

# PROPOSTA D'UNA NOVA CLASSIFICACIÓ MORFOGENÈTICA DE LES CAVITATS CÀRSTIQUES DE L'ILLA DE MALLORCA

per Joaquín GINÉS <sup>1,2</sup> i Angel GINÉS <sup>1,2</sup>

## Resumen

Las importantes exploraciones y descubrimientos, especialmente los realizados durante los últimos quince años en el subsuelo de Mallorca, ponen de manifiesto una complejidad creciente en lo que respecta a los mecanismos genéticos responsables de la formación de las cavidades kársticas de la isla. Estos hechos hacen necesaria la reelaboración de una clasificación morfogénica que actualice los conocimientos que eran válidos hace algunas décadas –concretamente la sistematización propuesta por GINÉS (1995)– y que sea capaz de dar cuenta de la gran variedad de ambientes representados en el mundo subterráneo mallorquín.

La clasificación que aquí se propone mantiene, en líneas generales, las cuatro grandes categorías establecidas con anterioridad, las cuales resultan enunciadas de la siguiente manera: 1) simas de la zona vadosa, 2) cuevas de la zona vadosa, 3) cuevas freáticas no litorales, y 4) cuevas de la franja litoral. Dentro de estas categorías se distinguen hasta catorce modalidades genéticas diferenciadas, aportando en cada caso ejemplos significativos que las ilustren convenientemente. Las principales novedades de esta clasificación consisten, por una parte, en el reconocimiento del papel de la disolución de yesos subyacentes en la génesis de algunas cuevas de hundimiento de la Serra de Tramuntana; por otra parte, queda en la actualidad suficientemente documentada la existencia de procesos de espeleogénesis hipogénica, de carácter geotermal, que en algunos casos han actuado conjuntamente con los mecanismos de disolución ligados a la zona de mezcla litoral.

## Abstract

During the last fifteen years, the important explorations and discoveries performed in Mallorcan caves put forward an increasing complexity regarding the mechanisms involved in the genesis of the endokarst phenomena in the island. Those recent contributions strongly claimed for the re-elaboration of a morphogenetic classification of caves in our geographical area, which updates the former existing knowledge –particularly, the systematization proposed by GINÉS (1995)– being able as well to give account for the great diversity of underground environments represented in Mallorca.

The classification proposed in this paper distinguishes, in general terms, the four wide hydrogeological categories previously established: 1) vertical shafts of the vadose zone, 2) caves of the vadose zone, 3) inland phreatic caves, and 4) caves of the littoral fringe. Within these categories, up to fourteen genetic typologies are differentiated, supplying at the same time significant examples that conveniently illustrate each case. The most important novelties of the present classification are, on one hand, the recognition about the role of subjacent gypsum dissolution in the genesis of some breakdown caves in Serra de Tramuntana region. On the other hand, nowadays it appears today sufficiently documented the existence of hypogene speleogenesis phenomena, of a geothermal character, that in some cases have acted together with the solutional mechanisms linked to the coastal mixing zone.

## Introducció

Les exploracions efectuades els darrers quinze anys a l'endocarst de Mallorca han ampliat, de forma substancial, el coneixement que es tenia sobre les característiques morfològiques i l'espeleogènesi de les prop de tres mil cavitats conegudes actualment a l'illa (ENCINAS, 2006). A tall d'exemple prou il·lustratiu, cal consignar el

cas de la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor) la qual, amb més de 63 km de desenvolupament, ha assolit unes fites espeleomètriques insospitades per al carst de Mallorca (MERINO *et al.*, 2008, 2009b). A més a més, aquesta singular cavitat ha evidenciat unes característiques morfogèniques inusuals a les coves del Migjorn (GINÉS *et al.*, 2009a, 2009b), que demostren fins a quin punt la carstificació dels materials del Miocè superior del sud i llevant de l'illa és més complexa i heterogènia del que es coneixia fins al moment (GINÉS *et al.*, 2008).

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

2 Grup Espeleològic EST. Palma de Mallorca.

Tenint en compte aquest notable dinamisme pel que fa a l'evolució del coneixement de les coves i avencs de Mallorca, resulta necessari reformular una classificació morfogènica de les seves cavitats càrstiques. Aquest és l'objectiu que es proposen les presents planes tot partint de la sistematització proposada a GINÉS (1995), la qual al seu torn havia comptat prèviament amb alguns intents de classificació espeleogenètica com els realitzats per ENCINAS *et al.* (1974) i GINÉS & GINÉS (1974, 1987).

Cal fer esment, tal i com es comentava a GINÉS (1995), que bona part de la literatura internacional dedicada a la gènesi de les cavitats càrstiques s'ha centrat en l'estudi de la formació i evolució dels grans sistemes espeleològics, integrats generalment en grans unitats de drenatge de les aigües subterrànies. Així, s'han formulat diversos i interessants models explicatius, plenament vigents avui en dia, que relacionen la generació i evolució de les xarxes subterrànies amb les variacions al llarg del temps de les condicions hidrogeològiques dels sistemes càrstics (FORD & EWERS, 1978; KLIMCHOUK *et al.*, 2000). Emperò, en el cas de Mallorca, els grans sistemes subterrànies penetrables per l'home no són gaire abundants (tan sols unes poques coves superen els 5 km de desenvolupament), essent possible afirmar que la significació espeleogenètica de bona part de les coves i avencs de l'illa és confusa, en tractar-se de formes subterrànies de poca rellevància o bé de manifestacions fragmentàries de sistemes espeleològics de notable antiguitat i, per tant, molt evolucionats en el temps.

Dins de les aproximacions de caràcter hidrogeològic efectuades a aquestes qüestions, cal esmentar també les aportacions de PALMER (1991, 2007) que es centren en les característiques diferencials dels patrons topogràfics de les xarxes subterrànies. Una menció apart mereix el nou paradigma representat pels mecanismes d'espeleogènesi hipogènica (KLIMCHOUK, 2007; PALMER, 2007) que posen l'èmfasi en la formació de cavitats lligada a una alimentació hídrica d'origen profund. Finalment, cal fer referència a la singularitat que suposa el fet insular, amb els processos específics de carstificació associats a la proximitat de la línia de costa; el *Carbonate Island Karst Model* (CIKM) tal i com es troba formulat actualment (MYLROIE & MYLROIE, 2007) dóna una visió d'ample abast sobre els diversos ambients espeleogenètics existents a les illes calcàries. Per tal de no insistir més en aquestes temàtiques de caràcter general, remetem els interessats al treball previ de GINÉS (1995) així com a les revisions sobre la matèria incloses a PALMER (2007), WHITE & CULVER (2007) i GINÉS *et al.* (2008).

És convenient remarcar, com a un fet inevitable, que la classificació dels fenòmens naturals implica sempre notables esforços de simplificació, en haver d'encasellar elements complexos que poden participar dels trets definitoris de varies de les categories establertes. A més a més, les darreres fases de l'evolució morfològica de les cavitats càrstiques impliquen l'actuació de diferents mecanismes (esfondraments, estalagmitització...) que tendeixen a homogeneitzar l'aparença dels buits preexistents. Finalment, la rellevància que assoleixen els processos de reajustament mecànic, que afecten les voltes i parets de les coves mallorquines, pot arribar a

esborrar els vestigis de fases espeleogenètiques precedents (GINÉS, 2000a), fent difícil la categorització unívoca de determinats fenòmens endocàrstics de l'illa.

## Classificació proposada

Es procedirà a continuació a proposar una nova classificació morfogènica de les coves i avencs de Mallorca, que de fet és la continuïtat natural de la sistematització elaborada per GINÉS (1995). Com ja s'apunjava en aquells moments, la classificació es basa en distingir quatre grans categories espeleogenètiques en relació amb el context hidrogeològic en el qual s'han produït i/o evolucionat les cavitats observades. Les quatre categories que es diferencien són: 1) avencs de la zona vadosa, 2) coves de la zona vadosa, 3) coves freàtiques no litorals, i 4) coves de la franja litoral. Dins d'aquests grans grups es distingeixen un total de 10 tipus diferents de cavitats, que responen a modalitats genètiques netament caracteritzades. Així mateix, dins d'algunes de les tipologies establertes es diferencien 4 subtipus addicionals, entenent sota aquest concepte poblacions de cavitats les quals, tot i que pertanyen amb claredat a un determinat tipus, presenten unes característiques a bastament diferenciades que les individualitzen com a integrants d'un subtipus específic. En total es consideren 14 modalitats morfogèniques diferents que apareixen sistematitzades a la Taula I, on també es reflecteix la seva distribució geogràfica en les distintes regions càrstiques de l'illa (GINÉS & GINÉS, 1989). Tot seguit es descriuran els contextos morfològics i hidrogeològics de les quatre categories diferenciades, així com els diversos tipus i subtipus de cavitats que les integren; a la Taula II s'indiquen algunes localitats-tipus prou il·lustratives de cadascú dels tipus i subtipus de cavitats que s'han establert dins aquesta classificació.

### AVENCS DE LA ZONA VADOSA

Aquesta primera categoria agrupa totes les cavitats verticals generades a la zona vadosa del carst –o zona d'infiltració– la qual es caracteritza per una ràpida circulació vertical de les precipitacions meteòriques (Figura 1). Es tracta, en la majoria dels casos, d'avencs de dissolució que arriben sovint a fondàries superiors al centenar de metres i es troben excavats a les calcàries plegades, bàsicament d'edat mesozoica, que integren les zones muntanyoses de l'illa; alguns avencs importants es desenvolupen també en calcàries detrítiques i conglomerats del Miocè inferior. Dins d'aquest gran grup de cavitats es diferencien dues tipologies, la primera de les quals inclou, al seu torn, un subtipus addicional (Taula I i II).

### Avencs de dissolució

És un dels tipus de cavitats més abundants a l'illa, sobretot a les elevacions muntanyoses de la Serra de Tramuntana. Agrupa tot un variat ventall d'avencs origi-

nats per dissolució a la zona vadosa del carst, com a resultat del drenatge en profunditat de les precipitacions. S'inclouen dins d'aquesta tipologia des de petits avencs epicàrstics, existents als camps de lapiaz de l'illa, fins a les nombroses cavitats verticals de dissolució de majors dimensions, assimilables als *gouffres d'absortion* –avencs d'absorció– de GÉZE (1953). Els avencs de dissolució vadosa apareixen referits a literatura internacional amb diferents termes com són: *vadose shafts*, *solutional shafts* o *vadose pits* (FORD & WILLIAMS, 2007; HESS, 2005).

Aquests avencs es troben integrats per un o per més buits de tendència vertical, assentats sobre fractures, que es succeeixen en profunditat i arriben a assolir en Mallorca desnivells superiors als 300 m, com és el cas de l'Avenc del Puig Caragoler, al municipi d'Escorca (PLOMER & GINÉS, 2008). Alguns dels buits verticals que formen aquests avencs constitueixen impressionants pous de més de 100 m de fondària, com l'Avenc des Travessets, a Artà (GINÉS, 1975), o l'Avenc d'Escorca i l'Avenc de s'Aigo (GRUP ESPELEOLÒGIC EST, 1982, 1986) ambdós al municipi d'Escorca.

*Avencs vadosos d'alimentació nival.* Dins la tipologia d'avencs de dissolució existents a la zona vadosa, és possible diferenciar un subtipus de cavitats la morfologia de les quals està condicionada per la importància relativa d'una alimentació nival present i/o pretèrita (GINÉS & GINÉS, 1974, 1987). Es tracta d'avencs d'escassa fon-

dària i dotats d'àmplies boques, que actuen o han actuat com a formes superficials on s'acumulen les precipitacions de neu i on s'infiltra lentament les aigües procedents de la seva fusió. Algunes cavitats del massís del Massanella, a Escorca (GINÉS *et al.*, 1980, 1982), són prou il·lustratives d'aquest subtipus (Figura 2), així com altres avencs de les cotes superiors de la Serra de Tramuntana com l'Avenc des Tossals (GINÉS *et al.*, 1985) i fins i tot l'Avenc de Femenia (GINÉS *et al.*, 2006), tot dos pertanyents al terme d'Escorca.

### Avencs d'origen mecànic

Són cavitats de planta rectilínia que assoleixen de vegades profunditats notables. La seva gènesi està condicionada pels processos de distensió mecànica dels relleus enèrgics que es donen a les serres mallorquines. En alguns casos són esclatxes molt properes i paral·leles a grans penya-segats, com les *fentes de décollement* –esclatxes de desferrament– de RENAULT (1967) o els *gouffres tectoniques* –avencs tectònics– de GÉZE (1953). En altres ocasions són avencs que, sense estar lligats a la presència de grans espadats, consisteixen en importants fractures subverticals gairebé no retocades pels processos de carstificació.

Les cavitats d'aquesta tipologia són abundants a les elevacions de la Serra de Tramuntana, tal i com succeeix a la Mola des Ram, a cavall dels municipis

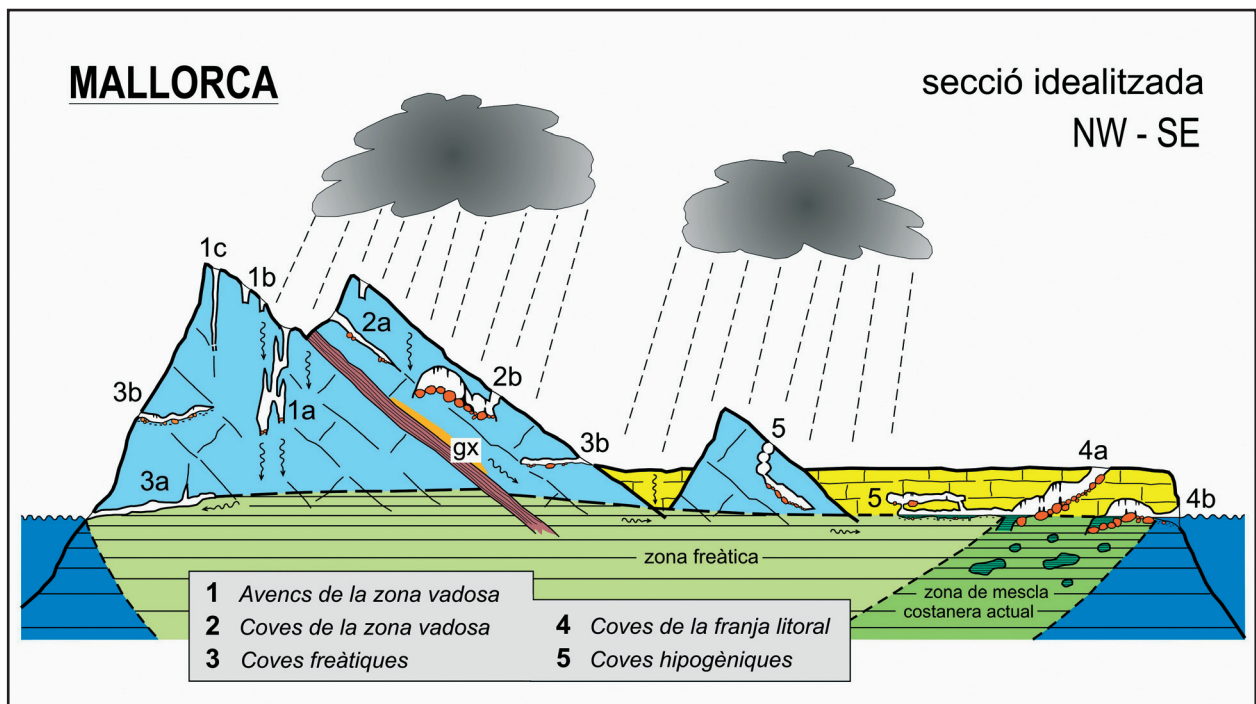


Figura 1: Representació esquemàtica dels tipus de cavitats presents a Mallorca, realitzada al llarg d'un perfil ideal de l'illa. **1a:** avenc de dissolució vadosa; **1b:** avencs vadosos d'alimentació nival; **1c:** avencs d'origen mecànic; **2a:** cova estructural; **2b:** cova d'esfondrament; **gx:** guixos triàsics subjacents; **3a:** cova freàtica amb activitat hidrològica; **3b:** coves freàtiques antigues; **4a:** cova de la zona de mescla costanera, morfològicament molt evolucionada; **4b:** cova càrstico-marina; **5:** coves hipogèniques.

Figura 1: Schematic representation of the cave typologies present in Mallorca, outlined on an ideal cross-section of the island. **1a:** vadose dissolution shaft; **1b:** snow-fed vadose shafts; **1c:** mechanical shaft; **2a:** structurally controlled cave; **2b:** breakdown or collapse cave; **gx:** subjacent Triassic gypsum; **3a:** phreatic cave, still presenting hydrological activity; **3b:** ancient phreatic caves; **4a:** coastal mixing-zone cave, morphologically very evolved; **4b:** marine-karstic cave; **5:** hypogenic caves.



Figura 2: Els avencs de dissolució vadosa són molt abundants a les muntanyes de Mallorca on és possible observar exemples relacionats amb una alimentació nival, que es localitzen a les cotes més elevades de la Serra de Tramuntana. Avenc de Massanella (Escorca).

Figure 2: Vadose solutional shafts are very abundant in the Mallorcan mountains being possible to recognize some examples related to snow-feeding, that are located at the highest points of the Serra de Tramuntana range. Avenc de Massanella (Escorca).

d'Esporles i Puigpunyent, o als vessants septentrionals de la Comuna de Bunyola (Avencs des Grau, Avenc de sa Cuina...). Els exemples més destacables d'aquest tipus d'avenc són tal vegada l'Avenc de ses Papallones (TRIAS, 1979a), a Bunyola, o el Crull de Can Termes (ENCINAS, 1995), al terme d'Escorca, que arriba a una fondària superior als 200 metres.

## COVES DE LA ZONA VADOSA

La segona gran categoria de cavitats que s'ha distingit agrupa diferents tipus de coves de tendència més aviat horitzontal, que tenen en comú dos trets definitoris ben clars: per una banda les morfologies observables actualment impedeixen albirar com eren els buits inicials que originaren les cavitats i, per altra banda, aquestes es troben avui en dia situades a la zona vadosa dels massissos càrstics (Figura 1). En la gènesi d'aquesta classe de cavitats, no es pot descartar una excavació en règim freàtic dels buits inicials; es tractaria en aquest cas del que BÖGLI (1980) denomina *secondary vadose caves*, en contraposició amb la primera gran categoria abans descrita —els distints tipus d'avencs— el caràcter vadós de la qual és netament primari. Es poden distingir dues tipologies principals de coves que presenten aquestes característiques, essent possible individualitzar altres dos subtipus addicionals en el cas de les cavitats que es denominen amb l'apel·latiu general de *coves d'esfondrament* (Taules I i II).

### Coves estructurals

Dins d'aquest grup s'inclouen diverses coves, existents sobretot als materials calcaris plegats de la Serra de Tramuntana, les quals consisteixen en una o

vàries grans sales subterrànies que es disposen amb una tendència general descendent. Aquestes sales es desenvolupen aprofitant importants discontinuïtats estructurals subhoritzontals com són algunes falles o, amb relativa freqüència, plans d'encavalcament. Les cavitats d'aquest tipus han estat retocades sovint per esfondraments de les voltes, així com per dipòsits estalagmítics que poden ser abundants. Cavernes com la Cova de ses Meravelles (Bunyola), la Cova Morella i la Cova del Boc (Pollença) o la Cova de sa Tossa Alta (Escorca), representen prou clarament les característiques d'aquesta tipologia.

### Coves d'esfondrament

La morfologia d'aquest tipus de coves es veu del tot presidida per l'existència de grans acumulacions de blocs, resultants d'esfondraments que afecten a les voltes i parets de les cavitats. Aquests mecanismes es designen habitualment en la bibliografia espeleològica hispana sota l'expressió de *processos clàstics* (MONTORIOL-POUS, 1951), terme sedimentològic no gaire adequat per fer referència als processos de reajustament i esfondrament mecànic dels buits endocàrstics. Els mecanismes citats apareixen referits en la literatura internacional amb denominacions molt generals com *breakdown* o *collapse processes* (KLIMCHOUK *et al.*, 2000; FORD & WILLIAMS, 2007; PALMER, 2007), o termes més específics com *incasion* (BÖGLI, 1980).

Resulta molt freqüent en les coves mallorquines el fet que els fenòmens d'esfondrament assoleixin una magnitud notable, de tal manera que no resten vestigis dels buits corresponents a les primeres fases de l'excavació de les cavitats (GINÉS, 2000a); és el que succeeix en exemples realment notoris com la Cova de sa Campana, al municipi d'Escorca. Tal i com ja s'ha dit

context morfo-hidrogeològic	tipus i subtipus de cavitats	Mesozoic plegat		Miocè superior	
		Serra de Tramuntana	Serres de Llevant	del Migjorn	Marina de Lluçmajor
Avencs de la zona vadosa	avencs de dissolució	●	○		
	└─ alimentació nival	○			
	avencs d'origen mecànic	●	○		
Coves de la zona vadosa	coves estructurals	○			
	coves d'esfondrament	●	○	○	○
	└─ sales de col.lapse de volta baixa	●	○	○	
	└─ dissolució de guixos subjacents	○			
Coves freàtiques no litorals	galeries de drenatge	●			
	xarxes laberíntiques	○	○	○	
	coves hipogèniques		○		
Coves de la franja litoral	coves de la zona de mescla costanera	○	○	●	○
	└─ xarxes freàtiques amb control estructural		○	○	
	xarxes freàtiques litorals amb influències hipogèniques				●
	captures càrstico-marines	○	○	●	○

● abundància      ○ presència

Taula 1: Classificació morfogenètica de les coves i avencs de Mallorca. S'indica l'abundància relativa de les distintes tipologies en les principals regions càrstiques de l'illa.

Table 1: Morphogenetic classification of caves and shafts in Mallorca. The relative abundance of the different typologies in the main karst regions of the island is also shown in the table.

	tipus i subtipus de cavitats	cavitats-tipus representatives
Avençs de la zona vadosa	avençs de dissolució — alimentació nival	Avenç del Puig Caragoler (Escorca) Avenç d'Escorca (Escorca) Avenç de s'Aigo (Escorca) Avenç del Massanella (Escorca) Avenç des Tossals (Escorca) Avenç de sa Fita (Escorca)
	avençs d'origen mecànic	Avenç de ses Papallones (Bunyola) Avenç des Grau (Bunyola) Avenç de na Boira (Esporles)
Coves de la zona vadosa	coves estructurals	Cova de ses Meravelles (Bunyola) Cova de sa Tossa Alta (Escorca) Cova Morella (Pollença)
	coves d'esfondrament — sales de col.lapse de volta baixa — dissolució de guixos subjacents	Cova de sa Campana (Escorca) Avenç de Son Pou (Santa Maria del Camí) Coves de Campanet (Campanet) Cova de Can Sion (Pollença) Cova des Diners (Manacor) Cova de s'Onix (Manacor) Coves del Pilar (Palma) cavitats de la Serra de na Burguesa (Palma)
	galeries de drenatge	Cova des Torrent de Cúber (Escorca) Cova de les Rodes (Pollença) Cova des Mirador (Escorca)
Coves freàtiques no litorals	xarxes laberíntiques	Cova de Son Brguet (Puigpunyent) Cova d'en Tocahores (Petra) Cova de sa Teulada (Santa Margalida)
	coves hipogèniques	Cova Nova de Son Lluís (Porreres)
Coves de la franja litoral	coves de la zona de mescla costanera — xarxes freàtiques amb control estructural	Coves del Drac (Manacor) Sistema Pirata - Pont - Piqueta (Manacor) Cova de sa Gleda (Manacor) Cova des Coll (Felanitx) Cova Tancada (Alcúdia)
	xarxes freàtiques litorals amb influències hipogèniques	Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor) Cova de sa Guitarreta (Llucmajor)
	captures càrstico-marines	Cova des Coloms I (Manacor) Cova de na Mitjana (Capdepera) Cova Marina des Pont (Manacor)

Taula II: Classificació morfogènica de les coves i avençs de Mallorca, amb indicació d'algunes localitats representatives de cadascuna de les tipologies.

Table II: Morphogenetic classification of caves and shafts in Mallorca including some representative localities for each of the typologies that are distinguished.

més a dalt, no es pot refusar un pretèrit origen freàtic per a aquestes coves, si bé el seu aspecte actual no subministra cap evidència en aquest sentit.

En relació amb els processos de reajustament mecànic de les voltes i parets, convé insistir ara en el següent fet: gairebé totes les tipologies que es descriuran d'ara endavant participen, en major o menor mesura, dels trets morfològics propis del que hem convingut en denominar *coves d'esfondrament*. Malgrat això, la pervivència en alguns casos de vestigis dels buits inicials que originaren les coves —cavitats freàtiques—, o en altres ocasions el context hidrològic específic actual —per exemple, la seva vinculació a la zona de mescla costanera— permetran que determinades cavernes d'esfondrament puguin ser assignades a altres categories morfogèniques dotades d'un contingut hidrogeològic molt més concret.

Amb caràcter general, les coves que poden ésser enquadrades en aquesta tipologia mostren un predomini

del desenvolupament subhoritzontal, una decoració estalagmítica destacable i, en alguns casos un volum realment important. Els exemples més representatius es troben a les calcàries mesozoiques plegades de la Serra de Tramuntana, amb localitats ben il·lustratives com les turístiques Coves de Campanet (LLOPIS-LLADÓ & THOMAS-CASAJUANA, 1948). Sens dubte, l'exemple més representatiu és la ja citada Cova de sa Campana (Escorca), en la qual alguna de les seves sales ultrapassa els 100.000 m<sup>3</sup> de volum (BARRERES *et al.*, 1976; MIR & TRIAS, 1973). Cal esmentar també l'existència d'algunes cavitats d'accés vertical, com l'Avenç de Son Pou (THOMAS-CASAJUANA & MONTORIOL-POUS, 1952a) al municipi de Santa Maria del Camí, integrades per àmplies sales d'esfondrament accessibles mitjançant obertures naturals localitzades normalment en el zenit de les seves voltes. Aquests formes subterrànies es correspondrien amb els *gouffres d'effondrement* —avençs d'esfondrament— de GÈZE (1953).

*Sales de col.lapse de volta baixa.* Bastants de les coves que pertanyen a la tipologia de coves d'esfondrament, presenten unes característiques prou diferenciades com per a agrupar-les en un subtipus específic, que s'ha designat amb la denominació que encapçala aquest paràgraf. Es tracta de sales de col.lapse d'àmplies dimensions en planta, però que mostren un desenvolupament volumètric més modest com a resultat de l'escassa alçada de les seves voltes. Les cavitats que reuneixen aquestes condicions es troben representades a totes les regions càrstiques de Mallorca comptant-se, entre els exemples més significatius, la Cova de Can Sion (Pollença), la Covota de la Penya Rotja, a Alcúdia (TRIAS, 1986), o la Cova des Diners (TRIAS, 1979b) i les coves de la zona de Ca n'Olesa (GINÉS *et al.*, 2007) totes elles al municipi de Manacor. Aquest subtipus de cova d'esfondrament es correspon amb algunes modalitats de les *collapse chambers*, tal i com varen ser definides per GINÉS (2000a), consistents en grans sales originades pel col.lapse generalitzat d'àrees relativament extenses del rocam calcari, amb un desplaçament vertical de la massa rocosa més aviat petit. Les cavitats generades, a més de presentar voltes d'alçades modestes i fins i tot reduïdes, se solen verticalitzar cap a la seva perifèria assolint fondàries notables, com succeeix a la Cova de Can Sion (Pollença) que supera el centenar de metres de profunditat (ENCINAS, 1994).

*Dissolució de guixos subjacents.* Determinades coves que exhibeixen morfologies dominants d'esfondrament o col.lapse, poden estar relacionades amb la inestabilitat mecànica de la massa calcària provocada per la dissolució de guixos subjacents (Figura 3). L'esmentada situació es dona amb bastant freqüència a la Serra de na Burguesa (BOVER *et al.*, 2004), a cavall dels municipis de Calvià i de Palma, essent les Coves del Pilar (Palma) la localitat on aquests fenòmens s'observen amb major claredat (VICENS *et al.*, 2005); aquí, els guixos del Triàsic apareixen en les galeries artificials inferiors, formant bancs massius d'uns pocs metres de potència. Cal remarcar que aquesta modalitat genètica ja havia estat insinuada per CAÑIGUERAL (1949) en explicar la formació de determinades coves illenques, en particular

Figura 3: Les sales d'esfondrament són freqüents a les coves de la Serra de Tramuntana i de vegades estan associades a la dissolució de guixos subjacents, com en el cas de les Coves del Pilar (Palma). **a)** aspecte d'una de les sales superiors, amb la presència de grans blocs procedents del col·lapse de les voltes. **b)** galeries d'extracció de les zones inferiors, on s'observen els guixos massius triàsics que eren explotats econòmicament. (Fotos: Gabriel Santandreu).

Figure 3: Breakdown chambers are frequent in the Serra de Tramuntana caves and sometimes are associated to the dissolution of subjacent gypsum as in the case of Coves del Pilar (Palma). **a)** general view of the upper chambers showing big collapse blocks owing to roof failure. **b)** quarrying galleries in the lower levels of the cave, where triassic massive gypsum is observed. (Photos: Gabriel Santandreu).



algunes cavitats de la Serra de na Burguesa; curiosament, aquestes observacions s'efectuaven en un treball dedicat a les Coves de Campanet, situades al municipi homònim, i aleshores recentment descobertes.

### COVES FREÀTIQUES NO LITORALS

A les diferents regions càrstiques de Mallorca hi són presents determinades coves que denoten una gènesi lligada a processos de dissolució en règim freàtic, encara que cal reconèixer que aquest tipus de cavitat no és massa abundant en general. Es tracta de formes de drenatge excavades originàriament a la banda inferior dels massissos càrstics, on tot els buits existents –porositat tant d'origen primari (porus, fractures...) com secundari (cavitats de dissolució)– són totalment negades d'aigua de manera permanent. En aquesta zona hidrogeològica,

denominada *zona freàtica* o de saturació, el drenatge subterrani té lloc en sentit horitzontal cap a les surgències, on són evacuades les aigües que circulen per l'interior del sistema càrstic (Figura 1).

Sobretot a la Serra de Tramuntana, algunes de les coves pertanyents a aquesta tercera gran categoria són encara actives, des del punt de vista de la seva funcionalitat hidrològica, i es veuen recorregudes per corrents subterranis perennes; la Cova dets Estudiants, al municipi de Sóller, és un espectacular exemple de cova horitzontal amb un funcionament hidrològic actiu i que compta amb importants continuacions subaquàtiques (ROMERO, 1975; BENYSEK, 1988). No obstant això, en la majoria d'ocasions aquests fenòmens endocàrstics han esdevingut desconnectats de les circulacions subterranies actives, com a resultat de la història geomorfològica dels massissos calcaris. En la mesura que es tracti de formes senils i no funcionals, aquestes coves

poden haver experimentat una intensa evolució morfològica ocorreguda en la zona vadosa del carst, com són els processos d'esfondrament i la deposició d'espeleotemes. Es poden distingir tres tipologies de coves que presenten aquestes característiques, tal i com es recull a les Taules I i II.

### Galeries de drenatge

Normalment estan constituïdes per galeries rectilínies, no gaire ramificades, amb abundants morfologies arrodonides de dissolució en condicions freàtiques. En algunes localitats discorren pel seu interior petits rius subterranis, com succeeix a la Cova de les Rodes, a Pollença (ENCINAS, 1972), la Cova des Torrent de Cúber, a Escorca, o la ja citada Cova dels Estudiants i la Font des Verger (RIPOLL & ROCA, 1974; CORRIGAN, 1998), ambdues al municipi de Sóller. En altres casos ens trobem amb aparells endocàrstics no funcionals, que en són testimoni de la complexa història geomorfològica dels relleus muntanyosos de la Serra de Tramuntana; en aquest sentit, la Cova de Canet, a Esporles (PONS-MOYÀ *et al.*, 1979; ALCOVER *et al.*, 2001), o la Cova de Cal Pessó, a Pollença (MORRO & MORRO, 1972), són exemples ben bonics d'antigues formes de drenatge freàtiques, no funcionals avui en dia.

### Xarxes laberíntiques

Aquesta tipologia de cavitats és generalment de dimensions modestes i està representada en totes les regions càrstiques de l'illa, encara que amb escasses localitats. Es tracta de fragments inactius de xarxes laberíntiques de conductes, excavats anteriorment en la zona freàtica del sistema càrstic. La Cova de Son Burguet (Puigpunyent), o la Cova d'en Tocahores (Petra) són cavitats prou il·lustratives, malgrat que la localitat més remarcable és sens dubte la Cova de sa Teulada, al municipi de Santa Margalida (THOMAS-CASAJUANA & MONTORIOL-POUS, 1952b), localitzada en les calcarenites postorogèniques del Miocè superior.

Tant en aquesta tipologia com en l'anterior, la gènesi freàtica dels buits primigenis és força evident tot i que les cavitats de vegades han sofert una dilatada evolució en condicions vadoses. En ambdós casos, semblen correspondre a una gènesi freàtica poc profunda, relacionada amb la banda de fluctuació de les aigües subterrànies, o *zona epifreàtica*.

### Coves hipogèniques

El concepte de cova de *gènesi hipogènica* és relativament recent i, a més a més, dotat de significats diferents segons els autors que han generalitzat el seu ús. Per una banda inclouria les cavitats relacionades amb una alimentació hídrica profunda i, per tant, no directament lligades a la infiltració de les precipitacions meteòriques (KLIMCHOUK, 2007; FORD & WILLIAMS, 2007) com és el cas de les coves d'origen hidrotermal. Per altra banda, altres autors apliquen el terme *hipogè-*

*nic* per fer referència als buits originats per processos de dissolució diferents dels mecanismes de carstificació convencional associats a la presència de CO<sub>2</sub> atmosfèric i/o edàfic; en aquesta categoria entrarien les coves excavades per l'oxidació de H<sub>2</sub>S, o per aportacions de CO<sub>2</sub> d'origen profund relacionades també amb fenòmens hidrotermals (PALMER, 2007). És fàcil comprovar que el significat genètic d'ambdues accepcions se solapa àmpliament sobretot pel que fa a les coves hidrotermals, que han de ser considerades hipogèniques en les dues accepcions del terme, tant des del punt de vista hidrogeològic com des de la perspectiva dels processos químics implicats.

En els relleus centrals de l'illa es localitza una interessant cavitat, la Cova Nova de Son Lluís (Porreres), que presenta algunes morfologies que apunten cap a una possible gènesi hipogènica (GINÉS & GINÉS, 2006) relacionada amb les anomalies geotèrmiques documentades al sector meridional de Mallorca (LÓPEZ & MATEOS, 2006; LÓPEZ, 2007). Aquesta cavitat s'obre en materials plegats calcari-dolomítics atribuïts al Retià, i es caracteritza per la presència de cambres i cúpules coalescents de formes aproximadament esfèriques (Figura 4), que configuren els sectors superiors de la caverna. Les morfologies consistents en petites cambres isomètriques de fins a alguns metres de diàmetre, disposades sovint en estructures tridimensionals ramificades, són considerades formes característiques de la carstificació hidrotermal poc profunda (DUBLYANSKY, 2000, 2005) i estan relacionades freqüentment amb actius processos de condensació-corrosió induïts per la presència de llacs subterranis d'aigües termals (DUBLYANSKY & DUBLYANSKY, 2000; AUDRA *et al.*, 2009a).

Cal assenyalar que la Cova Nova de Son Lluís és l'única localitat de l'illa que mostra aquestes curioses morfologies. Emperò, el reconeixement d'altres indicis d'espeleogènesi hipogènica en l'endocarst litoral de la plataforma de Llucmajor –concretament a la Cova des Pas de Vallgornera, de la qual ens ocuparem més endavant– recolza la interpretació hidrotermal de les seves morfologies tan específiques.

## COVES DE LA FRANJA LITORAL

Aquesta quarta gran categoria està molt ben representada en algunes de les àrees càrstiques de Mallorca, en particular a la regió natural del Migjorn. Agrupa un interessant ventall de coves, l'origen i posterior evolució de les quals es troben condicionats, d'una manera directa o indirecta, per la proximitat a la línia de costa. Es diferencien tres tipus de coves costaneres, a més d'un subtipus addicional integrat dins del grup de cavitats generades a la zona de mescla litoral (Figura 1; Taules I i II).

### Coves de la zona de mescla costanera

Els materials calcaris del Miocè superior postorogènic del Sud i Llevant de Mallorca hostatgen nombroses cavernes que ofereixen unes característiques morfològiques peculiars i que han estat objecte d'atenció des de finals del segle XIX (MARTEL, 1896). Ja a partir de



les darreries del segle XX, s'ha anat suggerint un model genètic per a aquestes coves que contempla la formació d'uns buits inicials generats per dissolució en la zona freàtica litoral (GINÉS & GINÉS, 1992; GINÉS, 2000b; GINÉS *et al.*, 2008), on tenen lloc actius processos de dissolució com a conseqüència de la mescla entre aigües continentals dolces i aigües marines. El funcionament hidrogeològic d'aquests aquífers costaners s'apro-

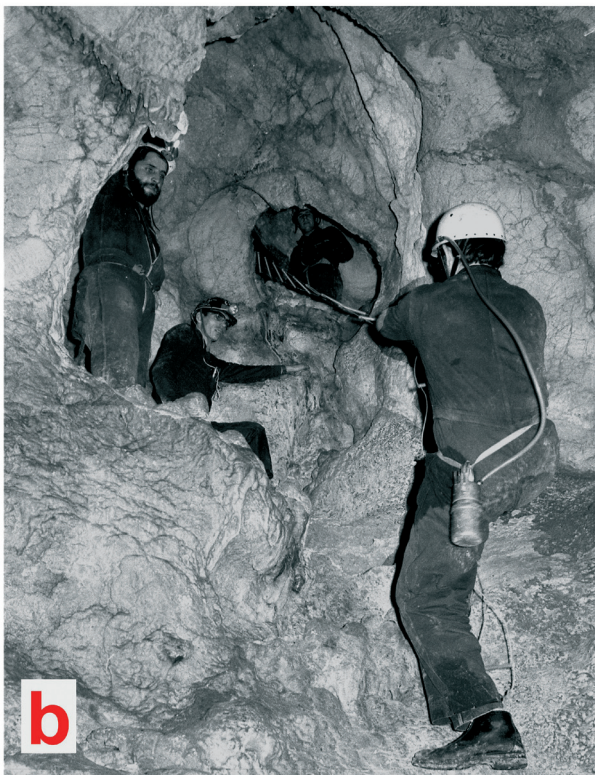
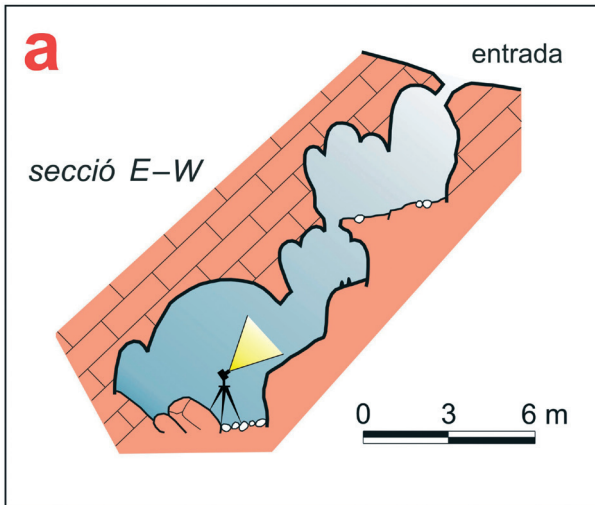


Figura 4: Cambres esfèriques de possible origen hipogènic observables a les parts superiors de la Cova Nova de Son Lluís (Porreres). a) secció longitudinal de la zona d'entrada de la cavitat. b) fotografia de la mateixa zona, presa des de la base dels desnivells inicials.

Figura 4: Spherical chambers of a possible hypogenic origin observed at the highest parts of Cova Nova de Son Lluís (Porreres). a) longitudinal profile along the entrance sector of the cave. b) picture of the same sector taken from the bottom of the entrance pits.

xima bastant al dels medis porosos en general, degut a la important porositat primària i l'elevada permeabilitat que presenten els materials carbonatats de la regió del Migjorn.

Les cavitats freàtiques primigènies experimentaren durant el Pleistocè successius esfondraments de les voltes i parets (GINÉS & GINÉS, 2007), afavorits per les davallades glacio-eustàtiques del nivell marí, els quals s'alternen al llarg del temps amb intenses fases d'estalagmitització. La notable rellevància que mostren els processos de col·lapse i reajustament mecànic de la massa rocosa condiciona gairebé del tot l'aparença actual d'aquest tipus de coves (Figura 5), al temps que és responsable de la seva obertura a l'exterior mitjançant enfonsaments en superfície, en ocasions ben vistosos. El patró planimètric de les coves resultants es més aviat ramiforme (PALMER, 2007), degut bàsicament a la coalescència gairebé aleatòria d'unitats volumètriques d'esfondrament més o manco independents (GINÉS & GINÉS, 2007). Aquest patró es troba fortament condicionat per la litologia dels materials del Miocè superior, mostrant-se amb molta claredat en les fàcies de front d'escull (GINÉS *et al.*, 2008, 2009b), dotades d'elevades porositat i permeabilitat com a conseqüència de la dissolució de les construccions de coralls.

Les oscil·lacions glacio-eustàtiques de la Mediterrània, al llarg del Quaternari, han marcat l'evolució morfològica d'aquestes coves costaneres, propiciant la presència de reompliments molt específics (espeleotemes freàtics, dipòsits detrítics litorals, bretxes ossíferes...) de gran valor espeleocronològic i paleoambiental (GINÉS & GINÉS, 1995). Finalment cal remarcar el fet que el nivell actual de la mar determina l'existència de llacs subterranis d'aigües salabroses (Figura 5), la superfície dels quals experimenta fluctuacions d'escala temporal reduïda com són les marees.

Les cavitats més il·lustratives de la tipologia descrita es localitzen al municipi de Manacor, concretament al sud de Portocristo, amb coves destacables com el sistema Pirata-Pont-Piqueta (TRIAS & MIR, 1977; GRÀCIA *et al.*, 2006), la Cova Genovesa o d'en Bessó (GRÀCIA *et al.*, 2003), o la Cova de sa Gleda (FORNÓS *et al.*, 1989; GRÀCIA *et al.*, 2007; GINÉS *et al.*, 2008). Però, sens dubte, l'exemple més clàssic i paradigmàtic està representat per les Coves del Drac, famosa cova turística del terme de Manacor, que compta amb una extensa bibliografia que en fa referència (veure GINÉS & GINÉS, 1992).

#### Xarxes freàtiques litorals amb fort control estructural.

Els condicionants litològics influeixen de manera decisiva en la configuració morfològica de les coves de la regió del Migjorn, tal i com ja s'ha esmentat poc abans. Així, mentre que a les fàcies de front de l'escull del Miocè superior dominen les formes de col·lapse relacionades amb la dissolució extensiva dels edificis coral·lins (GINÉS *et al.*, 2008, 2009b), en les fàcies corresponents a ambients sedimentaris de lagoon la permeabilitat associada a la fracturació adquireix major rellevància, en presentar aquests materials calcarenítics i calcisiltítics una porositat bastant més baixa. D'aquesta manera, algunes localitats com la Cova des Coll, a Felanitx (GRÀCIA *et al.*, 1997, 2005), constitueixen importants sistemes

freàtics litorals on hi són actius els processos geoquímics de mescla entre aigües dolces i marines, però on així mateix és ben patent un fort control estructural (diàclasi i fractures en general) en la disposició planimètrica de la xarxa subterrània. Es tractaria doncs, en aquest cas, d'un subtipus de cova de la zona de mescla litoral (Taula I), però caracteritzat per un patró planimètric rectilini força diferenciat. Amb molta menys freqüència, els plans d'estratificació poden assolir un paper important en el desenvolupament d'algunes cavitats litorals, com és el cas de la Cova Figuera, a Manacor.

### Xarxes freàtiques litorals amb influències hipogèniques

Els recents descobriments esdevinguts a la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor) han fet necessari establir una nova tipologia que donés compte de les especificitats de la citada cova, les quals es concreten en unes dades espeleomètriques insospitades per a l'endocars de Mallorca i en uns trets morfològics singulars en molts d'aspectes (MERINO *et al.*, 2006, 2007, 2008, 2009b; GINÉS *et al.*, 2008, 2009b). Aquesta xarxa subterrània presenta un desenvolupament actual superior als 63 km, essent possible distingir dues zones molt ben diferenciades dins el conjunt de sales i galeries que integren la

cavitat. Per una banda, els sectors més propers a la línia de costa mostren unes característiques molt semblants a la majoria de les coves del Migjorn de l'illa; predominen les gran sales d'esfondrament excavades a les fàcies d'escull dels materials del Miocè superior, així com extenses zones ocupades per aigües freàtiques salabroses (Figura 5). Per altra banda, els sectors interns de la cova estan constituïts per un extensíssim laberint de galeries, controlades estructuralment per importants fractures on predomina la direcció SW-NE. Ambdues zones, encara que molt diferents pel que fa a la seva morfologia, estan decorades per una profusió i varietat d'espeleotemes certament extraordinària (MERINO, 2006).

A més de la magnitud excepcional del sistema i del seu patró fortament laberíntic, les zones internes de la cova contenen una associació morfo-sedimentària que apunta cap a la participació de processos d'espeleogènesi hipogènica en l'excavació d'aquesta gran xarxa subterrània (GINÉS *et al.*, 2008, 2009a). Les morfologies més específiques –i fins ara no observades a altres cavitats de l'illa– són els canals ascendents de dissolució de diverses mides (Figura 6), assimilables a alguns dels *rising wall channels* de KLIMCHOUK (2007) o als *bubble trails* documentats per PALMER (2007) i AUDRA *et al.* (2009b, 2009c). Aquests tipus de formes són originats per fluxos ascendents d'aigües agressives, que tenen lloc en la zona epifreàtica en relació amb processos



Figura 5: Les grans sales d'esfondrament i la presència de llacs freàtics d'aigües salabroses són una constant morfològica en les coves litorals del Migjorn de Mallorca. Aspecte de les grans sales de col·lapse de la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor), desenvolupades en les fàcies d'escull del Miocè superior (Foto: Bogdan Onac).

Figure 5: Big breakdown chambers are ubiquitous in the littoral caves from Migjorn karst region, together with the presence of extensive phreatic brackish pools. General view of the great collapse chambers existing in Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor), developed in the Upper Miocene reef-front facies. (Photo: Bogdan Onac).



Figura 6: *Bubble trails* (esquerra) i canals ascendants de dissolució de major mida, localitzats a les galeries de les zones més internes de la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor). Es tracta de formes que evidencien la participació de processos d'espeleogènesi hipogènica en l'excavació d'aquesta excepcional xarxa subterrània. (Fotos: Antoni Merino).

Figure 6: *Bubble trails* (left) and wider solutional ascending channels located at the inner passages in Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor). They are features supporting the involvement of hypogene speleogenesis processes in the development of this exceptional cave. (Photos: Antoni Merino).

de desgasificació ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) d'aigües no meteoriques de procedència profunda.

La Cova des Pas de Vallgornera és, sense discussió, un cas força singular dins l'endocarst de Mallorca, que pareix obeir a l'actuació conjunta de diferents mecanismes espeleogenètics. En aquest sentit, a més dels processos de dissolució lligats a la zona de mescla costanera, existeixen evidències clares de la participació activa de mecanismes d'espeleogènesi hipogènica (GINÉS *et al.*, 2009a; MERINO *et al.*, 2009a), previsiblement associats als fenòmens geotermals documentats recentment a la plataforma de Llucmajor (LÓPEZ & MATEOS, 2006; LÓPEZ, 2007). Encara que no es disposa de proves concloents al respecte, cal esmentar també que tal vegada l'estrany desenvolupament topogràfic tridimensional que mostra bona part de la Cova de sa Guitarreta, també al municipi de Llucmajor (MIR, 1974), podria estar relacionat amb una alimentació hipogènica basal que originés l'ascens d'aigües agressives no meteoriques.

### Captures càrstico-marines

En una illa calcària com Mallorca, són ben freqüents les cavitats subterrànies que s'obren a les immediacions

de la línia de costa. En nombroses ocasions es tracta simplement de coves de gènesi marina excavades per l'acció erosiva –majoritàriament mecànica– lligada a la dinàmica litoral de les aigües marines. Aquesta classe de cavitats no és del nostre interès, donat que són fenòmens del tot aliens als mecanismes de carstificació.

Malgrat això, cal referir-se a una tipologia de coves, molt abundants als litorals de la nostra illa, que són el resultat d'una gènesi mixta relacionada amb el caràcter calcari de les costes rocoses mallorquines. Ens referim al que MONTORIOL-POUS (1971, 1972) denomina *captures càrstico-marines*, que consisteixen en cavitats d'un clar origen càrstic afectades en major o menor mesura pels processos d'erosió costanera. De vegades són clarament coves de gènesi càrstica, però amb l'orifici d'accés obert gràcies a la intervenció de la dinàmica litoral, tal i com succeeix a la Cova de na Barxa (ANDREWS *et al.*, 1989) i la Cova de na Mitjana (GINÉS *et al.*, 1975; GINÉS & GINÉS, 1993; GINÉS, 2000b), al municipi de Capdepera, o a la Cova de Cala Falcó (TRIAS & MIR, 1977; GINÉS, 2000b) i la Cova des Coloms 1 (TRIAS, 1992; GINÉS, 2000b), al municipi de Manacor. En altres ocasions, s'observen aparells endocàrstics pràcticament desmantellats del tot, per mor de l'evolució morfològica de la línia de costa; en aquest sentit, l'impressionant arc de la Cova Marina des Pont, a Manacor (TRIAS &

MIR, 1977), és un excel·lent exemple d'aquesta situació evolutiva. A l'interior d'aquestes cavitats litorals abunden els dipòsits sedimentaris, de vegades força complexos, on s'intercalen seqüències d'espeleotemes amb bretxes ossíferes i materials detrítics marins, constituint registres de gran interès espeleocronològic (GINÉS & GINÉS, 1995).

## Conclusions: distribució geogràfica de les tipologies proposades

Per tal de sintetitzar adequadament les observacions exposades fins ara, s'han elaborat diversos gràfics –als quals ja s'ha fet sovint referència al llarg de les pàgines precedents– que donen compte de les grans categories morfogenètiques proposades així com dels diferents tipus i subtipus de cavitats que s'hi distingeixen. Concretament, la Figura 1 ha pretès aportar una visió intuïtiva de com es distribueixen les diverses tipologies sobre un transecte idealitzat de Mallorca; aquest esquema intenta evidenciar l'acusada dicotomia geològica i geomorfològica que es dona entre les serralades alpines, on predominen els materials mesozoics, i la plataforma postorogènica del Migjorn.

Per altra banda la Taula I, a més de reflectir en detall la classificació proposada, inclou una valoració relativa del grau de representació dels distints tipus i subtipus de cavitats en les principals regions càrstiques de l'illa. Amb aquesta intenció s'expressa, per a cadascuna de les tipologies establertes, la seva *abundància* significativa o tan sols la *presència* ocasional. Quan una determinada tipologia és francament molt rara dins una regió concreta, ha estat considerada com a no present en ella; aquest criteri s'ha aplicat en gairebé tots els casos, amb l'excepció de les *coves hipogèniques* que compten amb tan sols dos exemples clars en dues regions distintes, però que suposen unes evidències espeleogenètiques del tot singulars.

Resulten molt evidents les diferències existents quant als tipus de cavitats representades en les diverses regions càrstiques de Mallorca (Taula I). Centrant-nos en les dues unitats naturals més radicalment diferenciades, es constata a la Serra de Tramuntana un domini dels *avencs vadosos* i de les *coves de la zona vadosa*, així com bons exemples de *coves freàtiques no litorals*. En contraposició, als materials del Miocè superior de la regió del Migjorn es mostren com a dominants les diverses tipologies de *coves de la franja litoral*, mentre que les altres categories tenen una representació molt pobre. És necessari deixar constància que la singularitat representada per la Cova des Pas de Vallgornera ens ha portat a individualitzar la plataforma de Lluçmajor, en la Taula I, segregant-la del conjunt de la regió del Migjorn; d'aquesta manera, en aquest subsector concret apareixen com a dominants les *xarxes freàtiques litorals amb influències hipogèniques*, degut a la presència de tan sols una cavitat, però d'excepcionals característiques morfològiques i espeleomètriques.

Quant a les Serres de Llevant, es pot observar l'existència de cavitats corresponents a totes les categories morfogenètiques, emperò sense una dominància clara de cap de les tipologies. No obstant això, convé remarcar la presència d'una *cova hipogènica*, possiblement relacionada amb els fenòmens geotermals de la zona meridional de Mallorca, al igual que succeeix amb l'endocarst de la plataforma de Lluçmajor.

Considerades de manera conjunta, els prop de tres milers de cavitats conegudes a Mallorca són de dimensions més aviat modestes, encara que unes poques coves de la regió del Migjorn superen àmpliament els 5 km de desenvolupament, comptant amb l'esmentat màxim de 63 km de la Cova des Pas de Vallgornera. La profunditat màxima que assoleixen les cavitats supera de molt poc els 300 m de desnivell, com succeeix a la Cova de sa Campana i a l'Avenc del Puig Caragoler, ambdues cavitats localitzades al terme d'Escorca. Malgrat les dimensions destacables d'algunes de les coves litorals de Mallorca, i la seva notable decoració d'espeleotemes, tal vegada l'aspecte més cridaner de l'endocarst de l'illa consisteix en els marcats fets diferencials que es donen entre les seves diverses regions naturals. Aquests fets diferencials es materialitzen per una banda en un bon exemple de carst mediterrani de mitja muntanya, a la Serra de Tramuntana, en contraposició amb un esplèndid carst eogenètic litoral desenvolupat en la plataforma postorogènica del sud i llevant de Mallorca.

## Agraïments

El present treball s'ha beneficiat de les discussions i intercanvis d'informació efectuats amb diversos amics i col·legues: Damià Crespi, Joan J. Fornós, Francesc Gràcia, Antoni Merino i Miquel Trias. Algunes fotografies ens han estat amablement subministrades per Antoni Merino, Bogdan Onac i Gabriel Santandreu.

Bona part de les tasques desenvolupades s'emmarquen dins del projecte d'investigació del *Ministerio de Ciencia e Innovación* - FEDER CGL2006-11242-C03-01/BTE. Cal fer constar, així mateix, el recolzament rebut de la Direcció General de Recursos Hídrics del Govern Balear, en particular d'Alfredo Barón, cap del Servei d'Estudis i Planificació.

## Bibliografia

- ALCOVER, J.A.; RAMIS, D.; COLL, J. & TRIAS, M. (2001): Bases per al coneixement del contacte entre els primers colonitzadors humans i la naturalesa de les Balears. *Endins*, 24: 5-57. Palma de Mallorca.
- ANDREWS, J.N.; GINÉS, A.; PONS-MOYÀ, J.; SMART, P.L. & TRIAS, M. (1989): Noves dades sobre el jaciment paleontològic de la Cova de na Barxa (Capdepera, Mallorca). *Endins*, 14-15: 17-25. Palma de Mallorca.
- AUDRA, P.; MOCOCHAIN, L.; BIGOT, J.Y. & NOBÉCOURT, J.C. (2009a): Hypogene cave patterns. In: KLIMCHOUK, A.B. & FORD, D.C. (eds.) *Hypogene speleogenesis and karst hydrogeology of artesian basins*. Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Special Paper 1: 17-22. Simferopol, Ucraïna.

- AUDRA, P.; MOCOCHAIN, L.; BIGOT, J.Y. & NOBÉCOURT, J.C. (2009b): Morphological indicators of speleogenesis: hypogenic speleogens. In: KLIMCHOUK, A.B. & FORD, D.C. (eds.) *Hypogene speleogenesis and karst hydrogeology of artesian basins*. Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Special Paper 1: 23-32. Simferopol, Ucraïna.
- AUDRA, P.; MOCOCHAIN, L.; BIGOT, J.Y. & NOBÉCOURT, J.C. (2009c): The association between bubble trails and folia: a morphological and sedimentary indicator of hypogenic speleogenesis by degassing, example from Adaouste Cave (Provence, France). *International Journal of Speleology*, 38 (2): 93-102. Bologna.
- BARRERES, M.; FERRERES, J. & CARDONA, F. (1976): La cueva de sa Campana y el karst de Castellots. *Speleon*, 22: 43-74. Barcelona.
- BENYSEK, L. (1988): Italy, Spain '87 [Cova dets Estudiants]. *Speleoforum*, 88: 51-52. Brno, República Txeca.
- BÖGLI, A. (1980): *Karst hydrology and physical speleology*. Springer-Verlag. 284 pàgs. Berlín.
- BOVER, P.; GINARD, A.; CRESPI, D.; VICENS, D.; VADELL, M.; SERRA, J.; SANTANDREU, G. & BARCELÓ, M.A. (2004): Les cavitats de la Serra de na Burguesa. Zona 6: la mineria a la Serra d'en Marill (Palma, Mallorca). *Endins*, 26: 59-82. Palma de Mallorca.
- CAÑIGUERAL, J. (1949): Las Cuevas de Campanet (Mallorca). *Ibérica*, 156: 178-182 199. Barcelona.
- CORRIGAN, J. (1998): Cave diving Mallorca style [Font des Verger]. *Caves & Caving*, 79: 24-25. Londres.
- DUBLYANSKY, Y.V. (2000): Hydrothermal speleogenesis: its settings and peculiar features. In: KLIMCHOUK, A.B.; PALMER, A.N.; FORD, D.C. & DREYBRODT, W. (eds.) *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. 292-297. Huntsville, USA.
- DUBLYANSKY, Y.V. (2005): Hydrothermal caves. In: CULVER, D.C. & WHITE, W.B. (eds.) *Encyclopedia of caves*. Elsevier, Academic Press. 300-305. Burlington, USA.
- DUBLYANSKY, V.N. & DUBLYANSKY, Y.V. (2000): The role of condensation in karst hydrogeology and speleogenesis. In: KLIMCHOUK, A.B.; PALMER, A.N.; FORD, D.C. & DREYBRODT, W. (eds.) *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. 100-112. Huntsville, USA.
- ENCINAS, J.A. (1972): Contribuyendo al estudio del karst del valle de Sant Vicenç de Pollença (Mallorca). *Espeleogénesis y espeleografía. Geo y Bio Karst*, 31: 15-22. Barcelona.
- ENCINAS, J.A. (1994): Últimas exploraciones. Balears. [Cova de Can Sion]. *Subterrànea*, 2: 5-6. Barcelona.
- ENCINAS, J.A. (1995): Es Crull de ses Termes. *Subterrànea*, 4: 27-29. Barcelona.
- ENCINAS, J.A. (2006): *Relación inventarial de subterráneos naturales de las Illes Balears, año 2006*. Ediciones JAES, Colección Tarsilbet, IV. 236 pàgs. Pollença, Mallorca.
- ENCINAS, J.A.; LLOBERA, M. & LLOBERA, P.J. (1974): Introducción a una clasificación espeleogenética de las cuevas y simas de Mallorca (Balears). *Endins*, 1: 3-10. Palma de Mallorca.
- FORD, D.C. & EWERS, R.O. (1978): The development of limestone cave systems in the dimensions of length and breadth. *Canadian Journal of Earth Science*, 15: 1783-1798.
- FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W. (2007): *Karst hydrogeology and geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd. 562 pàgs. Chichester, UK.
- FORNÓS, J.J.; PRETUS, J.L. & TRIAS, M. (1989): La Cova de sa Gleda (Manacor, Mallorca), aspectes geològics i biològics. *Endins*, 14-15: 53-59. Palma de Mallorca.
- GÈZE, B. (1953): La genèse des gouffres. *1er. Cong. Intern. Spéleol.* 2: 11-23. París.
- GINÉS, A. (1975): Relación actualizada de las cavidades más profundas de la isla de Mallorca. *Endins*, 2: 44-47. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. (2000a): Patterns of collapse chambers in the endokarst of Mallorca (Balearic islands, Spain). *Acta Carsologica*, 29 (2): 139-148. Ljubljana, Eslovènia.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1987): Características espeleológicas del karst de Mallorca. *Endins*, 13: 3-19. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1992): Las Coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes històrics y espeleogenéticos. *Endins*, 17-18: 5-20. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (2007): Eogenetic karst, glacioeustatic cave pools and anchialine environments on Mallorca Island: a discussion of coastal speleogenesis. *International Journal of Speleology*, 36 (2): 57-67. Bologna.
- GINÉS, A.; GINÉS, J. & PONS-MOYÀ, J. (1975): Nuevas aportaciones al conocimiento morfológico y cronológico de las cavernas costeras mallorquinas. *Speleon. Monografía I, V Symposium de Espeleología, Cuaternario*. Escola Catalana d'Espeleologia. 49-56. Barcelona.
- GINÉS, J. (1995): L'endocarst de Mallorca: els mecanismes espeleogenètics / Mallorca's endokarst: the speleogenetic mechanisms. In: GINÉS, A. & GINÉS, J. (eds.) *El karst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. *Endins*, 20 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 3: 71-86. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. (2000b): *El karst litoral en el levante de Mallorca: una aproximación al conocimiento de su morfogénesis y cronología*. Tesis Doctoral. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 595 pàgs + 29 làms. Inèdit.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1974): Estudio estadístico de las cavernas de Mallorca. *Endins*, 1: 11-16. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1989): El karst en las islas Baleares. In: DURÁN, J.J. & LÓPEZ, J. (eds.) *El karst en España*. Sociedad Española de Geomorfología, Monografía nº 4: 163-174. Madrid.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1993): Speleochronological approach to some coastal caves from Cap Vermell area in Mallorca island (Spain). *Proc. 11th Int. Congress Speleol.* 56-59. Beijing.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1995): Aspectes espeleocronològics del karst de Mallorca / Speleochronological aspects of karst in Mallorca. In: GINÉS, A. & GINÉS, J. (eds.) *El karst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. *Endins*, 20 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 3: 99-112. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (2006): La Cova Nova de Son Lluís (Porreres, Mallorca). Notes sobre aspectes històrics i geoespeleològics. *Endins*, 29: 5-24. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J.; BORRÀS, L. & GINÉS, A. (1980): Estudi geo-espeleològic del massís del Massanella (Escorca, Mallorca). 1- Les cavitats del Puig den Galileu. *Endins*, 7: 3-16. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J.; BORRÀS, L. & GINÉS, A. (1982): Estudi geo-espeleològic del massís del Massanella (Escorca, Mallorca). 3- Les cavitats del Puig de Massanella. *Endins*, 9: 3-13. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J.; MEDIAVILLA, M. & BORRÀS, L. (1985): Algunes cavitats del massís des Tossals (Escorca, Mallorca). *Endins*, 10-11: 13-20. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J.; FIOL, M. & GINÉS, A. (2006): Els avencs i el cançoner popular de Mallorca: algunes aportacions inèdites. *Endins*, 30: 83-86. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J.; FORNÓS, J.J.; TRIAS, M.; GINÉS, A. & SANTANDREU, G. (2007): Els fenòmens endocàrstics de la zona de Ca n'Olesa: la Cova de s'Ònix i altres cavitats veïnes (Manacor, Mallorca). *Endins*, 31: 5-30. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; GRÀCIA, F. & MERINO, A. (2008): Noves observacions sobre l'espeleogènesi en el Migjorn de Mallorca: els condicionants litològics en alguns grans sistemes subterranis litorals. *Endins*, 32: 49-79. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; MERINO, A. & GRÀCIA, F. (2009a): On the role of hypogene speleogenesis in shaping the coastal endokarst of southern Mallorca (Western Mediterranean). In: KLIMCHOUK, A.B. & FORD, D.C. (eds.) *Hypogene speleogenesis and karst hydrogeology of artesian basins*. Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Special Paper 1: 91-99. Simferopol, Ucraïna.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; MERINO, A. & GRÀCIA, F. (2009b): About the genesis of an exceptional coastal cave from Mallorca Island (Western Mediterranean). *The litholo-*

- gical control over the pattern and morphology of Cova des Pas de Vallgornera. In: WHITE, W.B. (ed.) *Proc. 15th Int. Congress Speleol.*, 1: 481-487. Kerrville, U.S.A.
- GRÀCIA, F.; WATKINSON, P.; MONSERRAT, T.; CLARKE, O. & LANDRETH, R. (1997): Les coves de la zona de ses Partions - Portocolom (Felanitx, Mallorca). *Endins*, 21: 5-36. Palma de Mallorca.
- GRÀCIA, F.; JAUME, D.; RAMIS, D.; FORNÓS, J.J.; BOVER, P.; CLAMOR, B.; GUAL, M.A. & VADELL, M. (2003): Les coves de Cala Anguila (Manacor, Mallorca). II: La Cova Genovesa o Cova d'en Bessó. Espeleogènesi, geomorfologia, hidrologia, sedimentologia, fauna, paleontologia, arqueologia i conservació. *Endins*, 25: 43-86. Palma de Mallorca.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; JAUME, D.; FORNÓS, J.J.; URIZ, M.J.; MARTÍN, D.; GIL, J.; GRÀCIA, P.; FEBRER, M. & PONS, G.X. (2005): La Cova des Coll (Felanitx, Mallorca): espeleogènesi, geomorfologia, hidrologia, sedimentologia, fauna i conservació. *Endins*, 27: 141-186. Palma de Mallorca.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; FORNÓS, J.J.; JAUME, D. & FEBRER, M. (2006): El sistema Pirata - Pont - Piqueta (Manacor, Mallorca): geomorfologia, espeleogènesi, hidrologia, sedimentologia i fauna. *Endins*, 29: 25-64. Palma de Mallorca.
- GRÀCIA, F.; FORNÓS, J.J.; CLAMOR, B.; FEBRER, M. & GAMUNDÍ, P. (2007): La Cova de sa Gleda I. Sector Clàssic, Sector de Ponent i Sector Cinc-Cents (Manacor, Mallorca): geomorfologia, espeleogènesi, sedimentologia i hidrologia. *Endins*, 31: 43-96. Palma de Mallorca.
- GRUP ESPELEOLÒGIC EST (1982): Avenc de s'Aigo (Escorca, Mallorca). *Endins*, 9: 37-40. Palma de Mallorca.
- GRUP ESPELEOLÒGIC EST (1986): S'Era d'Escorca (Escorca, Mallorca) i algunes cavitats veïnes. *Endins*, 12: 3-11. Palma de Mallorca.
- HESS, J.H. (2005): Pits and shafts. In: CULVER, D.C. & WHITE, W.B. (eds.) *Encyclopedia of caves*. Elsevier, Academic Press. 444-447. Burlington, USA.
- KLIMCHOUK, A.B. (2007): *Hypogene speleogenesis: hydrogeological and morphogenetic perspectives*. National Cave and Karst Research Institute. Special Paper 1. 106 pàgs. Carlsbad, New Mexico, USA.
- KLIMCHOUK, A.B.; FORD, D.C.; PALMER, A.N. & DREYBRODT, W. (2000): *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. 527 pàgs. Huntsville, USA.
- LLOPIS-LLADÓ, N. & THOMAS-CASAJUANA, J.M. (1948): La hidrologia càrstica de los alrededores de Campanet (Inca - Mallorca). *Miscelánea Almera*, 2ª parte. Publ. Inst. Geol. Dip. Prov. Barc., 7: 39-60. Barcelona.
- LÓPEZ, J.M. (2007): *Las manifestaciones hidrotermales del sur de Lluçmajor, Mallorca*. Memòria d'Investigació. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 132 pàgs. Inèdita.
- LÓPEZ, J.M. & MATEOS, R.M. (2006): Control estructural de las anomalías geotermicas y la intrusión marina en la plataforma de Lluçmajor y la cubeta de Campos (Mallorca). *Las aguas subterráneas en los países Mediterráneos*. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 17: 607-613. Madrid.
- MARTEL, E.A. (1896): Sous Terre. Cueva del Drach, a Majorque. *Ann. Club Alpin Franc.*, 23: 1-32. París.
- MERINO, A. (2006): Espeleotemas poco frecuentes y morfologías de corrosión hallados en la Cova des Pas de Vallgornera. *Endins*, 30: 49-70. Palma de Mallorca.
- MERINO, A.; MULET, A. & MULET, G. (2006): La Cova des Pas de Vallgornera: 23 kilòmetros de desarrollo topografiado (Lluçmajor, Mallorca). *Endins*, 30: 29-48. Palma de Mallorca.
- MERINO, A.; MULET, A.; MULET, G.; CROIX, A. & GRÀCIA, F. (2007): La Cova des Pas de Vallgornera (Lluçmajor, Mallorca): 40 kilòmetros de desarrollo topografiado. *Endins*, 31: 101-110. Palma de Mallorca.
- MERINO, A.; MULET, A.; MULET, G.; CROIX, A. & GRÀCIA, F. (2008): La Cova des Pas de Vallgornera (Lluçmajor, Mallorca): alcanza los 55 kilòmetros de desarrollo topográfico. *Endins*, 32: 33-42. Palma de Mallorca.
- MERINO, A.; FORNÓS, J.J. & ONAC, B.P. (2009a): Preliminary data on mineralogical aspects of cave rims and vents in Cova des Pas de Vallgornera, Mallorca. In: WHITE, W.B. (ed.) *Proc. 15th Int. Congress Speleol.*, 1: 307-311. Kerrville, U.S.A.
- MERINO, A.; MULET, A.; MULET, G.; CROIX, A. & GRÀCIA, F. (2009b): Cova des Pas de Vallgornera: an exceptional littoral cave from Mallorca Island (Spain). In: WHITE, W.B. (ed.) *Proc. 15th Int. Congress Speleol.*, 1: 522-527. Kerrville, U.S.A.
- MIR, F. (1974): La Cova de sa Guitarreta (Lluçmajor, Mallorca) i la importància de les seves condicions faunístiques. *IV Simposium Bioespeleologia*. Escola Catalana d'Espeleologia - Grup Espeleològic Pedraforca. 103-106. Barcelona.
- MIR, F. & TRIAS, M. (1973): Sobre el karst de la Cova de sa Campana i les seves concrecions excèntriques. *III Simposium Espeleologia*. Escola Catalana d'Espeleologia - Agrupació Científico Excursionista de Mataró. 53-70. Mataró, Barcelona.
- MONTORIOL-POUS, J. (1951): Los procesos clásticos hipogeos. *Rassegna Speleol. Italiana*, 3 (4): 119-129. Como.
- MONTORIOL-POUS, J. (1971): Nota sobre la gènesis de la Foradada (Conejera, Balears). *Geo y Bio Karst*, 28: 17-19. Barcelona.
- MONTORIOL-POUS, J. (1972): Estudio de una captura kàrstico-marina en la isla de Cabrera. *Acta Geológica Hispánica*, 6 (4): 89-91. Barcelona.
- MORRO, J.A. & MORRO, J.R. (1972): Cova de Cal Pessó. *II Simp. Metod. Espel. Topografía*. Escuela Catalana de Espeleología - S.I.E. del C.E.A. Com. VI j. 3 pàgs. Barcelona.
- MYLROIE, J.R. & MYLROIE, J.E. (2007): Development of the Carbonate Island Karst Model. *Journal of Cave and Karst Studies*, 69 (1): 59-75. Huntsville, USA.
- PALMER, A.N. (1991): Origin and morphology of limestone caves. *Geological Society of America Bulletin*, 103: 1-21.
- PALMER, A.N. (2007): *Cave Geology*. Cave Books. 454 pàgs. Dayton, Ohio, USA.
- PLOMER, T. & GINÉS, J. (2008): L'Avenc del Puig Caragoler (Escorca, Mallorca). *Endins*, 32: 11-22. Palma de Mallorca.
- PONS-MOYA, J.; MOYÀ-SOLÀ, S. & KOPPER, J.S. (1979): La fauna de mamíferos de la Cova de Canet (Esporles) y su cronología. *Endins*, 5-6: 55-58. Palma de Mallorca.
- RENAULT, P. (1967): Contribution à l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogénèse. Première partie. *Annales de Spéléologie*, 22 (2): 211-267. Moulis.
- RIPOLL, F. & ROCA, L. (1974): Algunas observaciones sobre sa Font des Verger y su funcionamiento hidrológico. *Endins*, 1: 21-24. Palma de Mallorca.
- ROMERO, M. (1975): Notícia de la Cova dets Estudiants (Sóller, Mallorca). *Endins*, 2: 35-37. Palma de Mallorca.
- THOMAS-CASAJUANA, J.M. & MONTORIOL-POUS, J. (1952a): Son Pou (Mallorca). *Speleon*, 3 (3): 109-130. Oviedo.
- THOMAS-CASAJUANA, J.M. & MONTORIOL-POUS, J. (1952b): Estudio geoespeleológico de las formaciones hipogeas de sa Teulada (Santa Margarita, Mallorca). *Speleon*, 3 (4): 159-182. Oviedo.
- TRIAS, M. (1979a): L'Avenc de ses Papallones. *Endins*, 5-6: 29-31. Palma de Mallorca.
- TRIAS, M. (1979b): Nota prèvia a l'estudi de les ceràmiques de la Cova des Diners. *Endins*, 5-6: 75-80. Palma de Mallorca.
- TRIAS, M. (1986): La Covota de sa Penya Rotja. *Endins*, 12: 13-18. Palma de Mallorca.
- TRIAS, M. (1992): Noves dades sobre la Cova des Coloms 1 (Manacor, Mallorca). *Endins*, 17-18: 21-23. Palma de Mallorca.
- TRIAS, M. & MIR, F. (1977): Les coves de la zona de Can Frasquet - Cala Varques. *Endins*, 4: 21-42. Palma de Mallorca.
- VICENS, D.; CRESPI, D.; BOVER, P.; GINARD, A.; VADELL, M. & BARCELÓ, M.A. (2005): Les cavitats de la Serra de na Burguesa. Zona 7: Les Coves del Pilar i les mines de guix (Palma, Mallorca). *Endins*, 27: 47-74. Palma de Mallorca.
- WHITE, W.B. & CULVER, D.C. (eds.) (2007): *Benchmark papers in karst science*. Karst Waters Institute. Special Publication, 11. 590 pàgs. Leesburg, USA.