molts d'articles de cavitats litorals es fa referència a elles com a sinònim de formacions primàries en general. La seva localització és molt general, ja que poden trobar-se per tot arreu, sigui sostre, parets o terra de galeries i sales. La gènesi d'una bona part d'aquestes morfologies està relacionada amb la dissolució diferencial que presenten les masses de coralls d'aragonita en relació a la calcita constituent de la matriu calcarenítica envoltant, de forma que es generen gran quantitat de forats intercomunicats de diferents mides.

En el cas de la cova des Pas de Vallgornera presenta zones amb gran riquesa de morfologies espongiformes, de forma general sempre a les zones de fàcies de front d'escull o amb clapes de creixement coral·lí dins les fàcies de *lagoon* extern. Algunes galeries de control estructural tectònic, poden presentar morfologies espongiformes a zones concretes.

Al sistema Gleda-Camp des Pou (GRÀCIA *et al.*, 2007a, 2010a), algunes zones de les galeries de les Haloclines, galeries dels Gemecs i alguns indrets de la galeria de les Còniques i de la galeria Cinc-Cents es poden incloure en aquesta tipologia. A la cova

des Coll es troben repartides a molts d'indrets de tots els sectors (GRÀCIA *et al.*, 2005). Al sistema Pirata-Pont-Piqueta, són abundants a les zones subaquàtiques poc afectades per processos d'esfondrament (GRÀCIA *et al.*, 2006a).

Galeries cegues (*dead ends*)

Longitudinalment són de petites dimensions i acaben de forma brusca, com un cul de sac, sense possibilitats de continuació. La seva longitud és molt variable, encara que amb aquesta denominació únicament incloem les que no superen la desena de metres. Les de majors mides les catalogam dins les macroformes i les assignam a les galeries freàtiques pertinents. Són molt abundants a la cova des Pas de Vallgornera, la cova des Coll, el sistema Gleda-Camp des Pou i el sistema Pirata-Pont-Piqueta. Moltes altres galeries freàtiques de major mida finalitzen en cul de sac, és a dir com si fos una galeria cega, encara que d'altres prossegueixen massa estretes per poder progressar.



Figura 12.12: Conductes seminals o iniciadors, estadi previ a la formació d'autèntiques galeries. A causa de les seves reduïdes dimensions no són penetrables per a l'home, encara que longitudinalment poden assolir longituds considerables. Cova des Coloms de Cala Falcó (Foto A. Cirer).

Conductes seminals o iniciadors

Els conductes seminals o iniciadors corresponen a tot aquell conjunt de formes, amb una gran variabilitat, que corresponen a l'estadi previ a la formació d'autèntiques galeries, fet que es produeix per la continuació dels processos de corrosió i coalescència de conductes. L'aparença és de galeries freàtiques de control estructural o bé de secció circular però, per les seves reduïdes dimensions no són penetrables per a l'home, encara que longitudinalment poden assolir longituds considerables (Fig. 12.12). Són molt abundants a les cavitats, excepte als llocs a on es troben les sales i galeries d'esfondrament.

MICROFORMES

(morfologies de corrosió d'ordre mètric a centimètric)

Morfologies espongiformes (*spongework*)

Estan formades per un conjunt pròxim d'irregularitats (forats, concavitats, protuberàncies, anells, tubs i altres) presents a la volta, parets o pis i que de vegades formen una vertadera randa de pedra (Fig. 12.13). Aquestes microcavitats intercomunicades de diferents mides i formes es produeixen per la diferent dissolució de la roca en aigües freàtiques (BRETZ, 1942). La zona freàtica i vadosa de la cova des Pas de Vallgornera presenta zones a on són molt abundants. A la cova des Coll (GRÀCIA *et al.*, 2005) es troben especialment a una galeria amb una gènesi associada a l'intens flux d'aigua de baixa salinitat que circula pel conducte. En aquesta part de la

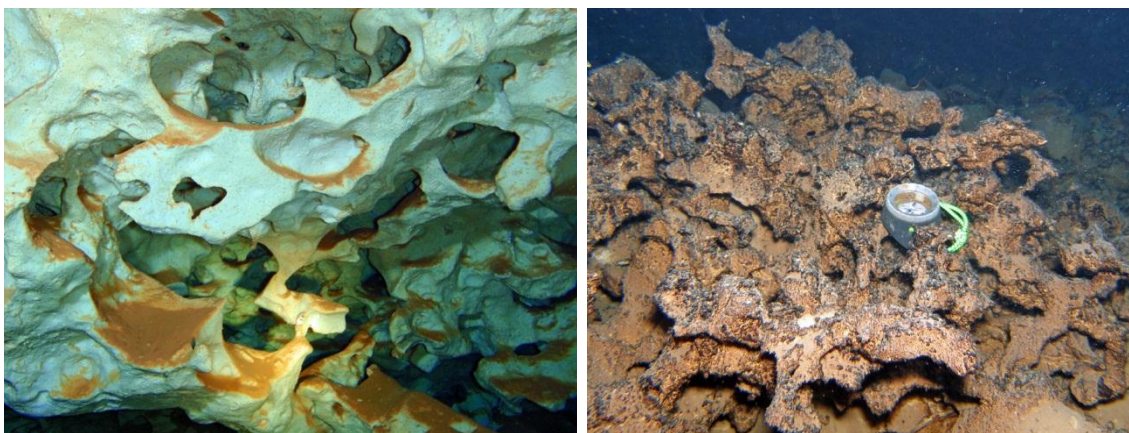


Figura 12.13: Morfologies espongiformes a escala de microformes al sostre i al terra de la cova des Pas de Vallgornera i de la cova d'en Bassol respectivament. La brúixola permet saber l'escala de les fotografies. Fotos F. Gràcia i F. Brehier.

cavitat és molt marcat el contrast entre zones del terra i el sostre amb *spongework* i d'altres sense morfologies de corrosió destacades. Al sistema Gleda-Camp des Pou (GRÀCIA *et al.*, 2007a) es troben a zones molt concretes, però en general són poc desenvolupades. A la cova d'en Bassol són molt abundants i espectaculars, a una zona de control estructural estratigràfic que ha estat trobada en temps recents. La



Figura 12.14: Arcs que formen a la vegada morfologies espongiformes. Foto F. Gràcia.

cova des Drac de Cala Santanyí (GRÀCIA *et al.*, 1998b) presenta aquesta morfologia molt desenvolupada en zones concretes de la sala d'Entrada i començament de la galeria Negra. A la cova de s'Abisament, les morfologies espongiformes són les formes de corrosió més característiques de les sales finals (GRÀCIA *et al.*, 2006b).

Arcs (*archs*)

Els arcs són de mida més petita que els ponts. Es generen per la dissolució progressiva d'altres morfologies, com són els envans de dissolució, penjants, esperons, columnes de roca, pinacles, nínxols de paret, entre d'altres (Fig. 12.14). Per coalescència d'arcs es poden arribar a convertir en arcs més grans o fins i tot en ponts. És freqüent la presència d'arcs propers entre ells. És una morfologia molt freqüent a la cova des Pas de Vallgornera. Són especialment abundants als sectors de la cavitat de fàcies de front d'escull o d'escull en clapes. S'han localitzat abundants arcs a la cova des Coll (GRÀCIA *et al.*, 2005), al sistema Pirata-Pont-Piqueta (GRÀCIA *et al.*, 2006a) i al sistema Gleda-Camp des Pou (GRÀCIA *et al.*, 2010a).

Pinacles (*cers*)

Són formes de relleu positives, que sobresurten del terra de galeries i sales (Fig. 12.15). Equivalen a l'invers dels penjants, ja que parteixen del terra i ascendeixen de cap al sostre. Solen esser molt menys freqüents que no pas els penjants. Es generen a partir de la corrosió dels envans i de les columnes de roca, en quedar-se aïllats del sostre per dissolució progressiva. Als primers estadis evolutius, en cas de procedir d'envans, tenen forma allargada, en ocasions de longitud considerable. A la terminologia

internacional en ocasions s'anomenen *blade*. També poden provenir d'altres morfologies, com arcs i ponts. A la cova des Pas de Vallgornera es troben per tot arreu; n'hi ha a les façies de front d'escull i també a les façies de *lagoon* extern. En general són molt més espectaculars i de majors dimensions els que es troben a les façies de *lagoon* extern. A altres coves litorals de Mallorca, com el sistema Gleda-Camp des Pou hi són presents (GRÀCIA *et al.*, 2007a) i a la cova des Coll són relativament abundants en llocs molt diversos de la cavitat (GRÀCIA *et al.*, 2005).

Esperons (*rocky jags*)

Són morfologies de corrosió positives, protuberàncies laterals d'ordre mètric, que es poden incloure dins el mateix grup que els penjants i pinacles. Es formen a partir de la dissolució progressiva de ponts, arcs i envans desmantellats de forma parcial o totalment. Les seves mides solen ésser similars a les dels pinacles. Al sistema Gleda-Camp des Pou són freqüents a totes les galeries (GRÀCIA *et al.*, 2007a, 2010a). A la



Figura 12.15: Pinnacle que continua amb facetes a la base. És el que resta d'antigues masses de roca més voluminoses afectades per la dissolució progressiva. Cova des Pas de Vallgornera (Foto J. Pocoví).

cova des Coll i la cova des Pas de Vallgornera són molt més abundants i generalment relacionats amb antics envans (GRÀCIA *et al.*, 2005, 2009b).

Penjants (*rock pendants*)

Les seves mides van de dimensions d'ordre de centímetres a metres, i tal com indica el seu nom pengen del sostre (Fig. 12.16). Hi ha diferents mecanismes generadors de penjants. Per una banda hi ha els penjants procedents d'antics envans que són de forma allargada; en aquest cas a la terminologia internacional s'anomenen *keel roof pendant* o *blade*. També n'hi ha producte de la dissolució i separació de columnes de roca. Un altre tipus de mecanisme formatiu és la corrosió diferencial al sostre de sales i galeries. Dins aquest darrer mecanisme n'hi ha relacionats amb corrents d'aigua, en ocasions de diferents densitats. En general, aquest tipus de penjants és de dimensions més reduïdes i se solen presentar associats. Al penjants són comuns altres morfologies que se superposen, com són els tupins i les concavitats poc marcades.



Figura 12.16: Penjants de es Dolç, per davall de l'haloclina, dins les eolianites pleistocenes. Foto F. Gràcia.

A la cova des Pas de Vallgornera es troben a les dues fàcies repetidament esmentades, tant de front d'escull i escull en clapes, com a les fàcies de *lagoon* extern. En el segon cas procedeixen gairebé sempre d'envans desmantellats. La mida és de majors dimensions que les que es formen dins la fàcies de front d'escull. N'hi ha que es troben paral·lels a una mateixa secció de la galeria, per procedir d'envans dissolts parcialment i dels quals només en queden alguns vestigis. A la cova des Coll són especialment abundants (GRÀCIA *et al.*, 2005) i es poden trobar, a més dels formats pel procés abans esmentat, els penjants generats per una gènesi associada a l'intens flux d'aigua de salinitat baixa que circula per alguna galeria. Al sistema Gleda-Camp des Pou (GRÀCIA *et al.*, 2007a) n'hi ha alguns de gran mida, que superen els 3 m, els quals semblen restes de columnes de roca o envans de



Figura 12.17: Concavitat poc marcada (Foto F. Gràcia).

corrosió. Hi ha tota una sèrie d'estadis evolutius intermedis entre els envans i els penjants.

Concavitats poc marcades (*subdued pockets*)

Es tracta de depressions semiesfèriques circulars, el·líptiques o irregulars centimètriques que

s'endinsen poc dins la roca (Fig. 12.17). La longitud o amplària d'aquestes morfologies negatives supera sempre la fondària. Recobreixen superfícies extenses de les parets i sostres de galeries i sales. Tal i com diu MERINO (2006), en secció vertical la forma s'assembla a una mitja lluna, amb la part còncava més inferior, amb fort pendent, coberta de fins dipòsits de sediment, que li donen un típic color vermellós. Es poden considerar un estadi evolutiu previ als tupins. Per evolució aquestes formes de corrosió



Figura 12.18: Tupins de paret (Foto F. Gràcia).

poden entrar en coalescència, i s'arriben a individualitzar estretes seccions de roca, que a mode de cresta separen concavitats majors. En alguns indrets s'observa una evident alineació horitzontal de les files de concavitats que podria ésser conseqüència d'una estabilització d'una zona d'haloclines que originés aquestes formes de dissolució. Segons MERINO (2006), aquesta disposició s'assembla per la

morfologia a les facetes, de les quals podria representar un primer estadi evolutiu. La seva presència sol ésser habitual a totes les coves litorals del Llevant i Migjorn.

Tupins de paret, sostre i pis (*wall pockets, ceiling pockets, floor pockets*)

Són concavitats circulars, el·líptiques o semiesfèriques, és a dir morfologies negatives, de mides compreses entre uns pocs centímetres i menys d'un metre (Fig. 12.18, 12.19). Sovint presenten coalescències o unions (*composed pockets*) i superposicions (*pocket levels*). En funció de la situació on es troben de les galeries i

sales cal puntualitzar si són de paret, sostre o pis (*wall pockets, ceiling pockets* i *floor pockets*). A la cova des Pas de Vallgornera es troben a escampats per tots els sectors de les cavitats, tant terrestres com subaquàtics. També hi són, tant a les façanes de front d'escull com de *lagoon*, encara que són molt més nombroses a la primera, possiblement per la dissolució preferencial de les masses de corall de composició aragonítica, per la qual cosa serien generats en quedar



Figura 12.19: Tupins de paret i concavitats poc marcades a les eolianites pleistocenes de es Dolç. El diàmetre dels tupins és d'uns 20 cm (Foto F. Gràcia).

buida la zona ocupada per una colònia de corall. És freqüent observar que al buit del tupí sorgeixen mol·luscs perforadors de la roca, com és el cas de *Lithophaga*, els quals es trobaven a l'interior dels coralls. Són morfologies abundants a totes les cavitats del Llevant de Mallorca.

Cúpules (*cupolas* o *bellholles*)

Depressions semiesfèriques, circulars o allargades, de mida decimètrica a mètrica, que poden penetrar considerablement dins la roca del sòtil de galeries o sales. Les diàclasis poden condicionar la gènesi d'associacions de cúpules de secció d'arc gòtic. En la seva gènesi se suposa que tenen un paper important les aportacions d'aigua zenital, que en contacte amb l'aigua freàtica condicionaria una zona corrosiva. A les cavitats del Llevant no són molt freqüents.

Nínxols de paret (*wall niches*)

Concavitats de pis pla o lleugerament irregular, d'ordre mètric a centimètric que se situen a les parets de les galeries. En ocasions es poden confondre amb els tupins. Nosaltres som partidaris de limitar aquest nom de nínxols de paret a les morfologies que assoleixen una mida superior als 60 cm d'amplària i almenys 40 cm de fondària i alçària, amb el pis de tendència plana i a les altres incloure-les als tupins, ja que a nivell pràctic és molt difícil distingir-les. Els nínxols, en superar unes certes dimensions (uns



Figura 12.20: Regata de corrosió amb facetes associades per davall que presenten Canals subverticals de dissolució. Cova des Coll (Foto B. Bordoy).

2 m de diàmetre) entrarien ja en la categoria de cambres freàtiques circulars. Han estat localitzades a gairebé totes les cavitats amb importants continuacions subaquàtiques.

Canals subverticals de dissolució (*rock combs*)

Associades i sobreposades a les facetes, encara que no sempre presents (Fig. 12.20). Són citades per primera vegada a GRÀCIA *et al.*, (1997) com a “pentinades de roca”. MERINO (2000) les defineix com a canalets en forma de ventall. Amb l’objecte d’homogeneïtzar i sistematitzar la morfologia es va decidir emprar el terme de canals subverticals de dissolució. Als sectors

subaquàtics de la cova des Pas de Vallgornera són freqüents els canalets, mentre que les “pentinades de roca” són poc presents. A la cova des Coll les crestes són especialment marcades i no superen els 20 cm d’alçària entre les valls i les crestes. A la cova Genovesa s’han observat desenvolupades entre -7,8 i -8,7 m (alçada de les facetes 0,9 m) i entre -10,5 i -11,1 m (alçada de les facetes 0,6 m). A la cova des Coll es troben localitzades a cotes de fondària que van dels -3 a -4,3 m (les regates de corrosió es troben entre -2,5 i -3 m). En pocs casos es troben en dos nivells superposats (entre -0,7 i -1,2 m). Es troben també a la cova des Coloms I.

Capítol 13. LES MORFOLOGIES HIPOGÈNIQUES

13.1. Introducció

En el decurs dels darrers anys s'han formulat noves teories espeleogenètiques, recolzades per investigacions realitzades en diversos països, on es defineixen nous mecanismes generadors de cavitats que se relacionen amb la circulació transversal de fluids ascendants d'origen profund (KLIMCHOUK, 2007, 2009). L'agressivitat d'aquells fluids correspon a les seves característiques geoquímiques lligades al caràcter profund de la recàrrega (PALMER, 1991, 2000, 2007), que aporta concentracions elevades de CO₂ no biogènic, H₂S o CH₄, a més de tota la munió de processos geoquímics associats al geotermalisme (DUBLYANSKY, 2000, 2005). Es tracta d'un complex entrellat de processos designats com a espeleogènesi hipogènica.

Fins a dates relativament recents l'espeleogènesi de les cavitats de Mallorca s'havia considerat lligada a processos epigenètics (GINÉS, 1995a), on els sistemes endocàrstics es formen principalment per la infiltració directa de les aigües meteòriques carregades de CO₂ d'origen edàfic i atmosfèric, o per la recàrrega procedent de les



Figura 13.1: Galeria hipogènica ascendent des Dolç. Generades des de baix, als materials pliocens fins assolir les eolianites pleistocenes (Foto GNM).

formacions superficials i/o dipòsits no carstificables, mostrant sempre una relació amb la topografia exterior (MERINO *et al.*, 2011a). En general les cavitats desenvolupades d'aquesta manera tenen una connexió hidrològica amb la superfície que correspon, normalment, amb les entrades dels mateixos sistemes subterranis. S'hi ha d'afegir a això els processos de distensió mecànica que afecten a les elevacions de les serres mallorquines i que donen lloc a cavitats d'origen mecànic, amb poca o nul·la intervenció dels mecanismes de carstificació. Al mateix temps, les illes mostren una gran presència de dipòsits tabulars, formats en la seva major part per plataformes de calcarenites del Miocè superior i que es disposen al llarg de bona part de la costa, existeixen uns altres processos espeleogenètics relacionats amb la mescla d'aigües d'origen meteòric i aigües d'origen marí a la franja litoral. Aquests processos duen associat l'increment dels buits a causa de la dissolució dels materials i posteriorment inestabilitats locals que donen lloc a esfondraments, creant sales de col·lapse (GINÉS & GINÉS, 1992; GINÉS & GINÉS, 2007, 2009).

Diversos autors ja han deixat constància de l'existència de formes que estarien associades a processos hipogènics en diferents cavitats de Mallorca. Per una part, GINÉS & GINÉS (2006) en un estudi sobre la cova Nova de Son Lluís a Porreres, observen i descriuen la presència de cúpules i morfologies esfèriques que podrien tenir un origen hidrotermal. Posteriorment diversos treballs duts a terme a la cova des Pas de Vallgornera, a Lluçmajor, aporten noves dades que d'una manera molt aclaridora posen de manifest l'existència de formes que indicarien la participació de processos hipogènics en la gènesi de la cavitat (GINÉS & GINÉS, 2009; GINÉS *et al.*, 2008, 2009a, 2009b; GRÀCIA *et al.*, 2009a, 2009b; MERINO & FORNÓS, 2010; MERINO *et al.*, 2010, 2011; FORNÓS *et al.*, 2011a). A aquest fet se li han d'afegir els estudis duts a terme sobre les anomalies geotèrmiques presents a l'aquífer de la plataforma de Lluçmajor (LÓPEZ *et al.*, 2004; LÓPEZ & MATEOS, 2006). Així, els sondeigs de captació d'aigües realitzats en zones properes a aquesta localitat, d'uns 100 m de profunditat, han posat de manifest l'existència d'aigües termals amb unes temperatures que arriben als 51,6° C. Per als autors esmentats aquests fenòmens hidrotermals estan relacionats amb importants falles normals amb una orientació SW-NE. Aquestes fractures permetrien l'ascens d'aigües termals d'origen profund que a la llarga es mesclarien amb l'aquífer lliure del Miocè superior de la plataforma tabular de Lluçmajor i també de la cubeta de Campos. Tots aquests fets van provocar que es dugués



Figura 13.2: Galeries cegues de les coves del Drac. Presenten punts d'alimentació al terra i de descàrrega al sostre (Foto GNM).

a terme una revisió molt més acurada de les cavitats de la zona compresa entre la plataforma de Lluçmajor i Campos (MERINO *et al.*, 2011b), així es van afegir a aquesta gènesi una cavitat de la zona de Manacor (la cova de s'Ònix), al municipi de Porreres la cova Vella de Son Lluís, a Lluçmajor la cova de sa Guitarreta i a Campos el pou de Can Carro, que aportaren una nova visió sobre la importància i extensió de l'espeleogènesi lligada a processos d'origen hipogènic i hidrotermal a l'illa de Mallorca. La troballa d'evidències clares de participació de processos hipogènics a la marina de ses Salines, a la Colònia de Sant Jordi, al SW de Mallorca, a la cova anomenada es Dolç (GRÀCIA *et al.*, 2014; GRÀCIA & FORNÓS, 2014), cavitat oberta dins materials del Pliocè i majoritàriament del Pleistocè ha suposat el coneixement d'una nova localitat molt peculiar i aclaridora. Darrerament a les emblemàtiques coves del Drac del terme de Manacor (inèdit), aquesta localitat al llevant de Mallorca, s'han trobat també abundants morfologies i altres evidències clarament indicadores de la important activitat hipogènica com a generadora de la cavitat.

Les formes més característiques i definitòries d'evidències hipogèniques que s'han documentat per ara a les cavitats mallorquines són les següents: conjunts morfològics de



Figura 13.3: Es pot considerar aquesta morfologia una obertura d'alimentació o *feeder*, a escala de mesoforma. L'indret on es troba el Cràter es localitza a -21 m, a la part més pregonada d'una galeria a la qual dona el seu nom (Foto GNM).

flux ascendent formats per punts d'alimentació (*feeders*), canals ascendents de paret (*rising wall channels*), i punts de descàrrega (*outlets*); així com canals de sostre (*ceiling channels*) i cúpules (*bell-holes*) (MERINO *et al.*, 2011b). Les anteriors morfologies solen anar acompanyades d'altres evidències, tals com les regates de corrosió (*wall notches*), concavitats de sostre (*ceiling pockets*), ponts de roca (*rock bridges*), galeries cegues (*dead ends*), envans de roca (*partitions*), etc.

Per altra banda, altres autors (MYLROIE & MYLROIE, 2009) han posat en dubte el caràcter diagnòstic de bona part de les formes atribuïdes a l'espeleogènesi hipogènica, al estar també representades en ambients freàtics de poc dinamisme, com és el cas de la carstificació litoral associada amb la zona de mescla marina; de totes maneres, el caràcter hipogènic d'algunes formes específiques, com són els canals ascendents, resulta força evident i per tant difícil de qüestionar. Nosaltres estem d'acord amb aquestes afirmacions de forma que els envans de roca (*partitions*), regates de corrosió (*wall notches*) i facetes (*solution facets*), concavitats de sostre (*ceiling pockets*), ponts de roca (*rock bridges*), així com altres morfologies de corrosió no les podem atribuir únicament a aquesta gènesi, ja que es troben també a cavitats a on els processos

hipogènics no han intervingut. Fins i tot, és possible que les darreres morfologies anomenades siguin poligèniques i que la seva formació estigui lligada a més d'un procés, depenent de cada situació particular (OSBORNE, 2004).

13.2. Catàleg de morfologies hipogèniques

MACROFORMES (d'ordre hectomètric a decamètric)

Galeries hipogèniques ascendents

A es Dolç s'inicien en forma de galeria cega dins els materials pliocens i ascendeixen en pendent, sovint molt acusat, fins connectar amb les eolianites pleistocèniques, per la qual cosa es van anomenar galeries hipogèniques ascendents (GRÀCIA & FORNÓS, 2014, Fig. 13.1). Hi ha a la cavitat almenys 12 galeries hipogèniques ascendents, clarament diferenciades. L'amplària d'aquestes galeries sol estar compresa entre 6 i 14 m, encara que arriben a assolir els 20 m. La seva alçària més comuna està entre 1,5 i 6 m, podent superar en alguns indrets els 13 m. El recorregut longitudinal està comprès entre uns 40 i 90 m. En alguns casos poden prosseguir algunes desenes de metres amb el terra molt pla, de roca mare, o recobert de grans blocs despresos. Les obertures o conductes d'alimentació suposam que són els responsables, en gran mesura, de la seva formació, per la qual cosa les galeries s'han creat des de baix. Al Dolç s'han format també en part per processos d'esfondrament, fins que ha afectat les eolianites pleistocèniques a on la cova adopta una disposició horitzontal. Les parets, sostres i el terra en ocasions estan recoberts per una pàtina negra de manganès que els dona un aspecte molt fosc (pou Mascarat). La fondària d'aquestes galeries està compresa entre els -19 i -27,5 m; el valor màxim es troba just al fons del Cràter de la galeria homònima (es Dolç Extern).

Galeries cegues (*dead ends*)

Un altre conjunt morfològic associat a les cavitats d'origen hipogènic són les galeries cegues, que acaben en cul-de-sac (Fig. 13.2). La gènesi d'aquestes formes és difícil d'explicar mitjançant mecanismes relacionats amb fluxos laterals que afecten a



Figura 13.4: Cruis o fractures d'alimentació (*feeders slots*) des Dolç de diversos metres de llargària (Foto GNM).

les galeries; per contra encaixen perfectament dins del marc d'un procés generat per fluxos transversals (KLIMCHOUK, 2007, 2009). Aquestes galeries acaben per cegar-se, però estan obertes a la recàrrega per mitjà de *feeders* en la part més baixa i a la descàrrega per mitjà dels *outlets* localitzats al sostre (MERINO *et al.*, 2011b). Aquests trets els diferencia de galeries freàtiques formades per la zona de mescla, a on encara que puguin acabar en cul de sac no presenten punts d'alimentació ni de descàrrega. A més a més solen acabar més que en cul-de-sac en fractures impenetrables o en esfondraments que barren el pas.

A les coves del Drac també es troben galeries que semblen clarament hipogèniques com és el cas d'algunes de les desenvolupades a les galeries dels Domassos o a les proximitats del llac Martel, amb abundants punts d'alimentació i de descàrrega, canals de sostre, així com moltes altres evidències. El mateix pensam de la cova des Pas de Vallgornera, a on es fa difícil destriar l'origen hipogènic de moltes galeries de possibles contribucions respecte de la zona de mescla, però l'abundància de morfologies hipogèniques i sediments associats així ens ho fa pensar.

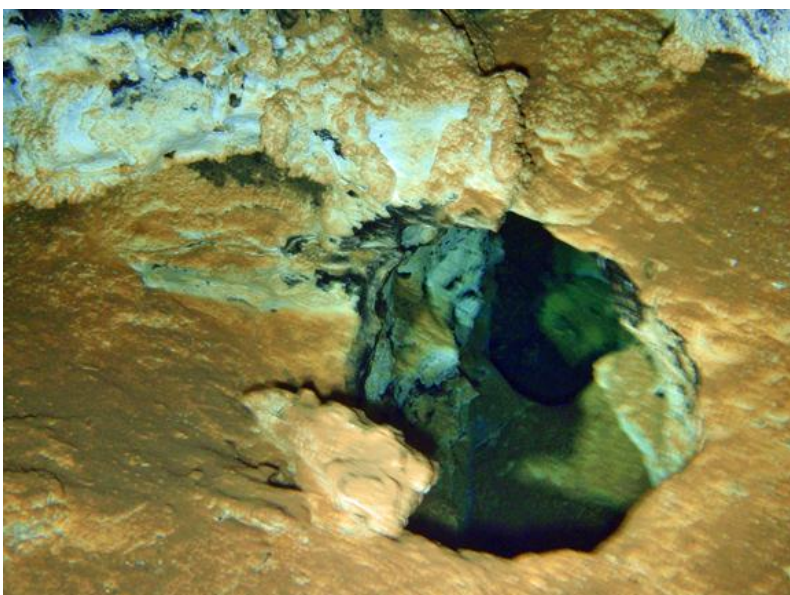
Figura 13.5: Conducte vertical d'alimentació tipus Embut (*feeders*) des Dolç, dins eolianites pleistocenes (Foto GNM).



Figura 13.6: Conducte vertical d'alimentació d'uns 60 cm de diàmetre al sector dels Privilegiats, zona subaquàtica de la cova des Pas de Vallgornera (Foto M. A. Perelló).



Figura 13.7: Conducte vertical d'alimentació sota l'aigua, d'uns 40 cm de diàmetre, a les galeries dels Domassos de les coves del Drac (Foto F. Gràcia).



MESOFORMES (d'ordre decamètric a mètric)

Cràter

Podem considerar aquesta morfologia, per ara únicament trobada a es Dolç, com a una obertura d'alimentació o *feeder*, a escala de mesoforma (GRÀCIA & FORNÓS, 2014). L'indret on es troba el Cràter es localitza a -21 m, a la part més pregonada d'una galeria a la qual dóna el seu nom. El Cràter consisteix en una depressió de forma troncocònica invertida (Fig. 13.3). S'obre a nivell del terra, amb unes dimensions de 7 x 6 m de diàmetre i davalla 6,5 m a on assoleix els -27,5 m. Semi-ocults per alguns blocs i pedres, es localitzen diversos conductes d'alimentació impenetrables que es perllonguen i profunditzen de cap al fons. Sembla que han actuat provocant una gran dissolució local de les calcarenites pliocenes que formen el trespòl de la galeria i això ha generat aquesta morfologia. El Cràter pròpiament dit es troba circumval·lat per crulls de descompressió que envolten el buit generat i són els que ocasionen l'acumulació de blocs al seu interior.

El lloc on s'ubica no està afectat per esfondraments, ja que el terra, molt pla i situat a uns -21 m té el trespòl format per roca mare, calcarenites pliocenes d'origen marí, molt blanques i gairebé sense recobrir de blocs caiguts. La galeria, amb aquesta espectacular forma de dissolució i altres conductes d'alimentació no posseeix morfologies zenitals dignes de menció.

Cruis o fractures d'alimentació (*feeders slots*)

Són els *feeders* o conductes d'alimentació amb aparença de fractura o esquerda descrits per MERINO & FORNÓS (2010) a la cova des Pas de Vallgornera. Sembla que a través de cruïses han ascendit aigües agressives d'origen profund. Arriben a assolir alguns metres de longitud i es perllonguen al llarg d'alguns indrets de les galeries on formen part del trespòl irregular de les mateixes. Són morfologies molt irregulars pel que fa a forma i dimensions, i resulten difícilment definibles llevat de la seva llargària de diversos metres (Fig. 13.4). A les eolianites pleistocenes des Dolç s'han localitzat al terra de les parets de la galeria de les Lloses, galeria Nord i algun indret de les galeries Paral·leles (Dolç Intern), però també a d'altres indrets de la cavitat (GRÀCIA *et al.*, 2014). A les coves del Drac només s'han localitzats alguns exemplars.

Conductes verticals d'alimentació i Embuts (*feeders*)

Són els *feeders* o obertures d'alimentació puntual de MERINO & FORNÓS (2010) de la cova des Pas de Vallgornera, que acostumen a presentar a es Dolç una boca d'aspecte d'embut irregular a la part exterior (com un cràter en petit), o bé el·líptica i en alguns casos més o menys circular, més a l'estil dels que es troben a la cova des Pas de Vallgornera. Les seves dimensions són molt variables anant des d'1,5 m d'eix major fins a uns pocs decímetres. Els de forma d'embut esdevenen progressivament més estrets fins a connectar amb els conductes verticals impenetrables. La part interna dels conductes sol presentar una forma tubular d'aspecte irregular que en vertical es perllonga profusament diversos metres fins no poder-se estimar la fondària que assolixen (Fig. 13.5). A causa de la seva profunditat els hem inclòs dins mesoformes. En ocasions es troben parcialment reblerts de sediments. A la part terminal de la galeria de l'Enfàs (es Dolç) sembla que aquestes estructures comuniquen amb un nivell inferior de buit, així com passa també en alguns casos de la cova des Pas de Vallgornera, a on comuniquen dos nivells superposats de galeries. Sovint se situen molt a prop uns dels altres, fins i tot comparteixen la mateixa obertura a l'exterior. Als materials pleistocenes del Dolç és a on s'aprecien les morfologies més complexes, amb



Figura 13.8: Canal meandriforme de sostre de més de 40 m de longitud, a la galeria Negra de les coves del Drac (Foto A. Cirer).

la part superior més oberta, en forma d'embut, mentre que a les calcarenites pliocenes d'origen marí adopten formes menys complexes, però també les mides més grans, com és el cas de la mesoforma anomenada el Cràter situat a la galeria homònima i que s'ha denominat amb aquest nom per les dimensions extraordinàries que assoleix. Tots els altres conductes d'alimentació que es localitzen en aquesta galeria presenten un aspecte molt més tubular, però a escala de microformes, entre 0,4 m i 2 m d'eixos majors, encara que les dimensions més freqüents es troben al voltant d'1 m.

Els conductes verticals d'alimentació de la cova des Pas de Vallgornera són espectaculars i sota l'aigua s'han trobat especialment al sector dels Privilegiats i al sector del Mussol, a on alguns presenten franges de color i alguns precipitats que envolten l'obertura (Fig. 13.6).

A les coves del Drac, dins materials miocènics, aquests conductes són molt nombrosos a la majoria de zones sotaiguades, però no tan desenvolupats i són de mides més reduïdes, llevats d'alguns pocs casos. Tampoc les formes són molt regulars i fins i tot difícils d'identificar (Fig. 13.7).

Canals de sostre (*ceiling channels*)

A la cova des Pas de Vallgornera són freqüents principalment a les galeries aèries que constitueixen el nivell superior de la cavitat. Les galeries que tenen un control estructural accentuat poden presentar formes acanalades que recorren grans trams del sostre de les mateixes. Per altra part, en llocs on el sostre no està afectat per discontinuïtats de la roca, aquestes formes presenten un recorregut molt sinuós amb el sostre completament pla i amplades que arriben a tenir varis decímetres, amb una profunditat variable. En aquest cas, quan els canals de sostre són abundants i estan entrelaçats, però separats per penjants arriben a presentar fenòmens d'anastomosis (*ceiling anastomoses*) (MERINO *et al.*, 2011b).

A la cova des Dolç no s'han reconegut aquestes morfologies. Les coves del Drac presenten importants canals de sostre, de formes, mida i aspecte molt divers (Fig. 13.8). Es localitzen gairebé per tots els sectors subaquàtics de la cavitat. És la cova subaquàtica a on hem observat aquestes morfologies més ben representades i abundants. A la galeria Negra n'hi ha un canal meandriforme que supera els 40 m de longitud i que segueix longitudinalment el sostre d'aquesta ampla galeria; a qualque indret es ramifica i presenta una fondària que pot superar els 40 cm (Fig. 13.8). El fet de que les mides

més freqüents estiguin per davall dels 10 m fan que els incloem dins l'apartat de mesoformes, encara que n'hi ha de macroformes. Presenta franges horitzontals paral·leles prolongades per tot el canal, amb una coloració salmó que suposam deguda a processos de precipitació. Al llarg dels solcs es troben diversos punts de descàrrega de dimensions molt variades, així hi ha forats, petites cúpules o fractures i fins i tot el que semblen plans d'estratificació. Es troba un altre important canal de sostre meandriforme a les galeries dels Domassos, encara que no presenta coloració. Alguns canals de sostre menys penetrants assolixen una gran complexitat per l'elevada quantitat de canals més petits que es van afegint de punts d'alimentació localitzats al mateix sostre, normalment a les voreres, o bé de les parets. Solen tenir colors molt clars, suposam per dissolució de

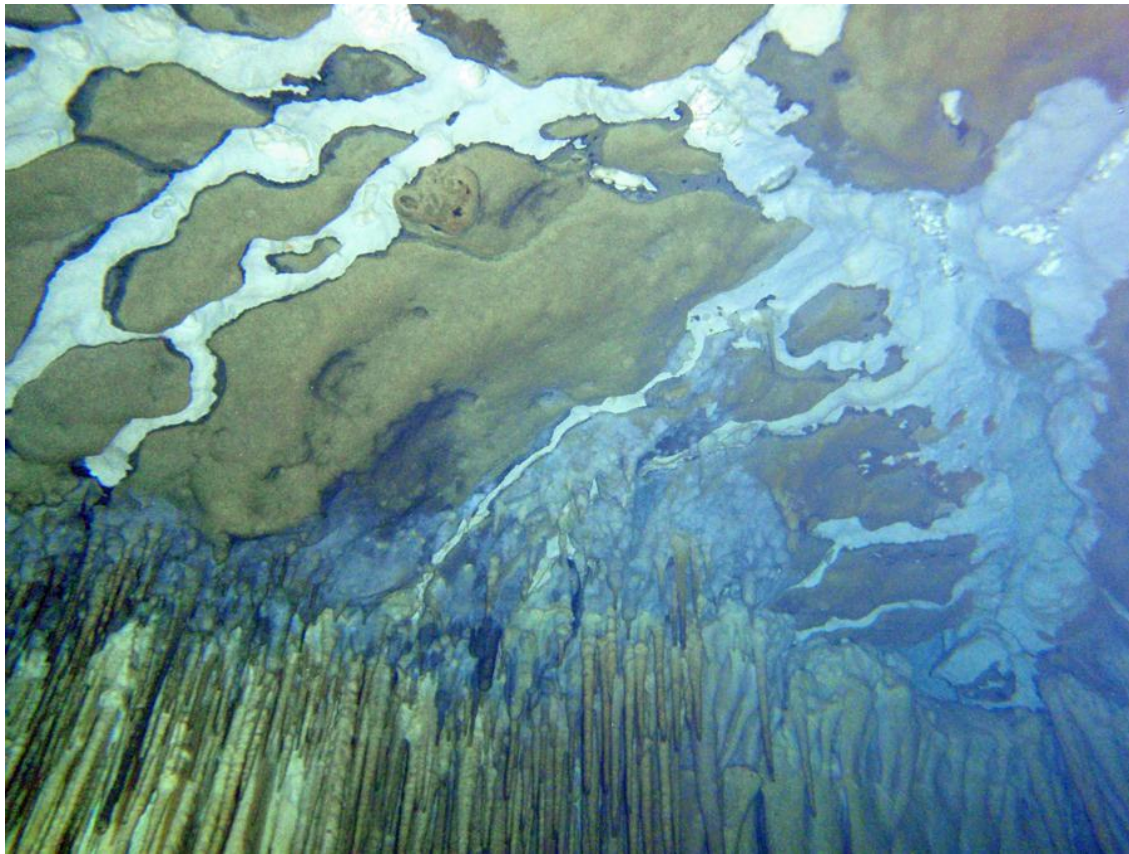


Figura 13.9: Canal de sostre molt complex format per la unió dels canals que parteixen d'abundants punts d'alimentació zenitals a les galeries dels Domassos de les coves del Drac (Foto F. Gràcia i A. Cirer).

la roca mare, i s'arriben a fusionar més de 40 petits canals que convergeixen entre sí per formar amplies clapes. En alguns casos també s'aprecien fenòmens d'anastomosi (Fig. 13.9). És interessant com les bombolles del bussejador es concentren i transcorren per aquests canals.

Cilindres ascendants

Localitzats a es Dolç (GRÀCIA & FORNÓS, 2014). Són morfologies ascendants de dissolució, que es troben al terra, parets i sostres i afecten fins i tot a grans blocs caiguts que són travessats completament de baix a dalt. En ocasions es presenten grups de cilindres situats pròxims entre si. S'han trobat de més de 2 m de longitud, en quedar seccionat i exposat el cilindre per despreniment de la massa rocosa parietal. La seva forma és cilíndrica, d'uns 10 a 25 cm de diàmetre i sembla que es manté constant al llarg del seu recorregut, encara que poden anar serpentejant a mesura que ascendeixen. Es diferencien dels conductes verticals d'alimentació en què els cilindres són de menor diàmetre. S'han localitzat als materials calcarenítics pleistocènics d'origen eòlic i també a les calcarenites pliocenes d'origen marí. S'observen tant al Dolç Extern com al Dolç Intern i en alguns casos es troben reblerts per sediments cimentats vermells. Considerem els que s'observen al terra com a obertures d'alimentació i els que es troben al sostre com a punts de descàrrega. El cilindre en si mateix, al llarg del seu recorregut, vendria a ésser un canal ascendent que connectaria els punts d'alimentació que guaiten per la cavitat amb els de descàrrega.

Cúpules (*cupolas*, *bellholles*)

Les cúpules es troben ubicades al sòtil de les sales i galeries. La seva forma pot ésser semiesfèrica, allargada o presentar formes mixtes entre ambdues i en ocasions superposades a diferents nivells (Fig. 13.10). Als sectors subaquàtics de la cova des Pas de Vallgornera no constitueix una morfologia molt cridanera i fins i tot és escassa o poc representativa. La seva presència a es Dolç és molt exigua i de mides decimètriques, per la qual cosa entrariem com a microformes. A les coves del Drac és a on es troben més ben representades numèricament i de dimensions. Se n'han localitzat algunes de més de 5 m de vertical i una amplària de Gairebé 4 m, com la que es troba al començament de les galeries dels Domassos. Actuarien en alguns casos com a formes de descàrrega ascendent (*outlets*).



Figura 13.10: Cúpula de mida considerable al sostre de les galeries dels Domassos a les coves del Drac (Foto A. Cirer).

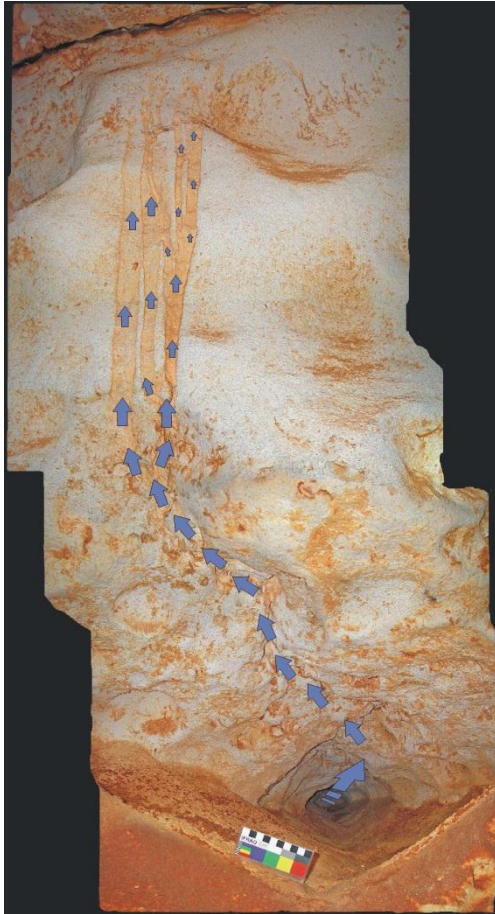


Figura 13.11: Punt d'alimentació (*feeder*) lateral a la cova des Pas de Vallgornera. En la foto s'hi pot apreciar un complet conjunt de formes hipogèniques de flux ascendent. Les fletxes indiquen la direcció dels fluxos hipogènics en tot el seu recorregut (Foto A. Merino).

MICROFORMES (d'ordre mètric a centimètric)

Punts d'alimentació laterals (*side feeders*)

Els *feeders* o punts d'alimentació laterals són morfologies localitzades a les parets de les galeries (Fig. 13.11). En alguns casos són forats d'alguns centímetres, petits conductes i en altres indrets fractures de la roca o petits porus, en ocasions de dimensions mil·limètriques, que aprofiten fins i tot fòssils (Fig. 13.12). També poden néixer des dels plans d'estratificació en el cas dels materials pliocens o de la laminació a les eolianites d'es Dolç. Quantitativament a es Dolç són poc abundants. A la cova des Pas de Vallgornera localment poden tenir densitats importants, però després en grans extensions de la cavitat no apareixen. En proporció és a les coves del Drac a on abunden més, ja que es troben a tots els sectors subaquàtics, fins i tot guaiten fóra de l'aigua a llocs tan emblemàtics com el llac Martel i el llac Negre.

Canals ascendants de paret (*rising wall channels*)

Són morfologies que s'inicien als punts d'alimentació lateral (*feeders*) i poden connectar amb punts de descàrrega (*outlets*). Evidentment, es tracta d'estructures que assenyalen un flux en sentit ascendent (KLIMCHOUK, 2007). Els *rising wall channels*, canals ascendants de dissolució, ja van ser descrits a la cova des Pas de Vallgornera (GINÉS *et al.*, 2008, 2009a, 2009b; GRÀCIA *et al.*, 2009a, 2009b). A partir del punt d'alimentació i per sobre de la boca del *feeder*, es configura un canal o conjunt d'ells que de manera ascendent van desenvolupant-se al llarg de la paret, observant-se sovint com aquests canals s'escindeixen o bé entren en coalescència els uns amb els altres i en

ocasions un canal es bifurca per poder-se tornar a solapar posteriorment. La longitud pot ésser molt diversa, d'uns pocs centímetres a gairebé 2 metres (Figs. 13.12,13.13).

A les coves del Drac són extraordinàriament freqüents, i molt marcats, amb coloracions generalment més clares que la roca a les quals afecta. En ocasions es desenvolupen sobre espeleotemes, com colades parietals i columnes, fet que ens indica que alguns d'aquests processos s'han generat recentment.

Poden ésser individuals o bé col·lectives que sovint s'imbriquen entre si. Hi ha indrets a on es converteixen en canals de sostre meandriformes. N'hi ha que s'inicien de concavitats poc marcades, petits forats o bé de tupins. En alguns casos en arribar al sostre s'eixamplen de forma espectacular i generen una espècie de discs interconnectats entre si per canals. La seva forma i dimensions van variant



Figura 13.12: Obertura per les quals sorgeixen els fluids més lleugers i agressius. Les dues primeres imatges corresponen a les coves del Drac i s'inicien de dins tupins i petits forats de la paret. La tercera fotografia, d'un metre d'amplària, és des Dolç i les obertures són petits forats mil·limètrics que semblen alineats seguint els estrats dels materials pliocens (Fotos GNM i F. Gràcia).

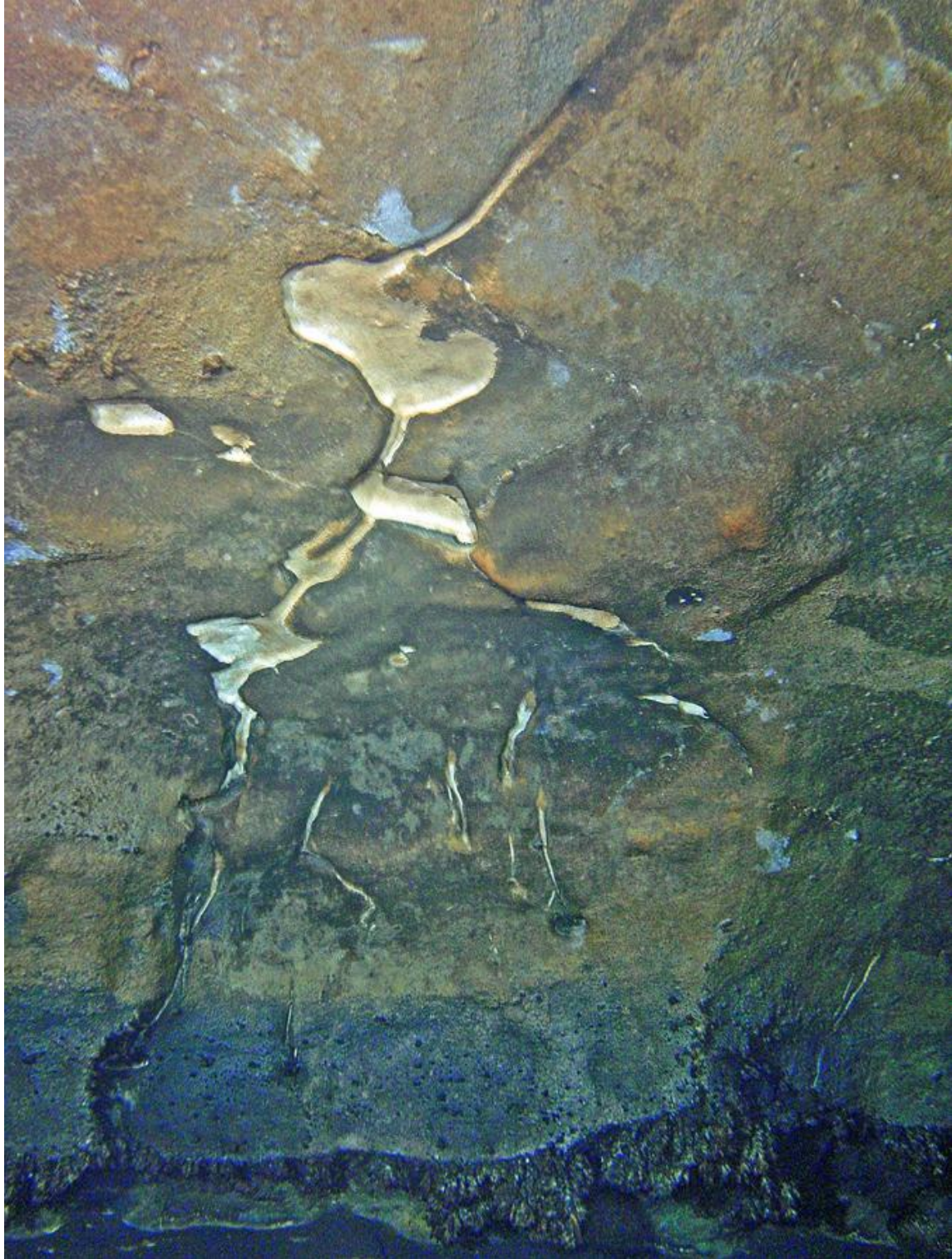


Figura 13.13: Canals ascendents de paret que parteixen de petits forats de les coves del Drac. S'ha generat un petit canal de sostre (es pot observar clarament pel color clar) que recorre el sostre i penetra en una petita concavitat on el flux s'acumula dins la superfície més còncaua; d'aquí arranca un nou solc que el comunica amb una altra concavitat veïna, repetint-se en diverses ocasions el mateix procés. La mida del conjunt és d'uns 2 m (Foto F. Gràcia).

d'acord amb l'angle que presenta el pla de la paret respecte a la vertical. Els canals penetren fins a alguns centímetres o només són molt superficials i es fan visibles per la coloració que han provocat. Com ja s'ha comentat per a l'anterior morfologia, de la qual parteixen, es troben a tots els sectors subaquàtics.

A es Dolç, com a les altres cavitats, la coloració dels solcs pot ser diferent a la que presenta la roca, fet que ressalta la seva existència i trajectòria (GRÀCIA *et al.*, 2014). Als pous Amagats solen ésser de color més clar que el color superficial de la paret, mentre que al final de la galeria de les Lloses n'hi ha



Figura 13.14: Punt de descàrrega al sostre de la galeria Negra de les coves del Drac. Es localitza al final d'un canal de sostre meandriforme d'uns 40 m de longitud (Foto A. Cirer).

que són de color molt fosc. En molts de casos, els canals es van difuminant fins que desapareixen sense arribar a connectar amb cap lloc de descàrrega. A més, s'han localitzat una sèrie de conjunts de canals ascendents que es desenvolupen a partir de plans de fractures, que cobreixen en alguns casos amples zones de les parets de les galeries. Es tracta de solcs de mides variables que rarament arriben a presentar dimensions centimètriques en les seves amplada i profunditat, al contrari del que passa amb la longitud que pot superar els 1,5 m. S'ha posat en evidència la presència d'aquest tipus de canals ascendents, que en molts casos passa quasi desapercebuda, en alguns indrets de la cavitat. S'han localitzat a es Dolç Extern als pous Amagats, dins materials

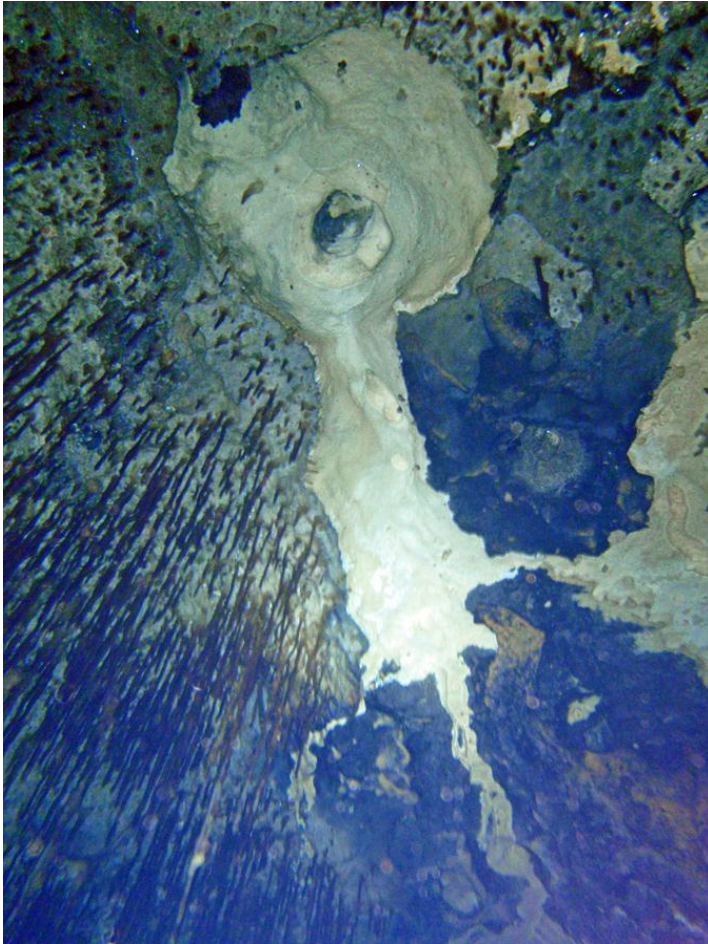


Figura 13.15: Conjunt de canals meandriformes de sostre que convergeixen en una cúpula que actua de punt de descàrrega. Les mides de longitud són d'aproximadament de 5 m. La coloració fosca del sostre i dels espeleotemes és una de les característiques associades als fenòmens hipogènics. Galeries Hipòstiles de les coves del Drac (Foto F. Gràcia).

pliocens. Al Dolç Intern en alguns indrets de la galeria de les Lloses, dins eolianites.

Punts de descàrrega (*outlets*)

Morfologies en forma de forats, cilindres, porus, fractures i altres, que es localitzen al sostre o parets de les galeries (Fig. 13.14, 13.15). Representen una continuïtat dels *rising wall channels* o canals ascendents de paret. A les galeries sotaiguades de la cova des Pas de Vallgornera no són especialment cridaners. A les coves del Drac són molt abundants i extraordinàriament diversos en mides i formes. En molts de casos d'aquesta cavitat, els

punts d'alimentació i de descàrrega es troben ambdós al sostre. A es Dolç són molt estranys, possiblement per la porositat de les eolianites pleistocenes i pliocenes que conformen la cova que causa que els fluxos hipogènics no tinguin llocs preferents de descàrrega, una vegada abocats al buit en sortir dels punts d'alimentació.

Capítol 14. ELS ESPELEOTEMES DE LES CAVITATS INUNDADES

14.1. Introducció

La bellesa i abundància d'espeleotemes a les cavitats de Mallorca és una característica habitual d'una bona part de les coves de l'illa, si més no, a les del Migjorn i Llevant. Al segle XIX els llibres de viatges varen incloure precioses làmines amb gravats i meravelloses descripcions de les formacions estalagmítiques de les coves del Drac i de les coves d'Artà, principal reclam d'aquestes cavitats que han esdevingut objectius turístics molt valorats al llarg del segle XX i XXI (Fig. 14.1). La causa de la seva abundància i bellesa és l'existència d'uns condicionants geoclimàtics favorables per al creixement d'espeleotemes d'una gran diversitat tipològica i mètrica (GINÉS, 1995a). La composició litològica de les roques que formen les plataformes tabulars de les marines de Migjorn i de Llevant és majoritàriament per acumulacions de sediments escullosos i calcarenítics postorogènics corresponents al Miocè superior (GINÉS, 1995a), encara que darrerament s'han trobat importants novetats endocàrstiques dins els materials del Pliocè i Pleistocè del litoral de ses Salines (GRÀCIA *et al.*, 2014).

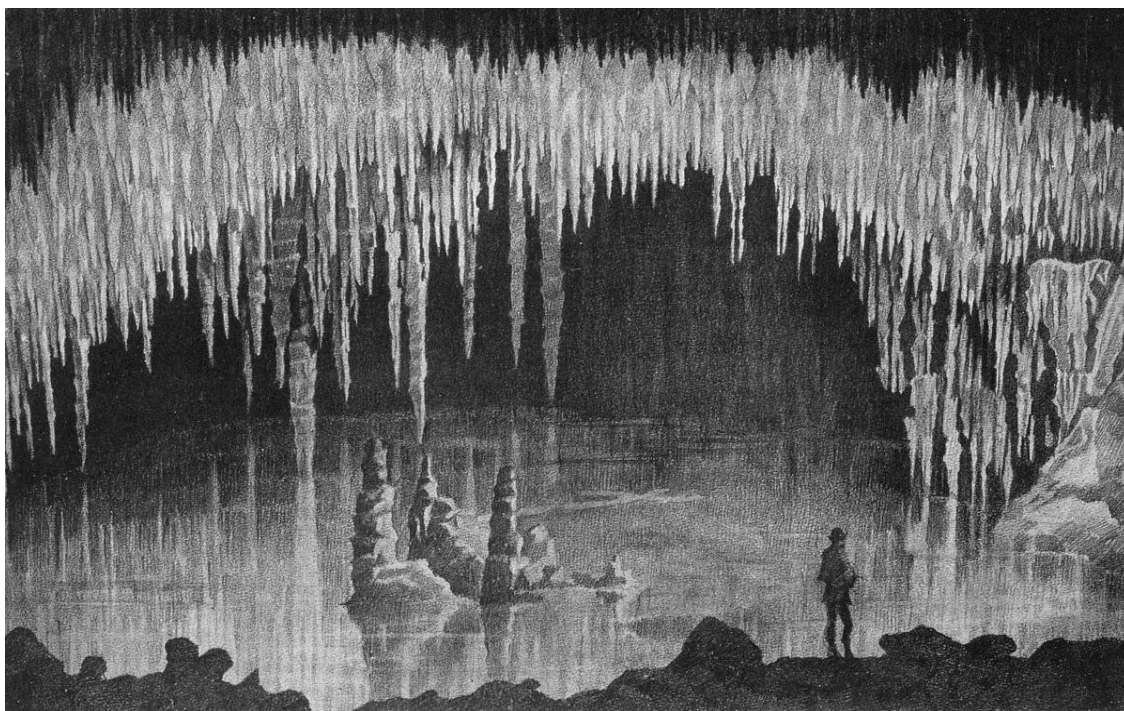


Figura 14.1: Abundants espeleotemes i de gran valor estètic del llac de les Delícies. Làmina de GAY S. i CHAMPSAUR B. (1885): "Álbum de las Cuevas de Artá y Manacor".

Aquests materials predominantment carbonatats determinen que la calcita és el mineral més abundant i amb molta diferència, seguit de l'aragonita, que forma part de diversos tipus d'espeleotemes menys freqüents, com ara certs ramells de cristallitzacions parietals i alguns espeleotemes freàtics de creixement subaquàtic (MERINO *et al.*, 2011c). Els altres minerals són molt minoritaris, emperò la minsa diversitat mineral no suposa cap entrebanc pel que fa a l'excepcional diversitat d'espeleotemes que es presenten. A més a més, el terme espeleotema és la manera en la qual es presenta un mineral dins les coves i no fa referència a la seva composició química.

A les zones submergides estudiades de la cova des Pas de Vallgornera, la presència de zones de les cavitats que es desenvolupen dins les fàcies de front d'escull (molt poroses) i d'altres zones que travessen les fàcies de lagoon extern (molt uniformes i estratificades i amb poca porositat) condicionen la diferent distribució dels espeleotemes (GRÀCIA *et al.*, 2009a; MERINO *et al.*, 2014b).

A causa de la remarcable diversitat tipològica que mostren els espeleotemes, s'ha considerat convenient utilitzar la sistematització dels grups d'espeleotemes proposada per GINÉS (1995), HILL & FORTI (1997) i MERINO *et al.* (2011c, 2014b), segons la qual es diferencien els següents tipus genètics, en relació al mode en què es produeix l'aportament d'aigua: espeleotemes de degoteig, espeleotemes de flux, espeleotemes produïts per capil·laritat, espeleotemes subaquàtics d'origen vadós i espeleotemes subaquàtics d'origen freàtic costaner.

S'ha de tenir present que en aquest apartat només tractam dels espeleotemes de les galeries i sales que es troben per davall del nivell freàtic. La veritat és que, com és lògic, no hi ha gran diferència entre la tipologia dels espeleotemes que es veuen a les zones actualment vadoses i les freàtiques, ja que la major part s'han generat en condicions vadoses, no debades documentar les cavitats o sectors d'aquestes on hi ha més riquesa de formacions litoquímiques i la tipologia d'aquestes creiem que és una informació prou interessant que justifica aquest capítol.

14.2. Espeleotemes de degoteig

Les estalactites, estalagmites i columnes són sens dubte els espeleotemes més característics, habituals i nombrosos formats per l'aigua de degoteig a l'interior de les coves (*dripstone speleothems*). La gènesi d'aquests dipòsits minerals, que segueixen un

eix vertical, està controlada per la gravetat. La pèrdua de diòxid de carboni al voltant de la gota, que guaita del sostre, causa la sobresaturació i precipitació d'una petita quantitat de carbonat càlcic i crea el desenvolupament d'una estalactita. La precipitació prossegueix quan la gota cau al terra i allibera una quantitat addicional de diòxid de carboni i es forma així l'estalagmita. Si el procés prossegueix amb el temps, de forma simultània, l'estalactita i l'estalagmita s'uneixen formant una columna. Menciono a part és la varietat d'estalactites peculiars anomenades estalactites fistuloses (*soda straws*), formades per tubs cilíndrics molt prims i translúcids, amb un conducte interior buit, que assoleixen longituds que poden superar en ocasions els 5 m de longitud (Fig. 14.2). Sovint es troben formant atapeïts agrupaments de centenars d'exemplars. Els principals boscos d'estalactites fistuloses submergides es localitzen al sífó dels Somnis (cova d'en Bassol),

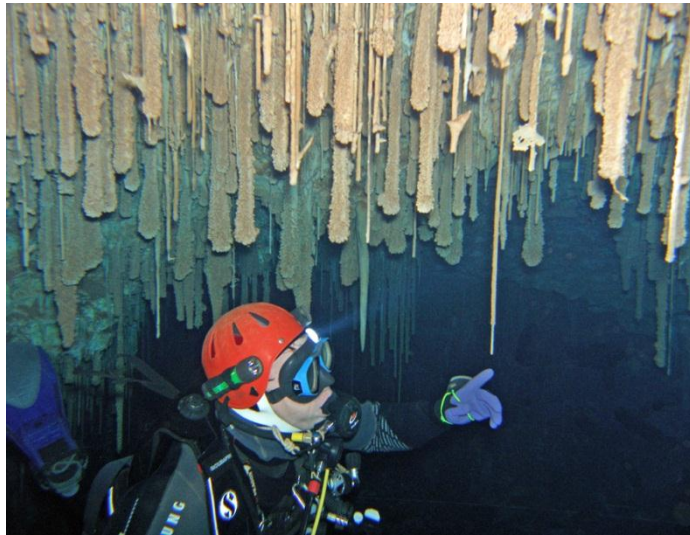


Figura 14.2: Estalactites fistuloses, algunes de les qual es troben recobertes de revestiments freàtics de la cova d'en Bassol. Foto F. Brehier.

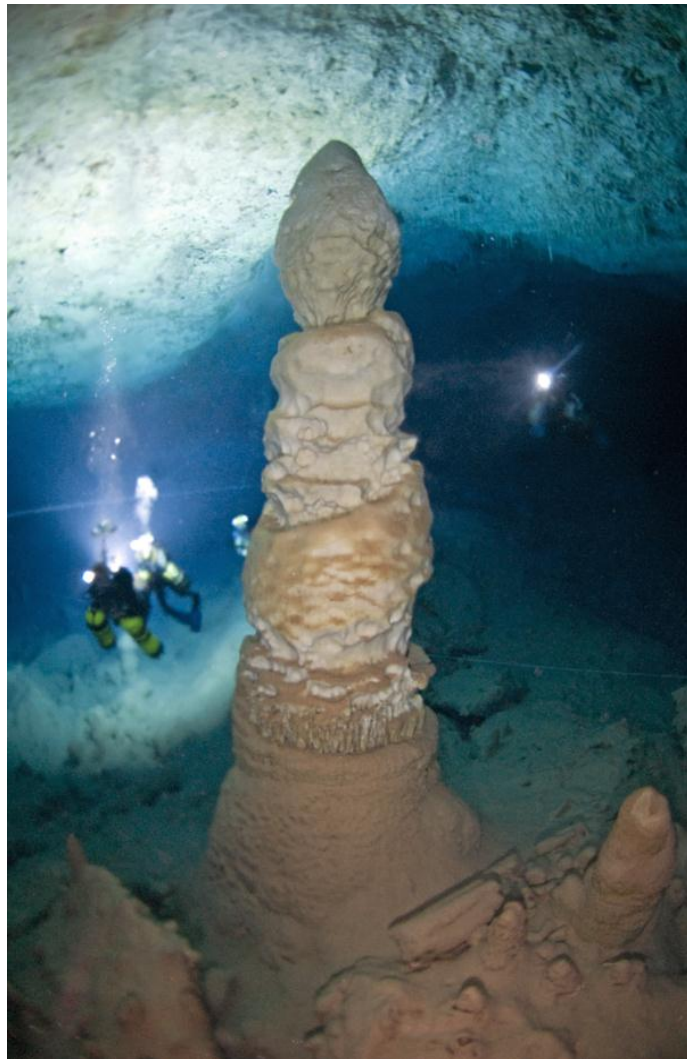


Figura 14.3: Estalagmita de 8 m d'alçària "el Vigilant", sistema Gleda-Camp des Pou. Foto A. Cirer.



Figura 14.4: Columnes paral·leles, estalactites i colades parietals a l'inici de les galeries del Sultà (sector Subaquàtic de Llevant. Coves del Drac). Es pot apreciar una banda de creixement freàtic que envolta les columnes i estalactites (Foto A. Cirer).



Figura 14.5: Massís estalagmític que subdivideix la galeria de les Delícies a les coves del Drac (Foto A. Cirer).

sala Decorada (sistema Pirata-Pont-Piqueta), sala Francesc Ripoll i galeria dels Degotissos (sistema Gleda-Camp des Pou), alguns indrets del sector Antic (cova des Pas de Vallgornera) i les galeries Hipòstiles, galeries dels Domassos, galeria de l'Arxiduc, galeria dels Cocos (coves del Drac).

Les estalactites, estalagmites i columnes es troben gairebé a totes les cavitats del Migjorn i Llevant i també a les seves extensions submergides. Algunes estalactites i estalagmites a nivell individual assoleixen importants dimensions, com és el cas de l'estalactita i estalagmita de la sala Fonda (cova de Cala Varques B), d'uns 7 m i que gairebé connecten. A la galeria Cinc-Cents (sistema Gleda-Camp des Pou) "el Vigilant" és una estalagmita que supera els 8 m d'alçària i s'alça majestuosa enmig del gran buit de l'espectacular galeria (Fig. 14.3). A les coves del Drac els espeleotemes de degoteig són extraordinàriament abundants a la major part d'àmbits de la cavitat (Fig. 14.4). A la cova Genovesa grans columnes, alguna d'uns 9 m, destaquen a la sala de les Bonel·lia Viridis. A la sala Francesc Ripoll moltes columnes d'entre 7 i 12 m d'alçària i diàmetre considerable, decoren la gran sala. A es Dolç i la cova des Coll només es troben espeleotemes a llocs molt concrets, encara que hi ha evidències que les cavitats

posseïen abundants espeleotemes, però que l'acció de dissolució de les aigües agressives els ha fet desaparèixer.

Els massissos estalagmítics es formen per la unió de columnes i altres espeleotemes i actuen en ocasions d'envans que compartimenten o tanquen els àmbits. Grans massissos estalagmítics es troben a la galeria dels Degotissos i la sala Francesc Ripoll (sistema Gleda-Camp des Pou), sifó dels Somnis (cova d'en Bassol), sala Bermudacaris (cova Genovesa), galeria de les Delícies, pas de les Columnes, galeries Hipòstiles (coves del Drac, Fig. 14.5).

Les banderes (*draperies*) són espeleotemes d'origen mixt, ja que pegen de les parets o sostres d'un gran nombre de cavernes i es formen quan les aigües de degoteig van regalimant, al llarg d'una superfície inclinada, per la qual cosa també són de flux. Sovint les banderes adquireixen plect molt tortuosos que els hi atorguen un aspecte molt característic. Banderes molt espectaculars es troben al sifó dels Somnis (cova den Bassol), galeria de les Delícies (coves del Drac), alguns indrets del sector Subaquàtic de Gregal i del sector Clàssic (cova des Pas de Vallgornera, Fig. 14.6).

Un altre tipus d'espeleotema de degoteig present a algunes cavitats són els conulits (*conulites*), consisteixen en petits tubs, de forma cilíndrica o cònica, que es formen allà on un degoteig d'aigua cau de manera continuada sobre un sòl de material



Figura 14.6: Banderes del sector Subaquàtic de Gregal (cova des Pas de Vallgornera). Foto A. Cirer.

tou (MERINO, 2006). L'impacte de les gotes remou i desplaça part dels materials i excava progressivament un buit d'aspecte cilíndric. Simultàniament, les parets d'aquests pouets queden revestides d'una capa de precipitat de carbonat càlcic, que origina una mena de closca interior rígida, que ulteriorment pot quedar al descobert per l'erosió, dels materials adjacents al conulit. S'han trobat abundants conulits sota les aigües al sector Subaquàtic de Gregal (cova des Pas de Vallgornera).

14.3. Espeleotemes de flux

S'anomenen amb el terme genèric de colades (*flowstone speleothems*). Es generen per les aigües d'infiltració que flueixen lentament per les parets, el trespol o al peu de formacions estalagmítiques de les coves (flux laminar) i que es mantenen sobresaturades al llarg del seu recorregut. Són formacions que poden ocupar grans superfícies i desnivells. Estan constituïdes per successives capes, generalment molt primes, de petits cristalls que van creixent perpendiculars a la superfície per on flueix l'aigua. Com a conseqüència de la gran varietat de situacions en què pot tenir lloc aquesta modalitat de precipitació química, s'originen innumerables formes, que es



Figures 14.7: Colades parietals al sector de Ponent, sistema Gleda-Camp des Pou (Foto A. Cirer).



Figura 14.8: Colada pavimentària de la cova des Pas de Vallgornera (Foto M. A. Perelló).

poden agrupar amb un criteri molt simple en colades parietals i colades pavimentàries, depenent de si recobreixen les parets o el trespòl de les coves (Figs. 14.7, 14.8). La gran diversitat d'aspectes, formes, mides, colors i combinacions amb altres espeleotemes que adquireixen recorden cascades, boscos i orgues (GINÉS, 1995; MERINO *et al.*, 2011c). Les colades pavimentàries poden assolir un gruix considerable i

recobrir i fossilitzar sediments més antics, espeleotemes trencats o sencers i grans acumulacions de blocs de les sales d'esfondrament.

De manera general, les colades són espeleotemes molt abundants a la immensa majoria de cavitats subaquàtiques de Mallorca. A la cova des Pas de Vallgornera són especialment abundants pertot arreu a les fàcies de front d'escull, i fins i tot freqüents, a llocs on no es troben espeleotemes de degoteig (GRÀCIA *et al.*, 2009a, Fig.14.8). També a les zones aèries de la cavitat (MERINO *et al.*, 2014b). Als sectors a on la roca correspon a les fàcies de lagoon extern, molt menys poroses, es troben importants colades pavimentàries, com és el cas de la galeria Collonuda Sud i Collonuda Nord (sector Subaquàtic de Gregal), amb longituds importants. Semblen en ocasions rius al terra i caracteritzen les galeries a on es troben. Les colades pavimentàries són molt més abundants en comparació amb les colades parietals, que constitueixen uns espeleotemes quantitativament poc importants a la part subaquàtica de la cavitat. Al sector Antic es troben recobrint el terra de gran part de les galeries i sales, formant un trespòl pla només interromput per *gours* i estalagmites. En el sector de les Grans Sales gairebé no hi són presents. La bellesa i coloració especial que adquireixen moltes de les extenses colades pavimentàries de la cavitat les fan úniques a Mallorca.

A la cova Genovesa es troben a la sala Bermudacaris i sala de les Bonellia Viridis. El sistema Pirata-Pont-Piqueta presenta colades pavimentàries a alguns indrets

de la galeria Corcada; colades pavimentàries a la galeria del Llac Ras i a la galeria Decorada; mentre que a la part final, sota l'aigua, de la galeria Myotis les continuacions subaquàtiques es troben tancades per esfondraments recoberts de colades estalagmítiques. La cova des Drac de Cala Santanyí està recoberta per colades a la galeria dels Paleonivells, la sala de la Bèstia Fabulosa i la sala del Cavaller. La cova d'en Bassol en presenta al sífó dels Crancs i especialment al sífó dels Somnis, així com la veïna cova de Cala Mitjana. Al sistema Gleda-Camp des Pou són molt abundants i de grans dimensions les colades parietals de la galeria dels Degotissos (sector de Ponent, Fig. 14.7), així com colades pavimentàries i parietals al sector de la Unió. Les coves del Drac posseeixen colades estalagmítiques especialment a la galeria de les Delícies, galeries Hipòstiles i alguns indrets de les galeries dels Domassos i de la galeria de l'Arxiduc. Es Dolç i la cova des Coll només presenten colades a indrets molt determinats i escassos, especialment a als sectors més interiors, encara que també hi ha molts d'indis de la seva existència pretèrita a moltes galeries i sales.

14.4. Espeleotemes produïts per capil·laritat i formes botrioidals

S'apleguen en aquest apartat els espeleotemes que tradicionalment s'han anomenat estalactites excèntriques, però també s'integren una considerable varietat de formes coral·loides i arraimades. Les aigües d'infiltració, que percolen lentament aprofitant els petits porus i minúscules fissures de la roca, són les generadores d'aquests espeleotemes que no assenyalen cap orientació vertical preferent, però que addicionen a la seva trajectòria erràtica unes morfologies tan característiques com diversificades (MERINO *et al.*, 2011c). La precipitació del carbonat càlcic es produeix al voltant de porus molt petits, a partir de solucions que traspuen molt lentament a través de les parets de les cavitats (*seepage water speleothems*); en aquestes condicions, el creixement dels petits espeleotemes pot presentar girs que depenen més de les forces que actuen a nivell dels processos de cristallització que de la manera com la gravetat determina el pas de l'aigua d'infiltració i el seu flux, molt més ràpid i necessàriament descendent. Quan l'aportació d'aigua d'infiltració experimenta variacions al llarg del temps, es produeix una gravitacionals i les forces originades per capil·laritat (PALMER,

2007), de tal manera que les formes resultants poden ser molt més complexes. Com a conseqüència de tots aquests processos físico-químics, així com de la porositat de la roca i de distints paràmetres microclimàtics, s'originen una munió de tipus d'espeleotemes que mostren una aclaparadora diversitat morfològica. Això val tant pel que fa a les estalactites excèntriques com per a tot el conjunt de formes botrioïdals (concrecions en forma de raïm) i coral·loides, que recobreixen sostres i parets, i fins i tot les estalactites, estalagmites i colades.

Dins de l'ample grup de les estalactites excèntriques, les quals es caracteritzen per constituir espeleotemes allargassats que creixen generalment des del sòtil o les parets de les cavitats, cal distingir diferents tipologies de difícil classificació. La majoria d'excèntriques presenten formes corbades, més o manco helicoidals, motiu pel qual s'utilitza preferentment el terme helictita (*helictite*) per a la seva descripció (Fig. 5). Entre elles cal distingir helictites filiformes, extremadament primes, helictites vermiformes, retorçudes i una mica més gruixudes, i fins i tot heligmites, similars a les anteriors però que creixen des del terra.

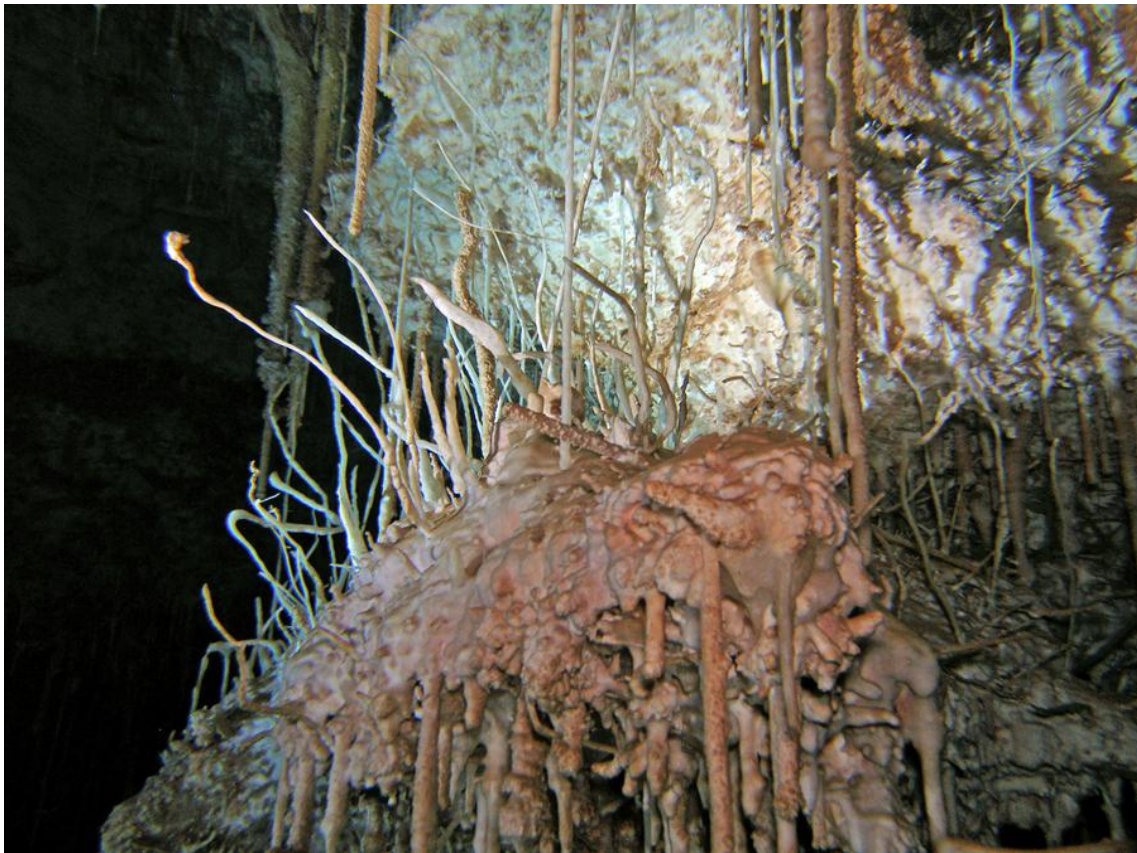


Figura 14.9: Helictites del sífó dels Somnis a la cova den Bassol (Foto O. Espinasa).

Les helictites vermiformes són abundants al sífó dels Somnis de la cova d'en Bassol (Fig. 14.9), al sector Clàssic i a llocs molt concrets del sector Subaquàtic de Gregal (cova des Pas de Vallgornera). Estalactites excèntriques es troben a la galeria del Llac Ras i sala dels Caramells (sistema Pirata-Pont-Piqueta), a les galeries dels Domassos (coves del Drac).

A més de les estalactites excèntriques, dins d'aquest ample grup de morfologies més o manco erràtiques, cal incloure les anomenades formes botrioidals i els coral·loides (Fig. 14.10); la gènesi de les quals sembla lligada a complexes interaccions entre fenòmens de capil·laritat i la probable aportació d'aerosols causats per esquitxos produïts a causa del degoteig zenital. Es tracta, en general, de petits espeleotemes d'aspecte nodular (entre uns

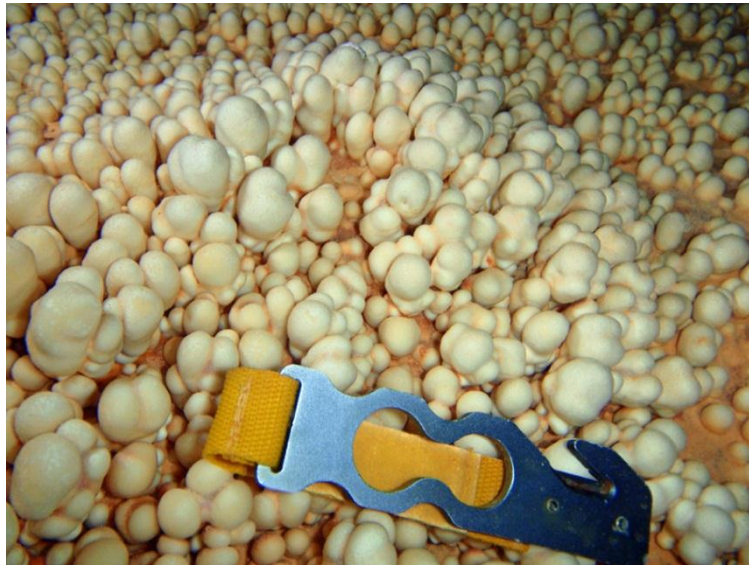


Figura 14.10: Espeleotemes coral·loides. Galeria Endavant les Atxes (sector Subaquàtic de Gregal). (Foto F. Gràcia).

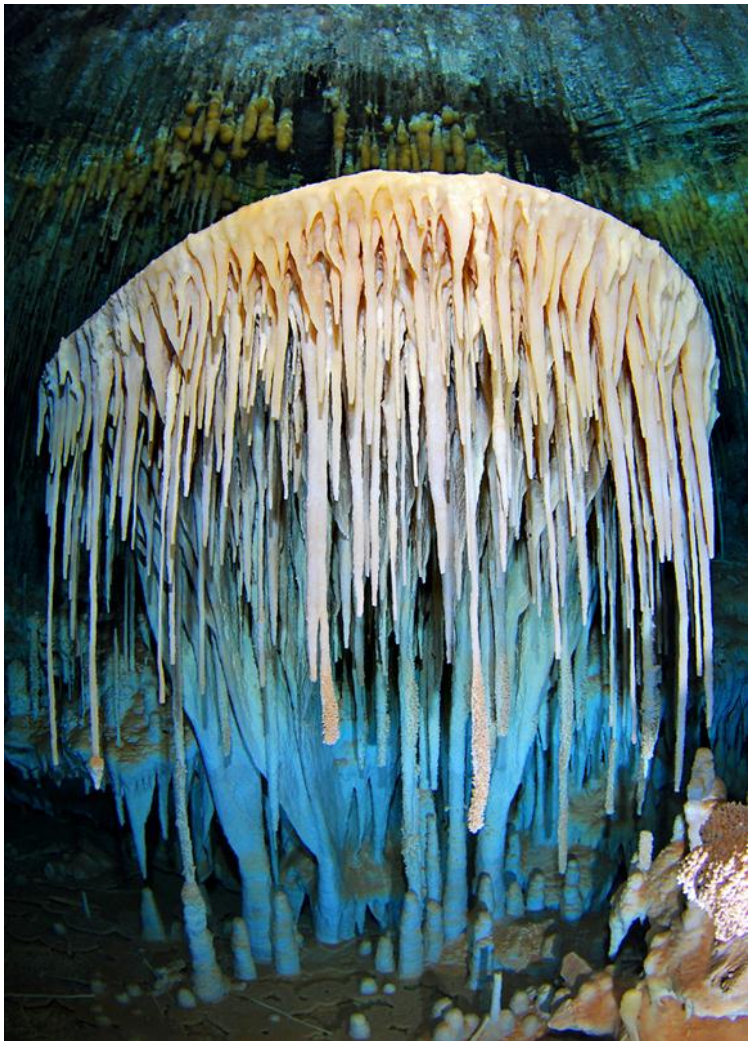


Figura 14.11: Disc del sector Antic, cova des Pas de Vallgornera, amb estalactites que pengen . Foto A. Cirer.

pocs mil·límetres i un parell de centímetres), que freqüentment apareixen formant raïms de formes globulars o bé sobresurten amb diminuts peduncles o branquillons que els donen una aparença més aviat coral·lina). Es poden desenvolupar sobre qualsevol superfície, recobrint parets, sostres, trespols amb diferents sediments, blocs caiguts o fins i tot espeleotemes, com ara colades i estalagmites.

A la cova des Pas de Vallgornera es troben especialment al sector Subaquàtic de Gregal, encara que també n'hi ha de forma puntual al sector de les Grans Sales. Al primer sector abans mencionat es localitzen al primer tram de la galeria Miquel Àngel Barceló, la galeria Endavant les Atxes i al començament de la galeria Jaume Damians. En ocasions, als llocs on es troben, hi són extraordinàriament abundants i recobreixen en gran part el terra de les galeries. Al sector dels Privilegiats es troben també al sostre amb un aspecte realment coral·loide, fins al punt que semblen més coralls que espeleotemes.

Finalment, cal destacar l'existència d'un altre tipus d'espeleotema, molt particular, que evidencia una propera relació genètica amb els tipus anteriorment esmentats a causa de la manera com es produeix l'arribada de l'aigua; és a dir, mitjançant petites aportacions d'aigües de percolació que no produeixen degoteig continu i que en canvi provoquen el creixement d'un espeleotema ascendent. Es tracta dels anomenats discos (*shields*), que formen una complexa estructura ovalada o quasi circular, consistent en dos discos paral·lels separats entre si per una diminuta fissura a través de la qual petites quantitats d'aigua assoleixen el seu vorell i precipiten carbonat càlcic al seu voltant (Fig. 14.11). A les zones actualment vadoses no són molt abundants i per davall del nivell freàtic actual només les coneixem de la cova des Pas de Vallgornera, concretament al sector Clàssic, ja que als altres sectors són formacions absents.

14.5. Espeleotemes subaquàtics d'origen vadós

La zona d'infiltració o zona vadosa (*free-draining percolation zone*, segons FORD & WILLIAMS, 2007), es caracteritza pel trànsit vertical de les aigües sota l'efecte de la gravetat. Les aigües d'infiltració en ocasions s'acumulen i formen embassaments permanents o temporals d'aigua, de mides molt variables. Aquesta aigua



Figura 14.12: Represa d'un gour gegant del sector de Gregal, del sistema Gleda-Camp des Pou (Foto A. Cirer).

pot procedir directament de la que cau des d'estalactites o altres espeleotemes zenitals, o bé de l'aigua que flueix al terra per damunt de colades estalagmítiques. Dintre d'aquestes aigües, independents del nivell freàtic i molt sobresaturades, poden créixer cristallitzacions subaquàtiques que ocasionen espeleotemes ben especials. Els espeleotemes més característics que es generen a causa de les acumulacions d'aigua vadosa són els gours (*gurs*, segons la versió catalanitzada que es proposa a RIBA, 1997). Els gours es poden definir com a embassaments temporals d'aigua a on la precipitació de carbonats genera espeleotemes còncavos que posseeixen una paret extraplomada a contrapendent (Fig. 14.12) (GINÉS, 1995). Les seves dimensions són extremadament diverses, poden fluctuar entre mil·límetres o centímetres, en aquest cas s'anomenen microgours, fins a metres de longitud i entre mil·límetres i metres de profunditat. La formació es deu inicialment a les petites perturbacions que provoquen les irregularitats del sòl sobre els fluxos laminars que circulen amb certa regularitat sobre el terra de les cavitats; d'aquesta manera comencen a formar-se uns cordons sinuosos que returen l'aigua en basses molt somes. Aleshores, el carbonat càlcic precipita més ràpid just en el caire de la paret que fa de resclosa, per on sobreix l'aigua, degut a

que el flux turbulent fa augmentar la pèrdua de diòxid de carboni, i això determina el creixement en altura de la resclosa i fa que el gour vagi guanyant en profunditat i capacitat per a emmagatzemar més aigua (MERINO *et al.*, 2011c). Aquests espeleotemes creixen generalment sobre colades pavimentàries o bé n'ocupen les depressions del trespol de sales i galeries on s'acumula temporalment l'aigua vadosa. L'altura que assoleix la paret depèn del pendent del substrat; sembla que les cubetes més somes van associades a pendents més suaus, mentre que els exemplars més fondos corresponen a les sales o galeries que tenen un major desnivell. Encara que es poden trobar gours separats i més o manco aïllats, el més freqüent és que es presentin formant grups connectats hidrològicament entre si, de manera que l'aigua que vessa d'un n'alimenta el següent aigües avall. A les coves subaquàtiques de Mallorca són espeleotemes comuns. Cal esmentar els extensos conjunts de gours de les galeries de la cova des Pas de Vallgornera, on sens dubte es localitza la millor representació d'espeleotemes subaquàtics d'origen vadós de tota l'illa de Mallorca, actualment sota les aigües. Totes els sectors de la cavitat sota les aigües posseeixen gours. La importància quantitativa que tenen els gours a les galeries sotaiguades dels sector Antic de la cavitat, desenvolupades dins les fàcies de front d'escull, és notòria. N'hi ha de tota mida i amb decoracions i tipologies molt riques i diverses. El sector a on són molt abundants és sense cap dubte el sector Antic. Curiosament però, els gours de majors dimensions i fondàries localitzats fins ara, es troben dins les galeries ubicades a les fàcies de lagoon extern, com és el cas per exemple, de la part final de la galeria Miquel Àngel Barceló, abans de sortir a la darrera sala amb aire. Es tracta d'un gour de més de 50 m de longitud, amb les voreres i la gran columna central que marquen un antic nivell d'aigua molt clar. També el terra i parets estan recobertes de formacions subaquàtiques. Un altre gour important és el que es troba abans de la sala de sa Fadrina Vella, on destaca per les gruixudes plaques de calcita flotant dipositades a les voreres i al terra (GRÀCIA *et al.*, 2009a). Al sistema Gleda-Camp des Pou només són importants en zones molt concretes de la sala Francesc Ripoll i abans de la sala dels Dos Llacs del sector Antic; galeries laterals del començament del sector de Gregal, alguns indrets del sector de la Unió i de Ponent. Són dignes de menció els grans gours que es troben al sector de Gregal, concretament a la localitat que anomenam toponímicament com “els Gours” (Fig. 14.12). Es tracta de diversos grans gours, de molts de metres de longitud i entre 1 i 1,5 m d'alçària de les repeses.

Dins l'interior i a les vores dels gours, aquests poden contenir altres varietats d'espeleotemes que recobreixen el fons i les parets de la concavitat fins al nivell on se sol emplenar d'aigua i que, a més a més, produeixen diversos tipus de sobrecreixements que poden generar gran quantitat de formes de recobriment molt diversificades. Es tracta d'espeleotemes mixtos que assoleixen, de vegades, una gran complexitat a causa de la sobreimposició d'etapes tant subaquàtiques com subaèries, depenent de les condicions fluctuants de dessecament i immersió que els hi afecten localment (Figs. 14.13,14.14).

Entre aquestes varietats d'espeleotemes

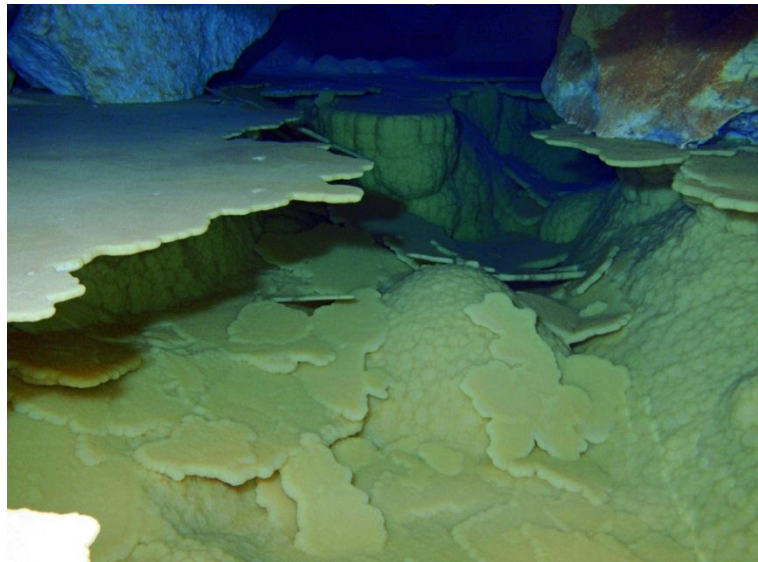


Figura 14.13: Els relleixos o cornises (*shelfstones*) són espeleotemes plans que apareixen associats als vorells dels gours. En alguns casos extrems el creixement continuat d'aquest tipus d'espeleotemes pot ocasionar el tancament quasi complet del gour. (Foto F. Gràcia).

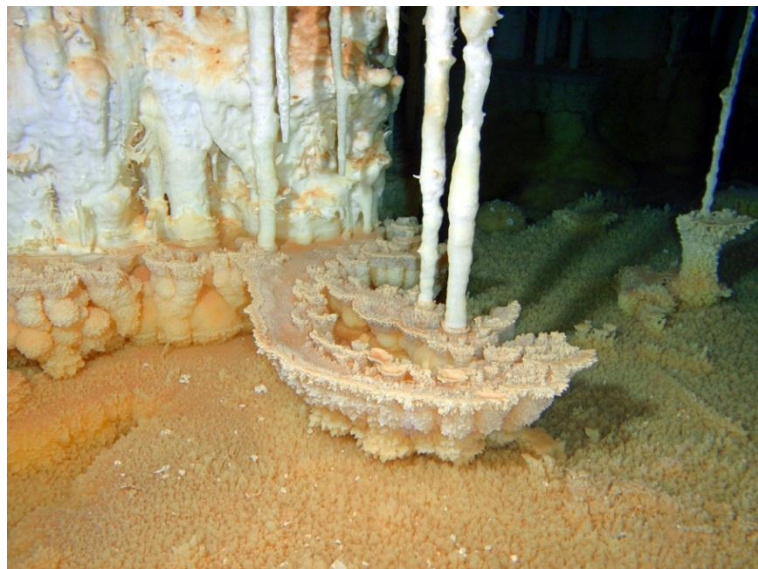


Figura 14.14: Els gours presenten al seu interior una gran diversitat d'altres espeleotemes. Cova des Pas de Vallgornera (Foto F. Gràcia).

cal esmentar tots els relacionats amb la calcita flotant (*cave rafts*), que es forma amb molta freqüència sobre qualsevol superfície d'aigua estancada -siguin gours o llacs, i independentment de les seves dimensions- com a conseqüència fonamentalment de la fugida de diòxid de carboni cap a l'atmosfera de la cova; la sobresaturació resultant causa un tranquil creixement de làmines molt primes de cristallitzacions de calcita que es

mantenen surant per tensió superficial fins que el seu propi pes, en anar augmentant de mida, o sobretot les agitacions causades pel degoteig trenquen l'equilibri del pla de l'aigua i les làmines s'enfonsen i es dipositen al fons del gour. Ocasionalment, les làmines es van ajuntant entre si i, fins i tot, poden quedar adossades als vorells dels gours, el que facilita encara més que les làmines adquireixin una major gruixa, afavorides per l'estabilitat i suport que n'obtenen en quedar aferrades a les parets de la cubeta. Però també es poden produir acumulacions còniques de calcita flotant (*cave cones*) quan el freqüent degoteig sobre la superfície del llac o gour provoca l'enfonsament puntual de les làmines que s'estaven formant a ran d'aigua. Els espeleotemes subaquàtics resultants tenen aspecte d'estalagmita, encara que mostren molta porositat i escassa consistència, segons el seu grau de cimentació, així com dimensions variables i puntes més agudes que les autèntiques estalagmites (Fig. 14.15).

El sistema Gleda-Camp des Pou té indrets amb aquests espeleotemes molt desenvolupats, com és el cas de la galeria de les Còniques (sector Cinc-Cents). La cova des Drac de Cala Santanyí posseeix estalagmites còniques a la sala de la Bèstia Fabulosa. El sistema Pirata-Pont-Piqueta a la galeria Decorada. La cova de Cala Varques B a la galeria de les Tortugues.



Figura 14.15: Estructura cònica formada per l'acumulació de calcita flotant a la sala de les Còniques, sistema Gleda-Camp des Pou (Foto C. Bodi).

Uns altres espeleotemes ben curiosos es desenvolupen horitzontalment en forma de plats (*cave cups*); es tracta de concavitats aplanades, d'aspecte circular o de vegades ovalat i mida més aviat petita -entre 1 i 20 cm-, que tant es poden trobar al fons dels gours com adossats en diferents altures a les parets del seu interior (MASSART, 2004). Els que es formen al fons solen presentar una mena de peduncle de subjecció que correspon a l'extrem del con invertit que delimita la seva geometria, mentre que els que creixen enganxats pels seus costats a les parets es disposen en conjunts que indiquen successius nivells assolits per l'aigua dins els gours. La part superior del plat és generalment llissa, a diferència de la part inferior que es mostra recoberta de vistosos cristalls de calcita. D'una manera molt semblant, els relleixos o cornises (*shelfstones*) són espeleotemes plans que apareixen associats als vorells dels gours o que voregen, ells mateixos, d'altres espeleotemes parcialment submergits dins les aigües dels gours. La seva gruixa pot ser molt variable i depèn del temps i la freqüència amb que es manté un nivell d'immersió més o manco estable emplenant el gour. El contorn en planta és gairebé sempre curvilini, i en alguns casos amb forma de mitja lluna (*crescent shelfstones*), però pot mostrar moltes irregularitats (Fig. 11). En alguns casos extrems el creixement continuat d'aquest tipus d'espeleotemes pot ocasionar el tancament quasi complet del gour amb una crosta cristal·lina i translúcida. Altres varietats de cornises es presenten al voltant d'una columna o estalagmita donant lloc a palmatòries (*candlesticks*), o bé destaquen com a grans estructures circulars en forma de plats (*cake tables*), les quals creixen a partir d'aquells punts que sobresurten per damunt del nivell màxim del gour, de manera que la part inferior del plat roman llarg temps mig submergida dins les aigües que l'emplenen temporalment. Com a tendència general, les superfícies superiors d'aquests espeleotemes són llises, mentre que les superfícies interiors es caracteritzen pel desenvolupament de diverses microformes de recobriment (*coatings*) constituïdes per coral·loides o macrocristalls de calcita que li donen una aparença molt més rugosa i fins i tot aspra.

Tota aquesta tipologia d'espeleotemes relacionats amb els gours es troba molt ben representada i amb una gran bellesa a la cova des Pas de Vallgornera. En alguns indrets del sistema Gleda-Camp des Pou i de les coves del Drac també hi són presents.

14.6. Espeleotemes subaquàtics d'origen freàtic costaner

Mallorca posseeix nombroses cavitats càrstiques costaneres que presenten llacs freàtics, d'aigües més o menys salabroses, on actualment es produeix precipitació de carbonats i on creixen espeleotemes en una franja situada entre una cota lleugerament



Figura 14.16: Espeleotemes freàtics subactuals de mida considerable que envolten estalactites a l'inici de la sala Dàmocles del sistema Pirata-Pont-Piqueta.



Figura 14.17: Nivell de precipitació subactual de carbonats que envolten estalagmites i altres espeleotemes de la galeria de les Delícies a les coves del Drac (Foto A. Cirer).

per damunt de la superfície dels llacs i lleugerament per davall (Fig. 14.16). A partir d'aquests espeleotemes indicadors del nivell assolit per les aigües freàtiques al mateix nivell que el nivell marí, s'han efectuat tot una sèrie de datacions emprant mètodes de datació radiomètrica (TUCCIMEI *et al.* 2009, 2010 i 2011). Les

cavitats d'aquestes característiques es troben, a més del Migjorn, Llevant i fins i tot a la costa nord de Mallorca, al litoral de Menorca, Formentera, Dragonera i al subarxipèlag de Cabrera, si bé no tots els llacs costaners mostren necessàriament evidències de formació



Figura 14.18: Espeleotemes freàtics corresponents a un antic paleonivell a -23 m. Cova d'en Bassol (Foto F. Brehier).

d'espeleotemes freàtics (MERINO *et al.*, 2011c).

Els estudis dels espeleotemes subaquàtics d'origen freàtic a les coves costaneres de Mallorca es varen iniciar fa una quarantena d'anys i es focalitzaren inicialment a la cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia) i posteriorment a la cova A de Cala Varques (Manacor). Mentre en el primer cas es tractava d'un excepcional registre fòssil de paleonivells freàtics que es remunten fins al Pleistocè Mitjà (GINÉS & GINÉS, 1974), en el segon cas la ubicació dels espeleotemes era coincident amb el nivell actual i mostrava una relació morfològica molt evident amb les petites oscil·lacions actuals del pla de l'aigua freàtica, controlades per les mareas i els canvis baromètrics (POMAR *et al.*, 1979); motiu pel qual es va introduir el terme “espeleotemes epiaquàtics”, que intenta especificar el seu mecanisme genètic, lligat directament a la superfície fluctuant de les aigües dels llacs costaners (Fig. 14.17). Emperò cal distingir els espeleotemes epiaquàtics costaners de les cornises o relleixos (*shelfstone*), que voregen els gours, i evitar-ne confusions malgrat les seves notables similituds morfològiques. Tant els uns com els altres comparteixen un creixement preferent que delimita relleixos horitzontals perfectament anivellats i mostren recobriments molt semblants constituïts per una gran diversitat de microformes subaquàtiques. Tanmateix, la principal diferència consisteix en la secció transversal, que als espeleotemes epiaquàtics tendeix a ajustar-se a una forma de campana de Gauss. Posteriorment (VESICA *et al.*, 2000 i TUCCIMEI *et al.*, 2009), per tal de fer-ne una difusió més eficaç d'aquests espeleotemes dins l'àmbit del

Cave	Sample	Height a s.l. (m)	U (ppb)	²³⁴ U / ²³⁸ U	(²³⁴ U/ ²³⁸ U) ₀	²³⁰ Th/ ²³² Th	²³⁰ Th / ²³⁴ U	Age (ka ± 2σ)
Cova del Dimoni	DI-D1-1 # a	+2.5	2531 ± 7	1.273 ± 0.002	1.372 ± 0.003	236 ± 2	0.654 ± 0.004	109.9 ± 1.1
	DI-D1-2 # a	+2.5	1254 ± 5	1.087 ± 0.001	1.122 ± 0.014	5231 ± 62	0.670 ± 0.003	118.4 ± 0.9
	DI-D3 # a	+2.5	2050 ± 6	1.192 ± 0.001	1.265 ± 0.001	2834 ± 55	0.664 ± 0.003	114.2 ± 0.9
	CDD-1 * b	+1.5	1191 ± 19	1.178 ± 0.003	1.223 ± 0.038	18614	0.530 ± 0.004	80.4 ± 0.6
Coves del Pirata	CDD-2 * b	+1.5	1186 ± 18	1.177 ± 0.027	1.222 ± 0.034	17160	0.530 ± 0.003	80.7 ± 0.5
	PI-D1 # a	+2.1	300 ± 1	1.649 ± 0.006	1.945 ± 0.010	1681 ± 20	0.751 ± 0.006	133.0 ± 1.9
Cova de Cala Falçó	FA-D3-4 # a	+1.9	3976 ± 11	1.589 ± 0.001	1.743 ± 0.002	4236 ± 81	0.551 ± 0.004	82.3 ± 0.8
	CCF-1 * b	+1.6	208 ± 23	2.113 ± 0.009	2.397 ± 0.011	2410	0.551 ± 0.002	80.4 ± 0.5
	CCF-2 * b	+1.6	202 ± 21	2.137 ± 0.012	2.431 ± 0.015	990	0.556 ± 0.002	81.1 ± 0.5
Cova de Cala Varques A	CCVA-1 * b	+1.3	110 ± 22	1.377 ± 0.069	1.476 ± 0.086	9077	0.545 ± 0.002	82.0 ± 0.6
	CCVA-2 * b	+1.3	121 ± 18	1.379 ± 0.055	1.478 ± 0.069	5599	0.544 ± 0.002	81.7 ± 0.5
Cova de Cala Varques B	VB-D2 # a	+1.4	445 ± 1	1.476 ± 0.003	1.643 ± 0.005	133 ± 1	0.557 ± 0.004	84.2 ± 1.0
	VB-D3 * a	-14.0	680 ± 2	1.881 ± 0.020	2.256 ± 0.028	320 ± 14	0.735 ± 0.007	125.0 ± 2.0
	VB-D5 # a	-16.5	786 ± 2	1.822 ± 0.003	2.169 ± 0.005	891 ± 11	0.730 ± 0.003	124.7 ± 0.9
	CCVB * b	+1.3	101 ± 21	1.376 ± 0.017	1.473 ± 0.021	418	0.541 ± 0.005	80.8 ± 1.0
Cova des Serral	SE-D2 # a	+1.5	198 ± 1	1.521 ± 0.009	1.752 ± 0.013	591 ± 5	0.736 ± 0.005	130.2 ± 1.6
Cova de sa Gleda	GL-D1 # a	-15.0	412 ± 1	1.949 ± 0.004	2.185 ± 0.005	201 ± 2	0.540 ± 0.004	78.6 ± 0.8
	GL-D2 # a	-14.0	505 ± 1	1.968 ± 0.004	2.450 ± 0.009	242 ± 2	0.796 ± 0.005	143.4 ± 1.6
	GL-D3 # a	-17.5	454 ± 1	1.931 ± 0.007	2.210 ± 0.009	336 ± 3	0.606 ± 0.004	92.7 ± 0.9
	GL-D5 * a	-16.0	365 ± 1	2.094 ± 0.026	2.394 ± 0.032	230 ± 11	0.539 ± 0.004	77.8 ± 0.8
	GL-D6 # a	-17.0	614 ± 2	1.931 ± 0.005	2.227 ± 0.008	671 ± 6	0.628 ± 0.005	97.7 ± 1.1
	GL-D7 # a	-13.5	272 ± 2	1.667 ± 0.003	1.903 ± 0.008	42 ± 1	0.661 ± 0.022	107.4 ± 2.8
Cova d'en Bassol	GL-D8 # a	-20.5	375 ± 1	1.840 ± 0.003	2.069 ± 0.005	43 ± 0.4	0.571 ± 0.011	85.4 ± 0.9
	PS-D2 * a	-10.5	212 ± 1	1.611 ± 0.016	1.810 ± 0.020	45 ± 2	0.630 ± 0.005	100.0 ± 1.0
Cova des Pont	PS-D5 # a	-18.0	152 ± 1	1.858 ± 0.017	2.114 ± 0.022	157 ± 1	0.604 ± 0.008	92.6 ± 1.8
	PO-D2 # a	+2.1	347 ± 1	1.381 ± 0.003	1.539 ± 0.005	529 ± 9	0.704 ± 0.006	122.7 ± 1.9
Cv. Drac Cala Santanyí	CS-D3 # a	-17.0	325 ± 1	1.365 ± 0.003	1.466 ± 0.004	25 ± 0.2	0.563 ± 0.004	86.3 ± 0.9
Cova Genovesa	GE-D1 # a	+2.0	179 ± 1	1.102 ± 0.003	1.151 ± 0.004	59 ± 0.9	0.729 ± 0.007	138.0 ± 2.8
	GE-D2 # a	-13.0	244 ± 1	1.233 ± 0.005	1.349 ± 0.009	36 ± 0.4	0.756 ± 0.012	143.6 ± 4.6
Cova de s'Ònix	GE-D3 # a	-19.5	349 ± 1	1.731 ± 0.003	1.965 ± 0.006	72 ± 0.9	0.571 ± 0.004	85.9 ± 1.0
	OX-D1 # a	+3.0	254 ± 1	1.443 ± 0.002	1.637 ± 0.005	37 ± 0.5	0.727 ± 0.008	128.5 ± 2.5
Cova des Pas de Vallgornera	CPV-1 * b	+1.6	156 ± 30	1.325 ± 0.019	1.408 ± 0.024	31537	0.535 ± 0.003	80.1 ± 0.5
	CPV-2 * b	+1.6	144 ± 28	1.329 ± 0.021	1.413 ± 0.026	34757	0.539 ± 0.002	80.1 ± 0.5
	CPV-B6 * b	+1.6	119 ± 18	1.391 ± 0.016	1.492 ± 0.020	1812	0.541 ± 0.002	81.0 ± 0.5
	CPV-B6 * b	+2.6	106 ± 20	1.141 ± 0.013	1.198 ± 0.018	1862	0.683 ± 0.003	120.6 ± 0.9
	CPV-B9 * b	+2.6	122 ± 14	1.173 ± 0.012	1.240 ± 0.017	1151	0.671 ± 0.002	116.2 ± 0.6

Figura 14.19: Taula d'espeleotemes freàtics del Pleistocè superior POS, datats mitjançant el mètode U/Th. Segons GINÉS *et al.* (2012).

Quaternari marí, van introduir a la bibliografia el terme *phreatic overgrowths on speleothems (POS)*, que en resulta pràcticament sinònim. La descripció tipològica, mineralògica i textural dels espeleotemes freàtics d'origen costaner és complexa i obliga a diferenciar un ampli conjunt de tipus i formes que han estat sistematitzades al llarg d'un seguit de publicacions (GINÉS & GINÉS, 1974; POMAR *et al.*, 1975,

1976 i 1979; GINÉS, 1995; GINÉS *et al.*, 1981 i 2005).

Les cavitats mallorquines amb espeleotemes freàtics, subactuals o a cotes per davall del nivell freàtic actual més importants són: sistema Gleda-Camp des Pou (GRÀCIA *et al.*, 2007a), les coves del Drac (inèdit), la cova den Bassol (Fig. 14.18), la cova des Drac de Cala Santanyí, la coves de Cala Varques B, la cova dels Xuetes, la cova Genovesa, alguns sectors de la cova des Pas de Vallgornera.

La cota més fonda fins a l'actualitat, a on s'han trobat POS ha estat a -23 m. La seva datació permet reconstruir la corba glacioeustàtica de la Mediterrània al llarg de les pulsacions fredes (Fig. 14.19).

14.7. Espeleotemes afectats per la corrosió

Algunes de les característiques que més destaquen d'algunes cavitats subaquàtiques, com és la cova des Coll o es Dolç, o bé de determinades galeries i sales d'altres cavitats, són precisament la falta d'espeleotemes. Emperò sembla que en un moment del passat aquests fets eren ben diferents, ja que aquestes cavitats sovint presenten evidències dels efectes causats per la corrosió de les aigües sobre els espeleotemes. L'efecte de la corrosió ha esborrat total o parcialment els revestiments i formacions litoquímiques, rejuvenint les galeries i afectant també a la roca de parets i sostres (Fig. 4a). A la major part de la xarxa subterrània no queden gairebé restes de formacions litoquímiques, però si deixalles de la dissolució dels espeleotemes molt localitzats i en molt mal estat. A la cova des Coll, els espeleotemes ben conservats (estalactites, estalagmites, columnes i colades) es troben en els sectors més interiors de la xarxa subterrània i també a les cotes més profundes: localment a les galeries de Més Enllà (sector del Patatús), en alguna zona de les galeries Laberíntiques (sector dels Espectres) (Fig. 2) i en la galeria Inferior (sector Final). A es Dolç, constitueixen una característica definitòria els pocs, però bells i localitzats, de la sala de l'Estalagmita

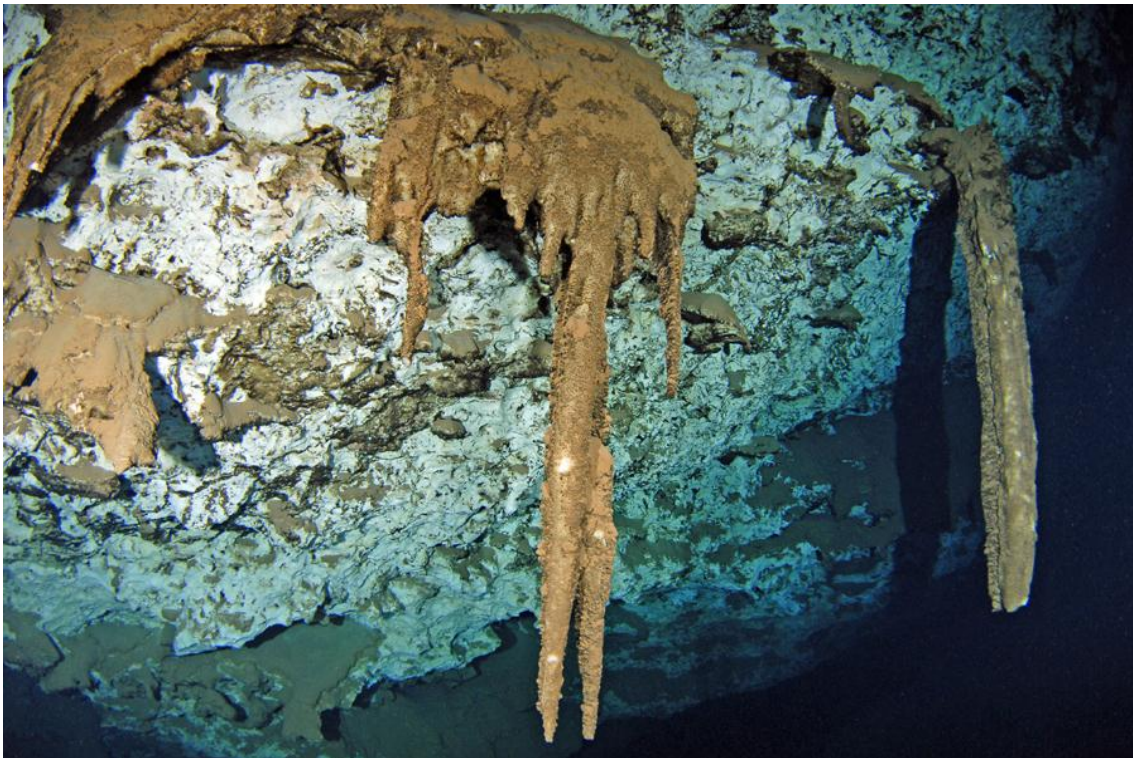


Figura 14.20: Estalactites i colades parietals descalcificades de la sala Francesc Ripoll (sistema Gleda-Camp des Pou). Foto C. Bodi.

(Dolç Intern), també localitzats a les sales més interiors de la cova. Hi ha restes de colades estalagmítiques parietals i pavimentaries molt descalcificades i destruïdes per la corrosió a diferents localitzacions, com és la galeria de les Lloses a es Dolç o moltes altres galeries a es Coll. També s'han trobat espeleotemes petits, especialment estalagmites i restes de colades a algunes de les galeries Paral·leles, quasi sempre de colors foscos (es Dolç). A les mateixes galeries s'aprecia com han crescut els exigus recobriments parietals i zenitals a partir de la laminació de les eolianites. Al pou Mascarat s'observen algunes estalactites negres. Per la qual cosa creiem que la seva destrucció ha seguit un gradient de transició de la mar cap a l'interior i de dalt a baix. La destrucció per processos de dissolució dels espeleotemes, serveix per fer-se una idea de la destrucció, relativament moderna, que sofreixen.

Capítol 15. ELS SEDIMENTS DE LES CAVITATS INUNDADES

15.1. Introducció

La presència de sediments recents a l'interior de les cavitats càrstiques subaquàtiques del Llevant i Migjorn de Mallorca, és prou important i constitueix el principal problema tècnic i perill en tots els aspectes relacionats amb l'exploració i tasques a fer a les cavitats inundades. El gruix i la tipologia és extraordinàriament divers; des de pocs mil·límetres a metres i de colors que van del vermell, al groc i al blanc, o fins i tot negre, amb tot tipus de matisos. A diferència de les cavitats terrestres a on no suposa massa molèsties, el fet d'aixecar amb les turbulències ocasionades al pas de l'espeleòleg subaquàtic fa que se'ls presti una atenció pràctica especial. A més a més ja de bon començament de les nostres incursions a la part freàtica de les cavitats, ens vàrem adonar de les implicacions genètiques del sediment i de la importància del seu coneixement per tenir una visió més holística. La presència quasi exclusiva de materials calcaris i dolomítics d'elevada puresa en els rocams que formen les illes, fan que l'acumulació de sediments autòctons a l'interior de sales i conductes es pugui considerar relativament poc important. En la seva major part corresponen, sigui a materials grollers (blocs i graves) degudes a processos d'esfondrament, sigui a materials llimosos vermells aportats en la seva major part per la percolació i circulació de les aigües subterrànies. Les fàcies d'entrada també hi són presents, destacant-ne en aquest cas les aportacions de tipus eòlic i les relacionades amb la influència marina (GINÉS, 2000; GINÉS *et al.*, 2007a). Malgrat això, des d'un punt de vista qualitatiu, i especialment relacionats amb els processos que tenen lloc en les zones litorals, hi ha tota una munió de fàcies sedimentàries característiques de tots els processos que tenen lloc en aquestes àrees específiques modelades per la carstificació litoral (Fig. 15.1) (FORNÓS *et al.*, 2009).

Des de la dècada dels anys setanta del segle passat, la recerca del carst de les Balears s'ha realitzat de forma sistemàtica des d'un punt de vista científic (GINÉS & GINÉS, 1995; 2002). Aquesta recerca ha sofert un increment substancial en els darrers lustres gràcies a l'interès i a la integració de diversos grups espeleològics locals, la creació d'un grup de recerca a la Universitat de les Illes Balears, així com també les

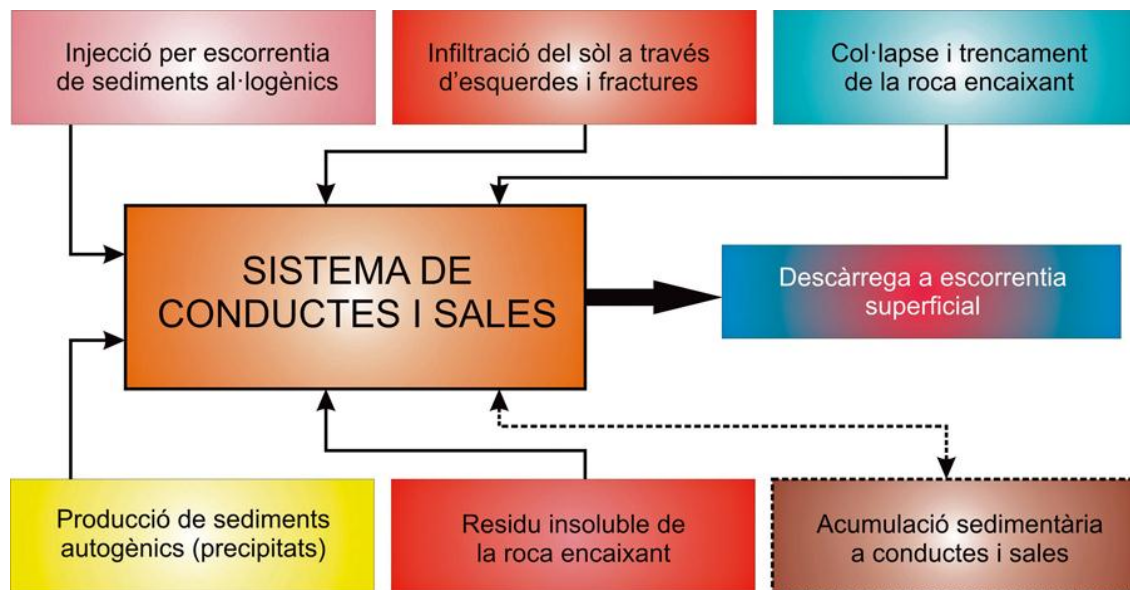


Figura 15.1: Diagrama de flux del balanç sedimentari dins d'un aquífer càrstic (modificat per FORNÓS *et al.* 2011 de BOSCH & WHITE, 2004).

activitats d'alguns grups de científics de fora les nostres fronteres que han centrat el seu punt de recerca a les nostres illes (FORNÓS *et al.*, 2011b). Això ha fet avançar força el coneixement dels processos i característiques morfològiques i espeleogenètiques del carst balear (GINÉS & GINÉS, 2011a). Aquest interès però, no ha tingut massa en compte, més que en comptades excepcions, el registre sedimentari present a l'interior de les sales i conductes. Per altra part, el coneixement del medi hipogeu s'ha vist especialment incrementat en el moment en que s'ha pogut accedir de forma sistemàtica a les parts submergides de les cavitats mitjançant les complexes tècniques de l'espeleobusseig, que s'han desenvolupat de forma especialment important a les zones càrstiques litorals de Mallorca (GRÀCIA *et al.*, 2011b). Malgrat estar encara al que podríem considerar les beceroles, és a partir d'aquest moment en el qual el registre sedimentari ha estat també tingut en consideració de forma sistemàtica com a un element més a tenir present per tal de donar resposta al conjunt de processos que actuen en aquestes àrees (GRÀCIA *et al.*, 2006a, 2007b; FORNÓS *et al.*, 2009).

A la literatura científica sobre el carst, el registre sedimentari tampoc ha estat un tòpic de recerca clau, fet que fa que siguin pocs els treballs que recopilin de forma específica la temàtica sedimentària (FORD, 2001; SASOWSKY & MYLROIE, 2004), encara que sí hi ha una abundant bibliografia parcial que la té en consideració (GILLIESON, 1996; FORD & WILLIAMS, 2007; PALMER, 2007, entre d'altres).

L'objectiu del present treball és passar revista al conjunt de fàcies presents en el registre sedimentari de les galeries i sales del carst balear, al conjunt de processos que les han originades així com a les tècniques i metodologies emprades en el seu estudi. Val a dir que, fins al moment, les investigacions s'han centrat gairebé exclusivament en les coves costaneres del Migjorn i Llevant de Mallorca (FORNÓS *et al.*, 2011b).

15.2. Metodologia utilitzada en l'estudi del registre sedimentari

La metodologia utilitzada en l'estudi dels sediments que rebleixen les cavitats del carst balear ha estat la habitual en la major part dels estudis sedimentològics, utilitzant en cada moment les tècniques més avançades disponibles. En els treballs descriptius dels rebliments de les cavitats subaquàtiques, ha estat freqüent la utilització de sondeigs manuals obtinguts mitjançant la penetració dins la columna sedimentària de tubs de PVC de diferents llargàries (GRÀCIA *et al.*, 2007a) si la potència de sediment era suficient (Fig. 15.2). En els casos de presentar el terra una petita capa de sediment que no fes factible ni operatiu la introducció dels tubs de PVC es feien servir petits pots de plàstic numerats i amb tapa. Un cop extretes de l'aigua les mostres, totes convenientment

etiquetades i numerades indicant al tub quina és la part inferior i la superior, les mostres són traslladades al laboratori on, després d'una primera descripció superficial amb l'ajuda de la lupa binocular, descripció del color mitjançant la

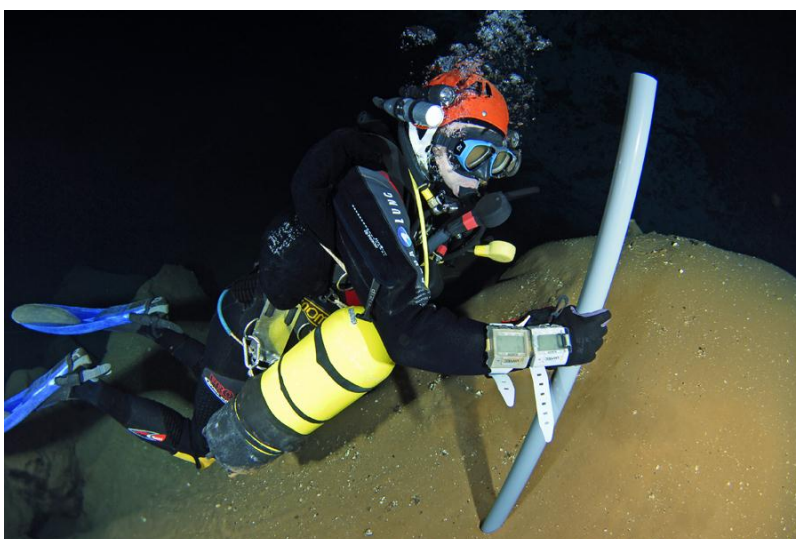


Figura 15.2: Sondeigs manuals obtinguts mitjançant la penetració dins la columna sedimentària de tubs de PVC de diferents llargàries (Foto C. Bodi).

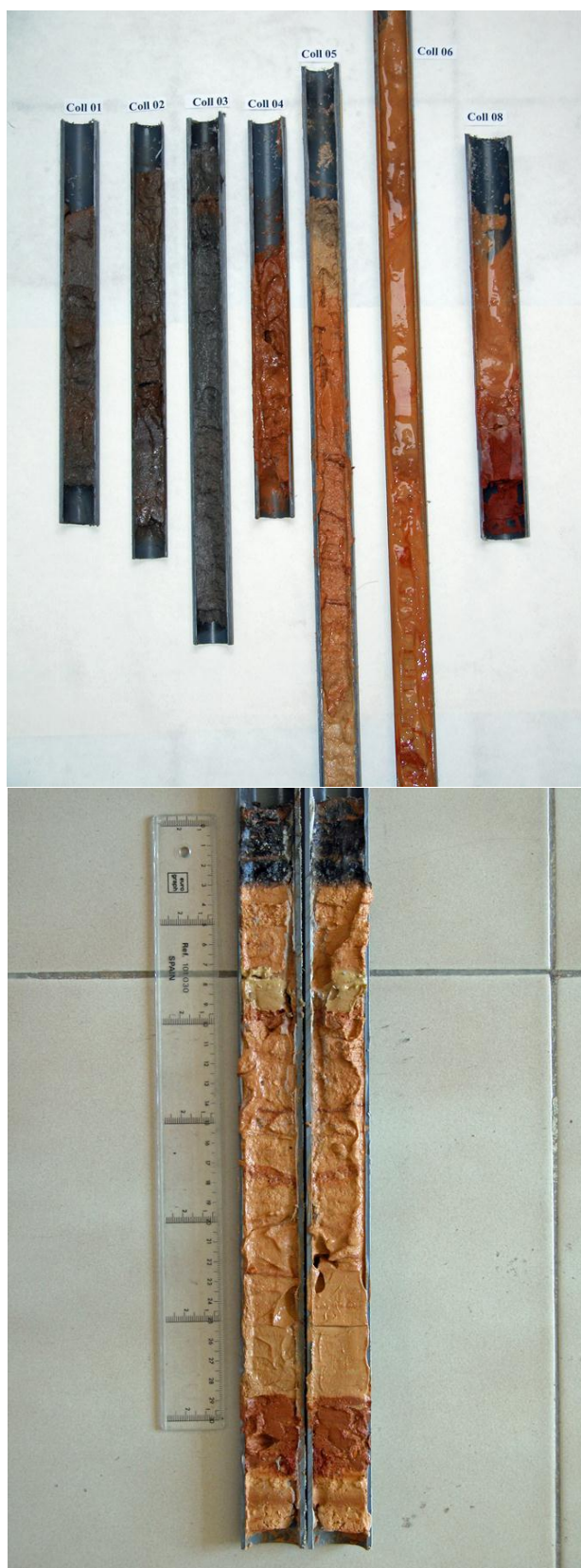


Figura 15.3: Mostres de sediments dins els tubs tallades longitudinalment per al seu estudi al laboratori. S'observen les grans diferències en diferents llocs i també en profunditat, que corresponen a diferents fàcies sedimentàries..

utilització de taules MUNSELL© i del seu rentat i posterior dessecació a l'estufa, les mostres són sotmeses a diversos anàlisis per tal d'obtenir les seves característiques texturals i de mida de gra així com de composició mineralògica (Fig. 15.3). Per a les anàlisis texturals (granulometries) s'utilitzen tant els sistemes tradicionals de tamisatge o mètode de la pipeta (TUCKER, 1988), com els que utilitzen les modernes tècniques del làser tipus Coulter per analitzar la mida de gra en sediments especialment fins (BEUSELINCK *et al.*, 1998). Amb les dades obtingudes es representen les corbes acumulatives i els histogrames de freqüències, a partir dels quals es calculen els paràmetres estadístics descriptius que permeten deduir els processos hidràulics que els han originat. Per a l'anàlisi de la composició mineralògica se sol polvoritzar la mostra i la seva pols, orientada a l'atzar o no en funció del contingut en argiles, s'introdueix dins un difractòmetre de raigs X. L'anàlisi semi-quantitativa de cada mostra es realitza utilitzant el software associat basant-se en les àrees dels pics obtinguts en els difractogrames (TUCKER, 1988); les

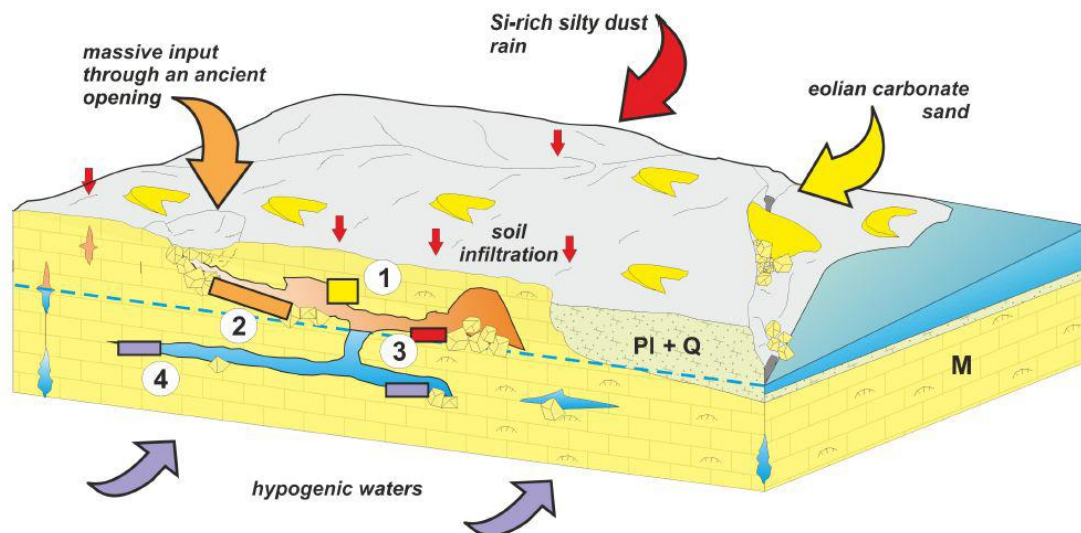


Fig. 15.4: Croquis il·lustratiu de FORNÓS *et al.* (2014) amb els principals ambients sedimentaris i processos involucrats per la cova des Pas de Vallgornera. 1) Eolianites; 2) Sediments al·lòctons vinculats a una antiga entrada; 3) Sediments rics en Si; 4) Sediments rics en Mn i Fe de procedència hipogènica. M - Miocè; PI + Q - Pliocè i Plistocè.

sediment. L'estudi es complementa amb la utilització de microscòpia electrònica d'escandallatge (SEM), molt freqüent no tan sols per observar les característiques morfològiques superficials, sinó també per saber-ne la composició elemental gràcies als equipaments associats com són els detectors d'EDX. La datació dels rebliments sedimentaris també s'ha intentat amb diferents taxes d'èxit. La tècnica del Carboni-14 aplicada a partir de restes orgàniques, introduïdes per corrents superficials cap a l'interior de la cavitat (FORNÓS & GRÀCIA, 2007), ha permès datar alguns sediments de coves càrstiques litorals com a relativament recents. Altres tècniques emprades en l'estudi dels sediments en altres països, la termoluminiscència, OSL, l'ESR, o l'anàlisi isotòpica de radionucleïds cosmogènics, encara no s'han aplicat als sediments que reomplen els sistemes càrstics de les Balears (BERGER *et al.*, 2008, entre d'altres), a excepció de la datació de les eolianites que formen part de la roca mare des Dolç.

15.3. El cicle sedimentari a l'interior del sistema càrstic

L'estudi dels sediments dins qualsevol sistema càrstic es pot emprendre globalment entenent-ho com al balanç sedimentari entre els diversos fluxos de materials que tenen lloc a través de la superfície i del sistema subterrani d'una determinada conca càrstica. A la Fig. 15.1 es pot observar, en un diagrama de flux modificat de BOSCH & WHITE (2004), el conjunt de processos que afecten a aquest balanç sedimentari dins del

carst. En el cas de les coves investigades en el Migjorn i Llevant de Mallorca, aquest esquema es veu afectat per les particularitats hidrogeològiques d'aquest carst eogenètic costaner, caracteritzat per l'elevada permeabilitat de les roques carbonatades del Miocè superior i del Plio-Quaternari i per una recàrrega superficial relativament limitada (GINÉS & GINÉS, 2007; GINÉS *et al.*, 2008; FORNÓS *et al.*, 2009). Tot seguit es descriuran les fàcies representatives dins del registre sedimentari de les coves, en especial costaneres mallorquines (Figs. 15.4,5).

15.4. Fàcies sedimentàries

15.4.1. FÀCIES DE BRETXES DE COL·LAPSE

Aquesta fàcies, que és volumètricament la més important dins del carst de les Balears, està formada per l'acumulació, normalment en grans cossos en disposició campaniforme (Fig. 15.6,10), de fragments de roca que poden oscil·lar des de palets de pocs centímetres fins a grans blocs de més de 15 m. Els grans mostren les vores anguloses a subanguloses en funció de la litologia implicada i presenten una pèssima

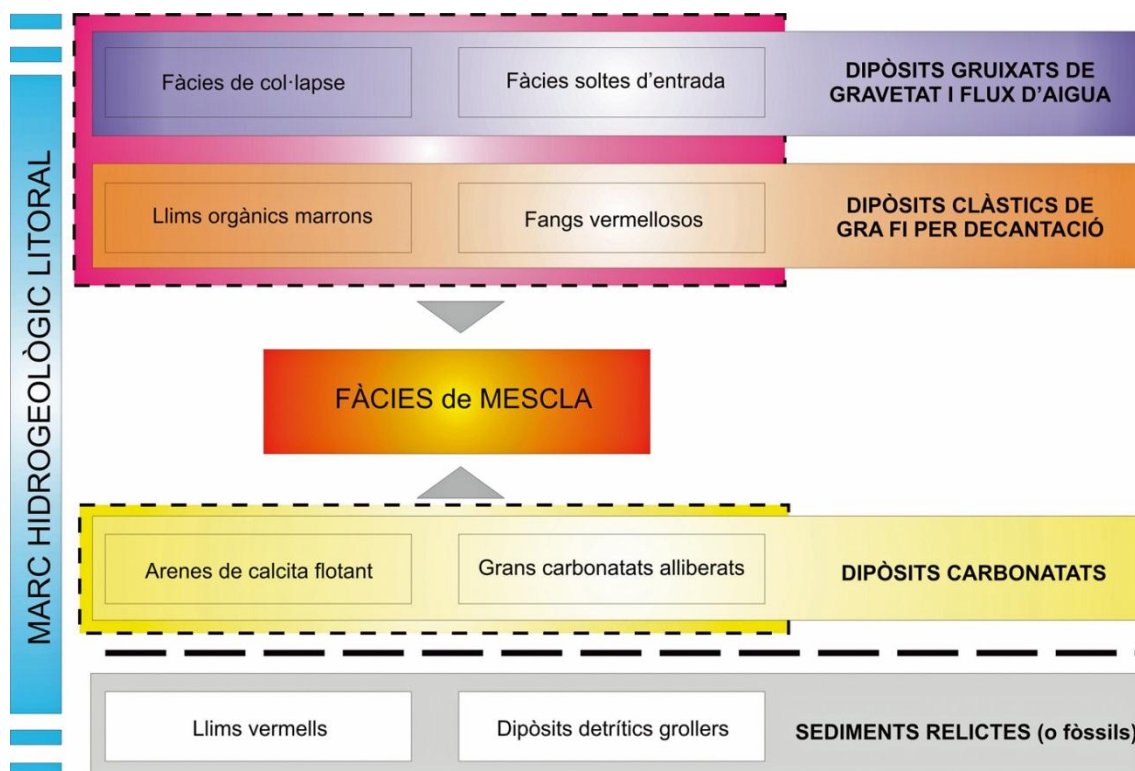


Figura 15.5: Esquema amb les fàcies sedimentàries presents a les coves litorals del Migjorn de Mallorca, en algunes cavitats s'ha d'afegir la fàcies relacionada amb la sedimentació hipogènica (FORNÓS *et al.*, 2011b).

classificació, quasi sempre sense matriu ni tampoc ciment que uneixi els grans. La seva composició, calcàries o dolomies i calcarenites, correspon a la litologia de la roca encaixant on se situa la cavitat. La mida i la forma dels grans està relacionada amb la gruixa de l'estratificació que correspon, en línies generals, a estrats de gruixa decimètrica a mètrica. Encara que presenten una distribució que podem considerar caòtica, puntualment s'hi observa un cert grau d'orientació preferent, no imbricació, donada per la forma aplanada de la majoria dels fragments rocosos, que segueixen la disposició campaniforme anteriorment comentada corresponent als cons d'acumulació dels esbaldregalls. El grau de transport d'aquests sediments és pràcticament inexistent. Aquesta fàcies correspon a l'acumulació de fragments de roca, i fins i tot estrats, caiguts des del sostre i/o parets de la cavitat, normalment com a conseqüència de la pèrdua sobtada de consistència, deguda a la pròpia dinàmica evolutiva del carst i als processos de variació del nivell freàtic.

15.4.2. FÀCIES CLÀSTIQUES FINES

Incloem dins d'aquesta fàcies a tot el conjunt de sediments fins formats majoritàriament per llims, encara que també hi són presents les argiles en diverses proporcions, que han estat transportats cap a l'interior dels conductes com a càrrega en suspensió pels corrents que circulen dins del sistema càrstic. S'assimilarien a les denominades "*slackwater facies*" de BOSCH & WHITE (2004). Es tracta de llims i argiles vermelloses que presenten un grau de classificació de moderat a bo, amb una mitjana de la mida de gra que oscil·la al voltant de la mida llim gruixada a mitjana (Fig. 15.7). Aquests sediments són molt freqüents, quasi omnipresents, en totes les cavitats de

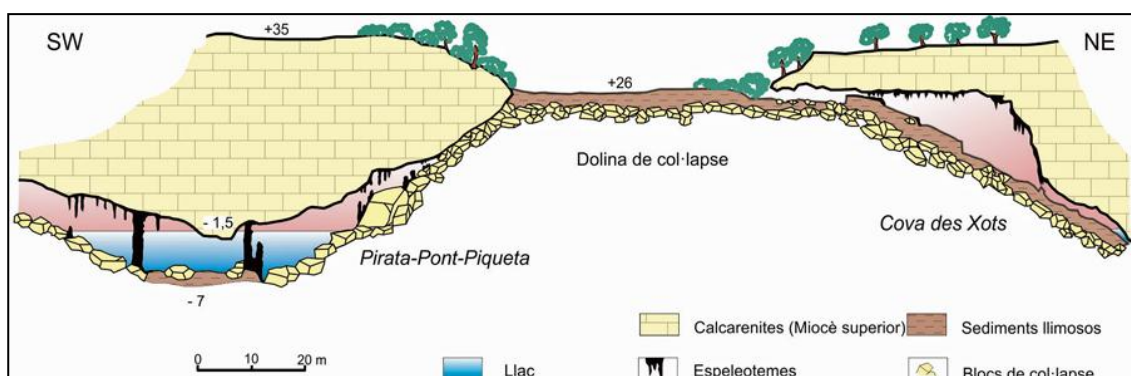


Figura 15.6: Secció geomorfològica tipus de les entrades de les cavitats de les Balears amb els dipòsits de col·lapse associats (sistema Pirata-Pont-Piqueta).

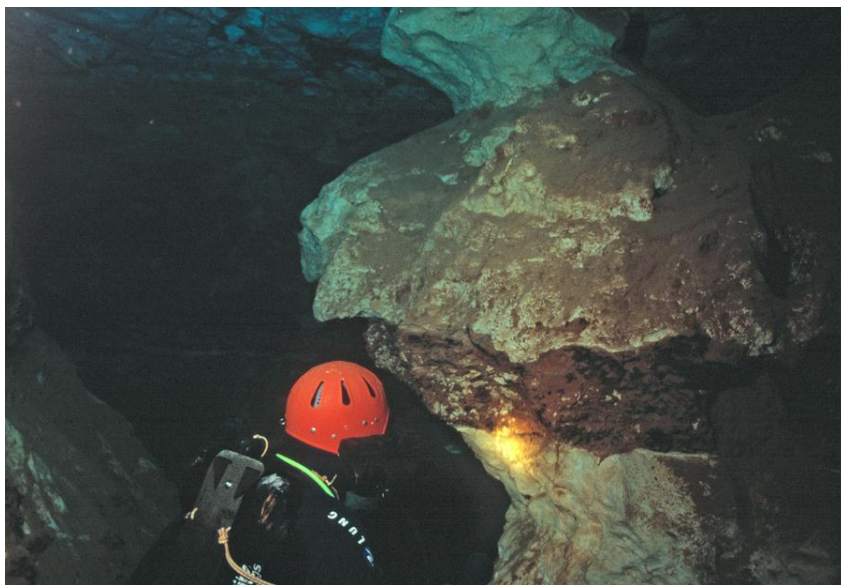
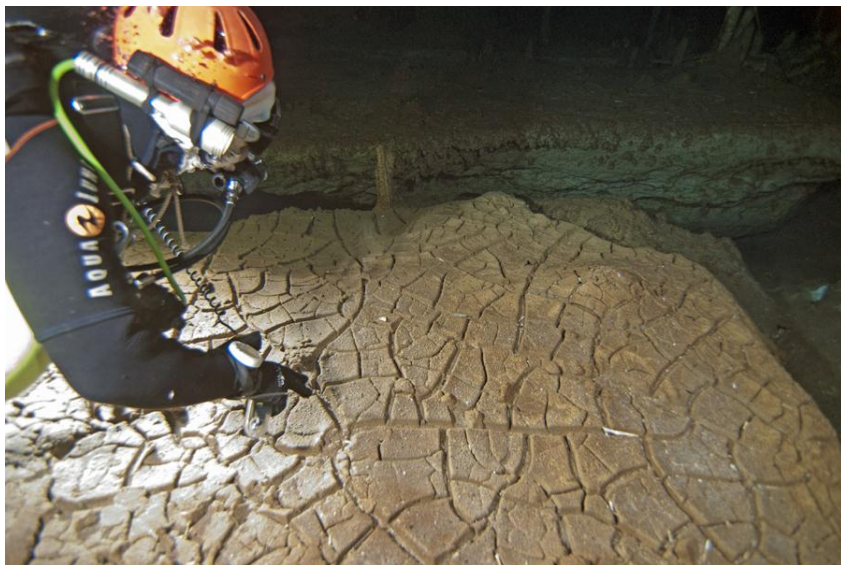


Figura 15.7: L'acumulació de sediments fins és una de les principals dificultats que afronten els espeleobussejadors (Foto F. Gràcia).

les Balears encara que amb una distribució i unes acumulacions volumètriques molt variables. La importància en la seva acumulació sedimentària depèn, entre d'altres aspectes, de la proximitat als punts d'entrada dels corrents que les transporten. Aquests dipòsits normalment mostren potències molt irregulars (des d'alguns metres fins a tan sols alguns mil·límetres) formant capes que s'adapten a la morfologia dels conductes amb una laminació que quan s'hi observa és incipient, o formant fins i tot, cons d'acumulació quan l'alimentació és vertical o lateral. Aquesta acumulació de materials fins ve controlada la majoria de vegades per

la topografia dels conductes que modifica les característiques del règim hidràulic, i que pot donar lloc a la decantació puntual dels llims i argiles transportats pels corrents subterranis. En funció de la intensitat dels corrents i de la relació amb el moviment de les aigües freàtiques, aquests llims podran ser transportats més o menys cap a l'interior del sistema, produint-se així una certa granoclassificació, o la simple deposició del material fi (argiles) per decantació en superar el nivell freàtic. En les zones properes a les entrades, i relacionades principalment amb el carst litoral del Migjorn i Llevant de Mallorca, per davall del nivell freàtic és comú l'observació de fines laminacions mil·limètriques, que alternen la deposició terrígena vermella amb l'acumulació de matèria orgànica procedent de l'exterior la qual cosa li dona una tonalitat més obscura i/o bruna. Aquesta alternant laminació no té cap característica estacional sinó tan sols dona indicació de les successives aportacions torrencials en moments de fortes tempestes (FORNÓS *et al.*, 2009). La composició del sediment correspon, en la seva major part, als materials del les aigües d'infiltració que els arrosseguen cap a l'interior

Figures 15.8: Sediments consolidats silícis relictos que formen polígons de retracció a les dues primeres figures, després de successives fases freàtiques i vadoses. Coves del Drac. Sediments parietals consolidats i parcialment erosionats de la cova des Coll (Fotos A. Cirer, F. Gràcia i B. Bordoy).



del carst mitjançant esquer-des i entrades més o menys obertes (Fig. 15.9). Tradicionalment, la composició siliciclàstica que mostren aquests sediments s'ha considerat que procedeix en darrera instància de les acumulacions de pols procedent del desert del Sàhara en les denominades pluges de fang (FIOL, *et al.*, 2005; GOUDIE & MIDDLETON, 2001). A aquesta acumulació, que denominariem al·lòctona, se li ha d'afegir el propi residu resultant de la dissolució de la roca carbonatada encaixant, de composició similar però en una molt baixa proporció degut a la puresa dels materials carbonatats que componen les principals unitats geològiques on s'hi desenvolupa el carst (FORNÓS & GELABERT, 1995) (Fig. 15.8). En ocasions, antics sediments d'aquestes característiques es troben consolidats i cimentats i formen polígons de retracció. Són testimonis d'un passat freàtic seguit per vadós, al llarg del qual es varen secar i perdre volum creant els polígons, per posteriorment tornar a quedar solta les aigües (Fig. 15.8).

15.4.3. FÀCIES CLÀSTIQUES DE TALÚS D'ENTRADA

La major part de cavitats de les Balears que tenen obertures a l'exterior reben les aportacions de les aigües d'escorrentia en moments de fortes precipitacions, la qual cosa

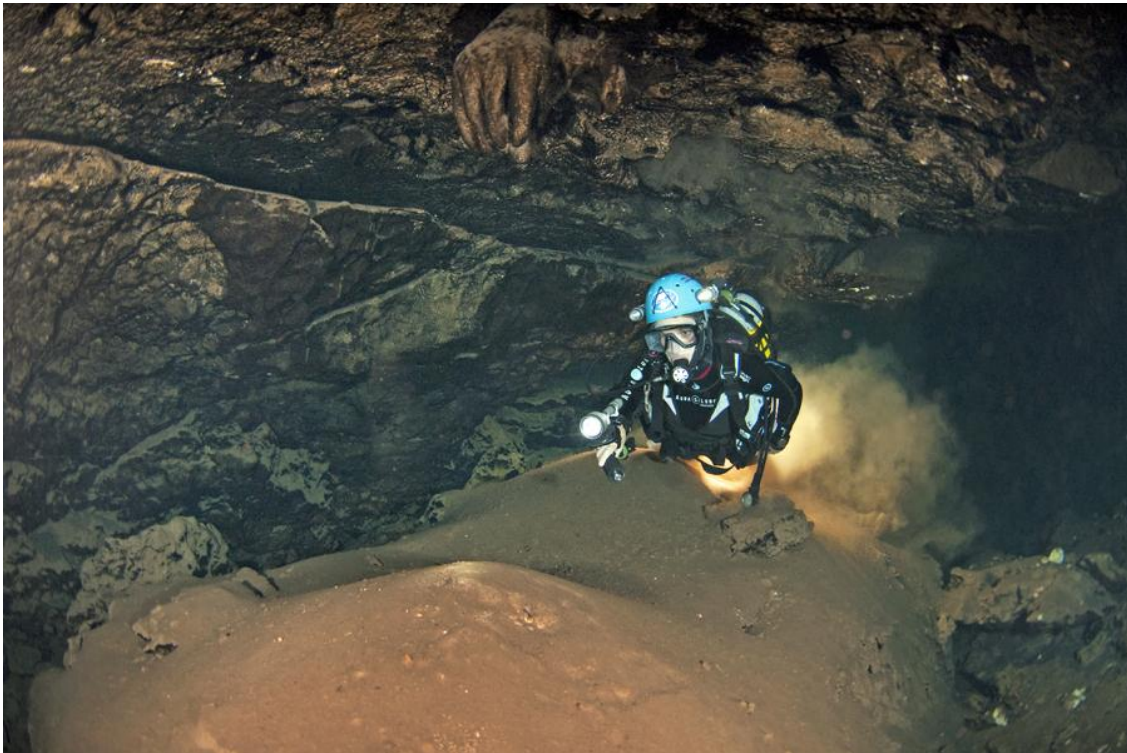


Figura 15.9: Sediments de llims i argiles vermelloses a la cova des Drac de Cala Santanyí (Foto A. Cirer).



Figura 15.10: Fàcies clàstiques de talús d'entrada. A prop d'entrades actuals o pretèrites, es tendeixen a acumular-se les fàcies més grolleres barrejades amb materials més fins com són els llims vermells i fins i tot precipitats de calcita flotant a mesura que s'enfonsa (Foto A. Cirer). Sala del Cendrar (Sistema Gleda-Camp des Pou).

fa que la infiltració d'aquestes aigües arrossegui material clàstic de mides molt diverses (FORNÓS *et al.*, 2011b). En aquestes situacions, tendeixen a acumular-se en el talús d'entrada les fàcies més grolleres (WHITE, 2007) en tant que els materials més fins són introduïts cap a zones més internes en funció de les característiques geomorfològiques i topogràfiques de cada cavitat i de la intensitat dels fluxos aquosos, en el que podríem denominar com una “injecció fluvial-torrencial-col·luvial des de la superfície”. La principal característica d'aquestes fàcies és la seva irregularitat quant a mida i forma del gra. Es tracta d'una acumulació de bretxes formades per grans mida palet, còdol i/o bloc de subangulosos a subarrodonits, que mostren en la seva acumulació una feble gradació inversa. La matriu pot ser totalment absent donant una textura de l'acumulació tipus “*openwork*” (sense matriu); quan la matriu hi és present, sempre de forma molt irregular, està composta en la seva major part per llims vermells procedents també de l'exterior. A les zones més internes de les cavitats aquests sediments es correspondrien amb les “*backswamp facies*” descrites per BOSCH & WHITE (2004), caracteritzades pel seu caràcter heteromètric i el transport més aviat curt que han sofert els materials.

Com és lògic, aquests tipus de fàcies d'entrada es troba ben representat al sistema Gleda-Camp des Pou, a les diferents entrades actuals i a algunes de les que s'obrien al passat i actualment es troben tancades per diverses causes (Fig. 15.10); al sistema Pirata-Pont-Piqueta; la cova Genovesa i la cova des Drac de Cala Santanyí.

15.4.4. FÀCIES D'ENTRADA: EOLIANITES

El registre sedimentari de materials eòlics a les cavitats és relativament freqüent. Els exemples disponibles de cavernes que allotgen fossilitzacions al·lòctones d'origen dunar, inclouen en la seva major part acumulacions còniques de materials arenosos dipositades per gravetat en l'interior de cavitats càrstiques. Esmentarem en el cas de l'illa de Mallorca els sediments de la cova de s'Ònix, a Manacor (GINÉS *et al.*, 2007a), els dipòsits possiblement würmians presents a la cova de sa Bassa Blanca, a Alcúdia (GINÉS & GINÉS, 1974), així com les arenes dunars del Riss existents a l'entrada del Secret des Moix, també a Manacor (GINÉS *et al.*, 1975; GINÉS, 2000) (Fig. 15.11). A l'illa de la Dragonera, cal referir-se a la duna Riss dipositada a l'interior de la cova des sa Font (EGOZCUE, 1971), mentre que a Cabrera és obligat esmentar els sediments arenosos de la cova des Frare, atribuïts al Pleistocè inferior (MATEU *et al.*, 1979). A l'illa de Menorca, la cova de sa Duna (Alaior) conté dipòsits d'arenas eòliques corresponents al Pleistocè superior (QUINTANA & ARNAU, 2004).

Estudiat directament per nosaltres hi ha la cova de s'Abisament, que presenta l'entrada dins eolianites pleistocenes que es van introduir dins la cova (GRÀCIA *et al.*, 2006b); la cova des Coloms de Cala Falcó és una captura a on s'aprecien a la boca marina sediments vermells i eolianites erosionades per la mar i parcialment recobertes per colades; la cova des Coloms de Cala Varques posseeix evidències d'antics nivells de rebliment per eolianites pleistocenes a diferents indrets que han estat erosionats per la mar; la cova de ses Barraques també posseeix eolianites amb morfologies de corrosió; el Dolç de Cala Murta, surgència de les coves del Drac, posseeix eolianites erosionades en alguns indrets de la galeria; a la cova de ses Pedreres (Manacor) l'entrada s'obre dins eolianites recobertes parcialment per colades estalagmítiques; el secret des Moix és un cas similar, eolianites recobertes de colades han modificat substancialment l'entrada a la cova (Fig. 15.11). Diverses entrades a es Dolç es troben també afectades per entrada d'arenas, com són el cas de la cova de s'Aigua (Fig. 15. 12) i s'Esfondrat. En altres contrades de Mallorca, a la serra de Tramuntana de Pollença, la cova Negra (GRÀCIA



Figura 15.11: Sala d'entrada de la cova des Secret des Moix. S'aprecien les eolianites procedents de l'exterior, revestides de colades estalagmítiques. Al terra s'han introduït arenes marines a través d'una entrada submarina que s'intueix al fons de la fotografia (Foto M. Luque).

et al., 2001e) cavitat submarina de 200 m de longitud i -24 m de fondària, oberta dins calcàries mesozoïques presenta les parets excavades dins eolianites després d'una llarga història de rebliments, cementació i erosió del tot relacionat amb els canvis del nivell de la mar.

En tots els casos es tracta de sediments consolidats, semi-consolidats o fins i tot actuals, que indiquen una edat superior a l'holocena i que en la majoria dels casos donen indicació d'antigues entrades a les cavitats, avui en dia taponades per la seva acumulació. Cap d'aquests registres eòlics ha estat directament datat i tan sols s'han pogut situar cronològicament en alguns casos per la presència de restes esquelètiques de vertebrats (FORNÓS *et al.*, 2010b), com és el cas de la galeria del Tragus a la cova des Pas de Vallgornera que les situaria en el Pliocè superior, al voltant dels 2,4 Ma (BOVER, 2011, BOVER *et al.*, 2014). Des d'un punt de vista sedimentològic, en tots els casos es tracta d'arenas bioclàstiques (arenas fines carbonatades) molt ben

classificades i amb petites proporcions de materials argilosos, en les quals normalment només és observable una estratificació incipient consistent en fines laminacions mil·limètriques, donades per la variació en la mida de gra i pels diferents graus de cimentació que poden presentar. Generalment consisteixen en arenes de gra fi amb una bona classificació; la forma dels grans d'arena mostra un bon grau d'arrodoniment i un cert poliment. La seva composició és principalment carbonatada, essent-ne la calcita el mineral principal.

La presència dels components silícics llimosos vermells –que són dominants en la fracció més fina, quan aquesta hi és present– indica la remobilització i mescla de les arenes eòliques amb els materials fangosos corresponents a les aportacions externes detrítiques, mitjançant l'escorrentia procedent de la infiltració superficial. També hi són freqüents els fragments angulosos mida grava, palet o superior procedents de la caiguda gravitacional de fragments procedents de les parets de les cavitats, així com la presència d'algunes restes fossilíferes, com ja hem comentat. Les característiques texturals i la composició carbonatada (bioclàstica) de les arenes, així com el seu bon grau de classificació i la mitjana de la mida de gra d'arena fina, permeten interpretar aquestes



Figura 15.12: Es Dolç és una cavitat excavada preferentment dins eolianites pleistocenes, però a la vegada s'introdueixen a través de les diferents entrades que posseeix materials de les dunes properes. Cova de s'Aigua (Foto M. A. Perelló).



Figura 15.13: Cala Petita de cala Varques. Platja que segons els corrents, apareix o desapareix. Es veu a les fotografies el túnel excavat dins l'arena per poder accedir al seu interior, ja que l'entrada en ocasions es troba completament tancada per l'arena (Fotos M. Crespí).

arenas com a de procedència eòlica, dipositades a través d'antigues obertures. La manca d'estructures tractives, que no han estat observades, fa pensar en el seu emplaçament mediatitzat per processos d'escorrentia molt poc dinàmics, els quals no han jugat un paper important en la deposició global d'aquestes arenas.

15.4.5. FÀCIES D'ENTRADA D'ORIGEN MARÍ

Els aspectes geomorfològics i sedimentaris, a les zones càrstiques litorals són molt complexes (FORNÓS *et al.*, 2011b). Les graves i les arenas d'origen marí (bioclàstiques), emplaçades directament per la mar o també pel vent que retreballa els cinturons i cordons litorals, es poden introduir dins les coves costaneres i incorporar-se

al seu registre sedimentari (GINÉS & GINÉS, 1986, 1995; GINÉS, 2000; GRÀCIA *et al.*, 2010b). Exemples d'aquestes interaccions són per exemple les platges (Fig. 15.13) presents a l'interior de la cova de na Mitjana (GINÉS *et al.*, 1975, 2007b), cova aèria a on també s'hi pot observar les restes de l'activitat dels organismes bentònics. A les nostres recerques, nosaltres hem trobat que a la cova des Coll, a la part oberta a la mar s'introdueixen sediments marins al llarg de centenars de metres; a es Dolç per una banda, a les zones relacionades amb la proximitat cap al medi marí hi són abundants les acumulacions d'arenes fines-mitjanes de composició principalment bioclàstica (amb mineralogia predominant calcítica), fortament laminades i amb abundants restes de fibres vegetals (restes de rizomes de *Posidonia oceanica*), que li poden arribar a donar uns valors en matèria orgànica superiors al 20%, per altra banda s'introdueixen arenas procedents de les dunes relacionades amb els col·lapses més interns, com són les entrades de la cova de s'Aigua i s'Esfondrat, tindriem les acumulacions d'arenes fines a molt fines, molt ben classificades i bioclàstiques (amb composició carbonatada calcítica, però amb elevats percentatges d'aragonita), també fortament laminades, amb intercalacions de capes mil·limètriques de matèria orgànica procedents probablement de la activitat eòlica externa (Fig. 15.12); la cova des Xuetes acumula en algunes sales

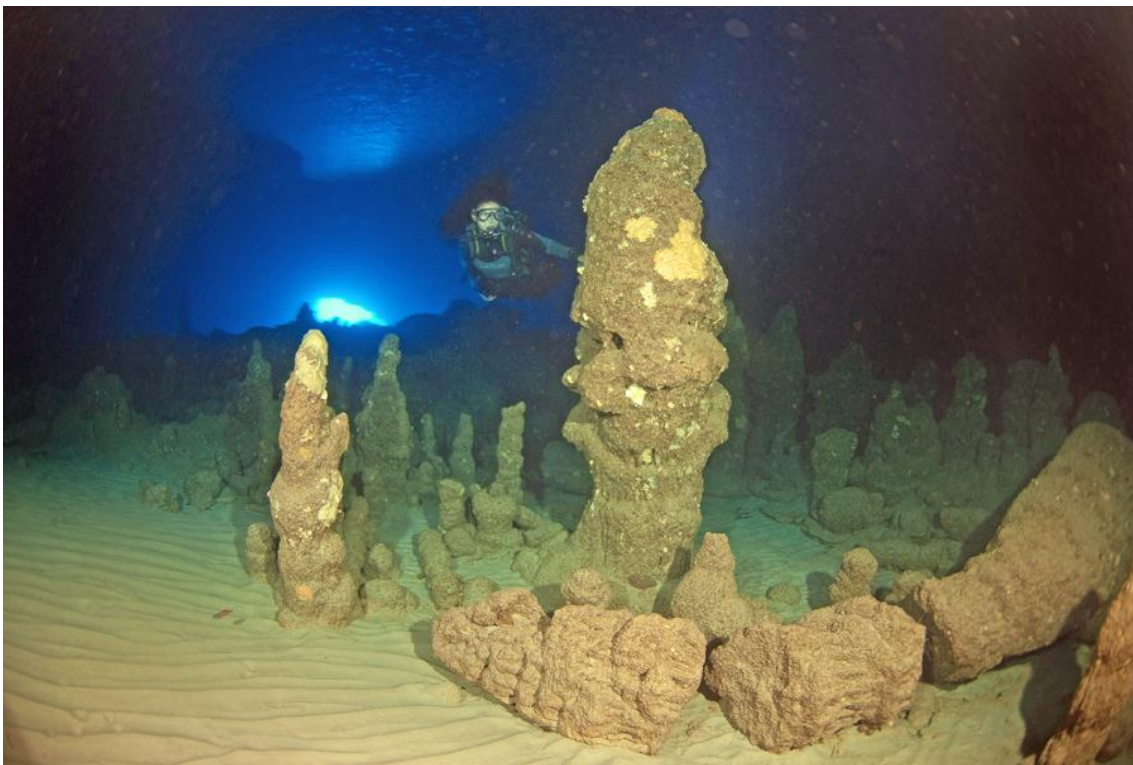
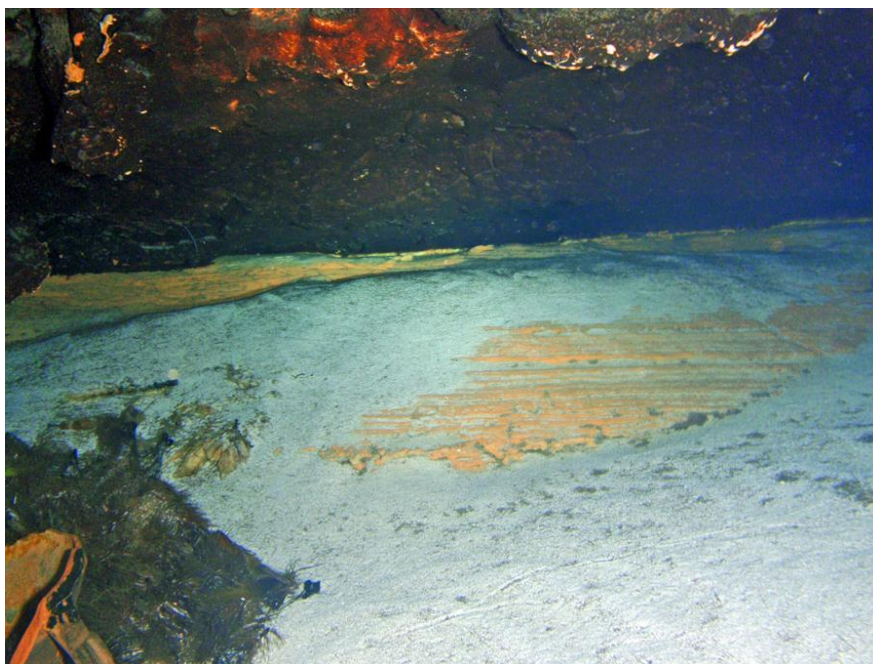


Figura 15.14: Cova Submarina de Cala sa Nau, a on s'acumulen arenas marines a l'interior de la cavitat (Foto A. Cirer).

Figura 15.15: Sedimentació d'arenes actuals i pretèrites consolidades que obstruïxen parcialment es Dolç de cala Murta (Manacor). Foto F. Gràcia).



arenas marines; la cova de ses Barraques està aïllada de la mar per arenas actuals que drenen l'aigua subterrània a la platja després de filtrar-se; la cova Submarina de Cala sa Nau acumula arenas actuals (Fig. 15.14); la cova des Drac de Cala Santanyí acumula una platja a la sala d'Entrada i està separada des Riuet, surgència de la cavitat a la mar, per l'acumulació d'arenas marines; el Dolç de Cala Murta, surgència de les coves del Drac, en ocasions s'obstrueix parcialment per arenas, restes de Posidonia i còdols marins, i al seu interior hi ha una platja (Fig. 15. 15); a la cova de ses Pedreres i el secret des Moix l'acumulació d'arenas i altres materials marins semblen d'una potència considerable; és un cas similar, arenas actuals entren fins al llac i sembla que tanquen les possibles continuacions.

15.4.6. FÀCIES CARBONATADES NO CLÀSTIQUES (AUTÒCTONES)

Incloem dins d'aquest grup de sediments dues fàcies totalment antagòniques pel que fa al seu procés de formació (precipitació / dissolució) i que són característiques de la zona freàtica en el carst litoral (FORNÓS *et al.*, 2011). En el primer cas es tracta d'arenas formades per l'acumulació de làmines de calcita flotant, mida arena mitjana, que poden arribar a superar els 40 cm de potència (FORNÓS *et al.*, 2009; GRÀCIA *et al.*, 2007a, 2007b) però de manera molt irregular, formant una espècie de tel que recobreix el fons dels llacs presents en algunes sales, i mostrant una forma cònica d'amuntegament (Fig. 15.16). Els grans d'arena estan formats per cristalls romboèdrics

de calcita que mostren símptomes parcials de corrosió. Aquest tipus de dipòsits és abundant en el trespol dels llacs, a sales amb la superfície lliure de l'aigua que permet la desgasificació del CO₂. Aquest procés controla la precipitació de les làmines de calcita flotant a la superfície dels llacs on es mantenen per flotació fins que el propi pes pel seu creixement, o algun efecte extern com pugui ser el degoteig des del sostre de la cavitat, fa que se superi la tensió superficial de l'aigua i acabin per acumular-se al fons del llac. En moltes ocasions formen estalagmites còniques, que poden assolir dimensions considerables. Aquestes acumulacions de làmines de calcita flotant són molt abundants a cavitats com el sistema Gleda-Camp des Pou, cova des Pas de Vallgornera, cova de Cala Varques B, sistema Pont-Pirata-Piqueta i cova den Bassol.

En el segon cas, es tracta de l'acumulació de partícules carbonatades (grans) que han estat alliberades des de les parets de la cavitat per processos fisicoquímics de meteorització, ja sigui en condicions subaquàtiques (Fig. 15.17) o fins i tot aèries. Es tracta de l'acumulació d'arenes fines a mitjanes de poca potència, normalment no superen els 20 cm (FORNÓS *et al.*, 2009), que mostren corbes de mida de gra bimodals i amb una mala classificació. Aquests dipòsits estan formats en la seva majoria per grans de composició calcítica, encara que també hi és present la dolomita. Aquests nivells carbonatats solen presentar-se mesclats amb sediments llimosos vermells (fàcies mesclades). Aquesta fàcies carbonatada particulada sol ser la que presenta una textura més gruixada, deixant de banda la produïda pels processos gravitatoris i de trencament. La seva acumulació es deu a la resposta diferencial als processos de meteorització i corrosió sobre les parets de la cavitat, formades per roques calcarenítiques en les quals els bioclasts responen de forma diferent a la corrosió en funció de la seva textura i



Figura 15.16: Estalagmita cònica no cimentada del sistema Gleda-Camp des Pou. Es formen per acumulació de làmines de calcita flotant i poden arribar a assolir alçàries considerables. A la superfície de l'aigua es veuen làmines de calcita que suren per tensió superficial (Foto C. Bodi).

Figura 15.17: Les bombolles del bussejador fan caure del sostre grans de material carbonatat que es va alliberant a mesura que es va descalcificant. Aquests sediments es troben molt relacionats amb la formació de la cavitat, a mesura que avancen els processos de corrosió (Foto A. Cirer).

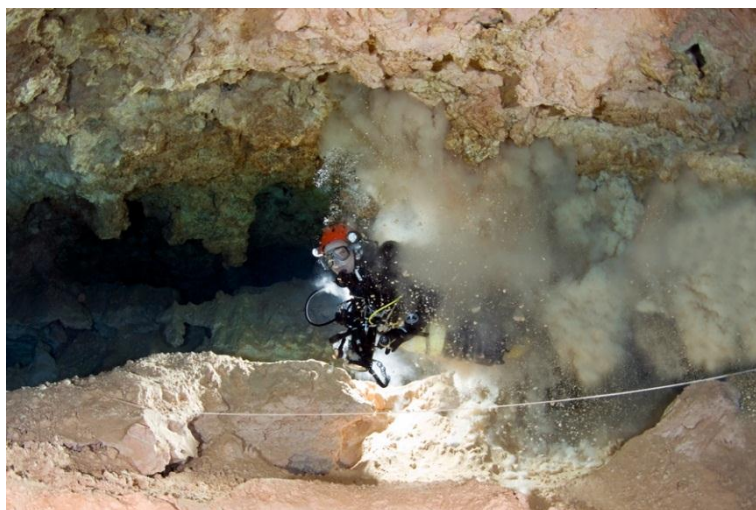


Figura 15.18: Sediments d'origen hipogènic a galeries de la cova des Pas de Vallgornera (Foto J. Pocoví).

mineralogia. Aquesta fàcies és especialment abundant en aquelles zones freàtiques del carst litoral en les qual es dóna la corrosió per la mescla d'aigües i on la presència d'haloclines és freqüent (GRÀCIA *et al.*, 2007a). La cova des Pas de Vallgornera presenta en algunes de les galeries sotaiguades acumulacions de pocs mil·límetres. El

sistema Gleda-Camp de Pou és el que acumula molts de sediments amb aquestes característiques i es veu clarament que són el resultat de la descalcificació de la roca mare de sostres i parets, així com dels propis espeleotemes.

15.4.7. FÀCIES RELACIONADES AMB SEDIMENTACIÓ HIPOGÈNICA

En diferents cavitats relacionades genèticament amb fluxos hipogènics es troba una altra fàcies característica i molt distintiva de la precipitació de materials provinents d'aigües profundes amb un color normalment negre o groc marronós, amb tonalitats més o menys vermelloses. Aquests materials presenten elevats continguts de Mn i Fe, elements que són moderadament solubles en les aigües anòxiques profundes i que, en assolir els aquífers oxigenats més superficials, poden precipitar en forma d'hidròxids i òxids (PALMER, 2007). Els precipitats s'acumulen al terra o recobreixen parets i sostres (Figs. 15.18,19,20,21).

A la cova des Pas de Vallgornera, GINÉS *et al.* (2008; 2009a) i GRÀCIA *et al.* (2009a; 2009b); ja feien menció de la presència de sediments específics, com a possible galeries com reomplint l'interior de les fractures del rocam Miocè o, fins i tot, dels sediments detrítics vermellosos que abunden en determinats passatges. A la cavitat, el FeO és la composició de l'òxid dominant, amb valors lleugerament més alts del 45%, amb uns valors compresos entre 14.62 a 72.13% i el MnO la composició té un valor mitjà proper al 11%, amb valors que varien de 5.96 a 18.56%. Els minerals d'argila predominen en la composició dels sediments, amb valors de més de 40%. El principal és la caolinita (a prop 23%) i l'illita (al voltant 13%) es troben en la proporció més alta, tot i que altres minerals (p. ex. montmorillonita i palygorskita) és també present. La goetita representa el 15%. La mida del gra, com s'ha comentat abans, correspon a una sorra fangosa. Totes les mostres presenten valors similars i els llims representen prop del 40%, i l'argila té valors al voltant 3,5%. A més de diferents sectors aeris de la cova s'han localitzat també a tots els sectors subaquàtics. Un fet característic d'algunes galeries des Dolç són les importants acumulacions de dipòsits obscurs, damunt les eolianites pleistocenes blanques, formats per materials fins (llims i argiles), on hi dominen els fil·losilicats com a elements mineralògics principals; també hi ha quars i la composició carbonatada és força variable. L'anàlisi química d'aquests nivells indica la



Figures 15.19 i 15.20: Sediments rics en Mn i Fe de procedència hipo-gènica de la cova des Pas de Vallgornera (Foto F. Gràcia). Precipitats hipogènics que recobreixen les parets, sostre i terra des Dolç. Aquests precipitats són de color fosc, mentre que les eolianites, de la roca mare a la qual oculten, són blanques (Foto A. Cirer).

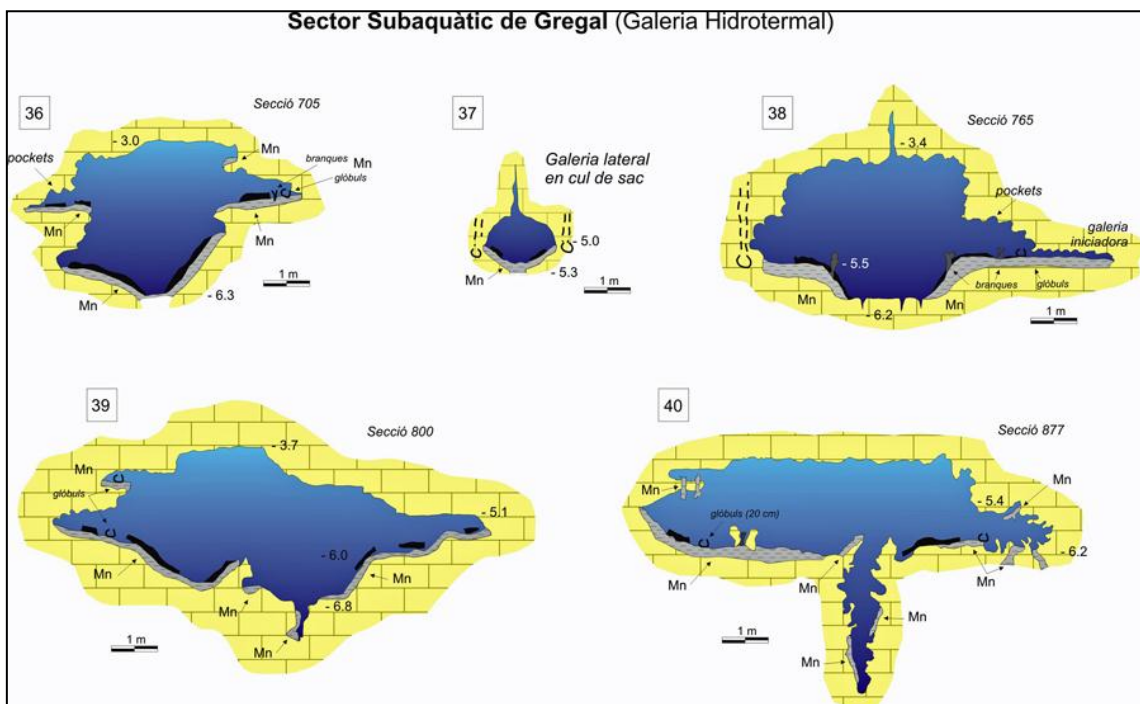


Figura 15.21: Seccions d'una de les galeries relacionades amb processos hipogènics al sector Subaquàtic de Gregal (cova des Pas de Vallgornera). S'aprecien acumulacions de sediments hipogènics en negre i conductes verticals d'alimentació que s'obren al terra i canals ascendents de paret, així com galeries en cul de sac. També al sostre hi ha fractures que serveixen de punts de descàrrega.

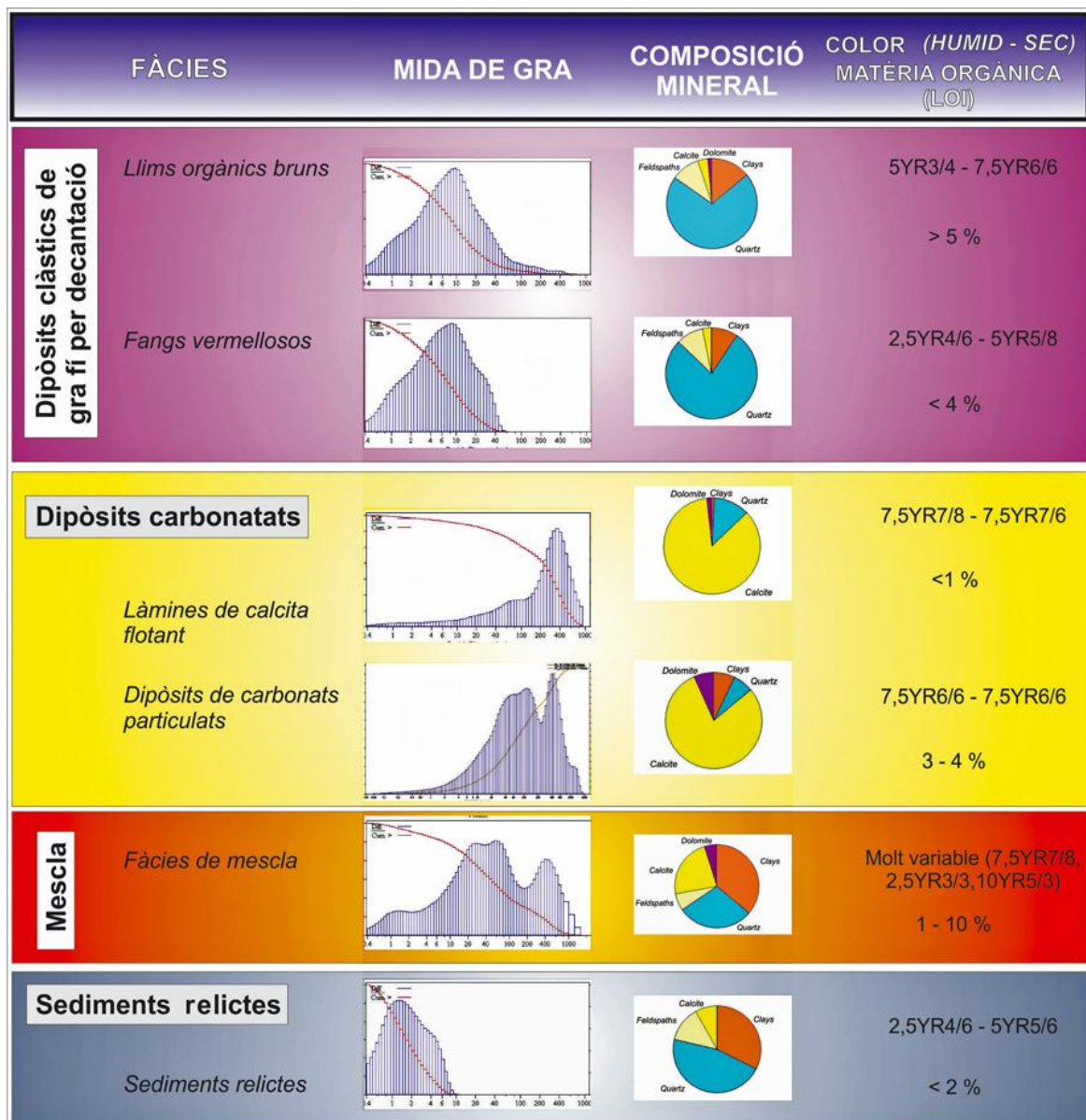


Figura 15.22: Característiques distintives resumides de les fàcies sedimentàries presents a les cavitats litorals de Mallorca, llevat de la fàcies hipogènica. Segons FORNÓS *et al.* (2011b).

presència d'importants quantitats de ferro i especialment manganès, que pot arribar a valors del 40%.

Les coves del Drac és la darrera localitat, en aquest cas al Llevant de Mallorca, a on ha sortit aquesta fàcies, amb una gran representativitat a bona part de les galeries sotaiguades i associat a la ingent quantitat de morfologies hipogèniques. Els primers resultats de les anàlisis, encara en fase d'estudi, indiquen percentatges de ferro molt elevats. Pensam que és la cova a on aquestes morfologies es presenten en major densitat i diversitat de les cavitats subaquàtiques mallorquines.

Capítol 16. LES SALES D'ESFONDAMENT

16.1. Introducció

Els processos d'esfondrament (*breakdown processes*) són un dels trets més característic de moltes cavitats mallorquines, que formen voluminoses sales i a on predominen grans acumulacions de blocs caiguts de les voltes i parets. La caiguda de masses de roca del sostre per inestabilitat i falta de sustentació dóna lloc a voltes i sales de seccions representatives que tendeixen a adoptar les formes arrodonides que millor equilibri proporcionen. Els blocs caiguts s'acumulen en el centre per formar caramulls cònics o per produir rosts de blocs si els esfondraments són asimètrics. Són el que s'han denominat sales d'Esfondrament *collapse chambers* (GINÉS, 2000) i que caracteritzen algunes de les categories espeleogenètiques definides per GINÉS (1995a), com són tant les coves de la zona de mescla costanera com les coves clàstiques en

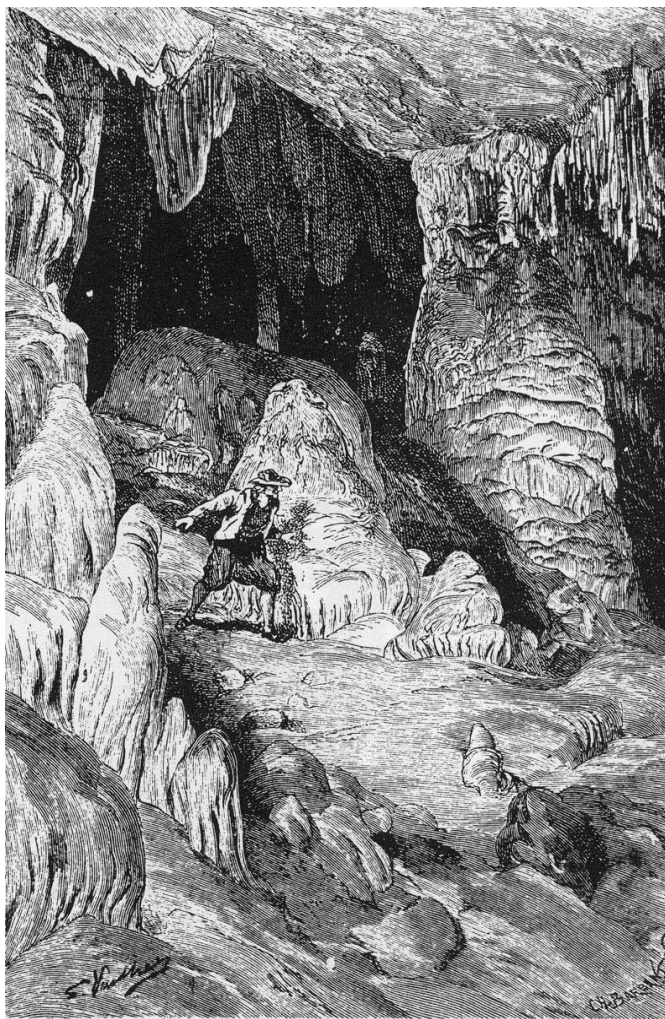


Figura 16.1: El recobriment per espeleotemes de les sales d'esfondrament amaga els grans blocs acumulats i dissimula la seva importància (gravat de VUILIER, 1880).

general. Aquests mecanismes s'han designat a la bibliografia hispana com a processos clàstics (MONTORIOL-POUS, 1951) corresponent així mateix al terme *incasion* proposat per BÖGLI (1980). Se considera una part important de l'evolució espeleogenètica, que contribueix en gran part en la degradació total dels sistemes càrstics. Molts d'aquests aspectes generals apareixen a la literatura disponible, emperò

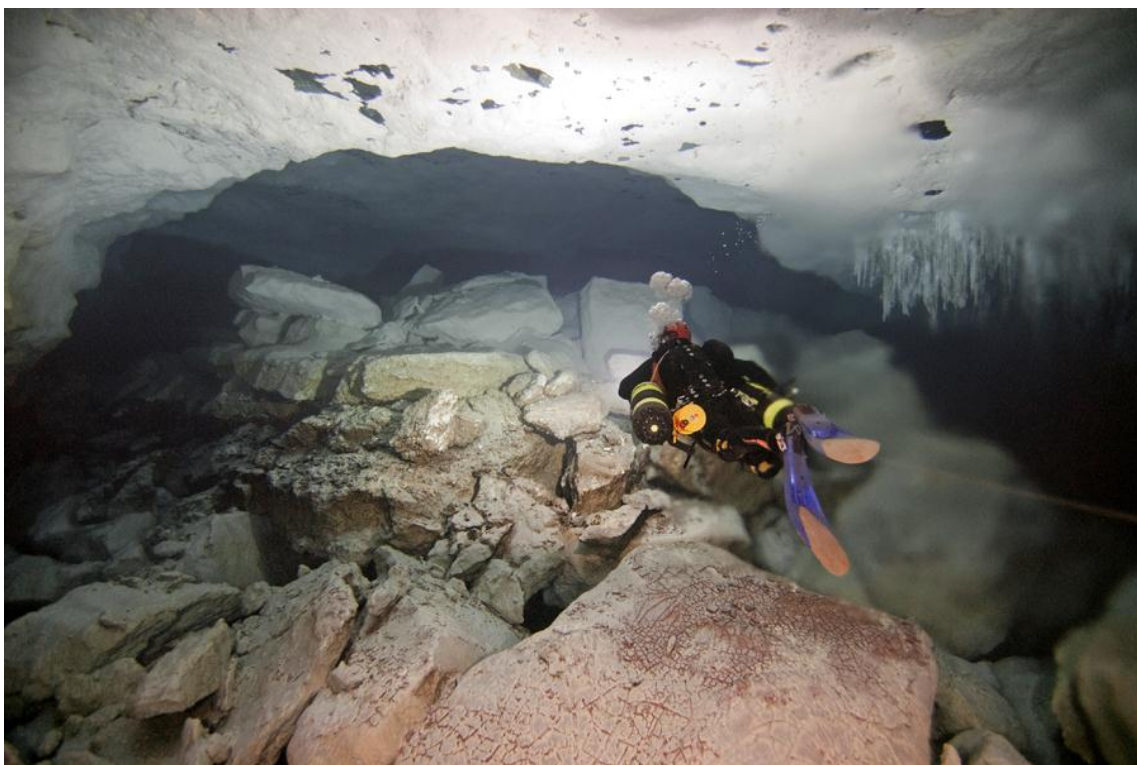


Figura 16.2: El volum de l'acumulació de blocs dels col·lapses ocasiona en ocasions un important desnivell entre el cim del con d'esfondrament i les cotes més baixes (Galeria de l'Arxiduc a les coves del Drac, Foto A. Cirer).

les dades quantitatives i morfomètriques són escasses (DAVIES, 1949 i 1951; MONTORIOL-POUS, 1951; RENAULT, 1967; WHITE i WHITE, 1969; BÖGLI, 1980; JENNINGS, 1985; WHITE, 1988 i WILLIAMS, 1989; WHITE i WHITE, 2000).

16.2. Les sales d'esfondrament al Migjorn i Llevant

En referència a l'endocarst mallorquí, els processos de col·lapse i les sales d'esfondrament apareixen com una de les seves característiques més destacades (GINÉS i GINÉS, 1987, 1989, 2007; GINÉS, 1995a, 2000; GINÉS *et al.*, 2008; GRÀCIA *et al.*, 2005, 2006a, 2007a, 2009a, 2014), tant en les calcàries juràsiques massives i micrítiques de les muntanyes, així com a les poroses calcarenites del Miocè de la costa sud i est. El condicionant litològic de les grans sales i galeries voluminoses és determinant i corresponen en general a la fàcies d'escull del Miocè superior; fàcies molt porosa i permeable i que dona lloc a grans volums en dissoldre's, preferentment també afavorida per les mineralogies aragonítiques dels coralls. Les fàcies que pertanyen al nucli de l'escull, ja sigui a la cresta com a la paret progradant presenten fàcies de front

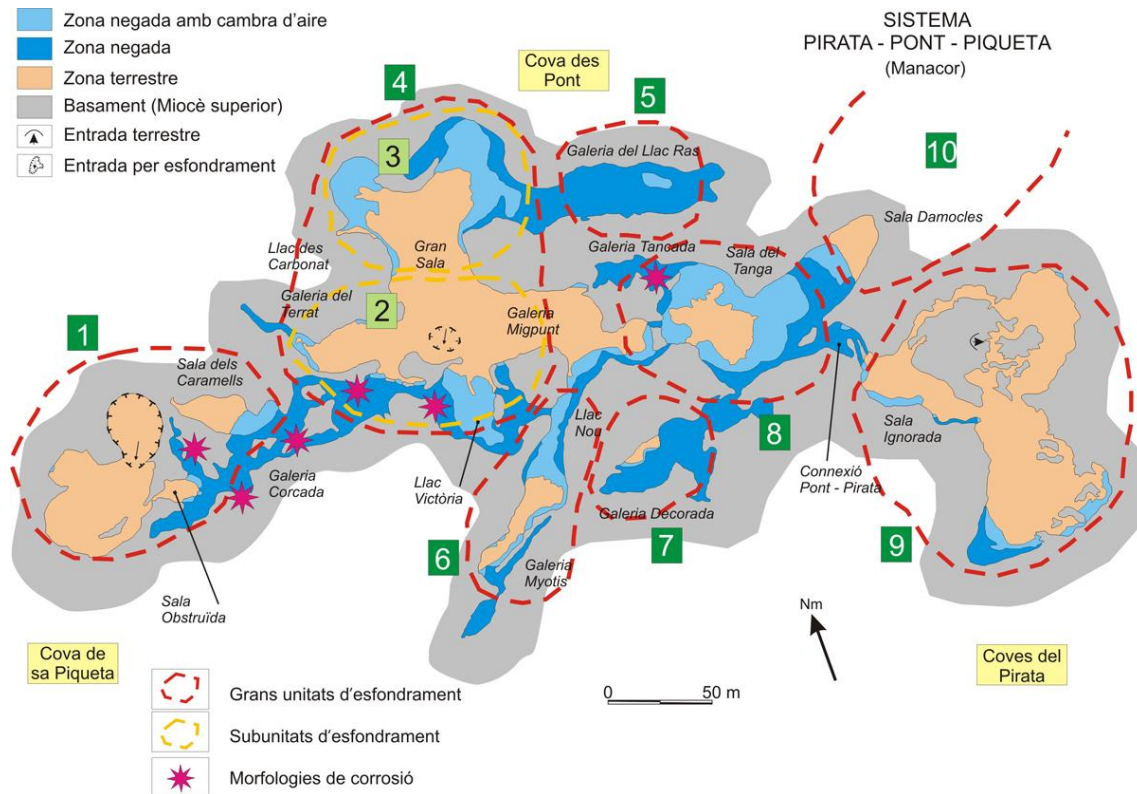


Figura 16.3: La connexió entre blocs entre la sala del Tanga i la sala Ignorada va ésser la primera superació important sota l'aigua. Principals unitats d'esfondrament del sistema Pirata-Pont-Piqueta.



Figura 16.4: La major part de sales actualment vadoses són realment sales d'esfondrament que es perllonguen sota les aigües. Sala Obstruïda de la cova de sa Piqueta. Sistema Pirata-Pont-Piqueta (Foto A. Cirer).

escullós i formen cossos massius de potència variable. 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'endocarst mitjançant successius processos de col·lapse i dissolució dels materials resultants (GINÉS, 2000; GINÉS & GINÉS, 1992; GINÉS, 2000; GINÉS *et al.*, 2008). (Fig. 16.1, 16.2).

Moltes coves conegudes de Mallorca estan constituïdes per sales d'esfondrament individuals o per la coalescència de diverses sales. A les calcarenites post-orogèniques costaneres el nivell del mar apareix com el principal factor que controla els processos d'espeleogènesi i col·lapse de les coves. GINÉS (1991), GINÉS & GINÉS (1992) i

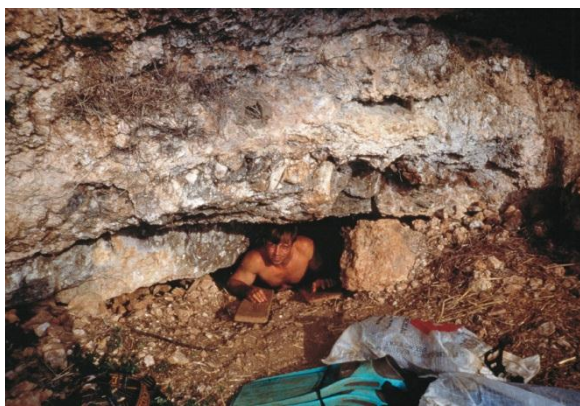


Figura 16.5: Entrada, dins la dolina d'esfondrament, a la cova des Coll. Per molt poc aquest accés no va quedar completament tancat pels propis blocs de l'esfondrament i per materials caiguts de l'exterior (Foto R. Landreth).

GINÉS *et al.* (2008, 2011) emfatitzen el paper exercit per la mescla de les aigües dolces i marines a la zona freàtica de la línia de costa, especialment en relació amb l'eliminació de les parets de roca i de part dels enderroc per un augment de dissolució (BACK *et al.*, 1984).

Com a regla general, dos fets importants relacionats amb les sales d'esfondrament han de ser tinguts en compte (GINÉS, 2000). En primer lloc, es pot suposar que el volum de l'acumulació de blocs del col·lapse és superior al volum de l'espai

buit total de la sala, ja que amb freqüència la considerable quantitat de blocs i altres deixalles de l'enfonsament deixen molts buits entre ells. A causa d'aquest augment de volum aparent associat al creixement de munts de blocs, l'ampliació real de les cavernes només és eficaç en combinació amb altres agents espeleogenètics que impliquen l'eliminació de roca. En segon lloc, la inestabilitat dels sostres, sempre avança cap amunt. En ocasions el desnivell des de la cúspide de les sales fins a les parts més pregones és considerable, significa que els buits de partida inicials estan situats necessàriament a una altura bastant inferior a la topografia actual de la cova. En aquests casos, la troballa del nivell de base que ha controlat l'espeleogènesi ha de reflectir aquesta diferència en altitud entre passatges de coves reals i proto-coves inicials.

Aquestes consideracions s'han tingut en compte a l'hora de fer els càlculs de morfometria de la cova Genovesa a GINÉS & GINÉS (2013).

Des d'un punt de vista espeleogenètic les sales d'esfondrament, que caracteritzen l'endocarst mallorquí format per esculls post-orogènics, estan relacionades amb oscil·lacions recurrents de la capa freàtica, esdevingudes durant el Quaternari en el marc d'un ambient especial de carst costaner (GINÉS, 1991; GINÉS & GINÉS, 1992; GINÉS, 2000). Els sistemes de coves han estat sempre controlats pels canvis del nivell del mar.

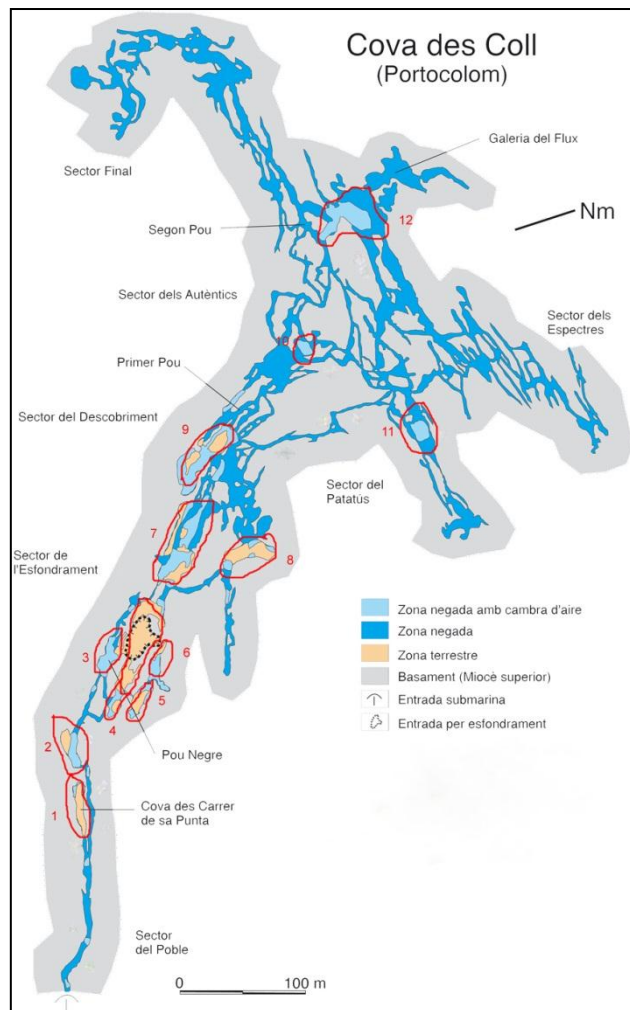


Figura 16.6: Distribució de les principals sales d'esfondrament o unitats d'esfondrament a la cova des Coll.



Figura 16.7: Sala Girada al sector dels Descobriments de la cova des Coll. Les sales aèries no són més que esfondraments de galeries freàtiques de dissolució (Foto M. A. Perelló).

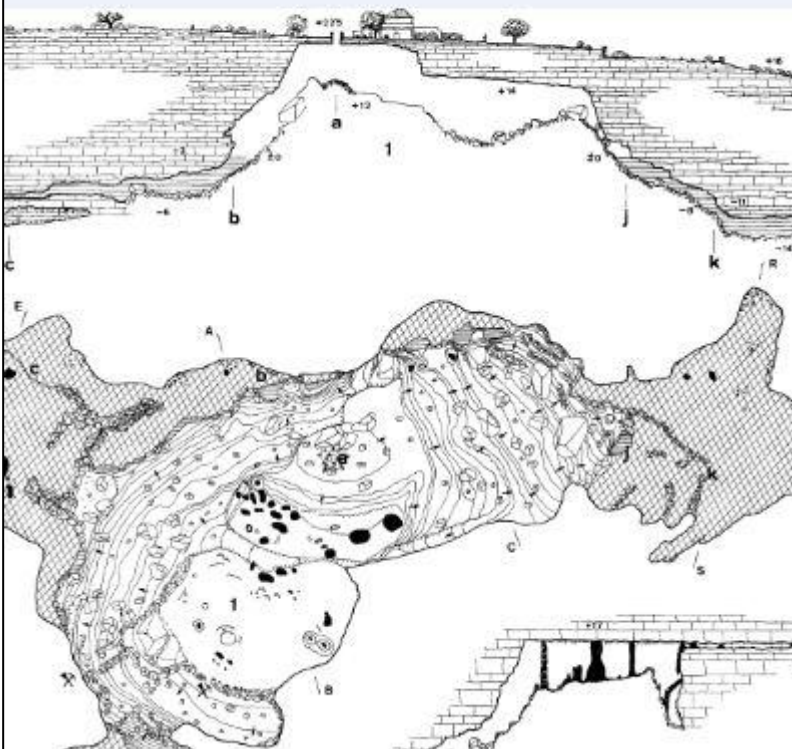


Figura 16.8: Esfondrament que forma la sala de la Nau. Cova d'en Bassol (Foto A. Ginard).

Cada vegada que el nivell freàtic ha davallat, la baixada de les aigües ha ocasionat la pèrdua de suport dels sostres i l'augment de la tensió mecànica de les voltes, provocant col·lapses locals. D'altra banda, els períodes en els quals la capa freàtica ha ascendit, les voltes de roca i els sòls de blocs caiguts s'han inundat i la barreja entre aigües dolces i marines ha causat de bell nou, la dissolució de la roca calcària. A causa d'aquests processos fluctuants, les oscil·lacions del nivell del mar i del nivell de les aigües subterrànies associades, a l'interior

de les coves han de contemplar-se com un important factor espeleogenètic de l'endocarst del Migjorn i Llevant mallorquí. Així, en ambients càrstics costaners, on els sistemes de coves romanen estretament vinculats a la mar, la freqüència d'enfonsaments s'estén per llargs períodes de temps i no es limita només als primers estadis de desenvolupament de la cova.

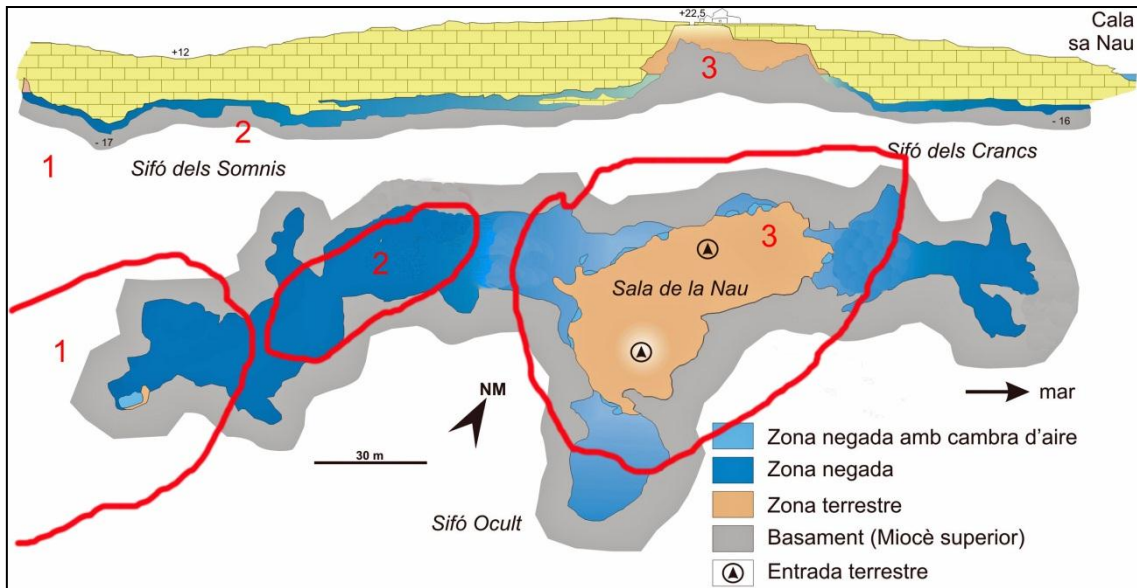


Figura 16.9: Principals unitats d'esfondrament a la cava d'en Bassol.

Sovint, els materials despresos es troben recoberts d'espeleotemes, fet que depèn principalment de l'antiguitat dels darrers esbucaments, del regim freàtic o vadós al qual ha estat sotmès el buit i de la velocitat local de formació dels espeleotemes. En molts casos els cons d'enderrocs es troben cimentats i parcialment consolidats per potents colades i massissos estalagmítics, la qual cosa dificulta l'apreciació de la importància dels processos d'esfondrament (Figs. 16.1, 16.8, 16.12).

Aproximadament, fins a les dues darreres dècades, l'exploració d'aquestes coves costaneres, es limitava a les parts vadoses de les coves no envaïdes pel nivell freàtic. L'any 1994 es realitzen importants troballes als llacs de la cova des Pas de Vallgornera (MERINO, 2000). Al mateix temps s'assoleixen destacats descobriments subaquàtics, duts a terme per espeleobussejadors (GRÀCIA *et al.*, 1997; 1998a; 1998b). De llavors ençà, no s'han aturat les troballes i la documentació de cavitats amb continuacions subaquàtiques de Mallorca, per la qual cosa ja es té un bon bagatge de coneixements entre els quals es pot extreure el que fa referència a la presència d'abundants sales d'esfondrament. En aquest sentit, les topografies i fotografies publicades, permeten visualitzar evidències de les característiques sales d'enfonsament, com són les acumulacions de blocs, ajustaments mecànics de les voltes i àrees de coalescència que connecten sales d'esfondrament adjacents. La major part d'entrades a les cavitats del Migjorn i Llevant són esfondraments de sales i galeries. En alguns casos, com a la cova

de sa Gleda i la cova des Serral, formen àmplies boques d'entrada, que no són més que dolines d'esfondrament o coves d'abisament, similars als cenotes de Mèxic (Fig. 16.18).

El patró planimètric de les coves d'aquesta tipologia denota la coalescència, un tant aleatòria, d'unitats d'esfondrament més o manco independents, que han anat creixent tridimensionalment i connectant unes amb les altres (GINÉS & GINÉS, 2007; GRÀCIA *et al.*, 2007a), fins a donar lloc a una disposició en planta de caràcter *ramiforme* en el sentit enunciat per PALMER (2007) (Figs. 16.3, 16.9, 16.11, 16.13). Aquest patró més aviat aleatori es veu fortament condicionat per la litologia dels dipòsits carbonatats del Miocè superior (GINÉS *et al.*, 2008, 2009), essent possible observar-ho amb claredat en les fàcies de front d'escull, com a resultat de la dissolució extensiva de les construccions de coralls.

16.3. Principals sales d'esfondrament a les cavitats subaquàtiques mallorquines

Es poden reconèixer les principals unitats d'esfondraments de les cavitats, estudiades a partir de les topografies. La quantificació relativa dels esbucaments és possible per l'anàlisi de les dades mètriques d'aquests mitjançant la topografia. No



Figura 16.10: Processos d'esfondrament al sector de Gregal (Foto A. Cirer).

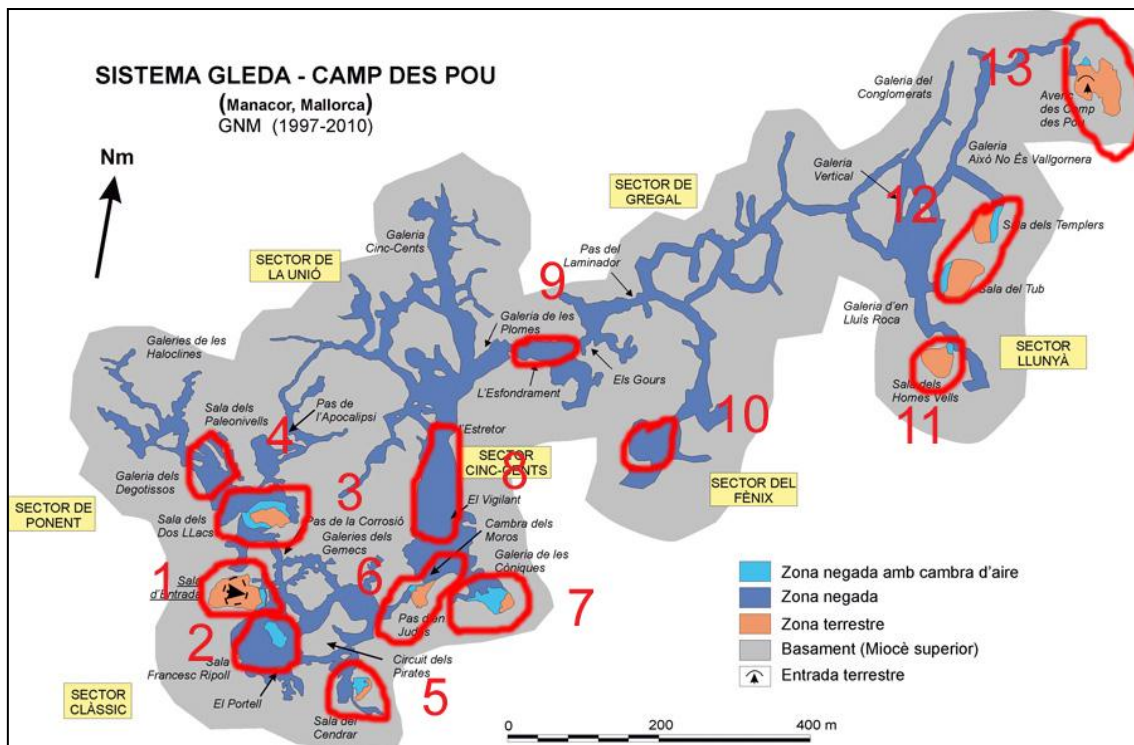


Figura 16.11: Principals unitats d'esfondrament del sistema Gleda-Camp des Pou. El patró planimètric de les coves d'aquesta tipologia denota la coalescència de les unitats d'esfondrament, més o menys independents, que s'han anat connectant unes amb les altres fins a donar lloc a una disposició en planta de caràcter *ramiforme*.

sempre coincideixen pròpiament els topònims amb les unitats d'esfondrament, ja que en ocasions una unitat agafa una zona més àmplia i de vegades una galeria o sala comprèn altres espais sense influència directa de



Figura 16.12: Sala dels Templers al sistema Gleda Camp des Pou. Es tracta d'una de les grans unitats d'esfondrament que forma una gran àeria i prossegueix sota les aigües (Foto A. Cirer).

l'esfondrament. Per al sistema Gleda-Camp des Pou, hi ha 13 grans unitats d'esfondrament dels sectors estudiats fins ara: la sala d'Entrada (unitat 1), la sala Francesc Ripoll (unitat 2), la sala dels Dos Llacs (unitat 3), la galeria dels Degotissos

(unitat 4), la sala del Cendrar (unitat 5), la cambra dels Moros (unitat 6), la galeria de les Còniques (unitat 7), part de la galeria Cinc-Cents (unitat 8), l'Esfondrament (unitat 9), la sala del Fènix (unitat 10), la sala dels Homes Vells (unitat 11), la sala del Tub i la sala dels Templers (unitat 12) i l'avenc des Camp des Pou (unitat 13). A partir d'una mitjana de 40 m d'amplària, els 200 m de longitud suposen una àrea de 8.000 m², superfície similar a les unitats 12 i 13. Altres esfondraments que es poden individualitzar tenen les següents dades de superfície: la sala d'Entrada (unitat 1) 90 m x 80 m = 7.200 m², similar a la sala Francesc Ripoll (unitat 2); la sala del Cendrar (unitat 5) 90 m x 80 m = 7.200 m²; la sala dels Dos Llacs (unitat 3) 120 m x 80 m = 9.600 m²; la galeria dels Degotissos (unitat 4) 90 m x 70 m = 6.300 m²; la cambra dels Moros (unitat 6) 120 m x 80 m = 9.600 m²; la galeria de les Còniques (unitat 7) 80 m x 80 m = 6.400 m². (Figs. 16. 10, 16.11).

El sistema Pirata - Pont - Piqueta també presenta bons exemples de sales d'esfondrament (GRÀCIA *et al.*, 2006a): coves del Pirata (unitat 9) de 18.900 m², sala del Tanga amb 8.800 m² (unitat 8), cova de sa Piqueta i sala dels Caramells 13.500 m² (unitat 1). En total es poden delimitar 8 unitats principals d'esfondrament, d'aquestes, 4 han format entrades a les cavitats (cova de sa Piqueta, unitat 1; cova des Pont, unitat 4; coves del Pirata, unitat 9 i cova des Xots, unitat 10), mentre que la darrera unitat endemés de formar la boca d'accés a la cova des Xots ha ocasionat una gran dolina d'esfondrament (Figs. 16.3, 16.4).

A la cova Genovesa, també a la marina de Manacor, farem esment dels 8.800 m² de la sala de les Ratapinyades o els 3.600 m² de la sala Bonellia viridis (GRÀCIA *et al.*, 2003a, 2003b), entre les 8 unitats d'esfondrament individualitzades. A la cova dels Ases, el sector Antic i el sector 1989 consten de 4 grans unitats d'esfondrament: la sala d'Entrada (unitat 1), la sala dels Ossos (unitat 2), la sala Gran (unitat 3) i la sala Final (unitat 4). Curiosament la superació de l'esfondrament de la unitat 1 ha suposat el descobriment del sector 2014 format per més unitats d'esfondrament connectades. La cova d'en Bassol està formada per 3 grans unitats d'esfondraments: la sala de la Nau (unitat 3), la part més gran del sífó dels Somnis (unitat 2) i la part terminal del sífó dels Somnis, que separa la cavitat de la propera cova de Cala Mitjana, de la qual formaria també part l'esfondrament de la zona més NE (unitat 1). (Figs. 16.13, 16.14, 16.15). A la cova des Coll es poden individualitzar 12 unitats principals, aquestes són (Figs. 16.5, 16.6, 16.7): part del sector del Poble (cova des Carrer de sa Punta, sala del

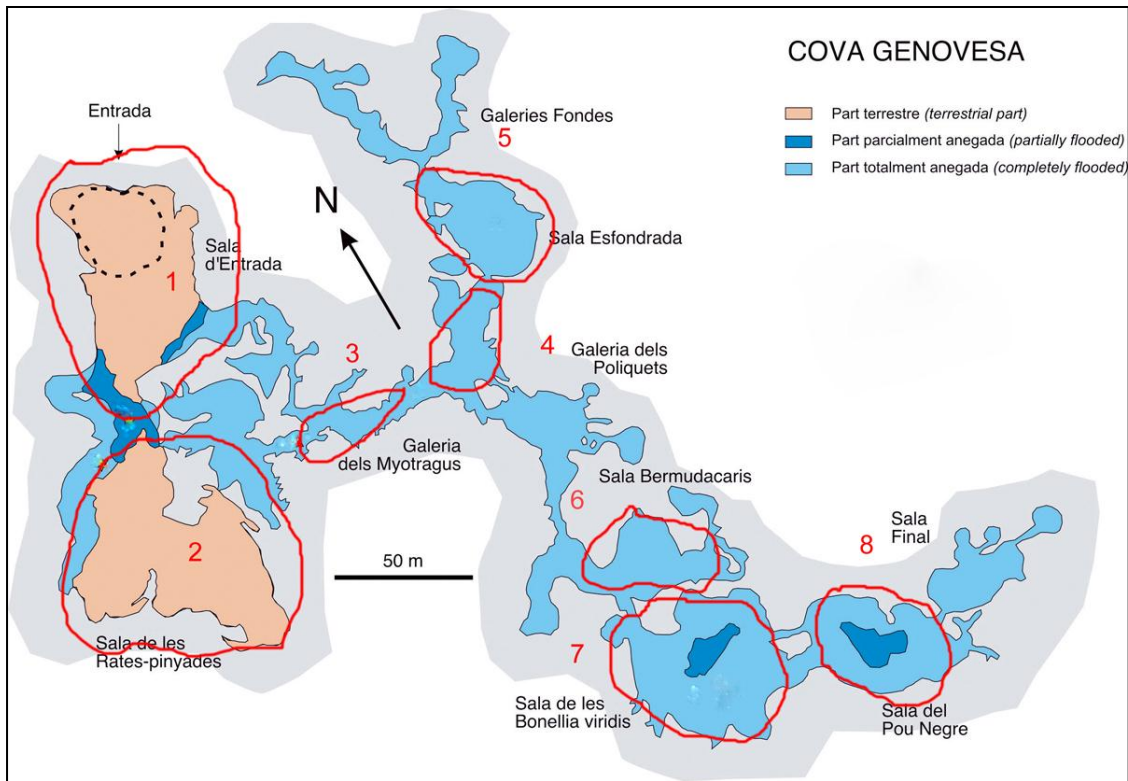


Figura 16.13: Unitats d'esfondrament de la cova Genovesa.

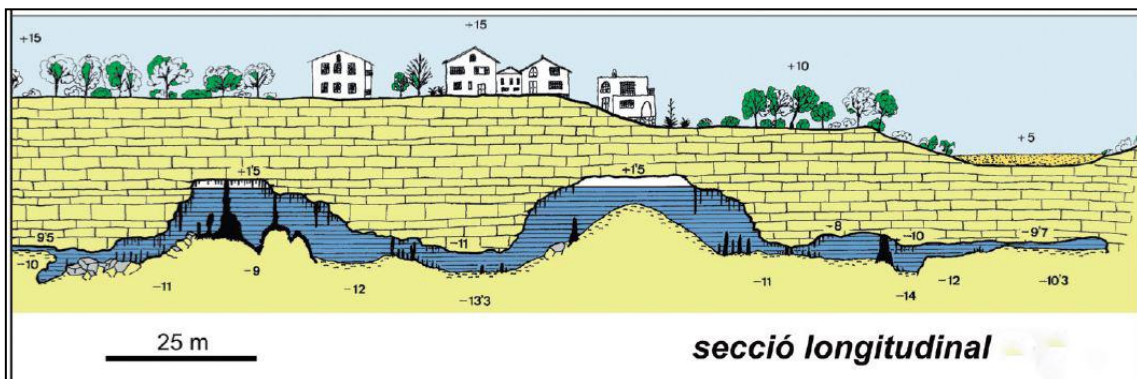


Figura 16.14: Secció de la cova Genovesa que permet apreciar la sala de les Bonellia Viridis i la sala del Pou Negre, ambdues sales d'esfondrament.

Saurí Santana; unitats 1 i 2), la major part del sector de l'Esfondrament (sala del Pou Negre, galeria de l'Amagat, dolina d'Esfondrament, sala de l'Anglès, sala Esperada i sala dels Porcs; unitats 3, 4, 5, 6), gran part del sector del Descobriment (sala del Descobriment, sala de la Trencadissa i la sala Girada; unitats 7, 8, 9), algunes zones del sector del Patatús (part final de la sala de la Panxa i la sala Tancada; unitats 10, 11), poques àrees, però importants, del sector dels Autèntics (sala Benvinguda, unitat 12).

Entre elles destaquen la sala Benvinguda de 3.000 m² (unitat 12) o la dolina d'Esfondrament de 5.600 m² (unitat 4) (GRÀCIA *et al.*, 2005).

Als sectors subaquàtics de la cova des Pas de Vallgornera, els esfondraments, encara que molt presents i característics d'algunes zones, quantitativament són molt menys importants que les galeries que no presenten fragments de roca ni blocs caiguts (GRÀCIA *et al.*, 2009a). Són centenars els metres de galeries que no presenten cap evidència de processos d'esfondraments, o bé quan hi són tenen poca importància. Al sector Antic, a la branca occidental només apareix un esfondrament recobert de colades. A la branca oriental no n'hi ha cap fins a topa-se amb la sala Que no Té Nom, per emergir. Al sector de les Grans Sales, s'emergeix a un tram important aeri per mor d'aquests processos. També una de les galeries del sector es veu closa per mor dels enderroc que no permeten la progressió. Al sector Subaquàtic de Gregal, els inicis de la galeria, abans de connectar amb la galeria del Quilòmetre, presenta abundants blocs inestables que fan molt delicada la superació d'alguns passos estrets. S'han de sortejar blocs caiguts i posar especial esment en alguns blocs inestables situats al sostre de la galeria. Alguns trams de la galeria Miquel Àngel Barceló es veuen afectats per enderroc que generen zones àeries, especialment als darrers centenars de metres. La



Figura 16.15: Sala Esfondrada, en direcció a les galeries Fondes. S'aprecia l'acumulació de blocs que va arribar a tancar el pas dels gladiadors (Foto A. Cirer).

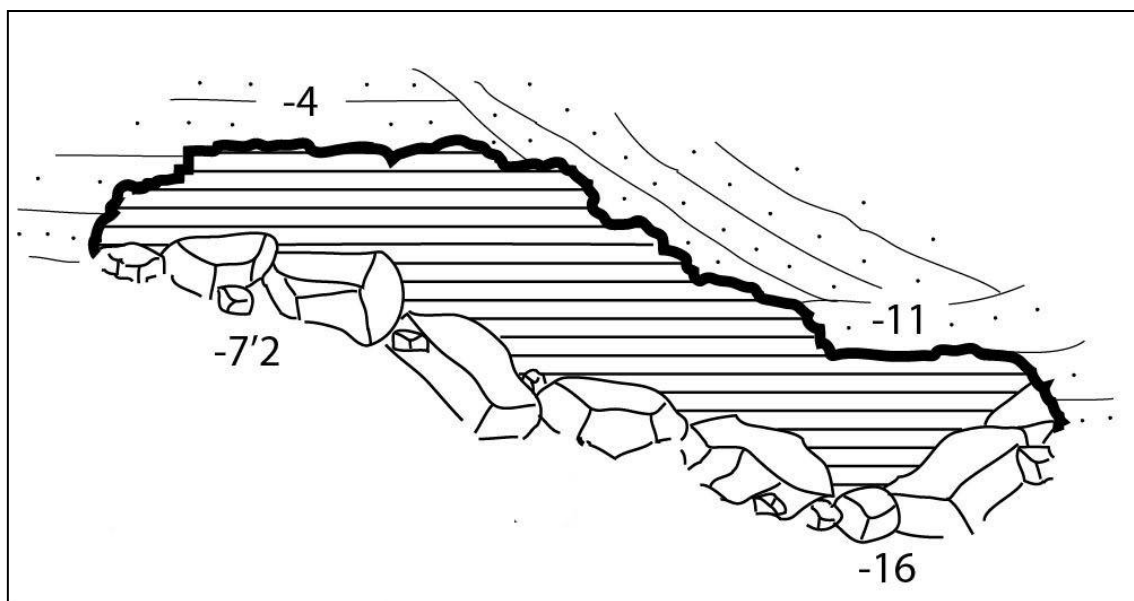


Figura 16.16: Sala de la Bombolla a es Dolç. S'aprecia l'acumulació de blocs que forma el pis de la sala.

galeria subaquàtica paral·lela i a l'oest de la Miquel Àngel Barceló, també conflueix amb la sala de Toros i abans surt a una cambra aèria, molt decorada que recobreix blocs caiguts. La galeria Grup Nord de Mallorca, acaba litològicament dins les fàcies de lagoon intern, on es veu l'enderroc dels estrats més tous del sostre, que ha seguit els plans d'estratificació. La sala de sa Fadrina Vella, juntament amb la sala Jaume Damians, ambdues parcialment aèries, constitueixen les principals zones generades per aquest procés. La galeria Endavant les Atxes, que comunica les dues sales abans esmentades, presenta també alguns grans blocs caiguts. A la part més meridional de la galeria Collonuda Sud es troba un esfondrament important que a més de tancar surt a una minúscula cambra d'aire que, amb un rost de pendent acusada, remunta el nivell freàtic més de 10 m. Algunes de les galeries de l'Extremunció acaben també en diversos esfondraments.

A es Dolç, la presència de grans blocs i lloses caigudes pels processos de reajustament per assolir l'equilibri mecànic de sostres i parets, constitueix una de les característiques més definitòries i ha contribuït a originar còdiques sales d'esfondrament encara que de dimensions més aviat modestes si les comparem amb les altres cavitats clàssiques del Migjorn de Mallorca (GINÉS & GINÉS, 2007; GRÀCIA *et al.*, 2011b, GRÀCIA *et al.*, 2014). Les eolianites i materials vermells llimosos quaternaris per on es desenvolupa la cavitat encara afavoreixen més aquests processos,

degut a la menor resistència de la roca en comparació amb els materials miocènics de les plataformes tabulars del Migjorn i Llevant. Les pròpies entrades al sistema càrstic no són més que esfondraments parcialment reomplerts d'arenes actuals. La connexió del nivell d'eolianites, on es desenvolupa la major part de la cavitat, amb les galeries hipogèniques ascendents es fa també per rosts de materials caiguts en major o menor pendent. La galeria de les Lloses, com bé descriu el seu nom, està molt afectada per importants caigudes de lloses, a l'igual que la galeria Nord després del pou Mascarat, que ascendeix a través d'un gran esfondrament. La sala Blanca, la sala dels Blocs, la



Figura 16.17: Sala dels Blocs a es Dolç. Els processos d'esfondrament dins materials del Pliocè i Pleistocè són molt similars als de Miocè superior (Foto A. Cirer).

mateixa galeria de les Lloses, amb pujades i baixades en funció de la intensitat dels esfondraments. La sala de l'Estalagmita i la sala de la Bombolla no són més que la continuació dels mateixos processos de cap a l'interior de la formació endocàrstica.

A les extensions subaquàtiques de les coves del Drac, les sales d'esfondrament totalitzen uns 47.800 m² i es troben repartides en 11 unitat d'esfondrament principals. Interessen a totes les parts aèries de la cavitat i a algunes de les subaquàtiques. Destaquen la unitat 4 formada per la cova Lluís Salvador i la cova Negra de 12.000 m², a partir de la qual deriva l'entrada natural a la cavitat. N'hi ha de molts clares i més

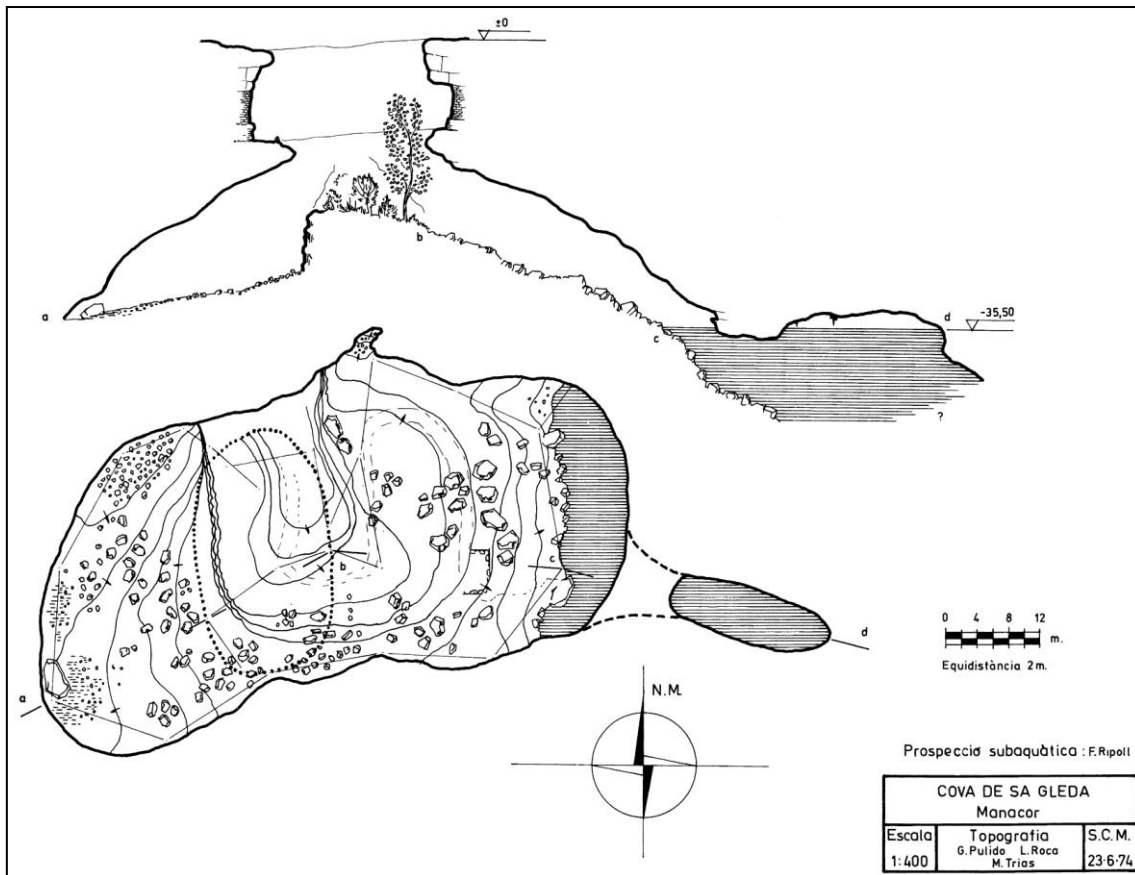


Figura 16.18: Les sales d'esfondrament en connectar amb l'exterior es converteixen en dolines d'esfondrament. Entrada a la cova de sa Gleda. FORNÓS *et al.* (1989).

fàcils d'individualitzar com són les que es troben a la galeria de l'Arxiduc i a la galeria dels Cocos i la que forma la sala de la Bella Mort (inèdit) (Fig. 16.19).

Els esfondraments aïllen les cavitats conegudes d'altres àmbits ara per ara inaccessibles a l'home. La superació dels blocs caiguts per tenir accés a altres zones inexplorades de les cavitats és una constant exploratòria dins l'espeleologia subaquàtica al Llevant i Migjorn de Mallorca. Importants novetats s'han descobert forçant esfondraments que impediien el pas (GRÀCIA *et al.*, 1998a; 1998b; 2000; 2003a; 2006a; GRÀCIA & CLAMOR, 2001; MULET, 2014). La comunicació entre les coves del Pirata i la cova des Pont es va aconseguir superant angosts passos entre blocs que permeteren passar del llac de la sala del Tanga a la sala Ignorada (CLARKE, 1991-92). L'entrada terrestre a la cova des Coll es fa per una dolina els d'esfondrament que per molt poc no tanca el pas als sifons (GRÀCIA *et al.*, 1997).

A la cova d'en Bassol, la sala de sa Nau per molt poc no impedeix accedir als 3



Figura 16.19: Unitat d'esfondrament a la galeria dels Cocos, de les coves des Drac (Foto A. Cirer).

sifons que fragmenta, ja que els blocs gairebé obstrueixen el pas a les zones sotaiguades (GRÀCIA *et al.*, 1998a). L'accés a la sala del Cavaller, a la cova des Drac de Cala Santanyí es va aconseguir forçant un laminador dins l'esfondrament que barrava el pas (GRÀCIA *et al.*, 1998b). A la cova dels Xuetes, es va haver de superar un rost de blocs per comunicar les coves A i C de Cala Varques amb la sala dels Lladres i d'aquesta amb la cova D. A la cova de Cala Varques B, per accedir a la cambra de l'Esfínter, s'ha de superar un laminador tombat entre blocs (GRÀCIA *et al.*, 2000). La cova de sa Gleda, abans del descobriment del sector Cinc-Cents, ja es tenia la premonició espeleològica que més enllà de l'actual pas d'en Judes, al gran esfondrament de blocs que es veia al circuit dels Pirates, hi havia la continuació de la cova (GRÀCIA & CLAMOR, 2001). La cova Genovesa va permetre conèixer les sales ocultes sota les aigües després de forçar blocs que tancaven la sala GNM, més endavant, el pas dels Blocs per molt poc no tanca la sala Esfondrada, i al final d'aquesta la desobstrucció de lloses i pedres del pas dels Gladiadors a -19 m permeté accedir a les galeries Fondes (GRÀCIA *et al.*, 2003a). La troballa de la galeria Decorada, al sistema Pirata-Pont-Piqueta es va fer superant el rost que per poc no bloqueja el pas (GRÀCIA *et al.*, 2006a). Vencent els obstacles en

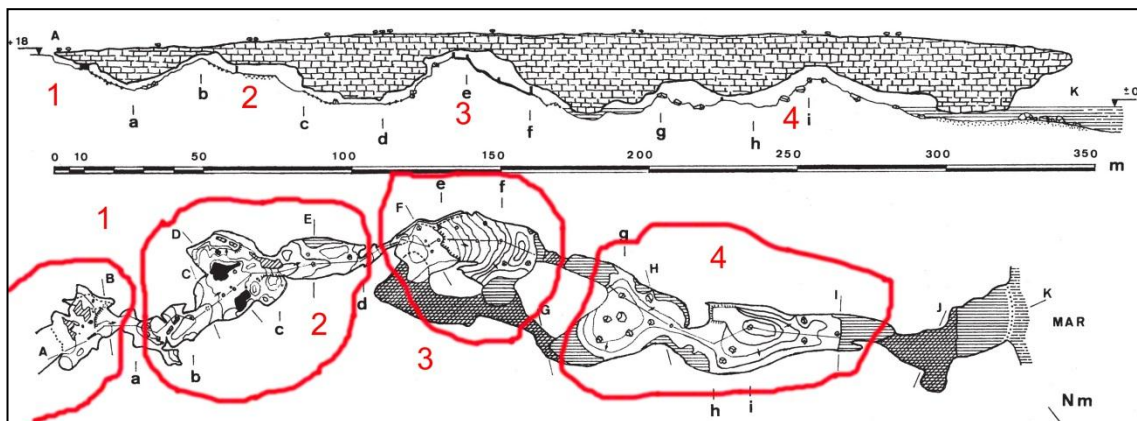


Figura 16.20: Principals unitats d'esfondrament que formen el sector Antic i el sector 1989 de la cova dels Ases. El sector 2014 ha estat descobert després de vorejar la primera unitat que forma la sala d'entrada i superar els blocs que impedièen anar més enllà.

forma de blocs inestables d'un petit llac a l'avenc des Camp des Pou, va fer possible accedir a les galeries de dissolució que continuaven fins a les guies de sa Gleda i connectar el sistema (GRÀCIA *et al.*, 2010a). A es Dolç, assolir el pou Net, la galeria Nord, la galeria de les Lloses, la sala Blanca i la galeria dels Despreniments es fa després d'aconseguir sobrepassar blocs i roques que obstaculitzaven la progressió (GRÀCIA *et al.*, 2014). A la cova dels Ases, la superació recent de l'esfondrament que

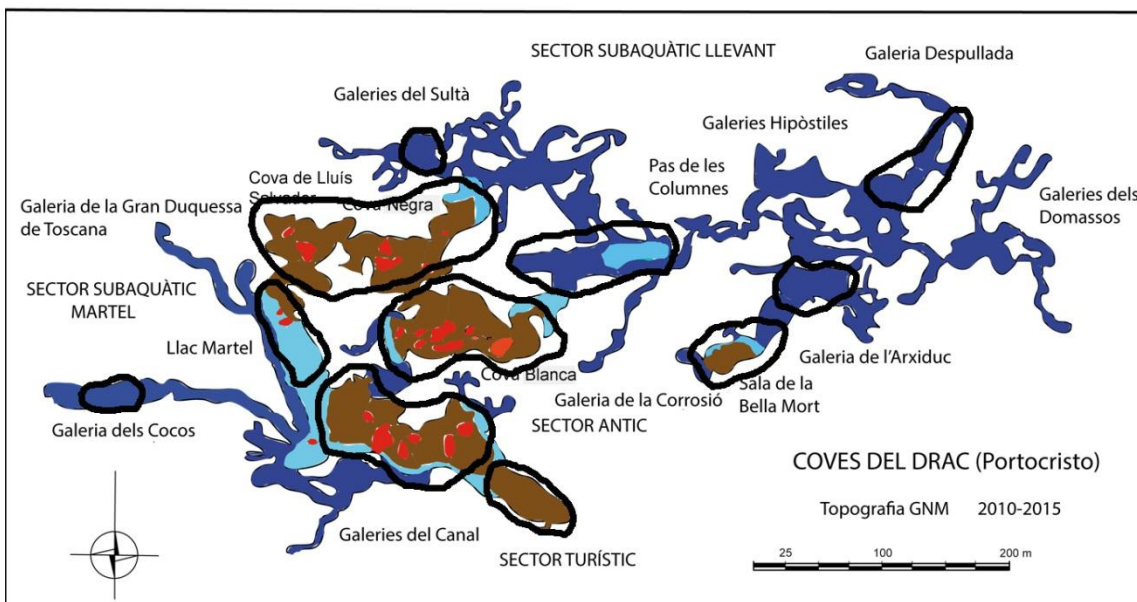


Figura 16.21: Les coves del Drac constitueix un exemple ben conegut d'importants sales d'esfondrament que conformen la zona terrestre i accessible. Per accedir a les galeries freàtiques poc afectades per aquests processos és necessari emprar equipaments i tècniques d'espeleologia subaquàtica.

ha generat l'entrada més interior, ha permès conèixer importants continuacions que modifiquen considerablement la importància d'aquesta formació endocàrstica (MULET, 2014). A les coves del Drac (Manacor), els esfondrament impedeixen l'accés directe del mar a la cavitat, separant el Dolç de Cala Murta de la resta de la cavitat. Així mateix barren el pas de cap a s'Enterrossall, topònim litoral dins Portocristo que no és més que un esfondrament càrstic i que forma part de la unitat d'esfondrament 1 de les coves del Drac (unitat d'Entrada), que és a on es va efectuar l'obertura de l'entrada artificial a la cavitat (Fig. 16.21).

Capítol 17. RELACIÓ GENÈTICA ENTRE COVES, CALES I ALTRES ENTRANTS

17.1. Introducció

El primer que s'ha de puntualitzar és que, com diu ROSSELLÓ (1995), si volem passar del camp toponomàstic -o popular- al científic, convé remarcar que no totes les cales són cales i no totes les que ho són s'ho diuen. Cales geomòrficament indiscutibles com Portopetres, Mondragó, sa Barca Trencada, es Domingos o s'Estany d'en Mas, es Portitxol, eludeixen el genèric que tal vegada és sobreentès. Per contra, es caló des Soldat, sa cala de ses Faves o cala Falcó amb prou feines poden acomodar-se a les definicions més corrents. Tanmateix s'ha de fer constar que a petita escala, hi ha multitud d'entrants menors al litoral mallorquí, molts d'ells amb una gènesi similar.

Alguns autors com GRÀCIA & VICENS (1998) i GRÀCIA *et al.* (2001b) ja



Figura 17.1: Les cales del Llevant de Mallorca estan associades a nombroses captures càrstico-marines que formen part intrínseca del paisatge litoral (Foto: M. Luque).

comenten que, per esfondrament i erosió marina, el sostre d'una caverna pot arribar a formar una entrada estreta i allargada, tipus caló o una penetració terra endins, moderada i àmplia, en funció de les dimensions de l'antiga cavitat. Aquest comentari teòric s'ha anat complementant amb casos coneguts, alguns d'ells encara no publicats, a on es pot contrastar la possible relació entre les cavitats litorals i la formació d'entrades de la mar de diferents mides (GRÀCIA *et al.*, 2011a). ROSSELLÓ (1964) i ROSSELLÓ *et al.* (2002) descriuen la complexitat a nivell de mesoescala de la línia de costa oriental de Mallorca, així com la meridional de Menorca. Ja afirmen que aquests materials calcarenítics del Miocè superior presenten gran quantitat de fenòmens i morfologies càrstiques (Fig. 17.1). Les cales estan associades a la desembocadura de torrents, però la morfologia de les cales poden haver estat afavorides per la coalescència d'esfondraments endocàrstics, controlats per la facturació i el drenatge de les aigües subterrànies (Figs. 17.2, 17.3). La importància d'aquests darrers factors sembla que són determinants en la formació i evolució de moltes cavitats litorals.

17.2. Les captures càrstico-marines

Les cavitats generades pels processos erosius de la dinàmica litoral, és a dir, les coves d'abrasió marina, són molt abundants per tot arreu de la costa, encara que generalment tenen dimensions més aviat modestes. Emperò, les formacions endocàrstiques de la franja litoral més importants pertanyen a la tipologia de coves de la zona de mescla costanera. A més de les coves d'abrasió marina i per tant no càrstiques, abunda al litoral una tipologia de cavitats que és el resultat de la captura de les coves de la zona de mescla costanera, és a dir, d'origen càrstic, pel retrocés dels penya-segats causat per l'erosió marina. S'anomenen captures càrstico-marines (MONTORIOL-POUS, 1971) i estan fortament influenciades, encara que sigui només a les zones més properes a la mar, per la dinàmica litoral (Fig. 17.4). La seva existència suposa una via d'accés a les cavitats, a més a més de les entrades formades per esfondraments dels sostres, formant dolines d'esfondrament i de la connexió mitjançant pous o altres tipus de perforacions artificials, ja que d'altra manera serien impenetrables per a l'home.

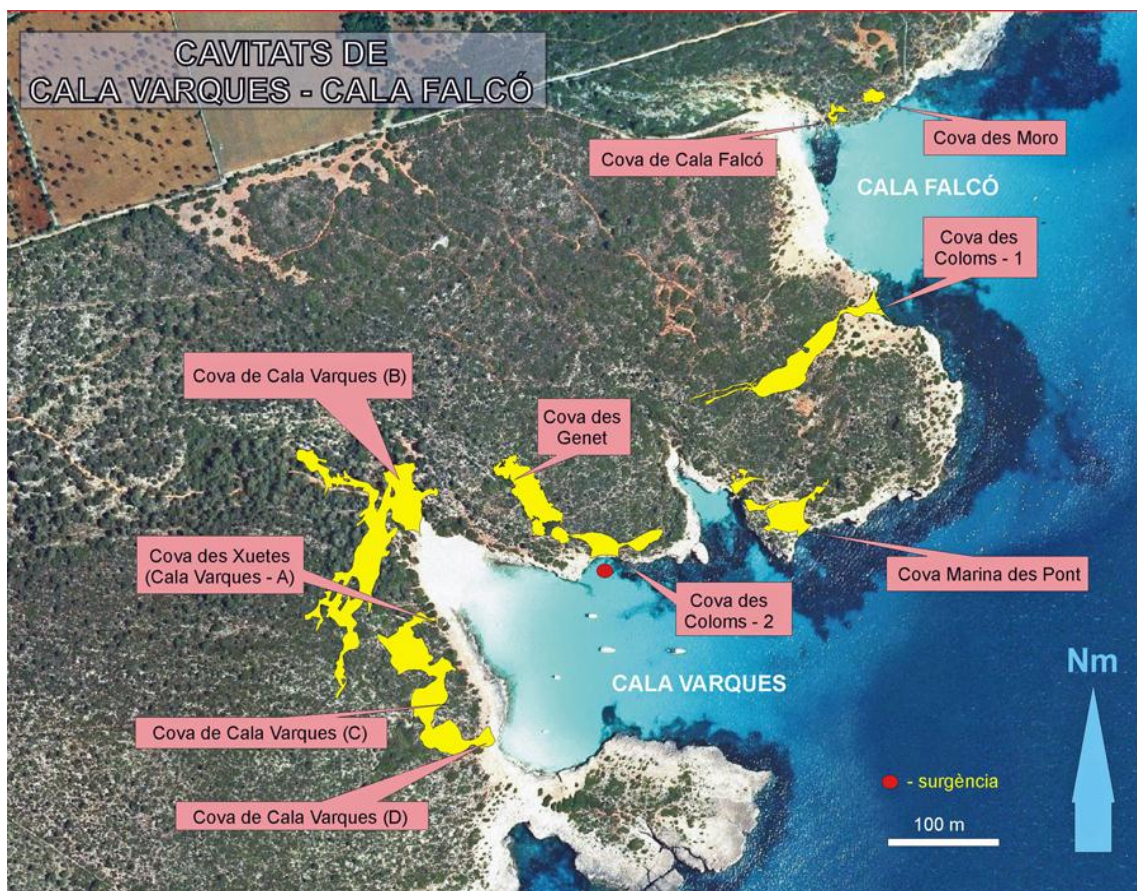
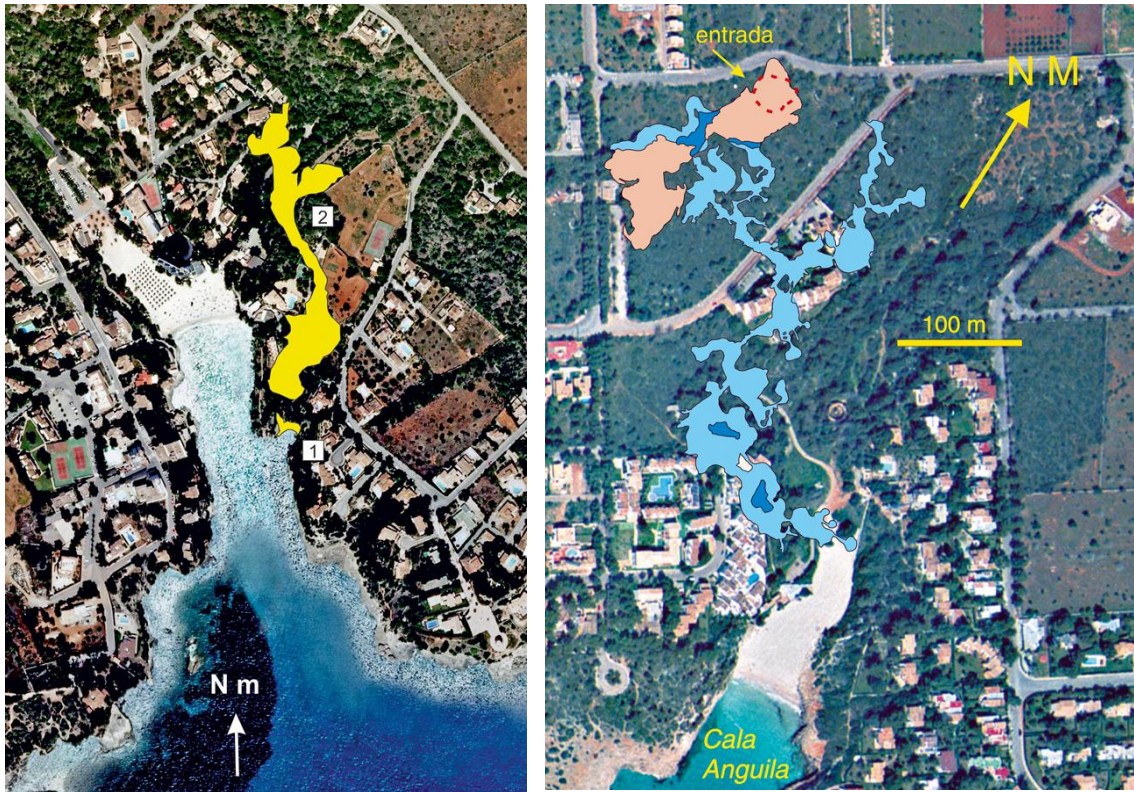


Figura 17.2: Entre cala Falcó i cala Varques és notòria la gran quantitat de cavitats litorals descobertes i estudiades, moltes d'elles són captures càrstico-marines.



Figures 17.3 Esquerra: La cova des Drac de Cala Santanyí (2) i la cova des Riu (1), dolç que constitueix la comunicació de la cavitat amb la mar. S'aprecia com aquesta forma endocàrstica va reculant i modifica les característiques geogràfiques de la cala. Els entrants que es troben al costat oest són producte del desmantellament de cavitats submarines que foraden els penya-segats.

Figura 17.3 Dreta: La cova Genovesa a cala Anguila (Manacor). La relació genètica i hidrològica entre cales i cavitats litorals és molt gran.

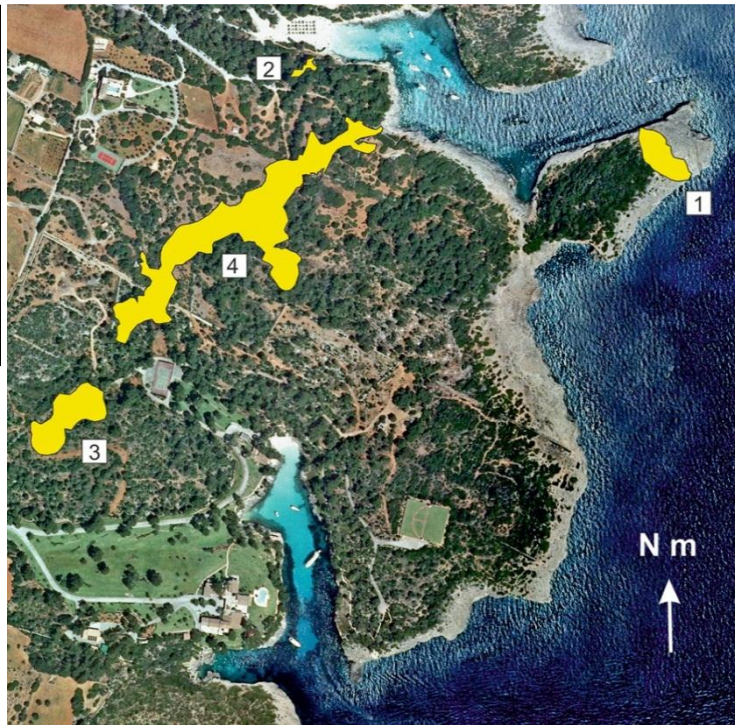
La connexió amb la mar duu associades la incorporació de morfologies d'erosió marina a les zones properes a les entrades i especialment de depòsits sedimentaris d'origen marí, que sovint tanquen l'accés a l'interior de la cavitat. La presència d'espeleotemes freàtics en llocs concrets de les cavitats, que no se podrien formar actualment en ambients geoquímics de connexió directa amb la mar, confirmen alguns casos de captures càrstico-marines i endemés proporcionen un límit temporal pe a la pròpia captura (GINÉS, 2000). Exemples d'aquestes cavitats són abundants al llevant insular: la cova des Coloms de Cala Falcó i la cova des Coloms de Cala Varques (TRIAS & MIR, 1977; TRIAS, 1992; GRÀCIA *et al.*, 2010b), ambdues cavitats posseeixen una gran entrada marina producte de l'erosió litoral que encara els hi afecta; la cova de Cala Falcó, connectada amb l'exterior per l'abració marina d'un antic nivell situat a +2 m respecte a l'actual nivell marí (TRIAS i MIR, 1977; GINÉS, 2000); la cova des Dimoni (GINÉS, 2000) i la cova dels Ases (GRÀCIA *et al.*, 1997); totes elles amb entrades



Figura 17.4: Cova del Pilar, a la marina de Manacor. El progressiu desmantellament de la cavitat genera una entrada de la mar terra endins (Foto: M. A. Perelló. GNM).

terrestres superiors i accessos submarins. La cova des Drac de Cala Santanyí (GRÀCIA *et al.*, 1998b), la cova de Cala Varques ACD o Cova des Xuetes i la cova de Cala Varques B (GRÀCIA *et al.*, 2000, així com la bassa des Dolç al litoral de la Colònia de Sant Jordi, al SW de Mallorca (GRÀCIA *et al.*, 2014) també son exemples de captures per la dinàmica erosiva litoral i l'evolució de les cavitats pels esfondraments de sostres i parets (Figs. 17.5, 17.6). Al nord-est de Mallorca també es troben alguns exemples, com són la cova des Bastons i la cova de ses Llàgrimes (GRÀCIA *et al.*, 2003c), en el litoral d'Alcúdia. Aquests processos tenen un elevat interès espeleocronològic, ja que poden permetre individualitzar i datar etapes evolutives de les coves (i dels sediments associats en aquestes etapes), a partir de criteris temporals d'antioritat o posterioritat en relació amb el moment concret en què es produeix el fet de la captura marina (GINÉS, 2000). En aquest tipus de cavitats litorals abunden els dipòsits sedimentaris, sovint força complexos, en els quals s'intercalen seqüències d'espeleotemes amb bretxes ossíferes de vertebrats terrestres i materials detrítics marins, constituint registres de gran interès espeleocronològic. Aquests dipòsits estan del tot condicionats per les variacions del nivell marí durant el Quaternari, degudes a causes glacio-eustàtiques. El retrocés de les captures càrstico-marines per l'erosió de la mar és una de les causes de formació de les cales i entrants del litoral.

Figura 17.5: Cala sa Nau i cala Mitjana (Felanitx, Mallorca). 1. Cova Submarina de Cala sa Nau. 2. Cova de ses Barraques. 3. Cova de Cala Mitjana. 4. Cova d'en Bassol. Constitueixen altres possibles casos de relació genètica entre cales i coves.



17.3. Exemples d'interaccions entre cales i cavitats litorals

A la marina de Manacor, la cova Genovesa arriba a poc més d'un centenar de metres de la mar, al final de la platja de cala Anguila. Aquesta presenta 140 metres d'amplària de la gola, 250 m de recorregut longitudinal (poligonal principal de l'eix de la cala o tirat) i 95 m d'amplària mitjana (Fig. 17.3). La cavitat, cova de la zona de mescla costanera, presenta un recorregut de 2.415 m i una penetració de poc més de 500 metres terra endins, respecte de la platja.

La cova del Pilar, també al litoral de Manacor, és una cavitat de gran bellesa per la seva gran entrada i per la presència de grans columnes o pilars recobertes per algues blaves, batudes per l'onatge els dies de mal temps, que són visibles des dels vaixells que recorren el litoral (Fig. 17.4). És un bon exemple de captura càrstico-marina amb grans espeleotemes que són arrabassats per l'erosió marina i suposa un cas de formació d'entrant de la mar terra endins a mesura que la cavitat va reculant. A l'actualitat l'entrant de la mar, fóra sostre de la cova, és d'aproximadament 40 metres, emperò la mar hi entra més a l'interior i podria arribar a endinsar-se gairebé 50 metres més. Segons el règim de precipitacions, a la mar es pot notar el dolç que prové del seu interior.

Més al sud es troba cala Falcó, amb 300 metres d'amplària i 175 metres de tirat. Presenta diverses captures càrstico-marines de notable importància com són la cova des

Coloms de Cala Falcó i la cova de Cala Falcó, a més d'altres cavitats associades. La cova de Cala Falcó creiem que pot estar relacionada amb l'important sistema Pirata-Pont-Piqueta, de 3.091 metres de recorregut i que es troba a menys de 200 metres de distància i s'endinsa 700 metres terra endins (Fig. 17. 2). Els esfondraments d'antigues galeries han separat la cova d'aquest sistema endocàrstic. Per altra banda, la captura de la cova des Coloms per la mar ha fet retrocedir de forma visible la línia de costa de penya-segats de cap a l'interior i ha deixat penjat a la vertical marina diverses capes de sediments llimosos quaternaris que es troben adossats a les parets de la gran entrada marina. A més dels bells llacs glacioeustàtics destaca per la presència d'arenas marines al terra d'una gran sala terrestre.

A molt poca distància i seguint de cap al sud, encara dins el terme de Manacor, es localitza Cala Varques. L'amplària de la gola de la cala és de 200 metres, 320 metres de tirat de la cala i 160 metres d'amplària mitjana. Les cavitats litorals que es troben envoltant la cala i en connexió directa o bé a poca distància de la mar són: la cova de Cala Varques B, la cova de Cala Varques ACD o cova des Xuetes, la cova des Genet, la cova des Coloms de Cala Varques o cova des Coloms II, la cova Marina des Pont (Fig. 17.6) i alguna més trobada recentment i encara en fase d'estudi. De totes les anomenades, la cova de Cala Varques B és la de major dimensions, 1068 metres de recorregut i una fondària màxima per sota del nivell de la mar que supera els 30 metres.

La seva situació, al fons de la platja, suggereix el que pot arribar a passar



Figura 17.6: La cova Marina des Pont és un bon exemple de captura càrstico-marina a on es fa evident la interacció entre les processos càrstics i la dinàmica litoral (Foto: M. Luque).



Figura 17.7: La bassa des Dolç, al litoral de la Colònia de Sant Jordi, constitueix un altre exemple de formació d'entrants relacionat amb l'endocarst.

evolutivament a la cavitat i a cala Varques amb el temps per esfondrament del sostre de la cova.

A la marina de Felanitx, la cova Gran, gran cavitat d'abrasió marina, ha retrocedit més de 70 metres respecte a la línia de costa i tot el seu sostre és susceptible d'enfonsar-se i formar un entrant de més de 120 metres terra endins. Cala sa Nau i cala Mitjana es troben situades entre Portocolom i cala Ferrera, encara que més prop d'aquesta darrera, i a devers 5 km del poble de s'Horta. Formen part de la marina de Felanitx, constituïda també per materials calcaris neògens, que en aquesta zona representa una franja de 4 km d'amplària. És una àrea on el litoral es troba molt estructurat formant multitud de cales i puntes. Cala sa Nau presenta una amplària de la gola de 100 metres, amb un tirat de 500 metres i una amplària mitjana de 55 metres. La cavitat més destacable de la zona és la cova d'en Bassol, cavitat de la zona de mescla costanera, amb una direcció general NE-SW i 1.491 metres de recorregut (Fig. 17.5). Es va trobar a la recerca d'aigua, ja que no posseeix cap entrada natural. Adquireix un elevat interès per la gran abundància i bellesa dels espeleotemes i pel volum de les sales.

El desmantellament progressiu de les coves i la penetració de la mar generaria importants modificacions a la cala. A la part SE de la cala, a on es troba un petit entrant marí, sembla que el penya-segat ha retrocedit i la cala ha penetrat terra endins degut



Figura 17.8: Caleta Yal-Ku. Estado de Quintana Roo. Península de Yucatán. México.

a la reculada de la cova d'en Bassol. Actualment la sedimentació marina sembla que ha tancat la comunicació directa de la cavitat amb la mar a escala humana. Hi ha evidències de poliquets i alguns crustacis marins que poden entrar encara dins la cova. Altres cavitats veïnes son la cova submarina de Cala sa Nau i la cova de ses Barraques. La primera es troba en un cap geogràfic i travessa la punta de banda a banda de no esser per processos de sedimentació litoral que tanca una de les entrades.

Una part de la cova d'en Bassol va en direcció sud, de cap a cala Mitjana, de la qual només dista 170 metres. La cala té 230 m de gola i 500 metres de tirat, amb una



Figura 17.9: Caleta Chacalal. Estado de Quintana Roo. Península de Yucatán. México.

amplària mitjana de 75 m. De la cala, a només 180 m es troba la cova de Cala Mitjana, de 340 m de recorregut, la qual es va trobar també gracies a les recerques d'aigua, en fer un pou a l'antiga, de 13 m de fondària. L'aigua més superficial s'empra per regar una amplia extensió de terreny sembrat de gespa, prop de la mar, terreny que entre d'altres coses caracteritza actualment cala Mitjana. La situació respecte de la cova d'en Bassol sembla fer suposar que formarien part d'un mateix sistema i que un esfondrament, que no deixa cap pas penetrable, ha aïllat ambdues cavitats.

A cala Santanyí, localitzada al terme municipal amb el mateix nom, de 360 m de tirat, amb 260 m d'amplària de la bocana i 90 m d'amplària mitjana, la cova des Riu constitueix la surgència a la mar de la cova des Drac de Cala Santanyí, de la qual formaria part. Es localitza al NO, a l'interior d'un entrant de la cala, de 27 m d'amplària i 31 m de llargària, amb els 10 m darrers amb forma de balma i prossegueix de forma subaquàtica fins que l'acumulació d'arenas i de blocs tanquen la connexió amb la cavitat del darrera. Formaria part de la cova des Drac de Cala Santanyí, cavitat de 803 m de recorregut, amb una penetració en relació a la mar de 228 m en relació al fons de la cala (Fig. 17.3). Per mor d'un esfondrament i de la deposició de materials sedimentaris marins es degué tancar la comunicació amb la resta i l'esfondrament extern formà l'entrant marí. Aquest entrant es veu molt bé en fotografia aèria i no és gens menyspreable en l'evolució de la pròpia cala. S'ha de fer constar, a més a més, la gran quantitat de coves submarines que es troben a la bocana sud de la cala, a on formen un complex que consta de túnels amb abundants entrades i morfologies d'abrasió marines associades. Un progressiu desmantellament de la cova des Drac de Cala Santanyí o d'altres coves submarines per esfondrament afavoriria encara més l'entrada de la mar en aquests indrets i afectaria de gran manera l'evolució de la cala.

No només al llevant de Mallorca es veuen relacions genètiques entre cavitats i entrants de la mar. Aguiló a la seva tesi doctoral de toponímia de Santanyí i ses Salines parla de la bassa des Dolç. Aquesta consisteix en una petita entrada terra endins, de més de 40 m de penetració (Fig. 17.7). S'ha format per la reculada de la cavitat, es Dolç, cavitat de més de 4 km de recorregut, i constituïria un altre cas de captura càrstico-marina d'una cova de la zona de mescla litoral, en aquest cas dins materials més recents que no pas els del llevant mallorquí (GRÀCIA *et al.*, 2014).

17.4. La formació de cales en relació a cavitats de Yucatán: las caletas

Les cales, penetracions terra endins de la mar són morfologies típiques de les costes mediterrànies calcàries. Emperò no són exclusives del Mediterrani, ja que a mode d'exemple la sortida a la mar dels cenotes mexicans es presenta en forma de "caletas" com Xel Ha, Yalkú i Casa Cenote, per posar alguns exemples (Figs. 17.8, 17.9, 17.10, 17.11). Sembla que també en aquests casos algunes "caletas" s'han generat en gran mesura per la captura per la mar de cavitats "cenotes", alguns de desenes de quilòmetres de recorregut. El drenatge de les aigües subterrànies a Yucatán és indiscutible, ja que la península és molt més pluviosa que les marines mallorquines del Llevant i Migjorn (uns 1100 l/m² en comparació als 400 l/m² aproximats de les nostres marines), a més a més de tenir molt més superfície de captació per on s'infiltra l'aigua de pluja.



Figura 17.10: Caleta de Xel-Ha. Es tracta d'una captura càrstico-marina molt retocada pels processos litorals i esfondraments càrstics que han permès una penetració de la mar al llarg de centenars de metres.

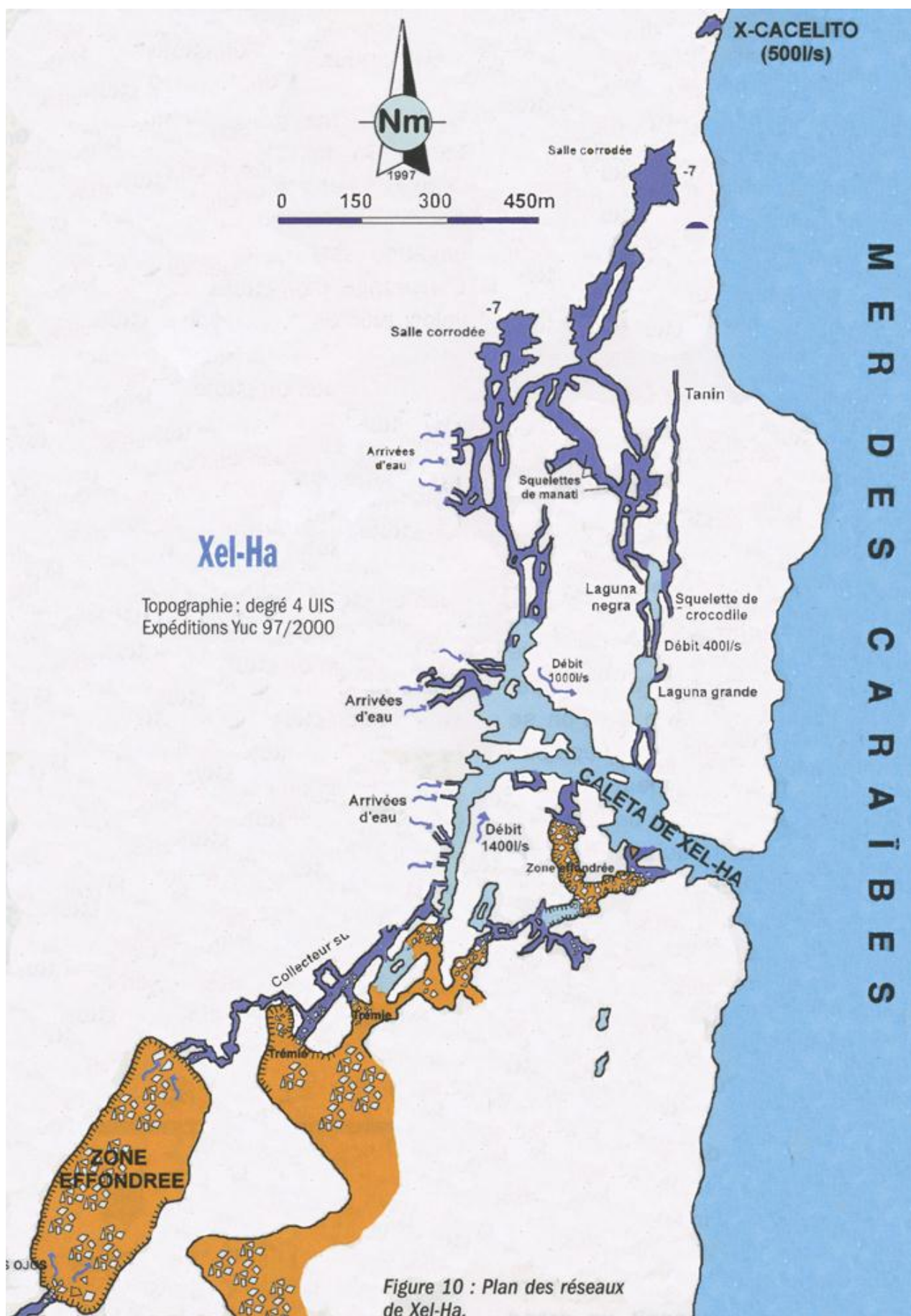


Figura 17.11: Topografia de la caleta de Xel-Ha i la seva relació amb diversos cenotes i surgències. Segons THOMAS (2005).

Capítol 18. LES COVES LITORALS COM A HÀBITATS ANQUIHALINS

18.1. Introducció

Els hàbitats anquihalins no havien estat considerats com a tals fins que RIEDL (1966) els va descriure per primera vegada en la literatura científica amb el nom de "coves marginals". Posteriorment HOLTHUIS (1973), descriu les gambetes particulars d'alguns llacs d'aigua salada de localitats a l'oest de l'Indopacífic. En els anys següents nombrosos autors (ILIFFE, 1991; YAGER, 1994; STOCK, 1994; JUBERTHIE & DECU, 1994; SKET, 1996) van prestar atenció a aquest tipus de biòtops característics, donant-los diferents noms al llarg del temps: "coves marines interiors", "coves que el mar va inundar", "aigües de coves anquihalines", "hàbitats anchihalins", "llacs metahalins anchihalins" i "Grutes de dissolució".

En l'actualitat, aquests hàbitats, d'acord amb la resolució del *International Congress of Marine Cave Biology*, celebrat a Bermuda el 1984, es defineix definitivament com a coves marines interiors inundades i aigües subterrànies que manquen de qualsevol connexió superficial directa amb la mar, amb una àmplia

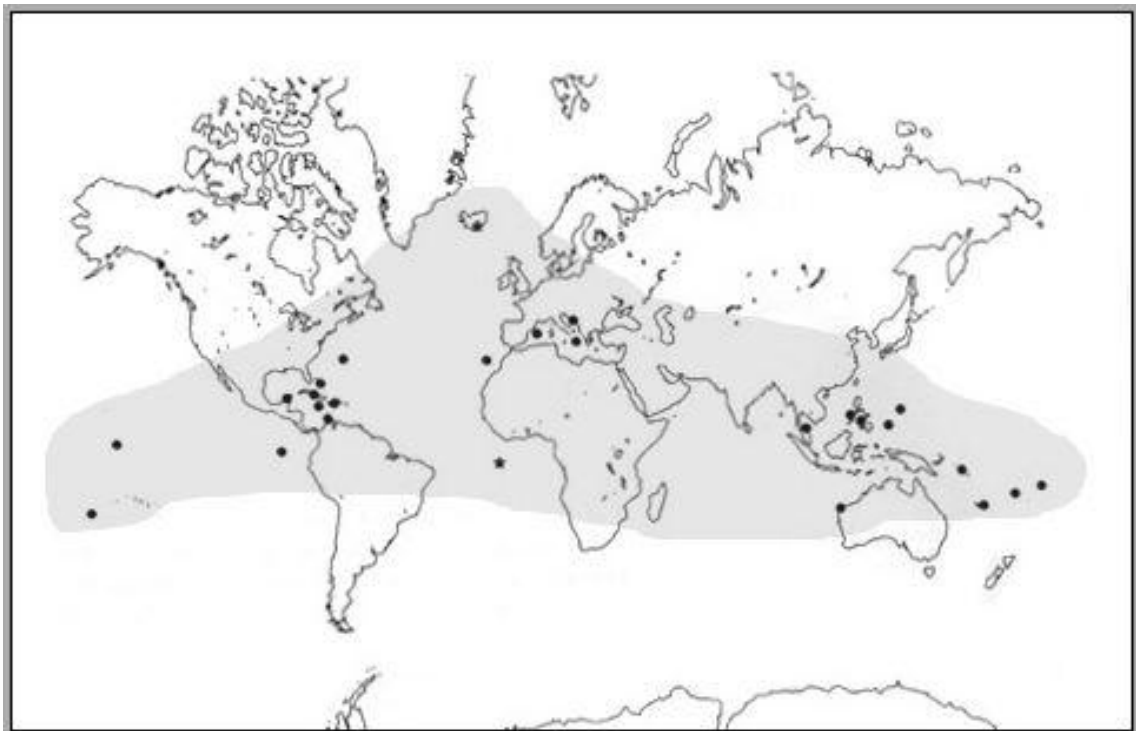


Figura 18.1: Mapa de distribució mundial de les àrees anquihalines (ILIFFE, 2000).

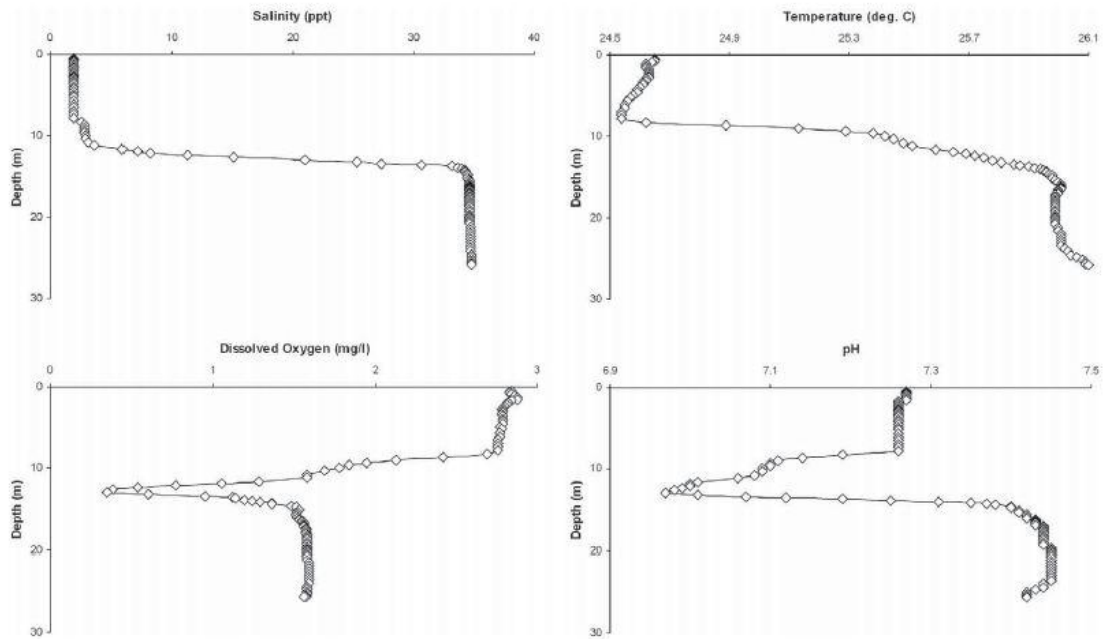


Figura 18.2: Perfils de salinitat, temperatura, oxigen dissolt i pH d'una cova anquihalina, el Cenote 27 Pasos, Akumal, Mèxic. Desembre 2003, presos amb un monitor XLM multiparamètric de qualitat de l'aigua YSI 600. Les mesures s'han pres en intervals de 4 segons entre la superfície i 26 metres de profunditat (ILIFFE & KORNICKER, 2009).

gamma de diferents salinitats, i que mostren les següents característiques subterrànies:

- Zonació de salinitat i de concentració d'O₂.
- Relativa falta d'aliments.
- La Foscor.
- Accessibilitat limitada per a la fauna marina.
- La presència d'organismes estigobionts o animals que només poden viure a les aigües subterrànies.

Els hàbitats anquihalins són coneguts de nombroses localitats del món: Hawaii, Bermuda, Bahames, Galápagos, Mèxic, Canàries, Oceania, Austràlia, Croàcia, Dalmàcia, Grècia, illes Balears i Itàlia (Fig. 18.1,2). A l'Estat Espanyol, els arxipèlags de les Balears i les Canàries, així com una part del litoral de la Península ibèrica, presenten ambients anquihalins. A Balears, es localitzen les cavitats submergides anquihalines de més recorregut conegudes en el continent europeu, com són la cova des Pas de Vallgornera i el sistema Gleda-Camp des Pou. A les Canàries són tubs de lava sotaiguats, com els Jameos del Agua: 1.600 metres de tub volcànic submergit sota l'Atlàntic i 500 metres més parcialment inundats terra endins a l'illa de Lanzarote) i el Llevant ibèric, en els afloraments calcaris de Múrcia, Alacant, Castelló i Gibraltar).

18.2. Organismes sèssils filtradors

En algunes de les cavitats anquihalines és molt interessant la presència de comunitats d'organismes filtradors, en ocasions extremadament abundants (Fig. 18.3) Els grups als quals pertanyen són predominantment esponges, cnidaris i poliquets. Aquests es presenten fixats als sostres, parets, formacions, pedres i en alguns casos dins el sediment del fons, especialment a les galeries dels sectors on els corrents són més intensos. Les cavernes en les quals fins ara s'han detectat la presència significativa d'aquests organismes són: la cova des Coll (GRÀCIA *et al.*, 1997; 2005), la cova des Drac de Cala Santanyí (GRÀCIA *et al.*, 1998b), la cova Genovesa (GRÀCIA *et al.*, 2003b), es Dolç (GRÀCIA *et al.*, 2014) i la cova des Pas de Vallgornera. Les característiques que semblen comuns als tres casos són: 1) proximitat a la mar de les galeries i sales que presenten aquest tipus de fauna, encara que s'endinsen centenars de metres a l'interior. 2) presència de corrents, en ocasions quasi imperceptibles com són la cova Genovesa, la cova des Drac de Cala Santanyí i la cova des Pas de Vallgornera, que produeixen el moviment de les aigües i la possibilitat de fer arribar aliment als organismes sèssils. Hi ha casos de cavitats amb un fort hidrodinamisme, cas de la cova des Coll i es Dolç, a on la velocitat de l'aigua és considerable. 3) Sembla que coincideixen totes elles, amb aportacions d'aigües residuals de les urbanitzacions o depuradores properes. Amb les informacions què disposam actualment, hi ha poca coincidència de les espècies de les diferents cavitats, per la qual cosa parlam d'elles als apartats de fauna de cada cavitat individualment.

Figura 18.3: Els tunicats presenten estat larvari planctònic de poca duració, per després fixar-se i arribar a la forma adulta. La larva mòbil és el complement quasi indispensable pels costums sedentaris, especialment en un ambient tan extrem com aquest. *Ciona* sp. (det. Xavier Turón, foto A. Cire)r.



18.3. La fauna carcinològica dels hàbitats anquihalins de Mallorca

18.3.1. INTRODUCCIÓ

Les Balears posseeixen cavitats amb hàbitats aquàtics dolçaquícules no litorals, com són les coves constituïdes per galeries de drenatge, formes endocàrstiques generades per la dissolució i erosió per part de les aigües d'origen meteòric infiltrades en els massissos càrstics. Les cavitats, actives hidrològicament, es veuen recorregudes per petits rius subterranis, almenys en part del trajecte. Es troben presents a la serra de Tramuntana de Mallorca i a la part central del Migjorn de Menorca. A més a més, s'ha de tenir ben present l'existència de nombrosos gours amb aigua que poden contenir fauna dolçaquícola i que es poden trobar a qualsevol tipus de cavitat de les Balears.

L'altre ambient aquàtic de les coves illenques, molt més ben representat i molt característic de les cavitats de la franja litoral de les Balears, és el medi anquihalí. El terme de cavitat anquihalina, en el sentit en què ha estat redefinit per SKET (1986), és el de *“qualsevol tipus d'aigua dins roques costaneres caracteritzades per una considerable macroporositat i per la influència de la mar”*. Es tracta de les cavitats d'aigua salabrosa o totalment marina, coves costaneres per tant, però sense tenir necessàriament una connexió directa amb la mar oberta (GINÉS, 2002) (Figs. 18.4,8). El terme anquihalí deriva del grec *anchialos*, que significa precisament “proper al mar”. Encara que algunes d'aquestes coves, com és el cas del sistema Gleda-Camp des Pou, s'endinsen quilòmetres terra endins. Les Balears presenten una gran riquesa d'aquests ambients anquihalins i de fauna estigobionta; de fet es localitzen les coves anquihalines més grans conegudes en tot el continent europeu: la cova des Pas de Vallgornera i el sistema Gleda-Camp des Pou, a més a més de moltes altres cavitats litorals que constitueixen també hàbitats anquihalins extraordinaris. Al treball de JAUME & GRÀCIA (2006) se citaven 57 estacions anquihalines a les Balears (61 si es consideren per separat els sistemes formats per diverses coves). Els darrers anys el coneixement d'aquestes cavitats s'ha anat incrementant, així les dimensions de les parts submergides oscil·larien entre els més de 17 km de la cova des Pas de Vallgornera, els 13 km del sistema Gleda-Camp des Pou, fins a coves a les quals amb prou feines trobam llacs de pocs centímetres de fondària. ARNAU *et al.* (2008) incrementen la llista amb dues estacions més: la cova de na Megaré i la cova des Màrmol, a Ciutadella de Menorca. Ramón Martínez descobreix a cala Varques la cova de ses Tortugues,

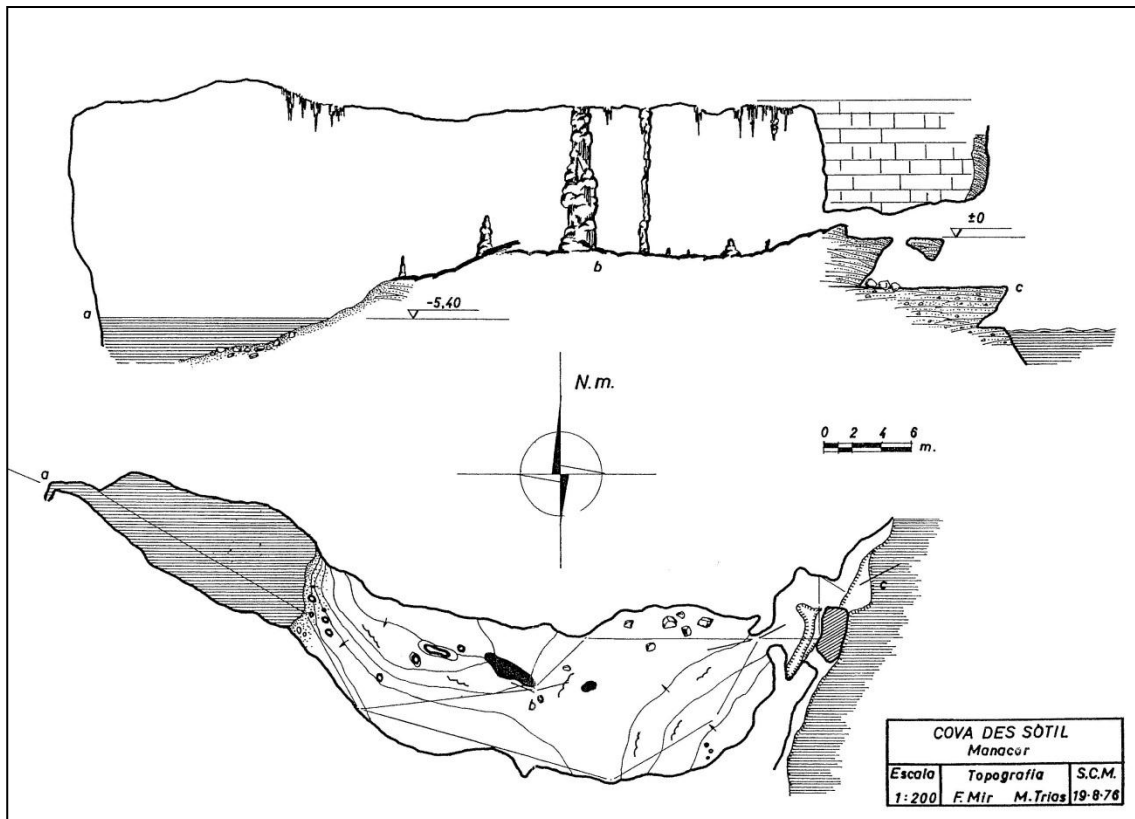


Figura 18.4: Exemple d'una cavitat amb poques continuacions aquàtiques, però que constitueix un hàbitat anquihalí. No totes les cavitats amb hàbitats anquihalins són grans cavitats subaquàtiques. Tanmateix la cavitat es tracta d'un concepte antròpic, ja que els habitants de les aigües subterrànies viuen entre fractures i espais angosts per a l'home.

GRÀCIA *et al.* (2010b) permeten afegir la cova des Coloms de Cala Varques, o cova des Coloms 2 i a la Colònia de Sant Jordi es descobreix i explora es Dolç (GRÀCIA *et al.*, 2014). Per la qual cosa actualment el nombre d'estacions anquihalines seria de 61, ja que s'ha unificat la cova de sa Gleda i l'avenc des Camp des Pou (GRÀCIA *et al.*, 2010a) en una única estació (sistema Gleda-Camp des Pou). Les darreres legislacions, encara en fase de tramitació, consideren aquests hàbitats com a zones humides i atorguen un grau de protecció. En aquest treball s'ofereix un repàs, que no és exhaustiu, dels tàxons exclusivament subterranis descoberts principalment d'ençà de 1987 a les Illes Balears, amb algun breu comentari, si escau, sobre el seu patró de distribució general. També es fa alguna menció d'espècies del medi intersticial. Una part important de la informació faunística prové de JAUME (2010). Aquest capítol vendria a esser una recopilació de l'article abans citat, conjuntament amb JAUME & GRÀCIA (2006) i GRÀCIA & JAUME (2011), endemés d'informacions actualitzades afegides dels darrers descobriments.

18.3.2. HISTÒRIA DE LES RECERQUES

Les contrades calcàries del nostre país, amb una important incidència dels fenòmens càrstics, han estat històricament un centre de primer ordre per al desenvolupament de la zoologia subterrània. Només cal esmentar els estudis pioners del científic romanès Emil Racovitza (1868-1947) a les coves del Drac (Manacor), al començament del segle XX, que van permetre el descobriment de l'isòpode *Typhlocirolana moraguesi* (GINÉS, 1999. Fig. 18.5). Durant molt de temps els llacs de les coves costaneres de les Illes Balears varen romandre sense prospeccionar, fins a la campanya bioespeleològica francesa de 1960 a Menorca que va permetre l'estudi d'alguns crustacis de la cova de s'Aigo. Així, a finals de la dècada dels 60 únicament es coneixien tres espècies de crustacis aquàtics (*Typhlocirolana moraguesi*, *Metacrangonyx longipes* i *Salentinella angelieri*) i només es disposava de dades faunístiques dels llacs salabrosos de quatre coves de Mallorca i Menorca (coves del Drac, coves dels Hams, cova de sa Sínia i cova de s'Aigo de Ciutadella). Les campanyes de la *Mission Biospéologique C. Dragan* els anys 1970 i 1971 varen afegir algunes noves dades carcinològiques, així com el descobriment de *Bogidiella balearica*.



Figura 18.5: Durant el mes de juliol de 1904, el naturalista romanès Emil G. Racovitza, en el decurs d'una expedició oceanogràfica francesa en la qual el vaixell Roland visitava Mallorca, va tenir l'ocasió de dedicar tres dies a l'exploració de les coves del Drac (Manacor, Mallorca). Tothom considera que la troballa d'aquest estigobi constitueix el punt d'inflexió dels interessos científics de Racovitza cap a l'estudi de la fauna cavernícola i l'inici de la bioespeleologia moderna. Estàtua honorífica al científic, en el Passeig Marítim de Palma.

Figura 18.6: Àngel Ginés és un investigador que ha conreat camps com la bioespeleologia, en especial l'ecologia de les coves anquihalines, la geoespeleologia i la geomorfologia càrstica.



L'important desenvolupament de l'espeleologia mallorquina va permetre millorar molt el coneixement biogeogràfic i ecològic d'aquests ambients cavernícoles, tan ben representats a les Balears, tot i ampliant les recerques a trenta cavitats (GINÉS & GINÉS, 1977) i descrivint les característiques físiques i ecològiques dels llacs (GINÉS, 1982, 1983) (Fig. 18.6). Es varen obtenir perfils verticals de salinitat i es va introduir el concepte de llac glacioeustàtic per tal d'explicar l'origen d'aquestes masses d'aigua hipogees des d'un punt de vista geomorfològic. El següent salt qualitatiu en el coneixement de la fauna aquàtica de les coves costaneres de les Illes Balears es pot fixar en els avenços taxonòmics que portaran a terme durant la dècada dels 90 dos zoòlegs illencs: Damià Jaume i Joan Lluís Pretus (Fig. 18.7,10). Aquest renovat interès per la taxonomia dels crustacis aquàtics balears té un destacable precedent en la redescrípció de *Bogidiella balearica* realitzada per STOCK & ILIFFE (1987), dos dels més prestigiosos especialistes en fauna anquihalina. Els darrers anys del segle XX van ésser particularment rics en descobriments, sobretot a partir de dos treballs que inicien una trajectòria que ha permès ampliar molt els coneixements existents (PRETUS & STOCK, 1990 i JAUME, 1993). La descripció de nombroses espècies endèmiques, incloent-hi organismes talassoestigobis (troglobis aquàtics marins), ha experimentat un espectacular creixement –més d'una vintena de noves espècies– des de la descripció de *Psammogammarus burri*, una de les primeres troballes que es varen començar a

Figura 18.7: Damià Jaume, investigador de l'Institut Mediterrani d'Estudis Avançats, IMEDEA (CSIC-UIB). Especialista mundial en l'estudi dels crustacis de les aigües subterrànies. Ha descrit nombroses espècies de crustacis dels ambients anquihalins.



efectuar a les aigües subterrànies del Parc Nacional de l'Arxipèlag de Cabrera (JAUME & GARCIA, 1992; JAUME, 1993) (Fig. 18.23).

L'exploració científica del medi aquàtic subterrani en terres de les Illes Balears ha estat molt important les últimes dècades, cosa que s'ha reflectit en el descobriment de nombroses espècies de crustacis noves per a la ciència, la majoria d'aquests nous tàxons

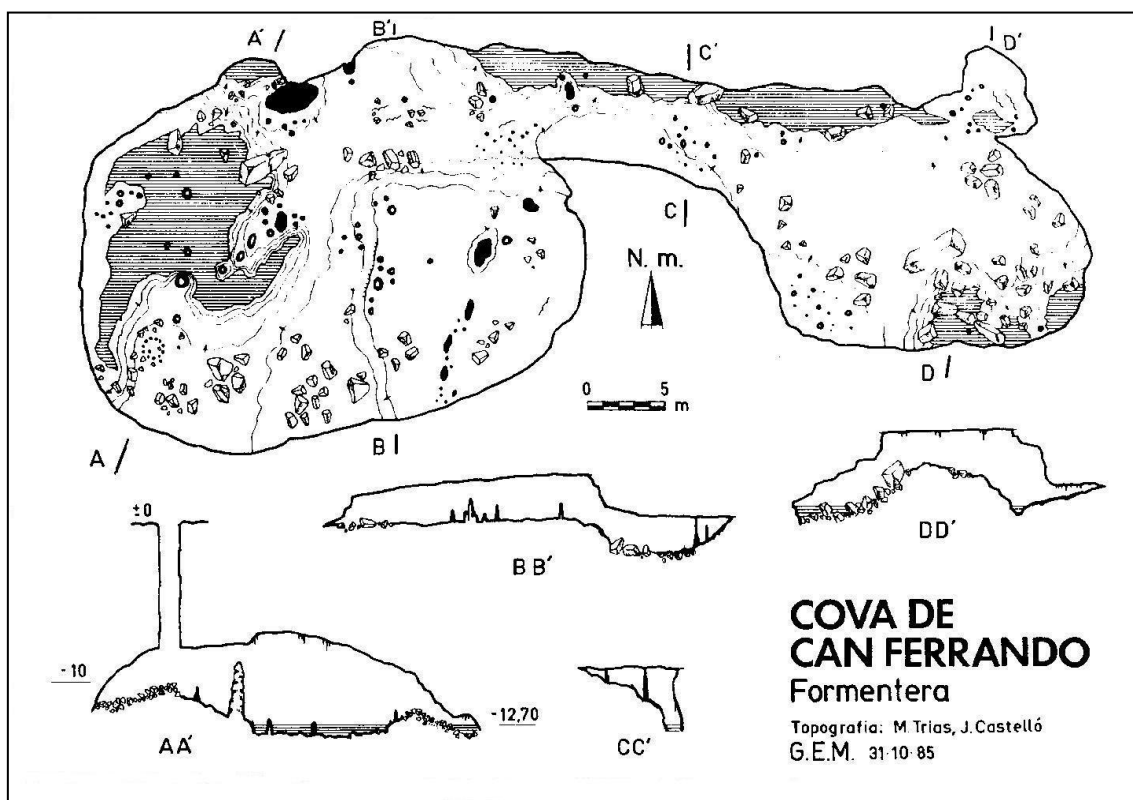


Figura 18.8: Exemple de cavitat amb hàbitat anquihalí de Formentera. A on els llacs no presenten continuacions sota l'aigua.

Figura 18.9: Pesca activa de fauna anquihalina amb xarxes. S'han prospectat llocs que no són assequibles des dels llacs d'entrada a les coves. Fins a fondàries que superen els 30 metres. Foto C. Bodi.



Figura 18.10: Recollida de trampes al fons de les cavitats. S'han prospectat moltes cavitats amb ambients anquihalins al llarg de tota la columna d'aigua. Foto C. Bodi.



Figura 18.11: Recollida de la fauna procedent de les trampes. Foto C. Bodi.



provenen de les caveres anquihalines. La tasca dels espeleòlegs especialitzats en l'exploració de les cavitats submergides ha permès descobrir sistemes subterranis totalment sotaiguats de dimensions inesperades i gegantines. Un aspecte a destacar la darrera dècada, que ha influït de manera notable en el coneixement de les cavitats de la franja litoral, han estat les convocatòries d'ajuts per a projectes de *Conservació de la Biodiversitat de l'Obra Social de "SA NOSTRA"*, dels quals s'han atorgat 8 projectes al Grup Nord de Mallorca d'ençà de 2001 fins al 2010. La secció d'espeleobusseig del GNM, amb la col·laboració de la determinació taxonòmica del Dr. Damià Jaume, ha fet que es prospectàs no només els llacs de les cavitats, sinó també les galeries sotaiguades fins a fondàries superiors als 30 m i a distàncies quilomètriques de les entrades (Figs. 18.9,10,11). Les aportacions han estat, a més a més de la troballes d'alguns nous gèneres i espècies, l'estudi de la distribució de la fauna al llarg de les cavitats i d'explorar, topografiar i documentar aquests hàbitats. També s'han fet els estudis morfològics i sedimentològics de les cavitats, així com la realització de perfils hídrics des de la superfície dels llacs fins als llocs més pregons de les columnes d'aigua. S'han localitzat i explorat més de 50 km de galeries sotaiguades d'ençà de 1994 que han fet canviar l'apreciació que es tenia de les coves litorals de Mallorca i que les situen com a referent a nivell internacional. La prospecció sistemàtica d'aquests ambients ha permès veure la diferent localització d'aquesta fauna en funció de les cavitats i les característiques pròpies de cadascuna. En aquest sentit, a GRÀCIA *et al.* (2003b), GRÀCIA *et al.* (2005) i GRÀCIA *et al.* (2014) s'estudia la distribució de les espècies de crustacis i de fauna sèssil al llarg de les coves i en funció de la profunditat, així com la distribució de la fauna en funció de la distància a la mar. L'efecte d'alteració de la distribució de la fauna carcinològica a causa de la contaminació per abocaments d'aigües residuals es tracta a GRÀCIA *et al.* (2003b). Un recull de les cavitats com a hàbitats anquihalins de les Balears i del llistat de les espècies estigobionts es va publicar a JAUME & GRÀCIA (2006) a on es fa referència també a alguns aspectes destacats de les cavitats i una avaluació de l'estat de conservació. Cal també esmentar que a GRÀCIA *et al.* (2009a) es destaca des del punt de vista faunístic la pobresa de fauna anquihalina de la cova des Pas de Vallgornera, a on únicament s'han pogut localitzar 3 espècies a una cavitat que constitueix un hàbitat anquihalí amb un recorregut subaquàtic superior a la cova de sa Gleda. És notori remarcar que mentre al sistema Gleda-Camp des Pou són 12 les espècies de crustacis estigobionts citats i a la cova des Coll 15, a la

cova des Pas de Vallgornera només s'han citat 3 espècies malgrat emprar la mateixa metodologia de captures faunístiques.

18.3.3. CARACTERÍSTIQUES PRINCIPALS DE LES CAVITATS AMB HÀBITAT ANQUIHALINS

L'estabilitat ambiental, l'obscuritat permanent i l'oligotròfia són característiques d'aquestes coves, la qual cosa ha servit per establir paral·lelismes entre aquests ambients i els corresponents a les grans profunditats marines. Les condicions ambientals són d'una gran influència marina, manifesta per la composició iònica majoritària de l'aigua, amb preponderància del clorur de sodi, i també en les oscil·lacions de la massa d'aigua de les cavitats, d'acord amb les oscil·lacions del mar exterior, tot i que més apaivagades. No obstant això –i per aquest motiu es consideren anquihalines– aquestes coves i les masses d'aigua que contenen, ja que generalment sols reben aigua de mar per infiltració a través de la roca. En el cas de coves amb connexió directa amb la mar, les aportacions d'aigua per infiltració pel sostre de la cavitat o per aports d'aigües freàtiques més o manco dolces, diferencien les coves submarines ordinàries de les coves litorals com a hàbitats anquihalins. Els casos concrets de la cova des Coll i la cova des Drac de Cala Santanyí en serien bons exemples de cavitats anquihalines però amb accés

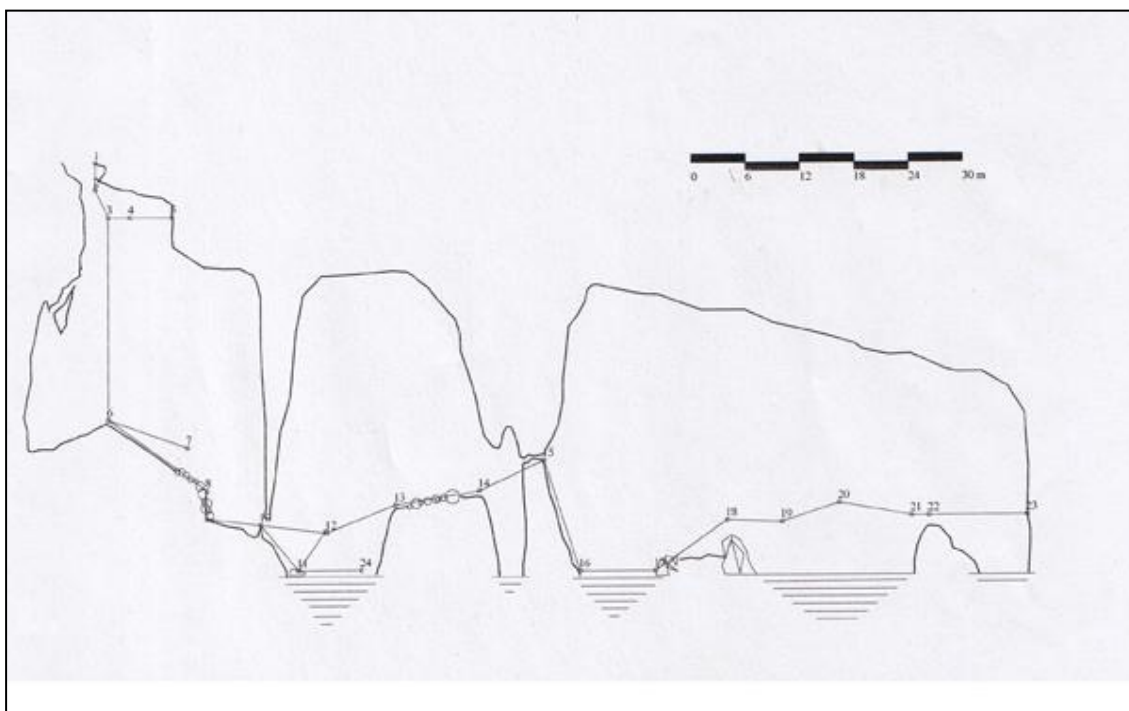


Figura 18.12: La cova de Tagomago és un dels pocs hàbitats anquihalins que es coneixen de les Pitiüses. Cortesia de Antonio Salazar (Grup Espeleològic de les Pitiüses).

més o menys directe a la mar, ben diferenciades de les coves submarines pròpiament dites. A les cavitats s'estableix una columna d'aigua permanentment estratificada, que té fins a 5 capes de diferent salinitat (GRÀCIA *et al.*, 2007a). Aquestes capes, estan disposades en un ordre de menor a major salinitat, a causa de la diferent densitat. Els canvis de salinitat al llarg de la columna d'aigua es produeixen a zones de transició (mescla) denominades haloclines o pycnoclines.

18.3.4. ASPECTES BIOGEOGRÀFICS

Un dels trets més distintius dels tàxons anquihalins, pobladors d'aquests ambients, és llur patró de distribució general, desconcertant a primer cop d'ull: totes les espècies d'un mateix gènere es coneixen en illes separades per conques oceàniques senceres a més de grans masses continentals; a les Balears, Yucatán i Nova Caledònia, per exemple (Fig. 18.1). La distribució de les espècies vicariants termòfiles en coves molt allunyades entre si pren sentit si traslladam la seva distribució actual sobre un mapa de paleolíniees de costa de fa cent milions d'anys, és a dir, sobre les costes de la primigènia mar de Tethys. Aleshores es comprova com totes les localitats on s'han trobat les espècies objecte de l'estudi se situen a les aigües somes de la mar de Tethys, una mar circumtropical avui extinta que s'estenia per l'Equador entre 120 i 20 milions d'anys enrere. Es tracta, per tant, dels exponents d'una fauna relictada, típica d'aigües tropicals i somes. La primera conseqüència que se n'extreu és que aquestes espècies són molt "antigues", i en molts casos els representants més primitius dels seus grups corresponents podríem anomenar-los potser com a vertaders "fòssils vivents", la qual cosa és de gran importància de cara a reconstruir la filogènia de molts d'aquests grups. És el cas dels copèpodes i ordres sencers de crustacis que tenen en aquest tipus d'ambient els seus representants més antics. La hipòtesi més plausible indica que les espècies arrecerades ara als estrats inferiors de les coves anquihalines, on la temperatura és relativament alta i constant, tenien els seus antecedents a les aigües poc profundes d'aquella primitiva mar de Tethys, que s'estenia com un cinturó tropical per tot el planeta. La mar Mediterrània ha mantingut una biota marina tropical fins al Pliocè, i d'aleshores ençà ha patit tot un seguit d'oscil·lacions climàtiques associades als cicles glacials que han portat a l'extinció de la major part d'aquesta biota d'aigües càlides. La fauna marina termòfila present als estrats inferiors de les coves mediterrànies va trobar recer dels episodis freds en aquestes aigües estables i homeotermes. A més, aquestes distribucions disjunctes extremes són comunes a molts grups d'animals anquihalins, fins

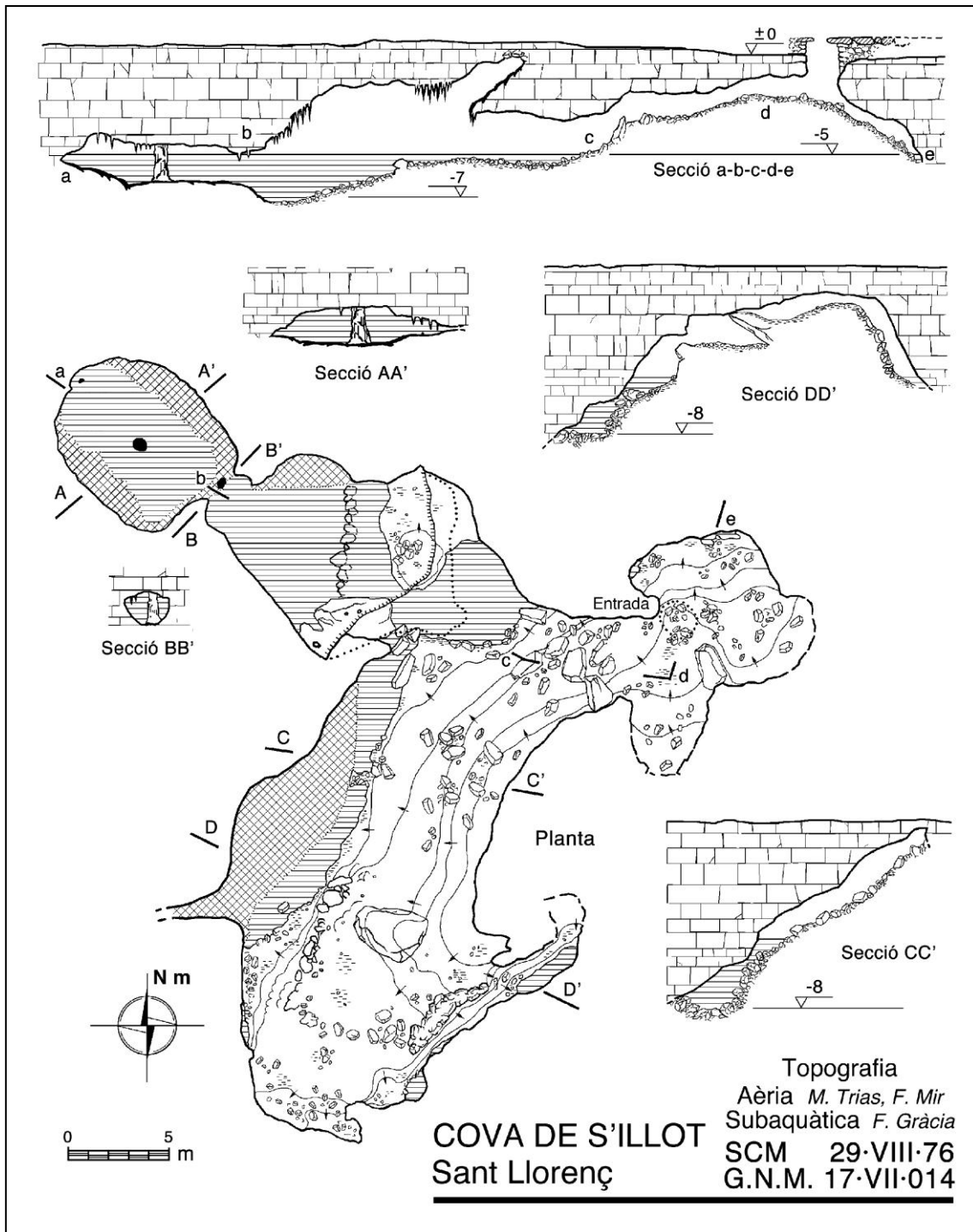


Figura 18.13: Topografia de la cova de s'Illot, un altre cavitat que constitueix un ambient anquihalí al terme de Sant Llorenç.

al punt que la composició faunística de les coves anquihalines d'arreu del món es pot predir amb força facilitat. Per més aïllada i allunyada de la resta que estigui una localitat anquihalina descoberta de nou, la proporció de nous tàxons coincidents amb els d'altres estacions anquihalines serà molt alta. Aquesta observació, juntament amb altres evidències, com el reduït potencial de dispersió a gran distància inherent als animals

cavernícoles, apunta a la vicariança com a element modulador d'aquests patrons de distribució dels organismes. De fet, la inclusió gairebé perfecta d'aquests patrons de distribució dins les àrees cobertes per les mars del final del Mesozoic i el principi del Terciari suggereix que podrien ser el resultat de vicariança a causa de la tectònica de plaques. Molts d'aquests animals estigobis (és a dir, habitants exclusius del medi aquàtic subterrani) poden, doncs, haver derivat de fauna marina que hauria colonitzat el medi subterrani durant aquests períodes tan remots. Les aigües subterrànies, tant les que ocupen el medi intersticial marí com les que es troben situades terra endins, accessibles únicament per coves i pous, o les de llits de rius i planes al·luvials (medi hiporreic) acostumen, per llur relatiu aïllament, a hostatjar un bon nombre d'endemismes. Els animals que hi viuen mostren sovint trets morfològics, fisiològics i de comportament que s'interpreten com adaptacions al medi cavernícola. Entre els artròpodes, les manifestacions més destacables són la regressió de l'aparell visual i de la pigmentació corporal, així com la prolongació extrema dels apèndixs corporals (antenes, cames, etc.). A més, molts pertanyen a llinatges primitius, sovint desconeguts a la superfície, i cal considerar-los com relíquies filogenètiques o biogeogràfiques. Es tracta, doncs, d'una fauna extremadament rellevant des del punt de vista científic, a més del de la conservació.

18.4. Catàleg faunístic

CLASSE MALACOSTRACA

18.4.1. ORDRE DECAPODA

Les dues darreres dècades han estat testimoni de la troballa del primers decàpodes estigobis a les Balears, en un parell de coves del litoral mallorquí. Cal esmentar la

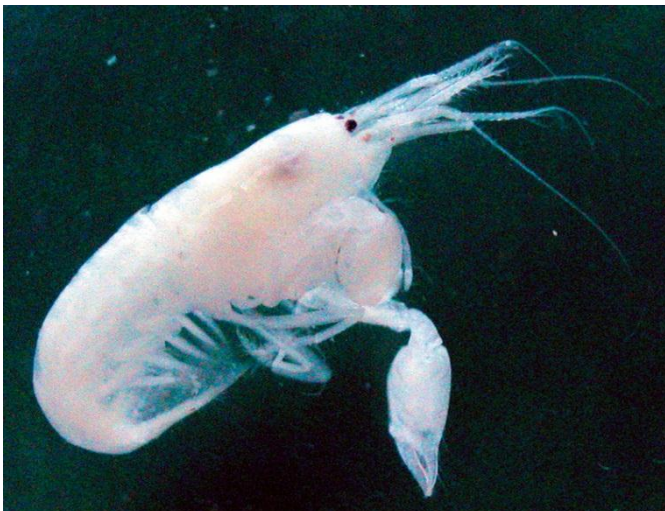


Figura 18.14: *Bermudacaris* sp. Decàpode estigobiont trobat a la cova Genovesa (Manacor) i a la cova des Coll (Felanitx).

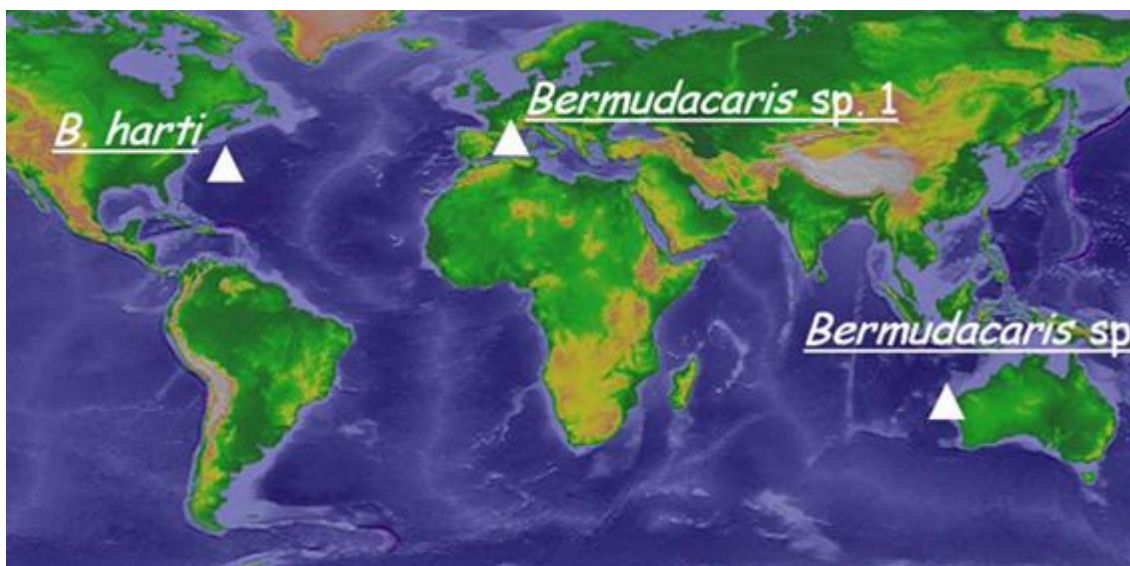


Figura 18.15: Distribució biogeogràfica mundial del gènere *Bermudacaris*.

troballa d'una espècie de la família Stenopodidae, *Odontozona addaia* Pretus, 1990 a les coves submarines de Fornells, a Menorca, si bé aquesta espècie té els ulls desenvolupats normalment i el cos pigmentat, i cal considerar-la més aviat una espècie esciàfila marina (és a dir, 'que defuig de la llum') que estrictament cavernícola. Un altre decàpode, aquest pròpiament estigobi, va ésser trobat a Mallorca, concretament a la cova Genovesa (Manacor) l'any 2002, i l'any 2009 a la cova des Coll (Felanitx). Es tracta d'un nou alfeid (Alpheidae) cavernícola que pertany al gènere *Bermudacaris* Anker & Iliffe, 2000 (l'espècie resta encara per ser formalment descrita), que és integrat per altres tres espècies, endèmiques respectivament de Bermuda, el litoral de l' Austràlia nord-occidental i el Vietnam; l'espècie mallorquina i la de Bermuda són les úniques d'hàbits cavernícoles (Figs. 18.14,15).

18.4.2. ORDRE MYSIDACEA

Dels misidacis, al nostre territori hi ha diverses espècies que de dia són dins a les coves i a la nit surten a alimentar-se a



Figura 18.16: *Burrimysis palmeri*, descobert a la cova des Burrí, cavitat amb llacs anquihalins de Cabre-ra el 1993, i darre-rament a es Dolç, a la Colònia de Sant Jordi. Foto M. A. Vives.

aigües obertes. És el cas de *Hemimysis margalefi* Alcaraz, Riera & Gili, 1986 i *H. lamornae* Couch, 1856, ambdues freqüents a les coves submarines balears. Ni l'una ni l'altra presenten la regressió de l'aparell ocular ni de la pigmentació corporal típiques dels veritables misidacis cavernícoles. Sí que té aquestes característiques, en canvi, *Burrinymysis palmeri* Jaume & García, 1993, descobert a la cova des Burri, cavitat amb llacs anquihalins de Cabrera el 1993, i darrerament a es Dolç, a la Colònia de Sant Jordi (GRÀCIA *et al.*, 2014) (Fig. 18.16). És un dels pocs representants estrictament cavernícoles d'aquest grup a la regió Mediterrània. L'espècie pertany a un gènere monotípic, emparentat llunyanament amb *Deltamysis*, un tàxon també monotípic de l'oceà Pacífic nord-americà. Un altre gènere i espècie nou s'ha trobat a una cavitat marina de Menorca: *Retromysis nura* Wittmann, 2004.



Figura 18.17: *Tethysbaena scabra*, abundant a les zones de picnoclina. Foto M. Vadell.

18.4.3. ORDRE THERMOSBAENACEA

Els termosbenacis, aquest grup enigmàtic i poc nombrós de crustacis cavernícoles es caracteritzen perquè les femelles porten els embrions dins una cambra dorsal constituïda per la closca. Tenen un únic representant al nostre territori:

Tethysbaena scabra (Pretus,

1991), espècie pròpia de coves anquihalines de Mallorca, Menorca, Cabrera i sa Dragonera, és a dir, es tracta d'un endemisme Gimnèsic (Fig. 18.17). A Mallorca, falta a la serra de Tramuntana i a les porcions centrals de l'illa, concentrant-se a les aigües subterrànies de regions costaneres amb clara influència marina. S'ha trobat a la cova Genovesa on es concentra en abundància a la picnoclina d'una sala a on probablement s'alimenta dels flòculs de bacteris en suspensió que enllà es desenvolupen per aportacions d'aigües residuals zenitals (GRÀCIA *et al.*, 2003b). Pot resistir concentracions molt baixes d'oxigen dissolt. A la cova des Coll ha aparegut als sectors més interiors, amb salinitats compreses entre el 8 i el 34 ‰ (GRÀCIA *et al.*, 2005). Al sistema Pirata-Pont-Piqueta es va localitzar també preferentment a les zones de la columna d'aigua properes a la picnoclina (GRÀCIA *et al.*, 2006a). A la cova des Pas de

Vallgornera (GRÀCIA *et al.*, 2009b) s'ha pescat preferentment entre 1,5 i 3 m de fondària, zona habitual de la picnoclina, que correspon a salinitats d'entre 12 mS/cm fins als 35 mS/cm. És una de les úniques tres espècies citades a les aigües anquihalines de la cova des Pas de Vallgornera. També s'ha capturat per nosaltres (inèdit) a la sala Fonda de la cova de Cala Varques B, i al sifó des Somnis de la cova d'en Bassol. És relativament abundant al sistema Gleda-Camp des Pou, a on ha estat localitzat fins als sectors més allunyats de l'entrada, al voltant de la picnoclina. També a es Dolç (GRÀCIA *et al.*, 2014) i a les coves del Drac (Manacor), a on és molt abundant.

Es coneix una altra espècie ibèrica del gènere a la península. Els termosbenacis són molt freqüents a les picnoclines desenvolupades als llacs anquihalins, on neda activament i a on sembla que s'alimenten dels núvols de matèria orgànica, bacteris i protists suspesos en aquestes interfases.

Apart de a la regió Mediterrània, es coneixen vicariants del gènere al Carib, Texas, i també a Somàlia.



Figura 18.18: *Salentinella angelieri* es localitza preferentment a les capes de menor salinitat de les aigües de les cavitats.

18.4.4. ORDRE AMPHIPODA

Salentinella angelieri Rufo & Delamare-Deboutteville, 1952 és l'únic amfípode estigobiont representant a les illes dels Salentinellidae, família estrictament estigobiont i (Fig. 18.18). La

família és enigmàtica des del punt de vista filogenètic i molt poc diversificada (sòls 14 espècies conegudes, en dos gèneres). L'espècie presenta una àmplia distribució per zones litorals de la regió mediterrània, on és l'habitant més comú de les coves anquihalines; és present a totes les illes de l'arxipèlag Balear. Presenta una àmplia distribució per zones litorals de la regió mediterrània (Grècia, Iugoslàvia, Itàlia, Còrsega, Sardenya, Illes Balears, sud de França, Espanya, Marroc i Algèria). A la Península Ibèrica es coneix de les següents províncies: Tarragona, Castelló, Terol, Conca, València, Alacant, Múrcia, Almeria, Màlaga i Sevilla, arribant als 900 m sobre el nivell de la mar (PLATVOET, 1987). L'espècie viu en aigües moderadament salabroses o fins i tot totalment dolces de pous i coves; es coneix també de sediments no consolidats de rius. Relativament freqüent a les capes superiors de la columna d'aigua



Figura 18.19: *Metacrangonyx longipes*, espècie estigobiont, endèmica i eurihalina. Foto F. Gràcia.

a la cova des Pas de Vallgornera. Al sistema Gleda-Camp des Pou es localitza preferentment a les capes de menor salinitat, i també a es Dolç (GRÀCIA *et al.*, 2014) i a les coves del Drac.

Metacrangonyx longipes Chevreux, 1909 és una espècie estigobiont, endèmica de Mallorca i Menorca i de les primeres descrites (Fig. 18.19). Presenta gran interès filogenètic i biogeogràfic. Pertany a una família estrictament estigobiont, els Metacrangonictidae, composta per únicament 16 espècies distribuïdes entre dos gèneres.

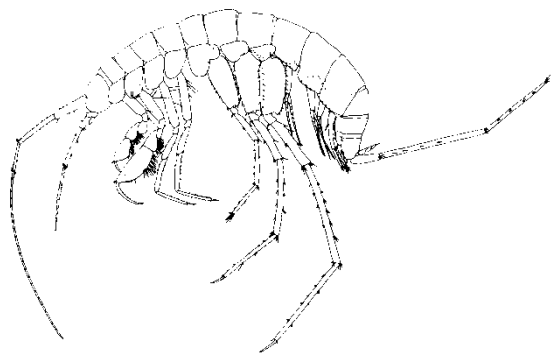


Figura 18.20: *Psammogammarus burri*, especie descrita a les capes més fondes de la cova des Burri a Cabrera, única localitat a on s'ha trobat.

de la cova Genovesa (GRÀCIA *et al.*, 2003b). Ateny a la cova des Coll densitats poblacionals importants localment i estacional, depenent de les zones on flueix aigua de menor salinitat (GRÀCIA *et al.*, 2005). Al sistema Pirata-Pont-Piqueta es va localitzar a les zones superiors, excepte a la franja de més salinitat (GRÀCIA *et al.*, 2006a). A la cova des Pas de Vallgornera s'ha pescat i observat preferentment a les pesques efectuades entre 1,5 i 3 m de fondària, zona habitual de la picnoclina, que correspon a salinitats d'entre 12 mS/cm fins als 35 mS/cm (GRÀCIA *et al.*, 2009b). És una de les tres úniques espècies de fauna anquihalina estigobiont capturada

La distribució general de la família és peri-Mediterrània, però recentment s'han descobert dues espècies de *Metacrangonyx* a coves de la República Dominicana, fent atènyer doncs al gènere una distribució amfi-atlàntica. Això suggereix un origen molt antic del gènere, d'abans de l'obertura de l'esmentat oceà (JAUME i CHRISTENSON, 2001). La majoria de metacrangoníctids viuen a les aigües

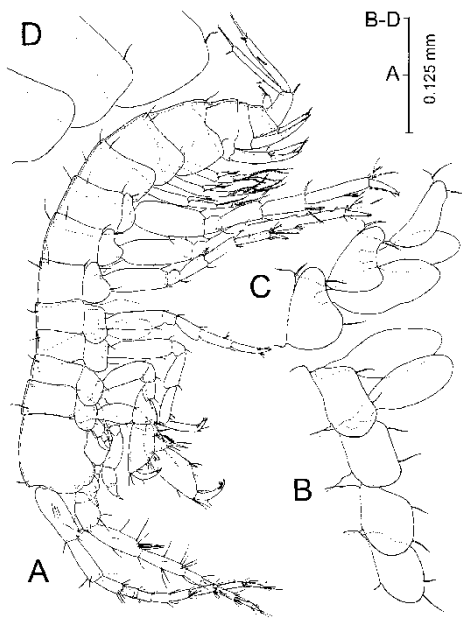


Figura 18.21: *Racovella birramea* Jaume, Gràcia & Boxshall, 2007. Gènere i espècie d'amfípode descrit a partir d'exemplars trobats a la cova des Coll.

dolces, excepte una espècie endèmica de l'illa d'Elba, que ocupa un pou salabrós, mentre que l'espècie pròpia de les Balears ocupa un ampli ventall de salinitats, des de totalment dolces a pràcticament marines.

Psammogammarus burri Jaume & García, 1992 (descriu a les capes més fondes de la cova des Burri a Cabrera, l'única localitat coneguda de l'espècie) pertany a la família dels melítids (Melitidae), típicament marina, i és un dels amfípodes amb característiques més similars a les dels troglobis coneguts, en el sentit que mostra una prolongació extrema dels apèndixs corporals (antenes, cames i uropodis), suposadament com una adaptació a la vida a l'ambient cavernícola (Fig. 18.20). A la mateixa família que

l'anterior pertany *Pseudoniphargus*, del qual s'han descrit sis espècies a les Balears (*P. mercadali* Pretus, 1988, *P. racovitzai* Pretus, 1990, *P. pedrerae* Pretus, 1990, *P. pityusensis* Pretus, 1990, *P. triasi* Jaume, 1991 i *P. daviui* Jaume, 1991). Aquest gènere, estrictament subterrani, és extremament divers i mostra una distribució general que comprèn les ribes de la Mediterrània occidental, la península Ibèrica i tots els arxipèlags de la Macaronèsia –a excepció de les illes del Cap Verd–, a més de l'illa de Bermuda, a l'Atlàntic nord-occidental. Els bogidièl·lids (Bogidiellidae), també exclusivament subterranis, tenen representants a les aigües dolces i intersticials marines de tots els continents, llevat de l'Antàrtida. *Bogidiella balearica* Dancau, 1973 és un amfípode endèmic de Mallorca i Cabrera (DANCAU, 1973; JAUME, 1993). A Mallorca ocupa únicament cavitats anquihalines de la costa de Manacor (coves del Drac, coves dels Hams, sistema Pirata-Pont-Piqueta, sistema Gleda-Camp des Pou, coves de Cala Varques). Ha estat citada especialment sobre la fusta submergida en descomposició. Al sistema Pirata-Pont-Piqueta s'ha trobat a salinitats compreses entre 17 i 26 ‰ (GRÀCIA *et al.*, 2006a). Al sistema Gleda-Camp des Pou es localitza abundantement damunt les restes de branques de figueres i pins caigudes dins el llac.

Un altre bogidièl·lid, aquest d'hàbits hiporreics, és *Bogidiella torrenticola* Pretus & Stock, 1990, del torrent de Pareis, a Mallorca. Un gènere i espècie és *Racovella birramea* Jaume, Gràcia & Boxshall, 2007; fou descrita a partir d'exemplars de la cova des Coll, cavitat aquíhalina del litoral de Felanitx, a Mallorca, i el seu gènere és monotípic (GRÀCIA *et al.*, 2005). S'ha localitzat a les zones de la columna d'aigua amb més salinitat i fins ara no s'ha trobat a cap altra cavitat (Fig. 18.21). Encara que no és una espècie trobada dins cavitats, cal esmentar un melítid (Melitidae) marí propi del medi intersticial, amb regressió ocular parcial: *Nuuanu beatricis* Jaume & Box, 2007 que viu en fons arenosos del sud-oest mallorquí.

18.4.5. ORDRE ISOPODA

Pel que fa als isòpodes, a les darreres dècades ha aparegut nova informació sobre cirolànids (Cirolanidae), una família típicament marina, de costums majoritàriament

necròfags i amb una munió d'espècies cavernícoles a la major part de les regions subtropicals del món. *Metacirolana ponsi* Jaume & García, 1992 és l'únic representant mediterrani del seu gènere, amb espècies cavernícoles a Yucatán. L'única localitat coneguda de l'espècie és la cova des Burri, a Cabrera (Fig. 18.22).

La distribució general del gènere *Typhlocirolana* inclou la franja llevantina ibèrica, les Balears, Sicília i també el Marroc i Algèria. *T. moraguesi* Racovitza, 1905 estigobiont endèmic balear, citat únicament a Mallorca, Menorca, Cabrera i sa Dragonera (GINÉS i GINÉS, 1977; PRETUS, 1981; JAUME, 1993). Va ésser descrit a principis del segle passat a partir de material capturat a les coves del Drac de Portocristo (RACOVITZA, 1905) i es troba a totes les cavitats aquíhalines de les Gimnèsies (Fig. 18.24). És una espècie eurihalina i es localitza a les galeries de drenatge d'aigua dolça de la serra de Tramuntana,

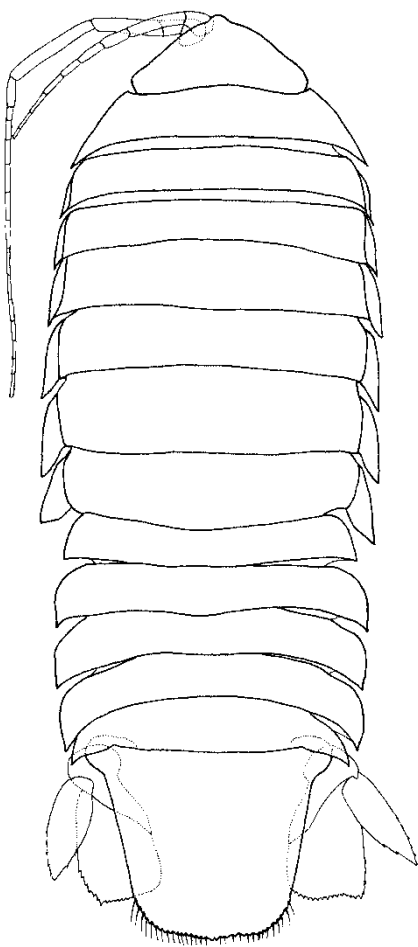


Figura 18.22: *Metacirolana ponsi*, conegut únicament de la cova des Burri, a Cabrera.

Classe MAXILLOPODA Dahl, 1956 Subclasse COPEPODA H. Milne Edwards, 1830	Classe MALACOSTRACA Latreille, 1806
Ordre CALANOIDA G.O. Sars, 1903	Ordre AMPHIPODA Latreille, 1816
Família Arietellidae G.O. Sars, 1902 Gènere <i>Metacalanus</i> Cleve, 1901 <i>Metacalanus</i> sp. Gènere <i>Paramisophria</i> T. Scott, 1897 <i>P. mediterranea</i> Jaume, Cartes & Boxshall, 2000 <i>Paramisophria</i> sp. nov. 1	Suborden Gammaridea Dana, 1852
Família Pseudocyclopiidae T. Scott, 1892 Gènere <i>Stygocyclopija</i> Jaume & Boxshall, 1995 <i>Stygocyclopija balearica</i> Jaume & Boxshall, 1995 Gènere <i>Thompsonopia</i> Jaume, Fosshagen & Iliffe, 1999 <i>T. mediterranea</i> Jaume, Fosshagen & Iliffe, 1999	Família Bogidiellidae Hertzog, 1936 Gènere <i>Bogidiella</i> Hertzog, 1933 <i>B. (Bogidiella) balearica</i> Dancau, 1973 Gènere <i>Racovella</i> Jaume, Gràcia & Boxshall (2007) <i>R. birramea</i> Jaume, Gràcia & Boxshall (2007)
Família Ridgewayiidae M.S. Wilson, 1958 Gènere <i>Ridgewayia</i> Thompson & Scott, 1903 <i>R. marki</i> ssp. <i>minorcaensis</i> Razouls & Carola, 1996 Gènere <i>Exumella</i> Fosshagen, 1970 <i>E. mediterranea</i> Jaume & Boxshall, 1995	Família Melitidae Bousfield, 1977 Gènere <i>Pseudoniphargus</i> Chevreux, 1901 <i>P. mercadali</i> Pretus, 1988 <i>P. racovitza</i> Pretus, 1990 <i>P. pedrerae</i> Pretus, 1990 <i>P. pityusensis</i> Pretus, 1990 <i>P. triasi</i> Jaume, 1991 <i>P. daviuji</i> Jaume, 1991 Gènere <i>Psammogammarus</i> S. Karaman, 1955 <i>P. burri</i> Jaume & García, 1992
Família Stephidae G.O. Sars, 1902 Gènere <i>Stephos</i> T. Scott, 1892 <i>S. margalefi</i> Riera, Vives & Gili, 1991 <i>S. vivesi</i> Jaume, Boxshall & Gràcia, 2008	Família Metacrangonyctidae Boutin & Messouli, 1988 Gènere <i>Metacrangonyx</i> Chevreux, 1909 <i>M. longipes</i> Chevreux, 1909
Ordre CYCLOPOIDA Burmeister, 1834	Família Salentinellidae Bousfield, 1977 Gènere <i>Salentinella</i> Ruffo, 1947 <i>S. angelieri</i> Ruffo & Delamare-Deboutteville, 1952
Família Cyclopiidae Dana, 1853 Gènere <i>Diacyclops</i> Kiefer, 1927 <i>Diacyclops</i> cf. <i>clandestinus</i> (Kiefer, 1936) Gènere <i>Halicyclops</i> A.M. Norman, 1903 <i>H. troglodytes</i> Kiefer, 1954 Gènere <i>Mesocyclops</i> Kiefer, 1927 <i>Mesocyclops</i> cf. <i>salinus</i> Onabamiro, 1957 Gènere <i>Metacyclops</i> Kiefer, 1927 <i>M. subdolos</i> Kiefer, 1938 Gènere <i>Neocyclops</i> Gurney, 1927 <i>N. (Protoneocyclops) mediterraneus</i> (Kiefer, 1960)	Ordre ISOPODA Latreille, 1817
Família Cyclopinidae G.O. Sars, 1913 Gènere <i>Ginesia</i> Jaume & Boxshall, 1997 <i>G. longicaudata</i> Jaume & Boxshall, 1997 Gènere <i>Muceddina</i> Jaume & Boxshall, 1996 <i>M. multispinosa</i> Jaume & Boxshall, 1996 Gènere <i>Troglocyclopija</i> Jaume & Boxshall, 1996 <i>T. balearica</i> Jaume & Boxshall, 1996	Subordre Asellota Latreille, 1803
Ordre HARPACTICOIDA G.O. Sars, 1903	Superfamília Janiroidea Família Janiridae G.O. Sars, 1899 Gènere <i>Trogloianiropsis</i> Jaume, 1995 <i>T. lloberai</i> Jaume, 1995 Família Microparasellidae Karaman, 1933 Gènere <i>Microcharon</i> Karaman, 1934 <i>Microcharon</i> sp.
Família Superornatiremidae Huys, 1996 Gènere <i>Intercrusia</i> Huys, 1996 <i>I. garciai</i> Jaume, 1997 Gènere <i>Neoechinophora</i> Huys, 1996 <i>N. xoni</i> Jaume, 1997 Gènere <i>Superornatiremis</i> Huys, 1996 <i>S. mendai</i> Jaume, 1997	Subordre Cymothoida Wägele, 1989
Ordre MISOPHRIOIDA Gurney, 1933	Família Cirolanidae Dana, 1852 Gènere <i>Typhlocirolana</i> Racovitza, 1905 <i>T. moraguesi</i> Racovitza, 1905 Gènere <i>Metacirolana</i> Nierstrasz, 1931 <i>M. ponsi</i> Jaume & García, 1992
Família Speleophriidae Boxshall & Jaume, 2000 Gènere <i>Speleophria</i> Boxshall & Iliffe, 1986 <i>S. gymnesica</i> Jaume & Boxshall, 1996 Gènere <i>Speleophriopsis</i> Jaume & Boxshall, 1996 <i>S. balearicus</i> Jaume & Boxshall, 1996	Ordre MYSIDACEA Boas, 1883
	Subordre Mysida Boas, 1883
	Família Mysidae Latreille, 1803 Gènere <i>Burrimysis</i> Jaume & García, 1993 <i>B. palmeri</i> Jaume & García, 1993 Gènere <i>Retromysis</i> Wittmann, 2004 <i>R. nura</i> Wittmann, 2004
	Ordre THERMOSBAENACEA Monod, 1927
	Família Monodellidae Taramelli, 1954 Gènere <i>Tethysbaena</i> Wagner, 1994 <i>T. scabra</i> (Pretus, 1991)
	Ordre DECAPODA Latreille, 1802
	Subordre Natantia Boas, 1880
	Família Alpheidae Rafinesque, 1815 Gènere <i>Bermudacaris</i> Anker & Iliffe, 2000 <i>Bermudacaris</i> sp. nov.

Figura 18.23: Llistat dels crustacis anquihalins estigobionts de cavitats Balears (subratllat: tàxons endèmics). Segons GRÀCIA & JAUME, 2011.



Figura 18.24: Femella ovígera de l'isòpode endèmic estigobiont *Typhlocirolana moraguesi* (Foto: M. Vadell).

com la cova dels Estudiants (Sóller), encara que les localitats corresponents a aigües totalment dolces no sovintegen. Es troba a qualsevol fondària, des de la superfície dels llacs fins a les cotes més fondes. Es tracta d'una espècie omnívora, que no rebutja preses vives en tenir ocasió, àdhuc membres de la seva pròpia espècie i actua com a depredador de molts de crustacis. L'altura relativa gran mida (pot atènyer més de 15 mm) la fa

un dels pocs representants de la fauna hipogea europea discernible a simple vista. Comú a la galeria dels Myotragus de la cova Genovesa, on sovint se l'ha observat nedant (GRÀCIA *et al.*, 2003b). Ha estat vist freqüentment a la cova des Coll, a totes les profunditats, entre 8 i 37 ‰ de salinitat (GRÀCIA *et al.*, 2005). Al sistema Pirata-Pont-Piqueta es va localitzar a tots els nivells d'aigua amb diferent rang salí (GRÀCIA *et al.*,

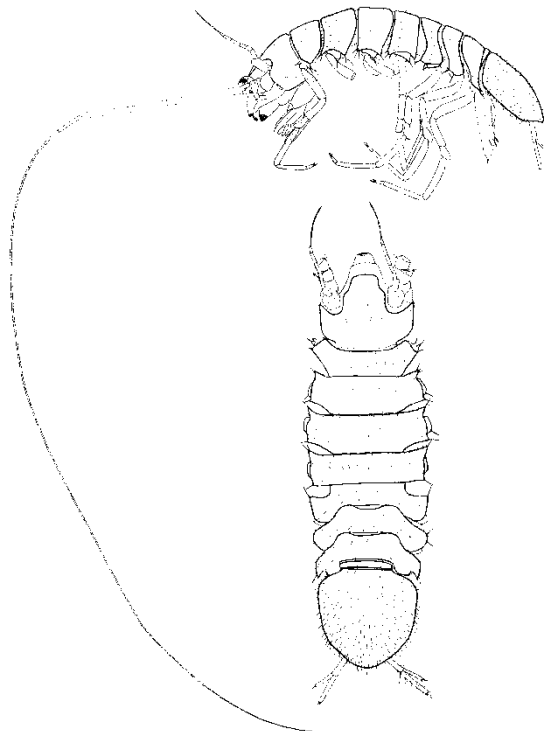


Figura 18.25: *Trogloniropsis lloberai* Jaume, 1991, gènere endèmic d'isòpode propi de les coves costaneres del SE mallorquí i l'arxipèlag de Cabrera.

2006a). A la cova des Pas de Vallgornera s'ha localitzat a qualsevol fondària (GRÀCIA *et al.*, 2009a). És una de les tres úniques espècies de fauna anquihalina estigobiont capturada a la cova des Pas de Vallgornera. Al sistema Gleda-Camp des Pou s'ha localitzat fins als sectors més allunyats de l'entrada (sector de Gregal i sector Llunyà) i també a es Dolç, a la costa SW mallorquina (GRÀCIA *et al.*, 2014).

Deixant de banda els cirolànids, cal remarcar la troballa de *Trogloniropsis lloberai* Jaume, 1995 un asel·lota (Asellota) caracteritzat per la prolongació

extrema de les antènules (Fig. 18.25). És un gènere monotípic propi de coves anquihalines i litorals de Mallorca i Cabrera, si bé se'n coneixen altres representants, encara no formalment descrits, en coves anquihalines de terres extremament llunyanes, com l'illa de Cozumel, al Carib mexicà, i l'illa de Lifou, prop de Nova Caledònia, al Pacífic.

CLASSE MAXILLOPODA

18.4.6. ORDRE CALANOIDA

Els copèpodes calanoides, que són majoritaris al plàncton marí, tenen entre les formes més primitives espècies suprabentòniques, i en alguns casos han colonitzat les coves submarines i anquihalines com una extensió del seu hàbitat natural. S'han descrit moltes espècies i, fins i tot, nous gèneres, d'algunes coves de les Balears i Sardenya.

Així, *Exumella mediterranea* Jaume & Boxshall, 1995 (Ridgewayiidae) és pròpia de coves anquihalines de Mallorca, Menorca i Cabrera (cova de na Barxa -Capdepera-, cova del Dimoni -Manacor- i la cova de sa Llumeta -illa de sa Conillera a Cabrera-), a més de l'Alguer, a Sardenya (Grotta Verde i Dasterru de la Dragunara, JAUME i BOXSHALL, 1995a). Es coneixen espècies vicariants a coves de Canàries, Bermuda, Bahamas, Jamaica, Yucatán i Filipines.

Se'n coneixen tres espècies més, que viuen als fons arenosos de Jamaica, les illes Bahames i en un *cenote* de Yucatán, a Mèxic, respectivament. Una altra espècie, no descrita encara formalment, viu en aigües subterrànies de Lanzarote. De la mateixa família és *Ridgewayia marki* ssp. *minorcaensis* Razouls & Carola, 1996, citada de una cova submarina de cala en Porter (Menorca). *Paramisophria mediterranea* Jaume, Cartes & Boxshall, 2000 és un arietèlid (Arietellidae) conegut únicament de la cova de na Mitjana (Capdepera) (Fig. 18.26). El seu gènere té representants cavernícoles, però també altres propis de fons marins, tant somms com batials. Les espècies de *Paramisophria* presenten una morfologia molt característica, amb el cos fortament asimètric, com el llenguado (Fig. 7). En diferents

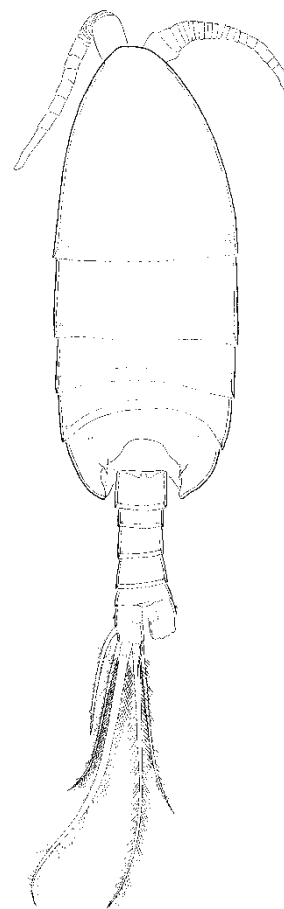


Figura 18.26: *Paramisophria mediterranea* Jaume, Cartes & Boxshall, 2000, copèpode calanoid depredador de la cova de na Mitjana, a Capdepera.

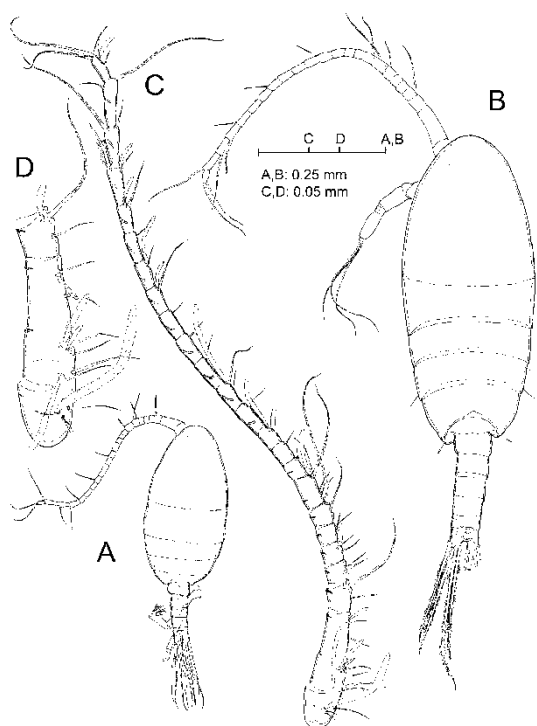


Figura 18.27: A. *Stephos vivesi* Jaume, Boxshall & Gràcia, 2008. Espècie diminuta detritívora, descrita de la cova des Coll (Felanitx) i de la cova Genovesa (Manacor) ambdues a Mallorca. B. *Stephos margalefi* Riera, Vives & Gili, 1991.

són predadors voraçs d'altres copèpodes, els quals capturen amb els maxil·lípedes hipertrofiats i fornits de fortes espines.

Stygocyclopia baleàrica Jaume & Boxshall, 1995 és un pseudociclopíid (Pseudocyclopiidae) habitant de coves anquihalines de Mallorca, Menorca i Cabrera, a més del tub volcànic dels Jameos del Agua, a Lanzarote i de Sardenya (JAUME i BOXSHALL, 1995b). Aquesta espècie es manté sempre a dins salinitats marines, i sembla patir d'algun tipus de limitació fisiològica per a penetrar en les aigües més dessalades de les cavitats costaneres, si bé es manté a les aigües subterrànies marines permanentment. Té tres congèneres vicariants en altres coves del món: a Austràlia, a les Filipines i a les illes Loyauté, a Nova Caledònia (on, en aquestes darreres illes, encara no ha estat descrit).

Thompsonopia mediterranea Jaume, Fosshagen & Iliffe, 1999, un altre pseudociclopíid, es coneix únicament de la cova de na Mitjana (Capdepera) al litoral

coves de Mallorca habita una segona espècie, encara no descrita formalment. Aquesta espècie, ha estat citada a una cova submarina de Menorca i posteriorment a nombroses cavitats del litoral SE de Mallorca i Cabrera. Com la resta de representants del seu gènere, mostra un cos característicament asimètric, comprimit al costat esquerre, el que fa que l'animal es desplaci sobre el fons tombat en aquest sentit. Les espècies més modificades viuen a fons arenosos litorals, i es suposa que aquesta morfologia tan especial permet als animals no veure's separats del fons per les turbulències provocades per l'onatge. *P. cf. ammophila* és un depredador voraç d'altres copèpodes. Tant *Exumella* com *Paramisophria*

mallorquí, i té dos congèneres al suprabentos d'aigües somes del Japó i de l'Atlàntic oriental.

Finalment, cal esmentar *Stephos vivesi* Jaume, Boxshall & Gràcia, 2008, un estèfid (Stephidae) diminut descrit recentment en coves anquihalines de la costa de Manacor i cova des Coll (Felanitx), a Mallorca, on és una espècie simpàtrica de l'endemisme *S. margalefi* Riera, Vives & Gili, 1991, trobat també en aquestes cavitats (Fig. 18.27). Fou descrita de la part més fonda d'una cova submarina de Capdepera (RIERA *et al.*, 1991), si bé a l'actualitat es coneix d'altres coves anquihalines de la costa i sembla que té una distribució molt més àmplia, si bé circumscrita a les Gimnèsies (obs. pers.). Tot

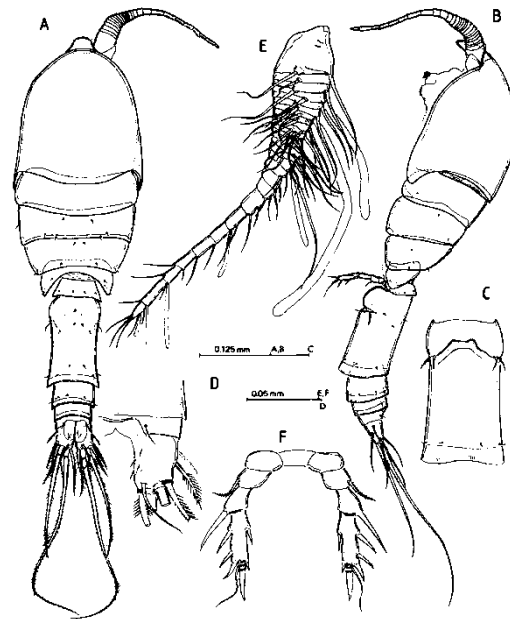


Figura 18.28: *Speleophriopsis balearicus* Jaume & Boxshall, 1996. Vista dorsal i lateral. Espècie de copèpode misofrioid estigobiont i endèmica de les Gimnèsies.

i ser afins, aquestes dues espècies congèneres tenen trets morfològics distintius i difereixen ostensiblement per la mida corporal (JAUME *et al.*, 2008). Tant els pseudociclopíids com els estèfids són detritívors, en contraposició als calanoides predadors esmentats anteriorment.

18.4.7. ORDRE MISOPHRIOIDA

Els primers representants dels misofrioides (Misophrioida), un ordre primitiu de copèpodes, van ser descrits els anys noranta, a partir de material capturat en coves anquihalines de les Balears i de l'Alguer, a Sardenya. Així, *Speleophria gymnesica* Jaume & Boxshall, 1996 i *Speleophriopsis balearicus* Jaume & Boxshall, 1996 (Fig. 18.28) pertanyen a gèneres estrictament cavernícoles amb distribucions disjunctes extremes. Pel que fa al primer, a més de les Balears, es troba a l'Adriàtica, Bermuda, Yucatán, República Dominicana, el nord-oest d' Austràlia i a coves de Gibraltar; i el segon, a Lanzarote, Bermuda i les illes Palau, aquestes darreres al Pacífic occidental. *Speleophria gymnesica* és conegut fins ara de les coves ACD de Cala Varques, del sistema Pirata-Pont-Piqueta (Manacor), de la cova des Coll, a Portocolom (Felanitx) (GRÀCIA *et al.*, 2005, 2006a), del sistema Gleda-Camp des Pou (GRÀCIA *et al.*,

2010a) i d'una altra cova de Menorca. Ocupa les parts més profundes de salinitat marina de les cavitats. A la cova des Coll ha estat capturada únicament a la galeria de les Esponges a salinitat superior al 34 ‰ (GRÀCIA *et al.*, 2005). Al sistema Pirata-Pont-Piqueta s'han capturat molts d'exemplars (incloent-hi mascles, copepodits i nauplis) a profunditats compreses entre 3,5 m i 7 m, que corresponen a salinitats que van de 28 a

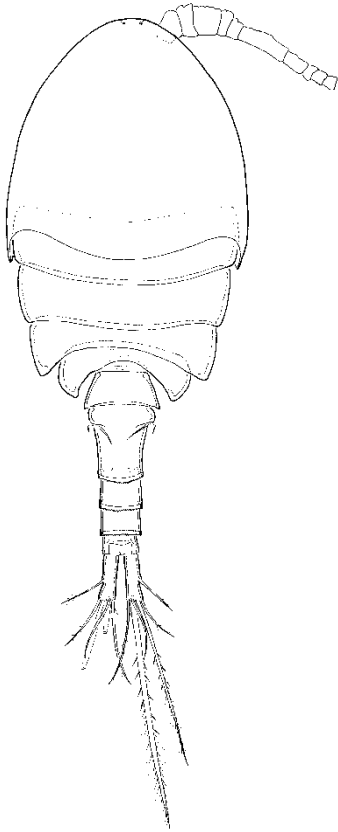


Figura 18.29: *Troglocyclopina balearica* Jaume & Boxshall, 1995, gènere endèmic i monotípic de copepode cyclopínid propi de les coves del Llevant mallorquí i l'arxipèlag de Cabrera.

34 ‰ (GRÀCIA *et al.*, 2006a). *Speleophriopsis balearicus* s'ha citat a Mallorca, Menorca i Cabrera, a vegades en simpatria amb l'espècie *Speleophria gymnesica*. Tant *Speleophria* com *Speleophriopsis* es capturen rarament en tot el seu àmbit de distribució. A la cova des Coll han estat capturades a la sala Tancada (sector del Patatús) en aigües superficials i entre 8 i 23 ‰ de salinitat (GRÀCIA *et al.*, 2005) i a les coves del Drac també s'ha capturat *Speleophriopsis balearicus*.

18.4.8. ORDRE CYCLOPOIDA

Les troballes més rellevants de copepodes ciclopoïdes fan referència a la família dels ciclopiníids (Cyclopinidae), típicament marina, i inclouen dos nous gèneres monotípics, endèmics de les Balears i estigobionts.

Així, en coves de Mallorca i Cabrera s'ha descobert *Troglocyclopina balearica* Jaume & Boxshall, 1996, habitant de les capes menys salabroses, gairebé dolces, d'algunes cavernes anquihalines (Fig. 18.29). És l'únic ciclopiníid conegut que ha penetrat dins aigües continentals, tota la resta són marins. Es tracta d'un copepode de mida petita (ateny sòls 0,3 mm de mida corporal). Es coneix de coves anquihalines de la costa SE de Mallorca, des de

Capdepera fins a Felanitx, així com a dues coves de Cabrera (JAUME & BOXSHALL, 1996a). Ha estat citada al sistema Pirata-Pont-Piqueta a profunditats compreses entre 3,5 m i 7 m, que corresponen a salinitats que van de 17 a 26 ‰ (GRÀCIA *et al.*, 2006a). A la cova Genovesa ha estat localitzada a la columna d'aigua a salinitats d'entre 29 a 36 ‰ que correspon a fondàries entre 8 i 12 m (GRÀCIA *et al.*, 2003b). Malgrat la gran

riquesa faunística d'espècies estigobionts de la cova des Coll, no ha estat citada a l'esmentada cavitat.

D'altra banda, *Ginesia longicaudata* Jaume & Boxshall, 1997 es coneix en un únic llac anquihalí del litoral de Capdepera, a Mallorca; és un dels pocs copèpodes coneguts amb el tegument cobert d'excrecències (Fig. 18.30).

Halicyclops troglodytes Kiefer, 1954 és una espècie d'aigües subterrànies salabroses (Fig. 18.31). És un dels copèpodes més freqüents a les coves anquihalines mallorquines. S'ha citat del sud de França, Sardenya, Grècia i costes del Sàhara, a banda de les Balears. A la cova des Coll, la cova Genovesa i a la cova de s'Abisament s'ha capturat a les capes de menor salinitat, també capturada recentment a les coves del Drac. Espècie d'aigües subterrànies salabroses.

Muceddina multispinosa Jaume & Boxshall, 1996 ha estat citada de cavitats de Sardenya,

Canàries i Balears. S'ha citat de la cova de na Mitjana (Capdepera) i de la cova de sa Llumeta (illa Conillera). *Diacyclops clandestinus* (Kiefer, 1936) és una espècie estigòbia dolçaquícola de distribució Paleàrtica. A Balears, s'ha citat del medi hiporrèic de sa Calobra, de la cova de les Rodes (Pollença) i de la cova de s'Abisament (Sant Llorenç des Cardassar), aquesta darrera localitat amb aigua salobre (PRETUS, 1991).

18.4.9. ORDRE HARPACTICOIDA

La cova de na Mitjana i la cova de na Barxa (Capdepera), cavitats litorals mallorquines van lliurar, l'any 1997, els primers representants coneguts a la mar Mediterrània de la família dels superornatirèmids (Superornatiremidae), uns copèpodes harpacticoides caracteritzats per mostrar un nombre inusualment elevat d'espines a les

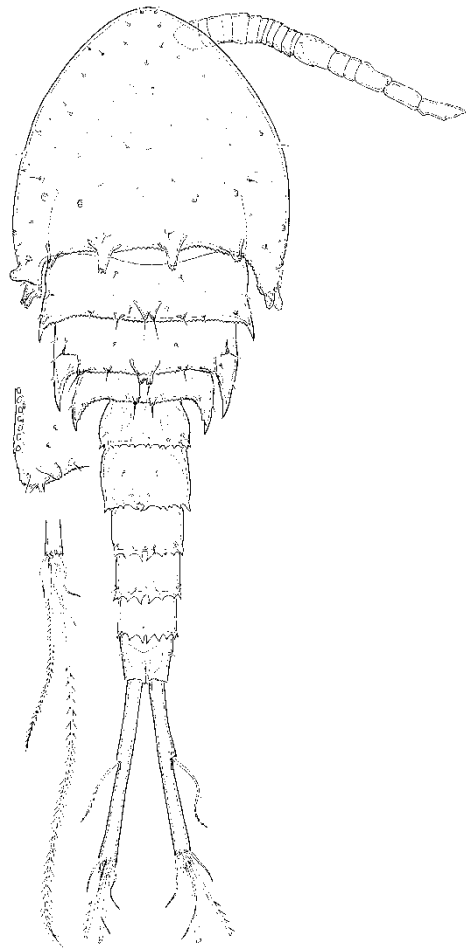
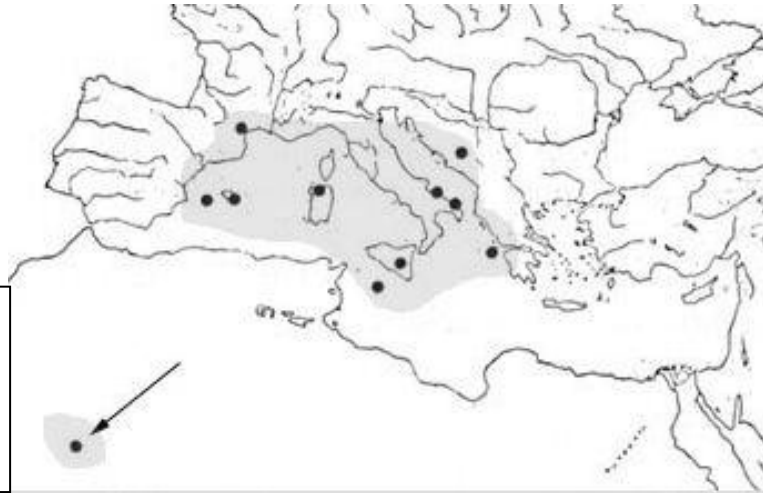


Figura 18.30: *Ginesia longicaudata* Jaume & Boxshall, 1997 es coneix en un únic llac anquihalí del litoral de Capdepera.

Figura 18.31: Distribució de *Halicyclops troglodytes* Kiefer, 1954. Segons G.L.Pesce.



comes. Així, els gèneres *Superornatiremis* i *Intercrusia*, fins aleshores monotípics i restringits a coves anquihalines de Bermuda, tenen cadascun un representant a Mallorca: *Superornatiremis mendai* Jaume, 1997 i *Intercrusia garciai* Jaume, 1997. *S. mendai* ha estat citada de la cova de na Mitjana i de la cova de na Barxa (Fig. 18.33) i *Intercrusia garciai* únicament de la cova de na Mitjana. D'altra banda, *Neoechinophora xoni* Jaume, 1997 (Fig. 18.33) descobert a la mateixa cavitat que les espècies precedents (cova de na Mitjana), pertany a un gènere amfiatlàntic integrat per quatre espècies cavernícoles que es troben a Bermuda i Lanzarote.

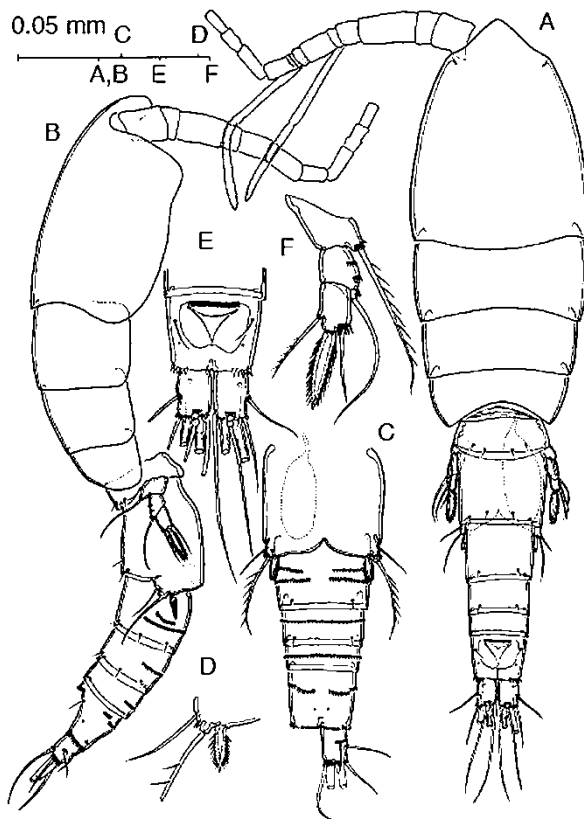


Figura 18.32: *Superornatiremis mendai* Jaume, 1997 ha estat citada únicament de la cova de na Mitjana i de la cova de na Barxa (Capdepera). L'espècie està dedicada a l'espeleòleg Jaume Damians, àlies "El Menda", finat l'any 2008.

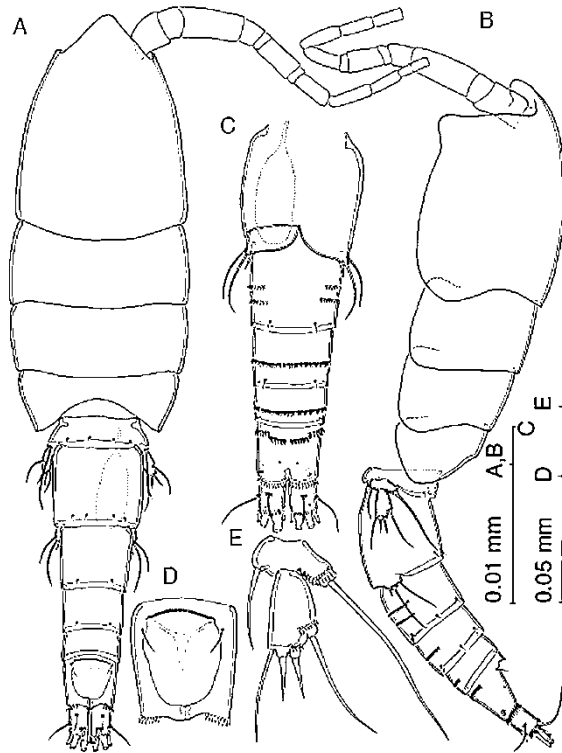


Figura 18.33: *Neoechinophora xoni* Jaume, 1997 espècie trobada únicament a la cova de na Mitjana (Capdepera). L'espècie està dedicada a l'espeleòleg i paleontòleg Joan Pons, àlies "El Xoni", finat l'any 2003.

18.5. Presència d'anguiles

L'anguila (*Anguilla anguilla*) és el peix capaç de penetrar més a l'interior de les cavitats anquihalines mallorquines. Ens l'hem trobada fins a molta distància de la costa. La localitat més llunyana observada és la cova de sa Gleda, que dista quasi 2 quilòmetres de la mar. Han estat observades a distàncies de 900 m a l'interior de la cova des Coll, i també a moltes de les cavitats costaneres. A la cova Genovesa s'ha localitzat al llac d'entrada i especialment a la sala del Pou Negre, a on s'alimenta de les restes orgàniques abocades per l'home dins la cavitat. A es Dolç és també una espècie molt habitual, especialment a les galeries i sales amb més influència de l'abocament de les aigües que provenen de la depuradora de la Colònia de Sant Jordi (Fig.18.34). La seva presència a les coves ens indica una comunicació directa amb la mar, encara que pot no ésser penetrable per l'home.



Figura 18.34: L'anguila (*Anguilla anguilla*) des Dolç. És l'únic peix completament adaptat a viure a les cavitats subaquàtiques, a més a més és eurihalí. S'ha localitzat fins a les zones més interiors de les cavitats (Foto A. Cirer).