

ASPECTES ESPELEOCRONOLÒGICS DEL CARST DE MALLORCA SPELEOCHRONOLOGICAL ASPECTS OF KARST IN MALLORCA

Joaquín GINÉS^{1 2} & Àngel GINÉS^{1 3}

Resum

Les illes carstificades són àrees geogràfiques excepcionals de cara a la realització de treballs espeleocronològics interdisciplinaris. Els estudis desenvolupats fins al present a Mallorca mostren que diverses circumstàncies, com ara el nivell de base fluctuant que afecta les illes —controlat per les oscil·lacions marines— o les tendències evolutives dels vertebrats endèmics fòssils que visqueren en medis insulars, poden proveir un marc cronològic molt útil per abordar l'estudi morfo-estratigràfic de les coves illenques i els seus sediments. Les fluctuacions pleistocèniques del nivell de la mar es mostren especialment significatives en aquest sentit: els canvis altimètrics en la situació de la línia de costa queden de vegades enregistrats, a l'interior de les coves càrstiques, per mitjà de la deposició d'espeleotemes freàtics, així com a través de la interacció de complexos canvis en les condicions geomorfològiques, hidrodinàmiques i geoquímiques que es donen a les zones càrstiques litorals. A tot això, hi hem d'afegir la gran rellevància que adquireixen els processos de formació d'espeleotemes en ambients climàtics com el mediterrani, amb la consegüent possibilitat de portar a terme programes de datacions absolutes mitjançant el concurs de mètodes físico-químics adequats (U/Th, ESR...).

Les dades espeleocronològiques disponibles sobre la nostra illa posen de manifest que les coves han sofert una escassa evolució morfològica durant el Pleistocè mitjà i superior. Per regla general, aquesta evolució recent de les cavitats càrstiques es limita a la deposició d'espeleotemes i de rebliments detrítics (bretxes ossíferes, graves, arenes) relacionats ambdós sovint amb les oscil·lacions pleistocèniques del nivell marí. Les fases principals de carstificació que originaren les coves de Mallorca es remunten amb bastant probabilitat al Pliocè, o fins i tot a la transició Miocè-Pliocè.

Abstract

The karstified islands are exceptional geographical areas with regard to speleochronological interdisciplinary works. Until now, the studies which have been carried out in Mallorca show that various circumstances such as the fluctuating base level that affect the islands —controlled by the sea oscillations— or the evolutionary trends of the endemic fossil vertebrates that lived in insular environments, can provide a very useful chronological framework in order to approach the morpho-stratigraphic study of insular caves and its sediments. The Pleistocene fluctuations of the sea level are specially significant in this sense: the altimetric changes concerning the situation of coast line are recorded inside some karstic caves by means of the deposition of phreatic speleothems, as well as through the interaction of complex changes in the geomorphological, hydrodynamical and geochemical conditions that are to be found in the coastal karstic areas. In addition to this, we have to point out the great relevance that the processes of speleothem formation acquire in climatic environments such as the case of the Mediterranean area; therefore, the possibility arises

1 Grup Espeleològic EST. Palma de Mallorca.

2 Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Ctra de Valldemossa km 7,5. E-07071 Palma de Mallorca.

3 Museu Balear de Ciències Naturals. Ctra Palma - Port de Sóller km 30. E-07100 Sóller (Mallorca).

of carrying out absolute dating programmes by means of the adequate physico-chemical methods (U/Th, ESR...).

The speleochronological data which are available on our island clearly show that the caves have undergone a scarce morphological evolution during the middle and upper Pleistocene. Generally speaking, the recent evolution of our karstic cavities is limited to the deposition of speleothems and detrital infillings (ossiferous breccias, gravels, sand) both of them often related to the Pleistocene oscillations of sea level. The main phases of karstification that originated Majorcan caves, in all probability go back to the Pliocene or even to the Miocene-Pliocene transition.

Introducció: illes carstificades i espeleocronologia

Les illes que posseeixen una constitució geològica de la qual formen part majoritària les calcàries presenten una bona varietat de fenòmens càrstics, que estimulen la realització d'estudis espeleocronològics especialment prometedors (GINÉS & GINÉS, 1986; 1993a). Diverses circumstàncies, les quals s'enumeraran a continuació, col·laboren en aquest sentit.

D'una banda els actius mecanismes morfogenètics que actuen en la línia de costa, en conjunció amb el progressiu desenvolupament dels processos de carstificació, produeixen un complicat ventall d'interferències molt específiques entre els modelats càrstic i litoral (Figura 1); obviament, les illes carstificades ofereixen una àmplia distribució espacial d'aquest interessant ambient geomorfològic. A l'argument citat cal afegir-n'hi un altre, no menys transcendent, representat per la component cronològica introduïda

Introduction: karstified islands and speleochronology

The islands that have a geological constitution mainly integrated by limestones, present a great variety of karstic phenomena that stimulate the fulfilment of speleochronological studies which are specially promising (GINÉS & GINÉS, 1986; 1993a). Several circumstances, that we will now enumerate, contribute in this sense.

On one hand, the active morphogenic mechanisms that take part in the coast line, together with the progressive development of karstic processes produce a complicated range of very specific interferences between karstic and littoral landforms evolution (Figure 1). Obviously, the karstified islands offer a wide spatial distribution of this interesting geomorphological environment. A further important point must be taken into account, represented by the chronological component introduced by the following fact: the sea level

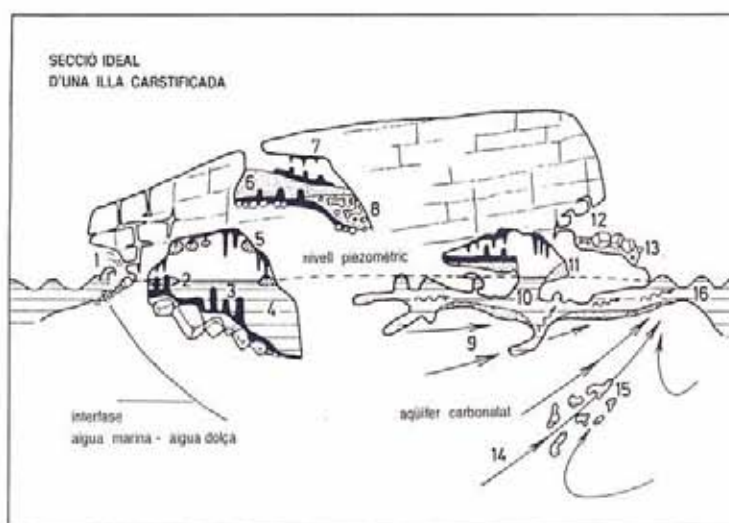


Figura 1: Interaccions entre carstificació i modelat litoral, que resulten interessants per a la realització d'estudis espeleocronològics.

1: Abrasió marina a prop d'una cova càrstica. 2: Cristallitzacions freàtiques. 3: Estalagmites submergides. 4: Llacs salobrosos. 5: Paleonivell de cristallitzacions freàtiques. 6: Arenes eòliques. 7: Estalagmitització aèria. 8: Bretxa amb ossos de vertebrats. 9: Flux de les aigües subterrànies. 10: Cavitat horitzontal activa. 11: Sediments argilosos. 12: Antiga cova marina. 13: Graves marines. 14: Zona de mescla (aigua marina - aigua dolça) subsaturada respecte a la calcita. 15: Cavitats de dissolució. 16: Surgència submarina.

Figure 1: Interactions between karstification and littoral landforms evolution, which are interesting for the achievement of speleochronological studies.

1: Marine abrasion near a karstic cave. 2: Phreatic crystallizations. 3: Submerged stalagmites. 4: Brackish cave-pools. 5: Phreatic crystallizations paleolevel. 6: Eolian sands. 7: Aerial stalagmitization. 8: Breccia with vertebrate bones. 9: Ground-water flow. 10: Active horizontal cave. 11: Clay sediments. 12: Ancient sea cave. 13: Marine gravels. 14: Mixing zone (sea water - fresh water) subsaturated with respect to calcite. 15: Solutional cavities. 16: Submarine spring.

experimented significant altimetric fluctuations during the Pleistocene that was responsible, among other effects, for successive shifts of the coast line, as well as repetitive immersions of karstic morphologies that before were located above the sea level.

pel següent fet: el nivell de la mar va experimentar durant el Pleistocè importants fluctuacions altimètriques que foren responsables, entre altres efectes, de successius desplaçaments de la línia de costa, així com de repetides immersions d'aparells càrstics que abans romanien per damunt el nivell marí.

D'altra banda les condicions d'insularitat promouen l'evolució diferenciada de la fauna que habita a les illes. Amb freqüència les tendències evolutives de certes espècies endèmiques queden enregistrades —en el cas dels vertebrats terrestres fòssils— amb relativa riquesa de dades en les estratigrafies observables a l'interior d'algunes coves illenques, intercalant-se ocasionalment bretxes ossíferes entre sediments i morfologies d'origen litoral.

Mereixen també menció especial els intensos processos de deposició d'espeleotemes que, interferint-se amb els altres mecanismes morfogènics ja esmentats, contribueixen a donar complexitat i a dotar de majors possibilitats l'estudi de l'endocarst en les illes calcàries.

Ens ocuparem a continuació amb més detall d'alguns aspectes espeleocronològics del carst de Mallorca, el qual constitueix sense dubte un exemple paradigmàtic de la variada casuística que tot just hem esbossat.

Algunes evidències geomorfològiques

Al llarg de tota la nostra illa són nombroses les formes endocàrstiques, les característiques de les quals denoten com és de dilatada i complexa la seva evolució morfogènica. En uns casos es tracta de cavitats que amb total claredat corresponen a uns condicionants geomorfològics radicalment diferents dels actuals, tal com assenyalen TRIAS *et al.* (1990) en referir-se a l'Avenc de Fra Rafel (Escorca). Altres vegades ens trobam davant coves amb importants conjunts sedimentaris, que inclouen restes paleontològiques, els quals posen de manifest la relativa gran antiguitat de les principals fases espeleogenètiques que es poden reconèixer a Mallorca; en aquest sentit, exemples com la Cova de Canet (Esporles) deixen ben establerta la cronologia pel cap baix pliocènica de l'excavació d'algunes cavitats (PONS-MOYÀ *et al.*, 1979).

En un context prou diferent, s'han de destacar les possibilitats espeleocronològiques que es deriven de l'estudi de les zones càrstiques litorals. Aquestes àrees es veuen sotmeses a intensos efectes erosius i sedimentaris —que són conseqüència directa de l'acció de les ones i del conjunt de la geodinàmica litoral— els quals interfereixen de diverses formes en l'evolució de les coves costaneres. Per exemple, graves i arenes d'origen marí, transportades per la mar o pel vent, es poden introduir dins les coves i incor-

On the other hand, insularity conditions favour a differentiated evolution of the fauna that inhabits the islands. The evolutionary trends of certain endemic species often remain registered —such as the case of terrestrial fossil vertebrates— with a relative richness of information in the stratigraphies that can be observed inside some insular caves, intercalating occasionally ossiferous breccias among sediments and morphologies from a littoral origin.

It is also worth mentioning the intense processes of speleothem deposition that by interferring with other morphogenic mechanisms mentioned above, contribute to give complexity and to provide greater possibilities for the study of endokarst in limestone islands.

We will now pay attention to some of the speleochronological aspects of karst in Mallorca, which constitutes, without doubt, a paradigmatic example of the varied casuistry that we have just outlined.

Some geomorphological evidence

*Throughout our island we encounter numerous endokarstic features whose characteristics indicate a very long and complex morphogenic evolution. In some cases, it concerns cavities that clearly correspond to geomorphological conditionings totally different from the present ones, such as TRIAS *et al.* (1990) point out when they refer to Avenc de Fra Rafel (Escorca). In other occasions we encounter caves with important sedimentary assemblages that include paleontological remains, which reveal the relative great antiquity of the main speleogenetic phases that can be acknowledged in Mallorca; in this sense, examples such as Cova de Canet (Esporles) allow to establish that excavation of some Majorcan caves goes back at least to Pliocene times (PONS-MOYÀ *et al.*, 1979).*

In a different context, we must point out the speleochronological possibilities that derive from the study of coastal karstic zones. These areas are subjected to intense erosive and sedimentary effects —that are a direct consequence of the waves action and of the whole of littoral geodynamics— which interfere in various ways in the evolution of coastal caves. For example, gravel and sand marine in origin, transported by the sea or by the wind, can penetrate inside the caves and contribute to their sedimentary record. It is frequent to observe morphologies of sea erosion in the entrances of littoral cavities; we are also able to observe that a great number of caves situated near the coast line are the result of the capture of caverns that —after having been formed through processes of karstic dissolution— have begun to be destroyed by mechanisms of littoral erosion (MONTORIOL-POUS, 1971; TRIAS, 1992).

porar-se al seu registre sedimentari. També és freqüent observar morfologies d'abració marina en les entrades de cavitats litorals, essent possible constatar com un gran nombre de les coves situades devora la línia de costa són el resultat de la captura de cavernes que —després d'haver-se format mitjançant processos de dissolució càrstica— han començat a ser destruïdes pels mecanismes d'erosió litoral (MONTORIOL-POUS, 1971; TRIAS, 1992).

És necessari fer referència ara a les oscil·lacions del nivell de la mar durant el Pleistocè, les quals porten implícites valuoses informacions cronològiques, que faciliten la datació de determinades paleoformes d'abració litoral o de sediments d'origen marí dotats d'un contingut faunístic i/o altimetria significatius. En aquest sentit, les fluctuacions glacioeustàtiques del nivell marí originen una àmplia gamma d'efectes geomorfològics, hidrològics i geoquímics que afecten les àrees costaneres de les illes carstificades; una sistematització de l'extens ventall d'interaccions existents entre els canvis del nivell de la mar i l'endocarsl litoral apareix recollida a la Taula I.

It is now necessary to refer to the oscillations of the sea level during Pleistocene times, which offer valuable chronological information that facilitate the dating of determined paleoforms of littoral erosion or of marine sediments which are endowed with a faunistic content and/or significant altimetry. In this sense, the glacio-eustatic fluctuations of the sea level originate a wide range of geomorphological, hydrological and geochemical effects that affect the coastal areas of the karstified islands; a systematization of the extense range of interactions that exist between sea level changes and the littoral endokarst, appears in Table I.

The eustatic oscillations do not only affect karst, considered as a passive object of the littoral dynamics. One must take into account that both the spring lines and the whole of the mixing zone between continental and sea waters are affected by alternative pulsations, and react by moving vertically according to sea level fluctuations. Therefore, the vicissitudes that occur in the sea level acquire an active role by conditioning preferential speleogenesis areas; in this

hidrologia	<ul style="list-style-type: none"> - control marí de la posició altimètrica del pla de les aigües freàtiques litorals - establiment de llacs d'aigües salobres en les coves costaneres, en relació amb les fluctuacions del nivell de la mar - el nivell de base marí controla les línies de drenatge de les aigües subterrànies i la localització de les surgències costaneres - es produeix dissolució freàtica de carbonats i creació de porositat, en la zona de mescla entre aigües continentals i marines 	<ul style="list-style-type: none"> - sea level controls water-table altimetric position in littoral areas - brackish pools are established in coastal caves, according to sea level fluctuations - sea controlled base level determines drainage flow paths of underground waters and likewise coastal springs location - phreatic solution of carbonates and porosity creation occur in coastal mixing zone between fresh and marine waters 	hydrology
morfogènesi	<ul style="list-style-type: none"> - control marí de les zones preferencials d'espeleogènesi - existència de coves de gènesi marina actuals, i/o corresponents a paleonivells de la mar - captura de cavitats càrstiques per part de mecanismes d'erosió litoral 	<ul style="list-style-type: none"> - sea level controls preferential zones of speleogenesis - present-day marine caves are common, as well as the ancient ones corresponding to sea paleolevels - karstic caves are often captured by littoral erosion mechanisms 	morphogenesis
reompliments de cavitats	<ul style="list-style-type: none"> - presència en coves costaneres de reompliments diversos d'origen marí i/o eòlic (graves, arenes marines o eòliques...) - té lloc la deposició freàtica de carbonats, en llacs hipogeus litorals controlats pel nivell marí actual o preterit - abundància d'estratigrafies complexes en les quals es barregen sediments litorals, bretxes càrstiques, restes paleontològiques i dipòsits estalagmítics 	<ul style="list-style-type: none"> - coastal caves lodge variegated infillings, marine and/or aeolian in origin (gravels, marine or aeolian sands...) - phreatic carbonate precipitation occurs in hypogean littoral pools, that are controlled by current or ancient sea levels - complex stratigraphies are abundant, and littoral sediments, karstic breccias, palaeontological remains and stalagmitic deposits intermingle there 	cavity infillings
espeleo-cronologia	<ul style="list-style-type: none"> - les cristallitzacions freàtiques de carbonats constitueixen un bon registre dels paleonivells marins pleistocènics interglacials - dipòsits estalagmítics vadosos, submergits en els llacs hipogeus actuals, enregistren esdeveniments climàtics que impliquen descensos del nivell marí - les formes endèmiques de vertebrats terrestres fòssils incloses en els sediments de cavernes costaneres, aporten valuoses dades estratigràfiques i cronològiques 	<ul style="list-style-type: none"> - phreatic carbonate crystallizations constitute a good record of pleistocene sea paleolevels, corresponding to interglacial episodes - vadose stalagmitic deposits drowned in present-day cave pools are evidences of past low sea level events - endemic species of fossil terrestrial vertebrates, included in coastal caves sediments, supply valuable stratigraphical and chronological data 	speleochronology

Taula I: Conseqüències geomorfològiques de les oscil·lacions del nivell marí sobre l'endocarsl litoral.

Table I: Geomorphological consequences of sea level oscillations on littoral endokarst.

Les oscil·lacions eustàtiques no es limiten a afectar el carst, entès com un simple objecte passiu de la dinàmica litoral. S'ha de tenir en compte que tant les línies de surgències, com el conjunt de la zona de mescla entre aigües continentals i marines, es veuen afectats per pulsacions alternants i reaccionen desplaçant-se en vertical al compàs de les fluctuacions del nivell de la mar. Així doncs, les vicissituds experimentades pel pla de les aigües oceàniques adquireixen un protagonisme actiu en condicionar zones preferencials d'espeleogènesi; en aquest aspecte, investigacions recents (BACK *et al.*, 1984) han demostrat que aquesta zona de mescla és particularment interessant des d'un punt de vista geoquímic, i que s'hi pot produir un increment important dels processos de dissolució càrstica en règim freàtic.

Una aproximació espeleocronològica a la geomorfologia càrstico-costera de les Balears es veu ben representada, entre d'altres, per la publicació de MONTORIOL-POUS (1961) referent a les cavitats de Cabrera. Seguint criteris semblants, GINÉS *et al.* (1975) associen algunes característiques morfològiques de dues coves de la costa oriental de Mallorca (Secret des Moix i Cova de na Mitjana) amb diversos paleonivells de la Mediterrània; a la vegada esbossen la història morfo-sedimentària d'ambdues cavitats durant el Pleistocè mitjà i superior.

Així mateix resulten d'interès els exemples disponibles de cavernes que allotgen fossilitzacions al·lòctones d'origen dunar. Es tracta d'arenas que, introduint-se per la boca de cavitats litorals, donen lloc a perfectes acumulacions còniques resultants de la deposició per gravetat dels materials arenosos. Esmentarem els dipòsits würmians presents a la Cova de sa Bassa Blanca (GINÉS & GINÉS, 1974), així com les arenas dunars del Riss que fossilitzen bona part de l'entrada del Secret des Moix (GINÉS *et al.*, 1975). Casos similars de reompliments subterranis integrats per materials eòlics ja s'havien assenyalat a les petites illes properes a Mallorca: ens referim a la duna del Riss (EGOZCUE, 1971) dipositada a l'interior de la Cova de sa Font (illa Dragonera), i als sediments arenosos de la Cova des Frare (illa de Cabrera) atribuïts al Pleistocè inferior (Calabrià) per MATEU *et al.* (1979).

El registre paleontològic

El desenvolupament progressiu de les formes endocàrstiques, unit en ocasions a l'activa dinàmica morfogènica que té lloc en les immediacions de la línia de costa, propicia que una certa proporció de cavitats restin comunicades amb l'exterior mitjançant obertures més o menys àmplies que poden ser utilitzades com a refugi per determinades espècies de vertebrats. Endemés, sovint, les entrades dels avencs o alguns sectors interiors de les coves actuen com a trampes, en el fons de les quals es van acara-

respect, recent investigations (BACK et al., 1984) have proved that this mixing zone is particularly interesting from a geochemical point of view, and that a significant increase of the karstic dissolution processes can take place in phreatic conditions.

A speleochronological approach to the geomorphology of karstic coastal areas in the Balearic Islands is well-documented by the publication of MONTORIOL-POUS (1961) among others, which refers to the cavities of Cabrera. Following a similar criteria, GINÉS et al. (1975) associate some morphological characteristics of two caves situated in the eastern coast of Mallorca (Secret des Moix and Cova de na Mitjana) with several paleolevels of the Mediterranean; at the same time, they outline the morpho-sedimentary history of both cavities during the middle and upper Pleistocene.

The available examples of caves which lodge allochthonous eolian fossilizations, present a remarkable interest. These sands that penetrate through the entrance of littoral cavities occasion perfect conical accumulations, which result from the gravitational deposition of the sandy material. We will mention the Würmian deposits from Cova de sa Bassa Blanca (GINÉS & GINÉS, 1974), as well as the Riss eolian sands that fossilize a great part of the entry of Secret des Moix (GINÉS et al., 1975). Similar cases of subterranean infillings integrated by eolian material had already been mentioned in the small islands near Mallorca; we are referring to the Riss dune (EGOZCUE, 1971) deposited in the interior of Cova de sa Font (Dragonera island), and the sandy sediments of Cova des Frare (Cabrera island) attributed to the lower Pleistocene (Calabrian) by MATEU et al. (1979).

The paleontological register

The progressive development of endokarstic phenomena, together with the active morphogenic dynamics that takes place in the surrounding areas of the coast line, propitiates that a certain proportion of littoral cavities becomes communicated with the exterior by means of quite wide openings that can be used as a shelter for determined vertebrate species. Besides, quite often, the entrances of the shafts or some sectors in the inner part of the caves act like traps, at the bottom of which remains of animals that have fallen accidentally get piled up. In any case, frequently the sediments of the caves include ossiferous breccias, resulting from the accumulation of vertebrate remains that are extinguished at present (Photo 1).

In addition to this, in the case of insular environments, the possibility that the vertebrates should present endemic forms emphasize even more the interest in the anatomical and morphometric study of the

mullant restes d'animals que hi han caigut de manera accidental. D'una forma o d'una altra, és bastant freqüent que els sediments de les coves incloguin bretxes ossíferes, producte de l'acumulació de restes de vertebrats que actualment es troben extingits (Foto 1).



Foto 1: Bretxa ossifera amb *Myotragus antiquus* del jaciment de la Cova des Fum (Sant Llorenç des Cardassar).

Photo 1: Ossiferous breccia with *Myotragus antiquus* from Cova des Fum site (Sant Llorenç des Cardassar).

Cal afegir, en el cas de les illes, la possibilitat que els vertebrats presentin formes endèmiques que accentuen encara més l'interès de l'estudi anatómic i morfomètric de les restes paleontològiques. En aquest sentit, les pròpies tendències evolutives que es puguin deduir a partir de l'estudi dels vestigis de vertebrats endèmics tenen un valor cronològic evident que s'ha de tenir en compte.

A Mallorca es disposa d'un ben conegut registre paleontològic de la fauna endèmica de mamífers. Les línies evolutives dels gèneres *Myotragus*, *Hypnomys* i *Nesiotites* posseeixen un valor crono-estratigràfic indubtable (Figura 2), que queda reflectit en la important obra d'ALCOVER *et al.* (1981); aquests autors reuneixen una síntesi convenientment actualitzada sobre les formes endèmiques de vertebrats plio-pleistocènics de les Illes Balears.

Ja que la major part dels jaciments paleontològics coneguts a la nostra illa corresponen a cavitats càrstiques, no és estrany que algunes estratigrafies especialment destacables de coves mallorquines —com la Cova de Canet (Esporles) i la Cova des Fum (Sant Llorenç des Cardassar)— s'hagin estudiat des d'un punt de vista crono-estratigràfic. Aquestes localitats inclouen materials de *Myotragus antiquus*, forma arcaica del gènere, que es pot situar en el Pliocè superior. Les datacions efectuades a la Cova de Canet, basades en el paleomagnetisme dels sediments, han contribuït a confirmar la cronologia pliocènica d'aquests dipòsits ossífers (PONS-MOYÀ *et al.*, 1979).

Determinades coves litorals com la Cova de na Barxa (Capdepera) presenten històries morfogèni-

paleontological remains. In this sense, the respective evolutionary trends that can be deduced from the study of the remains of endemic vertebrates, have an obvious chronological value which has to be taken into account.

In Mallorca there is a well-known paleontological register of their mammals endemic fauna. The evolutionary lines of the *Myotragus*, *Hypnomys* and *Nesiotites* genera possess an undoubtable chronostratigraphic value (Figure 2), which is reflected in the important work of ALCOVER *et al.* (1981); these authors assemble an up-to-date synthesis on the endemic forms of plio-pleistocenic vertebrates in the Balearic Islands.

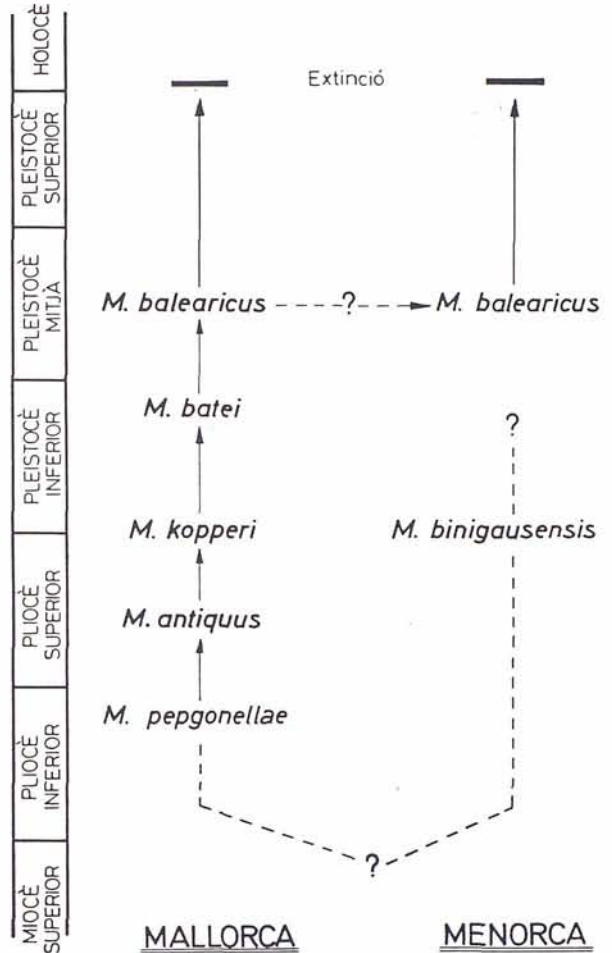


Figura 2: Probables línies evolutives del gènere *Myotragus*, a les illes de Mallorca i Menorca (segons ALCOVER *et al.*, 1981).

Figure 2: Probable evolutionary lines of the *Myotragus* genus in Mallorca and Menorca islands (according to ALCOVER *et al.*, 1981).

Since most of the well-known paleontological sites in our island correspond to karstic cavities, it is not surprising that some specially outstanding stratigraphies of Majorcan caves —such as Cova de Canet (Esporles) and Cova des Fum (Sant Llorenç des Cardassar)— have been studied from a chrono-

ques complexes, en les quals alternen episodis de sedimentació terrestre amb *Myotragus*, del Pleistocè superior, juntament amb processos de deposició d'espeleotemes i mecanismes d'erosió litoral (ANDREWS *et al.*, 1989).

Per acabar, convé consignar les abundants dacions disponibles sobre els materials procedents de la Cova de Muleta (Sóller), realitzades al llarg de prop de vint anys mitjançant tècniques de Carboni 14 i racemització d'aminoàcids (WALDREN, 1982). Aquesta localitat ha afavorit notablement el coneixement precís de les formes més recents dels vertebrats endèmics de Mallorca, fins al moment de la seva extinció coincidint amb l'arribada de l'home a les nostres illes.

Els espeleotemes

Els processos de deposició d'espeleotemes actuen de manera intensa en les coves càrstiques de climes temperats o càlids, com és el cas de Mallorca. Els productes resultants d'aquests processos queden integrats en les estratigrafies de les nostres coves illenques, intercalant-se entre materials sedimentaris de característiques molt diverses, alguns dels quals són d'origen marí.

Estratigrafies com la que ja hem esmentat de la Cova des Fum presenten restes paleontològiques amb *Myotragus antiquus*, així com sediments litorals amb foraminífers, inclosos en un complicat marc de potents colades estalagmítiques. GINÉS & FIOI (1981) reconstrueixen les vicissituds d'aquest jaciment en base a les dades paleontològiques i morfo-sedimentàries, fet que els permet situar el començament de la carstificació en aqueixa localitat pels voltants del final del Miocè.

La possibilitat d'obtenir datacions absolutes a partir de mostres d'espeleotemes, mitjançant l'ús de tècniques físico-químiques com les sèries d'Urani i les mesures d'ESR, deixa obert un camp molt suggestiu per a la consecució de dades espeleocronològiques precises sobre les coves càrstiques de Mallorca. Així ho posen de manifest investigacions com les ja citades d'ANDREWS *et al.* (1989), les quals aporten precisions cronològiques sobre les fases d'estalagmitització del Pleistocè superior i la seva relació estratigràfica amb l'important jaciment paleontològic existent en aquesta localitat.

La formació d'espeleotemes en les coves litorals presenta endemés interessants particularitats que s'han de tenir en compte, ja que les relacions altimètriques d'aquests dipòsits cristal·lins respecte a l'actual o a passats nivells de la mar són susceptibles de proporcionar valuoses informacions. Per exemple, espeleotemes aeris (com les estalagmites) no es poden desenvolupar quan una cova costanera resulta inundada per mor d'eventuals pujades del nivell freà-

stratigraphic point of view. These locations include Myotragus antiquus material, an archaic form of the genus that can be situated in the upper Pliocene. The dating carried out in Cova de Canet, based on the paleomagnetism of the sediments, has also contributed to confirm the pliocenic chronology of these ossiferous deposits (PONS-MOYÀ et al., 1979).

Certain littoral caves such as Cova de na Barxa (Capdepera) present a complex morphogenic history, in which episodes of terrestrial sedimentation, including Myotragus from the upper Pleistocene, alternate together with processes of speleothems deposition and mechanisms of littoral erosion (ANDREWS et al., 1989).

Finally, it is necessary to record the abundant chronological data available concerning the paleontological material from Cova de Muleta (Sóller), obtained throughout twenty years of using Carbon-14 and amino acids racemisation techniques (WALDREN, 1982). This locality has remarkably favoured the precise knowledge of the most recent forms of endemic vertebrates in Mallorca, up to their extinction with the arrival of Man to our islands.

Speleothems

The processes of speleothems deposition act intensely in karstic caves from areas of warm or temperate climates, such as the case of Mallorca. The resulting products of these processes are integrated in the stratigraphies of our insular caves, intermingling with sediments that have very diverse characteristics, some of which are marine in origin.

Stratigraphies such as the one lodged by Cova des Fum, which we have already mentioned, present paleontological remains with Myotragus antiquus as well as littoral sediments with foraminifera included in a complex framework of thick stalagmitic flowstones. GINÉS & FIOI (1981) reconstruct the vicissitudes of this site on the basis of the paleontological and morpho-sedimentary data, which allows them to situate the beginning of karstification in this locality around the end of the Miocene.

The possibility of obtaining absolute datings from the speleothem samples, through the use of physico-chemical techniques like the Uranium series and the measures of ESR, opens up a very suggestive field concerning the achievement of precise speleo-chronological data on the karstic caves in Mallorca. Investigations such as that published by ANDREWS et al. (1989) make this point clear by bringing forward chronological precision about stalagmitization phases of the upper Pleistocene, and its stratigraphic relationships with the important paleontological deposit that exists in this location.

The formation of speleothems in the littoral caves also presents interesting particularities which have to

tic, com les que es produïren durant els períodes interglacials. Així, la presència d'estalagmites submergides en els llacs de certes coves litorals implica la inundació parcial de la cavitat amb posterioritat a una fase d'estalagmitització aèria, la qual es correspon amb un descens del nivell marí lligat a un estadi climàtic de caire fred. Aquestes qüestions ja foren plantejades per JOLY & DENIZOT (1929) en observar les estalagmites submergides de les Coves del Drac (Manacor); així mateix, les datacions isotòpiques realitzades per HENNIG *et al.* (1981) sobre mostres de la Cova "A" de Cala Varques documenten la deposició d'espeleotemes aeris per sota del nivell marí actual, esdevinguda durant una etapa de descens relatiu de la mar Mediterrània.

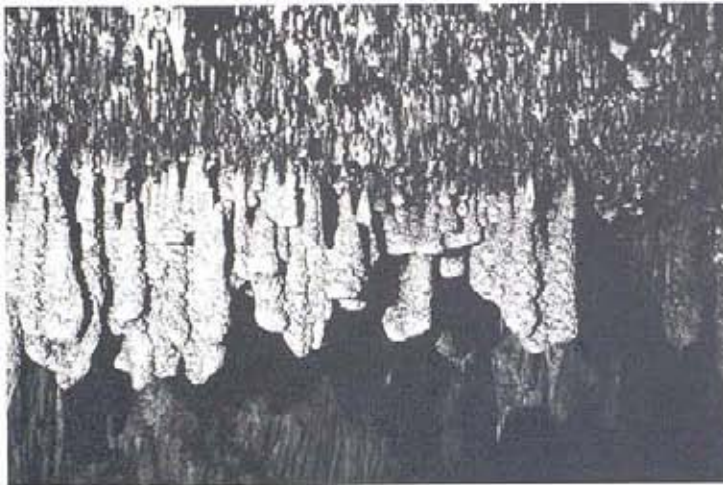


Foto 2:
Espeleotemes freàtics a les Coves del Drac (Manacor), que enregistren un nivell marí del Pleistocè superior.

Photo 2:
Phreatic speleothems in Coves del Drac (Manacor), that record an upper Pleistocene sea paleolevel.

Recentment diversos autors han descrit espeleotemes freàtics que delimiten paleonivells assolits per les aigües freàtiques, dins coves properes a les costes orientals de l'illa. Ja que la transcendència d'aquests fenòmens és notable, dedicarem un apartat independent als espeleotemes freàtics i a les seves implicacions cronològiques.

Espeleotemes freàtics i paleonivells marins

Un dels aspectes més cridaners de l'endocarst litoral de Mallorca és la presència d'espeleotemes freàtics. Aquest tipus de dipòsits és abundant en els llacs hipogeus de les nostres coves, en correspondència amb la cota actual de les aigües marines (POMAR *et al.*, 1979). De totes maneres, l'interès principal d'aquests processos de precipitació de carbonats està relacionat amb el següent fet: antigues fluctuacions positives del nivell de la mar —corresponents a episodis interglacials— han quedat enregistrades a l'interior de nombroses cavernes costaneres mitjançant alineacions rigorosament horitzontals d'espeleotemes freàtics (Fotos 2 i 3). La formació

be taken into account, since the altimetric relations of these crystalline deposits with respect to the present or past sea levels are capable of providing valuable information. For example, aerial speleothems (like stalagmites) cannot develop when a coastal cave is flooded due to eventual risings of the phreatic water-table, like the ones which took place during the interglacial periods. Therefore, the presence of stalagmites submerged in the pools of certain littoral caves involves the partial flooding of the cavity subsequent to a phase of aerial stalagmitization, which corresponds to a descent of the sea level connected with a cold climatic stage. These issues were brought forward by JOLY & DENIZOT (1929) on observing submerged stalagmites in Coves del Drac

(Manacor); likewise, the isotopic dating carried out by HENNIG *et al.* (1981) on samples from Cova "A" de Cala Varques establishes the deposition of aerial speleothems below the present sea level, during a stage of relative descent of the Mediterranean sea.

Recently, several authors have described phreatic speleothems that delimit paleolevels attained by phreatic waters, in caves near the eastern coast of the island. Since the importance of these phenomena is notable, we will dedicate an independent section to phreatic speleothems and their chronological involvement.

Phreatic speleothems and marine paleolevels

One of the most outstanding aspects of the littoral endocarst in Mallorca is the presence of phreatic speleothems. This kind of deposits is frequent in the hypogeum pools of our caves, in correspondence with the current level of sea waters (POMAR *et al.*, 1979). In any case, the main interest of these processes of carbonate precipitation is related to the following fact: ancient positive

d'aquest tipus de dipòsits cristal·lins està lligada a paleonivells assolits per la superfície de les aigües freàtiques, com a conseqüència de les oscil·lacions glacioeustàtiques marines (GINÉS & GINÉS, 1974; GINÉS *et al.*, 1981a; POMAR *et al.*, 1987).

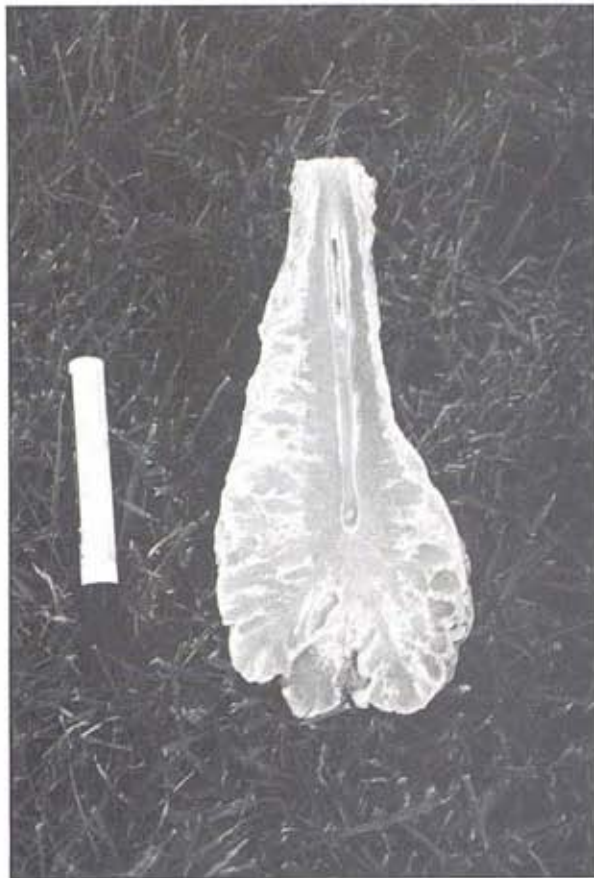


Foto 3: Secció d'un espeleotema freàtic procedent de les Coves del Drac (Manacor). Observi's l'estalactita aèria que serveix de suport al sobrecreixement cristal·lí subaquàtic.

Photo 3: Longitudinal section of a phreatic speleothem from Coves del Drac (Manacor). We can observe the aerial stalactite that acts as support to the crystalline underwater overgrowth.

Els espeleotemes freàtics de les coves mallorquines ofereixen una gran varietat morfològica, textural i mineralògica, com es posa de manifest en els treballs de GINÉS *et al.* (1981b) i POMAR *et al.* (1976). Aquests autors insinuaven ja el significat paleoclimàtic de la seva mineralogia, en relacionar la presència d'aragonita amb ambients càlids que, en els sediments marins, es tradueixen en l'aparició de la fauna malacològica termòfila característica de l'Eutirrenià (interglacial Riss - Würm).

En el cas de Mallorca s'han constatat nombrosos paleonivells de cristal·litzacions freàtiques, situats entre l'actual nivell de la mar i la cota de +40 metres (Figura 3). En alguns treballs s'ha apuntat la possibilitat de correlacionar altimètricament aquests dipòsits amb antigues línies de costa del Pleistocè mitjà i su-

*fluctuations of the sea level —corresponding to interglacial periods— have been recorded inside numerous coastal caves by means of strictly horizontal alignments of phreatic speleothems (Photos 2 and 3). The formation of this kind of crystalline deposits is related to paleolevels attained by the ground water-table, as a result of glacial-eustatic sea oscillations (GINÉS & GINÉS, 1974; GINÉS *et al.*, 1981a; POMAR *et al.*, 1987).*

*The phreatic speleothems of the Majorcan caves offer a great morphological, textural and mineralogical variety, that is showed in several publications (GINÉS *et al.*, 1981b; POMAR *et al.*, 1976). These authors pointed out the paleoclimatic significance of their mineralogy, by relating the presence of aragonite to a warm event which, in marine sediments, results in the appearance of malacological thermophile fauna typical of the Eutyrrhenian (interglacial Riss - Würm).*

In the case of Mallorca, a great number of phreatic crystallizations paleolevels have been observed between the current sea level and +40 meters above (Figure 3). In some papers, it has been considered the possibility of correlating altimetrically these deposits with ancient coast lines corresponding to the middle and upper Pleistocene, identified in the exterior by means of the stratigraphic and paleontological study of the fossil pleistocenic beaches of our island, which are well-known due to Quaternary investigators such as BUTZER (1975) and CUERDA (1975).

Following the above mentioned argumentation, GINÉS & GINÉS (1974) suggested that the phreatic crystallizations situated 30 meters above the present sea level should go back to the interglacial Mindel - Riss at least. The absolute datings carried out on this kind of speleothems, which we will give further details later on, confirms that these higher paleolevels belong to the stages 9 or 11 of marine oxygen isotope record, since they bring forward ages over than 300 ka.

The possibilities that derive from the geochronological study of phreatic speleothems situated in the coastal caves of Mallorca are quite promising, as regards to a better knowledge of the recent history of the oscillations experimented by the Mediterranean sea level.

Absolute datings

The modern incorporation of physico-chemical dating techniques to the speleochronology field, enables to give further precision to the previously obtained chronologies by means of stratigraphical, geomorphological or paleontological approximations. We will briefly deal with the available data on this topic concerning Majorcan karst.

The abundant datings carried out through Carbon-14 method on material collected from

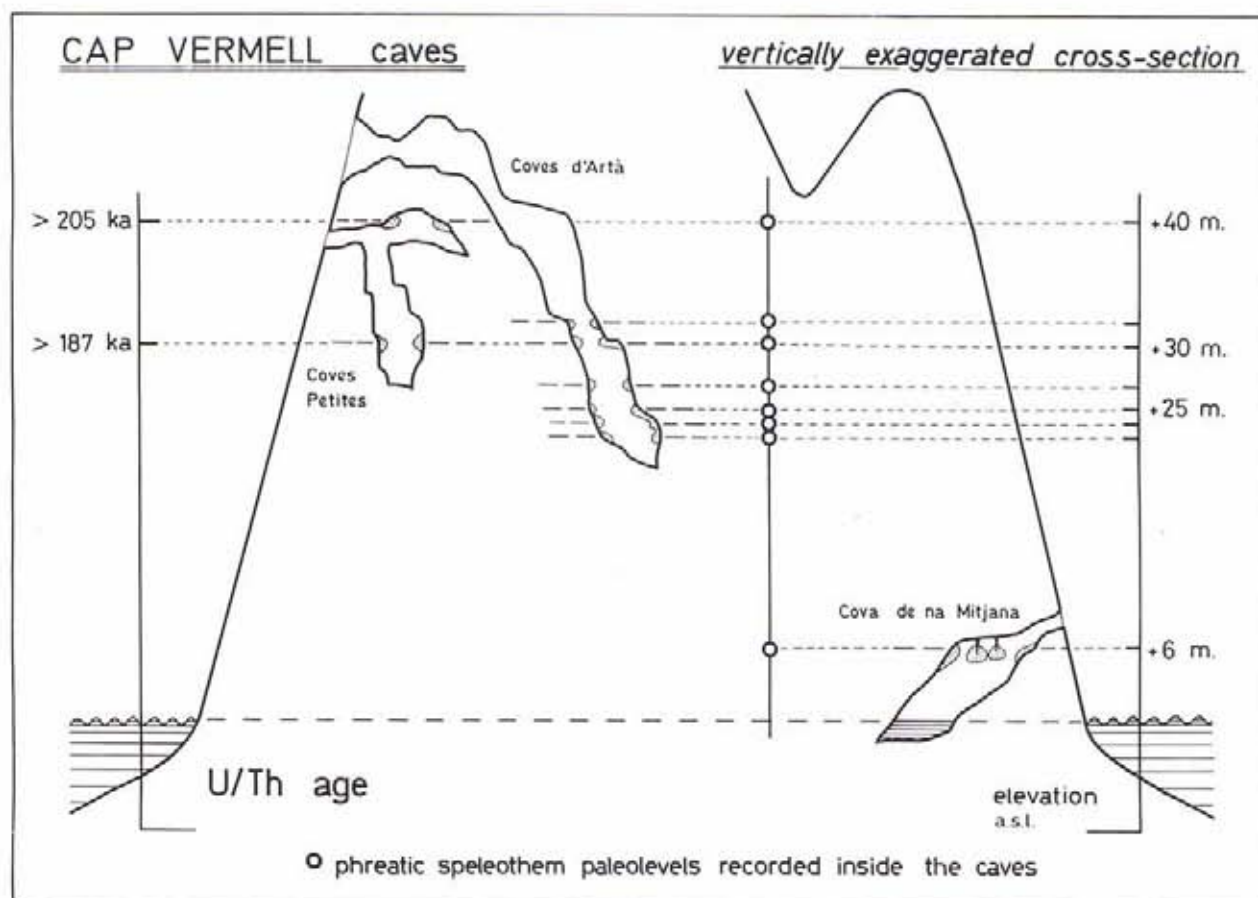


Figura 3: Alineacions horitzontals d'espeleotemes freàtics presents en les cavitats del Cap Vermell (Capdepera), representades sobre una secció transversal exagerada verticalment. Aquests dipòsits són un excel·lent registre dels paleonivells de la mar Mediterrània corresponents a episodis interglacials del Pleistocè mitjà i superior. (U/Th age = edat obtinguda mitjançant el mètode U/Th)

Figure 3: Horizontal alignments of phreatic speleothems occurring in Cap Vermell cavities (Capdepera). These deposits are an excellent record of Mediterranean sea paleolevels, which correspond to interglacial episodes that took place during the middle and upper Pleistocene.

perior, reconegudes a l'exterior mitjançant l'estudi estratigràfic i paleontològic de les platges fòssils pleistocèniques de la nostra illa, les quals són ben conegudes gràcies a les investigacions de quaternaristes com BUTZER (1975) i CUERDA (1975).

En aquesta línia, GINÉS & GINÉS (1974) suggereixen que les cristallitzacions freàtiques situades a més de 30 metres per damunt del present nivell marí s'haurien de remuntar almenys a l'interglacial Mindel-Riss. Les datacions absolutes realitzades sobre aquest tipus d'espeleotemes, de les quals es parlarà a continuació amb més detall, confirmen la pertinença d'aquests paleonivells més elevats als estadis 9 o 11 del registre marí d'isòtops d'oxigen, ja que aporten edats superiors als 300.000 anys.

Les possibilitats que es deriven de l'estudi geocronològic dels espeleotemes freàtics presents en les coves litorals de Mallorca són bastant prometedores, de cara sobre tot al millor coneixement de la història recent de les oscil·lacions experimentades pel nivell de la mar Mediterrània.

archeological and paleontological sites, such as Cova de Muleta (WALDREN, 1982) have provided a lot of information as regards to the holocenic forms of terrestrial endemic vertebrates of our island, as well as their extinction due to the arrival of Man.

Going back in time, the paleomagnetism measures performed by J.S. KOPPER in Cova de Canet (PONS-MOYÀ et al., 1979) have contributed to fix the chronology of some of the most primitive forms of the *Myotragus* genus, in particular *M. antiquus*, an archaic species that can be situated in the upper Pliocene. These works clearly reveal the great antiquity of speleogenesis that originated the mentioned cave.

We have a similar case of application of isotopic geochronological techniques to the study of paleontological deposits, represented by the U/Th datings carried out on stalagmitic flowstones of Cova de na Barxa (ANDREWS et al., 1989). The mentioned locality contains two ossiferous breccias with *Myotragus*, which belong to the upper Pleistocene.

Les datacions absolutes

La moderna incorporació al camp de l'espeleo-cronologia de les tècniques de datació per mètodes físico-químics permet donar precisió a les cronologies prèviament obtingudes mitjançant aproximacions estratigràfiques, geomorfològiques o paleontològiques. Repassarem ara breument les dades d'aquest tipus disponibles respecte al carst de Mallorca.

Les nombroses datacions realitzades amb el mètode del Carboni 14 sobre materials de jaciments arqueològics i paleontològics, com la Cova de Muleta (WALDREN, 1982), han proporcionat abundants informacions referents a les formes holocèniques dels vertebrats terrestres endèmics de la nostra illa, així com sobre la seva extinció per mor de l'arribada de l'home.

Remuntant-nos molt més enrera en el temps, les mesures de paleomagnetisme efectuades per J.S. KOPPER en la Cova de Canet (PONS *et al.*, 1979) han contribuït a fixar la cronologia d'alguna de les formes més primitives del gènere *Myotragus*, concretament del *M. antiquus* espècie arcaica que es pot situar en el Pliocè superior. Aquests treballs palesen amb claredat la gran antiguitat de l'espeleogènesi que donà origen a l'esmentada cova.

Un cas semblant d'aplicació de tècniques de datació absoluta a l'estudi de dipòsits paleontològics el tenim en les investigacions portades a terme, mitjançant el mètode U/Th, sobre colades estalagmítiques de la Cova de na Barxa (ANDREWS *et al.*, 1989). El jaciment esmentat conté dues bretxes ossíferes amb *Myotragus*, que pertanyen al Pleistocè superior.

Han estat molt prometedors els resultats del primer programa de datacions d'espeleotemes freàtics relacionats amb paleonivells de la Mediterrània. Les anàlisis realitzades utilitzant el mètode de les sèries d'Urani han confirmat el model cronològic, proposat prèviament en base a correlacions altimètriques entre espeleotemes freàtics i dipòsits de platja pleistocènics (GINÉS & GINÉS, 1974). Els resultats d'aquest programa de datacions absolutes donen unes antiguitats que oscil·len entre els 3.900 anys (cristal·litzacions clarament postglacials) i edats superiors als 350.000 anys, ja en el límit de les possibilitats del mètode (HENNIG *et al.*, 1981; GINÉS & GINÉS, 1989, 1993b). Les cristal·litzacions freàtiques d'edats inferiors als 250.000 anys es correlacionen bé amb els esdeveniments climàtics que impliquen un nivell marí similar o superior a l'actual (estadis 1, 5 i 7 corresponents a pulsacions de tipus càlid); les mostres que donen edats superiors als 300.000 anys s'han d'adscriure almenys als estadis 9 o 11 del registre marí d'isòtops d'oxigen establert per SHACKELTON & OPDYKE (1973).

Per acabar, esmentarem que GRÜN (1986) ha aplicat les tècniques d'ESR a la datació d'espeleote-

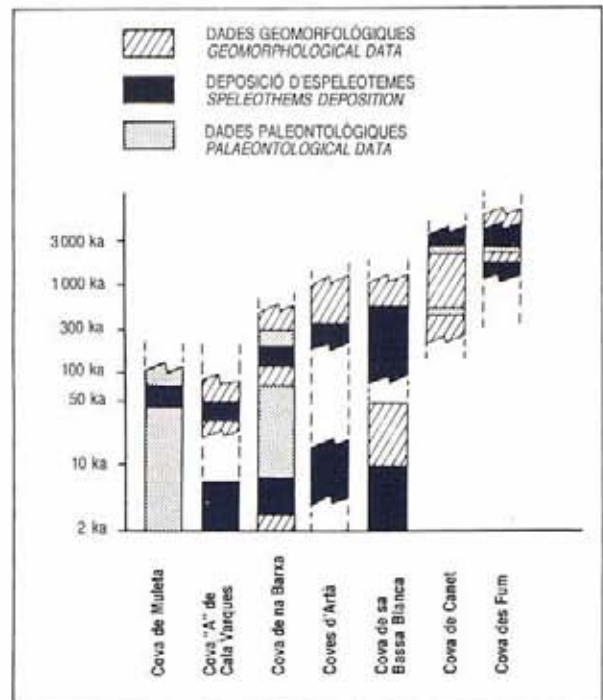


Figura 4: Representació gràfica que integra les dades espeleocronològiques subministrades per algunes coves significatives de Mallorca.

Figure 4: Graphic representation integrating speleochronological data provided by some significant caves in Mallorca.

*The results of the first dating programme of phreatic speleothems related to Mediterranean sea paleolevels have been very promising. The analysis carried out using the Uranium series method have confirmed the chronological model, previously put forward with regard to altimetric correlations between phreatic speleothems and beach pleistocenic deposits (GINÉS & GINÉS, 1974). The results of this absolute dating programme show ages that ranges from 3.9 ka (clearly post-glacial crystallizations) to above 350 ka, reaching the limits of the possibilities of this method (HENNIG *et al.*, 1981; GINÉS & GINÉS, 1989, 1993b). The phreatic crystallizations with ages below 250 ka are well-correlated with the climatic events that involve a sea level similar or higher to the present-day one (stages 1, 5 and 7 which correspond to warm pulsations); the samples that reveal ages above 300 ka have to be assigned at least to the stages 9 or 11 of marine oxygen isotope record established by SHACKELTON & OPDYKE (1973).*

Finally, we will mention that GRÜN (1986) has applied the ESR techniques to speleothem dating in Cova de sa Bassa Blanca (Aicúdia). This author suggest that the complicated sequence of chemical deposits analyzed —the vast majority of them phreatic in origin— includes a lapse of time that goes from 700 ka until 200 ka B.P.

mes de la Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia). Aquest autor proposa que la complicada seqüència analitzada de dipòsits químics —majoritàriament d'origen freàtic— abraça un lapsus de temps que va des dels 700.000 fins als 200.000 anys B.P.

Conclusions

És evident que medis morfològics i sedimentaris integrats per les coves de certes illes carstificades, com és el cas de Mallorca, són molt adequats per a les investigacions espeleocronològiques interdisciplinàries (Figura 4). En la nostra illa, es mostren molt interessants les dades aportades pels dipòsits d'es-

Conclusions

It is obvious that morphological and sedimentary environments represented by the caves of certain karstified islands, such as the case of Mallorca, are very adequate for speleochronological interdisciplinary investigations (Figure 4). Among the available data on our island, are of great interest the informations provided by the deposits of phreatic speleothems, associated to Pleistocene paleolevels of the Mediterranean sea; some complex stratigraphic sequences are also instructive, which include ossiferous breccias of vertebrate plio-pleistocenic fauna —intercalated with stages of speleothem deposition— and that are often mixed

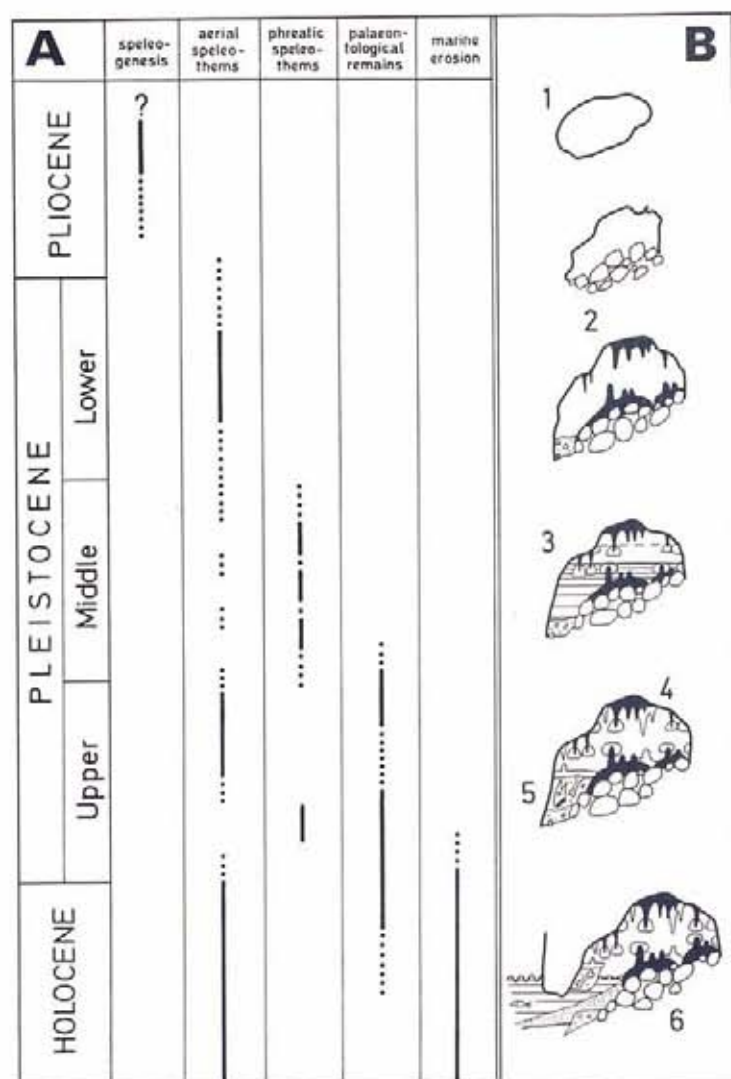


Figura 5:

A: Reconstrucció cronològica dels processos morfogenètics implicats en l'evolució de les coves del Cap Vermell (Capdepera).

(*speleogenesis* = espeleogènesi; *aerial speleothems* = espeleotemes aeris; *phreatic speleothems* = espeleotemes freàtics; *palaeontological remains* = restes paleontològiques; *marine erosion* = erosió marina)

B: Aparència morfològica general de les coves estudiades en els diferents moments de la seva evolució. 1: Excavació d'una xarxa inicial de buits freàtics. 2: Els processos d'ensorrament de parets i voltes alternen amb fases d'estalagmitització aèria. 3: Diversos episodis de formació de cristallitzacions freàtiques es corresponen amb paleonivells de la Mediterrània durant el Pleistocè mitjà. 4: Continuen els processos d'estalagmitització aèria, alternant amb etapes de generació de cristallitzacions freàtiques. 5: S'acumulen restes paleontològiques de vertebrats endèmics a l'interior d'algunes cavernes. 6: Mecanismes recents d'erosió i sedimentació marina afecten les cavitats costaneres.

Figure 5:

A: Chronological reconstruction of morphogenetic processes involved in the evolution of Cap Vermell caves (Capdepera).

B: General morphological appearance of the caves studied in different moments of their evolution. 1: Excavation of an initial network of phreatic voids. 2: Processes of wall and vault collapse alternate with aerial stalagmitization phases. 3: Several formation episodes of phreatic crystallizations correspond to Mediterranean paleolevels during the middle Pleistocene. 4: Processes of aerial stalagmitization continue, which alternate with stages of phreatic crystallizations generation. 5: Paleontological remains of endemic vertebrates accumulate in the interior of some caverns. 6: Recent erosional and sedimentary mechanisms, marine in origin, affect coastal cavities.

peleotemes freàtics associats a paleonivells pleistocènics de la Mediterrània; igualment instructives són algunes complexes seqüències estratigràfiques, les quals inclouen bretxes ossíferes de fauna vertebrada plio-pleistocènica intercalades entre episodis de deposició d'espeleotemes i que, sovint, es barregen amb sediments i morfologies d'erosió litoral. Les

with littoral sediments and/or marine erosional morphologies. The modern techniques of absolute dating (U/Th, ESR, paleomagnetism...) have contributed to precise even more the general chronological framework obtained through geomorphological and conventional chronostratigraphic methods.

modernes tècniques de datació absoluta (U/Th, ESR, paleomagnetisme...) han contribuït a precisar més encara el marc cronològic general obtingut mitjançant els mètodes geomorfològics i crono-estratigràfics convencionals.

Les dades espeleocronològiques disponibles sobre el nostre entorn geogràfic, demostren que durant el Pleistocè mitjà i superior les cavitats subterrànies mallorquines han experimentat una evolució morfològica escassa. Aquesta evolució es limita, per regla general, a fossilitzacions autòctones (espeleotemes) o al·lòctones (bretxes ossíferes i materials detrítics marins o dunars) relacionades molt sovint amb les oscil·lacions glacioeustàtiques de la Mediterrània (Figura 5). Fins ara, les dades obtingudes en la nostra illa suggereixen que l'edat dels màxims més recents de carstificació i espeleogènesi es remunta, amb tota probabilitat, al Pliocè o fins i tot a la transició Miocè - Pliocè.

Agraïment

Aquest treball forma part del projecte d'investigació de la DGICYT número PB94-1175.

Bibliografia / References

- ALCOVER, J. A.; MOYÀ-SOLÀ, S. & PONS-MOYÀ, J. (1981): *Les quimeres del passat. Els vertebrats fòssils del Plio-Quaternari de les Balears i Pitiüses*. Editorial Moll. Monografies Científiques, 1. 261 pàgs. 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.
- BACK, W.; HANSHAW, B. B. & VAN DRIEL, J. N. (1984): Role of groundwater in shaping the eastern coastline of the Yucatan Peninsula, Mexico. In: LAFLEUR, R. G. (Ed.): *Groundwater as a Geomorphic Agent*. Allen & Unwin Inc. 281-293. Boston.
- BUTZER, K. W. (1975): Pleistocene littoral-sedimentary cycles of the Mediterranean basin: a Mallorquin view. In: BUTZER, K. W. & ISAAC, G. L. (Ed.): *After the Australopithecines: stratigraphy, ecology and culture change in the Middle Pleistocene*. 25-71. Chicago.
- CUERDA, J. (1975): *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Instituto de Estudios Baleáricos. 304 pàgs. Palma de Mallorca.
- EGOZCUE, J. J. (1971): Estudio del cono de materiales alóctonos de la Cova de sa Font. *Speleon*, 18 : 49-53. Barcelona.
- GINÉS, A. & FIOL, L. (1981): Estratigrafia del yacimiento de la Cova des Fum (Sant Llorenç, Mallorca). *Endins*, 8 : 25-42. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1974): Consideraciones sobre los mecanismos de fosilización de la Cova de sa Bassa Blanca y su paralelismo con formaciones marinas del Cuaternario. *Bol. Soc. Hist. Nat. Balears*, 19 : 11-28. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1986): On the interest of speleochronological studies in karstified islands. The case of Mallorca (Spain). *Actas IX Cong. Intern. Espeleol.* 1: 297-300. Barcelona.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1989): Absolute dating of phreatic speleothems from coastal caves of Mallorca (Spain). *Proc. 10th Intern. Congress Speleol.* 1: 191-193. Budapest.
- 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 Espeleología, Espeleocuatnario*. 49-56. Barcelona.
- GINÉS, A.; GINÉS, J. & POMAR, L. (1981a): Phreatic speleothems in coastal caves of Majorca (Spain) as indicators of Mediterranean Pleistocene paleolevels. *Proc. Eighth Intern. Congress Speleol.* 2: 533-536. Bowling Green.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1993a): Speleochronological approach to some coastal caves from «Cap Vermell» area in Mallorca island (Spain). *Proc. XI Intern. Congress Speleol.* 56-59. Beijing.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1993b): Dataciones isotópicas de espeleotemas freáticos recolectados en cuevas costeras de Mallorca (España). *Endins*, 19 : 9-15. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J.; GINÉS, A. & POMAR, L. (1981b): Morphological and mineralogical features of phreatic speleothems occurring in coastal caves of Majorca (Spain). *Proc. Eighth International Congress Speleology*. 2: 529-532. Bowling Green.
- GRÜN, R. (1986): ESR-dating of a flowstone core from Cova de sa Bassa Blanca. *Endins*, 12 : 19-23. Palma de Mallorca.
- HENNIG, G. J.; GINÉS, A.; GINÉS, J. & POMAR, L. (1981): Avance de los resultados obtenidos mediante datación isotópica de algunos espeleotemas subacuáticos mallorquines. *Endins*, 8 : 91-93. Palma de Mallorca.
- JOLY, R. d. & DENIZOT, G. (1929): Note sur les conditions d'établissement des grottes du Dragon, Région de Manacor (Majorque, Baléares). *C. R. S. Soc. Géol. France*, 5 : 65-66. Paris.
- MATEU, G.; COLOM, G. & CUERDA, J. (1979): Los foraminíferos plio-pleistocénicos de la isla de Cabrera (Balears) y las condiciones paleoecológicas del antiguo mar balear. *Bol. Soc. Hist. Nat. Balears*, 23 : 51-68. Palma de Mallorca.
- MONTORIOL-POUS, J. (1961): El karst de la isla de Cabrera. *Speleon*, 12 (1-2) : 5-33. Oviedo.
- MONTORIOL-POUS, J. (1971): Estudio de una captura kárstico-marina en la isla de Cabrera (Balears). *Acta Geológica Hispánica*, 6 (4) : 89-91. Barcelona.
- POMAR, L.; GINÉS, A. & FONTARNAU, R. (1976): Las cristalizaciones freáticas. *Endins*, 3 : 3-25. Palma de Mallorca.
- POMAR, L.; GINÉS, A. & GINÉS, J. (1979): Morfología, estructura y origen de los espeleotemas epiaquáticos. *Endins*, 5-6 : 3-17. Palma de Mallorca.

The speleochronological data available on our geographical area prove that, during the middle and upper Pleistocene, the subterranean cavities of Mallorca have undergone a scarce morphological evolution. Generally speaking, this evolution is restricted to autochthonous fossilizations (speleothems) or allochthonous ones (ossiferous breccias and detrital material either marine or eolian) very often related to glacio-eustatic oscillations of the Mediterranean (Figure 5). Up till now, the data obtained on our island suggest that age of more recent maximums of karstification and speleogenesis goes back, in all probability, to the Pliocene or even to the Miocene - Pliocene transition.

Acknowledgement

This work is part of the DGICYT investigation project number PB94-1175.

- POMAR, L.; RODRIGUEZ, A.; FORNOS, J. J.; GINÉS, A.; GINÉS, J.; FONT, A. & MORA, A. (1987): Phreatic speleothems in coastal caves: a new method to determine sea-level fluctuations. In: ZAZO, C. (Ed.): *Late Quaternary sea-level changes in Spain*. Museo Nacional de Ciencias Naturales C.S.I.C. Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario. 10: 197-224. Madrid.
- PONS-MOYÀ, 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.
- SHACKELTON, N. J. & OPDYKE, N. D. (1973): Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of Equatorial Pacific core V28-238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10^3 year and 10^6 year scale. *Quaternary Research*. 3 : 39-55. Washington.
- TRIAS, M. (1992): Noves dades sobre la Cova des Coloms 1 (Manacor, Mallorca). *Endins*. 17-18 : 21-23. Palma de Mallorca.
- TRIAS, M.; ESPINAR, M. & BOSCH, J.R. (1990): L'Avenc de Fra Rafel (Escorca, Mallorca). *Endins*. 16 : 11-15. Palma de Mallorca.
- WALDREN, W. (1982): *Radiocarbon determination in the Balearic Islands. An inventory 1962-1981*. The Donald Baden-Powell Quaternary Research Centre. Pitt Rivers Museum. 36 pàgs. Oxford.