

EL CARST I LES COVES DE MALLORCA KARST AND CAVES IN MALLORCA

ENDINS PUBLICACIÓ D'ESPELEOLOGIA
N.º 20 • SETEMBRE • 1995

FEDERACIÓ BALEAR D'ESPELEOLOGIA

*International Symposium
on Karren Landforms
Mallorca 1995*

International Geographical Union

*Commission on Environmental Changes
and Conservation in Karst Areas*

La realització i el finançament d'aquesta publicació s'emmarquen dins les activitats organitzatives de l'INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON KARREN LANDFORMS (Sóller, 19-22 de setembre de 1995).



**INTERNATIONAL
SYMPOSIUM ON
KARREN
LANDFORMS**



Museu Balear
de
Ciències Naturals



UTB
Universitat de les
Illes Balears

Les següents institucions han aportat els recursos econòmics necessaris per tal de fer possible la publicació d'aquesta monografia:



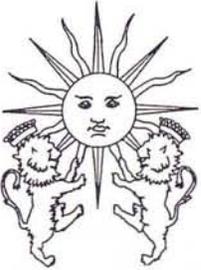
GOVERN BALEAR
Conselleria d'Obres Públiques
i Ordenació del Territori
Direcció General d'Ordenació del Territori
i Medi Ambient



FEDERACION ESPAÑOLA
DE ESPELEOLOGIA



GOVERN BALEAR
Conselleria d'Agricultura i Pesca
Direcció General d'Estructures
Agràries i Medi Natural



AJUNTAMENT DE SÓLLER



AJUNTAMENT D'ESCORÇA



GOVERN BALEAR
Conselleria de Cultura, Educació
i Esports

© ENDINS
ISSN 0211-2515
Dipòsit Legal: PM 165-1974
Correspondència i intercanvi: ENDINS

Federació Balear d'Espeleologia
Carrer de la Posada de Lluc, 10 entresol
07001 - PALMA DE MALLORCA
(Spain)

Fotocomposició:
FERRER PALMA, S.L.

Impressió:



Pere Ripoll Palou, 20. Tel. 27 73 00
07008 - Palma de Mallorca

ENDINS

Publicació d'Espeleologia. Federació Balear d'Espeleologia
n.º 20. Setembre 1995. Mallorca

MONOGRAFIES DE LA SOCIETAT D'HISTÒRIA NATURAL DE LES BALEARS, 3

Sumari / Contents

EL CARST I LES COVES DE MALLORCA / KARST AND CAVES IN MALLORCA

PREÀMBUL / PREFACE per Àngel Ginés & Joaquín Ginés (Editors)	5
DISTRIBUCIÓ GEOGRÀFICA DEL CARST A MALLORCA / THE GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF KARST IN MALLORCA per Jaume Servera	7
ASPECTES BIOCLIMÀTICS DEL CARST DE MALLORCA / BIOCLIMATIC ASPECTS OF KARST IN MALLORCA per José A. Guijarro	17
LITOLOGIA I TECTÒNICA DEL CARST DE MALLORCA / LITHOLOGY AND TECTONICS OF THE MAJORCAN KARST per Joan J. Fornós & Bernadí Gelabert	27
HIDROLOGIA CÀRSTICA DE MALLORCA / KARST HYDROLOGY OF MALLORCA per A. Barón, C. González & A. Rodríguez-Perea	45
LES FORMES EXOCÀRSTIQUES DE L'ILLA DE MALLORCA / THE EXOKARSTIC LANDFORMS OF MALLORCA ISLAND per Àngel Ginés & Joaquín Ginés	59
L'ENDOCARST DE MALLORCA: ELS MECANISMES ESPELEOGENÈTICS / MALLORCA'S ENDOKARST: THE SPELEOGENETIC MECHANISMS per Joaquín Ginés	71
ELS ESPELEOTEMES DE LES COVES DE MALLORCA / THE SPELEOTHEMS OF MAJORCAN CAVES per Àngel Ginés	87
ASPECTES ESPELEOCRONOLÒGICS DEL CARST DE MALLORCA / SPELEOCHRONOLOGICAL ASPECTS OF KARST IN MALLORCA per Joaquín Ginés & Àngel Ginés	99
EL PALEOCARST A MALLORCA / PALEOKARST IN MALLORCA per Joan J. Fornós, Àngel Ginés, Joaquín Ginés & Antonio Rodríguez-Perea	113
FAUNA CAVERNÍCOLA DE MALLORCA / CAVERNICOLOUS FAUNA OF MALLORCA per Guillem X. Pons, Damià Jaume & Jaume Damians	125
FLORA DE LES ENTRADES DE LES CAVITATS DE MALLORCA / FLORA AT THE CAVITY ENTRANCES IN MALLORCA per Lluís Fiol	145
INTERÈS PALEONTOLÒGIC DELS JACIMENTS CÀRSTICS DE LES GIMNÈSIES I LES PITIÛSES / PALEONTOLOGICAL INTEREST OF KARSTIC DEPOSITS FROM THE GYMNESIC AND PITYUSIC ISLANDS per Paul Y. Sondaar, Miguel McMin, Bartomeu Seguí & Josep A. Alcover	155
ARQUEOLOGIA DE LES CAVERNES DE MALLORCA / ARCHAEOLOGY OF THE CAVERNS OF MALLORCA per Miquel Trias	171
LES COVES TURÍSTIQUES DE MALLORCA / THE TOURISTIC SHOW CAVES OF MALLORCA per Joaquín Ginés	191
CONSERVACIÓ DEL CARST I LES COVES A MALLORCA / CONSERVATION OF THE KARST AND CAVES OF MALLORCA per Àngel Ginés & Joan Mayol	205

EL CARST I LES COVES DE MALLORCA KARST AND CAVES IN MALLORCA

Preàmbul

La geomorfologia càrstica de Mallorca, i en especial el seu vessant espeleològic, ha anat desenvolupant una llarga tradició d'estudis naturalístics que es remunten al segle XIX. Encara que sens dubte els avenços més importants s'han produït durant els darrers trenta anys, paral·lelament a la consolidació de la FEDERACIÓ BALEAR D'ESPELEOLOGIA, les aportacions al coneixement del carst mallorquí amb un cert valor històric han vingut d'investigadors espanyols i estrangers ben coneguts, sobretot dins del camp de l'espeleologia: Edouard A. Martel, Emil G. Racovitza, Dorothy M.A. Bate, Jacques Maheu, Bartomeu Darder, Marià Faura i Sans, Robert de Joly, Francesc Español, Noel Llopis Lladó, Alfred Bögli i Joaquim Montoriol-Pous, entre d'altres.

Les exploracions més antigues de les quals es tenen notícies escrites corresponen a Joaquim Maria Bover (Cova de Son Lluís, 1839), Antoni Cabrer (Coves d'Artà, 1840) i Marià Conrado (Avenc de Son Pou, 1865). D'aleshores ençà, l'interès envers les coves i el carst de l'illa ha estat molt lligat a la divulgació dels relats dels viatgers decimonònics i a la posterior popularització del turisme; aquests fets han donat com a resultat el merescut prestigi internacional assolit per algunes coves mallorquines des dels temps de les exploracions de Martel l'any 1896, fa ara quasi un segle.

La història recent de l'espeleologia —i fins i tot de la carstologia— mallorquina està fortament lligada a la consolidació i creixement de la FEDERACIÓ BALEAR D'ESPELEOLOGIA, des de l'any 1972. Els resultats de les exploracions i del dinamisme generat pels grups espeleològics federats, així com pels investigadors que s'han anat afegint de manera puntual a determinades recerques científiques, varen quedar enregistrats any rera any a les pàgines de la publicació ENDINS, ja sigui en forma d'articles d'investigació o de nombroses topografies incloses en treballs de caire geogràfic i exploratori. Així, a poc a poc, el coneixement de les coves i dels avencs de les Illes Balears va augmentar fins arribar a un nivell relativament satisfactori, al mateix temps que l'interès per l'estudi de les formes exocàrstiques s'anava propagant des de l'àmbit més restringit dels espeleòlegs cap a d'altres institucions científiques locals.

Ja fa un parell d'anys que, en ocasió del número 20 de la publicació ENDINS, s'havia considerat la possibilitat d'elaborar una monografia que permetés fer un balanç de l'estat actual dels coneixements carstològics i espeleològics disponibles sobre l'illa de Mallorca. La coincidència d'aquesta iniciativa amb

Preface

The interest in Majorcan karst geomorphology, and especially that in speleology, has led to the development of a long tradition of natural history studies that date back from the 19th century. Without doubt the most important advances have occurred within the last thirty years, parallel with the establishment of the FEDERACIÓ BALEAR D'ESPELEOLOGIA. Earlier contributions, some of which have a certain historic value, to our knowledge of the Majorcan karst have been furnished by well known Spanish and foreign researchers, above all in the field of speleology: Edouard A. Martel, Emil G. Racovitza, Dorothy M.A. Bate, Jacques Maheu, Bartomeu Darder, Marià Faura i Sans, Robert de Joly, Francesc Español, Noel Llopis Lladó, Alfred Bögli and Joaquim Montoriol-Pous, to name a few.

The earliest written records of explorations that we have are those of Joaquim Maria Bover (Cova de Son Lluís, 1839), Antoni Cabrer (Coves d'Artà, 1840) and Marià Conrado (Avenc de Son Pou, 1865). Since then, the interest shown towards caves and karst in Mallorca has been closely tied to that of the spread of nineteenth-century travellers and the subsequent growth in tourism. As a result of this, a number of Majorcan caves from the times of the explorations of Martel in 1896, which is now almost a hundred years ago, have obtained a worthy international prestige.

The recent history of Majorcan speleology, even karstology, has been tightly bound, since 1972, to that of the establishment and growth of the FEDERACIÓ BALEAR D'ESPELEOLOGIA. The results of the explorations and general activities of federated speleological groups, as well as those of investigators who have made regular additions with specific scientific investigations, have been recorded, year after year, in the pages of our journal ENDINS. These results have been published in the form of research articles, including works of a geographical or exploratory character, or in the form of numerous cave surveys. Like this, our knowledge of Balearic caves and shafts has been increasing, little by little, until it has reached a relatively satisfactory level. At the same time, the interest in the study of exokarst has spread from restricted speleology to other local scientific institutions.

For a number of years now and for the twentieth publication of ENDINS, the possibility of putting together a monograph which reflects the current state of the karstological and speleological knowledge available about the Mallorca Island has been considered. The coincidence of this initiative with the

l'organització de l'**INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON KARREN LANDFORMS**, portada a terme pel Museu Balear de Ciències Naturals i la Universitat de les Illes Balears, ens acabà de decidir a emprendre la tasca de reunir en una publicació global els principals resultats que sintetitzen la feina desenvolupada pels espeleòlegs, geòlegs i biòlegs, la qual ha estat canalitzada per ENDINS al llarg dels darrers vint anys. Llevat d'algunes absències importants —entre les quals destaquen les de Joan Pons-Moyà, Lluís Pomar i José A. Encinas, per les seves aportacions fonamentals a l'espeleologia mallorquina— hem tingut la satisfacció de comptar, com a autors dels capítols de la monografia, amb dinou especialistes i investigadors els quals representen prou bé les línies de treball que caracteritzen l'espeleologia il·lenca. Per a tots ells el nostre més cordial agraïment.

Evidentment la publicació d'aquesta monografia sobre "el carst i les coves de Mallorca" no hagués estat possible sense la participació dels autors que han assumit la redacció dels diferents capítols, però també ha estat necessari el concurs eficaç d'un bon grapat de companys i amics. En especial ens plau agrair a Antoni Nigorra, Lina Borràs i Mateu Fiol la revisió de diversos textos en català, així com varies traduccions. També hem de fer constar l'agraïment a Natalia Llorente i a Núria Cohen per haver traduït a l'anglès els textos de tots els articles, així com a Peter Watkinson per la traducció d'aquest preàmbul. Ha estat molt valuosa la dedicació de Jaume Damians, Guillem X. Pons, Joan J. Fornós i Xisca Cañellas a diferents tasques d'edició, i per tant mereixen el nostre reconeixement. Per finalitzar, volem deixar constància del suport i comprensió que hem rebut per part del President de la FEDERACIÓ BALEAR D'ESPELEOLOGIA, Antonio Merino, així com del paper acomplert per Lluís Alemany (Director General d'Ordenació del Territori i Medi Ambient, C.O.P.O.T.) i per les juntes directives del Museu Balear de Ciències Naturals i de la Societat d'Història Natural de les Balears.

L'espeleologia és una activitat mig esportiva i mig científica que es fonamenta sempre en un treball col·lectiu. Tot comptant amb les inevitables dificultats que comporta la feina en equip, també són moltes les satisfaccions que els espeleòlegs i els carstòlegs gaudim en explorar els sempre aspres terrenys càrstics, en el context d'amistat i contacte amb la Natura propiciat per les nostres aficions i interessos científics. Per això ens venen a la memòria amb motiu de la presentació d'aquesta monografia, que és sens dubte la síntesi d'una àmplia tasca col·lectiva, el record d'alguns amics que ja ens han deixat, com Albert Alonso, Gerd J. Hennig, Pare Rafel Juan, John S. Kopper i José Carlos MármoI, amb els quals vàrem tenir l'oportunitat de participar en l'exploració i estudi del carst mallorquí.

Àngel GINÉS & Joaquín GINÉS (Editors)

*organisation of the **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON KARREN LANDFORMS**, carried out by the Museu Balear de Ciències Naturals and the Universitat de les Illes Balears, has incited our decision to undertake the task of pulling together under a single global publication the major results which have been centralised within ENDINS over the last twenty years, and that represent a synthesis of the work undertaken by speleologists, geologists and biologists. Apart from a few important exceptions, among whom we would like to highlight those of Joan Pons-Moyà, Lluís Pomar and José A. Encinas for their fundamental contributions to Majorcan speleology, we have had the satisfaction of relying on, as authors of the monograph, nineteen specialists and investigators who are very representative of the fields of work that characterise the speleology on our islands. We would like to express our deepest thanks to all of them.*

Obviously this publication about "karst and caves in Mallorca" would not have been possible without the participation of the authors who have undertaken the writing of the different chapters, but what may not be so obvious is the unclaimed participation of many friends and colleagues. Therefore, we would like to give our special thanks to Antoni Nigorra, Lina Borràs and Mateu Fiol for proof reading various texts in Catalan, and likewise various translations. Also, we would like to thank Natalia Llorente and Núria Cohen, for having translated all of the texts to English, and to thank Peter Watkinson for his involvement in this preface. The dedication given by Jaume Damians, Guillem X. Pons, Joan J. Fornós and Xisca Cañellas to some tasks of editorial production has been of a great value, and for this they also deserve our thanks. Finally, we would like to make know the constant support and understanding that has been given by the President of the FEDERACIÓ BALEAR D'ESPELEOLOGIA, Antonio Merino, as well as the role performed by Lluís Alemany (Director General d'Ordenació del Territori i Medi Ambient, C.O.P.O.T.) and by the director boards of the Museu Balear de Ciències Naturals and the Societat d'Història Natural de les Balears.

Speleology is an activity which is half sport half science and which is always practised as a collective undertaking. After taking into account the inevitable difficulties that arise in any group activity, there are many satisfactions for cavers and karstologists to enjoy through exploring the always jagged karst terrains, through friendship and through a contact with Nature, all of which are provided by these activities and scientific interests. But even so, the preparation of this monograph, which is without doubt the combination of extensive and collective works, has reminded us of those who are no longer with us, Albert Alonso, Gerd J. Hennig, Pare Rafel Juan, John S. Kopper and José Carlos MármoI, and with who we have had the opportunity of sharing the exploration and study of Majorcan karst.

DISTRIBUCIÓ GEOGRÀFICA DEL CARST A MALLORCA

THE GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF KARST IN MALLORCA

Jaume SERVERA NICOLAU¹

Resum

A Mallorca, el predomini de litologies calcàries, intercalades amb nivells impermeables, juntament amb la seva disposició estructural, han configurat l'illa com a un indret totalment propens a l'existència de processos de modelat i de formes càrstiques. Aquestes morfologies són presents a dues terceres parts de l'illa, on la seva localització permet establir tres clares regions càrstiques individualitzades: una primera, la Serra de Tramuntana, que presenta unes destacades formacions tant exocàrstiques com endocàrstiques; i les dues restants, les Serres de Llevant i el Migjorn de Mallorca, on la seva espectacularitat de formes radica, bàsicament, en els fenòmens d'endocarst.

Abstract

The dominance of calcareous lithologies, interlayered with impermeable beds, together with its structural arrangement has shaped Mallorca as an island demonstrating a high incidence of karstic modelling processes and landforms. The development of these morphologies is apparent over two thirds of the island, and from their location three karstic regions may be identified: the first, Serra de Tramuntana, with remarkable exo- and endokarstic features; two other, Serres de Llevant and Migjorn region, have outstanding endokarstic features.

Introducció

Mallorca és la major i més central de les illes de l'arxipèlag Balear la qual, juntament amb Menorca, Eivissa, Formentera i Cabrera, es localitza gairebé a la part central de la conca mediterrània occidental, lleugerament desplaçada a l'oest (Figura 1). La seva superfície, inclosos els illots adjacents, el major dels quals és sa Dragonera, és de 3.667 km² i té un perímetre de 565 km. Amb aquesta extensió constitueix la setena illa més grossa de la Mediterrània i és, juntament amb Menorca, la més allunyada de les terres continentals.

L'illa té una forma quadrangular i la seva disposició espacial és la d'un rombe amb els vèrtexs orientats als quatre punts cardinals. Al nord tenim el Cap de Formentor que es localitza a 39° 58' N, a l'est la

Introduction

Mallorca is the largest and most central island of the Balearic archipelago. The Balearic Islands are located in the middle of the western Mediterranean basin, slightly displaced to the West (Figure 1). Including the adjacent islets —Sa Dragonera islet is the largest— our island has an area of 3,667 square km and a perimeter of 565 km. Mallorca is the seventh largest island in the Mediterranean and together with Menorca they happen to be the most remote from any continental landmass.

The island has a rhomboid shape with its vertices oriented to the four cardinal points. To the North there is Cap de Formentor, located at 39° 58' N; to the East there is Punta de Capdepera, located at 3° 29' E; to the South there is Cap de ses Salines, located at 39° 16' N; and to the West there is Sant Elm at 2° 21' E.

¹ Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Ctra de Valldemossa km 7,5. E-07071 Palma de Mallorca.

Punta de Capdepera a $3^{\circ} 29' E$, al sud el Cap de ses Salines a $39^{\circ} 16' N$, i a l'oest Sant Elm a $2^{\circ} 21' E$.

A Mallorca, el predomini de litologies calcàries, juntament amb la seva disposició estructural, han configurat l'illa, igual que la major part de la resta de les Balears, com a un indret totalment propens a l'existència de processos de modelat i de formes càrstiques. El desenvolupament d'aquestes morfologies, tant exocàrstiques com endocàrstiques, afecta dues tercers parts de l'illa, amb una distribució territorial concreta que dóna lloc a un peculiar contrast del paisatge illenc, i que tot junt serà l'objecte del nostre treball.

In Mallorca there is a dominance of calcareous lithologies. This fact as well as its structural framing have shaped the island, and also most of the remainder of Balearic Islands, as places inclined to present karstic landforms and modelling processes. The development of these morphologies, not only exokarstic but also endokarstic, can be found in two thirds of the island. The karstic features show a specific spatial distribution that causes a characteristic contrast in the island's landscape. Such a point will be the aim of the present paper.

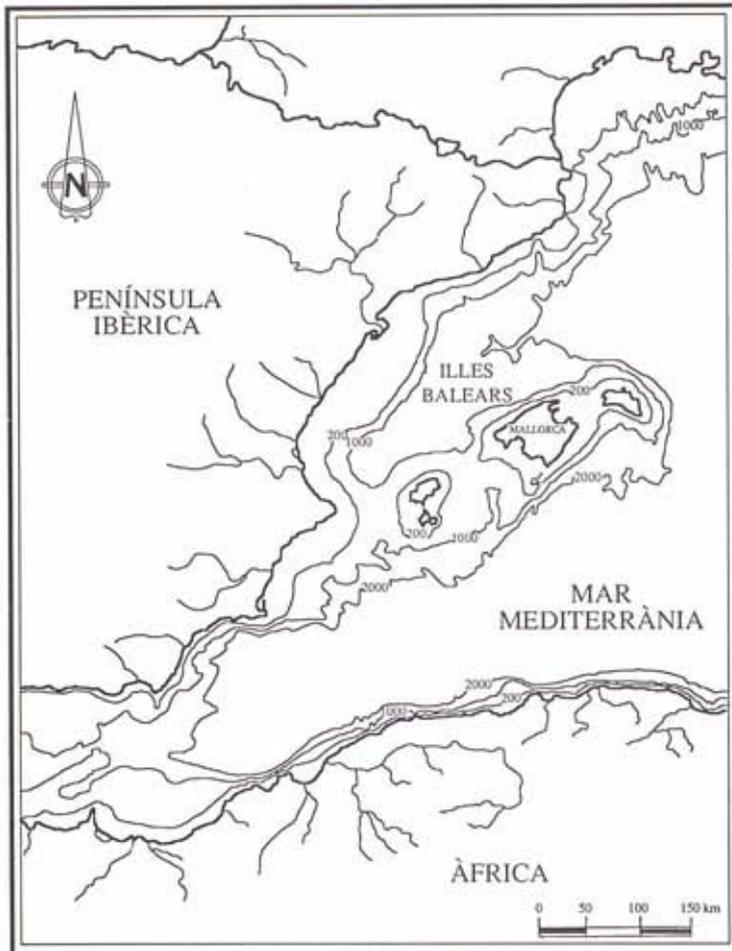


Figura 1:
Localització de les Illes Balears dins de la Mediterrània Occidental.

Figure 1:
Location of Balearic Islands in the western Mediterranean.

Principals factors en la localització del carst a Mallorca

La distribució de les morfologies càrstiques, en les distintes regions naturals de Mallorca, no s'entén fàcilment sense abans tenir una visió general de les característiques lito-estructurals i dels règims de temperatures i precipitacions que té l'illa.

TRETS ESTRUCTURALS

Mallorca, igual que la resta de les Balears, forma part de la zona emergida del Promontori Balear.

Main factors conditioning karst localization in Mallorca

In order to have a correct understanding of the distribution of karstic morphologies in the different natural regions of Mallorca, it is necessary first to have a general view of the structural and lithologic features, as well as its general conditions of temperature and rainfall. Nevertheless, because of other sections in this publication will treat these subjects specifically, this paper must be seen as a preliminary outline only.

Aquest és un relleu, majoritàriament submergit, que s'estén des del SE de la Península Ibèrica (Cap de la Nau) i amb una direcció NE arriba fins a Menorca. Així doncs, constitueix la perllongació de les serralades Bètiques, que queda totalment individualitzada de l'Ibèria i d'Àfrica per dos profunds braços de mar.

L'estructura de Mallorca es presenta molt complexa i bàsicament ve definida per un conjunt de *horsts* i *grabens* o *semigrabens* allargats en una direcció SW-NE (Figura 2). Els primers donen lloc a les principals alineacions muntanyenques (Serra de Tramuntana i Serres de Llevant) al mateix temps que constitueixen alguns dels relleus centrals de l'illa. Els segons formen les depressions centrals, les zones planes de Mallorca. La delimitació entre els dos tipus d'estructures no és fàcil; generalment aquesta es fa per fractures d'edat terciària, però en altres casos el seu límit es produeix mitjançant discordàncies angulars que són fossilitzades per dipòsits terciaris i quaternaris.

STRUCTURAL FEATURES

As the other Balearic Islands, Mallorca is part of the emerged area of the Balearic Promontory. It is a submarine relief extending from the SE of Iberian Peninsula (Cap de la Nau) to the NE (Menorca Island). In this way, Mallorca is an extension of the Bètiques mountain ranges now isolated from Africa and Iberia by two deep sea sounds.

Mallorca has a complex structure basically defined as a set of horsts and grabens or semigrabens lengthened in SW-NE direction (Figure 2). The horsts originate the main mountain ranges (Serra de Tramuntana and Serres de Llevant) and some of the central relief forms of the island. The grabens produce the central depressions, the flat areas of Mallorca. The division between both structures is not always clear; usually these boundaries are Tertiary fractures, but sometimes the boundary is an angular unconformity fossilized by Quaternary and Tertiary deposits.

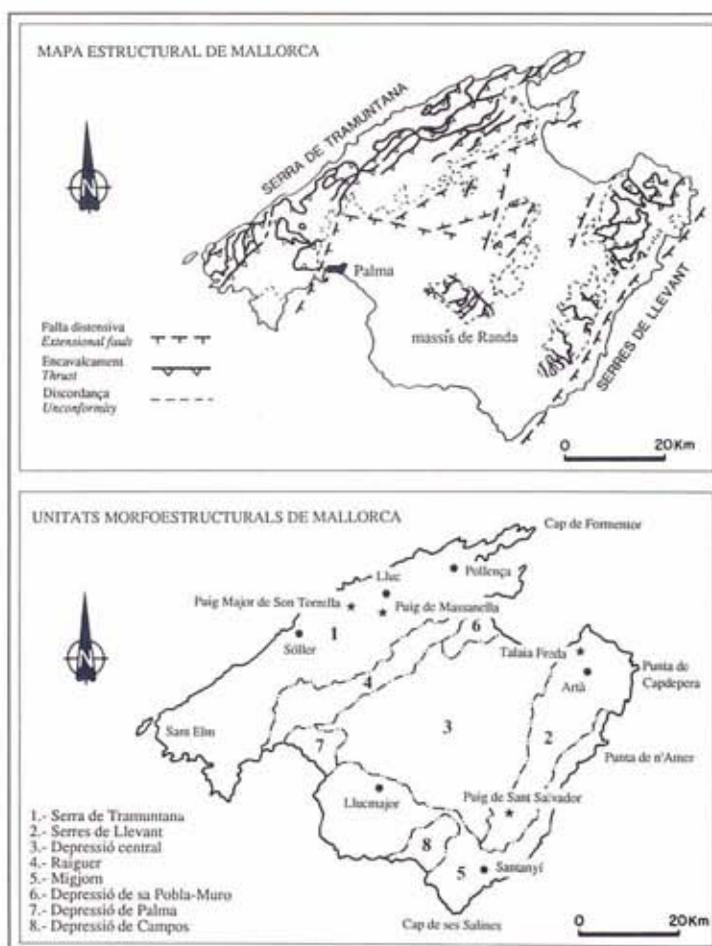


Figura 2:
Mapa estructural i distribució de les unitats morfoestructurals de Mallorca.

Figure 2:
Structural map and distribution of the morphostructural units of Mallorca.

PRINCIPALS UNITATS MORFOESTRUCTURALS

La Serra de Tramuntana constitueix una unitat morfoestructural orientada de SW a NE, que es disposa de forma paral·lela a la costa septentrional al

MAIN MORPHOSTRUCTURAL UNITS

The Serra de Tramuntana is a morphostructural unit oriented from SW to NE. It is parallel to the northern coast line, with a length of 90 km and an

llarg de 90 km i en una franja de 15 km d'amplària mitjana (Figura 2). La serra és també on l'illa assoleix les seves majors alçàries (Puig Major de Son Torrella 1.445 m, Puig de Massanella 1.348 m i fins un total de 10 elevacions que superen els 1.000 m). Aquesta unitat està formada per un conjunt de materials plegats, majoritàriament mesozoics que de forma general cabussen cap el SE, encara que les làmines superiors poden presentar deformacions amb plecs tombats vergents al NW. No obstant, entre els materials mesozoics es troben dipòsits del Terciari (de l'Eocè mitjà al Miocè mitjà) que solen trobar-se encavalcats pels anteriors (FALLOT, 1922; GELABERT *et al.*, 1992). A les calcàries massives del Lias inferior (Juràssic inferior) i als conglomerats del Burdigalià (Miocè inferior) de la Serra de Tramuntana és on el desenvolupament de morfologies càrstiques és més destacable i espectacular (GINÉS & GINÉS, 1989).

La depressió central de Mallorca és un sector poc conegut des d'un punt de vista estructural, a causa de l'emascament que produeix la cobertura de dipòsits post-orogènics i a la suavitat dels seus relleus. No obstant, els relleus del massís de Randa i els de l'estructura Sineu - Bonany, localitzats a la part sud-oriental de la depressió, constitueixen unes finestres tectòniques que permeten definir diverses unitats estructurals. Les unitats inferiors estan formades per materials mesozoics i del Miocè inferior i mitjà, mentre que les unitats superiors presenten unes làmines encavalcants de materials paleogens (ANGLADA *et al.*, 1986). És en aquestes zones elevades de la depressió central de Mallorca, on apareixen algunes morfologies càrstiques als materials de la unitat inferior.

Les Serres de Llevant, localitzades de forma paral·lela a la costa sud-oriental, constitueixen la segona àrea plegada d'importància a l'illa (Figura 2). La seva alineació (SW-NE) segueix la mateixa direcció que la Serra de Tramuntana i s'estén des de la península d'Artà fins al municipi meridional de Santanyí. Les seves majors alçàries es localitzen gairebé al seus dos extrems, a la part septentrional la Talaia Freda de Son Morell (560 m), i a la part meridional el Puig de Sant Salvador (509 m). Aquestes serres estan formades per un conjunt de làmines encavalcants que presenten materials del Juràssic, Cretàcic, Paleogen i Miocè. A grans trets, la seva estructura es caracteritza per un sistema complex d'encavalcaments amb la presència de plecs ortogonals, com a conseqüència de la interacció entre rampes frontals direccionades al NW i rampes laterals o lleugerament obliqües a la direcció de les anteriors (SÀBAT, 1986).

El Migjorn de Mallorca és constituït per un conjunt tabular de materials post-orogènics del Miocè superior. Aquests, en forma d'arc, s'adossen a les Serres de Llevant, i van des de les marines de Lluçmajor fins a la Punta de n'Amer al municipi de Sant Llorenç, veient tan sols interrompuda la seva continuïtat al

average width of 15 km (Figure 2). It comprises the higher peaks of the island (Puig Major de Son Torrella 1,445 m, Puig de Massanella 1,348 m, and up to ten altitudes over 1,000 meters). This unit is composed by Mesozoic folded materials that generally dip to SE, although the upper sections do sometimes present deformations with folds orientated to NW. However, between the Mesozoic materials, Tertiary beds (from the middle Eocen to the middle Miocene) can be found overthrust by former materials (FALLOT, 1922; GELABERT *et al.*, 1992). In Serra de Tramuntana, the lower Lias (lower Jurassic) massive limestone and the Burdigalian calcareous conglomerate (lower Miocene) are the lithologies with the most outstanding development of karstic landforms (GINÉS & GINÉS, 1989).

The central depression of Mallorca is a region only partially well-known from the structural point of view, because of both masking produced by the post-orogenic beds cover as well as the smoothness of its contours. Nevertheless, the reliefs of Randa massif and Sineu - Bonany structure, located in the southeastern fringe of the depression, constitute windows that allow us to define some structural units. The lower units display Mesozoic and lower-middle Miocene materials. On the other hand, the upper units show thrust sheets of Paleogene materials (ANGLADA *et al.*, 1986). It is in these hilly zones of the Majorcan central morphostructural unit, where some karstic morphologies in the materials of the lower unit appear.

The Serres de Llevant, parallel to the southeastern coast line, are the second important folded area of the island (Figure 2). Its alignment (SW-NE) follows the same direction of Serra de Tramuntana and it covers from Artà peninsula to the southern municipality of Santanyí. Its higher elevations are located almost in both extremes, in the northern side there is Talaia Freda de Son Morell peak, 560 m in height, and in the southern side Puig de Sant Salvador, 509 m high. These mountain ranges are composed of a series of folded deposits that include Jurassic, Cretaceous, Paleogene and Miocene materials. Its structure presents a thrusting complex system, with the appearance of orthogonal folds caused by the interaction between frontal ramps, aligned to NW, and lateral ramps or some other slightly oblique to the alignment of the former (SÀBAT, 1986).

The Migjorn of Mallorca consists of a tabular platform composed of Miocene materials. These arch-disposed deposits border Serres de Llevant elevations, from the southern plains of Lluçmajor to Punta de n'Amer cape in Sant Llorenç municipality, being their continuity only broken in the sector of Campos depression (Figure 2). It is a set constituted by the progradation of the Reef unit (final Miocene) whose deposits are covered with oolites (Santanyí limestones) and Plio-Quaternary aeolianites (POMAR

sector de la depressió de Campos (Figura 2). Es tracta d'un conjunt format per la progradació de la unitat Escullosa (Miocè terminal), amb dipòsits per damunt d'oolites (Calcàries de Santanyi) i d'eolianites plioquaternàries (POMAR *et al.*, 1983). La seva morfologia tabular tan sols queda truncada pels barrancs encaixats a favor de les discontinuïtats o febleses estructurals, provocades pel mateix aixecament de les Serres de Llevant. Finalment, cal dir que aquesta unitat morfoestructural, a causa del caràcter carbonatat de la seva litologia i a la disposició tabular del relleu, afavoreix també un fort desenvolupament endocàrstic.

LA HIDROLOGIA SUPERFICIAL

La xarxa de col·lectors que drenen les precipitacions de l'illa de Mallorca es caracteritza per la manca de cursos d'aigües perennes. Aquesta es configura en funció d'uns cursos de funcionament esporàdic, que normalment tan sols duen aigua en els moments de grans precipitacions i que localment es coneixen amb el nom de torrents.

El caràcter irregular del funcionament de la xarxa torrencial mallorquina ve donat bàsicament per l'estacionalitat de les precipitacions i les petites extensions que ocupen les conques hidrogràfiques de l'illa. No obstant, aquest fet també es veu afavorit per la mateixa naturalesa litològica, que amb el predomini de materials calcaris permeables, facilita un ràpid pas de l'aigua de pluja cap a una circulació sub-superficial o subterrània.

LA DISTRIBUCIÓ DE LES PRECIPITACIONS

Un altre factor a tenir en compte a l'hora d'explicar la localització i els tipus de morfologies càrstiques que es troben a Mallorca, és el règim i distribució de les precipitacions que té l'illa.

Respecte al règim anual de precipitacions a Mallorca, aquest presenta un únic màxim a la tardor, centrat al mes d'octubre. El segueix un hivern relativament plujós i una primavera que en mostra una progressiva disminució. L'estiu es caracteritza per la remarcada aridesa; al mes de juliol l'eixut pot esser total i es pot perllongar fins a la segona meitat del mes d'agost (GUIJARRO, 1986; GRIMALT *et al.*, 1991).

A Mallorca la distribució territorial de les precipitacions mitjanes és molt heterogènia; mentre la part central de la Serra de Tramuntana comptabilitza entre els 1.400 i 1.600 mm anuals, el litoral meridional no supera els 300-350 mm. Aquesta distribució, caracteritzada per un remarcad gradient nord-sud, respon bàsicament a factors de tipus orogràfic (Figura 3).

Les precipitacions en forma de neu són actualment un fenomen excepcional a Mallorca. No obstant, anualment es pot observar una o varies vegades presència de precipitacions nivals als caps cimals de la part central de la Serra de Tramuntana. Aquestes

et al., 1983). *Its tabular morphology is only interrupted by deep coves going in the same direction of structural discontinuities produced by the uplift of Serres de Llevant. This morphostructural unit, because of its carbonated lithology and its tabular arrangement, shows a notorious endokarstic development.*

THE SUPERFICIAL HYDROLOGY

The network of surface collectors that drain Majorcan rainfalls is characterized by a lack of perennial water-courses. Such a network consists of a series of rushing streams that are functional sporadically and which only transport waters when great precipitations occur. They are known locally under the term torrent.

The irregular character of our torrential network is mainly due to the seasonal rainfalls as well as to the small extensions occupied by hydrographical basins. Nevertheless, such a fact is also favoured by the lithological nature itself which, as it comprises predominantly permeable limestones, facilitates a rapid infiltration of rainfall water towards a subsuperficial or subterranean drainage.

THE RAINFALL DISTRIBUTION

Another important factor concerning the localization and typology of Majorcan karstic morphologies is the distribution and general conditions of rainfall over the island.

*The annual arrangement of rainfall in Mallorca show its maximum in autumn, especially in October. The winter is rather rainy and the spring presents a tendency towards the diminution of rain. The summer is a very dry season in which July, and even the second half of August, can be totally unprovided of rain precipitations (GUIJARRO, 1986; GRIMALT *et al.*, 1991).*

Territorial distribution of the average rainfall is heterogeneous; on the central area of Serra de Tramuntana 1,400 - 1,600 annual mm can be recorded, while on the southern coast of the island it is difficult to record more than 300 - 350 mm. This distribution, with a high gradation from North to South, is caused basically by orographic factors (Figure 3).

Snowfalls are exceptional in Mallorca nowadays. Nevertheless, every year snow can be observed in the main peaks of Serra de Tramuntana central area. These snowfalls are the consequence of cold air masses coming from the NW of Europe. In the remainder of the island, snowfall below 500 metres is an exceptional phenomenon.

THE TEMPERATURE DISTRIBUTION

The annual cycle of temperature fluctuates from a minimum recorded in January, even in February, with an average maximum of 13/14° C, to a maximum

responen a irrupcions molt puntuals d'aire fred provinent del NW d'Europa. A la resta de l'illa, i per davall dels 500 m d'altitud, aquest tipus de precipitació constitueix un fet insòlit que tan sols es produeix de forma esporàdica.

recorded during the hottest months of July and August, with an average maximum of 29/31° C. However, occasionally it can be recorded extreme values of 40/41° C in summer and -5/-6° C in winter.

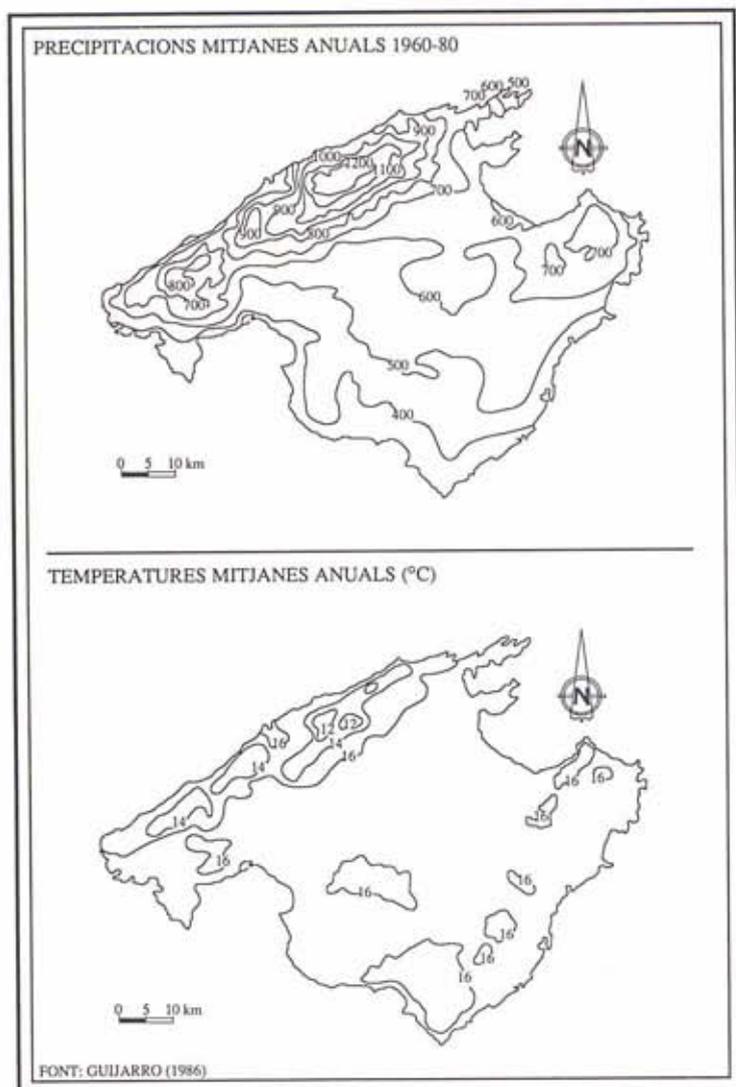


Figura 3: Distribució de precipitacions i temperatures mitjanes anuals de Mallorca.

Figure 3: Distribution of rainfall and annual average temperatures of Mallorca.

LA DISTRIBUCIÓ DE LES TEMPERATURES

La seqüència anual de les temperatures de l'illa vénen emmarcades entre un mínim registrat el mes de gener, on la màxima mitjana és d'uns 13/14° C i que es perllonga al mes de febrer, fins a un màxim registrat als mesos més càlids de juliol i agost, on la màxima mitjana és entorn dels 29/31° C. No obstant, ocasionalment es poden registrar puntes que assoleixin els 40/41° C de màxima i els -5/-6° C de mínima.

La major part de l'illa s'enquadra dins dels 16/17° C de temperatura mitjana anual (Figura 3). Nogensmenys, la distribució territorial de les temperatures mitjanes presenta, igual que les precipitacions, una clara variació relacionada amb la presència de relleus, que permet diferenciar uns sectors més freds

Most of the island shows an annual average temperature round 16/17° C (Figure 3). But the distribution of temperature, as it occurs with rainfalls, is firmly related to the existence of reliefs which demarcate some areas colder than others. Serra de Tramuntana, that as a whole reveal magnitudes lower than 16° C, presents in the central tops a few stretches where the annual average temperature is below 10° C. In the highest summits of Serres de Llevant, there are also temperatures under 15° C. Finally, the coldest dominions are some depressed flat zones (Palma, Campos, Sa Pobla), where in winter the temperature record can reach lower absolute minimums than in the remainder of the plain areas of Mallorca (GRIMALT et al., 1991).

que els altres. La Serra de Tramuntana, que en conjunt presenta valors inferiors als 16° C, té sectors, coincidint amb els majors relleus centrals, on les seves mitjanes anuals estan per davall dels 10° C. També a les Serres de Llevant els punts més elevats presenten valors inferiors als 15° C. Finalment, cal esmentar com sectors més freds les zones depressionàries de l'illa (Palma, Campos i sa Pobla) que, per la concavitat del terreny, registren a l'hivern mínimes absolutes més extremes que la resta de l'àrea plana de l'illa (GRIMALT *et al.*, 1991).

Localització i distribució del carst a Mallorca

A Mallorca els fenòmens càrstics presenten una localització territorial lligada a la distribució dels factors litològics i climàtics anteriorment comentats, la localització dels quals permet establir tres clares regions càrstiques individualitzades: Serra de Tramuntana, Serres de Llevant i el Migjorn (GINÉS & GINÉS, 1989).

LA SERRA DE TRAMUNTANA

La Serra de Tramuntana constitueix per excel·lència la regió càrstica més important de Mallorca, això és així, tant des del punt de vista de la diversitat de les morfologies presents, com des del de l'espectacularitat del seu desenvolupament. No obstant, dins de la mateixa serra podem diferenciar, tant d'una forma qualitativa com quantitativa, dues àrees. La primera, la meitat septentrional de la serra, que vendria delimitada aproximadament entre Sóller i la península del Cap de Formentor; la segona, la meitat meridional d'aquella, delimitada entre Sóller i el seu extrem sud-occidental localitzat a Sant Elm. Els principals trets diferencials entre les dues radiquen que la primera concentra les majors alçàries de la serra, les majors precipitacions mitjanes anuals i, si més no, una major presència de litologies calcàries.

Les morfologies exocàrstiques

Els camps de *lapiaz* constitueixen sens dubte l'expressió més espectacular del modelat càrstic i, en especial, de la configuració del paisatge de la part septentrional de la serra. Aquestes formes tenen una gran profusió en el sector entre el monestir de Lluc i Pollença (BÄR, 1986) i esdevenen, la majoria d'elles, de morfologies generades baix cobertura edàfica (GINÉS & GINÉS, 1989).

La disposició geogràfica de la Serra de Tramuntana, amb uns clars gradients tèrmics i pluviomètrics, ha permès (GINÉS, 1990a) establir una zonificació altitudinal de la distribució del *lapiaz*, que manté com a característica comuna la presència de fractures verticals eixamplades per dissolució.

Localization and distribution of karst in Mallorca

In Mallorca, the karstic phenomena location is linked with the distribution of climatic and lithological factors. Therefore, three karstic regions could be identified: Serra de Tramuntana, Serres de Llevant and Migjorn coastal plain (GINÉS & GINÉS, 1989).

SERRA DE TRAMUNTANA

Serra de Tramuntana is, par excellence, the main karstic region of Mallorca, due to the diversity of its morphologies as well as their extraordinary development. Nevertheless, it could be distinguished, both quantitatively and qualitatively, two different areas. The first one is the northern moiety which limits are approximately Sóller village, at the center of the mountain range, and Cap de Formentor peninsula to the NE; the second area is the southern part, that runs in SW direction from Sóller to Sant Elm. The main differences between both areas are that in the first one there are: the highest tops of the range, the greatest annual rainfall values, and a more frequent presence of calcareous lithologies.

Exokarstic morphologies

Probably the karren fields are, especially in the landscape of the northern area of Serra de Tramuntana, the most impressive features of Majorcan exokarst. These solutional morphologies are abundant between monastery of Lluc and Pollença (BÄR, 1986); most of them have been firstly generated under soil coverage and, afterwards, evolved through exhumation and subaerial dissolution processes (GINÉS & GINÉS, 1989).

The geographical disposition of the main mountain range of Mallorca, with obvious rainfall and temperature gradients, allows us to establish in this area (GINÉS, 1990a) a clear altitudinal zoning for the karren distribution that shows, however, a common characteristic represented by the abundance of solutionally enlarged fissures.

*Karstic depressions are just present on the northern moiety of Serra de Tramuntana, where a rather relevant number of dolines have been reported (GINÉS *et al.*, 1989; GINÉS, 1990b). Such landforms, usually not larger than 200 m in diameter, exhibit the typical morphogenesis of dissolution dolines, with a flat floor covered with decalcification clays and spotted by shafts working as swallow-holes. These depressions are often surrounded with spectacular karren features.*

In this region there are several larger karstic depressions, but generally their principal axis does not exceed one and half kilometer and usually they have close relations with the structural trends of the range. An important example of this kind of

Pel que fa a les depressions de caràcter càrstic, únicament són presents a la meitat septentrional de la serra, on es localitzen un relativament important nombre de *dolines* (GINÉS *et al.*, 1989; GINÉS, 1990b). Aquestes morfologies, que normalment no superen els 200 m de diàmetre, presenten la típica morfogènesi de les dolines de dissolució, amb un fons pla cobert per argiles de decalcificació i amb avencs que actuen d'engolidors. Exteriorment es presenten envoltades per formes de lapiaz.

Respecte a depressions de major tamany, aquestes també hi són presents a la serra, encara que en general no solen sobrepassar el quilòmetre i mig de llargària del seu major eix, i quasi sempre presenten una clara relació amb les directrius estructurals de la zona. Un bon exemple d'aquest tipus de depressions el constitueix la Coma de Son Torrella, a Escorca, que presenta clares analogies amb els *poljes*. No obstant, cal esmentar la presència de determinades valls tancades, però capturades per la xarxa torrencial, que podrien ésser relacionades genèticament amb antigues depressions tipus *polje* (GINÉS & GINÉS, 1989).

Finalment, tant a un vessant com l'altre de la Serra de Tramuntana, trobam una sèrie de canyons càrstics, formats on els torrents tallen els paquets de calcàries i s'encaixen a favor de fractures d'origen tectònic. El més espectacular d'aquests canyons càrstics el constitueix el Torrent de Pareis (Foto 1) d'uns 3 km de recorregut, format per la conjunció del Torrent de Lluç i el Torrent des Gorg Blau. És en aquest darrer ramal, on el tram denominat sa Fosca adquireix la major espectacularitat, a causa que les seves parets superen els 200 m d'alçada, impeding la penetració de la llum natural fins el seu llit. Entre altres, també cal destacar els torrents de na Mora, Fondo de Mortitx, des Gorg des Diners, de Coanegra, etc.

Les morfologies endocàrstiques

Al darrer inventari de cavitats subterrànies realitzat a Mallorca es donava constància de l'existència d'aproximadament un milenar d'aquestes morfologies (TRIAS *et al.*, 1979), de les quals un 85% es trobaven a la Serra de Tramuntana. A més, la localització de la majoria d'elles, un 64 % del total de l'illa, es concentra a la meitat septentrional de la serra.

És evident, donat el nombre d'aquestes morfologies, la importància que té l'endocarst a aquesta regió càrstica. Així i tot, cal dir que no són cavitats d'un gran desenvolupament o dimensions, ja que per regla general no superen el quilòmetre de recorregut i sols una, la Cova de sa Campana (Escorca) amb -304 m, supera la cota de 300 m de desnivell (GINÉS & GINÉS, 1987).

Finalment, cal dir que a la Serra de Tramuntana trobam bàsicament cavitats verticals, és a dir avencs. Per altra part, i entre d'altres tipologies de menor presència a la serra com són les coves de tendència

depressions is Coma de Son Torrella, in Escorca, that shows clear analogies with classical poljes. Moreover, it should be mentioned the presence of some almost closed valleys, nowadays captured by the torrential network, that could be genetically related to ancient polje-like depressions (GINÉS & GINÉS, 1989).

Finally, in both sides of the Serra de Tramuntana range, a set of karstic canyons can be found modelled where the water-courses cut thick limestones making use of important tectonic fractures. The most impressive karstic canyon is Torrent de Pareis (Photo 1) approximately 3 kilometers long, formed by the



Foto 1: Fotografia del Torrent de Pareis (Escorca) amb els espectaculars camps de lapiaz que l'envolten.

Photo 1: Photograph of karstic canyon known as Torrent de Pareis (Escorca), together with the spectacular karren fields that surround it.

confluence of Torrent de Lluç and Torrent des Gorg Blau. In the last mentioned stream, the stretch called Sa Fosca is really magnificent, considering that its walls surpass 200 meters in height and so prevent the day-light from reaching its bottom. Among other canyons, there should be also pointed out Torrent de na Mora, Torrent Fondo de Mortitx, Torrent des Gorg des Diners, Torrent de Coanegra, etc.

Endokarstic morphologies

*The last inventory of Majorcan subterranean cavities allude to the existence of approximately over one thousand of such morphologies (TRIAS *et al.*, 1979); 85 % were located in Serra de Tramuntana, and up to 65 % of the cavities existent in the whole island are situated in the northern moiety of this range.*

As for the large amount of these features, it results that endokarstic phenomena are certainly very important in this natural region. However, it must be said that these are subterranean cavities lacking a high development or great dimensions; most of them do not surpass one kilometer long and only one cavern, Cova de sa Campana (Escorca), with -304

horizontal, cal destacar per la seva exclusivitat l'existència de petits avencs de gènesi nival.

LES SERRES DE LLEVANT

Dins aquesta àrea el desenvolupament de formes exocàrstiques no presenta una notable rellevància. Nogensmenys, hi són presents a àrees molt localitzades on es donen formes de modelat superficial, degudes a l'exhumació del criptolapiaz originat a la interfase sòl-roca. Així i tot, aquestes morfologies de lapiaz presenten un incipient micromodelat que està dominat per formes de lapiaz amb estries i petites acanaladures (*rillenkarren*). Respecte a les depressions càrstiques cal esmentar la presència d'unes poques dolines.



Foto 2: Entrada de les Coves d'Artà (Capdepera), interessant cavitat càrstica litoral de les Serres de Llevant.

Photo 2: The conspicuous entry to Coves d'Artà (Capdepera), interesting littoral karst-cave located in Serres de Llevant region.

Les Serres de Llevant representen la regió càrstica que posseeix menys cavitats, un 5% del total de l'illa, encara que reuneix una bona diversitat tipològica. Així doncs, hi són presents avencs fusiformes amb un desenvolupament vertical dels seus pous que pot superar els 100 m de desnivell, com és el cas de l'Avenc des Travessets (Artà) on el seu únic pou arri-

meters, exceed the figure of 300 meters in depth (GINÉS & GINÉS, 1987).

Finally, it must be pointed out that cavities in Serra de Tramuntana are predominantly vertical shafts, which are locally known under the term *avenc*. Among other subterranean typologies whose presence in the range is less frequent, as occur in the case of horizontal development caves, it is necessary to report —because of its exclusiveness— some small shafts located high in the mountains and genetically related to snow precipitations.

SERRES DE LLEVANT

In this area the development of exokarstic landforms is not outstanding. Nevertheless, in some specific areas there are karren forms produced by the exhumation of subsoil karren features. However, these karren features exhibit an incipient superficial minor sculpture dominated by small sharpened grooves and rills (*rillenkarren*). Referring to the karstic depressions, it should be mentioned the existence of a few dolines.

Serres de Llevant is the karstic region containing the shortest number of subterranean cavities, only 5 % of the whole island, although it comprises an important typological diversity. There are vadose dissolution shafts, with vertical pits which can occasionally surpass 100 meters of depth; it is the case of *Avenc des Travessets* (Artà), a shaft with only one great pit 145 meters in depth. The horizontal caves, with very different sizes, have impressive speleothems decoration, as it is the case of the famous show-cave named *Coves d'Artà* (Photo 2) in *Cap Vermell* (Capdepera), or contain great chambers with relevant collapse processes as in *Cova Nova de Son Lluís* (Porreres).

MIGJORN

Migjorn natural area, in southern Mallorca, is a karstic region built on a postorogenic tabular platform formed by a Tortonian-Messinian calcarenites sequence, including a reef complex. At superficial level, it is morphologically a plain area rather deprived of any remarkable exokarstic landforms, and where the solutional sculpture is present only as subsoil karren developed under the thin soil that covers it (GINÉS & GINÉS, 1989). Nevertheless, there are some karstic depressions of large size, as that of *Comes de Son Granada* (Llucmajor) or *Camp d'en Torrella* (Santanyi), together with other small sized dolines.

The endokarstic features in Migjorn region show an important development of horizontal caverns; the most representative of them, due to its magnificence and touristic use, being *Coves del Drac* (Photo 3) in *Manacor*. The subterranean cavities in Migjorn area are characterized by their richness in speleothems accumulations, and by their general morphology

ba als 145 m. Per altra part, les cavitats horitzontals, de dimensions variades, presenten espectaculars decoracions estalactíiques i estalagmíiques, com en el cas de les famoses Coves d'Artà (Foto 2) al Cap Vermell (Capdepera), o grans sales presidides per processos clàstics com la Cova Nova de Son Lluís (Porreres).

EL MIGJORN

El Migjorn de Mallorca constitueix una regió càrstica que, tal i com s'ha apuntat amb anterioritat, correspon a una plataforma tabular post-orogènica formada per una seqüència de calcarenites del Tortonià-Messinià que inclou un complex escullós. Morfològicament, en superfície, aquest sector conforma una plana on gairebé hi són absents les formes exocàrstiques, i on el micromodelat de dissolució es limita a un criptolapiaz format davall la minsa capa edàfica que la cobreix (GINÉS & GINÉS, 1989). No obstant, cal esmentar la presència d'algunes depressions càrstiques de considerable tamany, tals com les Comes de Son Granada, a Lluçmajor, o el Camp d'en Torrella, a Santanyí, a més d'altres dolines de menors dimensions.

Respecte a les formacions endocàrstiques, la regió del Migjorn de Mallorca presenta un important desenvolupament de cavitats horitzontals, una de les quals —les Coves del Drac (Foto 3) a Manacor— és emblemàtica per la seva espectacularitat i explotació turística. Aquestes cavitats del Migjorn es caracteritzen, a part de per la seva riquesa en acumulacions d'espeleotemes, per la presència de galeries i sales on els processos clàstics són predominants. A la majoria d'aquestes coves és freqüent que les seves cotes inferiors presentin llacs d'aigües salobroses, relacionats amb el nivell actual de la mar i amb els fenòmens de carstificació litoral característics d'aquesta zona.

Bibliografia / References

- ANGLADA, E.; SÀBAT, F. & SANTANACH, P. (1986): Les charriages de la zone centrale de Majorque (Baléares, Espagne): la structure de la région de Randa. *C. R. Acad. Sc. Paris*. 303, (7) : 585-589.
- BÄR, W. F. (1989): Atlas Internacional del Karst. Hoja 5: Lluç/ Sierra Norte (Mallorca). *Endins*. 14-15 : 27-42. Palma de Mallorca.
- FALLOT, P. (1922): *Étude Géologique de la Sierra de Majorque*. Bé-ranger. 480 pàgs. París.
- GELABERT, B.; SÀBAT, F. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1992): A structural outline of the Serra de Tramuntana (Balearic islands). *Tectonophysics*. 203 : 167-183. Amsterdam.
- GINÉS, A. (1990a): Utilización de las morfologías de lapiaz como geoindicadores ecológicos en la Serra de Tramuntana (Mallorca). *Endins*. 16 : 27-39. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1987): Características espeleológicas del karst de Mallorca. *Endins*. 13 : 3-19. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A.; FIAL, L.A.; POL, A. & ROSSELLÓ, J. A. (1989): Morfologia i vegetació d'un grup de dolines de la serra de Tramuntana. *Endins*. 14-15 : 43-52. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1989): El karst en las islas Baleares. In: DURÁN, J. J. & LÓPEZ, J. (Ed.): *El Karst en España*. Sociedad Española de Geomorfología. Monografía 4: 163-174. Madrid.

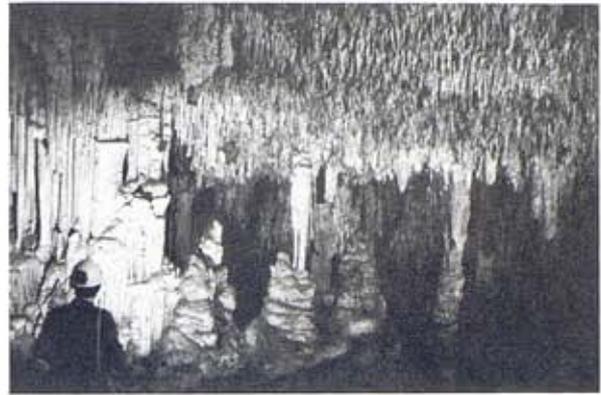


Foto 3: Aspecte de les Coves del Drac (Manacor). Es tracta d'un dels exponents més destacables de l'endocarst característic de la regió natural del Migjorn.

Photo 3: General view of Coves del Drac (Manacor). This cavern is the most outstanding example concerning the characteristic endocarst of Migjorn natural region, in southern Mallorca.

consisting in successions of large chambers and passages shaped by means of important collapse processes. Most of these caves present, at the lowest points of its chambers, outstanding brackish pools linked with both the current sea level and the coastal karstification phenomena occurring in the area.

- GINÉS, J. (1990b): El modelat càrstic de sa Mitjanja (Escorca, Mallorca). *Endins*. 16 : 17-20. Palma de Mallorca.
- GRIMALT, M.; RODRÍGUEZ-PEREA, A.; SERVERA, J. & RODRÍGUEZ, R. (1991): *Libro-Guía de las Excursiones de las VII Jornadas de Campo de Geografía Física*. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 253 pàgs. Palma de Mallorca.
- GUIJARRO, J. A. (1986): *Contribución a la Bioclimatología de Baleares*. (Tesi Doctoral). Universitat de les Illes Balears. 2 vols. Inèdit.
- POMAR, L.; OBRADOR, A.; FORNÓS, J.J. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1983): *El Terciario de las Baleares (Mallorca - Menorca). Guía de las Excursiones del X Cong. Nac. Sedimentología*. Inst. Est. Balearics - Universidad de Palma de Mallorca, 256 pàgs. Palma de Mallorca.
- SÀBAT, F. (1986): *Estructura geológica de les Serres de Llevant de Mallorca (Balears)*. (Tesi Doctoral). Universitat de Barcelona. 2 vols. Inèdit.
- TRIAS, M.; PAYERAS, C. & GINÉS, J. (1979): Inventari Espeleològic de les Balears. *Endins*. 5-6 : 89-108. Palma de Mallorca.

ASPECTES BIOCLIMÀTICS DEL CARST DE MALLORCA

BIOCLIMATIC ASPECTS OF KARST IN MALLORCA

José A. GUIJARRO¹

Resum

El clima de Mallorca, mediterrani, amb temperatures entre suaus i càlides durant tot l'any (mitjana anual de 16,6 °C), permet una notable activitat dels processos càrstics; no tan intensa com a les zones tropicals, però superior a la de zones més fredes.

Damunt aquest nivell general d'activitat es superposen pautes de variació espacials i temporals, degudes a la gran variabilitat dels elements climàtics, principalment de la precipitació. Aquesta presenta valors que oscil·len entre els 1.400 mm, a la Serra de Tramuntana, i quantitats al voltant dels 300 mm a l'extrem meridional de l'illa.

Abstract

The climate in Mallorca, typically Mediterranean, with temperatures between mild and hot throughout the year (annual average of 16.6 °C), allows a remarkable activity of karstic processes; not so intense as in the tropical areas, but superior to colder areas.

Above this general level of activity spatial and temporary variation patterns are superposed, due to the great variability of climatic elements, mainly from precipitation. This shows values that range from 1,400 mm, in Serra de Tramuntana mountain range, to around 300 mm in the southern end of the island.

Introducció

El clima és molt important com a modulador dels processos càrstics, tant directament, mitjançant la influència directa de la pluviositat i la temperatura en els mecanismes de dissolució de la roca calcària, com indirectament, permetent-hi el desenvolupament d'un cert tipus de vegetació, la qual al seu torn afavorirà també aquella dissolució a través de l'activitat de les arrels i de la respiració del sòl (JAKUCS, 1977).

En aquest apartat farem en primer lloc una aproximació general al clima de Mallorca, per a després parar atenció a les variacions espacials del clima dins l'illa, així com a les variacions dels elements climàtics al llarg del temps.

La font principal per a l'elaboració de les taules

Introduction

The climate is very important as a modulator of karstic processes, both directly, through the direct influence of rainfall and temperature in the dissolution mechanisms of limestones, and indirectly, allowing the growth of a certain kind of vegetation, which in its turn will also favour dissolution through the activity of roots and the respiration of the soil (JAKUCS, 1977).

In the first place, in this section we will make a general approach to the climate in Mallorca, proceeding with the spatial variations of the climate on the island, as well as the variations of climatic elements throughout time.

GUIJARRO (1986) has been the main source for the elaboration of data tables and diagrams, but GAYÀ (1976 and 1984), GRIMALT (1989) and JANSÀ (1976) have also been consulted as well as the climatologic data from the Centre Meteorològic de Balears (C.M.B., several years).

¹ Societat d'Història Natural de les Balears. Estudi General Lul·lià. C/ Sant Roc, 4. E-07001 Palma de Mallorca.

de dades i diagrames ha estat GUIJARRO (1986), però també s'han consultat GAYÀ (1976 i 1984), GRIMALT (1989) i JANSÀ (1976), així com les dades climatològiques del Centre Meteorològic de Balears (C.M.B., diversos anys).

Visió general del clima de Mallorca

Mallorca es troba situada a latituds mitjanes, dins la Mediterrània occidental, i això fa que estigui sotmesa a la influència alternada de dos trets de la circulació general de l'atmosfera: 1) a l'hivern ens trobam a la banda sud del cinturó de vents generals de ponent, i de tant en tant en rebem els sistemes frontals associats; 2) a l'estiu, en canvi, el cinturó de ponents puja de latitud, amb la qual cosa quedam sota la influència del cinturó subtropical d'altres pressions, en el que predomina el temps sec i assolellat, i les poques precipitacions són de caràcter convectiu.

Apart d'aquests condicionants generals deguts a la latitud de Mallorca, les configuracions de l'orografia al voltant de la Mediterrània imposen altres característiques al clima. En efecte, els sistemes muntanyencs de l'Atlas al sud, les serralades Bètiques i Ibèrica a l'oest, i els Pirineus i Alps al nord, actuen com a barreres que alteren notablement la circulació de l'aire que arriba a la Mediterrània, produint contrastos entre masses d'aire que sovint generen depressions, i fan de la Mediterrània occidental un dels llocs amb major activitat ciclogènica del món.

La conseqüència de tot això és un clima molt irregular, amb variacions espectaculars del règim de precipitació d'uns anys a altres. La mateixa mar Mediterrània és un factor climàtic molt important. La capacitat acumuladora de calor de l'aigua de la mar actua com a element moderador de les variacions de temperatura, tant dins el cicle diari com entre les estacions de l'any. És així com els hiverns són relativament suaus, amb poques gelades, i els estius, encara que càlids, no es caracteritzen pels màxims de temperatura propis de zones més continentals. La calor acumulada per la mar durant l'estiu té un altre efecte: en ser tornada a l'aire a la tardor, contribueix a inestabilitzar l'atmosfera i, amb ocasió d'invasions d'aire fred a les capes mitjanes i altes de la troposfera, es produeixen les tempestes més fortes de l'any i es recullen les majors quantitats de precipitació, fins al punt de produir, amb certa freqüència, inundacions per desbordament dels torrents més afectats per la pluja.

Tots aquests factors es reflecteixen en el clima general de Mallorca que il·lustrarem amb el diagrama ombrotèrmic d'una localitat de l'illa, Sant Joan, allunyada dels extrems climàtics (Figura 1 i Taula I). Amb 153 m d'altitud, té una precipitació anual mitjana de 584 mm, amb un màxim mensual de 93,8 mm a l'oc-

General view of the climate in Mallorca

Mallorca is situated in medium latitudes, in the western part of the Mediterranean, being submitted to the alternated influence of two features of the general circulation of the atmosphere: 1) in the winter we are situated in the southern part of the belt of general western winds and, from time to time, we receive the frontal systems associated to it; 2) in the summer, however, the western winds belt rises to a higher latitude, with which we remain under the influence of the subtropical belt of high pressures, where the dry and sunny weather predominates and the few rainfalls are of a convective character.

Apart from these general conditionings due to the latitude of Mallorca, the configurations of the orography around the Mediterranean impose other characteristics on the climate. In fact, the mountains of the Atlas in the South, the Betic and the Iberian ranges in the West, and the Pyrenees and the Alps in the North, act like barriers which alter notably the circulation of air that reaches the Mediterranean, producing great contrasts between the masses of air that often generate depressions and, in this manner, cause the western part of the Mediterranean to be one of the areas which has the greatest cyclogenetic activity in the world.

The consequence of all this is a very irregular climate, with spectacular variations of the amount of precipitations from one year to another. The Mediterranean itself constitutes a very important climatic factor. The heat accumulative capacity of sea water acts like a moderating element of the temperature variations, both in the daily cycle and among the seasons of the year. This is why our winters are relatively mild, with few frosts, and summers, although hot, do not attain the maximum temperatures typical of more continental areas. The accumulated heat through the action of the sea during the summer has another effect: on being reverted to the air in the autumn, it contributes to destabilize the atmosphere and when the irruption of cold air occurs in the middle and the upper layers of the troposphere, the most severe storms of the year take place and the greatest amounts of precipitation are collected, up to the point of producing, quite frequently, floodings through the overflowing of the mountain streams more affected by the intense stormy rains.

All these factors are reflected in the general climate of Mallorca which we will illustrate with the pluviometric diagram of Sant Joan, a locality situated far from climatic extremes of the island (Figure 1 and Table I). With 153 m height, it has an annual average precipitation of 584 mm, with a monthly maximum of 93.8 mm in October and a minimum of 8.7 mm in July. Practically all this amount falls in the form of rain: the fall of snowflakes on the

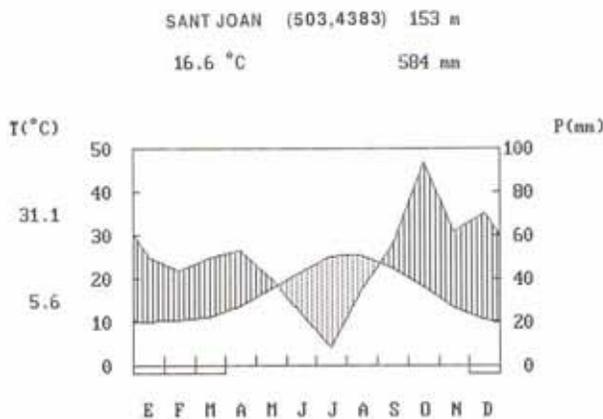


Figura 1: Diagrama ombrotèrmic d'una localitat representativa de Mallorca.

Figure 1: Piuvio-thermic diagram of a representative locality in Mallorca.

tubre i un mínim de 8,7 mm el juliol. Pràcticament tota aquesta quantitat cau en forma de pluja; la caiguda de flocs de neu al Pla de Mallorca és un fet anecdòtic, i alguns dels 15 dies anuals de tempesta pot caure calabruix, però amb una contribució insignificant al total de precipitació. El nombre mitjà anual de dies amb precipitació igual o superior a 1 mm són 60, dels quals 18 assoleixen o superen els 10 mm.

Pel que fa a les temperatures, la mitjana anual és de 16,6 °C, amb 31,1 °C com a mitjana de les màximes del mes més càlid (agost) i 5,6 °C de mitjana de les mínimes del mes més fred (gener). Ocasionalment hi pot haver gelades (dies amb mínima igual o inferior a 0 °C) de desembre a març.

A la Taula I es presenten dades mensuals mitjanes d'uns quants elements climàtics i un balanç hídric segons el mètode de Thornthwaite. En aquest podem veure que el sòl roman sec des de juny fins a setembre i saturat des de desembre fins a abril. No obstant, aquest balanç mitjà és només una aproximació a la realitat, perquè la precipitació acostuma a caure concentrada en uns pocs dies i no repartida al llarg de cada mes. Per tant, els 34,9 mm d'agost produiran una certa humitat al sòl, encara que per un curt període de temps, cosa que sols quedaria reflectida en un balanç hídric realitzat amb dades diàries. El mateix passaria amb l'excés d'aigua (escorrentia superficial i infiltració), que encara que sigui nul·la els mesos de màxima precipitació per estar recarregant la reserva d'humitat del sòl, a nivell diari hi trobaríem excessos els dies amb pluges importants, tal com succeeix a la realitat. Més interessants resulten les dades estimades d'evapo-transpiració real que, deduïdes a partir de les de temperatura però tenint en compte les disponibilitats d'aigua (de precipitació o d'humitat al sòl), poden donar una idea del nivell d'activitat de la vegetació que cal esperar a la localitat.

És ben conegut que la solubilitat del diòxid de carboni, i com a conseqüència la de la roca calcària,

plain of Mallorca is merely anecdotal and, during some of the 15 annual stormy days, hailstones can fall but with an insignificant contribution to the total amount of precipitation. The annual average number of days with precipitation equal or over 1 mm are 60, and in 18 of them 10 mm can be attained or surpassed.

With regard to temperatures, the annual average is of 16.6 °C, with 31.1 °C as the average of daily maximums of the hottest month (August), and 5.6 °C as the average of daily minimums of the coldest month (January). Occasionally, there may be frosts (the days with a minimum temperature of 0 °C or less) from December to March.

In Table I the monthly average data of a few climatic elements and a hydric balance according to Thornthwaite's method are presented. We are able to perceive from it that the soil remains dry from June until September and saturated from December until April. However, this average balance is only an approximation to reality, because precipitation usually falls accumulated in a few days and not distributed throughout each month. Therefore, the 34.9 mm in August will produce a certain humidity to the soil, although only for a short period of time, a fact that would just be reflected in a hydric balance carried out with daily data. The same would occur with the excess of water (surface run-off and infiltration), that although it is null during the months of maximum precipitation as the humidity reserve of the soil is being refilled, at a daily level we would find an excess during the days that the heavy rains fall, as it really happens. The estimated real evapotranspiration data—which are calculated from the temperatures, but taking into account the availability of water (from precipitations or from soil humidity)—reveal more interest because they can give an idea of the activity level of the vegetation which is to be expected in the locality.

It is well-known how the solubility of carbon dioxide, and as a consequence that of the limestone, varies inversely with temperature; which would explain the different erosion rates corresponding to rocks without soil cover. The existing relationship between precipitations and regional karstic erosion rates has also been proved, once the evapotranspiration values have been put aside (ATKINSON & SMITH, 1976). Within Mallorca's general climate, temperatures and precipitations that are recorded in the different karstic localities present remarkable spatial variations that will be dealt with later on.

Bioclimatic implications

In the same diagram in Figure 1 we can observe the most important feature of the Mediterranean

varia inversament amb la temperatura; això explica les diferents taxes d'erosió corresponents a roques desproveïdes de sòl. També s'ha pogut demostrar la relació existent entre precipitacions i taxes regionals d'erosió càrstica, una vegada descomptats els valors de l'evapo-transpiració (ATKINSON & SMITH, 1976). Dins el clima general de Mallorca, les temperatures i precipitacions que s'enregistren en les distintes localitats càrstiques presenten importants variacions espacials que seran tractades més endavant.

Implicacions bioclimàtiques

Al mateix diagrama de la Figura 1 podem observar el tret més important del clima mediterrani: a l'estiu, quan les temperatures són més altes, i per tant també les demandes evaporatives de l'atmosfera, és quan les precipitacions assoleixen el seu mínim. Aquest fet resulta molt estressant per a la vegetació i, apart de les plantes de cicle anual (teròfits) que completen el seu cicle vital a l'època humida, només es poden desenvolupar els arbres i arbusts ben proveïts d'adaptacions a la sequera.

El paradigma d'arbre mediterrani és l'alzina (*Quercus ilex*). Les seves fulles petites, coriàcees per la forta cutícula impermeable, amb els estomes situats en un revers més clar degut a les microestructures pil·loses que els protegeixen, són ideals per a un estricte control de la transpiració. Al mateix temps, unes profundes arrels garanteixen el mínim d'humitat necessària per a reemplaçar l'aigua perduda durant els períodes de sequera. Tant l'alzina com les altres espècies llenyoses de Mallorca (*Pinus halepensis*, *Pistacia lentiscus*, *Olea europaea*, *Cistus* sp, etc) són de fulla perenne, i per tant no tenen una època de caiguda ben definida. No obstant, en el procés de renovació foliar les fulles que cauen es van incorporant al sòl, on tenen lloc els processos de descomposició que, amb intervenció d'organismes vius, fan que la concentració de diòxid de carboni a terra sigui dos ordres de magnitud superior a la de l'aire.

Aquest fenomen, la respiració del sòl, és afavorit per la humitat i la temperatura, necessàries per a l'activitat dels organismes descomponedors. Per tant podem esperar que les concentracions de diòxid de carboni al sòl, el seu rentat per l'aigua de pluja i la posterior reacció d'aquesta aigua acidificada amb la

climate: in the summer, when the temperatures are higher, and therefore also the evaporative demands of the atmosphere, it is when the precipitations attain their minimum. This fact is very stressful for the vegetation and, apart from plants with an annual cycle that complete their vital cycle during the humid period, only well drought-adapted trees and bushes can develop.

The paradigm of Mediterranean tree is the holm-oak (*Quercus ilex*). Its small leaves, coriaceous due to its strong impermeable cuticle, and with its stomata situated at a lighter back side due to its pilose microstructures which protect them, are ideal for a strict transpiration control. At the same time, its deep roots guarantee the minimum of humidity essential to replace the lost water during the dry season. Both the holm-oak and the other woody Majorcan species (*Pinus halepensis*, *Pistacia lentiscus*, *Olea europaea*, *Cistus* sp, etc) are evergreen and therefore they do not have a well-defined falling period. However, during the process of foliar renovation the falling leaves are incorporated to the soil, where the decomposition processes take place which, with the intervention of living organisms, cause the concentration of carbon dioxide in the ground to be higher in magnitude with regard to the open air.

This phenomenon, the soil respiration, is favoured by the humidity and the temperature, essential for the activity of decomposing organisms. Therefore it is to be expected that the carbon dioxide concentrations in the soil, its washing produced by rain water, and the subsequent reaction of this acidified water with limestones in the subsoil, will attain its maximums in the autumn, and will also be high in the spring, seasons in which there is a better conjunction of temperature and precipitation values: in the winter the temperature is lower, and the summer is too dry.

We must also consider the fact that the rain only falls in a reduced number of days, in which the rain takes the form of short periods of showers favouring the carbon dioxide of the soil to be recharged between rainfalls, more than if the same amount of rainfall should fall better distributed like in atlantic climates.

Fluctuations in the concentration of carbon dioxide in the interior of karstic geosystems show a strong dependence on the main features of the climate. If the role that carbon dioxide plays is

Les taules que es presenten corresponen a dades mitjanes mensuals estimades a quadrícules de 1 km², per al període 1961-1980, mitjançant un model de regressió múltiple (GUIJARRO, 1986).

Explicació dels símbols: P = Precipitació; T = Temperatura; TM = Temperatura màxima diària; Tm = Temperatura mínima diària; Tma = Temperatura mínima mensual; E(L) i ETP(L) = Evaporació i Evapotranspiració potencial (mètode de Linacre); ETP = Evapotranspiració potencial (mètode de Thornthwaite); R = Reserva d'humitat al sòl; ETR = Evapotranspiració real; DA = Dèficit d'aigua; EA = Excés d'aigua (escorrentia + infiltració).

The tables shown correspond to monthly average data estimated in squares of 1 km², for the period 1961-1980, by means of a multiple regression model (GUIJARRO, 1986).

Explanation of the symbols: P = Precipitation; T = Temperature; TM = Daily maximum temperature; Tm = Daily minimum temperature; Tma = Monthly minimum temperature; E(L) and ETP(L) = Evaporation and potential Evapotranspiration (Linacre's method); ETP = Potential Evapotranspiration (Thornthwaite's method); R = Soil humidity reserve; ETR = Real Evapotranspiration; DA = Water deficit; EA = Water excess (run-off + infiltration).

Valors mensuals de precipitació (mm), temperatures (°C) i evaporació (mm):
 Monthly precipitation values (mm), temperatures (°C) and evaporation (mm):

	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
P	49.7	43.7	49.3	52.9	40.3	23.5	8.7	34.9	55.7	93.8	61.5	69.9	583.9
T	10.0	10.3	11.2	13.4	17.4	21.5	24.9	25.4	22.6	18.3	13.7	10.8	16.6
TM	14.3	14.7	16.0	18.4	22.8	27.3	30.9	31.1	27.8	22.9	18.3	14.9	31.1
Tm	5.6	5.8	6.5	8.5	11.9	15.7	18.9	19.7	17.4	13.7	9.1	6.7	5.6
Tma	0.8	0.8	1.3	3.4	7.2	11.3	15.0	15.8	12.7	8.2	3.3	1.4	0.8
E(L.)	76.8	70.8	84.5	100.5	146.8	196.6	260.1	260.0	202.8	151.1	103.1	84.2	1737.3
ETP(L.)	60.8	55.9	66.4	79.1	116.8	158.6	212.1	210.7	162.1	119.2	81.3	66.9	1389.9

Balanç hídric (mm, pel mètode de Thornthwaite) / Hydric balance (mm, using Thornthwaite's method):

	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
P	49.7	43.7	49.3	52.9	40.3	23.5	8.7	34.9	55.7	93.8	61.5	69.9	583.9
ETP	20.8	22.6	31.3	45.9	80.8	117.3	153.4	148.1	106.3	68.1	35.7	23.0	853.3
R	100.0	100.0	100.0	100.0	59.5	0.0	0.0	0.0	0.0	25.7	51.4	98.3	52.9
ETR	20.8	22.6	31.3	45.9	80.8	83.0	8.7	34.9	55.7	68.1	35.7	23.0	510.5
DA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.4	144.7	113.2	50.6	0.0	0.0	0.0	342.9
EA	27.2	21.1	18.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	73.3

Taula I / Table I: SANT JOAN (X = 503 km; Y = 4383 km; Z = 153 m)

Valors mensuals de precipitació (mm), temperatures (°C) i evaporació (mm):
 Monthly precipitation values (mm), temperatures (°C) and evaporation (mm):

	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
P	147.8	130.1	140.8	117.6	78.2	30.1	15.7	48.9	95.3	204.7	185.6	207.5	1402.3
T	10.5	10.6	11.6	12.9	16.5	20.6	24.5	24.8	22.4	18.0	14.0	11.4	16.5
TM	11.5	11.9	13.1	14.9	19.7	24.8	28.7	28.7	25.8	20.2	15.4	12.3	28.7
Tm	9.6	9.4	10.1	10.8	13.2	16.4	20.3	20.9	19.1	15.7	12.5	10.4	9.4
Tma	5.9	6.2	6.0	7.7	10.1	13.5	17.7	18.9	16.5	12.7	8.0	6.7	5.9
E(L.)	96.2	87.4	103.1	108.2	142.1	183.6	234.0	231.8	189.4	150.5	115.8	101.5	1743.6
ETP(L.)	74.4	67.6	79.4	83.1	108.8	142.2	181.0	177.9	143.6	114.0	88.6	78.3	1338.9

Balanç hídric (mm, pel mètode de Thornthwaite) / Hydric balance (mm, using Thornthwaite's method):

	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
P	147.8	130.1	140.8	117.6	78.2	30.1	15.7	48.9	95.3	204.7	185.6	207.5	1402.3
ETP	23.2	24.3	33.9	43.7	74.6	109.7	149.5	142.4	105.2	66.8	37.7	25.8	836.8
R	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	20.4	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	68.4
ETR	23.2	24.3	33.9	43.7	74.6	109.7	36.1	48.9	95.3	66.8	37.7	25.8	620.0
DA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	113.4	93.5	9.9	0.0	0.0	0.0	216.8
EA	124.6	105.8	106.9	73.9	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	37.9	147.9	181.7	782.3

Taula II / Table II: ALMALLUTX (X = 484 km; Y = 4405 km; Z = 698 m)

Valors mensuals de precipitació (mm), temperatures (°C) i evaporació (mm):
 Monthly precipitation values (mm), temperatures (°C) and evaporation (mm):

	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
P	30.4	18.5	20.9	21.1	15.4	9.7	2.1	10.7	39.7	63.5	43.0	46.3	321.3
T	11.6	12.0	12.9	14.8	18.3	21.7	24.9	25.4	23.2	19.4	15.2	12.4	17.6
TM	14.6	15.1	16.4	18.6	22.2	25.8	29.0	29.3	26.9	22.7	18.4	15.4	29.3
Tm	8.6	8.8	9.4	11.1	14.3	17.7	20.8	21.5	19.5	16.0	12.0	9.5	8.6
Tma	3.8	3.6	4.0	6.2	9.8	13.4	17.0	17.5	15.2	10.6	6.5	4.4	3.6
E(L.)	81.5	77.6	96.7	107.2	140.1	168.5	209.4	210.9	176.8	143.7	104.9	86.9	1604.2
ETP(L.)	64.0	61.2	76.9	84.6	109.8	131.4	163.1	163.2	136.2	110.9	81.6	68.0	1250.9

Balanç hídric (mm, pel mètode de Thornthwaite) / Hydric balance (mm, using Thornthwaite's method):

	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
P	30.4	18.5	20.9	21.1	15.4	9.7	2.1	10.7	39.7	63.5	43.0	46.3	321.3
ETP	24.4	26.9	36.7	50.9	84.4	116.5	152.3	147.4	109.5	72.7	40.1	26.7	888.5
R	28.5	24.0	16.3	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	22.5	8.2
ETR	24.4	23.0	28.6	33.1	19.7	9.7	2.1	10.7	39.7	63.5	40.1	26.7	321.3
DA	0.0	3.9	8.1	17.8	64.8	106.8	150.2	136.7	69.8	9.2	0.0	0.0	567.3
EA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Taula III / Table III: CAP DE SES SALINES (X = 504 km; Y = 4346 km; Z = 8 m)

roca calcària del subsòl, seran màxims a la tardor, i també alts a la primavera, estacions en les quals es dona una millor conjunció de valors de temperatura i precipitació: a l'hivern la temperatura és més baixa, i l'estiu és massa sec.

També podem considerar que el fet de que la pluja es doni només en un petit nombre de dies, en els quals la pluja cau en forma de xàfecs de curta durada, pot afavorir la recàrrega del diòxid de carboni del sòl entre pluja i pluja, més que si la mateixa quantitat de precipitació caigués més repartida, com als climes atlàntics.

Les fluctuacions de la concentració de diòxid de carboni en l'interior dels geosistemes càrstics mostren una forta dependència dels principals trets del clima. Si es considera el paper exercit pel diòxid de carboni en els equilibris químics que controlen els processos de carstificació, és evident que els aspectes bioclimàtics adquireixen una importància fonamental per al desenvolupament del carst. GINÉS *et al.* (1987) han observat que concentracions superiors al 3 % són freqüents en les coves de Mallorca i que aquests valors mostren grans oscil·lacions al llarg del cicle anual.

Variacions espacials del clima

Si bé el diagrama ombrotèrmic de Sant Joan ens dona una idea general del clima de Mallorca, hem de dir que l'orografia de l'illa, amb les elevacions de la Serra de Tramuntana al nord-oest i les de les Serres de Llevant, menys importants, al sud-est, introdueixen considerables variacions d'uns llocs a altres.



Figura 2: Precipitacions anuals mitjanes, en mm (1961-1980).

Figure 2: Annual average precipitations, in mm (1961-1980).

Les més importants són les variacions pluviomètriques (Figura 2), que oscil·len entre 1.400 mm al cor de la Serra de Tramuntana fins a poc més de 300 mm a les puntes meridionals de l'illa (Cap de Cala Figue-

considered with regard to the chemical equilibria controlling the karstification processes, it is obvious that bioclimatic aspects acquire a great importance in the development of karst. GINÉS *et al.* (1987) have observed that concentrations superior to 3 % are frequent in Majorcan caves and that these values reveal great oscillations during the annual cycle.

Spatial variations of the climate

Although the pluvio-thermic diagram of Sant Joan gives us a general idea of the climate in Mallorca, we have to mention that the orography of the island, with its heights, those of Serra de Tramuntana in the Northwest and those of Serres de Llevant, less important, in the Southeast, introduce considerable variations from one place to another.

The most important are the rainfall variations (Figure 2), which oscillate between 1,400 mm in the heart of Serra de Tramuntana up to a little over 300 mm in the southern points of the island (Cap de Cala Figuera and Cap de ses Salines). Apart from these extreme conditions, most part of Serra de Tramuntana enjoys precipitations over 800 mm, and the heights in the interior of Artà, in the Northeast, receive from 700 to 800 mm. In the rest of central and northern Mallorca they exceed 500 mm, and the southern part is the driest with less than 500 mm annually.

With regard to average temperatures, the most important factor is the altitude and it so happens that we encounter the coldest areas in the heart of the mountains, and the hottest on the coastal plains. The thermometric oscillations throughout the day are, however, greater on the plains or extensive valleys than in the orographic heights, because radiative interchanges are more intense, and besides the cold air accumulates during the night which, due to its greater density, moves down from the higher areas. It is frequent to record, in the abundant calmed and cloudless nights, thermic inversions which cause, for example, the minimum temperature of Palma's airport, practically at sea level, to be below Serra d'Alfàbia's, at about 1,100 m height.

In Figures 3 and 4 we have outlined the pluvio-thermic diagrams of two Majorcan localities with extreme average precipitations. In Almallutx (Figure 3), on the southern bank of the Gorg Blau reservoir, we encounter monthly average precipitations over 100 mm from almost September to April, with a total of 1,402 mm annually. The dry season is reduced to a little more than two months, from 10th June to about 20th August approximately. However, at the extreme South of Mallorca (Cap de ses Salines, Figure 4) the precipitations are considerably inferior, with 321 mm of estimated annual average, and the dry season

ra i Cap de ses Salines). Llevat d'aquests extrems, la major part de la Serra de Tramuntana gaudeix de precipitacions superiors a 800 mm, i les elevacions de l'interior d'Artà, al nord-est, en reben de 700 a 800 mm. A la resta de la Mallorca central i septentrional se superen els 500 mm, i la banda meridional és la més seca, amb menys de 500 mm anuals.

Pel que fa a les temperatures mitjanes, el factor més important és l'altitud, i així trobam les zones més fredes als nuclis muntanyencs, i les més càlides a les planes costaneres. Les oscil·lacions termomètriques al llarg del dia són, però, més grans a les planes o valls amples que a les elevacions orogràfiques, perquè els intercanvis radiatius són més intensos, i a més a més durant les nits s'hi acumula l'aire fred que, degut a la seva major densitat, drena de les zones més altes. És freqüent trobar, a les nombroses nits calmes i amb cel estirat, inversions tèrmiques que fan que, per exemple, la temperatura mínima de l'aeroport de Palma, gairebé al nivell de la mar, sigui inferior a la de la Serra d'Alfàbia, a uns 1.100 m d'altitud.

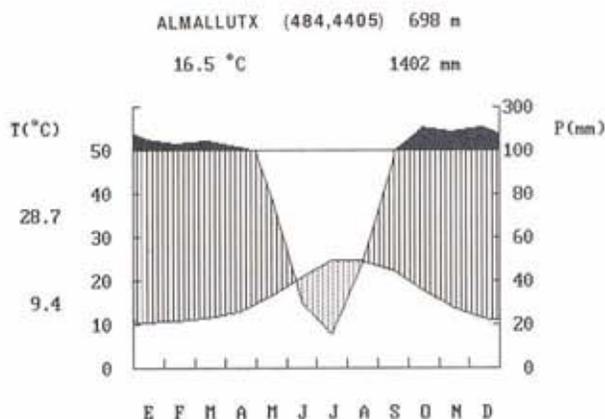


Figura 3: Diagrama ombrotèrmic d'una localitat amb màxima precipitació.

Figure 3: Pluvio-thermic diagram of a locality with maximum precipitation.

A les Figures 3 i 4 tenim representats els diagrames ombrotèrmics de dues localitats de Mallorca amb precipitacions mitjanes extremes. En Almallutx (Figura 3), a la riba sud de l'embassament del Gorg Blau, hi trobam precipitacions mensuals mitjanes superiors a 100 mm des de gairebé setembre fins a abril, amb un total anual de 1.402 mm. El període sec queda reduït a poc més de dos mesos, del 10 de juny al 20 d'agost aproximadament. En canvi, a l'extrem sud de Mallorca (Cap de ses Salines, Figura 4) les precipitacions són considerablement menors, amb 321 mm de mitjana anual estimada, i el període sec s'esten durant prop de vuit mesos (de febrer fins a setembre).

Pel que s'ha vist fins ara en referència a precipitacions i temperatures, quan pujam del nivell de la mar fins als cims més alts, les primeres augmenten

extends to about eight months (from February to September).

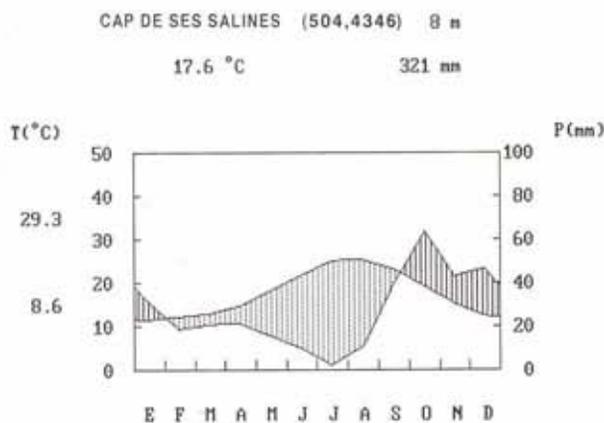


Figura 4: Diagrama ombrotèrmic d'una localitat amb mínima precipitació.

Figure 4: Pluvio-thermic diagram of a locality with minimum precipitation.

According to what has been exposed until now with regard to precipitations and temperatures, as we ascend from the sea level up to the highest peaks, the first increase while the second decrease. We have to bear in mind, therefore, that the optimum combinations for karstification will be found in the intermediate areas, with a certain height but far from the highest zones. In these optimum places is where we can find holm-oak woods in Mallorca, although the human influence has considerably reduced its distribution area.

In the highest zones of the island the vegetation is preferently herbaceous (*Ampelodesmos mauritanica*) or woody of a small size (*Teucrium subspinosum*, *Astragalus balearicus*, *Santolina chamaecyparissus*, etc); these mountain zones also have the disadvantage of being more exposed to the desiccant action of the wind.

However, in the lowest areas, whose precipitations are below 500 mm, the holm-oak wood is substituted, firstly, by pine groves (*Pinus halepensis*) and shrubberies (*Olea europaea*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea angustifolia*, etc), less and less dense as precipitation decreases or soils become impoverished and with less capacity of water retention.

At a microclimatic level, the orientation of slopes has a remarkable importance because of the great differences of solar irradiation that exist between the slopes that overlook the North or the South (GUIJARRO, 1981 and 1982). This gives rise to different evapotranspiration rhythms. If the water supply to the soil were secured, the sunny slopes would have a more developed vegetation. But the limiting factor of our climate is precipitation, and in the sunny spots the soil water content diminishes quickly,

mentre que les segones disminueixen. Hem de pensar, doncs, que les combinacions òptimes per a la carstificació es trobaran a situacions intermèdies, amb una certa altitud però lluny de les zones més elevades. En aquest òptim és on podem trobar els alzinars a Mallorca, encara que la influència humana ha reduït molt la seva àrea de distribució.

A les zones més altes la vegetació és preferentment herbàcia (*Ampelodesmos mauritanica*) o llenyosa de petita mida (*Teucrium subspinosum*, *Astragalus balearicus*, *Santolina chamaecyparissus*, etc); aquestes zones de muntanya tenen així mateix el desavantatge d'estar més exposades a l'acció dessecant del vent.

En canvi, a les zones més baixes amb precipitacions per sota dels 500 mm, l'alzinar es veu substituït, primerament, per pinars (*Pinus halepensis*) i formacions arbustives (*Olea europaea*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea angustifolia*, etc), cada vegada més obertes segons disminueix la precipitació o, d'altra banda, els sòls es fan més pobres i amb menor capacitat de retenció d'aigua.

En un nivell microclimàtic, l'orientació dels pendents té una gran importància per les grans diferències d'irradiació solar que hi ha entre els vessants que miren al nord o al sud (GUIJARRO, 1981 i 1982). Això fa que hi hagi diferents ritmes d'evapo-transpiració. Si el subministrament d'aigua al sòl estigués assegurat, les solanes serien els vessants amb una vegetació més desenvolupada. Però al nostre clima el factor limitant és la precipitació, i a les solanes el contingut d'aigua al sòl disminueix ràpidament, mentre que a les umbries es manté durant més temps. És en aquestes, doncs, on a igualtat d'altres factors trobarem una vegetació més desenvolupada i podem esperar que la concentració de diòxid de carboni al sòl sigui més alta, i que per tant sigui també major la capacitat de dissolució de la calcària per part de l'aigua de precipitació que renti aquest sòl.

Relacionades amb aquests sòls més decalcificats podem trobar espècies calcifugues, com l'arbo-cera (*Arbutus unedo*) o el bruc (*Erica arborea*), més

whereas in the shady places it lasts longer. It is in these ones where, with other factors being equal, we will find a more developed vegetation and the concentration of carbon dioxide in the soil is expected to be higher, and therefore the limestone dissolution capacity of precipitation waters that wash this soil should be also greater.

In relation with these more decalcified soils we can encounter calcifugous species, such as strawberry trees (*Arbutus unedo*) or heather (*Erica arborea*), more frequent in the slopes orientated towards the North or at the bottom of small depressions.

Variations throughout time

Another characteristic of the Mediterranean climate is its temporal variability, which becomes evident on examining its history (FONTANA et al., 1974). We have to take into account that up till now we have been referring to average temperature and precipitation values, but that from one year to another there are great differences, specially with regard to precipitation. And not only in the total amount, but also concerning its distribution throughout the year. Therefore, although it is very normal to find July months with a null precipitation, this fact can occur in any other month (with minor frequencies for the rainiest months, naturally).

To illustrate these variations from year to year we will pay attention to the succession of average precipitation and temperature in Palma's observatory, the oldest of the Balearic islands, with records since 1862.

In Figure 5 we can see how the annual precipitations can oscillate between 200 and 700 mm, with a minimum of 164.6 mm in 1945 and a maximum of 777.4 mm in 1898. They constitute very important variations. Those of the annual average temperature are not so significant (Figure 6), as throughout 132

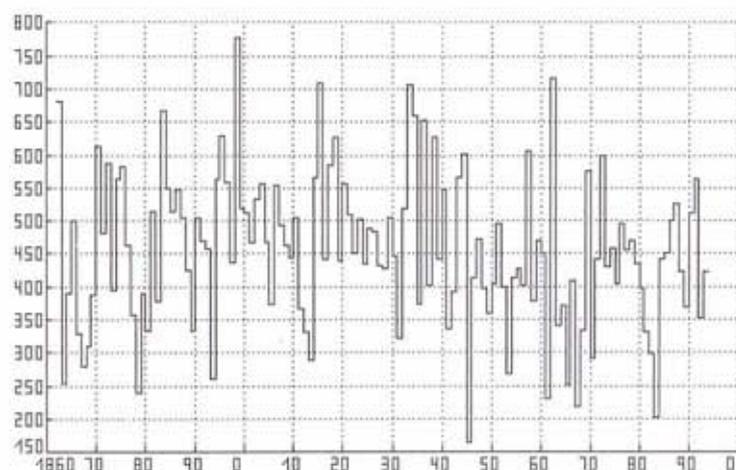


Figura 5:
Precipitacions anuals de Palma, en mm (1862-1993).

Figure 5:
Palma's annual precipitations, in mm (1862-1993).

freqüents en els vessants orientats cap al nord o als fons de petites depressions.

Variacions temporals

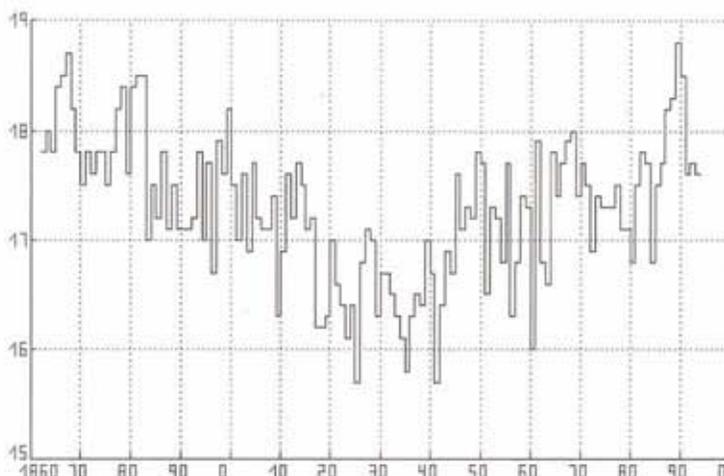
Una altra característica del clima mediterrani és la seva variabilitat, que es posa de manifest quan s'estudia la seva història (FONTANA *et al.*, 1974). Hem de pensar que fins ara ens hem estat referint als valors mitjans de temperatura i precipitació, però que

years the minimum was 15.7 °C in 1925 and 1941, whereas the maximum was 18.8 °C just in 1989. We have to point out that the cold period that can be observed in the Figure 6 between 1917 and 1937 is due to the fact that during those years the observatory was located in the Palma Institute, today situated in the centre, but then set in the outer parts of Palma, and therefore with lower minimum temperatures than in the centre of the city.

These great oscillations, above all those from precipitations and their temporary distribution from one year to another, must necessarily result in great

Figura 6:
Temperatures mitjanes anuals de Palma, en °C (1862-1993).

Figure 6:
Palma's annual average temperatures, in °C (1862-1993).



d'un any a altre es donen grans diferències, sobretot quant a la precipitació. I no només en la quantitat total, si no també respecte a la seva distribució al llarg de l'any. Així, si bé és molt normal trobar mesos de juliol amb precipitació nul·la, aquest fet es pot donar gairebé a qualsevol altre mes (amb freqüències més petites per als mesos més plujosos, naturalment).

Per a il·lustrar aquestes variacions interanuals pararem atenció a les sèries de precipitació i temperatura mitjana de l'observatori de Palma, el més antic de les Balears, amb registres des de 1862.

A la Figura 5 podem veure com les precipitacions anuals poden oscil·lar entre 200 i 700 mm, amb un mínim de 164,6 mm el 1945 i un màxim de 777,4 mm el 1898. Són variacions molt importants. Les de la temperatura mitjana anual no ho són tant (Figura 6), donat que al llarg dels 132 anys el mínim va ser de 15,7 °C el 1925 i el 1941, mentre que el màxim fou 18,8 °C al recent 1989. Hem d'aclarir que el període fred que s'observa a la Figura 6 entre 1917 i 1937 és degut a que durant aquells anys l'observatori es trobava a l'Institut de Palma, avui una localització cèntrica, però llavors situada a l'extraradi de la ciutat, i per tant amb unes mínimes més baixes que al centre del nucli urbà.

Aquestes fortes oscil·lacions, sobretot de les precipitacions i de la seva distribució temporal any rera any, es deuen traduir necessàriament en fortes va-

variations of the activity of karstic processes, and must be recorded as differences in the sedimentation rhythms that affect the underground cavities, specially what concerns the development of speleothems.

riacions de l'activitat dels processos càrstics, i deuen quedar enregistrades com a diferències en els ritmes de sedimentació que afecten les cavitats subterrànies, especialment en el que fa referència al creixement d'espeleotemes.

Bibliografia / References

- ATKINSON, T.C. & SMITH, D.I. (1976): The erosion of limestones. In: FORD, T.D. & CULLINGFORD, C.H.D. (Eds.): *The Science of Speleology*. Academic Press. 151-177. London.
- C.M.B. (diversos anys): *Boletín Mensual Climatológico*. Centro Meteorológico de Baleares (I.N.M.). Palma de Mallorca.
- FONTANA, J.M.; MIRÓ-GRANADA, J. & VIDAL, J.J. (1974): *El clima de Baleares, hoy y ayer: 1450-1700*. 104 pàgs. Madrid.
- GAYÀ, C. (1976): *Climatología de Baleares. Temperaturas*. SMN A-71. 49 pàgs. Madrid.
- GAYÀ, C. (1984): *Climatología de Baleares. Meteoros*. INM A-71bis. 204 pàgs. Madrid.
- GINÉS, A.; HERNÁNDEZ, J.; GINÉS, J. & POL, A. (1987): Observaciones sobre la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera de la Cova de les Rodes (Pollença, Mallorca). *Endins*. 13 : 27-38. Palma de Mallorca.
- GRIMALT, M. (1989): *Geografía del risc a Mallorca*. Tesis Doctoral, Universitat de les Illes Balears.
- GUIJARRO, J.A. (1981): Primeras medidas de irradiación solar en Palma de Mallorca. Relación con la insolación. *Bol. Soc. Hist. Nat. Bal.* 25 : 31-38. Palma de Mallorca.
- GUIJARRO, J.A. (1981): *Radiación solar sobre laderas: aplicación a los taludes costeros del SW de Mallorca, y relación con la vegetación*. Tesis de Licenciatura, Universitat de les Illes Balears (Inèdita).
- GUIJARRO, J.A. (1986): *Contribución a la bioclimatología de Baleares*. Tesis Doctoral, Universitat de les Illes Balears (Inèdita).
- JAKUCS, L. (1977): *Morphogenetics of karst regions*. Akadémiai Kiadó. 284 pàgs. Budapest.
- JANSÀ, A. (1976): Pluviometría de Baleares. *Bol. Asoc. Met. Esp.* (1974-75) : 16-18.

LITOLOGIA I TECTÒNICA DEL CARST DE MALLORCA

LITHOLOGY AND TECTONICS OF THE MAJORCAN KARST

Joan J. FORNÓS¹ & Bernadí GELABERT¹

Resum

La litologia i disposició estructural de les roques que conformen l'illa de Mallorca són una magnífica base per al desenvolupament dels fenòmens de tipus càrstic. A Mallorca hi són representats pràcticament sense interrupció materials des del Carbonífer fins al Pleistocè (hi manca part del Cretaci superior i Paleogen inferior). La sèrie té una potència aproximada de 3.000 m, dominant àmpliament, àdhuc els detrítics, els dipòsits de tipus carbonatats, tant calcàries com dolomies, que són els que formen els relleus més importants de l'illa. L'estructuració en forma d'escates encavalcants dirigides cap al NW que va tenir lloc durant l'orogènia alpina, va donar com a resultat uns vessants SE amb pendents més suaus, els quals ja presenten una certa maduresa en el seu modelatge, mentre que els vessants NW presenten pendents més forts i un relleu juvenil. A més, el fet que a la base de les làmines encavalcants s'hi trobin els materials impermeables del Keuper, juntament amb la disposició imbricada dels encavalcaments, suposa l'existència de zones permeables (dolomies i calcàries del Retià i Lias) aïllades per àrees de materials impermeables.

Abstract

The lithology and structural setting of the rocks which form the island of Mallorca are magnificent bases on which karstic phenomena develop. Almost every geological period is continually represented here, from the Carboniferous to the Pleistocene (only part of the Upper Cretaceous and Lower Paleogene being absent). The approximate thickness of the stratigraphic sequence is 3,000 m in which carbonate deposits (not only limestones but also dolomites) constitute the most important lithologies. The main structure consists of thrust sheets imbricated in a NW transport direction. Such deformation took place during the alpine orogenia and led to SE declivities showing smoother slopes, which present today a more ancient modelling; whereas the NW slopes are steeper and their relief is younger. Furthermore, the existence of impermeable materials from the Keuper at the base of the thrust sheets, added to the overlapping setting thrusts, cause permeable zones (dolomites and limestones from the Rhaetian and Lias) to remain isolated by areas of impermeable material.

Introducció

Els aspectes morfològics i morfodinàmics de l'estudi i desenvolupament d'un carst no poden ésser estudiats de forma aïllada, sinó que han de quedar enquadrats dins del marc geològic en el qual es desenvolupen. Dins d'aquest marc, hi resalten els as-

Introduction

The morphological and morphodynamic aspects of the study of the karst cannot be assessed separately, as they should be framed within the geological context in which they once developed. Within this context, the stratigraphical, sedimentological, petrological, tectonic and hydrogeological aspects are remarkable. The aim of this paper is to make a simple description of the

¹ Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. Ctra de Valldemossa km 7,5. E-07071 Palma de Mallorca.

pectes estratigràfics, sedimentològics, petrològics, tectònics, i per suposat els hidrològics. L'objectiu d'aquest treball és fer una descripció planera tant de les característiques estratigràfiques com de les tectòniques en què es desenvolupen els fenòmens relacionats amb la dinàmica del carst a Mallorca.

Des del punt de vista morfològic i morfodinàmic l'illa de Mallorca presenta una àmplia varietat d'exemples, tant endo- com exocàrstics, desenvolupats en les formacions carbonatades existents a l'illa. Aquestes formacions, presents de forma pràcticament contínua des del Triàsic mitjà, estan afectades per una complexa estructuració tectònica que queda emmarcada dins del joc de la tectònica de plaques del Mediterrani Occidental, a cavall entre les plaques europea i africana, donant lloc a una forta orografia.

stratigraphic and tectonic characteristics which control the dynamics of karst in Mallorca.

From the morphological and morphodynamic points of view, the island of Mallorca features a wide range of endo- and exokarstic examples developed within its carbonate assemblages. These are present almost continuously since the Middle Triassic, and have been affected by a complex tectonic structuration, framed within the context of the plate tectonics of the western Mediterranean (an area placed between the European and the African plates) which caused a strong orography.

The geological structure as well as the lithological distribution affect the geomorphology of the island, in which three great zones can be differentiated (Figure 1). The steepest, known as

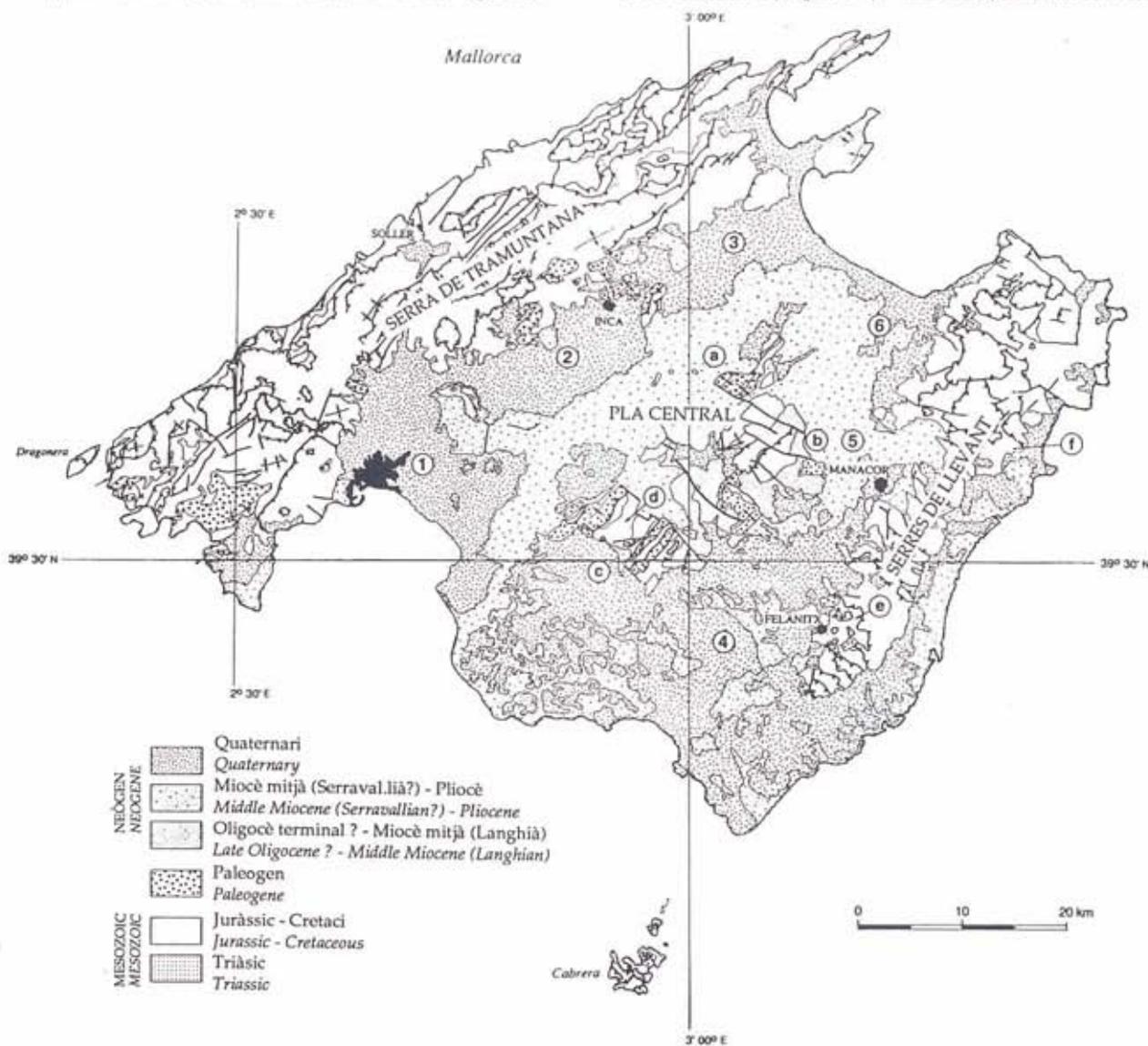


Figura 1: Mapa geològic de l'illa de Mallorca (ROCA, 1992).
 1- Cubeta de Palma; 2- Cubeta d'Inca; 3- Cubeta de sa Pobla; 4- Cubeta de Campos; 5- Cubeta de Manacor; 6- Cubeta de Sta. Margalida; a- Sineu; b- Bonany; c- Massís de Randa; d- Puig de Randa; e- sinclinal de Son Macià-Sant Salvador; f- Son Servera.

Figure 1: Geological map from the Island of Mallorca (ROCA, 1992).
 1- Palma Basin; 2- Inca Basin; 3- Sa Pobla Basin; 4- Campos Basin; 5- Manacor Basin; 6- Sta. Margalida Basin; a- Sineu; b- Bonany; c- Massís de Randa; d- Puig de Randa; e- Son Macià-Sant Salvador syncline; f- Son Servera.

L'estructura geològica així com la distribució litològica condicionen la geomorfologia de l'illa, en la qual es poden diferenciar tres grans zones (Figura 1). La més abrupta, la Serra de Tramuntana, està formada per dipòsits principalment d'edat mesozoica, fortament estructurats. Es localitza a la part nord-occidental de l'illa i està alineada en direcció NE-SW on hi ha les principals elevacions (Puig Major, 1.445 m). Les Serres de Llevant, localitzades al llevant mallorquí, presenten uns relleus menys abruptes, si bé també estan formades per dipòsits d'edat mesozoica (més dolomítics) i estan afectades per la mateixa tectònica alpina. Finalment la zona del Pla, al centre, està formada principalment per dipòsits post-orogènics en disposició tabular i d'edat neògena.

Serra de Tramuntana, is constituted by well-structured deposits, mainly of Mesozoic age. It is on the northwestern side of the island and is aligned in a NE-SW direction, where the main peaks stand (e.g. Puig Major 1,445 m). The Serres de Llevant mountains, in the East, show less rough topography despite the fact that they are also composed of Mesozoic deposits (more dolomitic) and show the same alpine tectonic influence. Finally, El Pla area, settled in the centre of the island, is mainly formed by tabular post-orogenic deposits from the Neogen.

Aspectes estratigràfics i sedimentològics

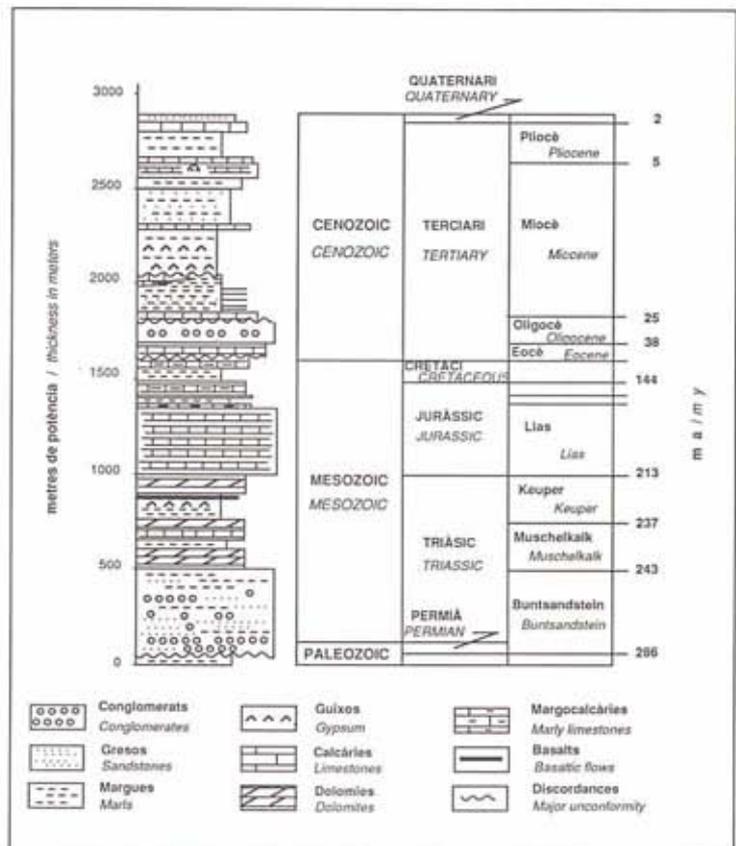
La història estratigràfica de Mallorca comprèn des del Carbonífer fins al Quaternari amb un important hiatus a la base del Terciari (Figura 2). La sedimentologia dels materials presents és altament complexa i molt variada, amb una gran superposició de diferents ambients sedimentaris, que abasten facies de tipus lacustre, litorals, de plataforma, de talús i facies pelàgiques, fruit de les diverses etapes en l'estructuració tectònica. El fet comú més destacable és

Stratigraphical and sedimentological aspects

The stratigraphical history of Mallorca encompasses the Carboniferous to the Quaternary, with an important gap at the base of the Tertiary (Figure 2). The sedimentology of the extant materials is highly complex and shows great variation regarding its different sedimentary environments, which include lake, littoral, platform, slope and pelagic facies, all resulting from the diverse stages of tectonic setting. The most remarkable fact in common to almost all deposits is their carbonate composition, the scarcest being siliciclastic materials. This reflects not only the potential representation of the stratigraphic series,

Figura 2:
Columna litoestratigràfica sintètica de Mallorca (RODRÍGUEZ-PÉREA, 1992).

Figure 2:
Synthetic lithostratigraphical column from Mallorca (RODRÍGUEZ-PÉREA, 1992).



la composició carbonatada de la gran majoria dels dipòsits, amb una escassa representació dels dipòsits de tipus siliciclàstic. Aquest fet queda reflectit, tant en la representació potencial en la sèrie estratigràfica com en la presència d'afloraments cartografiats en superfície.

PALEOZOIC

Els materials més antics que afloren a Mallorca corresponen a pelites grises, que intercal·len nivells de quarsarenites amb crinoïdeus i pol·len que daten aquests dipòsits com a Carbonífer (RODRÍGUEZ-PEREA & RAMOS-GUERRERO, 1984). Presenten un lleuger grau de metamorfisme i estan afectats per l'orogènia herciniana que ha deixat la seva empremta en forma d'un intens plegament afectat d'esquistositat. Per la presència en reduïts afloraments al peu de la Serra de Tramuntana i per la composició siliciclàstica, no té interès per a l'estudi del carst de Mallorca.

MESOZOIC

Els dipòsits que conformen la seqüència del Mesozoic a Mallorca presenten una potència superior als 1.500 m, els 1.000 m superiors dels quals corresponen, amb petites interrupcions, a materials carbonatats. Els materials mesozoics constitueixen la major part dels afloraments presents en les zones estructurades: Serra de Tramuntana, Serres de Llevant i petites elevacions del Pla de Mallorca. Els relleus més abruptes d'aquestes serres estan constituïts pels dipòsits de calcàries i dolomies pertanyents al Juràssic. Aquests dipòsits presenten les manifestacions càrstiques, especialment d'exocarst, més esplendoroses.

El Triàsic

Els dipòsits basals del Mesozoic presents a Mallorca corresponen al període Triàsic. El Triàsic està format (RODRÍGUEZ-PEREA *et al.*, 1987) per la característica tripleta de fàcies anomenades germàniques, encara que amb alguna influència alpina. La part basal, fàcies Buntsandstein, amb una potència superior als 400 m, està formada per argiles, gresos i conglomerats que representen un cicle de sedimentació fluvial amb episodis de tipus lacustre (CALAFAT, *et al.*, 1986/87). Els afloraments principals d'aquesta unitat es donen en el vessant NW del sector meridional de la Serra de Tramuntana, entre Estellencs i Banyalbufar. Per la seva composició siliciclàstica i la seva disposició al peu de la Serra de Tramuntana no tenen interès per a l'estudi del carst.

La part intermitja, fàcies Muschelkalk, aflora també a la costa d'Estellencs. Amb una potència aproximada de 260 m, correspon a dolomies amb laminacions algals, motlles d'evaporites i bretxes intraformacionals, que evolucionen a nivells amb

but also the presence of outcrops which can be mapped on the surface.

PALEOZOIC

The oldest materials outcropping in Mallorca are grey pelites interlayered with levels of quartz sands containing Crinoidae and pollen, which date these deposits as Carboniferous (RODRÍGUEZ-PEREA & RAMOS-GUERRERO, 1984). They show weak metamorphism and are also influenced by the hercinian orogenia which manifests an intense cleavage folding. Due to both its unique presence as small outcrops at Serra de Tramuntana and its siliciclastic composition, the Paleozoic lacks any interest for the study of karst in Mallorca.

MESOZOIC

The Mesozoic sequence deposits of Mallorca are over 1,500 m thick, the upper 1,000 m being mostly limestones. The Mesozoic materials constitute most of the outcrops of the structured zones: Serra de Tramuntana, Serres de Llevant and the small hills of El Pla of Mallorca. The abruptest relief of these sierras is composed of Jurassic limestones and dolomites and they happen to be the ones with the most spectacular karstic (especially exocarstic) features.

The Trias

*The basal Mesozoic deposits of Mallorca are Triassic in age. The Trias is formed by the characteristic germanic facies, although they show a slight alpine influence (RODRÍGUEZ-PEREA *et al.*, 1987). The basal Buntsandstein facies, over 400 m thick, is constituted by mudstones, sandstones and conglomerates, which represent a fluvial sedimentation cycle with lake episodes (CALAFAT *et al.*, 1986/87). The main outcrops of this unit occur on the NW slope of the southern part of Serra de Tramuntana, between Estellencs and Banyalbufar. Due to both their siliciclastic composition and their location at the foot of Serra de Tramuntana, they are of no interest for the study of karst.*

*The intermediate unit, the Muschelkalk facies, also outcrops on the coast of Estellencs. With an approximate thickness of 260 m, it corresponds to dolomites with algal and fenestral laminations and to intraformational breccias. Strata of red and yellow marls with marly and gypsiferous limestones are present on top, and above them limestones with fucoids are dominant (RODRÍGUEZ-PEREA *et al.*, 1987). Such a deposit corresponds to supra and intertidal environments, which show a short regressive episode marked by continental sediments but ending with a clear marine sedimentation of shallow internal platform. The high dolomitization together with the scarce surface of outcropping on the*

margues vermelles i grogues amb carnoles, i al sobre acaben dominant les calcàries amb fucoids (RODRÍGUEZ-PEREA *et al.*, 1987). El tipus de dipòsits presents marquen uns ambients de formació supra i intermareals a la base, amb un petit episodi regressiu marcat per sediments continentals però acabant amb una clara sedimentació marina de plataforma interna soma. El fort grau de dolomitització i l'escassa superfície d'aflorenament en els pendents més forts del sector meridional de la Serra de Tramuntana tampoc fan del Triàsic mitjà un bon substrat per al desenvolupament de les morfologies càrstiques.

El Triàsic acaba a Mallorca amb la fàcies Keuper. Es tracta d'un conjunt molt variat que pot presentar potències de fins a 300 m amb una representació cartogràfica molt irregular, especialment a la Serra de Tramuntana, a causa dels efectes tectònics. Està format per sediments pelítics, margues vermelles i grogues, amb importants intercal·lacions de nivells amb evaporites, guixos i anhidrites, i bancs de dolomies i carnoles que es fan més importants cap al sobre de la sèrie triàsica, ja en el trànsit vers els dipòsits juràssecs. Les roques volcàniques, en forma de colades basàltiques i dipòsits piroclàstics (cinerites), estan àmpliament representades. Presenten variacions volumètriques molt importants, essent aquest el fet més característic d'aquests nivells. La sedimentació del Keuper representa un esdeveniment regressiu important amb l'acumulació de dipòsits continentals i una forta activitat volcànica (ENRIQUE, 1986). Des del punt de vista carstològic, el Keuper tan sols presenta algunes morfologies de lapiaz en alguns afloraments puntuals de guixos, en canvi té una gran importància hidrològica ja que és el nivell impermeable per excel·lència.

En trànsit cap al Juràssic i sense una clara i important interrupció, els dipòsits d'edat retiana marquen l'inici de la sedimentació marina amb una seqüència d'aprofundiment progressiu que durarà tot el mesozoic. Amb una potència aproximada de 200 m consisteix bàsicament en dolomies, carnoles i algunes intercal·lacions margoses; aflora bàsicament al llarg de la Serra de Tramuntana. En aquests materials es desenvolupen algunes cavitats càrstiques de notable profunditat.

El Juràssic

Els materials juràssecs són els materials dominants a l'illa i conformen la major part dels dominis estructurats (Figura 3). Afloren al llarg de tota la Serra de Tramuntana i Serres de Llevant, així com en algunes elevacions de la zona del Pla. Formats per materials carbonatats, presenten unes potències al voltant dels 500 m. Representen una gran fase transgressiva en la qual queda reflectida l'evolució des d'una plataforma soma carbonatada al Lias, a dipòsits de marge continental i fàcies pelàgiques que per-

steepest slopes of the southern Serra de Tramuntana do not allow the Middle Trias to be a suitable substrate for the development of karstic features.

In Mallorca, the Trias ends with the Keuper facies. It consists of a very varied set, which thickness can reach over 300 m. This involves, due to the tectonics, a certainly irregular mapping, especially in Serra de Tramuntana. It is formed by pelitic sediments and red and yellowish marls interbedded with important levels of evaporites, gypsum and anhydrites, dolomite banks and marly gypsiferous limestones whose importance increases at the top of the Trias series, once within the limit of the Jurassic deposits. Volcanic rocks, such as basaltic flows and piroclastic deposits (cinerites), are widely represented. Their very important volumetric variations are the most characteristic aspect of these deposits. The Keuper sedimentation represents a relevant regressive event as it implies the accumulation of continental deposits and strong volcanic activity (ENRIQUE, 1986). From the karstic point of view, the Keuper just presents some karren features in definite gypsum outcrops; however, it is of great hydrological importance as it is the impermeable level par excellence.

Evolving gradually towards the Jurassic, in the absence of any clear or important interruption, the Rhaetian sediments point to the beginning of marine sedimentation with a progressive deepening which lasts through the whole Mesozoic. The Rhaetian shows a thickness of 200 m, being basically composed of dolomites and marly and gypsiferous limestones interbedded with marls. It mainly outcrops along the Serra de Tramuntana and implies several karstic cavities of notable depth.

The Jurassic

*The Jurassic materials are dominant in Mallorca, where they conform most of the structured terrains (Figure 3). They outcrop along both mountain ranges, Serra de Tramuntana and Serres de Llevant, and even in some of the hills in El Pla area. They consist of carbonate materials with a thickness up to 500 m. The Jurassic materials represent a great transgressive phase in which the evolution from a shallow carbonate platform (Lias) to continental margin deposits (Dogger and Malm) can be seen with a pelagic facies reaching the Lower Cretaceous period (COLOM, 1975; BARNOLAS, 1984; FORNÓS *et al.*, 1984 and 1986/87).*

Lower Jurassic rocks (Lias), which gradually grow from the Keuper, are formed of marly and gypsiferous limestones and dolomites which evolve towards breccias and massive micritic limestones. Thus, the base of the Lias is constituted by dark dolomites, breccias and marly and gypsiferous limestones. This unit has a massive appearance and its dolomites are frequently breccia-like. On top the



Figura 3:
Els dipòsits de calcàries i dolomies del Juràssic de Mallorca conformen la major part dels dominis estructurats de la Serra de Tramuntana (zona del Puig Major, Escorca).

Figure 3:
Limestone and dolomite deposits from the Jurassic of Mallorca form most of Serra de Tramuntana structured domains (Puig Major area, Escorca).

durarà fins el Cretaci (COLOM, 1975; BARNOLAS, 1984; FORNÓS *et al.*, 1984 i 1986/87).

El Juràssic inferior o Lias, amb un trànsit gradual des del Keuper, està format a la base per carniols i dolomies que evolucionen cap a bretxes i calcàries micrítiques massives. La base del Lias està constituïda per dolomies fosques, bretxes i carniols. És una unitat d'aspecte massiu en la qual les dolomies estan freqüentment bretxades. Cap al sostre dominen les calcàries micrítiques, i de l'aspecte massiu es passa a uns nivells més estratificats, fent-se evident la presència dels components bioclàstics i oolítics. Per sobre d'aquests grans paquets carbonatats, hi ha uns petits nivells, molt variables, que poden arribar a tenir de 30 m a 40 m de potència i de distribució irregular, formats en un cas per margocalcàries amb abundant fauna nerítica i, en d'altres, per capes d'encrinites amb abundants belemnites. En ambdós casos la seqüència liàsica acaba amb nivells de quarsarenites i microconglomerats, també de distribució molt irregular (més importants a la Serra de Tramuntana) però que en cap cas superen els 10 m de potència. Estan formats per grans de quars ben arrodonits, de color vermellós i constitueixen un bon nivell guia a escala regional. Sobre aquesta unitat es disposa un sòl endurit (*hard ground*) format per costres d'òxids de ferro, de manganès, fosfats i estromatòlits pelàgics. Aquest sòl endurit marca la fi de la important sedimentació carbonatada de plataforma liàsica, amb la ruptura i enfonsament d'aquesta plataforma al Toarcià.

La major part dels fenòmens càrstics, tant d'endocòm d'exocarst, que s'observen a la Serra de Tramuntana afecten directament les calcàries del Lias. A les Serres de Llevant, on la composició del Lias és més dolomítica, el carst hi està menys desenvolupat.

El Juràssic mitjà, Dogger, està format a grans trets per calcàries noduloses i margocalcàries, que presenten variacions de potència molt importants, de 30 a 160 m. Aquesta unitat és molt rica en fauna d'ammonits i inclou diversos nivells considerats com a *Ammonitico Rosso* o fàcies de condensació. L'alternança rítmica de capes margoses i capes calcàries

micritic limestones are dominant and the massive appearance gives way to more stratified levels in which bioclastic and oolite limestone components certainly become obvious. Above these great limestone assemblages there are some short variable levels, 30 to 40 m thick and irregularly located, formed either by marly limestones containing plenty of neritic fauna or by encrinite layers with abundant belemnites. Both Lias series end with quartz sands and microconglomerates of irregular distribution, which are more relevant in Serra de Tramuntana, even though their thickness never exceeds 10 m. They are formed of rounded reddish quartz grains and they constitute a good key level at a regional scale. Over such a unit a hard ground formed by crusts of iron oxide, manganese and phosphates as well as by pelagic stromatolites can be observed. This hard ground marks the end of the important carbonate sedimentation of the Lias platform, as it breaks and deepens during the Toarcian.

Most of the karstic phenomena (both endo- and exocarstic) which can be observed in Serra de Tramuntana, directly affect the Lias limestones. In Serres de Llevant, with higher dolomitic contents, the karst is not so developed.

In short, the Middle Jurassic (Dogger) is composed of both nodular and marly limestones showing a wide range of thickness, from 30 to 160 m. This unit is very rich in ammonite fauna and it also includes a set of levels now considered as Ammonitico Rosso or condensation facies. Also frequent is a rhythmic alternation of marly and limestone layers, tens of meters in thickness, with abundant levels containing chert. In some cases, oolite and bioclastic lenticular limestones display themselves in sequences reaching thicknesses over 100 m. The set of Dogger deposits is considered as hemipelagites, showing some structural hills on top of which the Ammonitico Rosso facies develops and where the pelagic bottoms of turbiditic resedimented facies (oolite levels), coming from the platform, also evolve.

d'ordre decimètric amb abundants nivells amb sílex també hi és freqüent. De forma aïllada, i amb cossos que presenten geometries lenticulars, es disposen calcàries oolítiques i bioclàstiques distribuïdes de forma seqüencial amb potències que poden superar els 100 m. El conjunt dels dipòsits del Dogger representen una sedimentació de tipus hemipelàgic, amb alguns alts estructurals sobre els quals es desenvolupen les fàcies d'*Ammonitico Rosso*, i amb la presència en aquests fons pelàgics de fàcies ressedimentades (nivells oolítics) en forma turbidítica, procedents de la plataforma.

Els afloraments més importants del Dogger corresponen als nivells margosos, per la qual cosa els fenòmens càrstics hi són poc representats en aquests nivells.

El Juràssic superior, o Malm, representa a grans trets la continuació de la sedimentació de tipus pelàgic i hemipelàgic iniciada a la fi del Lias. En conjunt es tracta de fàcies de calcàries noduloses que intercal·len nivells de condensació tipus *Ammonitico Rosso*, amb margues radiolarítiques i calcàries silíciques finament laminades. Localment també hi són presents calcàries bioclàstiques i oolítiques ressedimentades. La potència del Malm, rarament supera els 200 m, essent en general més reduïda a la Serra de Tramuntana que a les Serres de Llevant. Els dipòsits del Malm, com els del Dogger, representen una clara sedimentació de marge continental.

A l'igual que al Dogger, l'alternança de nivells de poca potència de calcàries amb nivells margosos i margocalcaris, fa que en aquesta unitat les morfologies càrstiques no hi siguin molt abundants.

El Cretaci

El Cretaci és un període poc representat a Mallorca, encara que localment pot presentar potències importants (150 m). Els seus nivells inferiors afloren bàsicament al vessant sud-oriental de la Serra de Tramuntana i a les Serres de Llevant, mentre que els superiors, ho fan tan sols de forma que podríem dir testimonial a la Serra de Tramuntana, amb molt poc aflorament i volum de materials (COLOM, 1947 i 1975; MATAILLET & PECHOUX, 1978; SÀBAT, 1986).

La sedimentació de tipus pelàgic del Juràssic superior continua i s'incrementa durant el Cretaci inferior, amb la deposició d'importants gruixos de margues i margocalcaris blanques (*fàcies Maiòlica*) amb fauna de radiolaris i tintínids, que marquen una clara sedimentació pelàgica en un mar profund. Aquest tipus de sedimentació, però, esdevé cada cop més sòma i amb influències terrígenes.

CENOZOIC

El Cenozoic a Mallorca està àmpliament representat mostrant el seu conjunt una potència superior als 1.500 m (RAMOS-GUERRERO *et al.*, 1989). Pot

The most important Dogger outcrops are those of marly levels so that karstic phenomena are scarcely found.

The Upper Jurassic, or Malm, represents the continuation of the pelagic and hemipelagic sedimentation which started during the Upper Lias. As a whole, it consists of a set of nodular limestone facies interlayered with condensation levels of Ammonitico Rosso facies, and thinly laminated radiolarian marls and siliceous limestones. Locally, there are also resedimented bioclastic and oolite limestones. The Malm is usually under 200 m thick and tends to be shorter in Serra de Tramuntana than in Serres de Llevant. The Malm and Dogger deposits represent a continental margin sedimentation.

As happens with the Dogger, the alternation of thin limestone levels with marls and marly limestone result in few karstic features.

The Cretaceous

The Cretaceous is hardly represented in Mallorca, although it can reach a relevant thickness in some places (150 m). Its lower levels mainly outcrop on the Southeast slope of both Serra de Tramuntana and Serres de Llevant. However, its upper levels are scarcely present, small outcrops of low thickness appearing in Serra de Tramuntana (COLOM, 1947 and 1975; MATAILLET & PECHOUX, 1978; SÀBAT, 1986).

The pelagic sedimentation from the Upper Jurassic seems to continue and grow during the Lower Cretaceous with the great deposition of marls and white marly limestones (Maiolica facies) containing Radiolaria and Tintinnida, which evidence a deep sea pelagic sedimentation. Such a sedimentation became gradually shallower and more influenced by terrigenous materials.

CENOZOIC

*The Cenozoic is widely represented in Mallorca, having on the whole a thickness of over 1,500 m (RAMOS-GUERRERO *et al.*, 1989). Two great units can be distinguished: a pre- and syntectonic Cenozoic unit and a post-tectonic one. The first, covering the Middle Eocene to the Lower Miocene (Langhian), only outcrops in Serra de Tramuntana, Serres de Llevant and, occasionally, in the central area of the island. The second one, from the Middle Miocene to the present, occupies most of the depressed areas in the Pla de Mallorca, as well as those known as "Marines" in the Migjorn region of the island.*

The Paleogene

In Mallorca, as in the entire Balearic area, the Paleocene and the Lower Eocene are absent, as a consequence of both the emersion of the area which

ser dividit en dos grans unitats: un Cenozoic pre- i sintectònic i un postectònic. El primer, que abasta des de l'Eocè mitjà fins al Miocè inferior (Langhià), aflora només en la Serra de Tramuntana, Serres de Llevant i, puntualment, al centre de l'illa. El segon des del Miocè mitjà fins a l'actualitat ocupa la major part del Pla, les zones deprimides, així com les denominades "Marines" que conformen el Migjorn de Mallorca.

El Paleogen

A Mallorca, així com a la resta de l'àrea balear, no hi són presents ni el Paleocè ni l'Eocè inferior. Aquesta absència ha estat sempre relacionada amb l'emersió de l'àrea que actualment ocupa el Golf de València i les Balears. Els processos erosius que afectarien aquesta àrea emergida serien els responsables de l'escassa presència de dipòsits corresponents al Cretaci superior.

El primers materials d'edat paleògena afluïren a les Serres de Llevant i corresponen a l'Eocè mig i superior. Amb potències que escassament superen l'ordre decamètric, estan formats per calcarenites i margues riques en nummulites, que intercalen nivells de gresos i conglomerats poligènics amb còdols de materials juràssics i cretàcics, dipositats en un ambient litoral i de plataforma interna. A la Serra de Tramuntana aquests nivells estan formats per calcàries micrítiques marronoses, disposades en bancs tabulars, amb restes carbonoses, que corresponen a conques lacustres d'aigua dolça més o menys profundes (RAMOS-GUERRERO *et al.*, 1985).

L'Oligocè, amb una presència més important que l'Eocè, és una unitat clarament detrítica de caràcter continental. A les Serres de Llevant, està formada per gresos massius amb intercalacions de llims i argiles vermelles amb potències que localment poden superar els 100 m. A la Serra de Tramuntana, dominen els conglomerats poligènics disposats en cossos lenti-formes, que inclouen nivells llimosos i petits bancs carbonatats amb nombroses concrecions algals. El conjunt, que pot superar els 150 m de potència, representa una sedimentació de tipus fluvial amb episodis de tipus palustre.

La presència de fenòmens càrstics en els materials paleògens és de poca importància.

El Neogen

El Neogen està format pràcticament en la seva totalitat per dipòsits de tipus carbonatats i el seu conjunt suposa una potència de més de 1.500 m. La part basal del Miocè, amb presència molt irregular i amb importants variacions de potència que poden arribar als 70 m, està formada per conglomerats amb matriu calcarenítica i calcàries bioclàstiques i esculloses (RODRÍGUEZ-PEREA, 1983). Aquests nivells reomplen un substrat irregular i representen una sedimentació litoral dins d'una paleogeografia complexa. En trànsit cap al Miocè mig, una important gruixa de mar-

is at present occupied by the Valencian Trough and the Balearic Islands, and the former erosion processes which affected those Upper Cretaceous deposits.

*The first outcropping materials from the Paleogene are located in Serres de Llevant and are of Middle and Upper Eocene age. Their thickness is often not over a few tens of meters. They are formed by calcarenites and marls rich in nummulites, interbedded with sandstone levels and polygenic conglomerates containing pebbles from the Jurassic and the Cretaceous which settled within a littoral environment. In Serra de Tramuntana those levels consist of brownish micritic limestones displayed in tabular banks, interlayered with carbonaceous remainings related to more or less deep fresh water lake basins (RAMOS-GUERRERO *et al.*, 1985).*

The Oligocene, more important than the Eocene, is undoubtedly a continental detritic unit. In Serres de Llevant it consists of massive sandstones, silts and reddish clays and its thickness sometimes exceeds 100 m. In Serra de Tramuntana the polygenic conglomerates displayed as lenticular beds are dominant, and include siltstones and limestones with algal concretions. Such a set, which can exceed 150 m thick, represents fluvial sedimentation and swamp deposits.

The presence of karstic phenomena on the Paleogene materials is almost non-existent.

The Neogene

The Neogene is composed mostly of carbonate deposits and as a whole it comprises a thickness of over 1,500 m. The Lower Miocene, whose presence and thickness (occasionally reaching 70 m) are rather irregular, is formed of conglomerates with a calcarenitic matrix and bioclastic and reefal limestones (RODRÍGUEZ-PEREA, 1983). These levels cover an irregular substrate and represent a littoral sedimentation immersed in a complex paleogeography. Moving gradually towards the Middle Miocene there appears a great thickness of marls and calcarenites, occasionally up to 500 m, both interlayered with siliceous levels and abundant delapsional deposits, olistoliths, slumps, etc., which correspond to turbidite deposits (RODRÍGUEZ-PEREA, 1983). Such a set represents the deepening basin, thus having a typical slope and continental rise sedimentation which coincide with the main Alpine structuration of Mallorca. These turbidite units end with a shallow carbonate sequence of bioclastic limestones which outcrop almost exclusively in the central hills of El Pla area, although they can reach a thickness of around 150 m.

The Lower Miocene deposits, together with the Lias limestones, contain the most spectacular exokarstic features, the most remarkable being the karren landscapes of the central Serra de

gues i gresos carbonatats que pot ser de fins a 500 m, amb nivells de silixites i abundants dipòsits de tipus delapsional, olistòlits, *slumps*, etc., interpretats com a dipòsits turbidítics (RODRÍGUEZ-PEREA, 1983), representen l'aprofundiment de la conca, o subconques, amb una típica sedimentació de talús i peu de talús, que coincideix amb la principal fase d'estructuració alpina de Mallorca. Aquesta unitat turbidítica acaba amb una seqüència carbonatada someritzant, formada per calcàries bioclàstiques, que afloren pràcticament només a les elevacions centrals del Pla però poden atènyer potències al voltant dels 150 m.

Els dipòsits del Miocè inferior, juntament amb les calcàries del Lias, són els que mostren les morfologies exocàrstiques més espectaculars, de les quals destaquen els paisatges de lapiaz de la zona central de la Serra de Tramuntana. La composició juràssica de la major part dels còdols que formen els conglomerats del Miocè inferior, així com l'elevat grau de cimentació, fa que tinguin un comportament similar davant els fenòmens de tipus càrstic i que, per tant, en el paisatge siguin difícils de diferenciar uns nivells dels altres.

El Miocè mig enregistra les darreres etapes de l'estructuració, amb la deposició de seqüències clarament regressives, de tipus lacustre i palustre, amb la deposició de margues amb guixos, nivells de carbó i lletions de calcàries amb silix, que només afloren parcialment de forma dispersa a la zona del Pla de Mallorca amb potències molt irregulars d'ordre hectomètric (RAMOS-GUERRERO *et al.*, 1994).

Els dipòsits del Miocè superior, juntament als del Lias, suposen l'altre volum important pel que fa a afloraments a l'illa de Mallorca. El Miocè superior, format per dipòsits carbonatats, reomple les zones que envolten les àrees estructurades: les zones denominades Marines (POMAR *et al.*, 1992). Es tracta de dipòsits tabulars, formats per una alternança de calcarenites i calcisiltites a la base, que evolucionen a calcàries esculloses massives i calcarenites, i que acaben amb calcarenites i calcàries oolítiques en el denominat "Complex Terminal" (FORNÓS & POMAR, 1983). Amb potències globals que poden superar els 300 m, formen els penya-segats costaners de la zona meridional i oriental de l'illa. Aquests nivells representen una sedimentació carbonatada de plataforma, amb el creixement d'importants masses d'esculls de coralls, i amb la presència de planes arenoses molt somes amb estromatòlits i afectats per una forta dinàmica marina.

Per la seva gran potència i quantitat d'aflorament, aquestes calcàries mostren diversos fenòmens càrstics. Donada la localització a la línia de costa (Figura 4) destaca especialment el lapiaz litoral, i una gran abundància de coves i cavitats en les quals són presents els processos que interrelacionen la dinàmica càrstica i la marina, incloent-hi tots els fenòmens relacionats amb les oscil·lacions del nivell de la mar durant el Quaternari. Un exemple de tota aquesta dinàmica són, entre moltes d'altres, les famoses

Tramuntana. The Jurassic composition of most of the pebbles which compose the Miocene conglomerates, as well as the high cementation rate, encourage all of them to show a similar behaviour regarding the karstic phenomena, so that it becomes a difficult task to differentiate the different levels.

*The Middle Miocene records the latter phases of structuration through the deposition of clearly regressive sequences. These sequences —characterized by lacustrine and palustrine deposition of marls and gypsums, coal levels and cherty limestone bodies— outcrop, partially and dispersely, in the area of El Pla de Mallorca, where their thickness, of a hectometric scale, is quite irregular (RAMOS-GUERRERO *et al.*, 1994).*

*The Upper Miocene, as well as the Lias deposits, are the most important limestone outcrops of Mallorca. The Upper Miocene, composed by limestones and calcarenites, forms the areas surrounding the structuration zones: the so-called "Marines" (POMAR *et al.*, 1992). These are tabular deposits consisting of alternating calcarenites and calcisiltites at the base evolving towards massive reefal limestones and calcarenites, and ending with oolite limestones and calcarenites in the unit designated as "Terminal Complex" (FORNÓS & POMAR, 1983). Their thickness, occasionally exceeding 300 m, forms the coastal cliffs of the South and East of the island. These levels represent a carbonate platform sedimentation where relevant coral reefs growth and where sand shoals containing stromatolites can be found, showing a strong marine dynamics.*

Due to their great thickness and extended outcrops, these limestones present diverse karstic phenomena. Due to their alignment with the sea shore (Figure 4) the littoral karren is remarkable, with great abundance of caves and cavities where processes linking the karstic and marine dynamics



Figura 4: Afloraments de calcarenites pertanyents al Miocè superior al litoral oriental de Mallorca.

Figure 4: Calcarenites outcrops, Upper Miocene in age, on the eastern littoral of Mallorca.

Coves del Drac al llevant mallorquí. Aquestes calcàries estan afectades endemés per nombrosos processos paleocàrstics que han actuat des del Miocè superior fins a l'actualitat.

El Pliocè, encara que amb una important potència, més de 200 m (COLOM, 1985; SIMA & RAMÓN, 1986), pràcticament no aflora. Pot observar-se bé només en sondatges, essent present a les parts més deprimides del Pla, Conca de Palma i Conca d'Inca - Sa Pobla. Format per calcisiltites ocre a la base, al sostre evoluciona cap a calcarenites, que s'interdigen lateralment a nivells detrítics formats bàsicament per conglomerats. El conjunt correspon al reblliment de les zones més deprimides localitzades al peu de les serres, amb una sedimentació típicament de badia, litoral i amb la presència de cossos deltaics que acumulen els materials procedents de l'erosió de les serres. Des del punt de vista càrstic, a causa de la falta d'aflorament, no presenten morfologies de lapiaz i només s'hi han localitzat petites cavitats sense gaire importància.

Els dipòsits plio-quaternaris i quaternaris (BUTZER & CUERDA, 1962; CUERDA, 1975) consisteixen bàsicament en calcarenites, que corresponen a diversos episodis dunars relacionats amb els episodis glacials pleistocens, i a fàcies detrítics conglomeràtiques d'origen al·luvial i procedents del desmantellament de les serres, especialment de la Serra de Tramuntana.

are common, including those related to the sea level changes of the Quaternary. The famous Coves del Drac, on the eastern coast of Mallorca are, among others, a good example of such dynamics. These limestones are also affected by paleokarstic phenomena which have been present from the Upper Miocene to the present.

Despite its important thickness of over 200 m (COLOM, 1985; SIMA & RAMÓN, 1986), the Pliocene hardly outcrops. It can be only observed through drillings made in the lowest areas of El Pla, the Conca de Palma and the Conca d'Inca - Sa Pobla. The Pliocene base consists of yellowish calcisiltites evolving at the top into calcarenites, which are laterally interbedded with detritic levels mostly formed by conglomerates. This set corresponds to the filling-up of the most depressed zones at the foot of the ranges, where there is a typical bay, littoral and deltaic sedimentation which accumulates materials resulting from the denudation of the mountains. Due to scarce outcropping, the Pliocene does not show karren features from the karstic point of view, so that just small unimportant cavities can be found along its domains.

The Plio-Quaternary and Quaternary deposits (BUTZER & CUERDA, 1962; CUERDA, 1975) are basically calcarenitic, and they coincide both with dune episodes related to Pleistocene glacial events and with conglomerate facies of alluvial origin coming from the denudation of the mountain ranges, especially from Serra de Tramuntana.

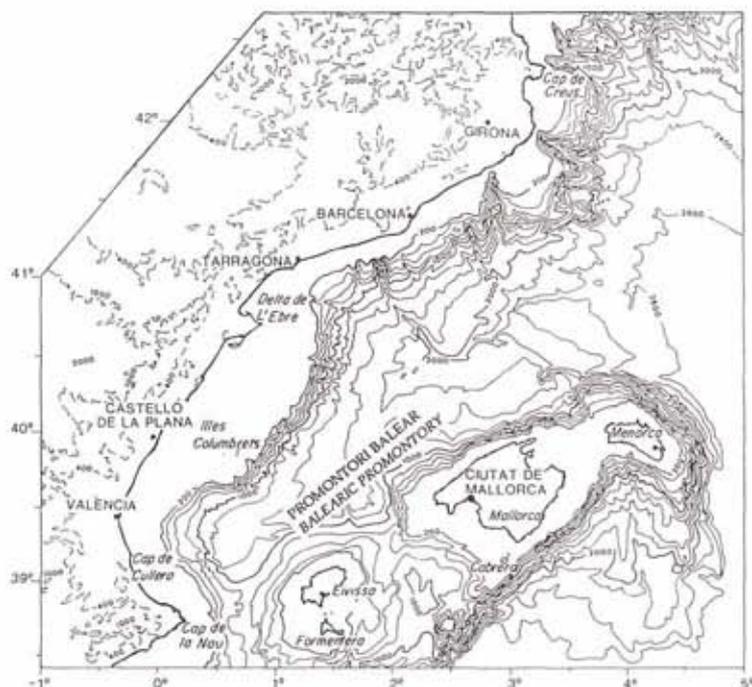


Figura 5:
Mapa fisiogràfic de la Conca Catalano-Balear (ROCA, 1992; simplificat de CANALS et al., 1982).

Figure 5:
Physiographic map of the Catalano-Balear basin (ROCA, 1992; simplified from CANALS et al., 1982).

Marc tectònic i geològic

Mallorca constitueix l'enclau emergit més extens del Promontori Balear (Figura 5), el qual correspon a un relleu, en gran part submari, que s'estén des del Cap de la Nau, a Alacant, fins al NE de Menorca. El Promontori presenta una orientació SW-NE i correspon a la prolongació cap al NE de les estructures de les Bètiques externes, o de les parts més septentrionals de les internes.

El Promontori Balear té una longitud de 440 km i es troba limitat per grans espadats i pendents molt forts que defineixen uns límits molt nets amb els fons submarins adjacents: la conca Algeriana a l'E i SE i la conca Catalano-Balear a l'W i NW, les quals individualitzen les Balears d'Àfrica i Ibèria, respectivament.

L'illa de Mallorca constitueix un segment del cinturó de plects i encavalcaments producte de la col·lisió continental entre la placa ibèrica i l'africana. La col·lisió, que ocorregué des del Cretaci superior (aprox. 84 Ma) fins al Miocè mig (15 Ma), afectà les Bètiques i les Balears i fou deguda al gir antihorari d'Àfrica i Aràbia com a resposta a l'obertura de l'Atlàntic sud (OLIVET *et al.*, 1984; entre d'altres).

Tectonic and geological framework

Mallorca is the most extended emerged sector of the Balearic Promontory (Figure 5) which is a mostly submarine relief extending from Cap de la Nau (Alacant) to the NE of Menorca. This relief is aligned from SW to NE and represents the extension of the external and the northern internal Betic range towards the NE.

The Balearic Promontory is 440 km long and is limited by steep slopes which clearly separate it from the adjacent deep seas: the Algerian basin in the East and Southeast and the Catalan-Balearic basin in the West and Northwest, which isolate the Balearic Islands from Africa and Iberia respectively.

Mallorca is part of the folded and thrust belt resulting from the continental collision between the African and the Iberian plates. Such a collision took place from the Upper Cretaceous (approx. 84 Ma) to the Middle Miocene (15 Ma) and had an effect on the Betics and the Balearics. It was caused by the anticlockwise rotation of Africa and Arabia as a response to the South Atlantic opening (OLIVET *et al.*, 1984; among others).

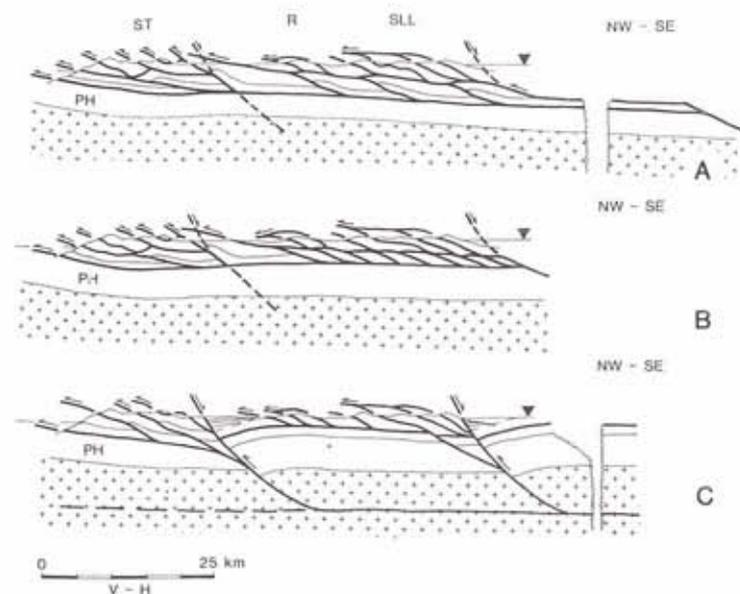


Figura 6: Esquema de l'estructura en profunditat de l'illa de Mallorca (RAMOS-GUERRERO *et al.*, 1989). A, B i C representen hipòtesis diferents de l'estructura en profunditat a Mallorca. En A i B, Randa i Serres de Llevant encavalquen la Serra de Tramuntana. Només un encavalcament tardà ha estat representat i les falles normals posteriors es mostren en la seva posició inicial. En B, el "duplex" inferior de les Serres de Llevant involucra únicament materials del Triàsic. C mostra el resultat de

Figure 6: Deep structure outline from Mallorca Island (RAMOS-GUERRERO *et al.*, 1989).

A, B and C represent different hypothesis about the deep structure of Mallorca. In A and B, Randa and Serres de Llevant are thrusting the Serra de Tramuntana. Only one latter thrust has been represented, and the back normal faults are shown at their initial position. In B, the lower "duplex" of Serres de Llevant only involves Triassic materials. Afterwards, normal faults undergo, again, a normal movement, so forming semigrabens which are filled with post-orogenic materials. Crosses pattern, crystalline basement; PH, pre-Hercinian Paleozoic rocks with low metamorphic grade; dotted pattern, Permian and Triassic; white, Mesozoic and Cenozoic; ST, Serra de Tramuntana; R, Randa; SLL, Serres de Llevant.

les falles extensionals del Mesozoic. Més tard, les falles normals experimenten un altre cop moviment normal, formant semigrabens, reomplerts per materials post-orogènics.

Trama de creus, basament cristal·lí; PH, roques Paleozoiques pre-hercinianes de baix grau metamòrfic; trama de punts, Pèrmic i Triàsic; blanc, Mesozoic i Cenozoic. ST, Serra de Tramuntana; R, Randa; SLL, Serres de Llevant.

Tot i la importància dels esdeveniments esmentats, l'arquitectura geològica de l'illa de Mallorca tal com la veiem ara, és el producte d'una evolució com-

In spite of the relevance of the events mentioned above, the present geological architecture of Mallorca is the result of a complex evolution involving some

plexa que engloba etapes prèvies a la col·lisió (mesozoiques bàsicament), l'estructuració durant la col·lisió continental i, finalment, els processos extensionals neògens i quaternaris superposats a tots els anteriors (Figura 6).

A Mallorca es diferencien tres grans unitats geomorfològiques i estructurals: la Serra de Tramuntana, el Pla i les Serres de Llevant (Figura 1). La morfologia actual de l'illa de Mallorca s'explica com el resultat, principalment, del moviment normal, durant el Miocè mitjà-Quaternari, d'un conjunt de falles NE-SW que originen la compartimentació de l'illa en un conjunt de *horsts* i *grabens* i que es corresponen respectivament amb les serres i planes de la present morfologia de l'illa. De totes maneres, la delimitació entre serres i planes no és sempre clara: freqüentment es delimiten per fractures d'edat terciària, però en d'altres casos els seus límits corresponen a discordàncies angulars en les quals els dipòsits terciaris i quaternaris fossilitzen estructures produïdes durant el Mesozoic (falles normals) o el Cenozoic inferior (bàsicament, encavalcaments).

LA SERRA DE TRAMUNTANA

Aliniada de NE a SW, amb una longitud d'uns 90 km i una amplada mitjana de 15 km, la Serra de Tramuntana constitueix la cadena muntanyosa més important de l'illa de Mallorca. La seva estructura es caracteritza per la presència d'un seguit de plec, falles i encavalcaments (Figura 7) que s'han ordenat tradicionalment en tres grans unitats encavalcants (FALLOT, 1922). Per bé que localment s'orienten també N-S, totes aquestes estructures d'edat oligoceno terminal-miocena mitjana presenten, en general, una orientació predominant NE-SW.

periods (mainly Mesozoic ones) previous to the collision, such as the structuration during the continental collision and also the extensional processes from the Neogen and Quaternary which overimposed on the former (Figure 6).

In Mallorca three great geomorphological and structural units can be differentiated: Serra de Tramuntana, El Pla and Serres de Llevant (Figure 1). The present morphology of Mallorca can be explained as mainly the result of the normal movement, during the Middle Miocene-Quaternary, of a series of NE-SW faults which gave way to the set of horsts and grabens corresponding respectively to the ranges and plains found at the present on the island. However, the differentiation between ranges and plains is not always so clear: they are frequently limited by Tertiary fractures but occasionally their limits are angular discordances in which the deposits from the Tertiary and Quaternary fossilize structures produced during the Mesozoic (normal faults) or in the Lower Cenozoic (mainly thrusts).

SERRA DE TRAMUNTANA

It is aligned in a NE-SW direction, being 90 km long and 15 km wide on average. The Serra de Tramuntana is the most important mountain range on Mallorca. Its structure is characterized by a set of folds, faults and thrust sheets (Figure 7) which have been traditionally described as three big structural units (FALLOT, 1922). Although they are locally oriented from N to S, all these terminal Oligocene-Middle Miocene aged structures are also predominantly aligned from NE to SW.

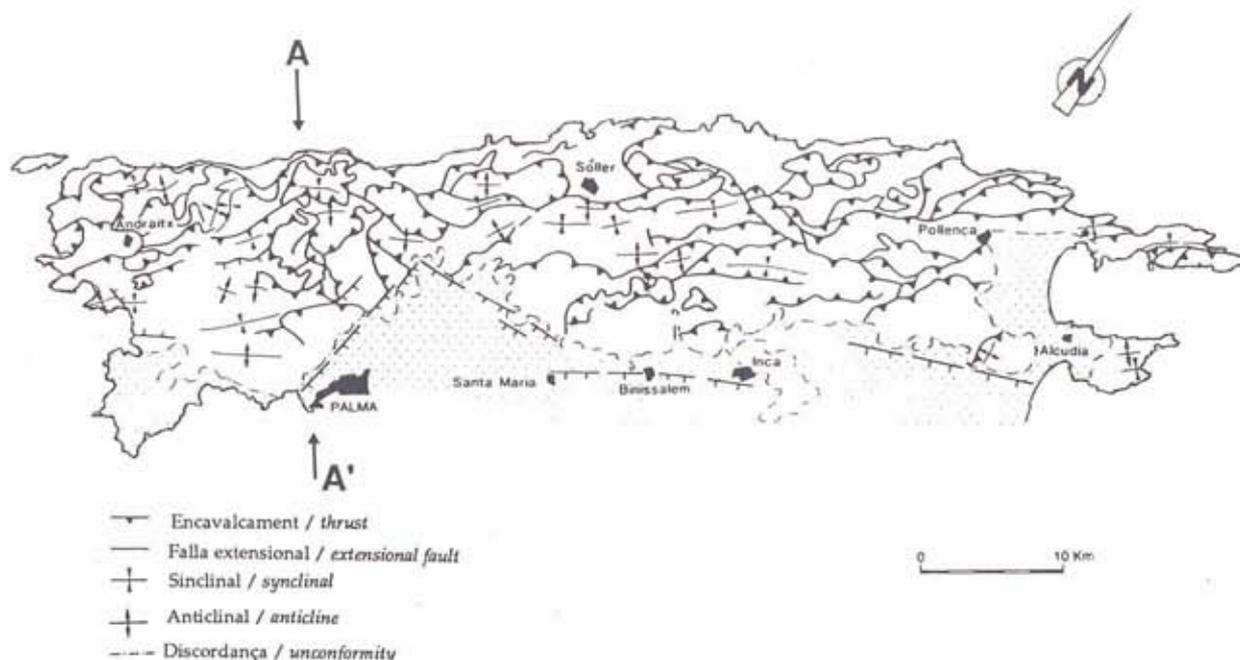


Figura 7: Mapa estructural de la Serra de Tramuntana (GELABERT *et al.*, 1992).

Figure 7: Structural map of Serra de Tramuntana (GELABERT *et al.*, 1992).

Dintre de les estructures contractives, les més prominents i ben desenvolupades són els encavalcaments, els quals es presenten generalment inclinats cap al SE o subhorizontals. A diferència de la resta de l'illa, aquests encavalcaments involucren, a més de la cobertura juràssico-miocena, materials del Triàsic inferior (Buntsandstein i Muschelkalk) i fins i tot de la part superior del sòcol hercinià.

D'altra banda, el sistema d'encavalcaments mostra, sobretot a les àrees centrals i nord-orientals, una clara disposició imbricada cap al NW, amb el nivell de desenganxament situat a les argiles del Keuper. A la zona meridional, si bé aquesta disposició és encara la predominant, s'observen també en el sistema d'encavalcaments imbricacions dirigides cap a l'E i l'W. Els sistemes imbricats s'agrupen en un conjunt de grans unitats encavalcants que equivalen a les unitats I, II i III definides per FALLOT (1922), encara vàlides.

La disposició espacial de les rampes associades als encavalcaments (dirigides principalment cap al NW), l'orientació dels plecs i la direcció NW-SE de les falles direccionals desenvolupades sincrònicament amb els encavalcaments, indiquen que la direcció de transport de les unitats encavalcants de la Serra de Tramuntana va ser cap al NW (FALLOT, 1922; POMAR *et al.*, 1983; GELABERT *et al.*, 1992). Segons aquesta direcció de transport, les estructures orientades N-S, serien, tal com proposen ROCA & VERGÉS (1989) rampes laterals.

Els diversos talls compensats realitzats perpendicularment a la Serra de Tramuntana (Figura 8) mostren que l'escurçament general pels encavalcaments i plecs oligoceno terminals-miocens mitjans és d'un 55-56% (ÁLVARO, 1987; GELABERT *et al.*, 1992), que correspon a uns 20-21 km.

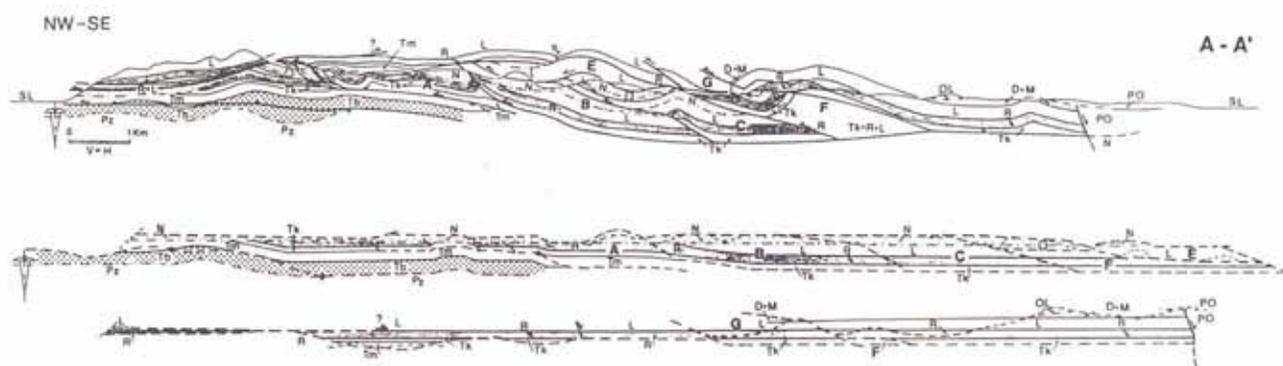


Figura 8: Tall geològic de la part sud-occidental de la Serra de Tramuntana (GELABERT *et al.*, 1992). Situació del tall en el mapa de la Figura 5. A, B, C, D, E, F i G corresponen a làmines d'encavalcament que s'han representat en la secció deformada i indeformada.

Pz- Paleozoic; Tb- Buntsandstein; Tm- Muschelkalk; Tk- Keuper; R- Retià; L- Juràssic inferior; D- Juràssic mitjà; M- Juràssic superior; K- Cretaci; Ol- Oligocè; N- Miocè inferior-mitjà.

Among the compressional features the thrusts are the most prominent and well-developed, appearing to be dipping towards the SE or subhorizontally. Contrary to what occurs on the rest of the island, these thrusts imply, apart from the Jurassic-Miocene setting, some Lower Triassic materials (Buntsandstein and Muschelkalk) and even traces of the upper Hercinian basement.

Moreover, the thrusting system shows, mainly in the centre and Northeast, a certain disposition towards the NW with the decollement level located within the Keuper clays. On the South, although such a setting is still predominant, some alignments towards the E and the W within the thrust system can also be observed. These systems are assembled in a set of great structural units which are equivalent to the still valid units I, II and III of FALLOT (1922).

The spatial disposition of the ramps (mainly oriented towards the NW) in relation to the thrust sheets, as well as the orientation of the folds and the directional NW-SE faults which developed synchronously with the thrustings, point out a NW direction of transport of the structural units on Serra de Tramuntana (FALLOT, 1922; POMAR *et al.*, 1983; GELABERT *et al.*, 1992). According to this transport direction those structures oriented from N to S would be lateral ramps, as suggested by ROCA and VERGÉS (1989).

Several balanced cross-sections perpendicularly to Serra de Tramuntana (Figure 8) show a general shortening of 55-56% due to terminal Oligocene-Middle Miocene thrusts and folds (ÁLVARO, 1987; GELABERT *et al.*, 1992), which corresponds to ca. 20-21 km.

The most remarkable morphological aspect of Serra de Tramuntana is the different relief between

Figure 8: Cross-section of the southwestern area of Serra de Tramuntana (GELABERT *et al.*, 1992). Location of the cross-section on the map from Figure 5. A, B, C, D, E, F and G correspond to thrust sheets which have been represented in both their deformed and their original position.

Pz- Paleozoic; Tb- Buntsandstein; Tm- Muschelkalk; Tk- Keuper; R- Rhaetian; L- Lower Jurassic; D- Middle Jurassic; M- Upper Jurassic; K- Cretaceous; Ol- Oligocene; N- Middle-Lower Miocene.

El caràcter morfològic més destacable de la Serra de Tramuntana és la diferència de relleu entre el vessant marí i el sud-oriental. Aquesta diferència està condicionada per la disposició estructural dels materials, inclinats cap al SE, i també per una major maduresa en el modelat del relleu. Així, mentre el vessant marí presenta un relleu juvenil, amb processos erosius intensos i una inestabilitat gravitacional important, que es manifesta en freqüents esllavissaments, el vessant meridional presenta una morfologia més arrodonida ja que la maduresa del relleu fou adquirida ja durant el Neogen superior. El recent reconeixement i la datació de dipòsits fossilífers, a distintes coves, proven que durant el Pliocè gran part del sistema càrstic presentava condicions senils o madures.

La maduresa del sistema càrstic al Pliocè fou deguda en gran part al fet que el Paleocè i l'Eocè inferior foren períodes caracteritzats per una àmplia regressió que culminà amb l'emersió i erosió de grans àrees de la plataforma mesozoica. D'aquesta manera, la cobertora margosa i margocalcària Juràssico-superior-Cretàcica de les potents masses de calcàries del Lias, ja havia desaparegut abans de produir-se l'orogènia oligo-miocena a Mallorca. Així el modelatge càrstic es va poder iniciar damunt de les calcàries liàsiques amb posterioritat immediata a l'aixecament de la Serra de Tramuntana.

EL PLA

Comprèn una ampla zona situada entre la Serra de Tramuntana i les Serres de Llevant, dintre de la qual es poden diferenciar diversos dominis geomorfològics (Figura 1): els plans de Palma, Inca, sa Pobla, Campos i Manacor, els suaus relleus centrals emmarcats entre les poblacions de Sineu-Petra-Porreres-Llucmajor, entre els quals destaca el massís de Randa, i la plataforma carbonatada miocena del Migjorn, afectada de manera notable per fenòmens càrstics, i que abarca des de l'extrem oriental de la badia de Palma fins a la part central de la costa oriental (Portocristo).

Les planes corresponen a depressions amb subsidència activa durant el Neogen superior (a partir del Serravalià) i Quaternari. Els seus límits vénen donats per falles normals d'edat post-Langhià. Els relleus centrals estan formats per materials del mesozoic i del cenozoic inferior. A Randa (Figura 9) s'han definit dues unitats estructurals: la inferior, formada per Mesozoic i Miocè inferior i mig, i la superior, formada per diverses làmines encavalcants de materials paleògens (ANGLADA, 1985). La muntanya de Randa, visible des de gran part del centre de Mallorca, forma part de la unitat inferior i aflora en finestra tectònica. L'estructura dels relleus centrals restants presenta característiques semblants a les descrites per a l'àrea de Randa.

the coastal (NW) and the SE slopes. Such a distinction is conditioned by both the structural disposition of the materials, all dipping SE, and by a higher maturity of the relief modelling. Consequently, while the coastal slope presents juvenile relief, undergoing intense erosive processes and having an important gravitational instability which is revealed by frequent rockslides, the southern slope shows a more rounded morphology, as the relief had already matured during the Upper Neogene. Recent observations and datings on fossiliferous deposits from diverse caves have demonstrated that during the Pliocene most of the karstic system was senile or mature.

The maturity of the Pliocene karstic system was mainly due to the wide regression characterizing the Paleocene and the Lower Eocene, which reached its climax with the emersion and erosion of extensive areas of the Mesozoic platform. Hence, the Upper Jurassic-Cretaceous marl and marly calcareous covering present within the huge limestone assemblages from the Lias had already disappeared before the Oligo-Miocene orogeny took place in Mallorca.

EL PLA

It comprises the extensive area between Serra de Tramuntana and Serres de Llevant. Various geomorphological domains can be distinguished within, i.e. (Figure 1): the plain covering Palma, Inca, Sa Pobla, Campos and Manacor; the smooth central relief located between the villages of Sineu, Petra, Porreres and Llucmajor, where the most remarkable orogenic feature is the Massís de Randa; and the Miocene carbonate platform of the Migjorn, heavily affected by karstic phenomena, and extending from the eastern edge of Palma bay to the central part of the eastern coast (Portocristo).

These plains correspond to depressions which underwent active subsidence during the Upper Neogene (starting in the Serravalian) and the Quaternary. Their limits are normal faults of post-Langhian age. The central reliefs consist of Mesozoic and Lower Cenozoic materials. In Randa (Figure 9) two structural units have been defined: the lower one, formed by the Mesozoic and the Lower and Middle Miocene, and the upper one, composed by various thrust sheets of Paleogene materials (ANGLADA, 1985). The mountain of Randa, which can be seen from almost any point in the central part of Mallorca, is part of the lower unit and it outcrops in a tectonic window. The other central relief shows a structure with similar characteristics to those described for Randa.

The Miocene carbonate platform of the Migjorn is a great tabular area. It is a set formed by the progradation of the Reefal Unit (Upper Miocene), on

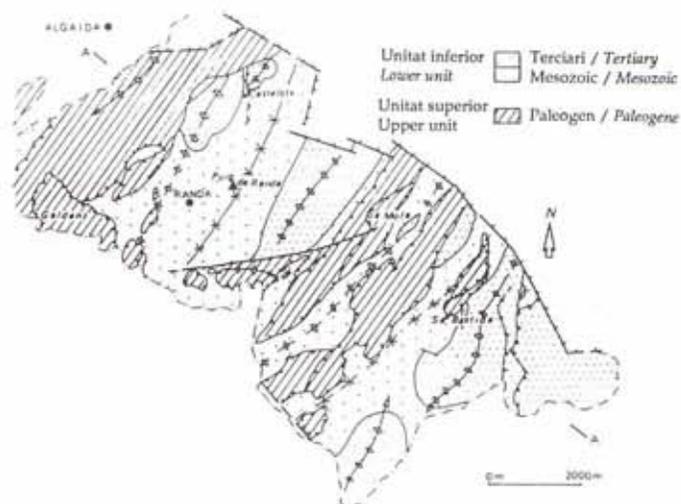


Figura 9:
Mapa estructural i tall geològic de la regió de Randa (ANGLADA, 1985).

Figure 9:
Structural map and cross-section of the Randa area (ANGLADA, 1985).

La plataforma carbonatada miocena del Migjorn correspon a una àrea tabular. Es tracta d'un conjunt format per la progradació de la Unitat Escullosa (Miocè superior), damunt de la qual es situen dipòsits també tabulars de les Calcàries de Santanyi ("Complex Terminal") i de les eolianites Plio-Quaternàries. L'aixecament dels relleus de les Serres de Llevant i de la zona central, als quals recobreixen de manera discordant, va produir el seu límit actual terra endins, mentre que la morfologia de la costa respon, en bona mesura, a les falles normals recents que els delimiten.

LES SERRES DE LLEVANT

La característica més destacada de l'estructura de les Serres de Llevant és la presència d'encavalcaments i plecs que presenten dues direccions ortogonals: NE-SW i NW-SE (DARDER, 1925; ESCANDELL & COLOM, 1960; SÀBAT, 1986). Les relacions d'aquestes estructures amb els dipòsits terciaris mostren que tant les NE-SW com les NW-SE es formaren durant un lapse de temps que abarca des de l'Oligocè fins al Miocè mig (SÀBAT, 1986).

Segons SÀBAT (1986) l'estructura fonamental consisteix en un sistema d'encavalcaments que defineixen set unitats encavalcants imbricades (Figura 10), de manera que les unitats superiors es situen progressivament tant cap al SE com cap al SW. La relació entre l'estratificació i les superfícies d'encavalcament permet d'interpretar nombroses rampes i plecs associats a elles. Aquestes estructures presenten totes les orientacions descrites anteriorment i les relacions geomètriques entre elles, així com les seves edats deduïdes a partir de criteris estratigràfics, mostren la seva sincronia. El conjunt de les direccions estratigràfiques ascendents en les zones de rampa varia des del NE fins al SW, passant pel NW.

top of which there are also tabular deposits of "Santanyi Limestones" (Terminal Complex) and Plio-Quaternary eolianites. The reliefs of Serres de Llevant and the central area, to which the Terminal Complex onlaps, produced their present inland limit while the coastal morphology is mostly constituted by the recent normal faults which delimit them.

SERRES DE LLEVANT

The most outstanding characteristic of Serres de Llevant is the presence of thrusts and folds in two orthogonal directions: NE-SW and NW-SE (DARDER, 1925; ESCANDELL & COLOM, 1960; SÀBAT, 1986). The relationships between these structures and the Tertiary deposits show that both the NE-SW and the SW-NE were formed between the Oligocene and the Middle Miocene (SÀBAT, 1986).

According to SÀBAT (1986), the main structure consists of seven imbricated thrusting units (Figure 10) so that the upper ones are progressively located towards the SE as well as towards the SW. The relationship between unit boundaries and thrust surfaces enables the interpretation of ramps and folds associated with them. Such structures show every direction described above and the geometrical links among them as well as their ages (deduced from stratigraphic criteria) are evidence of their synchrony. In those zones where ramps are present, ascendent stratigraphic directions span from NE to SW, including NW.

Considering the synchrony of the thrusts and folds in different directions and also the polarity of the ramps, the thrust sheet assemblages and their associated structures could be integrated into a unique system whose transport direction would be towards the NW. According to this model, NW-SE

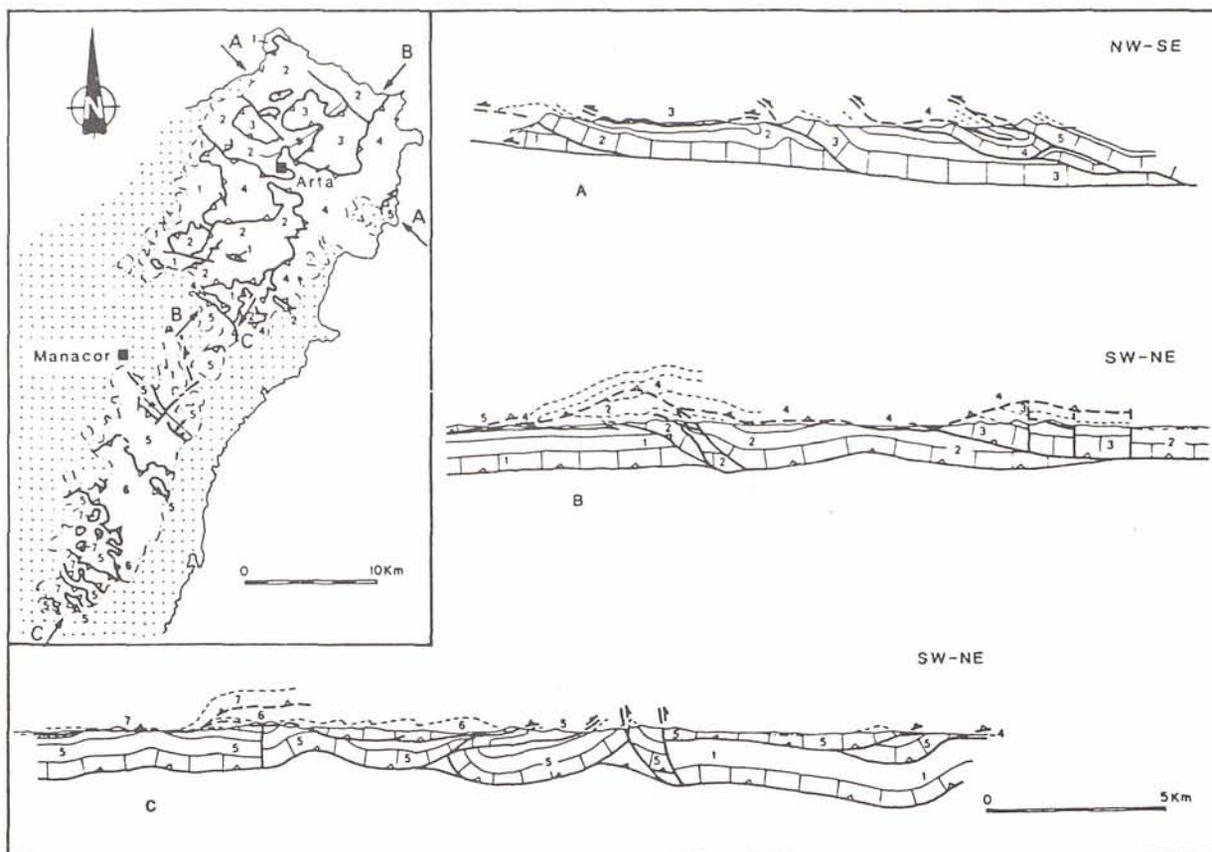


Figura 10: Esquema estructural i talls geològics de les Serres de Llevant (SÀBAT, 1986).

Figure 10: Structural outline and cross-sections of Serres de Llevant (SÀBAT, 1986).

Tenint en compte la sincronia dels encavalcaments i plects de les distintes direccions i la polaritat de les rampes, el conjunt d'encavalcaments i estructures associades poden integrar-se en un únic sistema, la direcció de transport del qual és cap al NW. En aquest model, les rampes NW-SE observades, tant amb polaritat cap al NE com cap al SW, corresponen a rampes laterals o lleugerament obliqües, les quals provoquen l'atasconament lateral de les unitats encavalcants i eventualment la seva desaparició.

La realització de talls compensats (SÀBAT, 1986) ha permès d'avaluar un escurçament d'uns 25 km, paral·lelament a la direcció de transport en la transversal d'Artà. L'existència de rampes lleugerament obliqües ha donat escurçaments aproximadament perpendiculars a la direcció de transport, que es resolen en plects concentrats al S de Manacor.

Els relleus de les Serres de Llevant presenten, predominantment, pendents suaus i formes arrodonides. Aquest fet ha de relacionar-se amb fases d'erosió que ja havien aconseguit la seva maduresa durant el Neogen superior. Els relleus que presenten major altitud estan formats per materials calcaris del Lias, mentre que les valls s'han desenvolupat bé sobre les argiles del Keuper o bé damunt dels materials margocalcaris juràssecs i cretacs.

ramps, with polarity both to the NE and to the SW, would correspond to lateral or slightly oblique ramps which might provoke the thrust units to lower laterally and to eventually completely disappear.

Balanced cross-sections (SÀBAT, 1986) have enabled to evaluate the shortening in about 25 km, parallel to the transport direction in the Artà transversal. The presence of slightly oblique ramps has produced shortenings almost perpendicular to the transport direction which have resulted in folds concentrated in South of Manacor.

The relief of Serres de Llevant shows, predominantly smooth slopes and rounded forms. This fact should be attributed to erosion phases which had already reached maturity during the Upper Neogene. The highest reliefs are of Liassic limestones, while the valleys have well-developed on the Keuper clays or the Jurassic and Cretaceous marly limestones.

Agraïments

Els autors desitgen agrair a E. Descals, A. Ginés, J. Ginés, N. Llorente i G. Pons, els comentaris i correccions efectuats sobre el primer manuscrit que, de bon segur, han fet millorar el text final. Aquest treball s'ha vist beneficiat pels projectes d'investigació de la CICYT: GEO89-0426-CO2 i de la DGICYT: PB94-1175.

Bibliografia / References

- ÁLVARO, M. (1987): La tectónica de cabalgamientos de la Sierra Norte de Mallorca (Islas Baleares). *Bol. Geol. Miner.* 98/5 : 34-41.
- ANGLADA, E. (1985): *Estudi geològic del massís de Randa (Mallorca)*. Tesi de Llicenciatura. Univ. de Barcelona, 111 pàgs.
- BARNOLAS, A. (Ed.) (1984): *Sedimentología del Jurásico de Mallorca*. Libro Guía de la Excursión. Grupo Español del Mesozoico. I.G.M.E. - C.G.S. 263 pàgs.
- BUTZER, K.W. & CUERDA, J. (1962): Nuevos yacimientos marinos cuaternarios de las Baleares. *Notas y Comun. del I.G.M.E.* 67 : 25-70.
- CALAFAT, F.; FORNÓS, J.J.; MARZO, M.; RAMOS-GUERRERO, E. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1986/87): Icnología de vertebrados en las facies Buntsandstein de Mallorca. *Acta Geológica Hispánica*, 21-22 : 515-520.
- COLOM, G. (1947): Estudios sobre la sedimentación profunda de las Baleares desde el Lias superior al Cenomanense-Turonense. *Inst. "Lucas Mallada" C.S.I.C.* 147 pàgs. 28 làms.
- COLOM, G. (1975): *Geología de Mallorca*. Institut d'Estudis Balearics. Dip. Prov. Balears. 2 vols. Palma de Mallorca.
- COLOM, G. (1985): Estratigrafia y paleontología del Andalucense y del Plioceno de Mallorca (Baleares). *Bol. Geol. Miner.* 96 : 235-302.
- CANALS, M.; SERRA-RAVENTÓS, J. & RIBA, O. (1982): Toponímia de la mar Catalano-Balear. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears.* 26 : 169-194.
- CUERDA, J. (1975): *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Inst. d'Estudis Balearics. Dip. Prov. Balears. 304 pàgs. 20 làms. Palma de Mallorca.
- DARDER, B. (1925): La tectonique de la région orientale de l'île de Majorque. *Bull. Soc. Géol. France.* 25 : 245-278.
- ENRIQUE, P. (1986): Nota sobre les roques hipabissals de la Serra de Tramuntana de Mallorca: Algunes característiques petrogràfiques i geoquímiques. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears.* 30 : 19-50.
- ESCANDELL, B. & COLOM, G. (1960): Sur l'existence de diverses phases de plissements alpins dans l'île de Majorque. *Bull. Soc. Géol. France. Série 7, II (3) :* 267-272.
- FALLOT, P. (1922): *Étude géologique de la Sierra de Majorque*. Lib. Polyt. Ch. Beranger ed. 420 pàgs. Paris.
- FORNÓS, J.J. & POMAR, L. (1983): Mioceno Superior de Mallorca: Unidad Calizas de Santanyi (Complejo Terminal). In: *El Terciario de las Baleares. Guía de la Excursiones del X Congreso Nacional de Sedimentología*. Menorca.
- FORNÓS, J.J.; RODRÍGUEZ-PEREA, A. & SÀBAT, F. (1984): El Mesozoico de la Serra de Son Amoixa (Serres de Llevant, Mallorca). *I Congreso Español de Geología.* 1 : 173-185.
- FORNÓS, J.J.; RODRÍGUEZ-PEREA, A. & ARBONA, J. (1986/87): Brechas y paleokarst en los depósitos jurásicos de la Serra de Tramuntana de Mallorca. *Acta Geológica Hispánica.* 21-22 : 459-468.

Acknowledgements

The authors would like to thank E. Descals, A. Ginés, J. Ginés, N. Llorente and G. Pons for comments and corrections of the first manuscript which have significantly improved the final text. This work has partly benefited from the CICYT research projects: GEO89-0426-CO2 and DGICYT: PB94-1175.

- GELABERT, B.; SÀBAT, F. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1992): A structural outline of the Serra de Tramuntana of Mallorca (Balearic Islands). *Tectonophysics.* 203 : 167-183.
- MATAILLET, R. & PECHOUX, J. (1978): *Étude géologique de l'extrémité occidentale de la Sierra Nord de Majorque*. Tesi Doctoral, Univ. Franche-Comté.
- OLIVET, J.L.; BONNIN, J.; BEUZART, P. & AUZENDE, J.M. (1984): Cinématique de l'Atlantique nord et central. In: *Rapports scientifiques*. CNEXO. 108 pàgs. Paris.
- POMAR, L.; RODRÍGUEZ-PEREA, A.; SÀBAT, F. & FORNÓS, J.J. (1990): Neogene stratigraphy of Mallorca Island. In: AGUSTÍ, J.; DOMÈNEC, R.; JULIÀ, R. & MARTINELL, J. (Eds.): *Iberian Neogene Basins*. Field Guidebook. *Paleontologia i Evolució (Mem. Esp.)*. 2 : 271-320.
- RAMOS-GUERRERO, E.; MARZO, M.; POMAR, L. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1985): Estratigrafia y sedimentología del Paleógeno del Sector Occidental de la Sierra Norte de Mallorca. *Rev. d'Invest. Geol.* 40 : 29-63.
- RAMOS-GUERRERO, E.; RODRÍGUEZ-PEREA, A.; SÀBAT, F. & SERRA-KIEL, J. (1989): Cenozoic tectosedimentary evolution of Mallorca island. *Geodinamica Acta.* 3 (1) : 53-72.
- RAMOS-GUERRERO, E.; BERRIO, I.; FORNÓS, J.J. & MORA-GUES, L. (1994): The Middle Miocene Son Verdera lacustrine system (Santa Margalida Basin, Mallorca, NW Mediterranean). *Global Geological Record and Lake Basins (IGCP Project 324)*. (in press).
- ROCA, E. (1992): *L'estructura de la Conca Catalano-Balear: Paper de la compressió i de la distensió en la seva gènesi*. Tesi Doctoral. Univ. Barcelona. 2 vols. 330 pàgs. 206 figs.
- ROCA, E. & VERGÉS, J. (1989): Estudio de la evolución neógena del sector suroccidental de la Serra de Tramuntana (Mallorca). *Bol. Geol. Miner.* C (5) : 842-852.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1992): Geología de Mallorca. *Gran Enciclopèdia de Mallorca.* 8 : 225-238.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. & POMAR, L. (1983): El Mioceno de la Sierra Norte de Mallorca (Sector Occidental). *Acta Geológica Hispánica.* 18 : 105-116.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. & RAMOS-GUERRERO, E. (1984): Presencia de Paleozoico en la Sierra de Tramuntana (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears.* 28 : 145-148.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A.; RAMOS-GUERRERO, E.; POMAR, L.; PANIELLO, X.; OBRADOR, A. & MARTÍ, J. (1987): El Triásico de las Baleares. *Cuadernos de Geología Ibérica.* 11 : 295-321.
- SÀBAT, F. (1986): *Estructura geològica de les Serres de Llevant de Mallorca (Balears)*. Tesi Univ. Barcelona, 120 pàgs. 2 vols.
- SIMA, A. & RAMÓN, X. (1986): Análisis sedimentológico y descripción de las secuencias deposicionales del Neógeno postorogénico de Mallorca. *Bol. Geol. Miner.* 157 : 445-472.

HIDROLOGIA CÀRSTICA DE MALLORCA

KARST HYDROLOGY OF MALLORCA

A. BARÓN¹, C. GONZÁLEZ¹ & A. RODRÍGUEZ-PEREA²

Resum

Els aqüífers càrstics de Mallorca resulten d'importància essencial per a l'abastiment d'aigua de l'illa. Es poden distingir dos tipus d'aqüífers càrstics: els desenvolupats en materials dolomítics i calcaris del Juràssic inferior i els que es troben en els dipòsits tabulars del Miocè superior. Els primers representen materials fortament aixecats i estructurats on es presenta freqüentment una doble permeabilitat, que registra una circulació a través de grans cavitats i/o de petites fissures. Els aqüífers càrstics del segon tipus s'estenen sobre dipòsits subhorizontals, lleugerament aixecats i amb una intensa relació amb les oscil·lacions del nivell de la mar.

Abstract

Karstic aquifers of Mallorca are of vital importance for the water supply of the island. Two types have been distinguished: the first one corresponds to greatly structured and folded dolomites and limestones, early Jurassic in age, which usually develop a double permeability characterized by flows both through large karst conduits and through small fissures. The second type of karst aquifers develops in tabular upper Miocene deposits gently structured and uplifted, located in the coastal zones in southern Mallorca.

Introducció

A Mallorca les roques carbonatades representen la majoria dels materials aflorants; fins i tot els dipòsits terrígens estan freqüentment constituïts per fragments de litologies calcàries. Així, les dolomies i les calcàries formen bona part de la seqüència estratigràfica des del Triàsic mitjà al Miocè mitjà.

Les aigües subterrànies constitueixen la quasi totalitat dels recursos hídrics de Mallorca i encara que molts dels aqüífers es troben en els reblliments de les conques terciàries i quaternàries, bona part de les aigües provenen d'aqüífers càrstics. Així doncs, l'estudi de la hidrologia subterrània és d'importància capital per a la gestió dels recursos hidràulics de Mallorca.

Introduction

Carbonate rocks are one of the best represented lithologies outcropping in Mallorca. Limestones and dolomites built up the Majorcan stratigraphy from middle Triassic up to middle Miocene, moreover many of the terrigenous sediments are also formed by carbonate components. The island's water supply comes mainly from the underground and, although many of the water wells are located in the terrigenous filling of the Tertiary basins, the karstic reservoirs of the island are of essential importance.

Hydrology of karst terrains

Knowledge of karst hydrology has increased so much in the last years that many of the mysteries and legends dealing with karst and water in Mallorca, which have lasted throughout decades, could be explained nowadays in a scientific way. The

1 Secció d'Estudis. Junta d'Aigües de Balears. 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.

Hidrologia dels terrenys càrstics

El coneixement de la hidrologia càrstica ha avançat suficientment en els darrers anys, per esbrar amb explicacions científiques els misteris i les llegendes que durant molts d'anys han envoltat el món de les aigües subterrànies. El desenvolupament del carst per la circulació de l'aigua que s'infiltra dins les roques carbonatades és ben conegut i depèn de molts de factors (Figures 1 i 2) entre els que destaquen la disposició estructural, la topografia, el clima, l'estratigrafia i la hidrologia (LA MOREAUX & POWELL, 1963).

development of karst as well as water circulation and storage in carbonate rocks are related to structure, topography, climate, stratigraphy and hydrogeology as well as other factors (LA MOREAUX & POWELL, 1963) (Figures 1 and 2).

The structural setting defines both the volume of rock capable of being karstified as well as their spatial arrangement. The first parameter is not independent from the second and both have to be correlated with the other factors; neither of them is totally independent from the others. In fact, carbonate rocks have to be removed from their depositional setting —where they cannot be dissolved effectively— to a new emplacement where enough water rich in carbon dioxide is available to get through the carbonate unit.

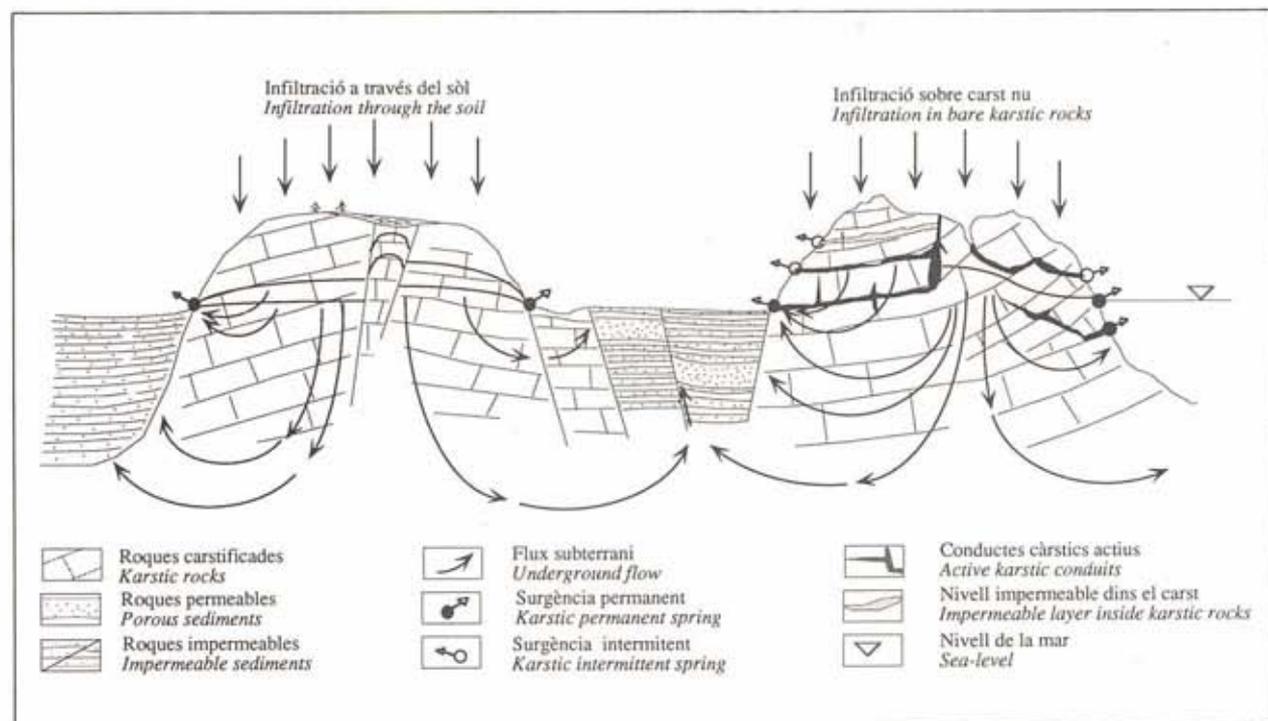


Figura 1: Diagrama esquemàtic de la infiltració i de la circulació subterrània en les àrees càrstiques. Modificat de BABUSHKIN *et al.* (1975).

Figure 1: Schematic diagram of infiltration and groundwater circulations in karstic areas. Modified from BABUSHKIN *et al.* (1975).

La disposició estructural defineix tant el volum de roca disponible per ésser carstificat com la seva disposició espacial. El primer paràmetre no és independent del segon, i al seu torn, tots dos estan interrelacionats amb molts altres factors; cap d'ells és absolutament independent. De fet, per a ser carstificades, les roques calcàries han de ser desplaçades del seu lloc de deposició —a on no poden ser dissoltes de forma efectiva— i situades en un nou emplaçament, a on es disposi de suficient aigua enriquida en diòxid de carboni per circular al seu través.

D'acord amb LE GRAND & LA MOREAUX (1975), es poden distingir tres categories d'aqüífers en relació a la seva disposició estructural: a) aquífers amb aixecament estructural suau o baixada del nivell

According to LE GRAND & LA MOREAUX (1975), there are three main categories of rising the carbonate rock from their depositional setting: a) gently structural uplifting or lowering of sea level; b) great structural uplifting; c) arching and erosion of the clastic cover. As we will describe later, the first and the second case applied quite accurately to some of the hydrologic units of Mallorca. The degree of karst activity is related to the importance of the uplift; it provides the potential energy that the water needs to move through the rock.

The dissolving potential of the carbonates correlates, among other factors, with the total amount of water that flows through the rock unit; thus, the uplift results in an increase of the water circulation

mari; b) aqüífers amb un gran aixecament estructural; i c) aqüífers per abombament i erosió de la seva cobertura. El grau d'activitat càrstica és proporcional, entre d'altres, a l'aixecament que hagin sofert les roques carbonatades, ja que aquest aixecament proporciona la diferència de nivell hidràulic —energia potencial— necessària per desenvolupar el carst. Tal i com descriurem més endavant, els aqüífers mallorquins s'adapten molt bé a les dues primeres categories.

D'igual forma, la potencialitat de dissolució dels carbonats depèn, entre altres factors, de la quantitat d'aigua que circula a través de la unitat carbonatada; així, l'aixecament estructural provoca un increment de la circulació d'aigües que inicia o augmenta la dissolució dels carbonats.

La topografia és un altre dels factors el qual, igual que la disposició estructural, condiona tant les zones de recàrrega de les unitats carbonatades, com les àrees de descàrrega. El potencial hidràulic depèn de fet, de la relació entre la topografia i la disposició estructural. L'encaixament de la xarxa fluvial proporciona el nivell de base de la descàrrega als tàlvegs principals; no obstant, és prou freqüent que hi hagi una certa circulació i dissolució per davall dels col·lectors principals.

No existeix una relació simple entre l'extensió dels afloraments carbonatats i el desenvolupament dels sistemes càrstics (Figura 1). Possiblement existeixen altres factors determinants, entre els que el factor temps resulta d'importància capital.

La permeabilitat és també un factor que determina el règim hidràulic dels aqüífers càrstics. El seu desenvolupament depèn, entre altres paràmetres, de la solubilitat de la roca, de la precipitació, la presència d'àcid carbònic (molt influenciada per l'existència de cobertura edàfica i per la vegetació), la porositat i la càrrega hidràulica. Els afloraments de roques carbonatades nues, sense cap tipus de cobertura, tendeixen a ser més resistents que els coberts pel sòl, tant a l'erosió física com a la química.

Les morfologies càrstiques no sols registren l'evolució del sistema càrstic, si no que també reflecteixen la seva permeabilitat i els elements més dinàmics de l'aqüífer càrstic. Les cavitats càrstiques tendeixen a desenvolupar-se aigües amunt tot i eixamplant-se, amb lo qual poden ser capturats els canals més petits de les zones altes del sistema. Les dolines, uvals o altres formes càrstiques semblants reflecteixen un descens de la superfície topogràfica que desplaça avall el nivell freàtic incrementant així la permeabilitat. Els diversos estadis a través dels que es desenvolupa un sistema càrstic influeixen molt clarament l'evolució de la permeabilitat. Les cavitats càrstiques es formen en relació amb el nivell freàtic local, però al descendir aquest queden desplaçades a la zona vadosa.

La presència de nivells edàfics i/o recobriments sedimentaris poc solubles damunt les unitats carbonatades, augmenta de forma important el desenvolupament

and as a consequence it starts or increases karst activity.

Topography, as well as structural setting, defines both the recharge and discharge areas of the carbonate units. Hydraulic head is also dependent on topography as much as on the structural setting. The stream incision provides excellent discharge opportunities in the river valleys although some circulation and solution would take place well below the level of the major streams.

There is not a simple relationship between the extent of the carbonate outcrops and the development of the karst system (Figure 1). Other factors like time will surely influence this development.

Permeability is also a factor that defines the hydraulic regime of karstic aquifers. Its development is a function of the rock solubility, precipitation, presence of carbonic acid (highly conditioned by the presence of soil cover and vegetation), rock porosity and hydraulic head. Bare carbonate rocks tend to be more resistant to physical and chemical erosion than soil-covered carbonates do.

Karstic morphologies not only record the karst history, they also reflect the permeability evolution of the karst system and the dynamic features of the karst aquifer. Karst cavities will develop in an upstream direction as they enlarge, leading to piracy on small solution channels. Morphologies like dolines and uvalas record a lowering of the upland topography, which place the water-table well below the land surface and increase the permeability. Stages in the development of karst are closely related to the development of permeability. Karstic subhorizontal caves form mainly at the phreatic level, but they will be placed in the vadose zone as the local water-table is lowered.

The presence of soil and/or a less soluble sedimentary cover on top of the carbonate units greatly increases the development of dolines or other subsuperficial karst features. They reduce the water run-off and increase both the vertical percolation and the water corrosion potential.

The relationship between recharge and discharge zones conforms a pattern which defines the setting and extent of the solution channels. When discharge takes place along a straight line, lateral channels tend to be parallel to each other and at a right angle to the line of discharge. Coastal discharges are dominated by the influence of sea-level changes. Lower Pleistocene base levels determine the presence of large caves nowadays flooded by sea water.

Water-tables are quite complex in karstic zones. As the carbonate rocks are almost impermeable, local water-tables will show a discontinuous pattern. Perched water-tables are also frequently present in karstic units; they record the fragmentation of karst aquifers. Variation in the recharge would also produce very rapid changes of the water-table.

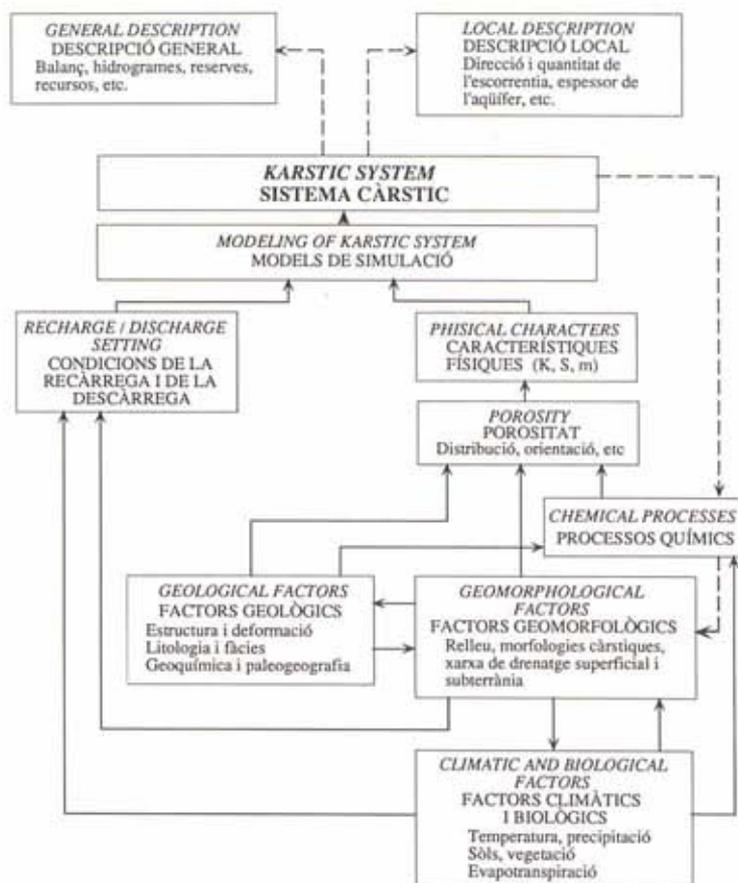


Figura 2: Esquema dels factors que condicionen el desenvolupament dels aqüífers càrstics i de les seves relacions. Modificat de KIRALY (1975).

Figure 2: Scheme of factors conditioning the development of karstic aquifers and their respective relationships. Modified from KIRALY (1975).

pament de dolines o altres morfologies càrstiques subsuperficials. Aquest fet s'explica perquè aquests recobriments disminueixen l'escorrentia superficial i incrementen la percolació vertical, augmentant el potencial corrosiu de l'aigua.

Els models de la distribució i de l'extensió dels canals de dissolució responen a la relació entre les zones de recàrrega i de descàrrega. Quan la descàrrega té lloc al llarg d'una línia més o menys recta, els canals de dissolució laterals tendeixen a distribuir-se paral·lelament entre si i perpendiculars a la línia de descàrrega. Les descàrregues que tenen lloc a la zona costanera són plenament controlades per la influència dels canvis en el nivell de la mar; així, els nivells de base del Pleistocè inferior determinen la presència de grans cavitats que es troben avui en dia inundades per l'aigua marina, en trobar-se el nivell de la mar actual clarament per damunt d'aquells nivells pleistocènics.

La disposició dels nivells freàtics dels sistemes càrstics és bastant complexa. Degut a que les roques carbonatades són pràcticament impermeables, els nivells freàtics locals poden presentar-se de forma discontinua; amb freqüència existeixen nivells freàtics penjats que reflecteixen la fragmentació dels aqüífers càrstics. Endemés, les variacions en les recàrreges dels aqüífers càrstics poden produir canvis ràpids dels nivells freàtics. Els canvis estacionals modifiquen també les piezometries i poden arribar a modi-

Seasonal variations change piezometries that would even affect the flow direction. Analysis of the water-table fluctuation would indicate the degree of variations of the karst permeability.

Another of the main parameters dealing with the study of karstic circulation is the streamflow analysis. Run-off waters are closely influenced by the permeability variations of karst terrains. Mature karst areas show very high permeable surface landforms which lead to place water-table well below the topographic surface; in this situation run-off and stream density tend to be very low. The main streams of these areas are mainly fed by karstic waters and they could flow higher than their water-tables. Peak-flows produced in zones with a well developed karst are usually lower than those taken place in non karstic areas; the rain-water infiltrates in great percentages and it runs slower than on the surface, thus, it takes more time to reach the main stream, smoothing the discharge. Moreover, waters from the major trunk stream might flow to lateral caves diminishing their flux.

The high permeability that characterizes most of the karstic zones also reduces the spring density. Most of the underground streams end down as big springs at the level of the major stream. In turn, major streams will act both as a discharge of the karstic network and as a recharge of the water-table when it is depressed below the stream-level. Streamflow

ficar fins i tot la direcció del flux. En aquest sentit, l'anàlisi de les fluctuacions del nivell freàtic ens pot indicar el grau de variació de la permeabilitat del sistema càrstic.

Un altre dels paràmetres importants per a l'estudi de la circulació dins els sistemes càrstics és l'anàlisi dels fluxos superficials. Les aigües d'escorrentia superficial estan fortament influenciades per les variacions en la permeabilitat dels terrenys càrstics pels que circulen. Els sistemes càrstics que han adquirit una certa maduresa presenten superfícies d'una alta permeabilitat, la qual cosa fa que els diversos nivells freàtics es trobin força enfonsats en relació a la superfície topogràfica; en aquesta situació l'escorrentia superficial i la densitat d'afluents acostumen a ser molt baixes. Els corrents principals d'aquestes zones es nodreixen fonamentalment d'aigües procedents del sistema càrstic i poden situar-se bastant per damunt dels seus nivells freàtics. Els cabals-punta que es produeixen en aquestes àrees solen estar per davall dels que tenen lloc a les zones equivalents que no presenten característiques càrstiques. Això és així degut a que l'escorrentia superficial s'infiltra ràpidament i en percentatges molt elevats, i després flueix més lentament en relació a com circularia en superfície, per dins del carst; per tant, en emprar més temps en el seu recorregut, suavitzava la punta de descàrrega. Més encara, les aigües de la descàrrega del col·lector principal poden derivar-se vers cavitats laterals disminuint el flux dels cabals de la revinguda.

L'elevada permeabilitat que caracteritza la major part de les zones càrstiques també té com efecte el reduir la densitat d'afluents. Molts dels cursos subterranis acaben en forma de grans surgències situades a nivell del col·lector principal. D'aquesta forma, aquests col·lectors actuen tant com una zona de descàrrega per al sistema càrstic, com recarregant el mateix sistema quan el nivell freàtic es troba per davall del nivell del col·lector. En aquest darrer cas, el cabal en superfície disminueix com a conseqüència de la infiltració, mentre que en el primer supòsit augmenta per efecte de les aportacions d'aigües provinents del sistema càrstic. Els canvis en el flux tendeixen a correlacions positives amb els contactes litològics entre els terrenys càrstics i els que no ho són.

De totes maneres, no sols els cabals augmenten o disminueixen en relació al tipus de circulació càrstica i a la seva extensió, també ho fan les conques de drenatge superficial. D'altra banda, les modificacions, tant artificials com naturals, dels sistemes de drenatge, tant superficials com subterranis, afecten al seu torn al desenvolupament del sistema càrstic.

Unitats hidrològiques càrstiques de Mallorca

Els caràcters fisiogràfics, climàtics, litològics i estructurals de Mallorca defineixen almenys tres unitats

would then decrease as a consequence of infiltration or increase by the output of the karst circulation; streamflow changes tend to correlate with rock boundaries between karst and non karst terrains.

Nevertheless, as well as the streamflow, catchment areas of the surface streams would be enlarged or reduced by their relationship with the extension and the pattern of karst circulation. On the contrary, artificial or natural modifications of the surface or underground drainage system would affect the development of karstic environment.

Karst hydrologic units of Mallorca

Lithology and topography of Mallorca define at least three main karstic hydrologic units. Two of them —Serra de Tramuntana and Serres de Llevant— are characterized by a relatively high relief and faulted and folded Mesozoic limestones. The third unit —Les Marines— corresponds to raised coastal plains of Tertiary carbonates. The recharge of Mesozoic carbonates comes mainly from rainfalls, that reach up to 1,200 mm per year in the central part of Serra de Tramuntana; the discharge of these units goes both to the sea and to the detrital basins of the island, as well to Les Marines units. In turn, Les Marines units recharge from Serres de Llevant and from precipitation, while their discharge takes place to the sea.

Those units are entrenched by ephemeral streams which could reach very high peak-flows from time to time. Some of the main streams show a karstic development and could be called canyons. Autumn rain storms are mainly responsible for these extreme rainfalls attaining more than 200 litres per hour; they lead to peak-flows up to 1,500 cubic metres per second, even though drainage basins are usually small, reaching only some tens of square kilometres (GRIMALT & RODRÍGUEZ-PEREA, 1990).

Serra de Tramuntana units

Serra de Tramuntana is a mountain range, running from SW to NE, that builds the NW side of Mallorca. It is 90 km long and 15 km wide and its peaks rise to 1,445 m in the central part of the range. The drainage pattern of the Serra shows subsequent streams running onto the thrust edges and the syncline structures and converging to antecedent canyons, that end towards the sea on the NW side of the range, and to the central plains of Mallorca, on the SE side.

Carbonate rocks form most of the stratigraphy of Serra de Tramuntana. Dolomites build up the middle Triassic and the lowermost Jurassic, and limestones

hidrològiques de tipus càrstic. Dues d'elles —la Serra de Tramuntana i les Serres de Llevant— es caracteritzen per un relleu relativament enèrgic i una estructura geològica dominada per làmines encavalcants formades principalment per carbonats mesozoics. La tercera unitat —les Marines— correspon a plataformes tabulars, subhorizontals i aixecades, formades per calcàries i calcarenites terciàries i quaternàries. La recàrrega dels carbonats mesozoics es produeix principalment per la infiltració de l'aigua de pluja (les precipitacions arriben als 1.200 mm per any en la part central de la Serra de Tramuntana); la descàrrega d'aquestes unitats es produeix vers la línia de costa o vers les unitats veïnes (les unitats de les Marines i les conques detrítiques). En les unitats de les Marines la recàrrega es produeix per aportacions dels fluxos que provenen de les Serres de Llevant i per infiltració de la pluja, mentre que les descàrreges es produeixen a la mar.

Totes aquestes unitats es troben solcades per torrents en els que periòdicament es produeixen revingudes amb cabals punta força elevats. Alguns d'aquests torrents mostren caràcters càrstics que permeten considerar-los com a canyons. Les tempestes, que tenen lloc principalment a la tardor, són les causants de les principals revingudes ja que arriben a intensitats horàries superiors als 200 litres. En aquestes circumstàncies es poden produir puntes de revingudes superiors als 1.500 m³/s (GRIMALT & RODRÍGUEZ-PEREA, 1990), fins i tot a conques relativament petites d'unes poques desenes de quilòmetres quadrats.

Unitats de la Serra de Tramuntana

La Serra de Tramuntana és la serralada que orientada de SW a NE conforma el costat nord-occidental de Mallorca. Assoleix uns 90 km de longitud, la seva amplària mitjana és d'uns 15 km i arriba a elevacions de 1.445 m a la seva part central. La xarxa de drenatge de la Serra de Tramuntana presenta cursos conseqüents, els quals segueixen les estructures plegades i les traces dels encavalcaments fins a convergir en torrents antecedents que desaiçuen a la mar, en els vessants NW, i a les conques centrals de Mallorca en els vessants del SE.

Les litologies predominants a la Serra de Tramuntana són carbonatades. Les dolomies hi són presents al Triàsic mitjà i la part més baixa del Juràssic, mentre que les calcàries formen bona part del Lias i parts dels dipòsits del Dogger, del Malm i del Cretàcic; l'Eocè i el Miocè també estan representats amb alguns nivells carbonatats, mentre que l'Oligocè és margós i conglomeràtic. No obstant, els aqüífers càrstics de la Serra de Tramuntana es desenvolupen majoritàriament sobre les calcàries liàsiques; aquests

form the Liassic and some of the Dogger and Malm deposits; Eocene and Miocene rocks are also represented, as well as the Oligocene conglomerates. In spite of that, lower Jurassic limestones build up most of the karst aquifers of Serra de Tramuntana; they reach more than 300 m in thickness and build most of the thrust sheets and folds of this mountain range. Many of these structures dip towards the SE and, as a consequence, the water circulation and discharges mainly take this direction. Impervious layers are formed by shales, marls and gypsum, late Triassic in age.

The complexity of the structure, that compartmentalizes the carbonate units in small pieces, results in a broad number of karstic hydrologic units. Some of them are too small for water exploitation purposes, others are very complex; so, few of them —Na Burguesa, fonts de la Vila i de na Pere, S'Estremera, fonts de Sòller, Sa Costera, Ses Ufanés de Gabellí and S'Almadrava— have been described nowadays (BARÓN & GONZÁLEZ, 1987) (Figure 3).

Na Burguesa unit is situated in the SW of Serra de Tramuntana, close to the city of Palma. Its area of recharge extends along 40 km² and corresponds to the SE limb of an asymmetrical anticline formed by limestones and dolomites early Jurassic in age. Infiltration has been estimated between 25 to 30 % of the rainfall (480 mm/year) which indicates an average of 5.5 hm³/year. The discharge of this unit takes place towards the Palma quaternary basin and to the sea, but, from the seventies, the heavy pumping for Palma's water supply brought the aquifer to a progressive saline intrusion. A conspicuous karst system outcrops on the SE side of the unit; it shows very large cavities, some of them placed in a rubbly dolomitic breccia very poorly cemented. Transmissivity tests show figures of 1,000 m²/day.

Fonts de la Vila i de na Pere unit is located on the Southeast side of Serra de Tramuntana, northwards of Palma. It is formed by limestones and dolomites from middle Triassic to lower Jurassic, placed in a complex structural setting that could be considered, in a broad sense, as an anticlinorium bordered by faults. The recharge of this unit comes mainly from the precipitation over 30 km² of carbonatic outcrops. According to the discharge data, the circulation of water through the unit is not simple. Discharge takes place by two big fault springs, one of them —Font de la Vila— is being used for Palma's supply and the other —Font de na Pere— is still used for irrigation. Figures from the outflow of Font de la Vila spring suggest the presence of a double permeability, one coming from a well-developed karst system of great permeability and another, less permeable, located below the first one. Discharge from the first system only correlates with the highest rain events, whereas

dipòsits presenten potències pròximes als 300 m i s'estructuren en diversos plecs i en làmines encavalcants. El cabussament principal de les estructures és vers el SE i, com a conseqüència, la circulació subterrània i les principals descàrregues es produeixen en aquesta direcció. Els nivells impermeables estan formats per les argiles, margues i guixos del Triàsic superior.

La complexitat estructural de la Serra compartimenta les unitats carbonatades en peces més petites, de les que resulten un gran nombre de subunitats hidrològiques de característiques càrstiques. Algunes d'elles són massa petites per a una explotació hidròlica de consideració, d'altres són extremadament complexes i no han estat estudiades fins ara; no obstant, algunes són prou conegudes i representen una part molt important dels recursos hidràulics de Mallorca. Entre elles descriurem les de *na Burguesa*, *les fonts de la Vila i de na Pere*, *s'Estremera*, *les fonts de Sóller*, *sa Costera*, *ses Ufanes de Gabellí* i *s'Almadrava*, seguint a BARÓN & GONZÁLEZ (1987) (Figura 3).

the second system presents a more continuous but less important circulation. A continuous pumping of water from wells close to Font de la Vila has depressed the water-table and reduced its discharge to a minimum.

S'Estremera unit is located on the southern side of the central part of Serra de Tramuntana. It is one of the most important aquifers for the supply of water for the city of Palma, and has been heavily pumped since 1974. The geologic structure of this unit is quite complex: it could be described as two thrust sheets facing the NW and slightly tilted towards the SE; the lower thrust sheet is built up by dolomites and limestones early Jurassic in age, whereas the upper one is formed by marly limestones, dolomites and limestones from the upper Triassic to the Liassic. The overlapping of the thrust sheets occurs in the southern part of the unit and is marked by the outcrop of shales and marls with gypsum, late Triassic in age. Thus, the hydrology of the unit does not correspond

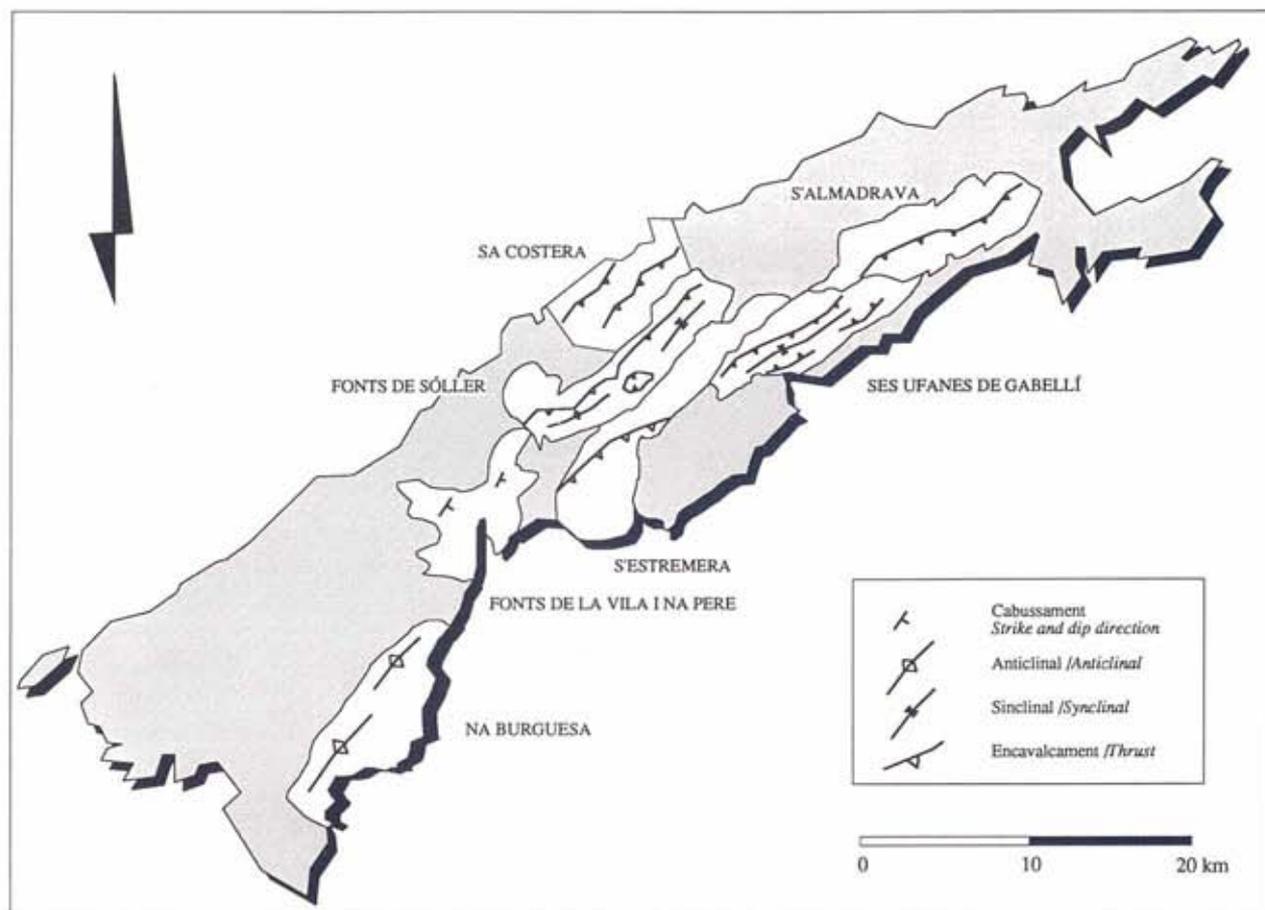


Figura 3: Unitats hidrològiques càrstiques de la Serra de Tramuntana, segons BARÓN & GONZÁLEZ (1987). Vegeu la Figura 6 per a la situació d'aquesta àrea geogràfica.

Figure 3: Karstic hydrologic units of Serra de Tramuntana, after BARÓN & GONZÁLEZ (1975). See Figure 6 for location.

La unitat de na Burguesa es localitza al SW de la Serra de Tramuntana, en les proximitats de la ciutat de Palma. La seva àrea de recàrrega s'estén al llarg

to a single aquifer: the water-table of the lower thrust sheet is located up to 300 m higher than the one of the upper thrust sheet. Moreover, transmissivity of the

d'uns 40 km², i ocupa el flanc SE d'un anticlinal asimètric format per calcàries i dolomies del Juràssic inferior. La infiltració s'estima entre un 25 i un 30 % de la pluja (480 mm/any) el que significa un total d'uns 5,5 hm³/any. La descàrrega tenia lloc vers la conca de Palma i a la mar; no obstant, l'intens bombeig a que ha estat sotmès aquest aquífer per a l'abastiment de Palma des dels anys setanta, ha produït una salinització progressiva de la unitat. A l'extrem NE d'aquesta unitat, el sistema càrstic de na Burguesa es presenta per mitjà de cavitats obertes a la superfície i excavades en bretxes dolomítiques sense matriu i poc cimentades. Les proves de transmissivitat donen valors força elevats pròxims als 1.000 m²/dia.

La unitat de les fonts de la Vila i de na Pere se situa al sud-est de la Serra de Tramuntana, al nord de la ciutat de Palma. Està constituïda per calcàries i dolomies del Triàsic mitjà i del Lias inferior. Estructuralment constitueixen una estructura complexa, que a grans trets conforma un monoclinal cabussant al SE i limitat per fractures. La recàrrega es produeix principalment per infiltració de la pluja sobre uns 30 km² d'afloraments carbonatats. Les dades de la descàrrega tradueixen un funcionament hidràulic relativament complex: en efecte, la descàrrega es produeix a través de dues surgències càrstiques relacionades amb les fractures que limiten la unitat. La primera —la Font de la Vila— es ve utilitzant per a l'abastiment de Palma, mentre que la segona —la Font de na Pere— s'utilitza per al reguiu. Els registres de les sortides de la Font de la Vila suggereixen la presència d'una doble permeabilitat en la unitat; aquest fet podria explicar-se per l'existència d'un aquífer doble: un superior, en el que se situaria un sistema càrstic ben desenvolupat, i un altre, inferior, molt menys permeable. La descàrrega del nivell superior es correlacionable amb els episodis de pluja més intensos, mentre que la del nivell inferior donaria lloc a una circulació menys important, però més contínua. El bombeig continuat de la Font de la Vila ha provocat un descens molt important del seu nivell piezomètric que redueix les seves descàrregues al mínim.

La unitat de s'Estremera està situada en el vessant meridional de la part central de la Serra de Tramuntana. S'Estremera és un dels aquífers més importants per a l'abastiment de Palma de Mallorca, i ha estat intensament explotat des de 1974. La seva estructura geològica és força complicada i pot ser descrita com formada per dues làmines encavalcants al NW i lleugerament basculades vers el SE; la làmina encavalcant inferior està formada per dolomies i calcàries liàsiques, mentre que la superior presenta dolomies, calcàries i margocalcàries d'edats que van del Triàsic superior al Cretàcic. Les argiles i les margues amb guixos del Triàsic superior assenyalen, en la part sud de la unitat, la superposició de les dues làmines. Ai-

upper thrust sheet aquifer is exceptionally high (50,000 m²/day). Some perched aquifers also exist. The recharge of the unit comes from the infiltration of the rainfall (27 %) over 44 km² of carbonatic outcrops, whereas the discharge takes place by karstic springs (about 10 %) and by pumping for Palma's supply. Before the seventies some underground discharges are supposed to have taken place towards the Palma basin through a fault boundary; nowadays, the continuous pumping keeps the water-table well below this boundary and the discharge does not occur any more.

Fonts de Sóller unit *is located in the central part of Serra de Tramuntana, northwards of S'Estremera unit. Its extension reaches 46 km² of permeable carbonate outcrops. It is formed by dolomites and limestones from the upper Triassic to the Cretaceous; they conform a complex structure described as a hangingwall anticlinal and synclinal set. Although some perched aquifers exist, this unit could be considered as a single aquifer; recharge takes place through rainfall infiltration (25 %) and discharge by several karstic springs.*

Sa Costera unit *is located on the northern side of the central part of Serra de Tramuntana, North of Sóller. Although their limits are not known precisely, it is defined by a big karstic spring (Font des Verger) that has a very rapid response to the rainfall (more than 1,000 mm/year). Its outflow varies from 10 l/s up to 1,100 l/s in terms of hours. The catchment area of this unit shows one of the most spectacular karstic sceneries of Mallorca: karren fields are widely represented in the landscape, as well as a conspicuous joint system, dolines, pits, other karst depressions and canyons. Karstic circulation is not clearly understood, but according to the spring outflow regime and the almost absence of surface run-off, infiltration has to be extremely high (more than 50 % of the precipitation). Actually, the karst network almost replaces the surface drainage and the spring discharge has the same behaviour as a surface stream. The permanence of some outflow for long periods records the presence of a double permeability in the karstic system: large conduits collect the main circulation of the karstic network, whereas small fissures are responsible for the permanence of a residual discharge*

Ses Ufanes de Gabellí unit *is located on the southern side of Serra de Tramuntana, north-eastwards of S'Estremera. Its structure corresponds to a folded and faulted thrust sheet facing NW. Dolomites, dolomitic breccias and limestones from uppermost Triassic to lower Jurassic form the pervious lithologies of this unit. The recharge of this unit comes from the rainfall infiltration (up to 37 % of a precipitation close to 1,000 mm/year) on 43 km² of*

xí, la hidrologia de s'Estremera no correspon a la d'un únic aqüífer: el nivell freàtic de la làmina inferior es troba uns 300 m per damunt del de la làmina superior. Endemés, la transmissivitat de l'aqüífer superior és excepcionalment alta (50.000 m²/dia) i existeixen diversos aqüífers penjats. La recàrrega de la unitat es produeix a través de la infiltració (24%) de la precipitació que té lloc sobre uns 44 km² d'afloraments carbonatats. La descàrrega es produeix per algunes surgències (un 10%) i sobretot per un elevat bombeig. Amb anterioritat als anys setanta —quan encara no s'havia iniciat el bombeig intensiu— una part important de la descàrrega es produïa vers la conca de Palma a través d'un contacte tectònic; en l'actualitat el nivell freàtic es troba permanentment per davall d'aquest umbral i ja no hi ha lloc per aquesta descàrrega subterrània.

La unitat de les fonts de Sóller està localitzada en el vessant septentrional de la part central de la Serra de Tramuntana, al nord de s'Estremera. L'extensió dels afloraments carbonatats, on es produeix la seva recàrrega, arriba a uns 46 km². Està formada per calcàries i dolomies del Triàsic superior al Cretàcic, que conformen un conjunt anticlinal-sinclinal de bloc superior. La unitat és considerada com un aqüífer únic, malgrat l'existència d'alguns aqüífers penjats; la recàrrega es produeix per infiltració (25%) de la pluja i les descàrreges tenen lloc per diverses surgències.

La unitat de sa Costera es troba situada al vessant nord de la part central de la Serra de Tramuntana, al nord de Sóller. Encara que els seus límits no han estat clarament definits, pren el seu nom del paratge (sa Costera) on es localitza la Font des Verger, una surgència càrstica situada pràcticament al nivell de la mar i en una zona d'una gran pluviositat (més de 1.000 mm/any). La descàrrega de la Font des Verger es caracteritza per la ràpida resposta a la precipitació, amb variacions de cabal des de 10 l/s a 1.100 l/s en molt poques hores. La zona de recàrrega de la unitat de sa Costera mostra un dels paisatges càrstics més espectaculars de Mallorca: els camps de rellar són omnipresents arreu, juntament amb un sistema de diàclasi, avencs, dolines i alguns espectaculars canyons càrstics. La circulació de la unitat de sa Costera no és gaire coneguda, però les dades de la descàrrega de la font i la pràctica absència d'escorrentia superficial suggereixen una infiltració extremadament elevada (més del 50 % de la precipitació). En realitat, el sistema càrstic substitueix el drenatge superficial i la surgència presenta un comportament similar al d'un curs superficial. La permanència d'un cert cabal durant llargs períodes reflecteix la presència d'una doble porositat en el sistema càrstic: els conductes majors recullen la circulació principal, mentre que les fissures més petites són les responsables de l'existència d'una descàrrega residual.

permeable outcrops and the discharge is made through several karstic springs. One of them, Ses Ufanes that could be described as an overflow-spring, is responsible for most of the discharge (79 %) with maximum values of 20-30 m³/second. An underground discharge also exists, but the way it is made is not well understood yet. The lower carbonates of the unit show karst features filled with clays which lead to a low permeability. On the other hand, the upper parts of the unit have a large quantity of karst voids with a very high permeability that extends to tens of metres below the surface. This high permeability together with a small storage coefficient could explain the very fast response of Ses Ufanes spring to the rainfall (Figure 4); actually, there is not so much difference between the response from the surface waters and the discharge of this spring.

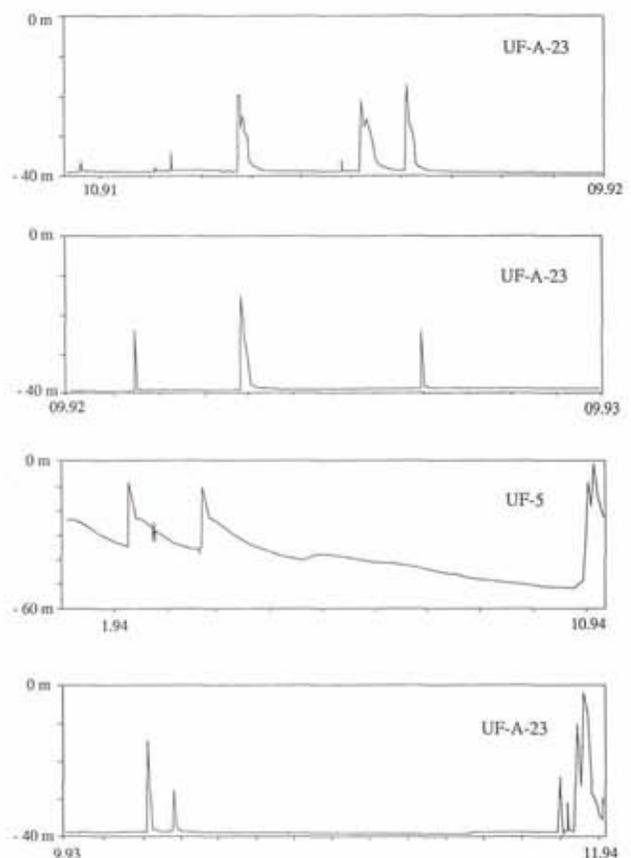


Figura 4: Variacions piezomètriques a la unitat de ses Ufanes.

Figure 4: Piezometric variations in Ses Ufanes unit.

S'Almadrava unit is located at the NE end of Serra de Tramuntana. It is built up by two thrust sheets facing the NW; their internal structure is made by slightly folded dolomites and limestones late Triassic to Cretaceous in age, plus calcarenites and marls from lower Miocene. The hydrology of this unit is poorly known and some problems still remain unsolved: the recharge takes place through a high

La unitat de ses Ufanos de Gabellí es localitza al vessant meridional de la Serra de Tramuntana, al nord-est de s'Estremera. Correspon a una estructura plegada encavalcant al NW. La seva litologia està formada per dolomies, bretxes dolomítiques i calcàries des del Triàsic fins al Juràsic inferior. La recàrrega de la unitat prové de la infiltració de les precipitacions (fins al 37% d'una pluja que arriba als 1.000 mm/any) sobre uns 43 km² d'afloraments carbonatats. La seva descàrrega té lloc a través de diverses surgències, entre les que destaquen les fonts de ses Ufanos que donen nom a la unitat. Es pot descriure aquesta font com una important surgència temporal que endemés és responsable de la major part de la descàrrega (79 %), la qual assoleix cabals màxims de 20-30 m³/segon. Encara que poc coneguda, existeix una altra part de la descàrrega que es produeix de forma subterrània. Els carbonats que conformen la part inferior de la unitat presenten fissures càrstiques reomplertes per argiles, per la qual cosa la seva permeabilitat és baixa; en canvi, la part superior presenta una porositat tipus caverna molt abundant, amb una permeabilitat molt alta que s'estén desenes de metres per davall de la superfície topogràfica. És aquesta permeabilitat la responsable d'una baixa capacitat d'emmagatzematge que explica, al seu torn, la resposta tan ràpida de ses Ufanos a la pluja (Figura 4); en realitat, no hi ha moltes diferències entre el comportament de la font i el que tendrien aigües d'escorrentia superficial equivalents.

La unitat de s'Almadrava se situa a l'extrem NE de la Serra de Tramuntana. Està formada per dues làmines encavalcants vers el NW de dolomies i calcàries del Triàsic superior al Cretàc lleugerament plegades i per margues i calcarenites del Miocè inferior. La hidrologia d'aquesta unitat és poc coneguda i encara resten per resoldre diversos problemes. La recàrrega té lloc per una elevada infiltració (37%) sobre uns afloraments calcaris que ocupen uns 41 km², mentre que la descàrrega es produeix per la surgència de la Font de s'Almadrava. No es coneix com està connectada aquesta font amb la làmina encavalcant, encara que el volum de la descàrrega (17 hm³/any) requereix l'existència de la mencionada connexió. Endemés, l'aigua de la font es troba contaminada per clorurs d'origen marí (fins a 9.000 mg/l), desconeixent-se també el mecanisme necessari pel seu emplaçament. L'aqüífer càrstic es desenvolupa en la làmina més septentrional que cap el sud, en situar-se per davall de la làmina meridional, adquireix caràcters d'aqüífer confinat; tots dos presenten permeabilitat alta, encara que només hi ha dades de transmissivitat (de 5 a 200 m²/dia) per a l'aqüífer superior.

rainfall infiltration (37 %) over 41 km² of permeable outcrops, whereas the discharge is supposed to be made by the S'Almadrava spring. There is not an explanation for the way this spring is connected to the karstic aquifers developed in the thrust sheets, although the amount of the spring discharge (17 hm³/year) requires such connection; moreover, the water is highly contaminated by sea water chlorides (up to 9,000 mg/l) whose mechanism of emplacement still remains unknown. Karst aquifer developed in the northern thrust sheet seems to evolve to a confined aquifer below the southern sheet; both aquifers show a high permeability, but there are transmissivity data (5 to 200 m²/day) only for the upper one.

Serres de Llevant units

The Serres de Llevant is a mountain range that extends in a SW-NE direction in the eastern part of Mallorca. It is built up by highly structured Mesozoic and Tertiary rocks. Several thrust sheets form a range of hills and peaks characterized by small cliffs of Jurassic limestones and hilly areas of crushed dolomites early Jurassic in age, and thin bedded limestones and marls from middle Jurassic to Cretaceous. The main aquifers of Serres de Llevant are developed in the crushed dolomites, but their behaviour is similar to the isotropic aquifers and cannot be considered as a karstic unit. The Jurassic limestones thrust sheets show small and very compartmented karstic aquifers (Figure 5). Nevertheless, huge caves exist, like Coves d'Artà ones; some of them are located in the coastal zone, but their relationship with the present-day water-table or with mixing marine waters is not still clear. The recharge of these units comes from the rainfall infiltration and their discharge takes place by pumping and underground flux to the neighbour units, and to the sea.

Les Marines units

Les Marines units are formed by tabular calcarenites, calcisiltites and reefal limestones, upper Miocene in age, located in the southern parts of Mallorca (Marina de Lluçmajor, Marina de Migjorn and Marina de Llevant). They unconformably overlap the central part of Mallorca and the southern and eastern part of Serres de Llevant (Figure 6). At least in the inner parts of the unit, their behaviour is similar to an isotropic aquifer, but in the coastal zones, particularly in Marina de Llevant, an important karst network exists. Karstic cavities develop at the present-day phreatic level; some of them are located in the coastal zone and are flooded by sea-water,

Les unitats de les Serres de Llevant

Les Serres de Llevant constitueixen una alineació muntanyosa que s'estén de SSW a NNE al llevant de Mallorca. Estan formades per dipòsits mesozoics i terciaris deformats de forma prou complexa. Constitueixen un paisatge de turons i valls, estructurat per nombroses làmines encavalcants, de forma que les calcàries juràsiques defineixen els relleus més enèrgics i les dolomies trinxades del Lias inferior els més suaus, mentre que les valls es conformen damunt les margocalcàries del Juràssic mitjà al Cretàcic. Els principals aqüífers de les Serres de Llevant es desenvolupen en les dolomies trinxades, però el seu comportament hidrològic és similar al d'un aqüífer isotròpic, pel que no poden ser considerats com a aqüífers càrstics. Les làmines encavalcants amb calcàries juràsiques es presenten com aqüífers calcàris poc extensos i molt compartimentats (Figura 5). No obstant, localment existeixen grans cavitats —com les Coves d'Artà— localitzades prop de la costa, encara que les seves relacions amb el nivell freàtic i el nivell de la mar no són prou conegudes. La recàrrega de les unitats de les Serres de Llevant es produeix per infiltració de la precipitació, mentre que la descàrrega té lloc per bombeig i fluxos subterranis a la mar i a les unitats veïnes.

Les unitats de les Marines

Les Marines estan formades per dipòsits tabulars de calcarenites, calcilitites i calcàries esculloses del Miocè superior que es localitzen bàsicament en les parts meridionals de Mallorca (Marina de Lluçmajor, Marina de Migjorn i Marina de Llevant). Aquests dipòsits es disposen discordantment damunt les parts centrals de l'illa i damunt els vessants oriental i meridional de les Serres de Llevant (Figura 6). El seu comportament hidrològic és similar als aqüífers isotròpics en les parts més llunyanes de la costa; en canvi, al litoral, en especial a les Marines de Migjorn i de Llevant, s'han desenvolupat importants sistemes càrstics. Les cavitats més espectaculars —algunes com les Coves del Drac i les Coves des Hams, amb un elevat interès turístic— es troben situades al nivell freàtic actual i algunes d'elles han estat inundades per la mar; no obstant això, no està suficientment aclarida la influència de la zona de mescla sobre el desenvolupament de les cavitats. Tot el que pot dir-se és que durant el Quaternari en aquestes cavitats han predominat els processos de precipitació; també s'han detectat processos de dissolució però de molt menor importància. La recàrrega d'aquestes unitats prové tant de la infiltració de la pluja com de les aportacions de les unitats veïnes; la descàrrega es produeix per bombeig i per sortides a la mar.

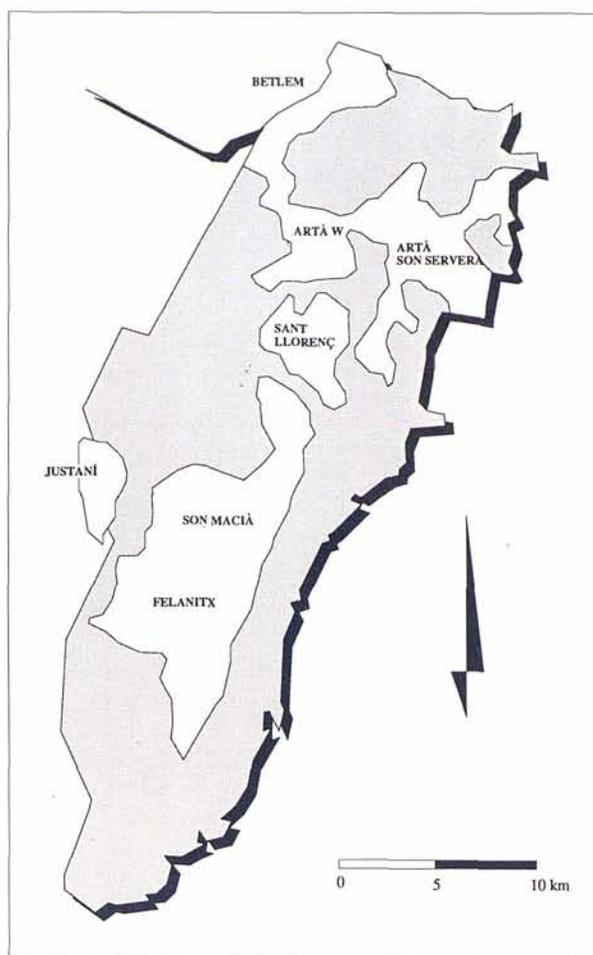


Figura 5: Unitats hidroliques càrstiques de les Serres de Llevant. Vegeu la Figura 6 per a la situació d'aquesta àrea geogràfica.

Figure 5: Karstic hydrologic units of Serres de Llevant. See Figure 6 for location.

having a great interest as a touristic resort (Coves del Drac, Coves des Hams). The influence of the mixing zone between continental and marine waters is not clear concerning the development of karst system; although dissolution events have been recorded, carbonate precipitation seems to be the main process during their Quaternary history. The recharge of these units comes partially from the rainfall infiltration and partially from the underground flux of the neighbour units; the discharge takes place by pumping and towards the sea.

Conclusions

Mallorca's karst hydrology has an enormous importance in the water supply of the island. Many of the main aquifers are of karst origin and the major rainfall episodes infiltrate into them. Two types of karst aquifers may be distinguished: the first type

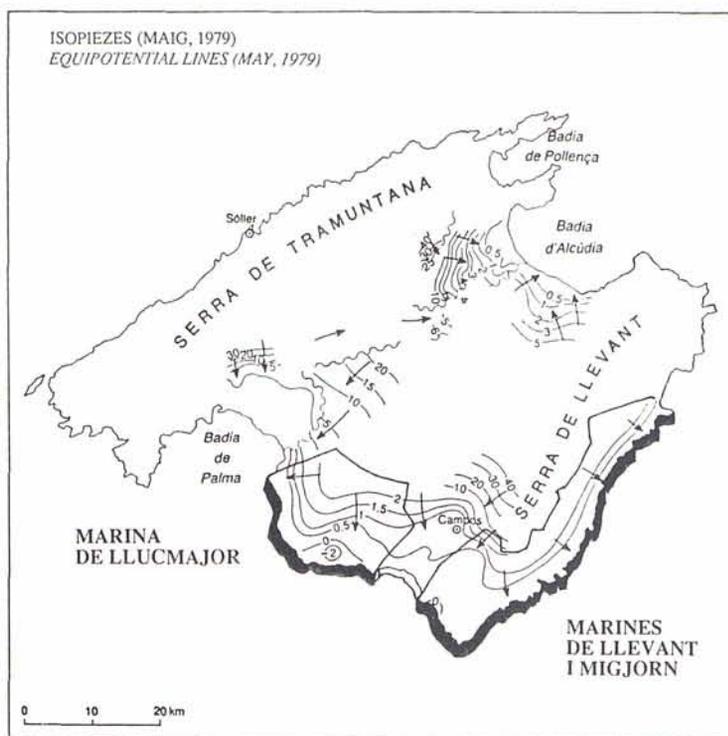


Figura 6:
Unitats hidrològiques càrstiques de les Marines.

Figure 6:
Karstic hydrologic units of Les Marines.

Conclusions

La hidrologia càrstica de Mallorca ha tingut i té una enorme importància per a l'abastiment d'aigua de l'Illa, ja que bona part dels aqüífers presenten caràcter càrstic i en ells s'hi produeix la major infiltració de l'aigua de pluja. Poden distingir-se dos tipus d'aqüífers càrstics; el primer es desenvolupa en els dipòsits carbonatats, predominantment calcàries i dolomies, del Juràssic inferior. Correspon a molts dels aqüífers de la Serra de Tramuntana, els quals es caracteritzen per àrees de recàrrega d'unes poques desenes de quilòmetres quadrats, formades per afloraments de roca nua. Les seves descàrreges es produeixen per mitjà de surgències càrstiques. Aquestes unitats presenten un aixecament estructural i topogràfic important i estan solcades per torrents íntimament relacionats amb la dinàmica dels aqüífers. Malgrat que els seus models de circulació solen ser complexos i poc coneguts encara, pot distingir-se clarament la presència d'una doble permeabilitat: la circulació principal es produeix a través de les grans obertures del sistema càrstic i ve a reemplaçar de qualche manera l'escorrentia superficial, mentre que el flux de base de les surgències respon a la presència d'una segona porositat de caràcter fissural.

El segon tipus d'aqüífers càrstics es localitza en els dipòsits tabulars, lleugerament aixecats, del Miocè (les Marines). Funcionen com a aqüífers isotròpics en les parts més internes, i com a càrstics en les proximitats del litoral. De totes maneres, no està ben establerta, encara, la relació entre el seu desenvolupament i els canvis de nivell de la mar produïts durant el Pliocè i el Quaternari.

develops in dolomites and limestones, early Jurassic in age; they are located in Serra de Tramuntana. Frequently their recharge areas extend by tens of square kilometres of bare carbonate rocks and their discharge takes place by karstic springs. A great structural uplifting characterized these units which are commonly entrenched by temporary streams. Although karst circulation tends to be complex and poorly known, a double permeability distinguishes their behaviour: the main circulation is made through large conduits and it replaces in some way the surface run-off, whereas small fissures are responsible for the basal outflow of karstic springs.

The second type of karst aquifers of Mallorca develops in gently structured Miocene tabular deposits (Les Marines). They work as an isotropic aquifer in the inner parts of these units, and simultaneously as a karst aquifer close to the coastal zone. The relationship between the development of karstic cavities and the sea level changes produced during Pliocene to Quaternary times is not well-established.

Agraïments

Treball finançat pel projecte CICYT AMB93-0178.

Bibliografia / References

- BABUSHKIN, V.D.; BÖCKER, T.; BOREVSKY, B.V. & KOVALEVSKY, V.S. (1975): Regime of subterranean water flows in karst regions. In: BURGER, A. & DUBERTRET, L. (Eds.): *Hydrogeology of Karstic Terrains*. International Association of Hydrogeologists. 69-78. Paris.
- BARÓN, A. & GONZÁLEZ, C. (1987): *Hidrología de la Isla de Mallorca*. Servei Hidràulic. Govern Balear. 83 pàgs. Palma de Mallorca.
- GRIMALT, M. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1990): Caudales punta de avenida y morfología de cuencas en Mallorca. In: GUTIÉRREZ, M.; PEÑA, J.L. & LOZANO, M.V. (Eds.): *Actas de la I Reunión Nacional de Geomorfología*. 427-436. Teruel.

Acknowledgement

This work is part of the CICYT project AMB93-0178.

- KIRALY, L. (1975): Rapport sur l'état actuel des connaissances dans le domaine des caractères physiques des roches karstiques. In: BURGER, A. & DUBERTRET, L. (Eds.): *Hydrogeology of Karstic Terrains*. International Association of Hydrogeologists. 53-67. Paris.
- LA MOREAUX, P.E. & POWELL, W.J. (1963): Stratigraphic and structural guides to the development of water wells and well fields in a limestone terrane. *Alabama Geol. Survey*. ser. 6 : 363-375.
- LE GRAND, H. & LA MOREAUX, P.E. (1975): Hydrogeology and Hydrology of Karst. In: BURGER, A. & DUBERTRET, L. (Eds.): *Hydrogeology of Karstic Terrains*. International Association of Hydrogeologists. 9-19. Paris.

LES FORMES EXOCÀRSTIQUES DE L'ILLA DE MALLORCA

THE EXOKARSTIC LANDFORMS OF MALLORCA ISLAND

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

Resum

Les morfologies exocàrstiques estan molt ben representades en l'illa de Mallorca a causa de la dominància d'afioraments de roques calcàries. Són remarcables per la seva extensió i diversitat morfològica diferents tipologies de lapiaz, les quals es desenvolupen sobre àmplies extensions de terreny on arriben a formar, en ocasions, camps de lapiaz gairebé intransitables. Les dolines no són massa abundants, però algunes grans depressions càrstiques destaquen en el modelat de determinades àrees. Cal destacar la presència de notables canyons càrstics que solquen el sector septentrional de la Serra de Tramuntana, així com la plataforma costanera de la regió del Migjorn. Sense cap dubte, les morfologies exocàrstiques constitueixen per la seva espectacularitat i varietat un dels principals components del paisatge mallorquí.

Abstract

Exokarstic features are well-represented all through the island of Mallorca due to the dominance of limestone outcrops. Different types of karren are remarkable for their extension and morphological diversity, and they are present over wide terrains where karren spikes form almost impassable karrenfields. Dolines are not very abundant, but some huge karstic depressions stand out in the modelling of some areas. Spectacular karstic gorges furrow both the northern sector of Serra de Tramuntana and the coastal platform of Migjorn region. Exokarstic features are undoubtedly one of the main components of the Majorcan landscape.

Introducció

L'illa de Mallorca, així com les seves petites illes veïnes de sa Dragonera i el subarxipèlag de Cabrera, es caracteritza per una geomorfologia càrstica diversificada i abundant. Les formes càrstiques, tant subterrànies com superficials, constitueixen sens dubte un dels aspectes més característics de tot el conjunt geogràfic mallorquí.

En particular, el paisatge d'extensos sectors de Mallorca, especialment a la Serra de Tramuntana,

Introduction

The island of Mallorca together with its small surrounding isles of Sa Dragonera and the subarchipelago of Cabrera, are characterized by a diversified and abundant karstic geomorphology. The karstic features, both the subterranean and the superficial ones, certainly constitute one of the most characteristic aspects of the Majorcan geographical context.

In particular, the landscape of extensive areas of Mallorca, especially in Serra de Tramuntana, constitutes an exceptional range of exokarstic morphologies (Figure 1). In consequence, since the last century there have been plenty of bibliographical references that stress the relevance of karstic

1 Grup Espeleològic EST. Palma de Mallorca.

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

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

constitueix un excepcional repertori de morfologies exocàrstiques (Figura 1). Per això han estat nombroses les referències bibliogràfiques que des del segle passat destaquen la importància del modelat càrstic al sector central de la Serra (LOZANO, 1884; FALLOT, 1922; WINKLER, 1926; DARDER, 1930). Però fins i tot a les àrees on el modelat superficial no és tan espectacular, s'hi poden trobar interessants fenòmens exocàrstics.

landforms presence in the central zone of the Serra (LOZANO, 1884; FALLOT, 1922; WINKLER, 1926; DARDER, 1930). But even in those areas where the superficial shaping is not so spectacular, there can be found interesting exokarstic phenomena.

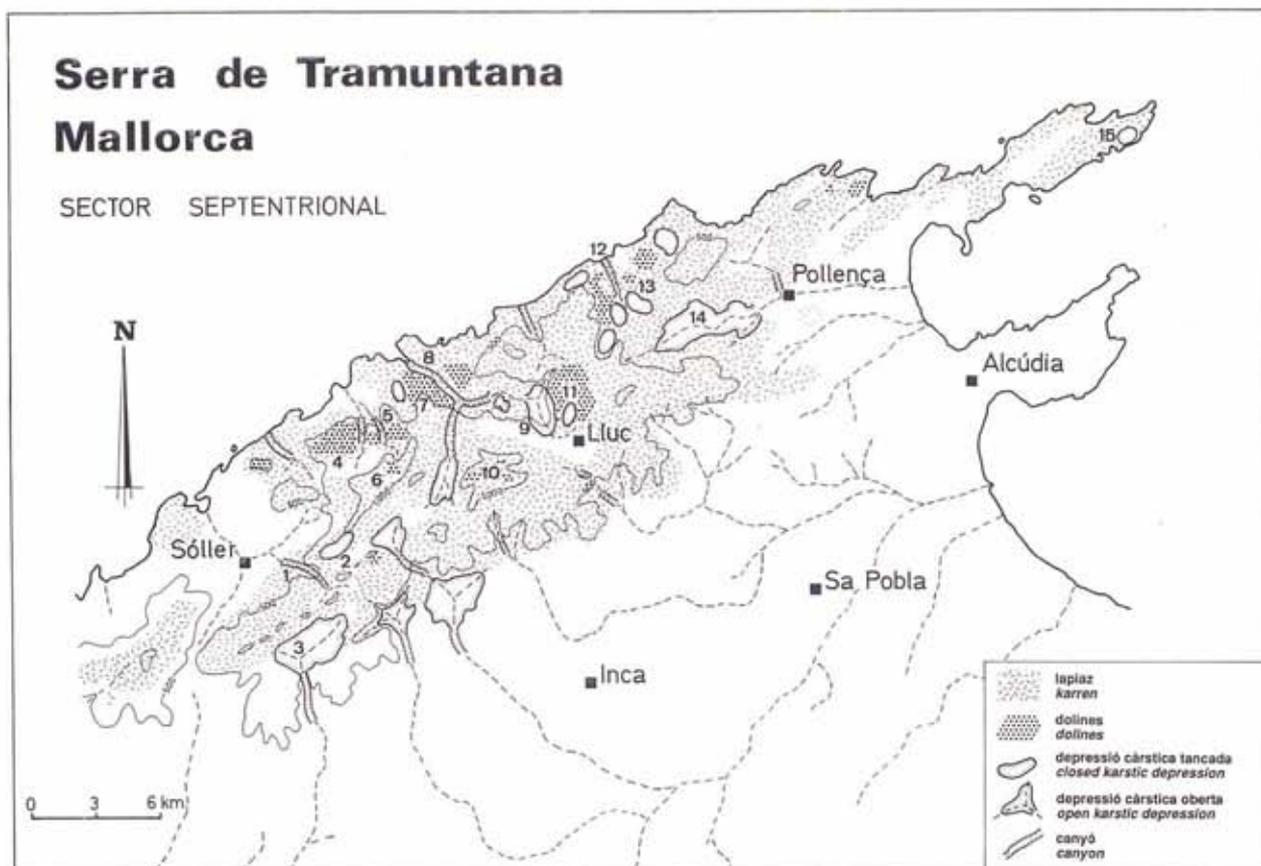


Figura 1: Cartografia esquemàtica del modelat exocàrstic en el sector septentrional de la Serra de Tramuntana. 1: Barranc de Biniaraix. 2: Coma de Son Torrella. 3: Vall d'Orient. 4: s'Esquetjar de Moncaire. 5: es Clots Carbons. 6: Puig Major. 7: es Castellots. 8: Torrent de Pareis. 9: Clot d'Albarca. 10: Puig de Massanella. 11: Terra de ses Olles / es Pixarells. 12: Torrent Fondo de Mortitx. 13: Coma de Mortitx. 14: Vall d'en Marc. 15: Pla de les Basses.

Figure 1: Simplified map of exokarstic landforms from northern area of Serra de Tramuntana mountain range. 1: Barranc de Biniaraix. 2: Coma de Son Torrella. 3: Vall d'Orient. 4: s'Esquetjar de Moncaire. 5: es Clots Carbons. 6: Puig Major. 7: es Castellots. 8: Torrent de Pareis. 9: Clot d'Albarca. 10: Puig de Massanella. 11: Terra de ses Olles / es Pixarells. 12: Torrent Fondo de Mortitx. 13: Coma de Mortitx. 14: Vall d'en Marc. 15: Pla de les Basses.

Condicionants litològics i evolució de l'exocarst

Les alineacions muntanyoses mallorquines, que constitueixen les Serres de Llevant i la Serra de Tramuntana, estan formades per materials plegats, fonamentalment calcaris i margosos, que abracen des del final del Paleozoic fins al Miocè inferior (Burdigalià). Els materials més ben carstificats són les calcàries massives i bretxes del Lias inferior, així com els conglomerats

Lithological conditionants and evolution of exokarst

The Majorcan mountain ranges, comprising Serres de Llevant and Serra de Tramuntana, are mainly formed by calcareous and marly folded materials, which span from the latter Paleozoic to the Lower Miocene (Burdigalian). Massive limestones and Lower Liasic breccias, as well as conglomerates and calcareous breccias from the Burdigalian,

i brexes calcàries del Burdigalià. La majoria dels camps de lapiaz i grups de dolines es desenvolupen en aquestes litologies de calcàries micrítiques, resistents i molt pures. Les grans depressions càrstiques ocupen parcialment altres materials carbonatats, detrítics i fins i tot volcànics del Trias, que actuen de vegades com a substrat impermeable a les voreres o al fons de la depressió. Els afloraments de dolomies del Retià (Infralías) presenten alguns interessants exemples d'engolidors, que connecten amb cavitats importants.

Al voltant de les àrees muntanyoses mallorquines es diposità durant el Miocè superior (Tortonian i Messinià) una seqüència de calcàries esculloses, calcarenites i sediments fins associats, que inclouen estructures estromatolítiques. Aquests materials calcaris, inicialment molt porosos, han experimentat una intensa i complicada diagènesi al mateix temps que es carstificaven. Les principals morfologies exocàrstiques que caracteritzen la plataforma miocènica postorogènica consisteixen fonamentalment en criptolapiaz, generat davall sòl, i formes de lapiaz costaner relacionades amb processos de bioerosió.

Meteorització i microlapiaz

Les morfologies càrstiques més petites comprenen una considerable diversitat de microtopografies, originades mitjançant processos corrosius que tenen lloc en contactar la roca amb finíssimes pel·lícules d'aigua i, generalment, sota la intervenció directa o indirecta de microorganismes. A aquesta escala, que implica sempre mides inferiors al centímetre, la dissolució càrstica de la roca calcària és molt activa i es manifesta com un conjunt de formes de microlapiaz, que proporcionen una textura aspra a la superfície rocosa. Les textures i modalitats de corrosió resultants són realment difícils de sistematitzar. En part, això és degut a la necessitat d'utilitzar instruments d'observació microscòpica i, també, a causa del problema taxonòmic que suposa la identificació de molts dels microorganismes que colonitzen la superfície de la roca.

El desenvolupament de microlapiaz és una conseqüència directa dels processos de meteorització específics que afecten la roca calcària. En les condicions climàtiques de Mallorca sembla que les superfícies de microlapiaz més accentuades es produeixen a ambients àrids propers a la línia de costa, així com a aquells llocs on es repeteix periòdicament la formació de rosada. Recentment s'han descrit a Mallorca i Cabrera microformes de lapiaz d'aquesta classe, consistents en canalicles de trajecte sinuós o rectilini i d'una amplària que no sobrepassa els 0,8 mm (GINÉS, 1990a, 1993).

També els ambients que afavoreixen la colonització de molses, líquens, algues, fongs i cianobacteris presenten estructures de microlapiaz característiques. Investigacions en curs estan analitzant el paper

happen to be the best karstified materials. Most of the karrenfields and doline assemblages are developed within these hard and pure micritic limestone rocks. The large karstic depressions partially occupy other carbonated, detritic or even Triassic volcanic materials that sometimes act as an impermeable substratum at the edges or bottom of the depressions. The dolomitic outcrops from the Rhaetian (Infralías) present several interesting examples of swallow holes that are connected to important cavities.

During the Upper Miocene (Tortonian and Messinian) a sequence of reefal limestones, calcarenites and associated sediments, including stromatolitic structures, were settled down around the mountain areas of Mallorca. These calcareous materials, initially very porous, underwent an intense and complex diagenesis while they were being karstified. The main exokarstic features characterizing the post-orogenic Miocene platform are mostly subsoil karren, generated under the edaphic cover, and coastal karren forms related to bioerosion processes.

Weathering and microkarren

The smallest karstic features comprise a greatly diversified assemblage of microtopographies originated by corrosive processes undergone in contact with very thin water films and, generally, under direct or indirect microorganisms action. To this scale, which always involves sizes inferior to 1 centimeter, the karstic dissolution of limestone is highly active and it shows itself as a conjunct of microkarren forms that provide, in general, a coarse texture to the rock surface. The resulting corrosion textures and types are really hard to systematize. This difficult task is due to both the need of microscopic observation instruments and the added taxonomic identification problems inherent to many microorganisms that colonize the rock surface.

The microkarren development is a direct consequence of specific weathering processes that affect the limestone. Under the climatic conditions of Mallorca, it seems that the most outstanding microkarren surfaces are produced in arid environments close to the sea shore, as well as where the dew formation periodically takes place. Recently, some microkarren features of this type have been described from Mallorca and Cabrera, where it comprises meandering lineal microrunnels not wider than 0.8 mm (GINÉS, 1990a, 1993).

The environments favouring the colonization by mosses, lichens, algae, fungi and cyanobacteria show also characteristic structures of microkarren. Some researches in hand are analysing the role of microfungi in reference to the formation of tiny corrosional pits on xeric calcareous surfaces from several localities in Serra de Tramuntana. Likewise,

desenvolupat per microfongs en la formació d'alvèols de corrosió sobre les superfícies calcàries xèriques de diverses localitats de la Serra de Tramuntana. Així mateix, FIOL *et al.* (1992), estudiant les morfologies de *rillenkarren* de la Serra, han demostrat que cèl·lules algals de *Chroococcus minutus* col·laboren, mitjançant el desenvolupament de microtopografies biocàrstiques fràgils, en el creixement de les estries de lapiaz.

Les morfologies de lapiaz

El lapiaz o *karren* (Foto 1) és indubtablement la morfologia exocàrstica més ben representada a Mallorca, tant en abundància com en varietat tipològica.



Foto 1: Aspecte d'un camp de lapiaz desenvolupat sobre les calcàries del Lias inferior, en els terrenys des Castellots (Escorca). A la Serra de Tramuntana de Mallorca, les extensions de roques solcades per canals i esclletxes de lapiaz són conegudes amb els noms de "rellar" i "esquetjar" respectivament.

Photo 1: Appearance of a karrenfield on Lower Lias limestones in Es Castellots area (Escorca). In Serra de Tramuntana, those rocky terrains furrowed by karren channels and cracks are known as "rellar" and "esquetjar" respectively.

Comprèn una amplíssima gamma de formes de dissolució, la mida de les quals va des d'1 cm fins a algunes desenes de metres. Les formes més abundants i fàcils de reconèixer tenen aspecte d'estries (Foto 2) i canals (Foto 3), que solquen els flancs de les roques a favor del pendent. Però també hi ha formes amb cavitats irregulars, pouets, cubetes, forats, tubs i superfícies arrodonides. Algunes formes delimiten escalons, ondulacions rítmiques o concavitats més o menys irregulars.

Els mecanismes implicats en la formació del lapiaz per dissolució són complicats i s'interfereixen entre si en condicions naturals. Els principals són: l'impacte directe de l'aigua de pluja, el flux d'aigua col·lectada en solcs sobre la roca, el flux laminar o turbulent de primes làmines d'aigua, l'aigua estanca sobre la roca, l'aigua adherida en fina pel·lícula sobre la superfície rocosa i l'aigua edàfica que contacta lentament amb el substrat durant la infiltració.

FIOL *et al.* (1992) have demonstrated, by studying the *rillenkarren* of the Serra, that algal cells of *Chroococcus minutus* accelerate the growth of karren flutes by developing fragile biokarstic microtopographies.

Karren features

Undoubtedly, karren features (Photo 1) are the best represented exokarstic landforms on Mallorca, both in abundance and typological variety. It comprises a great wide range of dissolution forms with sizes going from 1 cm to few tens of meters. The most abundant and recognizable forms are flutes (Photo 2) and runnels (Photo 3) that furrow the rock edges in favour of slope. But there are also irregular and hollow forms, rainpits, pans, pits, tubes and rounded surfaces. Some of these delineate heelprints, rhythmic undulations or more or less irregular concavities.



Foto 2: Estries de lapiaz (*rillenkarren*) esculpides sobre conglomerats del Miocè, en la zona de Turixant (Escorca). Observi's la incipient colonització de les estries per líquens epilítics i el relleu positiu que formen els còdols silíceis.

Photo 2: Rillenkarren modelled on Miocene conglomerates in Turixant area (Escorca). Note the developing colonization of epilithic lichens over the rills as well as the protruding features of siliceous cobbles.

Les primeres referències geològiques sobre la importància del lapiaz a la Serra de Tramuntana corresponen a LOZANO (1884), qui atribueix els camps de lapiaz dels voltants de Lluc als processos de dissolució de la roca causats per les aigües de pluja. Tant MARTEL (1903) com, més tard, WINKLER (1926) ja empen respectivament a les seves publicacions sobre el carst mallorquí els termes *lapiaz* i *karren*, que amb el temps serien adoptats en la bibliografia internacional per designar específicament aquestes morfologies. Encara que el predomini de les morfologies de lapiaz és molt apreciable als sectors septentrionals de la Serra, quasi tots els afloraments calcaris de l'illa mostren conjunts específics de formes de lapiaz, com ocorre al Migjorn de Mallorca (Foto 4) i a les zones costaneres.

Durant els darrers anys s'han publicat vàries notes en les quals apareixen resumides les principals característiques del lapiaz mallorquí (GINÉS *et al.*,

The mechanisms involved in the karren formation through dissolution are quite complex and, under natural conditions, they interfere with each other. The main ones are: direct impact of rainfall, flow of water collected in sharp grooves on the rock, laminar or turbulent flow of water films, stagnation of waters over the rock, water sticking as a very thin layer to the rock surface, and soil water that slowly contacts the rock interface during infiltration.

The first geological references about the importance of karren landforms from Serra de Tramuntana are those by LOZANO (1884) who ascribed the karrenfields surrounding the Sanctuary of Lluc to dissolution processes caused by rainfall. Not only MARTEL (1903) but also WINKLER (1926) already used in their publications on Majorcan karst the terms lapiaz and karren respectively, which have been afterwards adopted by the international bibliography to specifically designate these features. Despite the predominance of karren features being really obvious in the northern areas of the Serra, almost every limestone outcrop from Mallorca presents its specific karren forms, as it occurs in the Migjorn (Photo 4) and coastal areas of the island.

*During recent years some notes have been published in which the main characteristics of the Majorcan karren are resumed (GINÉS *et al.*, 1979; GINÉS & GINÉS, 1989). Morphometrical studies on the most simple typologies have also been initiated (BORDOY & GINÉS, 1990; GINÉS, 1990a; GINÉS & GINÉS, 1991) (Figure 2). On the other hand, great progress has been achieved in clarifying the terminology and description of the most common karren types from Mallorca and Cabrera (BÄR *et al.*, 1986; GINÉS, 1990a, 1993).*

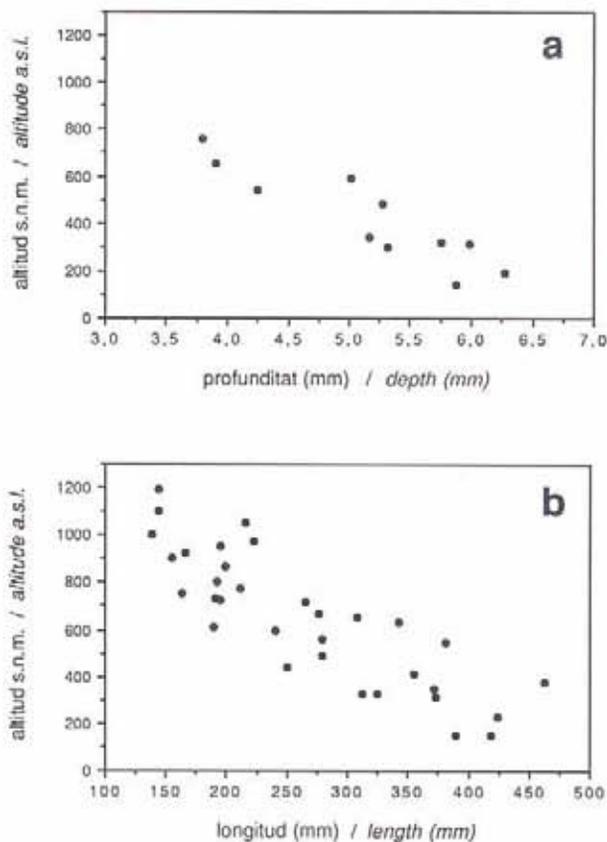


Figura 2: **a:** representació gràfica on es pot apreciar la relació entre altitud i profunditat d'estries de lapiaz (*rillenkarren*) a 11 localitats de la Serra de Tramuntana.
b: representació gràfica on es pot apreciar la relació entre altitud i longituds màximes d'estries de lapiaz (*rillenkarren*) a 33 localitats de la Serra de Tramuntana.

Figure 2: **a:** plot showing the relationship between altitude and rillenkarren depth in 11 localities from Serra de Tramuntana.
b: plot showing the relationship between altitude and maximum rillenkarren length in 33 localities from Serra de Tramuntana.

The karrenfields of Serra de Tramuntana

Under definite topographical conditions the karren features reach to cover large extensions of limestones lacking a soil covering, which are designated as karrenfields (in German, karrenfeld). Therefore, these assemblages happen to be important absorptional exokarstic macroforms that can occupy up to several square kilometers. If the karrenfield evolution takes place for long, the dissolution progress gives rise to almost impassable terrains, interrupted by sharp crests and spectacular rock pinnacles recalling some tropical karren morphologies (MENSCHING, 1955; BÖGLI, 1976). Such strong and complex topography, which also includes dolines in its interior, has been mapped by GINÉS (1990b) in Sa Mitjanía area (Escorca).

The most impressive karrenfields are located in Serra de Tramuntana mountains, on the NW slope of the northern sector and always at moderate heights.

1979; GINÉS & GINÉS, 1989). També s'han iniciat estudis morfomètrics de les tipologies més senzilles (BORDOY & GINÉS, 1990; GINÉS 1990a; GINÉS & GINÉS, 1991) (Figura 2). Per altra banda, s'ha progressat molt en la clarificació de la terminologia i en la descripció de les classes de lapiaz més freqüents a Mallorca i Cabrera (BÄR *et al.*, 1986; GINÉS, 1990a, 1993).

Els camps de lapiaz de la Serra de Tramuntana

En determinades condicions topogràfiques les morfologies de lapiaz poden ocupar grans extensions de roca calcària desprovista de sòl, que es coneixen com *camp de lapiaz* (*karrenfeld*). Aquests conjunts es converteixen així en importants macroformes exocàrstiques d'absorció, que arriben a abraçar varis quilòmetres quadrats de superfície. Si l'evolució dels camps de lapiaz es produeix al llarg de molt de temps, el progrés de la dissolució genera terrenys pràcticament intransitables, interromputs per crestes afilades i per espectaculars piràmides de roca que recorden certes morfologies del carst tropical (MENSCHING, 1955; BÖGLI, 1976). Aquesta enèrgica i complicada topografia, que també inclou dolines al seu interior, ha estat cartografiada per GINÉS (1990b) al sector de sa Mitjania (Escorca).

Els camps de lapiaz més impressionants es localitzen a la Serra de Tramuntana, al vessant NW del sector septentrional i sempre a altituds moderades. Entre 200 i 600 metres s.n.m., destaquen els de Bàlitz, s'Esquetjar de Moncaire, sa Mitjania, sa Calobra - Es Castellots, Turixant, Cocó de sa Murtera - Torre de Lluc, es Pixarells, Menut, Coma de les Truges, Mortitx i el Rellar de Son Marc (localitats situades als termes



Foto 4: Perforacions i concavitats irregulars, generades parcialment sota coberta edàfica, en les calcarenites del Miocè superior de la costa de Cala Varques (Manacor).

Photo 4: Irregular borings and pits, partially formed under the soil, on Upper Miocene calcarenites from the coast of Cala Varques (Manacor).



Foto 3: Disposició típica "en espina de peix" de les estries de lapiaz (*rillenkarren*), desenvolupades entre canals (*rinnenkarren*) a l'interior dels quals s'han format alguns escalons (*trittkarren*). Aquests conjunts de formes són molt freqüents en el sector central de la Serra de Tramuntana.

Photo 3: Characteristic "herringbone" pattern of *rillenkarren*, developed between *rinnenkarren* that show several *trittkarren* features. These assemblages are very frequent in the central area of Serra de Tramuntana.

Between 200 and 600 meters a.s.l. the most notable are the karrenfields of Bàlitz, S'Esquetjar de Moncaire, Sa Mitjania, Sa Calobra - Es Castellots, Turixant, Cocó de sa Murtera - Torre de Lluc, Es Pixarells, Menut, Coma de les Truges, Mortitx and El Rellar de Son Marc (all located in the districts of Fornalutx, Escorca and Pollença). Above 900 meters a.s.l. the main karrenfields are situated in Massís del Massanella and Puig Major summits (Escorca). In the periphery of the Serra, within a more xeric bioclimatic context, the best karrenfields are those in the coastal mountains of Pollença.

The distribution of the karren features all through the topographical gradients of Serra de Tramuntana, between 0 and 1,400 meters a.s.l., reveals a certain altitudinal zonation which has been documented in: GINÉS *et al.* (1979), GINÉS & GINÉS (1989), GINÉS (1990a), and GINÉS & GINÉS (1991).

At the mountain range ends, between 0 and 200 meters a.s.l., etched surfaces and rainpits are

municipals de Fornalutx, Escorca i Pollença). Per damunt de 900 metres d'altitud els principals camps de lapiaz es troben al massís del Massanella i al Puig Major (Escorca). A la perifèria de la Serra, en un context bioclimàtic més xèric, els millors camps de lapiaz corresponen a les muntanyes costaneres de Pollença.

La distribució de les morfologies de lapiaz al llarg dels gradients topogràfics de la Serra de Tramuntana, entre 0 i 1400 metres s.n.m., posa de manifest una clara zonació altitudinal que ha estat documentada a GINÉS *et al.* (1979), GINÉS & GINÉS (1989), GINÉS (1990a) i GINÉS & GINÉS (1991).

Als extrems de la serralada, entre 0 i 200 metres d'altitud predominen els pouets (*rainpits*) i les superfícies aspres, mentre que les estries de lapiaz (*rillenkarren*) són rares. Entre 200 i 700 metres abunden les piràmides de lapiaz (*spitzkarren*), els vessants de les quals estan esculpits per canals amb escalons (*rinnenkarren* i *trittkarren*) i per nombroses estries verticals fines (*rillenkarren*). A partir dels 800 m s.n.m. les estries de lapiaz es van extingint per esser substituïdes per canaletes (*decantation flutes*) més amples i sinuoses, al mateix temps que predominen el lapiaz de diàclasi (*kluftkarren*) i les superfícies llises amb ondulacions que semblen *ripples*. Segons GINÉS (1990), la zonació del lapiaz és conseqüència de la geografia de la serralada: relativament simètrica en direcció SW-NE i amb gradients tèrmics i pluviomètrics que quasi se superposen a les corbes de nivell.

Les dolines

Les *dolines* són fenòmens càrstics freqüents a alguns sectors septentrionals de la Serra de Tramuntana, encara que participen molt menys que els camps de lapiaz en la configuració del paisatge. A la resta de Mallorca la seva presència és tan sols ocasional, o fins i tot rara (GINÉS & GINÉS, 1989). Bàsicament es tracta de depressions o clotades de varis metres de diàmetre com a mínim.

Les principals agrupacions de dolines es localitzen a les àrees intensament carstificades del terme municipal d'Escorca (GINÉS *et al.*, 1989). Destaquen, entre les dolines més representatives, les de la Muntanya de Moncaire, les de Bini Petit, es Clots Carbons, sa Mitjanja, les dolines des Castellots (ses Parades i es Clots Balladors), el conjunt de la Terra de ses Olles (a les immediacions de Lluc) i les dolines de Femenia i Mortitx. Les altituds en què es troben ubicades, juntament amb els impressionants camps de lapiaz que les rodegen, estan compreses preferentment entre 300 i 600 metres s.n.m.

Tal vegada com a conseqüència de l'homogeneïtat del seu entorn climàtic i topogràfic, aquestes depressions càrstiques mostren unes característiques geomorfològiques bastant semblants (GINÉS & GINÉS, 1989; GINÉS, 1990b). Són dolines de fons

predominant, whereas the rillenkarren features are scarce. Between 200 and 700 meters a.s.l. great spitzkarren, whose slopes are modelled by rinnenkarren and trittkarren as well as by plenty of thin vertical rillenkarren, are abundant. From 800 meters a.s.l. up the rillenkarren are replaced by wider and meandering decantation flutes; at the same time that kluftkarren and some characteristic smooth surfaces with undulations resembling ripples become predominant. According to GINÉS (1990), the karren zonation is caused by the geography of the mountain range: relatively symmetrical in SW-NE direction and with thermic and pluviometrical gradients that are nearly overlapped to the contour lines.

The dolines

Dolines are common karstic phenomena in a few northern zones of Serra de Tramuntana, although they are less prominent in the landscape settings than karrenfields are. In the rest of Mallorca their presence is occasional or even rare (GINÉS & GINÉS, 1989). Basically, they are surface depressions or hollows of at least several meters in diameter.

*Main dolines assemblages are located in those intensively karstified areas from Escorca district (GINÉS *et al.*, 1989). Among the most representative dolines the following are remarkable: those from Muntanya de Moncaire, Bini Petit ones, Es Clots Carbons, the dolines of Sa Mitjanja, those of Es Castellots (Ses Parades and Es Clots Balladors), the Terra de ses Olles assemblage (nearby Lluc) and the ones of Femenia and Mortitx. The altitudes at which they occur, together with the karrenfields surrounding them, cover from 300 to 600 meters a.s.l.*

*Perhaps due to the homogeneity of their climatic and topographical environment, such karstic depressions show rather similar geomorphological characteristics (GINÉS & GINÉS, 1989; GINÉS, 1990b). These dolines present a rather flat floor although many swallets can be found in the deepest places. They show a typical bowl-like shape whose rocky edges slope between 5° and 30°; their bottom is occupied by a silty soil where an interesting plant community, dominated by heather (**Erica arborea**), may become established (GINÉS *et al.*, 1989). They are medium sized depressions characterized by oval or subcircular perimeter that can cover areas from 2,000 to 15,000 square meters, thus corresponding to major axis lengths between 20 and 150 meters (Photo 5).*

In the Pollença mountains dolines are very irregular in size, morphology and altitudinal distribution. Vegetation also indicates a more arid climatic context, as can be seen in the doline assemblages of La Malé and Coves Blanques. Apparently, they are young formations, barely

pla, poc profundes, però amb nombrosos engolidors a les zones més deprimides. Tenen típica forma de ribell, amb voreres rocoses inclinades entre 5° i 30°, el fons de les quals està ocupat per un sòl llimós on s'estableix una interessant comunitat vegetal dominada pel bruc (GINÉS *et al.*, 1989). Són depressions de mida mitjana, caracteritzades pels seus contorns ovalats o subcirculars, que poden abraçar superfícies compreses entre 2.000 i 15.000 m², que corresponen a longituds d'eix major que van des de 20 fins a 150 m (Foto 5).

A les muntanyes de Pollença les dolines són més irregulars quant a mida, morfologia i distribució altimètrica. La vegetació també denota un context bioclimàtic més àrid, com s'aprecia als grups de dolines de la Malè i de Coves Blanques. Aparentment es tracta de formes joves, poc evolucionades, que estan experimentant en l'actualitat intensos processos de pèrdua de sòl.

Per damunt dels 600 metres d'altitud les dolines escassegen i només tornen a reaparèixer a les cotes altes dels principals cims de l'illa. Ses Clotades del Puig Major i les microdolines de la Serra de sa Ratea i del massís del Massanella constitueixen els millors exemples d'aquestes depressions càrstiques de muntanya. Són dolines poc profundes, que només excepcionalment superen els 20 metres de diàmetre i el fons de les quals sol ésser pla i pedregós. Una interessant excepció es pot observar prop del cim del Puig des Teix, on es localitza una dolina de grans dimensions.

A diferència del que succeeix al sector septentrional de la Serra de Tramuntana, les dolines són morfologies càrstiques bastant rares i infreqüents a la resta de l'illa. A les muntanyes del nord d'Artà, s'hi troben algunes dolines de mida mitjana, així com a l'extensa plataforma de calcarenites del Miocè, en la qual cal esmentar l'interessant dolina on s'obre la Cova des Xots (a Can Frasquet, Manacor).

Les grans depressions càrstiques

L'escassa bibliografia disponible sobre la geomorfologia de la Serra de Tramuntana inclou informacions molt confuses en relació a la presència de *poljes* a la principal serralada mallorquina. Segons MENSCHING (1955) les àmplies formes còncaves, sobretot *poljes*, són els fenòmens càrstics predominants a la Serra. Altres cites ocasionals mencionen diverses localitats concretes, qualificant-les de *poljes*, però sense aportar majors precisions sobre la seva mida i morfologia. Pel contrari, BÄR *et al.* (1986), i GINÉS & GINÉS (1989, 1991) eviten d'utilitzar aquest terme i s'hi refereixen com *karstbecken* (conques càrstiques) i *grans depressions càrstiques* respectivament.

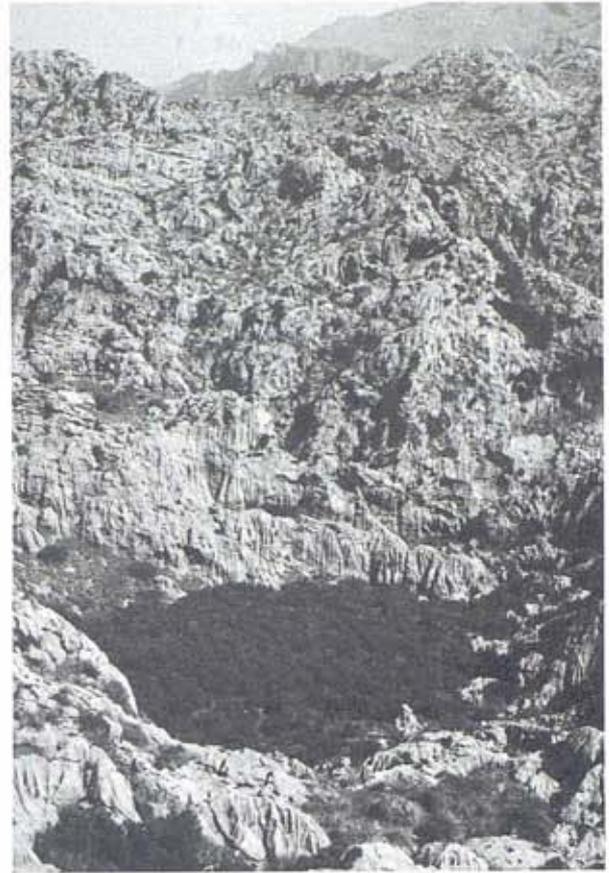


Foto 5: Dolina coneguda com el Clot de l'Infern, en el costat des Castellots que limita amb el Torrent de Pareis. La seva morfologia, dimensions i vegetació són representatives de les dolines d'altitud intermitja de la Serra de Tramuntana (entre 250 i 700 metres s.n.m.).

Photo 5: Doline known as Clot de l'Infern, located in the Es Castellots slope bordering Torrent de Pareis canyon. Its morphology, size and vegetation are representative of those middle altitude dolines of Serra de Tramuntana (between 250 and 700 meters a.s.l.).

evolved, which are at present undergoing intense soil loss processes.

Above an altitude of 600 meters dolines are scarce and only reappear at extreme heights in the main Majorcan peaks. Ses Clotades del Puig Major and the microdolines of Serra de sa Ratea and Massís del Massanella constitute the best examples of such mountain karstic depressions. They are shallow dolines that only exceptionally exceed 20 meters in diameter and whose bottom tends to be flat and cobbly. An interesting exception to them can be observed besides the Puig des Teix where a high dimension doline is situated.

In contrast to the frequent occurrence on the northern sector of Serra de Tramuntana, dolines are rather rare over the remainder of the island. In the mountains from the northern area of Artà district there are a number of medium-sized dolines, as in the extensive platform of calcarenites from the Upper

Atenent a les investigacions més recents, cap de les grans depressions càrstiques de la muntanya mallorquina es pot considerar rigorosament un polje. GINÉS & GINÉS (1989) afirmen que les grans depressions càrstiques estan ben representades al sector septentrional de la Serra, entre la vall de Sóller i la península de Formentor. Les seves dimensions rarament superen el quilòmetre i mig de longitud màxima, mentre que la seva morfologia es mostra condicionada, en la majoria dels casos, per les directrius estructurals dominants a la serralada.

Foto 6:

Vista general de la Coma de Son Torrella (Escorca), a les rodalies del Puig Major. Es tracta d'una gran depressió càrstica completament tancada, en les voreres de la qual s'han explorat diversos avencs i coves.

Photo 6:

Panoramic view of Coma de Son Torrella (Escorca) nearby the Puig Major. It is a karstic depression, entirely closed, in which edges several caves and shafts have been explored.



Entre les depressions càrstiques més destacables cal citar la Coma de Son Torrella (Escorca), que està connectada hidrològicament amb la Font des Verger, i en la qual el seu fons pla, que amida 1.500 m de llarg per 250 m d'ample (Foto 6), apareix encaixat entre voreres escarpades que contenen profundes cavitats (GINÉS & GINÉS, 1991). Altres depressions càrstiques formen àmplies zones planes, no excessivament deprimides, en el fons de les quals s'ubiquen grans avencs i engolidors impenetrables. Aquest és el cas del Pla de les Basses (Pollença) i la Coma de Mortix (Escorca), descrites respectivament per DARDER (1930) i GINÉS & GINÉS (1972). Fora de la Serra de Tramuntana cal mencionar la depressió càrstica de ses Comes de Son Granada (Llucmajor), descrita per ROSSELLÓ-VERGER (1964) en el seu treball monogràfic sobre les comarques meridionals de Mallorca.

També algunes valls espaioses, actualment capturades per la profundització del jaç d'importants torrents, podrien estar relacionades genèticament amb antigues depressions càrstiques similars als poljes. Endemés de les valls altes de Cúber i Almallutx (Escorca), els principals exemples d'aquestes depressions càrstiques obertes són la Vall d'en Marc (Pollença), el Clot d'Almadrà (Alaró), la Vall d'Orient (Bunyola) i el Clot d'Albarca (Escorca). Una interpretació morfogenètica del Clot d'Albarca (Foto 7) i de les morfologies càrstiques del seu entorn es pot consultar a les recents publicacions de BÄR *et al.* (1986) i GINÉS & GINÉS (1991).

Miocene; a notable example being the interesting doline where the Cova des Xots entrance is located (in Can Frasquet, Manacor).

The great karstic depressions

The scarce available bibliography on the geomorphology of Serra de Tramuntana includes conflicting references in relation to the presence of poljes along the main Majorcan range. According to

MENSCHING (1955) the wide concave forms, mainly poljes, are the predominant karstic phenomena in the Serra. Other sporadic reports mention poljes in diverse specific localities but without any precise information concerning size or morphology. However, BÄR *et al.* (1986) and GINÉS & GINÉS (1989, 1991) avoid using such term and denominate them as karstbecken and large karstic depressions respectively.

According to the most recent researches, none of the large karstic depressions of the Majorcan mountains can be rigorously considered as a polje. GINÉS & GINÉS (1989) state that large karstic depressions are well-represented on the northern sector of the Serra, between the Sóller valley and the Formentor peninsula. Their dimensions rarely exceed one kilometer and a half in maximum length while their morphology is, in most cases, conditioned by the structural directions which are dominant in the mountain range.

Among the most remarkable karstic depressions it should be mentioned the Coma de Son Torrella valley (Escorca), hydrologically connected to the Font des Verger spring, and whose plain bottom, 1,500 m long by 250 m wide (Photo 6), appears fitted between steep slopes containing deep cavities (GINÉS & GINÉS, 1991). Other karstic depressions cover extensive flat floored areas, usually not excessively deep, at the bottom of which huge shafts and impassable swallow holes have been hollowed out. This occurs in Pla de les Basses (Pollença) and



Foto 7:

Vista general del Clot d'Albarca (Escorca). Aquesta gran depressió càrstica està travessada actualment pel Torrent de Lluc, però conserva encara trets morfològics semblants als dels poljes.

Photo 7:

Panoramic view of Clot d'Albarca (Escorca). This great karstic depression, crossed nowadays by Torrent de Lluc stream, retains still morphological characters similar to the poljes ones.

Els engolidors i els avencs i dolines d'esfondrament

Són freqüents, en el fons de les dolines de muntanya, engolidors que focalitzen l'absorció de l'aigua col·lectada per aquestes depressions. No obstant, a les dolines mallorquines són rars els engolidors que connecten amb cavitats penetrables d'una certa envergadura. El cas més espectacular el constitueix l'Avenc de sa Mitjania, que actua com a engolidor d'una important dolina (GINÉS, 1990b). També la gran dolina del Pla de les Basses, a Formentor, presenta varis avencs de dimensions remarcables.

Les cavitats de la Coma de Son Torrella probablement funcionaren en altre temps com a engolidors actius, abans que es produís la sobreexcavació d'aquesta gran depressió càrstica. Més evident és l'emplaçament actual de l'Avenc de s'Aigo, situat a la zona més deprimida de l'àmplia Coma de Mortitx, fet que li permet de recollir l'aigua canalitzada pel petit torrentó que drena aquesta conca càrstica.

Endemés de l'Avenc d'en Corbera (Esporles), ubicat al fons d'una torrentera, l'Avenc des Gel (Escorca) és un excel·lent exemple d'engolidor que s'obre al llit d'un torrent de muntanya, als plujosos estrets nord-occidentals del Puig de Massanella.

Mentre que els engolidors estan més ben representats a la complexa topografia dels carsts de muntanya, els avencs i dolines d'esfondrament són fenòmens càrstics de distribució geogràfica més general a tota l'illa. L'Avenc de Son Pou (Santa Maria del Camí) és tal vegada l'exemple més destacat d'avenc d'esfondrament, mentre que l'entrada de l'Avenc des Llorer (Escorca) pot ésser qualificada de dolina d'esfondrament.

Així mateix, morfologies d'enfonsament molt notables es localitzen al carst costaner del Migjorn. Entre elles, la Cova des Serral i la Cova de sa Gleda (ambdues a Manacor) recorden les característiques típiques dels cenotes del Carib. De fet, ambdues ca-

Coma de Mortitx (Escorca), described by DARDER (1930) and GINÉS & GINÉS (1972) respectively. Apart from Serra de Tramuntana, the karstic depression of Ses Comes de Son Granada (Llucmajor) should be mentioned, first described by ROSSELLÓ-VERGER (1964) in his monographic work about the southern regions of Mallorca.

Moreover, some wide valleys, now captured by the downcutting of important stream beds, could be genetically related to karstic depressions similar to the poljes. In addition to the high valleys of Cúber and Almallutx (Escorca), the main examples of such opened karstic depressions are Vall d'en Marc (Pollença), Clot d'Almadrà (Alaró), Vall d'Orient (Bunyola) and Clot d'Albarca (Escorca). A morphogenetical interpretation of Clot d'Albarca (Photo 7) and its surrounding karstic features can be found in the recent publications by BÅR et al. (1986) and GINÉS & GINÉS (1991).

Swallow holes and collapse shafts and dolines

At the bottom of the mountain dolines there are frequent swallow holes that funnel the water collected by the depressions. However, in the Majorcan dolines, the swallets that connect with quite huge passable cavities are scarce. The most spectacular one is Avenc de sa Mitjania that acts as swallow hole of an important doline (GINÉS, 1990b). The great doline of Pla de les Basses, in Formentor, presents also some shafts of remarkable dimensions.

The cavities of Coma de Son Torrella probably functioned in the past as active swallets, before the over-deepening of this great karstic depression took place. The present setting of Avenc de s'Aigo is even more obvious, being placed in the lowest zone of the extensive Coma de Mortitx, what allows the collecting

vitats eren autèntics *cenotes* durant les etapes interglacials en què el nivell freàtic inundava la major part de la caverna.

Els canyons càrstics

Encara que els estrets i profunds canyons que solquen els sectors central i septentrional de la Serra de Tramuntana són morfologies fonamentalment fluvio-torrencials, constitueixen sens dubte un dels trets més típics de l'agrest paisatge calcari de la serralada (GINÉS *et al.*, 1979). L'acció abrasiva de l'aigua sobre la roca calcària i els processos de dissolució càrstica hi han actuat a favor de grans fractures d'origen tectònic formant angosts canyons, de llit abrupte i difícil accés.

El Torrent des Gorg Blau, amb el tram conegut com sa Fosca, i el Torrent de Pareis (ambdós a Escorca) són els exemples més espectaculars d'aquestes estructures fluvio-càrstiques, el trajecte rectilini de les quals denota un fort control estructural. Les parets verticals del Torrent de Pareis superen els 200 metres d'altària i el seu recorregut, que finalitza a la desembocadura de sa Calobra, totalitza més de 3 quilòmetres de longitud. Altres canyons càrstics destacables són el Torrent Fondo de Mortitx (Escorca), el Torrent de na Mora (Fornalutx), el Torrent de Coanegra (Santa Maria del Camí) i el Torrent des Guix (Selva). També són freqüents els trams, pertanyents a aparells torrencials més extensos, que formen congosts en travessar afloraments calcaris, com succeeix amb l'Estret de Ternelles (Pollença) i l'Estret de Valldemossa.

La presència de canyons càrstics poc profunds, que solquen la costa tabular miocènica de la comarca de Migjorn, i la seva relació amb la formació de cales i el desenvolupament de coves encara no ha estat estudiada amb el suficient deteniment. No obstant, l'obra de ROSSELLÓ-VERGER (1964) dedicada al sud i sud-est de Mallorca conté abundants dades descriptives.

Conclusions: caracterització de l'exocarst a Mallorca

Les morfologies exocàrstiques de Mallorca s'inscriuen en un context bioclimàtic i geomorfològic típicament mediterrani. Com que el rang d'altituds de l'illa comprèn des de 0 fins a 1.400 metres s.n.m., essent la major part de la seva superfície calcària, només els alts cims (per damunt dels 800 m) s'han vist afectats per climes freds durant les glaciacions i presenten formes típiques de carst de muntanya. Importants processos de deforestació i de pèrdua de sòl es perceben clarament als camps de lapiaz de la Serra de Tramuntana, ja que les microformes de lapiaz

of water channelized by the small stream bed which drains that karstic basin.

Both *Avenç d'en Corbera (Esporles)*, situated at the bottom of a creek, and *Avenç des Gel (Escorca)*, located on the northwestern side of Puig de Massanella, are excellent examples of swallow holes that open themselves in the bed of mountain streams.

While the swallow holes are better represented in the complex topography of the mountain karsts, collapse shafts and dolines are karstic phenomena more widespread throughout the island. Maybe, *Avenç de Son Pou (Santa Maria del Camí)* is the most remarkable example of a collapse shaft in Mallorca, whereas the entrance of *Avenç des Llorer (Escorca)* could be mentioned as a collapse doline.

Likewise, very notable collapse cave entrances are located on the coastal karst of Migjorn. Among them, *Cova des Serral* and *Cova de sa Gleda* (both in Manacor) resemble the typical characteristics of the Caribbean *cenotes*. In fact, both cavities were authentic *cenotes* during the interglacial periods, when the phreatic level drowned most of the cavern.

The karstic canyons

Although the narrow and deep canyons furrowing the central and northern sector of Serra de Tramuntana are mainly fluvial-torrential features, they constitute undoubtedly one of the most typical aspects of the wild limestone landscape of this mountain range (GINÉS *et al.*, 1979). The abrasive action of water on limestone, together with the karstic dissolution processes, have acted upon large fractures of tectonic origin giving shape to gorges characterized by steep stream beds and difficult access.

Torrent des Gorg Blau, comprising the stretch known as *Sa Fosca*, and *Torrent de Pareis* (both in Escorca) happen to be the most spectacular examples of these fluvio-karstic structures, whose lineal way indicates a strong structural control. The vertical walls of *Torrent de Pareis* surpass 200 m in height and its path, ending in *Sa Calobra* outlet, is longer than 3 kilometers. Other outstanding karstic canyons are *Torrent Fondo de Mortitx (Escorca)*, *Torrent de na Mora (Fornalutx)*, *Torrent de Coanegra (Santa Maria del Camí)* and *Torrent des Guix (Selva)*. There are also frequent stretches, belonging to more extensive rushing streams, that form gorges when crossing over limestone outcrops, as it occurs with *Estret de Ternelles (Pollença)* and *Estret de Valldemossa*.

The presence of relatively shallow karstic canyons that furrow the tabular Miocene coast of Migjorn region, and their relation to the coves formation as well as to the main cave-development horizons, has not been yet studied thoroughly enough. Nevertheless, the book by ROSSELLÓ-

d'escorrentia es desenvolupen, com a norma general, sobre criptolapiaz prèviament format sota coberta edàfica.

VERGER (1964) about the South and Southeast of Mallorca contains plenty of descriptive data on the subject.

Conclusions: characterization of exokarst in Mallorca

The Majorcan exokarstic landforms are included in a typically Mediterranean bioclimatic and geomorphological context. In Mallorca, as the altitude range only covers from 0 to 1,400 m a.s.l., and being limestone most of its terrains, just the higher summits (those above 800 m) which were affected by cold climate during the glaciations period present today typical mountain karst features. Important deforestation processes and soil loss are certainly present in the karrenfields of Serra de Tramuntana, as the runoff-karren microforms are developed, in most cases, on subcutaneous karren features previously formed under soil covering.

Bibliografia / References

- BÄR, W.F.; FUCHS, F. & NAGEL, G. (1986): Lluc / Sierra Norte (Mallorca). Karst einer Mediterranen Insel mit Alpidischer Struktur. *Zeitschrift für Geomorphologie*. N.F., suppl. 59 : 27-48. Berlin.
- BÖGLI, A. (1976): Die wichtigsten Karrenformen der Kalkalpen. In: GAMS, I. (Ed.): *Karst processes and relevant landforms*. International Speleological Union, Symposium on karst denudation, 141-149. Ljubljana.
- BORDOY, M. & GINÉS, A. (1990): Observaciones morfométricas sobre la profundidad de estrias de lapiaz (Rillenkarren) en Mallorca. *Endins*. 16 : 21-25. Palma de Mallorca.
- DARDER, B. (1930): Algunos fenómenos cársticos en la isla de Mallorca. *Ibérica*. 32 (818) : 154-156. Barcelona.
- FALLOT, P. (1922): *Étude géologique de la Sierra de Majorque*. Impr. Béranger. 480 pàgs. París.
- FIOL, L.A.; FORNÓS, J.J. & GINÉS, A. (1992): El Rillenkarren: un tipus particular de Biocarst? Primeres dades. *Endins*. 17-18 : 43-49. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. (1990): Utilización de las morfologías de lapiaz como geoindicadores ecológicos en la Serra de Tramuntana (Mallorca). *Endins*. 16 : 27-39. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. (1993): Morfologies exocàrstiques. In: ALCOVER, J.A.; BALLESTEROS, E. & FORNÓS, J.J. (Eds.): *Història Natural de l'arxipèlag de Cabrera*. C.S.I.C. - Editorial Moll. 153-160. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1972): Algunas observaciones sobre los fenómenos cársticos de sa Coma de Mortitx (Mallorca). *Geo y Bio Karst*. 32 : 22-24. Barcelona.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1991): Morfologies cárstiques. In: GRIMALT, M. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. (Eds.): *Libro-guía de las excursiones de las VII Jornadas de campo de Geografía Física*. U.I.B. 109-114, 119-132, 139-142. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A.; GINÉS, J.; POMAR, L. & SALVÀ, P.A. (1979): *La Serra de Tramuntana*. VI Coloquio de Geografía. Excursión 1, 38 pàgs. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A.; FIOL, L.A.; POL, A. & ROSSELLÓ, J.A. (1989): Morfologia i vegetació d'un grup de dolines de la Serra de Tramuntana (Mallorca). *Endins*. 14-15 : 43-52. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. (1990): El modelat cárstic de sa Mitjania (Escorca, Mallorca). *Endins*. 16 : 17-20. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1989): El karst en las Islas Baleares. In: DURÁN, J.J. & LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. (Eds.): *El karst en España*. S.E.G. Monografía 4. 163-174. Madrid.
- LOZANO, R. (1884): *Anotaciones físicas y geológicas de la Isla de Mallorca*. Diputación Prov. Baleares. Casa de Misericordia. 68 pàgs. Palma de Mallorca.
- MARTEL, E.A. (1903): Les cavernes de Majorque. *Spelunca. Bull. et Mém. de la Société de Spéléologie*. 5 (32) : 1-32. París.
- MENSCHING, H. (1955): Karst und Terra Rossa auf Mallorca. *Erdkunde*. 9: 188-196. Bonn.
- ROSSELLÓ-VERGER, V.M. (1964): *Mallorca. El Sur y Sureste*. Càmara Oficial de Comercio, Indústria y Navegación. Gráficas Miramar. 553 pàgs. Palma de Mallorca.
- WINKLER, A. (1926): Morphologisch-Geologische Beobachtungen auf Mallorca. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 2 : 171-183. Leipzig.

L'ENDOCARST DE MALLORCA: ELS MECANISMES ESPELEOGENÈTICS

MALLORCA'S ENDOKARST: THE SPELEOGENETIC MECHANISMS

Joaquín GINÉS ^{1 2}

Resum

En aquest treball s'exposen diverses consideracions entorn de l'endocarst de Mallorca i dels processos espeleogenètics que l'han configurat. Es proposa una sistematització dels fenòmens subterranis de l'illa basada en el context hidrogeològic en el qual s'han generat les cavitats objecte d'estudi, tot aportant dades sobre la distribució espacial de les distintes categories de coves i avencs. En aquest sentit, s'ha de destacar la gran abundància —particularment a la Serra de Tramuntana— de cavitats verticals originades a la zona vadosa, així com la importància de la carstificació litoral de l'àrea geogràfica del Migjorn, relacionada amb processos geoquímics de mescla freàtica d'aigües continentals i marines; al contrari, les coves excavades en règim freàtic no litoral són escasses en el conjunt de l'illa. Pel que fa a les dimensions del milenar de formes endocàrstiques conegudes, aquestes poden ésser qualificades de modestes: tan sols unes quantes coves superen el quilòmetre de desenvolupament horitzontal, i la profunditat màxima que assoleixen les cavitats supera de molt poc els 300 metres de desnivell.

Abstract

Several considerations are disclosed in this paper with regard to Mallorca's endokarst and the speleogenetic processes that have formed it. A systematization of the underground phenomena of the island is proposed on the basis of the hydrogeological context in which the cavities object of this study have been generated, bringing forward data on the geographical distribution of the different categories of caves and shafts. In this sense, the great abundance —particularly in Serra de Tramuntana mountain range— of vertical cavities originated in the vadose zone must be pointed out, as well as the importance of littoral karstification —mainly in the flat area of Migjorn— related to geochemical processes of phreatic mixing between continental and marine waters; on the contrary, the caves excavated in non littoral but phreatic conditions are scarce on the whole of the island. With regard to the dimensions of more than a thousand of known endokarstic features, these can be qualified as modest: only a few caves surpass a kilometre of horizontal development, and the maximum depth that the cavities attain excels in very little 300 metres.

Introducció

La bibliografia centrada en la descripció morfològica de l'endocarst en el nostre àmbit geogràfic és molt extensa, i no és objectiu d'aquestes planes fer-ne ara una revisió. Per contra, no són massa nombrosos els treballs que facin referència als mecanis-

Introduction

The bibliography devoted to the morphological description of endokarst in our geographical ambit is very extense, and it is not the aim of this paper to go through it. However, there are not many works that refer to speleogenetic mechanisms responsible for the formation of caves in Mallorca, a subject which we intend to approach in this section. The oldest publications that deal with this issue go back to the end of the XIX century (LOZANO, 1884; GAY &

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.

mes espeleogenètics responsables de la formació de les coves de Mallorca, temàtica a la qual pretenem apropar-nos en aquesta nota. Les publicacions més antigues que tracten la qüestió es remunten a finals del segle XIX (LOZANO, 1884; GAY & CHAMPSAUR, 1885), i estan impregnades de certes dosis del catastrofisme encara imperant en bona part de la literatura geològica del moment.

D'aquella època mereix una menció especial l'obra de MARTEL (1896) qui, amb molt poc encert, va atribuir la gènesi de les Coves del Drac a l'acció erosiva estrictament mecànica produïda per les aigües marines. Aquest fet propiciarà que, com a reacció contra aqueixes idees, gairebé tota la bibliografia posterior sobre la matèria —publicada sobretot durant la primera meitat del present segle— es dediqui a suggerir diverses modalitats d'excavació de les coves properes a Portocristo per mitjà de l'actuació de les aigües subterrànies continentals (MAHEU, 1912; DARDER, 1925; FAURA Y SANS, 1926; JOLY & DENIZOT, 1929).

Les aproximacions recents a la gènesi de les formes subterrànies del carst mallorquí són fins i tot més escasses. Esmentarem l'intent de sistematització espeleogenètica realitzat per ENCINAS *et al.* (1974), així com la classificació tipològica de les cavitats de l'illa proposada per GINÉS & GINÉS (1974; 1987) la qual té connotacions genètiques que poden resultar d'interès.

Per finalitzar aquesta breu introducció històrica, ens hem de referir a la recent publicació d'un model espeleogenètic i evolutiu que intenta explicar les peculiaritats de la carstificació del Migjorn de Mallorca (GINÉS & GINÉS, 1992). Aquest model obviament no contempla la gènesi marina suggerida per a les Coves del Drac a finals del segle passat, sinó que emfasitza tant l'actiu paper geoquímic de la zona freàtica de mescla entre aigües continentals i marines, com les particularitats evolutives de l'endocarst litoral.

En aquestes pàgines es procurarà aportar informacions vàlides, encara que bastant generals, sobre les característiques i l'origen de les nombroses cavitats subterrànies de Mallorca. Cal consignar que no s'intentarà fer una sistematització tipològica detallada de les coves i els avencs de l'illa, la qual per força hauria de considerar aspectes morfològics que no són l'objecte principal d'atenció del present treball. Només es pretén exposar un esquema que, amb simplicitat i coherència, expliqui quins són els processos responsables de la formació de les cavitats, tan abundants en el nostre variat carst insular. Per a més precisions sobre qüestions morfològiques, espeleomètriques i geogràfiques de les coves mallorquines, el lector interessat pot consultar alguns treballs (GINÉS & GINÉS, 1987, 1989; TRIAS *et al.*, 1979) que s'ocupen detalladament de l'endocarst de la major de les Illes Balears.

CHAMPSAUR, 1885), and are impregnated by certain doses of catastrophism still prevailing in a good part of the geological literature of the epoch.

From that period, MARTEL's work (1896) deserves to be mentioned since he attributed, not very wisely, the genesis of Coves del Drac to strictly mechanic erosive action produced by sea waters. This fact will propitiate that, as a reaction against these ideas, practically all the later bibliography on this subject —published above all during the first half of the present century— keeps on making suggestions on several excavation modalities of the caves near Portocristo through the action of continental underground waters (MAHEU, 1912; DARDER, 1925; FAURA Y SANS, 1926; JOLY & DENIZOT, 1929).

Recent approaches to genesis of the subterranean morphologies of Majorcan karst are even more scarce. We will mention the attempt of speleogenetic systematization carried out by ENCINAS *et al.* (1974), as well as the typological classification of our cavities proposed by GINÉS & GINÉS (1974; 1987) which has genetic connotations that can be of some interest.

To end with this brief historical introduction, we have to refer to the recent publication of a speleogenetic and evolutionary model that tries to explain the peculiarities of endokarstification in the Migjorn area of Mallorca (GINÉS & GINÉS, 1992). This model obviously does not take into account marine genesis suggested for Coves del Drac at the end of the last century, but emphasizes both the active geochemical role of the phreatic mixing zone between continental and sea waters, as well as the evolutionary particularities of littoral endokarst.

In these pages we will try to bring forward some valid information, although set out in broad outlines, on the characteristics and the origin of the numerous underground cavities in Mallorca. It must be stated that we will not try to make a detailed typological systematization of caves and shafts in the island, which compulsively would have to consider morphological aspects that are not the main object of the present work. We are only endeavouring to expose a sketch, that with simplicity and coherence, will enable to explain which are the processes responsible for the formation of caves, so abundant in our varied insular karst. For further precisions on morphological, speleometrical and geographical issues of Majorcan caves, the interested reader may consult some publications (GINÉS & GINÉS, 1987, 1989; TRIAS *et al.*, 1979) that pay some special attention to endokarst in the biggest of the Balearic Islands.

Classificació espeleogenètica proposada

L'esbós d'una classificació espeleogenètica de les coves i avencs de Mallorca és una tasca no exempta d'algunes dificultats. Els problemes amb què ens hem trobat en realitzar aquesta labor són de diversos tipus, als quals farem referència tot seguit de manera abreujada.

Cal tenir present, d'una banda, que la gran majoria de la literatura dedicada a l'espeleogènesi, com a manifestació geomorfològica interna del procés de carstificació, s'ha centrat en el coneixement de la formació i evolució dels sistemes espeleològics: és a dir, de les grans cavernes —o conjunts de coves més modestes— integrades en una unitat de drenatge de les aigües subterrànies. Així, s'han formulat nombrosos models explicatius, més o menys afortunats i complexos, d'entre els quals destaca l'elaborat per FORD (1965) i complementat més tard per FORD & EWERS (1978). Aquests autors relacionen, de manera coherent, la disposició espacial i la morfologia dels sistemes espeleològics amb les variacions al llarg del temps de les condicions hidrogeològiques del sistema càrstic; les quals vénen al seu torn condicionades, entre altres factors, pel progressiu increment de la freqüència de fissures hidrològicament funcionals.

A Mallorca gairebé no es pot parlar d'autèntics sistemes subterranis penetrables per l'home. De fet són escasses les cavitats que tenen un desenvolupament superior al quilòmetre, i només quatre d'aquestes assoleixen més de 2.000 metres de recorregut horitzontal; així doncs, es pot afirmar que la majoria de les coves i avencs de l'illa són fenòmens hipogeus de magnituds realment modestes. Per aquests motius la significació espeleogenètica de bona part de les nostres cavitats és confusa, en tractar-se ja sigui de formes subterrànies de poca rellevància, o bé de manifestacions bastant fragmentàries d'antics sistemes espeleològics molt evolucionats en el temps.

A les dificultats ja esmentades, se n'hi afegixen altres no menys importants. D'una banda, qualsevol intent de classificació dels fenòmens naturals implica un notable esforç de simplificació, en haver d'encasellar elements complexos que poden participar de manera diversa dels trets definitoris de vèries de les categories establertes. D'altra banda, les darreres fases de l'evolució morfològica de les cavitats càrstiques porten inherent l'actuació d'una sèrie de mecanismes (esfondrament de voltes i parets, estalagmitització...) que tendeixen a homogeneïtzar l'aparença dels buits pre-existents, amb total independència dels processos espeleogenètics que els originaren. En el cas de Mallorca, són freqüents les coves en les quals la rellevància de les morfologies associades al despreniment de blocs rocósos —pro-

Proposed speleogenetic classification

The outline of a speleogenetic classification of caves and shafts in Mallorca is a task which presents some difficulties. The problems that we have encountered on carrying out this labour are of several kinds, to which we will refer briefly.

First of all, we must take into account that the vast majority of literature dedicated to speleogenesis, as an internal geomorphological manifestation of the karstification process, has centred on the knowledge of formation and evolution of the speleological systems: that is to say, of the big caverns —or assemblages of more modest caves— integrated in a drainage unit of underground waters. In this way, numerous explanatory models have been postulated, rather fortunate and complex, among which we can point out the one elaborated by FORD (1965) and later complemented by FORD & EWERS (1978). These authors relate coherently, the spatial disposition and the morphology of speleological systems to variations throughout time of hydrogeological conditions of the karstic system; which are in their turn conditioned, among other factors, by the progressive increase of the frequency of hydrologically functional pathways.

In Mallorca we can hardly speak about genuine subterranean systems penetrable by man. In fact, the caves that have a development of over a kilometre are scarce, and only four of these attain more than 2,000 metres of horizontal extension; therefore, it can be asserted that the majority of caves and shafts of the island are hypogeum phenomena of really modest magnitudes. For these reasons the speleogenetic significance of a good part of our cavities can be obscure, whether we deal with underground forms of little relevance or quite fragmentary manifestations of very ancient speleological systems greatly evolved throughout time.

Other important difficulties must be added to those already mentioned above. On one hand, any classificatory attempt of natural phenomena involves a notable simplification effort, on having to classify complex elements that can participate in different ways of distinctive features of several established categories. On the other hand, the last phases in the morphological evolution of karstic cavities carry inherent the action of a series of mechanisms (breakdown of ceilings and walls, speleothems deposition...) that tend to homogenize the aspect of the pre-existing voids, with absolute independence to speleogenetic processes that originated them. In the case of Mallorca, there are many caves which the relevance of morphologies associated to the breakdown of rocky blocks —product of mechanical readjustments of walls and ceilings of the cavity— manages to efface all the traces of former

ducte dels reajustaments mecànics de les parets i les voltes de la cavitat— arriba a esborrar tots els vestigis de fases evolutives precedents; aquest fet, junt amb l'exuberància que solen presentar els dipòsits estalagmítics en les coves mallorquines, no és gens favorable al coneixement espeleogenètic del nostre endocarst.

evolutionary phases. This fact, together with the exuberance that speleothems usually present in Majorcan caves, is not at all favourable to speleogenetic knowledge of our endokarst.

In order to establish the genetic classification of caves and shafts in our island, we have opted for the use of a criteria similar to the adopted more frequently

Context morfo-hidrogeològic <i>Morpho-hydrogeological frame</i>	Tipus de cavitats <i>Cavity types</i>	Calcàries mesozoiques plegades <i>Folded mesozoic limestones</i>		Calcarenites miocenes post-orogèniques <i>Post-orogénical miocene calcarenites</i>
		Serra de Tramuntana	Serres de Llevant	Migjorn
Avencs vadosos <i>Vadose shafts</i>	Avencs de dissolució vadosa <i>Vadose dissolution shafts</i>	●	○	
	Avencs d'origen mecànic <i>Mechanical shafts</i>	●	○	
Coves situades a la zona vadosa <i>Vadose-located caves</i>	Coves clàstiques <i>Breakdown caverns</i>	●	○	
	Coves estructurals <i>Structurally controlled caves</i>	●		
Coves freàtiques <i>Phreatic caves</i>	Galeries de drenatge <i>Drainage conduit-caves</i>	●		
	Coves laberíntiques <i>Network caves</i>	○	○	
Coves litorals <i>Littoral caves</i>	Coves de la zona de mescla costanera <i>Coastal mixing-zone caves</i>	○	○	●
	Coves càrstico-marines <i>Marine-karstic caves</i>	○	○	●

○ presència
presence ● abundància
abundance

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

Table I:
Speleogenetic classification of caves and shafts of the island. The relative abundance of different typologies is shown in the main karstic regions of Mallorca.

A l'hora d'establir la present classificació genètica de les coves i els avencs de l'illa, s'ha optat per la utilització d'un criteri semblant a l'adoptat més sovint en els manuals recents sobre geomorfologia càrstica (FORD & WILLIAMS, 1989; JENNINGS, 1985; SWEETING, 1972; WHITE, 1988). D'aquesta manera, s'han distingit quatre categories principals basades sobretot en el context hidrogeològic en el qual s'ha produït la gènesi de les cavitats observades. Les categories espeleogenètiques establertes, juntament amb els tipus de cavitats representats en cadascuna d'elles, apareixen recollits en la Taula I. Tot seguit ens ocuparem de glossar per separat el context morfo-hidrogeològic propi de les distintes classes proposades, així com de descriure les tipologies d'avencs o coves que les integren.

AVENCS VADOSOS

Dins aquesta categoria s'inclouran totes les cavitats verticals la formació inicial de les quals —i la seva evolució posterior— ha tingut lloc íntegrament dins la *zona vadosa* del carst (denominada també *zo-*

in recent handbooks on karstic geomorphology (FORD & WILLIAMS, 1989; JENNINGS, 1985; SWEETING, 1972; WHITE, 1988). In this way, four main categories have been distinguished above all based on the hydrogeological context in which the genesis of the observed cavities has been produced. The established speleogenetic categories, together with the types of cavities represented in each of them, are shown in Table I. We will now comment separately on the morpho-hydrogeological context characteristic of the different proposed categories, describing at the same time the typologies of shafts or caves that integrate them.

VADOSE SHAFTS

In this category we will include all the vertical cavities whose initial formation —and their subsequent evolution— has taken place in the karstic vadose zone (also called infiltration zone); that is to say, on the upper part of the limestone massif (Figure 1), which is presided by a fast vertical flowing of meteoric waters. In most of the cases, they are

na d'infiltració); és a dir, a la part superior del massís calcari (Figura 1), la qual es troba presidida per una ràpida circulació vertical de les aigües meteoriques. En la majoria dels casos, són avencs de dissolució que assoleixen amb relativa freqüència profunditats superiors al centenar de metres. En aquest primer gran grup es diferencien les següents tipologies:

dissolution shafts that attain depths of over a hundred metres with relative frequency. In this first group we can distinguish the following typologies:

Vadose dissolution shafts. *It deals, without doubt, with the most representative type of cavity in the island, particularly in Serra de Tramuntana mountain*

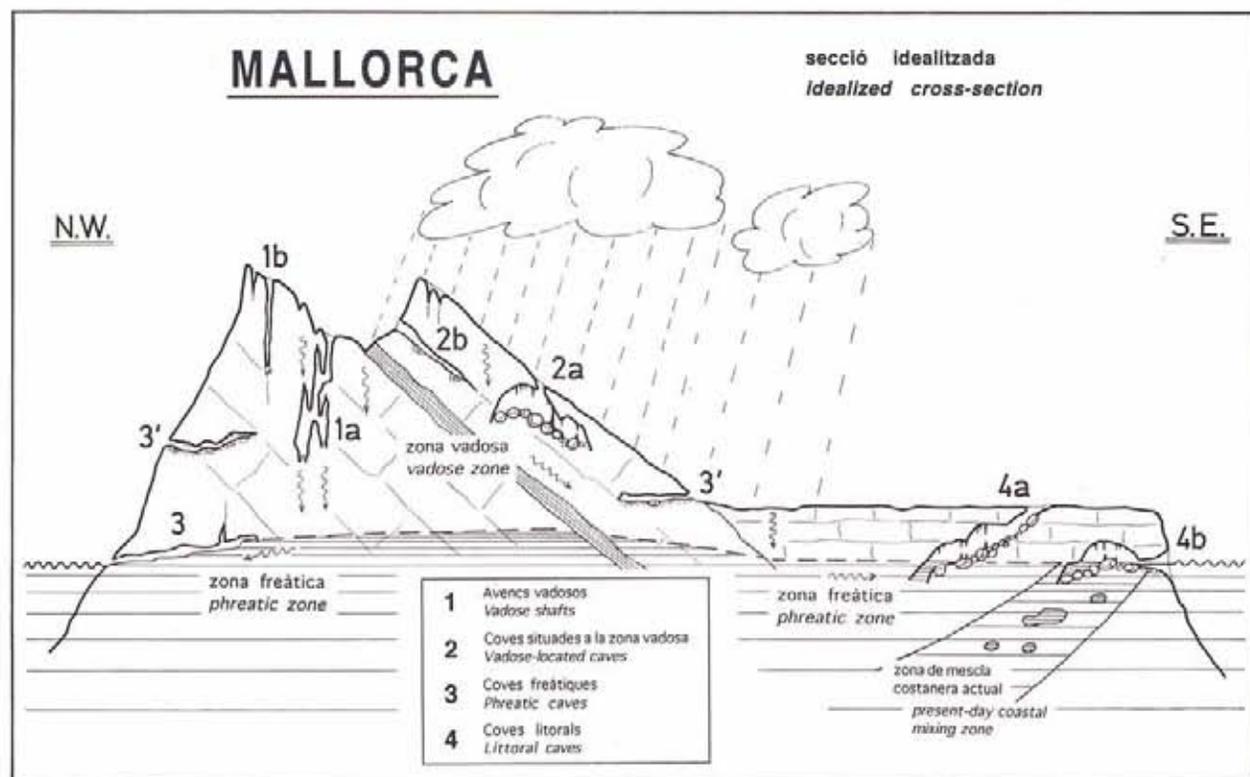


Figura 1: Representació esquemàtica dels tipus de cavitats presents a Mallorca, realitzada sobre un perfil ideal de l'illa. 1a: avenc de dissolució vadosa; 1b: avencs d'origen mecànic; 2a: cova clàstica; 2b: cova estructural; 3: cova freàtica, encara amb activitat hidrològica; 3': coves freàtiques antigues; 4a: cova de la zona de mescla costanera, morfològicament molt evolucionada; 4b: cova càrstico-marina.

Figure 1: Schematic representation of the cavity types present in Mallorca, outlined on an ideal cross-section of the island. 1a: vadose dissolution shaft; 1b: mechanical shafts; 2a: breakdown cavern; 2b: structurally controlled cave; 3: phreatic cave, still presenting hydrological activity; 3': ancient phreatic caves; 4a: coastal mixing-zone cave, morphologically very evolved; 4b: marine-karstic cave.

Avencs de dissolució vadosa. Es tracta, sense dubte, del tipus de cavitat més ben representat a l'illa, en particular a la Serra de Tramuntana. Inclou tot un variat conjunt d'avencs generats per dissolució a la zona vadosa, com a resultat del drenatge en profunditat de les precipitacions. En aquest context ens trobam des de petits avencs de lapiaz, fins alguns avencs de muntanya amb una morfologia que palesa una important alimentació nival, passant per les nombroses i majors cavitats verticals de dissolució assimilables als *gouffres d'absortion* —avencs d'absorció— de GÉZE (1953).

Aquests darrers avencs estan formats per un o per varis buits de tendència vertical (Figura 2), assentats sobre fractures, els quals unint-se entre si poden assolir a Mallorca desnivells propers als dos-

range. It includes a varied group of shafts generated by dissolution in the vadose zone, as a result of the vertical infiltration of atmospheric precipitations. In this context we encounter from small karren pits to some mountain shafts with a morphology that proves an important nival nurture, going through the numerous and major vertical cavities of dissolution assimilable to the gouffres d'absortion —absorption shafts— from GÉZE (1953).

These last shafts are formed by one or various voids of vertical tendency (Figure 2), settled on rock fractures, which on joining together can attain in Mallorca a depth of about two hundred metres. Some of the vertical unities that integrate these cavities form impressing pits of over 100 metres in depth (Photo 1), as the case of Avenc des Travessets (Artà), Avenc

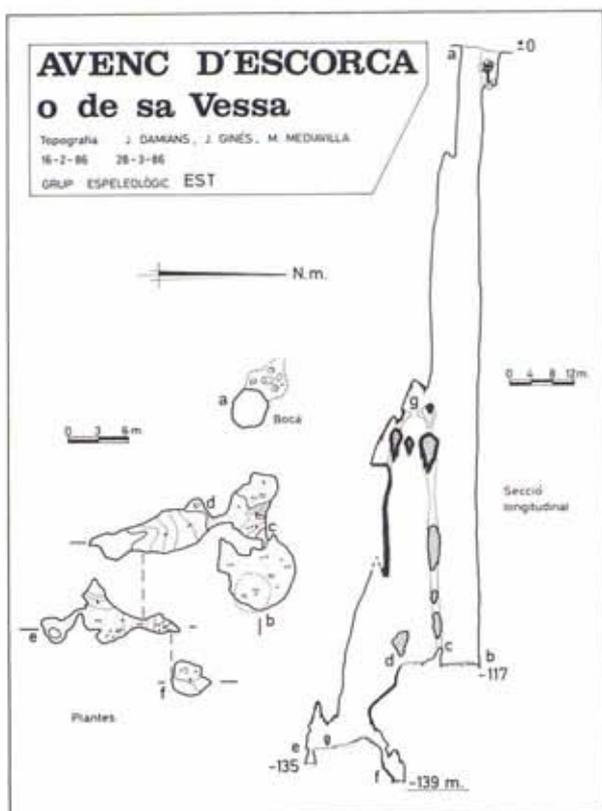


Figura 2: Topografia d'un espectacular exemple d'avenc de dissolució vadosa.

Figure 2: Topographical survey of a spectacular example of vadose dissolution shaft.

cents metres. Algunes de les unitats verticals que integren aquestes cavitats formen impressionants pous de més de 100 metres de fondària (Foto 1), com és el cas de l'Avenc des Travessets (Artà), l'Avenc Fonda (Pollença), o l'Avenc d'Escorca, l'Avenc de Femenia i l'Avenc de s'Aigo (tots tres en el municipi d'Escorca).

Avencs d'origen mecànic. Són avencs de planta rectilínia i desnivell ocasionalment notable, la gènesi dels quals es veu condicionada pels processos de distensió mecànica que afecten les elevacions muntanyoses de les serres mallorquines. En unes ocasions es tracta d'esclatxes paral·leles i molt properes a grans penya-segats, provocades pel desferrament gravitacional de la massa rocosa pròxima al front de l'espadat. Serien les *fentes de décollement* —esclatxes de desferrament— de RENAULT (1967), o el que GÈZE (1953) anomena *gouffres tectoniques* (avencs tectònics).

En altres casos són avencs que, sense estar lligats directament a la presència de penya-segats, representen importants fractures penetrables de tendència subvertical gairebé no retocades pels processos de carstificació. Les cavitats d'aquestes característiques abunden en algunes elevacions de la

Fonda (Pollença), or Avenc d'Escorca, Avenc de Femenia and Avenc de s'Aigo (all three in the Escorca municipality).

Mechanical shafts. They are rectilinear plan cavities, occasionally with a notable depth, whose genesis is conditioned by mechanical distension processes that affect the mountaineous heights of the Majorcan ranges. Sometimes they are parallel crevices located very near some great cliffs, provoked by the gravitational detach of the rocky mass near the cliff front. They would be the *fentes de décollement* —detach crevices— from RENAULT (1967), or the one that GÈZE (1953) calls *gouffres tectoniques* (tectonic shafts).

In other cases they are potholes that, without being bound directly to the presence of cliffs, represent important penetrable fractures of a subvertical tendency practically not retouched by karstification processes. The cavities of these characteristics are abundant in some heights of Serra de Tramuntana, such as Mola des Ram situated between Esporles and Puigpunyent villages. The most remarkable example of this kind of shafts is probably Avenc de ses Papallones (TRIAS, 1979), situated in the municipality of Bunyola, which attains a depth of -142 metres.

VADOSE-LOCATED CAVES

This kind assembles several types of horizontal tendency cavities, that have two common defining features: its present morphology prevents from finding out what the initial voids that originated the caverns were like, being these ones now integrated in the vadose zone of the karstic massif. Logically, a former excavation phase in phreatic conditions of those primigenial voids cannot be discarded; in this case it would deal with what BÖGLI (1980) rates as secondary vadose cave, in contrast with the former category of shafts whose vadose character is totally primary. Two main types of caves can be distinguished that assemble the mentioned characteristic features:

Breakdown caverns. The morphology of these caverns is completely conditioned by the presence of great accumulations of blocks, which are the result of rocky collapses that affect the vaults and walls of the cavities. These mechanisms are usually called clastic processes, not very accurately, in the hispanic speleological bibliography (MONTORIOL-POUS, 1951) corresponding to the term *incasion* proposed by BÖGLI (1980).

In many Majorcan caves the magnitude of these phenomena is such, that no remains are left as what the initial voids —generated throughout the first excavation phases of the cavity— were like (Photo 2). As it has been suggested before, a past phreatic

Foto 1:

L'Avenc de Femenia (Escorca) és un impressionant avenc vadós de dissolució, localitzat a la Serra de Tramuntana mallorquina, format per un espectacular pou de 120 metres de fondària.

Photo 1:

Avenc de Femenia (Escorca) is an impressive vadose dissolution shaft, located in Serra de Tramuntana mountains, integrated by a spectacular pit 120 metres deep.



Serra de Tramuntana, com la Mola des Ram entre les poblacions d'Esporles i Puigpunyent. L'exemple més notable d'aquesta classe d'avencs és probablement l'Avenc de ses Papallones (TRIAS, 1979), situat al terme municipal de Bunyola, el qual assoleix un desnivell vertical de -142 metres.

COVES SITUADES EN LA ZONA VADOSA

Aquesta classe agrupa diversos tipus de cavitats de tendència horitzontal, que participen de dos trets definitoris comuns: la seva morfologia actual impedeix esbrinar com eren els buits inicials que originaren les cavernes, trobant-se aquestes ara per ara integrades en la zona vadosa del massís càrstic. Lògicament, no es pot descartar una pretèrita fase d'excavació en règim freàtic d'aquells buits primigenis; es tractaria en aquest cas del que BÖGLI (1980) qualifica de *cova vadosa secundària*, en contraposició amb l'anterior categoria d'avencs el caràcter vadós de la qual és netament primari. Es poden distingir dos tipus principals de coves que reuneixen els trets característics esmentats:

Coves clàstiques. La morfologia d'aquestes cavernes es veu del tot condicionada per la presència de grans acumulacions de blocs, els quals són el resultat de desprendiments rocósos que afecten les voltes i les parets de les cavitats. Aquests mecanismes es designen habitualment en la bibliografia espeleològica hispana sota l'expressió, no gaire afortunada, de *processos clàstics* (MONTORIOL-POUS, 1951) corresponent així mateix al terme *incasion* proposat per BÖGLI (1980).

En nombroses coves mallorquines la magnitud d'aqueixos fenòmens és tal, que no resten vestigis de com eren els buits inicials generats al llarg de les primeres fases d'excavació de la cavitat (Foto 2). Com ja s'ha insinuat abans, tampoc no es pot refusar un pretèrit origen freàtic per a aquestes cavernes, si bé el seu aspecte actual no aporta cap evidència que el recolzi.

origin of these caverns cannot be refused, although its current aspect does not show any evidence to give it any support.

The caves that can be included in this group present in general a subhorizontal tendency and an outstanding stalagmitic decoration; in some cases their chambers attain remarkable tridimensional magnitudes. The most representative example is without doubt Cova de sa Campana (Escorca), being the deepest cavity in Mallorca with a depth of -304 metres, and in which some of the chambers exceeds 100,000 m³ in volume (BARRERES et al., 1976; MIR & TRIAS, 1973). We also have to mention the existence of a few shafts, such Avenc de Son Pou (Santa Maria del Cami), constituted by spacious underground chambers that are accessible by means of breakdown openings situated in the zenith of the vault; these endokarstic forms would correspond to



Foto 2: Aspecte de la sala principal de les Coves Petites (Capdepera). Els processos de reajustament mecànic que afecten les voltes i parets de les coves de l'illa, arriben a eliminar amb freqüència tot vestigi de les fases inicials d'excavació de les cavitats.

Photo 2: *Aspect of the main chamber of Coves Petites (Capdepera). The mechanical readjustment processes that affect ceilings and walls of Majorcan caves often end up by eliminating all the traces of initial excavation phases of the cavities.*

Les coves enquadrables dins aquest grup presenten en general una trajectòria subhoritzontal i una decoració estalagmítica destacable; en alguns casos les seves sales assoleixen unes magnituds tridimensionalment notòries. L'exemple més representatiu és sense dubte la Cova de sa Campana (Escorca), que és la cavitat més fonda de Mallorca amb un desnivell de -304 metres, i en la qual alguna de les sales ultrapassa els 100.000 m³ de volum (BARRERES *et al.*, 1976; MIR & TRIAS, 1973). Hem d'esmentar també l'existència d'uns pocs avencs, com l'Avenc de Son Pou (Santa Maria del Camí), constituïts per espais sales subterrànies accessibles mitjançant obertures d'esfondrament situades en el zenit de la volta; aquestes formes endocàrstiques es correspondrien amb els *gouffres d'effondrement* —avencs d'esfondrament— de GÈZE (1953).

En relació amb els processos clàstics i les morfologies que es deriven de la seva actuació, convé al·ludir ara al següent fet: gairebé totes les tipologies subterrànies que es descriuran més endavant participen en major o menor grau dels trets definitoris del que hem convingut a denominar *coves clàstiques*. No obstant això, en uns casos la pervivència de vestigis dels buits inicials que originaren les cavitats, o en altres ocasions l'específic del context morfo-hidrològic actual, permeten que determinades cavernes es puguin adscriure a altres tipus espeleogenètics dotats d'un contingut molt més concret i diferenciat.

Coves estructurals. En aquest grup hi entren diverses coves, existents sobretot a la Serra de Tramuntana, i que consisteixen en grans sales subterrànies o successions d'àmplies cambres proveïdes d'una tendència general descendent. Les esmentades sales es desenvolupen a favor d'importants discontinuïtats estructurals subhoritzontals, com ara algunes falles o amb més freqüència plans d'encavalcament. Aquestes cavitats han estat retocades en major o menor mesura per processos clàstics, així com per dipòsits estalagmítics relativament abundants. Cavernes com la Cova de ses Meravelles (Bunyola), la Cova Morella i la Cova de Can Sion (Pollença) o la Cova de sa Tossa Alta (Escorca) representen exponents característics d'aquesta tipologia.

COVES FREÀTIQUES

Encara que no són massa nombroses, en les distintes regions càrstiques de l'illa hi ha coves que denoten una gènesi produïda per dissolució en règim freàtic (Foto 3). Ens trobam davant formes de conducció excavades originàriament a la banda inferior del massís càrstic, en la qual tots els buits existents —porositat tant d'origen primari (porus, fractures...) com secundari (cavitats de dissolució)— estan amaratats d'aigua de manera permanent. És la *zona freàtica*, o zona de saturació, on el drenatge hipogeu s'organitza en sentit horitzontal, en direcció a les

the gouffres d'effondrement —breakdown shafts— from GÈZE (1953).

In relation to the breakdown or collapse processes and the morphologies that derive from their action, it is convenient to comment on the following fact: practically all the underground typologies that will be described subsequently participate to a certain extent in the defining features of what we have decided to call breakdown caverns. However, in some cases the survival of remains of the initial voids that originated the cavities, or in other occasions the present specific morpho-hydrological context, allow certain caverns to be assigned to other speleogenetic types endowed with a much more specific and differentiated content.

Structurally controlled caves. Several caves are included in this group, which are situated specially in Serra de Tramuntana, and that consist in big underground chambers or series of wide galleries provided with a general descendent tendency. The mentioned chambers develop in favour of important structural subhorizontals discontinuities, like some faults or more frequently overthrust planes. These cavities have been retouched to a certain extent by breakdown processes, as well as by relatively abundant speleothem deposits. Caverns such as Cova de ses Meravelles (Bunyola), Cova Morella and Cova de Can Sion (Pollença) or Cova de sa Tossa Alta (Escorca) represent typical examples of this typology.

PHREATIC CAVES

Although they are not very numerous, in different karstic regions of the island there are caves that show a genesis produced by dissolution in the phreatic zone (Photo 3). We encounter drainage forms originally excavated in the lower part of the karstic massif, in which all the voids in existence —porosity both from a primary origin (pores, fractures...) or



Foto 3: Morfologies de dissolució en règim freàtic, observables a les galeries de la Cova de Cal Pesse (Pollença).

Photo 3: Phreatic dissolution morphologies which can be observed in the galleries of Cova de Cal Pesse (Pollença).

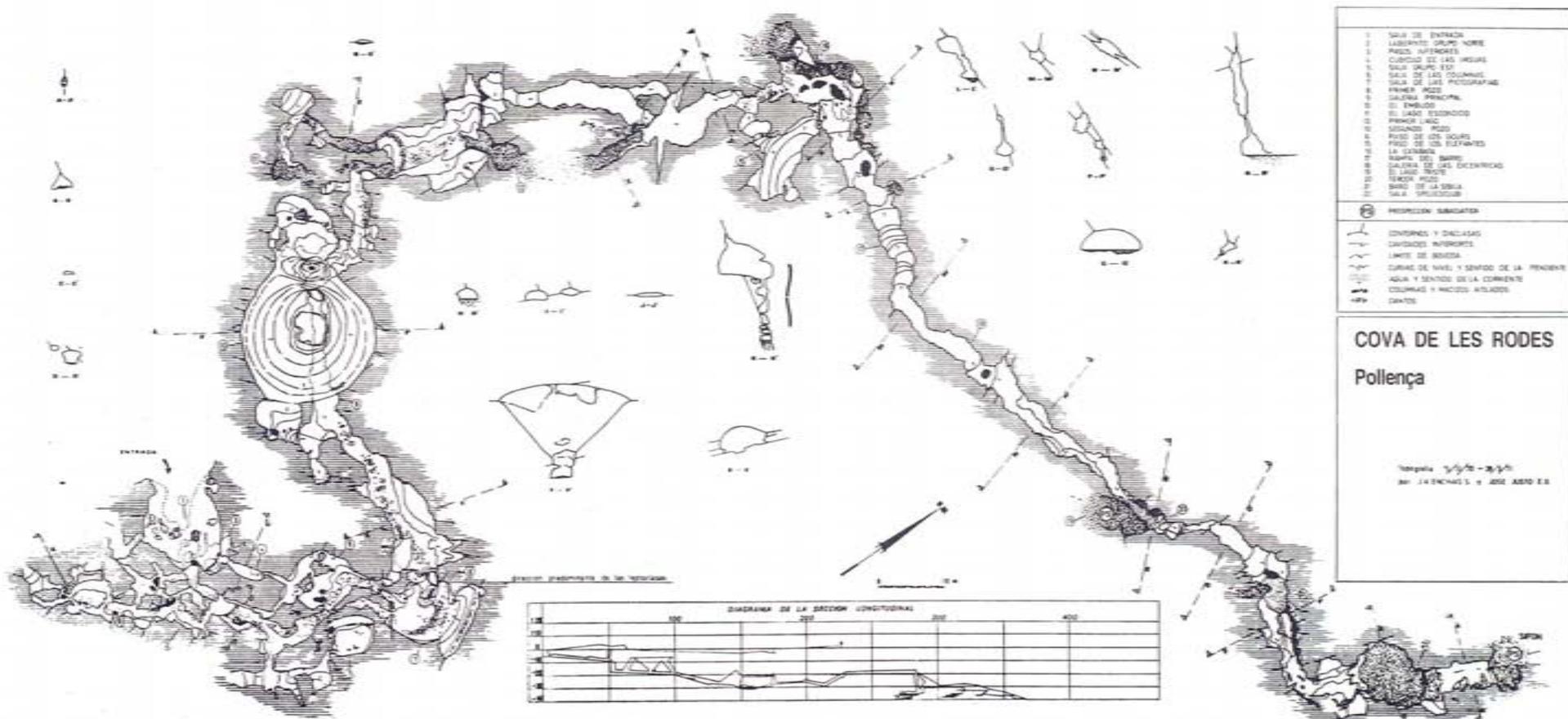


Figura 3: Topografia d'una cova d'origen freàtic, encara hidrològicament activa. Per algunes de les seves galeries discorre avui en dia un petit corrent subterrani perenne (Cova de les Rodes, Pollença, segons ENCINAS, 1972).

Figure 3: Topographical survey of a cave phreatic in origin, still hydrologically active. At present, a small permanent stream flows through some of its galleries (Cova de les Rodes, Pollença, after ENCINAS, 1972).

surgències encarregades d'evacuar les aigües que circulen per l'interior del sistema càrstic (Figura 1).

Algunes de les cavitats pertanyents a aquesta categoria són encara actives pel que fa a la seva funcionalitat hidrològica, i es veuen recorregudes avui en dia per petits corrents subterranis perennes. No obstant això, la majoria de les vegades aquests aparells endocàrstics han esdevingut desconnectats de la circulació subterrània activa, com a conseqüència de l'evolució geomorfològica del sistema càrstic, i han sofert sovint una intensa evolució morfològica ocorreguda ja en un medi vadós (processos clàstics, formació d'espeleotemes...). Dins la classe espeleogenètica que ens ocupa, es distingiran:

Galeries de drenatge. Es tracta de coves constituïdes per galeries rectilínies (Figura 3), no gaire ramificades, amb abundants morfologies arrodonides de dissolució en règim freàtic (cúpules, etc). En algunes ocasions discorren pel seu interior petits rius hipogeus, com passa a la Cova de les Rodes (Pollença) o a la Cova des Torrent de Cúber (Escorca). En altres casos són aparells no funcionals —com la Cova des Mirador (Escorca), la Cova de Canet (Esporles) o la Cova de Cal Pesse (Pollença)— que donen compte de la complexa i dilatada història geomorfològica dels relleus de la Serra de Tramuntana.

Coves laberíntiques. Aquest tipus de cavitat, generalment de dimensions reduïdes, està integrat per petits fragments inactius de xarxes laberíntiques de conductes, excavats en altre temps dins la zona inundada del massís càrstic. La Cova de Son Burguet (Puigpunyent) i la Cova d'en Tocahores (Petra) en són exemples ben representatius.

Tant en la present tipologia com en l'anterior, l'origen freàtic de l'excavació dels buits primigenis és del tot evident, malgrat l'ulterior evolució vadosa experimentada per les cavitats en qüestió. En ambdós casos sembla tractar-se d'una gènesi freàtica poc profunda, relacionada sovint amb la banda de fluctuació del pla de les aigües subterranies, o zona epifreàtica.

COVES LITORALS

És aquesta una categoria molt ben representada en algunes de les àrees càrstiques de l'illa, en particular a la regió natural del Migjorn. Hi entren una interessant gamma de coves l'origen i posterior evolució morfològica de les quals estan condicionats, directament o indirecta, per la proximitat relativa de la línia de costa. Diferenciarem les dues tipologies següents:

Coves de la zona de mescla costanera. Les nombroses formes endocàrstiques existents en el Miocè post-orogènic del Sud i del Llevant de Mallorca ofereixen unes característiques peculiars, que han estat objecte de bastant atenció des de finals del segle

secondary (dissolution cavities)— are soaked with water permanently. It is the phreatic zone, or saturation zone, where the underground drainage is arranged in a horizontal direction, towards the springs in charge of evacuating the waters that flow inside the karstic system (Figure 1).

Some of the cavities that belong to this category are still active with regard to their hydrological functionality, and nowadays they are traversed by perennial but little important subterranean streams. However, most of the times these endokarstic phenomena have become disconnected from active underground flowing, as a result of the geomorphological evolution of the karstic system, and they have often undergone an intense morphological evolution already taken place in a vadose environment (breakdown processes, speleothem formation...). Within the speleogenetic category that we are dealing with, we can distinguish:

Drainage conduit-caves. *They are caves formed by rectilinear passages (Figure 3), not very ramified, with abundant rounded solutional features characteristic of the phreatic zone (cupolas, etc). Sometimes, subterranean streams flow inside, as it occurs in Cova de les Rodes (Pollença) or in Cova des Torrent de Cúber (Escorca). In other cases they are non functional features —such as Cova des Mirador (Escorca), Cova de Canet (Esporles) or Cova de Cal Pesse (Pollença)— that reveal the complex and extensive geomorphological history of the reliefs in the Serra de Tramuntana area.*

Network caves. *This kind of cavity, generally of reduced dimensions, is integrated by small inactive fragments of labyrinthine conduit networks excavated in the past inside the flooded part of the karstic massif. Cova de Son Burguet (Puigpunyent) and Cova d'en Tocahores (Petra) are very representative examples.*

Both in the present and former typology, the phreatic origin of the initial voids excavation is absolutely evident, in spite of the later vadose evolution experienced by these cavities. Both cases seem to deal with a shallow phreatic genesis, often related to the fluctuation zone of the underground water-table, or epiphreatic zone.

LITTORAL CAVES

This is a well-represented category in some of the karstic areas of the island, particularly in the natural region of Migjorn. We can include an interesting range of caves whose origin and later morphological evolution are conditioned, directly or indirectly, by the relative nearness to the coast line. We will differentiate the two following typologies:

Coastal mixing-zone caves. *The numerous endokarstic forms existing in the post-orogenic*

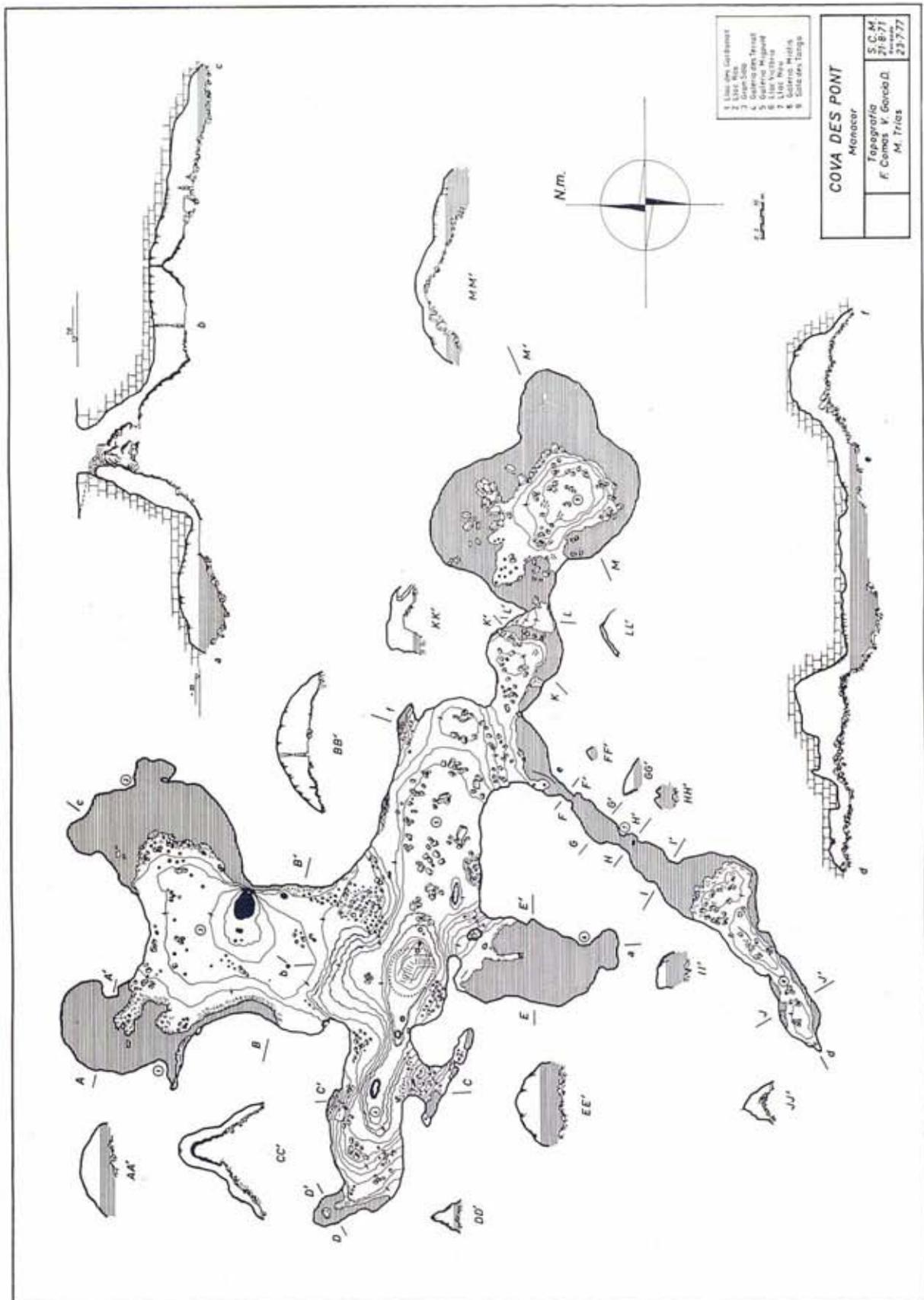


Figura 4: Topografia d'una cova típica del carst litoral que configura el Migjorn de Mallorca. Cal destacar la gran rellevància dels processos clàstics, així com la presència de petits llacs d'aigües salobres en correspondència amb l'actual nivell de la mar (Cova des Pont, Manacor, segons TRIAS & MIR, 1977).

Figure 4: Topographical survey of a typical cave from the littoral karst that constitutes the Migjorn area of Mallorca. The great relevance of breakdown processes must be emphasized, as well as the presence of small brackish pools in accordance with the current sea level (Cova des Pont, Manacor, after TRIAS & MIR, 1977).

passat, tal i com ja s'ha esmentat a l'apartat introductori.

Recentment s'ha suggerit un model genètic per a aquestes cavitats (GINÉS & GINÉS, 1992) que contempla la formació d'uns buits inicials, generats per dissolució en la zona freàtica litoral. Ara per ara està ben documentat l'actiu paper geoquímic dels ambients freàtics costaners en roques carbonatades, amb les conseqüents repercussions espeleogenètiques i geomorfològiques que es deriven dels processos de mescla entre aigües continentals dolces i aigües marines (BACK *et al.*, 1984).

Aqueixes cavitats primigènies han experimentat durant el Pleistocè successius esfondraments de les parets i les voltes (Figura 4), els quals s'alternen i co-existeixen al llarg del temps amb intenses fases d'estalagmitització. La gran rellevància que presenten els processos clàstics condiciona gairebé totalment l'aparença actual d'aquest tipus de coves, essent també responsable de la seva obertura a l'exterior mitjançant enfonsades de vegades bastant vistoses. L'evolució més recent d'aquestes cavernes no ha estat aliena a les oscil·lacions glàcio-eustàtiques de la Mediterrània, albergant reompliments molt específics (espeleotemes freàtics, bretxes ossíferes...) de gran valor espeleocronològic i paleoclimàtic; així mateix, el nivell actual de la mar determina la presència de llacs subterranis d'aigües salobres (Foto 4), la superfície dels quals acusa la influència de fluctuacions menors com ara les mareas.

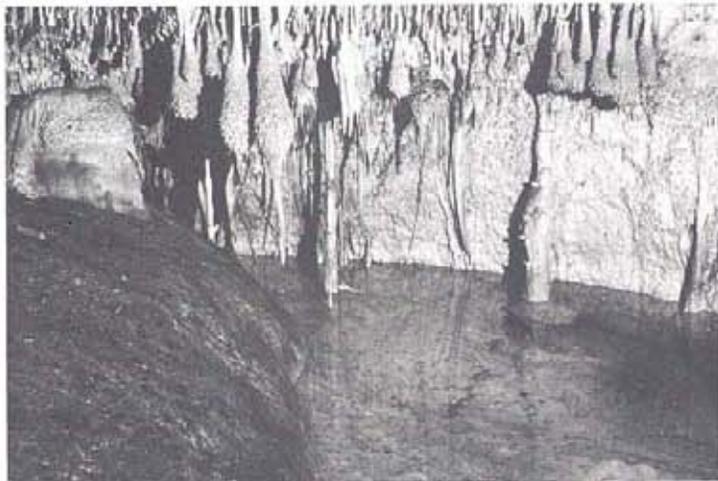


Foto 4:

Un dels nombrosos llacs d'aigües salobres existents en les Coves del Drac (Manacor), la presència dels quals està controlada pel nivell marí actual. Es poden observar alguns exemplars d'espeleotemes freàtics corresponents a paleonivells de la mar Mediterrània.

Photo 4:

One of the numerous brackish pools that exist in Coves del Drac (Manacor), whose presence is controlled by the present sea level. Some phreatic speleothem examples can be observed which correspond to Mediterranean sea paleolevels.

Les localitats més il·lustratives de la tipologia descrita es localitzen a les rodalies de Portocristo, en indrets com Can Frasquet on es contenen fins a 14 coves importants —Coves del Pirata, Cova des Pont...— en una extensió de tan sols 1 km² (TRIAS & MIR, 1977). Però, sense dubte, l'exemple paradigmàtic està representat per les Coves del Drac, famosa cova turística del terme de Manacor que compta endemés amb una extensa literatura espeleològica que en fa referència (vegeu GINÉS & GINÉS, 1992).

Miocene limestones of the South and East of Mallorca (Migjorn area) offer some peculiar characteristics, which have been the object of a considerable attention from the end of the last century, as it has already been mentioned in the introductory section.

*Recently, a genetic model for these cavities has been suggested (GINÉS & GINÉS, 1992) that deals with the formation of some initial voids, generated by dissolution in the littoral phreatic zone. At present, the active geochemical role of the coastal phreatic environments on carbonated rocks is well-documented, with the consequent speleogenetic and geomorphological repercussions that derive from mixing processes between fresh continental waters and sea waters (BACK *et al.*, 1984).*

Those primitive cavities have undergone, during Pleistocene times, successive wall and ceiling collapses (Figure 4), which alternate and co-exist throughout time with intense stalagmitization phases. The great importance attained by breakdown processes conditions practically all the present aspect of this kind of caves, being also responsible for their opening to the exterior through collapse entrances that are quite conspicuous in some cases. The most recent evolution of these caverns has been affected by the glacio-eustatic oscillations of the Mediterranean, lodging frequently very specific infillings (phreatic speleothems, ossiferous breccias...) of a great speleochronological and paleoclimatic value; besides, the current sea level

determines the presence of underground brackish pools (Photo 4), whose surface reveals the influence of minor fluctuations such as tides.

The most illustrative locations of the described typology are found in the outskirts of Portocristo, in places like Can Frasquet where until 14 important caves can be counted —Coves del Pirata, Cova des Pont...— in an extension of only 1 km². (TRIAS & MIR, 1977). But, no doubt, the paradigmatic example is represented by Coves del Drac, a famous touristic show-cave in the municipality of Manacor which has,

Coves càrstico-marines. En un medi insular com el nostre són bastant abundants les cavitats subterrànies que tenen l'accés a les proximitats de la línia de costa. En moltes ocasions es tracta d'autèntiques coves de gènesi marina excavades per l'acció erosiva, majoritàriament mecànica, lligada a la dinàmica litoral de les aigües marines. Aquests fenòmens no ofereixen en si un excessiu interès en relació a la finalitat d'aquest treball, ja que són formes del tot alienes als processos de carstificació.

No obstant això, hi ha una categoria de cavitats —molt ben representades a Mallorca— de gènesi en bona part marina i que a més mostren un elevat interès geomorfològic. És el que MONTORIOL-POUS (1971) anomena *captures càrstico-marines*, les quals consisteixen en cavernes d'un clar origen càrstic afectades en major o menor grau pels processos d'erosió costanera. Unes vegades són simplement coves càrstiques amb l'orifici d'accés obert gràcies a l'actuació de la dinàmica litoral, com és el cas de la Cova de na Barxa (Capdepera) o de la Cova de Cala Falcó (Manacor). En altres ocasions ens trobam davant aparells endocàrstics gairebé desmantellats del tot per l'evolució morfològica de la línia de costa (Foto 5); l'espectacular arc de la Cova Marina des Pont (Manacor) és un excel·lent exemple d'aquesta casuística. Dins les cavitats que reuneixen les característiques descrites sovintegen els dipòsits sedimentaris, de gran valor espeleocronològic, on s'intercalen complexes seqüències d'espeleotemes juntament amb bretxes ossíferes i sediments diversos d'origen marí.

moreover, an extensive speleological literature devoted to it (see GINÉS & GINÉS, 1992).

Marine-karstic caves. *In an insular environment as ours, there is an abundance of underground cavities that have their entrances to the proximities of the coast line. Very often, they are genuine marine caves excavated by erosive action, mostly mechanical, related to the littoral dynamic of sea waters. These phenomena do not offer too much interest with regard to the aim of this work, since they are forms that do not take any part in karstification processes.*

However, there is a category of cavities —very well-represented in Mallorca— whose genesis is partially marine and that show a significant geomorphological interest. It is what MONTORIOL-POUS (1971) calls karstic-marine captures, which consist of caverns that are clearly karstic in origin but affected to a certain extent by coastal erosive processes. Sometimes, they are simply karstic caves with their entrances opened thanks to the littoral dynamic action, such as the case of Cova de na Barxa (Capdepera) or Cova de Cala Falcó (Manacor). Other times, we encounter endokarstic forms practically dismantled by the morphological evolution of the coast line (Photo 5); the spectacular arch of Cova Marina des Pont (Manacor) is an excellent example of this casuistry. Sedimentary deposits of a great speleochronological value are frequent inside the cavities that assemble the described characteristics, where complex speleothem sequences are intercalated together with ossiferous breccia and various sediments marine in origin.

Foto 5:

La Cova Marina des Pont (Manacor) és un cas ben clar de cova càrstica gairebé totalment desmantellada pels processos d'erosió costanera.

Photo 5:

Cova Marina des Pont (Manacor) is a clear case of karstic cave almost totally dismantled by processes of coastal erosion.



Conclusió: distribució geogràfica de les categories espeleogenètiques

Amb la finalitat de sintetitzar al màxim el contingut d'aquestes pàgines, s'han confeccionat sengles gràfics (Taula I; Figura 1), els quals donen compte de

Conclusion: geographical distribution of speleogenetic categories

With the purpose of synthesizing the content of these pages to the utmost, several diagrams have been prepared (Table I; Figure 1), which assemble

les grans categories espeleogenètiques proposades així com de les diferents tipologies de cavitats que les integren.

S'ha aprofitat la Taula I per incloure-hi una valoració relativa sobre el grau de representació dels diferents tipus de fenòmens endocàrstics a les principals regions càrstiques de l'illa. En aquest sentit, s'expressa per a cada tipus de cavitat la seva abundància significativa o tan sols la presència ocasional; convé consignar que, en elaborar l'esmentada taula, quan una determinada tipologia és francament rara dins una àrea geogràfica concreta ha estat considerada com a no present en ella.

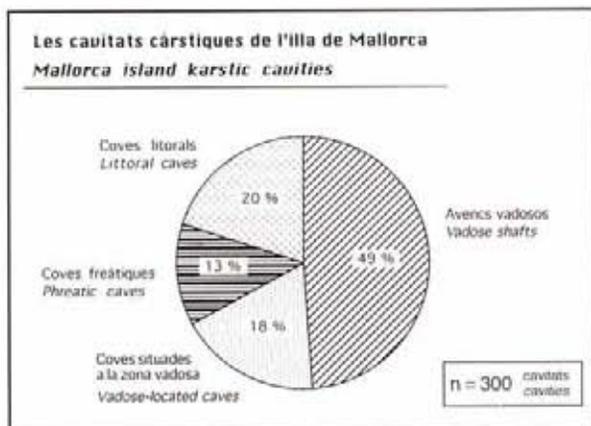


Figura 5: Distribució de les cavitats càrstiques del conjunt de l'illa entre les quatre grans categories espeleogenètiques que s'han distingit en el text.

Figure 5: Distribution of karstic cavities of the whole island among the four speleogenetic categories that have been distinguished in the text.

Pel que fa a les dimensions del milenar de coves i avençs coneguts ara per ara, aquestes poden ésser qualificades de modestes: tan sols unes quantes coves superen el quilòmetre de desenvolupament horitzontal, i la profunditat màxima que assolixen les cavitats supera de molt poc els 300 metres de desnivell.

Per acabar aquest treball, exposarem algunes consideracions sobre la distribució espacial de les categories espeleogenètiques distingides en el text. Les dades que s'expressaran es refereixen a una població de tres-centes coves i avençs, que es consideren representatius tant de les característiques morfològiques de les cavitats mallorquines, com de la seva abundància relativa respecte a la globalitat dels fenòmens subterranis de l'illa.

La Figura 5 palesa el predomini, a nivell del conjunt de Mallorca, de la categoria que hem denominat *avençs vadosos*. Aquesta classe suposa de fet gairebé el 50 % de les localitats estudiades, repartint-se la resta de manera bastant equilibrada entre les altres tres categories proposades.

La situació és prou diferent si observem per separat les formes hipogees de les principals regions

the speleogenetic categories proposed as well as the different typologies of cavities that compose them.

We have made use of Table I in order to include a relative assessment on the representation degree of the different kinds of endokarstic phenomena in main karstic regions of the island. In this sense, its significant abundance or just the occasional presence have been pointed out for each type of cavity; it is convenient to state that, on elaborating the mentioned table, when a particular typology is clearly rare in a specific geographical area it has been considered as non existent.

With regard to the dimensions of the more than a thousand of caves and shafts known up till now, these can be rated as modest: just a few caves exceed a kilometre of horizontal extension, and the maximum depth that the cavities attain exceeds just over 300 metres.

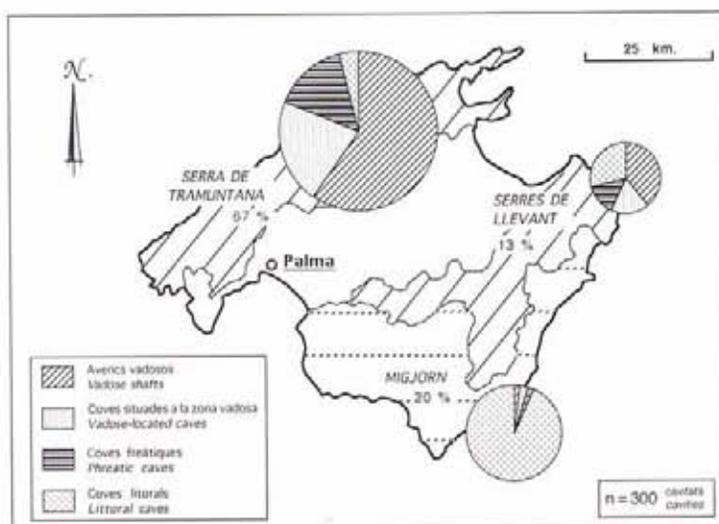
To complete this work, we will bring forward some considerations on the spatial distribution of the speleogenetic categories distinguished in the text. The data that will be mentioned refer to a population of three hundred caves and shafts, which are considered representative of both the morphological characteristics of Majorcan cavities and of their relative abundance with regard to the totality of the underground phenomena in the island.

Figure 5 shows the prevalence, on the whole of Mallorca, of the category that we have called vadose shafts. This class involves in fact practically 50 % of the studied localities, the rest are spread quite evenly among the three other proposed categories.

The situation is quite different if we observe separately the subterranean morphologies of the main karstic regions of the island (Figure 6). While the cavities in Serres de Llevant are distributed with relative homogeneity among the speleogenetic groups taken into consideration, in Serra de Tramuntana a vast majority of vadose shafts can be observed followed at a certain distance by the categories that assemble both the vadose-located caves and the phreatic caves. However, the karstic zone of Migjorn presents a completely different endokarst, characterized by the almost total predominance of the category that we have distinguished under the name of littoral caves.

Figura 6:
Distribució de les categories espeleogenètiques proposades, dins les tres principals regions càrstiques de Mallorca.

Figure 6:
Distribution of the proposed speleogenetic categories, in the three main karstic regions of Mallorca



càrstiques de l'illa (Figura 6). Mentre les cavitats de les Serres de Llevant es distribueixen amb relativa homogeneïtat entre els grans grups espeleogenètics considerats, a la Serra de Tramuntana es constata un aclaparadora majoria d'avençs vadosos seguits, a bastant distància, de les categories que agrupen tant les *coves situades en la zona vadosa* com les *coves freàtiques*. La zona càrstica del Migjorn presenta en canvi un endocarst radicalment distint, caracteritzat pel predomini quasi total de la categoria que hem distingit sota el terme de *coves litorals*.

Agraïment

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

Bibliografia / References

- 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.
- BARRERES, M.; FERRERES, J. & CARDONA, F. (1976): La cueva de Sa Campana y el karst de Castellots (Mallorca). *Speleon*. 22 : 43-74. Barcelona.
- BÖGLI, A. (1980): *Karst hydrology and physical speleology*. Springer-Verlag. 284 pàgs. Berlin.
- DARDER, B. (1925): La tectonique de la région orientale de l'île de Majorque. *Bull. Soc. Géol. France*. 4 (25) : 245-278. Paris.
- 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.; LLOBERA, M. & LLOBERA, P.J. (1974): Introducció a una classificació espeleogenètica de las cuevas y simas de Mallorca (Balears). *Endins*. 1 : 3-10. Palma de Mallorca.
- FAURA Y SANS, M. (1926): *Las cuevas de Mallorca*. Publ. Inst. Geol. Min. España. XIV Congreso Geológico Internacional. 78 pàgs. Madrid.
- FORD, D.C. (1965): The origin of limestone caverns: a model from the central Mendip Hills, England. *Bull. Nat. Spele. Soc.* 27 : 109-132. Huntsville.
- FORD, D.C. & EWERS, R.O. (1978): The development of limestone cave systems in the dimensions of length and depth. *Can. Journ. Earth Scienc.* 15 : 1783-1798.
- FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W. (1989): *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin Hyman. 601 pàgs. Londres.
- GAY, S. & CHAMPSAUR, B. (1885): *Album de las cuevas de Artá y Manacor*. Luis Fàbregas - Libreria Española. 50 pàgs + 2 plànols+ 25 gravats. Palma de Mallorca, Barcelona.
- GÉZE, B. (1953): La genèse des grottes. *1er. Cong. Intern. Spéléol.* 2 : 11-23. Paris.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1987): Características espeleológicas del karst de Mallorca. *Endins*. 13 : 3-19. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1992): Las Caves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes històrics y espeleogenètics. *Endins*. 17-18 : 5-20. Palma de Mallorca.
- 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. (Ed.): *El Karst en España*. Sociedad Española de Geomorfología. Monografía 4: 163-174. Madrid.
- JENNINGS, J. N. (1985): *Karst Geomorphology*. Basil Blackwell. 293 pàgs. Oxford.

- JOLY, R. de & 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.
- LOZANO, R. (1884): *Anotaciones físicas y geológicas de la Isla de Mallorca*. Excma. Dip. Prov. Baleares. Imprenta Casa de Misericordia. 10-12. Palma de Mallorca.
- MAHEU, J. (1912): Exploration et flore souterraine des cavernes de Catalogne et des Iles Baléares. *Spelunca*. 8 (67-68) : 1-108. Paris.
- MARTEL, E. A. (1896): Sous Terre. Cueva del Drach, à Majorque. *Ann. Club Alpin Franç.* 23 : 1-32. Paris.
- MIR, F. & TRIAS, M. (1973): Sobre el karst de la Cova de sa Campana i les seves concrecions excèntriques. *III Simp. Esp. Comunicacions*. 53-70. Mataró.
- MONTORIOL-POUS, J. (1951): Los procesos clásticos hipogeos. *Rassegna Speleol. Italiana*. 3 (4) : 119-129. Como.
- MONTORIOL-POUS, J. (1971): Estudio de una captura kárstico-marina en la isla de Cabrera (Baleares). *Acta Geológica Hispánica*. 6 (4) : 89-91. Barcelona.
- RENAULT, P. (1967): Contribution à l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogenèse. Première partie. *Annales de Spéléologie*. 22 (2) : 211-267. Moulis.
- SWEETING, M. M. (1972): *Karst Landforms*. The Macmillan Press. 362 pàgs. Londres.
- TRIAS, M. (1979): L'Avenc de ses Papallones. *Endins*. 5-6 : 29-31. Palma de Mallorca.
- TRIAS, M. & MIR, F. (1977): Les coves de la zona de Can Frasquet - Cala Varques. *Endins*. 4 : 21-42. Palma de Mallorca.
- TRIAS, M.; PAYERAS, C. & GINÉS, J. (1979): Inventari espeleològic de les Balears. *Endins*. 5-6 : 89-100. Palma de Mallorca.
- WHITE, W. B. (1988): *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. Oxford University Press. 464 pàgs. New York.

ELS ESPELEOTEMES DE LES COVES DE MALLORCA

THE SPELEOTHEMS OF MAJORCAN CAVES

Àngel GINÉS ^{1 2}

Resum

Les coves de Mallorca són ben conegudes per la bellesa i abundància d'espeleotemes que es troben en el seu interior. A més de l'atractiu escènic notable que mostren els habituals conjunts d'estalactites, estalagmites i colades, una gran varietat de classes d'espeleotemes estan representats en els més d'un mil·lenar d'avencs i coves catalogats avui dia en Mallorca. Estalactites excèntriques, helictites, escuts, gours i diverses formacions botrioidals, són freqüents en algunes cavitats. La immensa majoria dels espeleotemes mallorquins són de calcita i, tan sols ocasionalment, d'aragonita. Fins ara, els principals estudis mineralògics i petrològics s'han focalitzat en els destacables espeleotemes freàtics que caracteritzen nombroses coves costaneres de la meitat oriental de l'illa.

Abstract

Majorcan caves are famous for the beauty and abundance of speleothems they contain. The more than one thousand caves and shafts up-to-date catalogued in Mallorca offer an attractive subterranean landscape of stalactites, stalagmites and flowstones, as well as a great variety of other kinds of speleothems. Some of the caves frequently contain eccentric stalactites, helictites, shields, rimstone dams and several botryoidal wall and floor growths. Most Majorcan speleothems are of calcite and occasionally of aragonite. To date, the main mineralogical and petrological studies have focused on the remarkable phreatic speleothems characterising many coastal caves from the eastern part of the island.

Introducció

Des que els primers llibres de viatges començaren a descriure, en el segle XIX, la bellesa dels paisatges subterranis mallorquins, les formacions estalagmítiques que decoren les Coves d'Artà i les Coves del Drac han anat assolint un just renom. Nombrosos gravats i il·lustracions, que complementaven aquelles publicacions pre-espeleològiques i al mateix temps pre-turístiques, mostraven formosos conjunts d'estalactites, estalagmites, columnes i colades estalagmítiques. A aquestes variades formacions que decoren l'interior de les coves, i que estan constituïdes en la seva major part per cristallitzacions de carbonat càlcic, se les denomina científicament *espeleotemes* en les publicacions internacionals especialitzades.

Introduction

Since the first traveller books described in the nineteenth century the beauty of the subterranean landscapes of Mallorca, the stalagmitic decorations from Coves d'Artà and Coves del Drac have reached a deserved fame. Plenty of drawings and illustrations included in those pre-speleologic —and also pre-touristic— publications showed beautiful sets of stalactites, stalagmites, columns and flowstones. All these stone decorations present inside the caves and composed mainly by calcium carbonate crystallizations are scientifically designated as speleothems in the international specialised publications.

The richness of speleothems which contributed to increase the prestige of the first Majorcan caves that were visited by tourists, was later enhanced when Coves del Pirata, Coves des Hams, Coves de Campanet and Coves de Gènova were discovered. This fact showed to what extent the geo-climatic

1 Grup Espeleològic EST, Palma de Mallorca.

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

La riquesa d'espeleotemes, que havia contribuït al prestigi de les primeres coves mallorquines adaptades per a la visita turística, s'amplià en descobrir-se les Coves del Pirata, les Coves des Hams, les Coves de Campanet i les Coves de Gènova. Aquest fet posava de manifest l'existència d'unes condicions geo-climàtiques idònies per al creixement d'una gran varietat i abundància d'espeleotemes en els carsts de Mallorca.

En l'actualitat, gràcies a les exploracions que s'han realitzat en els darrers cinquanta anys, es pot afirmar que l'abundància d'espeleotemes és un fenomen general a les coves de l'illa. El desenvolupament de l'espeleologia a Mallorca ha permès així de reunir gran quantitat de dades descriptives i fotogràfiques. No obstant, encara es troben a faltar estudis petrològics i mineralògics detallats, amb l'excepció d'algunes investigacions puntuals que concerneixen fonamentalment als espeleotemes freàtics costaners.

Mineralogia i tipologia dels espeleotemes mallorquins

Les coves de Mallorca, segons els coneixements disponibles, alberguen un exigu grup d'espècies minerals. La composició litològica de l'illa és poc variada i les roques carbonatades que han estat objecte de carstificació es caracteritzen per la seva puresa. Les mineralitzacions d'òxids i sulfurs metàl·lics són escasses, i es troben endemés localitzades a roques poc o gens carstificables. Per això és la calcita, amb molt d'avantatge, el mineral predominant a les cavitats mallorquines. En segon lloc s'ha de citar la presència d'aragonita, formant part d'espeleotemes freàtics i de petites cristallitzacions parietals. També s'han citat escasses cristallitzacions de guix, però no s'han identificat d'altres minerals. Tanmateix és precís reconèixer que encara falta realitzar una prospecció mineral exhaustiva.

Pel contrari, l'endocarst de Mallorca conté una rica varietat d'espeleotemes. És difícil d'establir una classificació satisfactòria dels distints tipus d'espeleotemes de carbonat càlcic, la majoria dels quals estan representats a les coves de l'illa. Els criteris formulats per SWEETING (1972), WHITE (1976), HILL & FORTI (1986) i ZHU (1988) permeten de diferenciar els següents tipus genètics: *espeleotemes de degoteig*, *espeleotemes de flux*, *espeleotemes de traspuament*, *espeleotemes subaquàtics* i *espeleotemes mixtos*. Se'n poden trobar bons exemples de tots ells en el context del carst mallorquí.

La distinció més evident entre els principals tipus d'espeleotemes que existeixen, radica en si la direcció de creixement de l'espeleotema està controlada per la gravetat o si el creixement és més veloç en altres direccions determinades per condicionants minerals i cristal·logràfics. WHITE (1976) suggereix els termes *gravitomòrfic* i *erràtic* per a ambdues classes

conditions of Mallorca are highly suitable for the growth of such great variety and quantity of speleothems inside its karsts.

Nowadays, thanks to the explorations carried out in the last fifty years, it can be assured that the abundance of speleothems is a general phenomena in caves of the Balearic islands. Therefore, the development of the speleology in Mallorca has allowed a great amount of descriptive and photographic data. However, detailed petrologic and mineralogical studies are still scanty, with the exception of some punctual research centered mainly in the phreatic coastal speleothems.

Mineralogy and typology of the Majorcan speleothems

The caves of Mallorca, as far as it is known today, contain a scarce group of mineral species. The lithologic composition of the island is hardly varied and the karstified carbonate rocks are characterized by their purity. The oxides and metal sulphides mineralizations are scanty, being only present in non-karstifiable rocks. Thus, calcite is farly the predominant mineral in the Majorcan cavities. Secondly, the aragonite as a component of phreatic speleothems and small cave wall crystallizations must be quoted. Scanty quantities of gypsum crystallizations have been found too, although other minerals could not be identified. Nevertheless, it must be assumed that no exhaustive mineral prospection has been yet done.

On the contrary, the endokarst of Mallorca contains a great variety of speleothems regarding their shapes. A satisfactory classification of the different kinds of calcium carbonate speleothems, most of which are well-represented inside the island caves, remains a difficult task. The criteria given by SWEETING (1972), WHITE (1976), HILL & FORTI (1986) and ZHU (1988) permit to differentiate the following generic types: dripping water speleothems, flowing water speleothems, seeping water speleothems, subaqueous speleothems and mixed speleothems. Good examples of all of them can be found in the Majorcan karst context.

The most obvious distinction among the main types of speleothems stems from whether the speleothems growth direction is controlled by gravity or such growth is quicker in other direction determined by mineral and crystallographic conditionants. WHITE (1976) suggests the terms gravitomorphic and erratic, respectively. The erratic speleothems are approximately equivalent to those related to seepage, which are likewise controlled by capillarity phenomena. Both the genetic and the strictly morphological classification present their pros and cons. In this case, due to the divulgative character of this paper, the more usual

d'espeleotemes. Els espeleotemes erràtics coincideixen aproximadament amb els espeleotemes formats per aigües traspuants, que a la vegada estan controlades per fenòmens de capillaritat. Tant els intents de classificacions genètiques com les estrictament morfològiques tenen els seus avantatges i els seus inconvenients. En aquest cas, per mor del caràcter divulgatiu d'aquesta revisió, es mantindran els termes descriptius més usuals situant-los dins d'un vague març genètic.

Estalactites, estalagmites i columnes

Els espeleotemes més comuns formats per aigües de degoteig són les estalactites i les estalagmites. Es tracta d'espeleotemes extraordinàriament abundants a la majoria de les caveres de Mallorca.

La seva gènesi és ben coneguda, i està implícita en l'etimologia d'ambdós termes: *stalaktós* significa degoteig i *stalágmatos* significa líquid filtrat gota a gota. L'aigua, que arriba al sòtil de la cova després de recórrer les fissures de la roca, roman suspesa en forma de gota durant un curt espai de temps abans de caure en terra. Mentre la gota està penjant del sòtil es produeix una pèrdua de diòxid de carboni cap a l'atmosfera de la cova, per la qual cosa precipita una petita quantitat de calcita que va construint un anell al voltant de la gota (formant-se estalactites). Quan aquesta cau al sòl de la cova continua el despreniment de diòxid de carboni i la deposició de carbonat càlcic (formant-se estalagmites), fins que cessa la sobresaturació.

descriptive terms within a vague genetic frame will be maintained.

Stalactites, stalagmites and columns

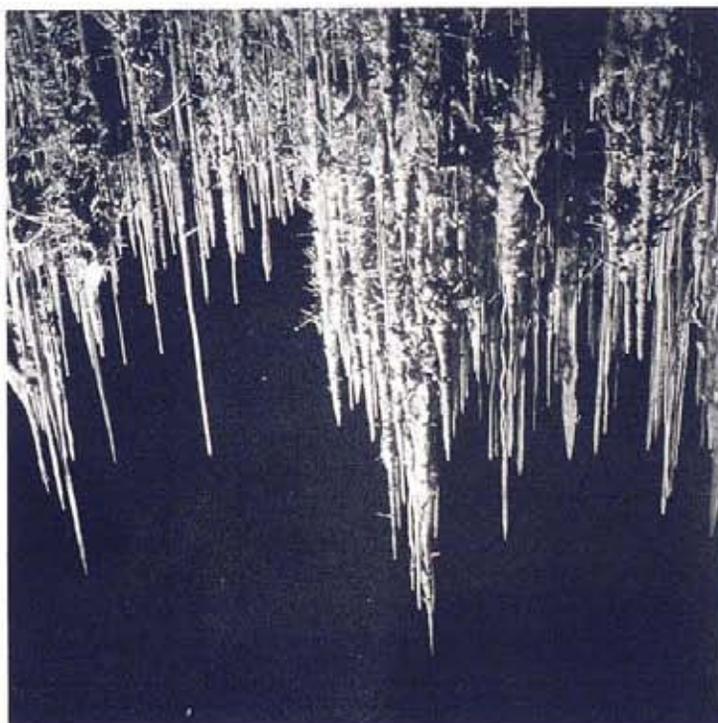
The more common speleothems produced by dripping waters are the stalactites and the stalagmites. They are extraordinarily abundant inside most of the Majorcan caverns.

Their genesis is well-known and it is clearly implicit in their etymology: stalaktós meaning dripping and stalágmatos standing for a liquid filtered drop by drop. So, the water that reaches the cave ceiling after running through the rock fissures remains suspended as a drop for a short time, before it falls down to the floor. While the drop is hanging, a loss of carbon dioxide towards the cave atmosphere is produced, so that a small quantity of calcite precipitates, building then a ring around the drop which will become a stalactite. When the drop falls on the cave floor the carbon dioxide detachment as well as the subsequent calcium carbonate deposition go on forming stalagmites, till the chemical oversaturation stops.

Some of the most impressive stalactitic assemblages are hanging from the Coves del Drac ceiling (Photo 1), although stalactites are so frequent inside the island caves and shafts that a selection of the most outstanding places becomes a difficult task. The caves from the seacoast of Manacor (upper Miocene calcarenites) contain the best stalactitic

Foto 1:
Estalactites amb abundants excèntriques i helictites, en els sòtils de les Coves del Drac (foto cortesia de Cuevas del Drach S.A.).

Photo 1:
Stalactites showing numerous eccentric and helictites, on the ceilings of Coves del Drac (photo by courtesy of Cuevas del Drach S.A.).



Alguns dels més impressionants grups d'estalactites es troben en els sòtils de les Coves del Drac (Foto 1), encara que les estalactites són tan freqüents a les cavitats de l'illa que resulta difícil seleccionar les localitats més destacables. Les cavitats de la Marina de Manacor (calcarenites del Miocè superior) contenen els millors conjunts estalagmítics quant a nombre i a densitat d'individus (FOURMARIER, 1926), però les estalactites de major mida es localitzen a coves desenvolupades a calcàries mesozòiques. Les estalactites més simples, constituïdes per tubs molt fins d'aspecte fistulós, són abundants a la majoria de les coves.

Les banderes i draperies són espeleotemes que pengen del sòtil i que, a pesar de la seva aparença estalactítica, tenen un origen mixt. Es formen a parets o sòtils inclinats pels quals discorren primes línies d'aigua a favor del pendent. Són comunes a les coves de Mallorca.

Els principals boscos d'estalagmites són els de la Cova des Pas de Vallgornera, els de la Cova de Son Berenguer i els que ocupen varis sectors de les Coves del Drac. De tota manera, quasi totes les cavitats mallorquines contenen estalagmites, de diferents morfologies i tamanys (Foto 2). Algunes de les millors estalagmites en forma de cúpula es troben a la Cova de sa Campana i a la Cova de Cornavaques. Probablement es podria establir una certa correlació entre pluviometria i tipologia de les estalagmites, però és un treball que encara no s'ha emprès.

Com que les columnes no són més que el resultat del creixement d'estalactites i estalagmites, que acaben connectant entre si, són també espeleotemes bastant abundants. Entre els millors grups de columnes es poden citar els que decoren les primeres sales de les Coves d'Artà.

Colades parietals i pavimentàries

Quan les aigües d'infiltració s'escorren per les parets o pel sòl de les coves, mantenint-se sobresaturades al llarg del seu recorregut, donen lloc a un conjunt d'espeleotemes que es denominen *colades* (Foto 3). El seu creixement es realitza a partir del flux de petits corrents d'aigua que es generen freqüentment al peu de formacions estalagmítics o a llocs on es van col·lectant aigües de degoteig. L'orientació dels cristalls és perpendicular a la superfície de creixement de la colada, per la qual cosa la seva estructura interna presenta unes bandes característiques que permeten d'efectuar interpretacions estratigràfiques. Les colades parietals solen presentar morfologies mimètiques que semblen arbres, cascades i orgues, per la qual cosa constitueixen elements fonamentals en la decoració de les coves turístiques.

groups both in number and density of individuals (FOURMARIER, 1926), but the biggest stalactites are placed in those caves developed within Mesozoic massive limestone rocks. The simple stalactites or «soda straws», constituted by very thin fistula-like tubes, are abundant in most caves.

The flags and draperies are also dangling speleothems and, even if hanging from the ceilings, they are not strictly stalactitic but of mixed origin. They are formed on walls or steep ceilings where thin water lines flow downwards, and are rather common inside the caves of Mallorca.

The main forests of stalagmites are those inside Cova des Pas de Vallgornera, Cova de Son Berenguer as well as several areas from Coves del Drac. In any case, almost every Majorcan cavity has different sizes and abundant morphologies of stalagmites (Photo 2). Some of the best dome-like stalagmites are located in Cova de sa Campana and

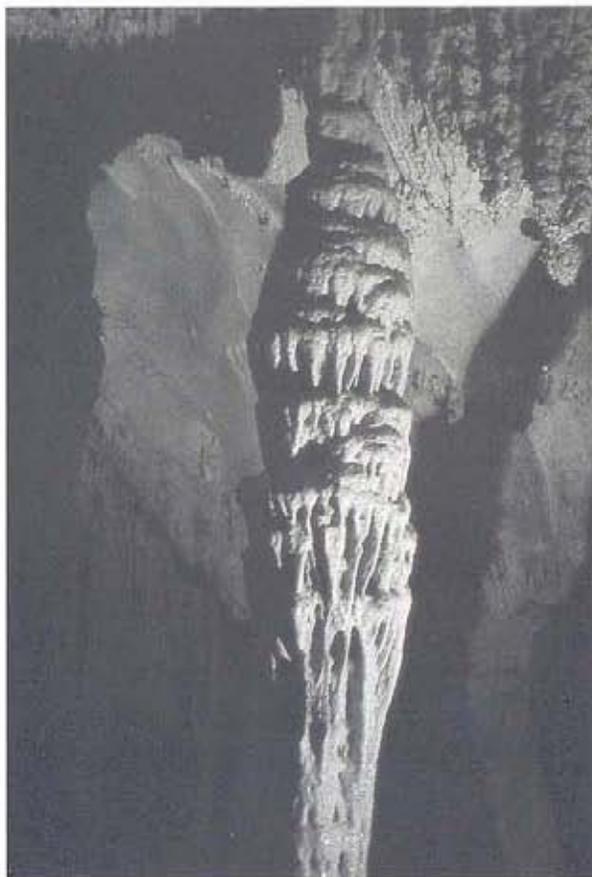


Foto 2: Estalagmita de la Cova Nova de Son Lluís (Porreres). Una ressenya de l'exploració d'aquesta cova fou publicada —l'any 1839— per l'escriptor i erudit mallorquí Joaquim M. Bover, en un opuscle que pot ésser considerat com la primera publicació espeleològica sobre l'illa de Mallorca.

Photo 2: Stalagmite from Cova Nova de Son Lluís (Porreres). In 1839 the Majorcan writer and scholar Joaquim M. Bover published an article about the exploration of this cave, that may be considered as the first speleological paper on Mallorca.

A Mallorca aquests espeleotemes són molt abundants. Destaquen pel seu valor ornamental les colades de les Coves del Drac i de les Coves de Campanet. A moltes cavitats es troben colades pavimentàries de gran potència que mereixerien estudis espeleocronològics detallats. Amb freqüència les colades recobreixen amuntegaments de blocs inestables, per la qual cosa es produeixen fenòmens d'assentament i de solifluxió que impliquen a vegades desplaçaments de varis metres. Aquest és el cas de les Coves del Pirata, on s'observen columnes xapades, estalagmites basculades i profundes clivelles en el substrat de blocs i colades (LLOPIS-LLADÓ & THOMAS-CASAJUANA, 1948; GINÉS & GINÉS, 1976).

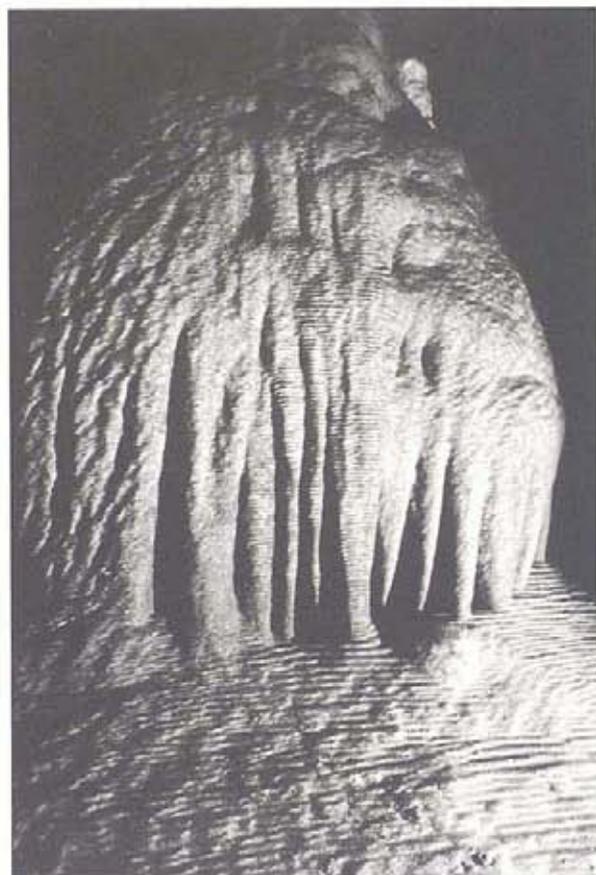


Foto 3: Colada estalagmítica amb microgours, en la galeria principal de la Cova des Estudiants (Sóller).

Photo 3: Stalagmitic flowstone with microgours in the main passage of Cova des Estudiants (Sóller).

Estalactites excèntriques, helictites i escuts

Als sòtils de les coves molts d'espeleotemes creixen en direccions erràtiques i aparentment a l'atzar. WHITE (1976) explica la formació d'estalactites

Cova de Cornavaques. Probably, a certain statistical correlation between the pluviometry of the cave locality and the dominant stalagmite typology could be established, but this work is still to be undertaken.

As the columns are just the result of the union of stalactites and stalagmites they are quite abundant too. Among the best columns sets we could quote the ones from the first chambers of Coves d'Artà.

Parietal and paving flowstones

When infiltration waters run on the walls or over the floor of the caves, remaining oversaturated along their way, they produce a set of speleothems named flowstones (Photo 3). Their growth originates from the flow of small water currents frequently generated at the foot of stalagmites or where the dripping waters are collected. The crystal orientation is perpendicular to the flowstone growing surface, so that its internal structure shows a characteristic layering which permits good stratigraphic interpretations. The parietal or wall covering flowstones usually have mimetic features resembling organ pipes, trees and cascades, thus constituting important elements of decoration inside the touristic show caves.

In Mallorca this kind of speleothems is very common. The flowstones from Coves del Drac and Coves de Campanet could be highlighted for their ornamental value. In many cavities can be found paving flowstones of high thickness and, in some cases, a detailed speleochronological study of them would be worthy. Often, flowstones cover unstable block pile-ups, being affected by subsidence movements and solifluction phenomena in the ground-floor that sometimes cause a displacement of a few meters. This is the case of Coves del Pirata, where broken columns, tilted stalagmites and deep cracks affecting the substratum of boulders and flowstones can be observed (LLOPIS-LLADÓ & THOMAS-CASAJUANA, 1948; GINÉS & GINÉS, 1976).

Eccentric speleothems, helictites and shields

At the cave ceilings many speleothems grow in an erratic way and apparently at random directions. WHITE (1976) explains the eccentric stalactites as the result of the predominance of the crystal growing strengths over the hydraulic ones that act vertically favoured by gravity. Almost every researcher agrees that the formation of erratic speleothems requires a water supply so meagre as to prevent the formation of drops. However, the specific genetic mechanisms involved as well as the different morphologies

excèntriques com el resultat del predomini de les forces de creixement dels cristalls sobre les forces hidràuliques que actuen verticalment a favor de la gravetat. Quasi tots els investigadors coincideixen que la generació d'espeleotemes erràtics requereix que el flux d'aigua sigui suficientment escàs com per impedir la formació de gotes. No obstant, els mecanismes genètics concrets que intervenen i les diferents morfologies que es produeixen dificulten qualsevol intent de sistematitzar breument aquesta classe d'espeleotemes.

Les estalactites excèntriques són comunes a les coves de Mallorca (Foto 1), destacant les espectaculars formacions de les Coves des Hams. MIR & TRIAS (1973) descriuen les grans estalactites excèntriques de la Cova de sa Campana i, per altra part, són nombroses les localitats que posseeixen diversos tipus d'aquestes cristallitzacions. La terminologia que s'utilitza tendeix a ser confusa a causa de la complexitat morfològica i textural que presenten. Són freqüents a les coves mallorquines les petites excèntriques corbades i sinuoses, que es denominen *helictites* a la bibliografia especialitzada.

Altres espeleotemes estalactítics destacables són els *escuts* o *discos*, que creixen a partir de petites aportacions fissurals formant curioses estructures concèntriques. Es troben ocasionalment a les coves de Mallorca, d'entre les quals les Coves d'Artà són les que contenen els millors exemplars.

Espeleotemes generats per aigües de percolació i formacions botrioidals

Les aigües de percolació que traspuen molt lentament a través dels petits porus i intersticis de les parets són les causants d'un conjunt d'espeleotemes característics. A causa de les condicions locals de porositat de la roca i a la influència de factors microclimàtics aquests espeleotemes poden mostrar una gran complexitat. La interferència d'altres processos, incloent-hi el flux per capil·laritat i els esquitxos d'aigua de degoteig, pot contribuir a complicar-ne encara més la gènesi. Alguns autors suggereixen que minúscules polvoritzacions poder ser atrapades pels vèrtexs de certes formacions, col·laborant en el seu creixement.

Els espeleotemes generats per aigües de percolació són relativament freqüents a les coves i avencs de Mallorca, encara que els tipus amb exemplars més destacables, com els finament ramificats que apareixen a la Cova de Garrafa, al Bufador de Solleric o a la Cova des Mirador, només es troben de manera ocasional. Alguns d'ells, denominats *espeleotemes botrioidals*, es presenten com a protuberàncies globulars i llises, aïllades o arraïmades i d'aspecte coral·loide; formes d'aquest tipus creixen a les parets

produced make it difficult to elaborate a brief classification of these types of speleothems.

The eccentric stalactites are common in Majorcan caves (Photo 1), being outstanding the spectacular formations from Coves des Hams. MIR & TRIAS (1973) described huge eccentric stalactites from Cova de sa Campana. Apart from those caves, there are a lot of places where such crystallization forms can be found. The terminology used tends to be confusing due to the morphological and textural complexity of these features. In Mallorca there are frequently found small eccentric speleothems curved and winding, designated as helictites in the specialized bibliography.

The shields or discs are other remarkable stalactitic speleothems which grow from tiny fissural supplies and form oval or circular concentric structures that are occasionally found in the Majorcan caves; as the outstanding examples from Coves d'Artà.

Speleothems generated by seeping waters and botryoidal forms

The seeping water that percolates very slowly through the narrow pores and microfissures of the cave walls produces a set of characteristic speleothems. As a consequence of the local conditions of rock porosity and due to the influence of microclimatic factors these speleothems can get to be highly complex. The interference of other processes, including the sliding of thin water layers and the dripping water splash, can easily contribute to make the genesis even more complicated. Some authors suggest that minute aerosol particles could be trapped by the small sharp points of certain formations, thus accelerating their growth.

The speleothems generated by seepage waters are relatively frequent within the caves and shafts of Mallorca. However, the best represented types as those finely ramified coralloids from Cova de Garrafa, Bufador de Solleric or Cova des Mirador are just occasionally found. Some of them, named botryoidal speleothems, happen to be rather branched globular and smooth protuberances, isolated or clustered as grapefruit; this kind of knobstone grows on the walls and floors of Coves de Gènova. Others, normally associated to air circulation, produce coarse and irregular coatings that align themselves in almost horizontal bands on the walls of some caves. This anemolithic features are rather rare in Mallorca, but good examples can yet be seen in Avenc de Fra Rafel and in Cova de sa Campana.

i als sòls de les Coves de Gènova. D'altres, associades generalment amb circulacions d'aire, produeixen recobriments aspres i irregulars que es disposen en bandes quasi horitzontals sobre les parets d'algunes cavitats. Aquestes formacions anemolítiques són rares a Mallorca, però n'hi ha bons exemples a l'Avenc de Fra Rafel i a la Cova de sa Campana.

Gours i espeleotemes subaquàtics

Els *gours* són espeleotemes còncaus que posseeixen una paret subvertical, o extraplomada a contrapendent, on es pot embassar l'aigua que flueix amb lentitud sobre el paviment de les coves. Les seves dimensions són extremadament diverses, ja que abracen des de minúsculs microgours de a penes un centímetre de longitud fins a gours gegants que arriben a varis metres. En el seu interior, el fons i les parets apareixen recoberts per espeleotemes subaquàtics d'aspecte coral·loide, i amb freqüència s'observen acumulacions de calcita flotant. El creixement en volum dels gours es produeix a partir del nivell en què l'aigua vessa, ja que l'emissió de diòxid de carboni es veu potenciada a la vorera per on cau l'aigua amb la qual cosa aquesta augmenta progressivament la seva altura. Mentrestant, si les aigües que s'estanquen al gour estan molt sobresaturades de bicarbonat càlcic, la concavitat tendeix a farcir-se de cristallitzacions subaquàtiques.

Molts de gours estan associats amb la formació i desenvolupament de colades pavimentàries. El flux de primes làmines d'aigua i les oscil·lacions del règim amb què aquestes circulen sobre la superfície de les colades són factors determinants per a la seva formació (BATLLE, 1973). També es poden engendrar gours en el llit de rius subterranis i fins i tot a l'exterior, sempre que l'aigua circulant estigui sobresaturada. Els gours són espeleotemes comuns a Mallorca, tant a les coves i avencs de la Serra de Tramuntana com a les cavernes de la comarca del Migjorn. En tots els casos es tracta d'espeleotemes pavimentaris que recobreixen colades o petites depressions on s'acumula aigua de degoteig i d'escorrentia. Excel·lents exemples de gours es poden observar a la Cova de sa Campana i a la Cova de Can Sion.

Les cristallitzacions subaquàtiques es caracteritzen per presentar superfícies rugoses, amb cares cristallines prominents que mostren cristalls de calcita ben desenvolupats. El seu creixement es realitza per davall del nivell que ocupen localment les aigües i en condicions de sobresaturació que provoquen la precipitació del carbonat càlcic. A les coves mallorquines són espeleotemes ocasionals, donat que d'una manera quasi exclusiva estan localitzats a l'interior de gours (si s'exceptuen els espeleotemes freà-

Rimstone dams and subaqueous speleothems

The rimstone dams or gours are concave speleothems showing a subvertical wall that frequently overhangs against the slope direction, where the water that flows slowly on the pavement of the caves can be retained. They can be of an extremely wide range of dimensions: from minute microgours of hardly one centimeter long to gigantic gours of several meters. Inside the gours, on their bottom and walls, there are covers of subaqueous speleothems of coralloidal appearance, and also accumulations of calcite rafts are often found. The growth in volume of the gours is produced from the water overflowing level, as the carbon dioxide detachment is enhanced in the rim of the dam which height, thus, becomes progressively bigger. Meanwhile, if the waters retained inside the rimstone dam are oversaturated in calcium bicarbonate the concavity tends to be filled with subaqueous crystallizations.

Many rimstone dams are associated to the growth of flowstone over the cave floors. The running of thin water sheets and their oscillating pulses upon the flowstone surface are in the end determinant for the formation of rimstone dams (BATLLE, 1973). Moreover, the gours can be originated on the bottom of subterranean streams and even in exokarstic rivers, provided that the circulating waters are oversaturated. The rimstone dams are quite common in Mallorca not only within the caves and shafts of the Serra de Tramuntana mountains but also in the caverns of the Migjorn region. All of them are paving speleothems that cover flowstones or small depressions where dripping and trickles of cave waters accumulate. In Cova de sa Campana and Cova de Can Sion excellent examples of rimstone dams can be observed.

The subaqueous crystallizations are characterized by rough surfaces with prominent crystalline faces showing well-developed calcite crystals. Their growth takes place below the water level and under the oversaturation conditions that provoke the calcium carbonate precipitation. In Majorcan caves they are just occasional speleothems (with the exception of the coastal phreatic ones) as they are nearly always located inside rimstone dams. The subaqueous speleothems are very beautiful despite their small size.

The pisolithic concretions are an interesting kind of subaquatic speleothems, just occasionally found in Mallorca. There are some papers written on them, being noteworthy that by AUROUX (1985).

tics costaners). Es tracta d'espeleotemes de gran bellesa, però les dimensions dels quals són petites.

Una interessant varietat d'espeleotemes subaquàtics són les concrecions pisolítics, que només ocasionalment es troben a Mallorca. Han estat objecte d'alguns estudis, entre els que destaca el d'AUROUX (1985).

Cristal·litzacions freàtiques costaneres

Les àrees càrstiques litorals de l'illa de Mallorca contenen nombroses coves que estan parcialment inundades per aigües freàtiques salobres. Es tracta d'un medi freàtic litoral, controlat pel nivell marí, on es registren fluctuacions periòdiques del pla de les aigües d'una manera compassada amb les oscil·lacions que experimenta la superfície de la mar. La inundació parcial d'aquestes cavernes costaneres crea llacs subterranis que poden assolir dimensions notables, com succeeix amb el Llac Miramar de les Coves del Drac.

Una considerable varietat d'espeleotemes subaquàtics apareix associada amb aquest ambient geològic singular (GINÉS & GINÉS, 1974) (Foto 4). Són comunes les cristal·litzacions freàtiques de calcita i aragonita situades per damunt dels actuals llacs salobres (POMAR *et al.*, 1976; GINÉS *et al.*, 1981). A les bandes horitzontals, que aquests espeleotemes conformen, hi queden registrades les cotes d'anteriors nivells d'estabilització del nivell marí corresponents a etapes interglaciàries (GINÉS & GINÉS, 1974). També s'observa amb freqüència la formació de calcita flotant sobre la superfície dels llacs (POMAR *et al.*, 1975), així com la presència d'engrossiments característics entorn d'estalactites o d'estalagmites situades dins de la banda de fluctuació actual del pla de les aigües (POMAR *et al.*, 1979). Aquests fenòmens de deposició de carbonats pareixen haver estat bastant comuns des del Pleistocè mitjà fins a l'actualitat i estan essent objecte de datacions i d'estudis petrològics detallats (Foto 5).

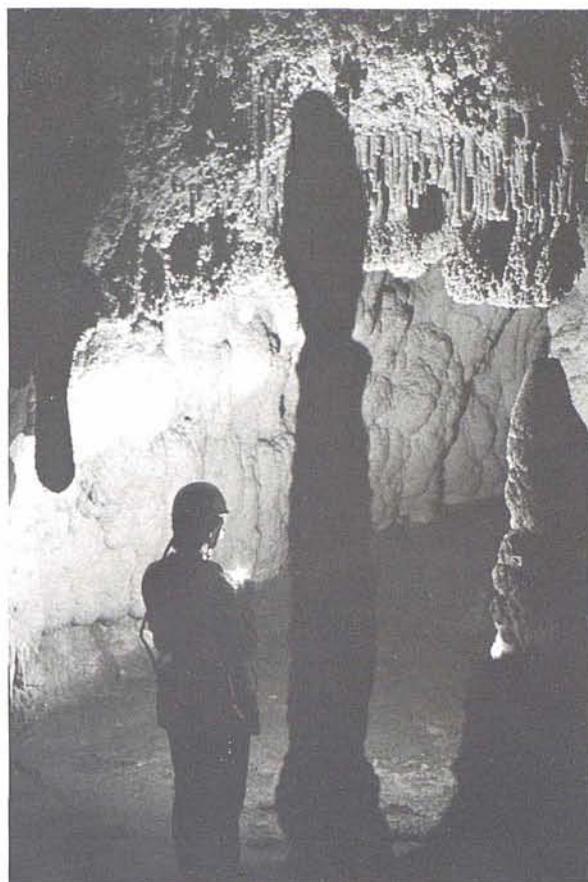


Foto 4: Vista d'un sector de la Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia); es tracta d'una important cavitat costanera en la que abunden els espeleotemes, tant freàtics com subaeris.

Photo 4: View of a chamber from Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia), a littoral karstic cave where both phreatic and aerial speleothems are remarkably abundant.

Coastal phreatic crystallizations

The littoral karstic areas of Mallorca present many caves partially drowned by brackish waters. This happens to be a coastal phreatic environment controlled by the sea level where periodical water

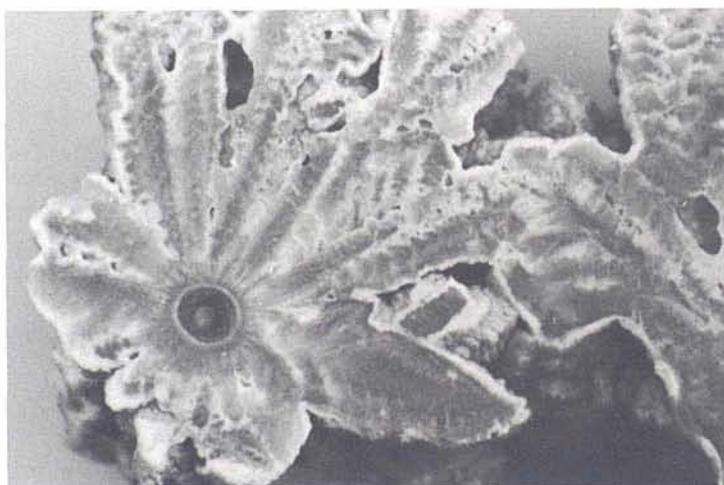


Foto 5: Secció transversal d'unes estalactites amb sobrecreixements freàtics, corresponents a un paleonivell marí enregistrat en la localitat costanera de la Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia). Datacions realitzades sobre un fragment d'aquesta mostra han proporcionat edats superiors als 350.000 anys.

Photo 5: Transversal section of stalactites with phreatic overgrowths, corresponding to a sea paleolevel recorded inside the coastal locality of Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia). Datings carried out on a fragment of this sample have shown ages over 350.000 years.

A grans trets, les cristal·litacions freàtiques costaneres presenten una aparença semblant a les d'altres espeleotemes subaquàtics, però la seva varietat morfològica i textural és notable. POMAR *et al.* (1976) les classifiquen en tres tipus: llises, rugoses i angulosos; estant constituïdes les primeres d'elles per aragonita (Foto 6) i les restants per calcita.

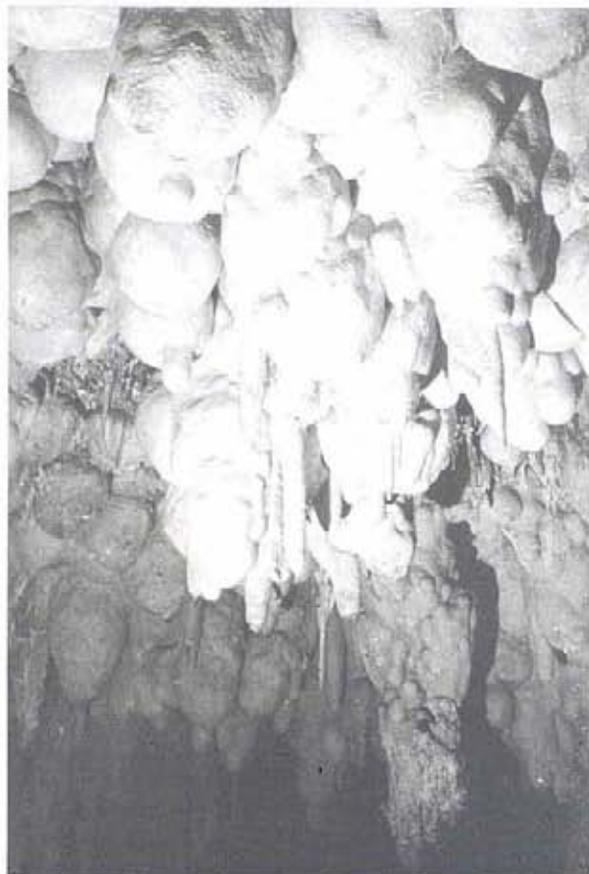


Foto 6: Conjunt d'espeleotemes freàtics d'aragonita, que recobreixen els sostres de la Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia) a una alçada aproximada de 6 metres per damunt de l'actual nivell marí.

Photo 6: Assemblages of aragonite phreatic speleothems covering the ceilings of Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia), approximately 6 meters above the current sea level.

La majoria de les cristal·litacions freàtiques formen sobrecreixements d'aspecte boterut al voltant d'altres espeleotemes preexistents, com els que es poden observar a les Coves del Drac o a la Cova des Pont. En molts de casos, especialment quan el recobriment es desenvolupa sobre estalactites, les morfologies originals dels espeleotemes poden veure's fortament modificades, com ocorre a la Cova de na Mitjana. Altres sobrecreixements es disposen d'una manera anular, rodejant estalagmites i columnes. Ocasionalment també queden englobades petites làmines de calcita flotant. Són destacables els cons de la Cova de sa Bassa Blanca, que semblen estalag-

oscillations, adjusted to the sea level changes, take place. The partial drowning of such coastal caverns creates subterranean pools that sometimes reach great dimensions as the Llac Martel from Coves del Drac.

*A great number of different subaqueous speleothems seems to be associated to this singular geochemical environment (GINÉS & GINÉS, 1974). Phreatic crystallizations of calcite and aragonite over the level of present day brackish ponds are common (POMAR *et al.*, 1976; GINÉS *et al.*, 1981) (Photo 4). Through the bands of speleothems marked by them, former marine levels of stabilization corresponding to the interglacial periods are recorded. The formation of calcite rafts on the surface of these cave pools is often found too (POMAR *et al.*, 1975), as well as some characteristic overgrowths developed around those stalagmites or stalactites situated on the current fluctuation range of the water-table (POMAR *et al.*, 1979). These carbonate depositional processes have been quite common since the middle Pleistocene, and today they are being the subject of datings with Uranium series and detailed petrological works (Photo 5).*

*Generally speaking, the coastal phreatic crystallizations are similar to other subaqueous speleothems, but their morphological and textural range are more remarkable. According to POMAR *et al.* (1976) they can be classified in three types: smooth, coralloidal and crystal spikes; the first being aragonitic (Photo 6) and the rest calcitic.*

Most of the phreatic crystallizations overgrow around pre-existent speleothems adopting bulky forms, as those from Coves del Drac and Cova des Pont. In many cases, as in Cova de na Mitjana, especially when the overgrowth coating appears on stalactites, the original speleothems morphology can be greatly modified. Sometimes, the coating are belt-like around stalagmites and columns. Occasionally, some floating calcite rafts are also trapped. The impressive cave cones from Cova de sa Bassa Blanca, similar but not analogue to very sharp stalagmites, are outstanding examples of such accumulations of floating cemented calcite (Photo 7).

Although it still remains a lot to be known about the geochemistry of the coastal karsts where carbonate precipitation takes place, it looks certain that the phreatic speleothems are originated mainly along the oscillation range, usually 50 cm high, of such subterranean pools. Other phreatic speleothems may prove that the phreatic coatings can be produced even several decimeters below the water-table. In both cases the proximity to the pool surface favours the precipitation processes as the carbon dioxide degassing occurs easily throughout the water surface. So, as a consequence of the readjustment of the chemical equilibrium of phreatic waters, the zone close to the air-water interphase tends to be oversaturated.

mites punxegudes però que estan construïts per acumulacions de calcita flotant cimentada (Foto 7).

Encara que és necessari millorar el coneixement de la geoquímica dels carsts litorals en els quals tenen lloc aquests processos de precipitació de carbonats, pareix que la formació d'espeleotemes freàtics es localitza principalment dins de la banda d'oscil·lació d'aquests llacs subterranis, que abraça una amplitud del voltant de 50 cm. Altres espeleotemes freàtics suggereixen que el sobrecreixement pot produir-se fins a varis decímetres per davall del pla de les aigües. En ambdós casos els processos de precipitació es veuen afavorits per la proximitat a la superfície del llac, lloc on l'escapada de diòxid de carboni es realitza amb més facilitat. Per aquesta raó la zona propera a la interfase aire-aigua tendeix a trobar-se sobresaturada, com a conseqüència dels reajustaments que es produeixen en l'equilibri químic d'aquestes aigües freàtiques.

Principals processos de formació d'espeleotemes a Mallorca

Les condicions físico-químiques que caracteritzen l'endocarst mallorquí són molt aptes per a la formació d'importants dipòsits d'espeleotemes. El marc bioclimàtic recent afavoreix, en termes generals, l'actuació dels processos generadors d'espeleotemes. Endemés, les datacions disponibles demostren que al llarg del Quaternari aquests processos han estat actius i fins i tot intensos.

La marcada diferenciació litològica existent entre les calcarenites miocenes, les dolomies triàsiques i les calcàries massives liàsiques i burdigalianes es manifesta en mecanismes de permeabilitat i vies d'infiltració de l'aigua molt diversos. Per altra part, la considerable diversitat topogràfica de les cavitats illenques dona lloc a múltiples ambients que posseeixen microclimes particulars. Per això, la varietat de condicions en què arriben a les coves les substàncies que viatgen dissoltes a les aigües de percolació, i la varietat de condicions en què aquestes poden desprendre diòxid de carboni (i excepcionalment vapor d'aigua, per evaporació) a l'atmosfera subterrània més immediata, expliquen la riquesa de tipus d'espeleotemes que s'observen a les coves mallorquines.

Predominen els espeleotemes formats per aigües de degoteig (estalactites, estalagmites, columnes) i aquells generats pel flux de petits corrents laminars d'aigua (colades parietals, colades pavimentàries i gours). També són comuns els espeleotemes generats pel lent aflorament d'aigües de percolació (estalactites excèntriques, helictites, anemolites, formacions botrioidals). Entre els espeleotemes subaquàtics de la zona d'infiltració és pos-

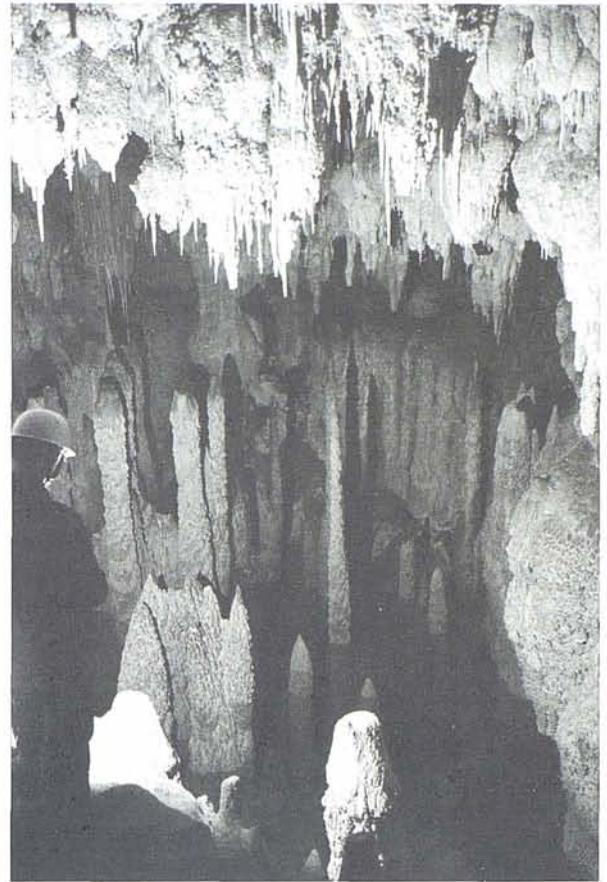


Foto 7: Espeleotemes còncics formats en condicions freàtiques, emergint d'un petit llac d'aigües salobres en la Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia).

Photo 7: Conical speleothems formed under phreatic conditions, emerging from a small brackish pool in Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia).

Major processes of speleothem formation in Mallorca

The physico-chemical conditions that prevail in the Majorcan endokarst are really suitable for the development of important speleothem deposits. The recent bioclimatic context favours, in general terms, the presence of the processes that generate speleothems. Moreover, available datings demonstrate that these processes have been active and even intense throughout the Quaternary.

The obvious lithological differentiation among the Miocene calcarenites, the Triassic dolomites and the massive Liassic and Burdigalian limestone rocks is displayed in rather diversified permeability mechanisms and infiltration paths. Furthermore, the great topographical diversity of Majorcan caves gives rise to numerous environments showing particular microclimates. Therefore, the varied conditions under which the substances dissolved in the infiltration waters reach the caves, as well as the different circumstances in which carbon dioxide is detached

sible trobar-hi nombroses varietats de tamany modest, encara que la seva presència és tan sols ocasional. Pel contrari, són freqüents els espeleotemes freàtics a coves properes a la línia de costa, on formen interessants revestiments de calcita i aragonita d'aspecte coral-loide o globular, respectivament.

Els espeleotemes de les cavitats de Mallorca es caracteritzen per la seva abundància quantitativa, la seva notable diversitat tipològica, la relativa pobresa en espècies minerals i el clar predomini de morfologies que denoten aportacions d'infiltració moderades o fins i tot escasses.

Agraïment

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

(and, exceptionally, water is lost by evaporation) to the cave atmosphere, explain the abundance of speleothem types in the caves of Mallorca.

The speleothems produced by dripping waters (stalactites, stalagmites and columns) and those generated by slight water currents (wall and paving flowstones, and rimstone dams) are predominant. The speleothems generated by the seeping waters coming slowly to the cave walls (eccentric stalactites, helictites, anemolites, botryoidal features) are also common. Among the subaquatic speleothems from the vadose zone it can be occasionally found a varied group of items of modest size. On the contrary, the phreatic speleothems are quite frequent in the caves located near the shoreline, where they form interesting calcite and aragonite coverings, coralloidal and globular respectively.

The speleothems of Majorcan caves and shafts are characterized by their abundance, their noteworthy typological diversity, their relative lack of mineral species and the predominance of features revealing moderate or even scarce infiltration supply.

Acknowledgement

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

Bibliografia / References

- AUROUX, L. (1985): Concreciones pisolíticas en cavidades de Mallorca. *Endins*. 10-11 : 27-31. Palma de Mallorca.
- BATLLE, A. (1973): Notes sobre la litogènesi de la Cova de Can Bordils. *Comunicacions III Simp. Espeleologia*. 314-320. Mataró.
- FOURMARIER, P. (1926): Quelques observations sur l'ornamentation naturelle de deux grottes de l'île de Majorque. *Ann. Soc. Géol. Belgique*. 49 : 320-322. Liège.
- 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. Baleares*. 19 : 11-28. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1976): Ses Coves del Pirata. *Endins*. 3 : 41-45. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J.; GINÉS, A. & POMAR, L. (1981): Morphological and mineralogical features of phreatic speleothems occurring in coastal caves of Majorca (Spain). *Proceed. Eighth Internat. Congress of Speleology*. 529-532. Bowling Green.
- HILL, C.A. & FORTI, P. (1986): *Cave minerals of the World*. National Speleological Society. 238 pàgs. Huntsville.
- LLOPIS-LLADÓ, N. & THOMAS-CASAJUANA, J.M. (1948): La hidrología cárstica de los alrededores de Campanet. *Miscelánea Almera*. 7 : 39-60. Barcelona.
- MIR, F. & TRIAS, M. (1973): Sobre el karst de la Cova de sa Campana i les seves concrecions excèntriques. *Comunicacions III Simp. Espeleologia*. 53-70. Mataró.
- POMAR, L.; GINÉS, A.; GINÉS, J.; MOYÀ, G. & RAMÓN, G. (1975): Nota previa sobre la petrología y mineralogía de la calcita flotante de algunas cavidades del Levante mallorquín. *Endins*. 2 : 3-5. Palma de Mallorca.
- 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.
- SWEETING, M.M. (1972): *Karst Landforms*. McMillan Press. 362 pàgs. London.
- WHITE, W.B. (1976): Cave minerals and speleothems. In: FORD, T.D. & CULLINGFORD, C.H.D. (Eds.): *The science of Speleology*. Academic Press. 267-327. London.
- ZHU, X. (1988): *Guilin karst / Secondary chemical depositional forms (speleothems) in caves*. Shanghai Scient. & Techn. Publishers. 188 pàgs. Shanghai.

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 demostren 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 reblliments 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

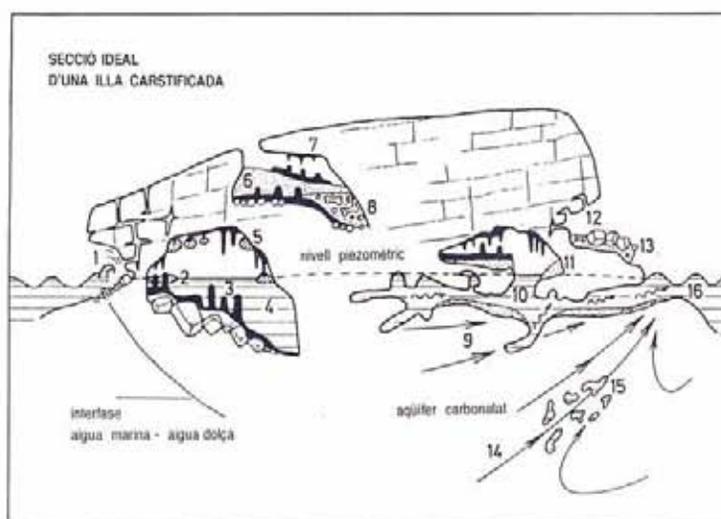


Figure 1: Interactions between karstification and littoral landforms evolution, which are interesting for the achievement of speleochronological studies.

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.

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.

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 endocarst 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.

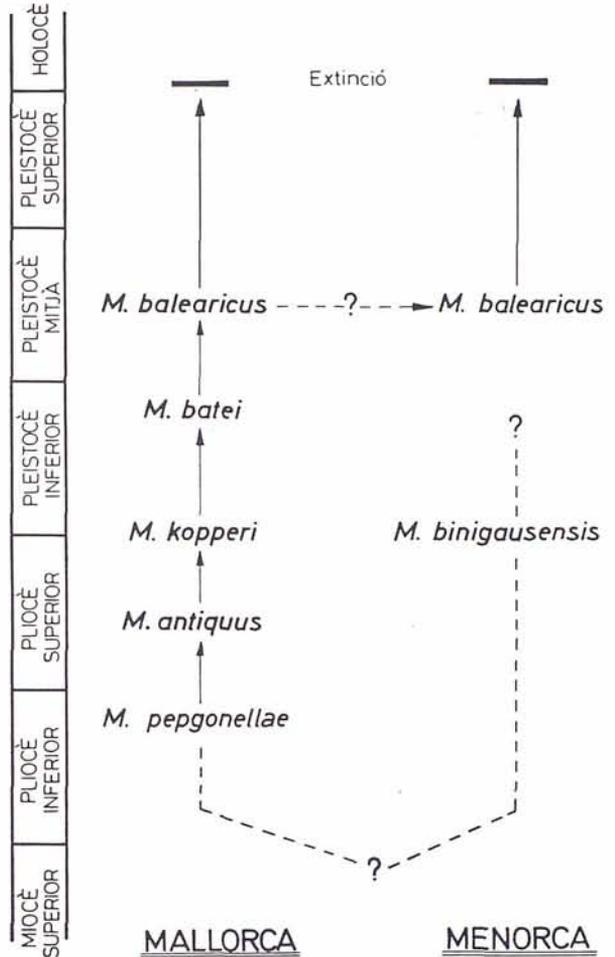


Figura 2: Probables línies evolutives del gènere *Myotragus*, a les illes de Mallorca i Menorca (segons ALCOVER *et al.*, 1981).

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.

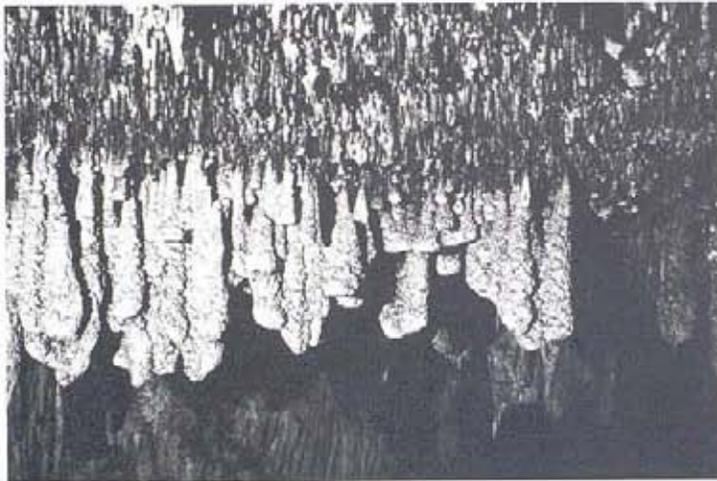


Foto 2:
Espeleotemes freàtics a les Coves del Drac (Manacor), que enregistren un nivell marí del Pleistocè superior.

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).

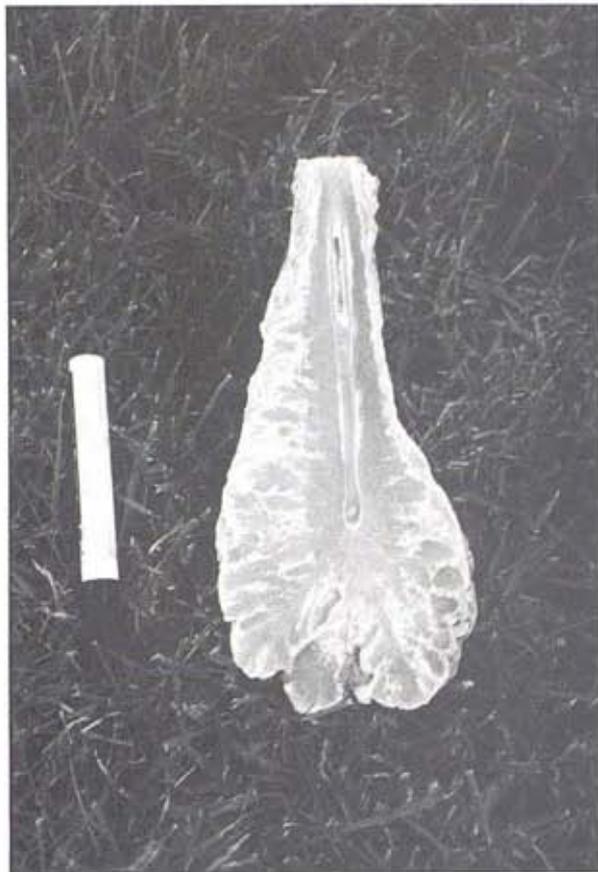


Foto 3: Secció d'un espeleotema freàtic procedent de les Coves del Drac (Manacor). Observi's l'estalactita aèria que serveix de suport al sobrecreixement cristal·lí subaquàtic.

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

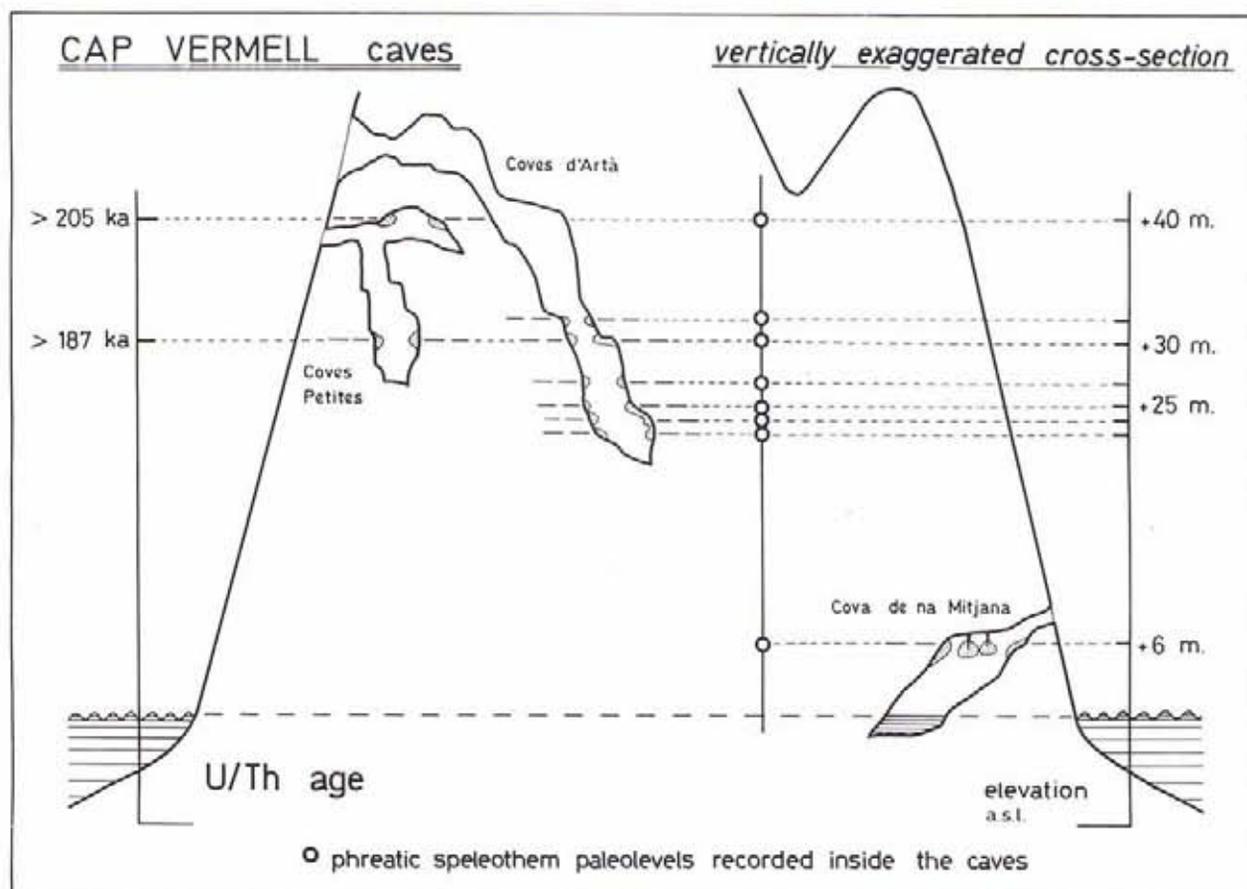


Figura 3: Alineacions horitzontals d'espeleotemes freàtics presents en les cavitats del Cap Vermell (Capdepera), representades sobre una secció transversal exagerada verticalment. Aquests dipòsits són un excel·lent registre dels paleonivells de la mar Mediterrània corresponents a episodis interglacials 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'espeleocronologia 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-

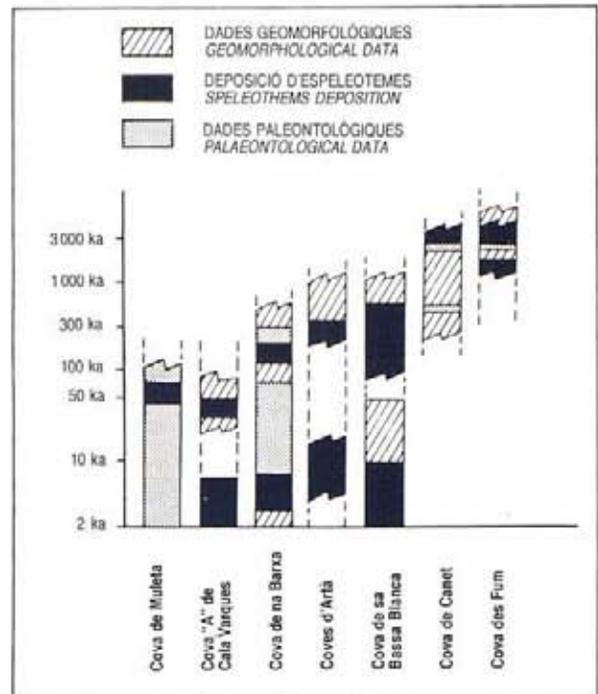


Figura 4: Representació gràfica que integra les dades espeleocronològiques subministrades per algunes coves significatives de Mallorca.

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

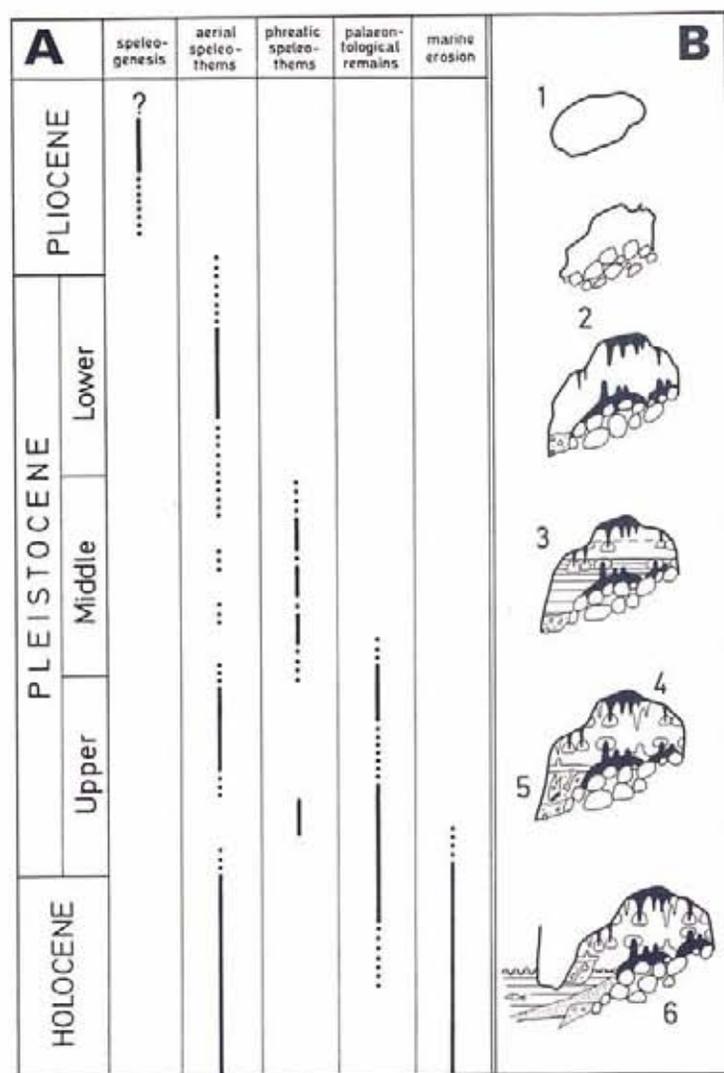


Figura 5:

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.

EL PALEOCARST A MALLORCA PALEOKARST IN MALLORCA

Joan J. FORNÓS¹, Àngel GINÉS², Joaquín GINÉS¹ & Antonio RODRÍGUEZ-PEREA¹

Resum

Els dipòsits que conformen l'illa de Mallorca són roques carbonatades en una proporció del tot majoritària, principalment calcàries i dolomies. La forta tectonització soferta per aquests materials dins de la complexa estructuració que ha afectat la Mediterrània occidental (com a part del Tethys) des dels inicis de l'era mesozoica, ha propiciat al llarg dels temps geològics diverses etapes d'emersió dels materials carbonatats que han donat lloc al desenvolupament d'importants fenòmens paleocàrstics. Entre aquests períodes destaca —a part de puntuals emersions d'edat intrajuràssica— la fi del Cretaci i el començament del Paleogen, quan va tenir lloc la carstificació de bona part de les calcàries del Juràssic inferior. Aquest paleocarst desenvolupat bàsicament sobre el Lias, així com el desenvolupat al Miocè superior i que afecta les calcàries esculloses del Miocè terminal, són els exemples més espectaculars que poden ser estudiats a Mallorca.

Abstract

The deposits building up the island of Mallorca are nearly on the whole of limestone and dolomite lithologies. These materials underwent a strong tectonization due to the complex structuration that affected the western Mediterranean (as part of the Tethys) since the beginning of the Mesozoic era. These processes have propitiated, throughout the geological times, some events of emersion of the carbonate materials, which have given way to the development of important paleokarstic phenomena. Among these periods —apart from eventual emersions of intrajurassic age— the final Cretaceous and most of the Paleogene stand out, when great part of the Lower Jurassic limestones were karstified. Such paleokarsts developed basically on Lias deposits, as well as that formed during the Upper Miocene, which affected the reefal limestones from the terminal Miocene, are the most spectacular examples to be studied in Mallorca.

Introducció

Els estudis sobre el paleocarst a Mallorca són escassos, malgrat els abundants exemples que hi ha en la columna estratigràfica present a l'illa (Figura 1) així com els bons afloraments en què són representats. Es tracta tan sols d'estudis puntuals que no aborden la problemàtica regional més que d'una forma marginal. La falta de mineralitzacions de certa consideració, com puguin ser dipòsits de baritina, fluorita o bauxites associades al paleocarst, així com l'escàs interès petrolífer de Mallorca, expliquen en gran me-

Introduction

Studies on Majorcan paleokarst are scarce considering both the abundant cases present in the stratigraphic column of the island (Figure 1) and the good outcrops represented in it. There are only isolated studies which merely deal with regional problematics. The absence of outstanding mineralizations, such as baritine, fluorite or bauxite deposits associated to paleokarst, as well as the low interest in the oil-bearing rocks of Mallorca, are certainly the main reasons for the scarcity of studies on the diverse karstification events.

The structuration that affected the Balearic archipelago provoked several periods of emersion that allowed successive karstification processes and karst fossilization phenomena to occur. The

¹ Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Ctra de Valldemossa km 7,5. E-07071 Palma de Mallorca.

² Museu Balear de Ciències Naturals. Ctra Palma - Port de Sóller km 30. E-07100 Sóller (Mallorca).

sura aquesta manca d'estudis sobre els diversos episodis de carstificació que afecten els dipòsits que afloren a la major de les Illes Balears.

La forta estructuració tectònica que ha afectat l'arxipèlag Balear ha ocasionat diversos períodes d'emersió donant lloc a successius processos de carstificació i, fins i tot, de fossilització del carst. Les morfologies i els reompliments de les cavitats, així com les litologies i la geometria dels cossos sedimentaris relacionats, mostren un ampli ventall de fenòmens disposats al llarg de tota la seqüència sedimentària, en la qual les calcàries hi són àmpliament representades.

morphologies and fillings of the cavities as well as the lithologies and geometry of the related sedimentary bodies show a wide range of phenomena all along the sedimentary sequence, in which limestones are widely represented.

In the present paper we discuss two cases which have been studied more accurately. They are two representative examples of the paleokarstic phenomena involving the carbonate deposits of Mallorca. The first one is represented in the Jurassic limestones (FORNÓS et al., 1986/87) and the second one affects the reef deposits from the Upper Miocene (FORNÓS et al., 1989).

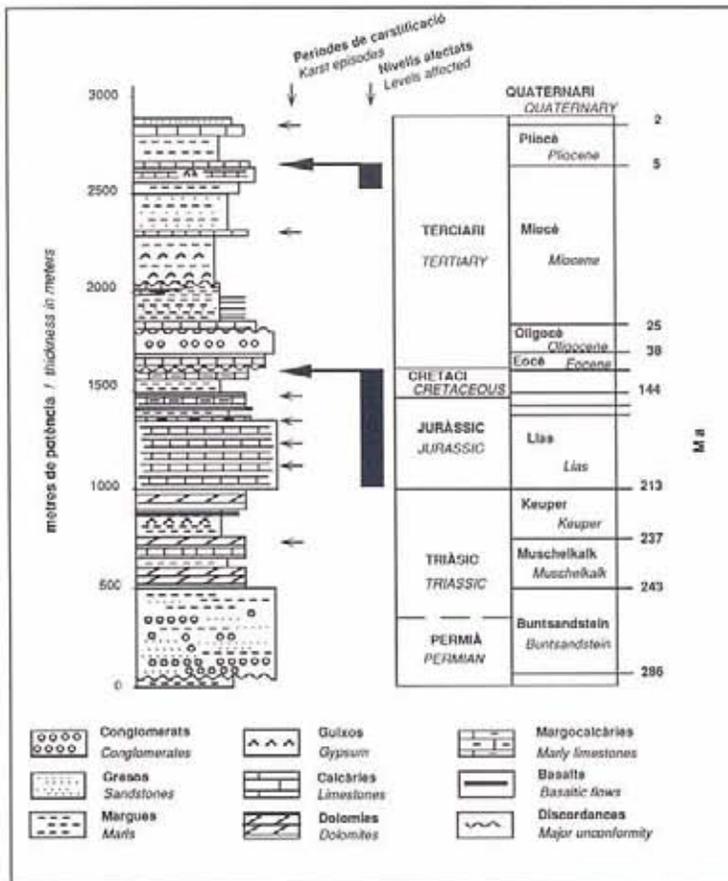


Figura 1: Columna litoestratigràfica sintètica de Mallorca amb indicació (fletxes) dels principals episodis de carstificació i principals nivells afectats.

Figure 1: Synthetic lithostratigraphical column of Mallorca showing the main karstification episodes and levels affected.

En el present treball es presenten dos casos que s'han estudiat amb més detall. Es tracta de dos exemples representatius dels fenòmens paleocàrstics que afecten els dipòsits carbonatats de Mallorca. El primer es troba representat a les calcàries corresponents al Juràssic (FORNÓS et al., 1986/87), i el segon afecta els dipòsits escullosos del Miocè superior (FORNÓS et al., 1989).

Mallorca, la més gran de les Illes Balears, es troba emmarcada dins de la complexa estructuració tectònica d'edat alpina que va afectar la Mediterrània occidental. Des d'un punt de vista geomorfològic s'hi diferencien dues serralades separades per una zona central deprimida. La més important, la Serra de Tramuntana amb elevacions superiors als 1.000 m, pre-

Mallorca, the biggest of the Balearic Islands, is immersed within the complex alpine tectonic structuration that once affected the western Mediterranean. From the geomorphological point of view, two mountain ranges and a flat area, El Pla, can be differentiated. The most important range, Serra de Tramuntana, with peaks over 1,000 m, shows a NE-SW direction and a rough relief which delimits the island on its NW edge. On the opposite side, in the SE, the Serres de Llevant display a smoother topography and lower heights in a NNE-SSW alignment. Both ranges are mostly composed of mesozoic deposits folded and thrust towards the NW. They are separated but surrounded by the central plain, El Pla, whose structure is complex and

senta una direcció NE-SW i està formada per relleus abruptes que delimiten l'illa pel NW. A l'altra banda, al SE, les Serres de Llevant presenten uns relleus més suaus i una menor altura, amb una alineació similar NNE-SSW. Totes dues alineacions estan formades en la seva major part per dipòsits d'edat mesozoica, plegats i afectats per una tectònica d'encavalcaments amb una vergència general de moviments vers el NW. Estan separades i a la vegada envoltades per una plana central, coneguda com el Pla, d'estructura complexa i reomplerta en part per dipòsits tabulars post-orogènics que comprenen des del Miocè superior fins el Quaternari.

Paleokarst als dipòsits juràssecs

ESBÓS ESTRATIGRÀFIC

El Juràssic de Mallorca amb una potència global de més de 500 m (Figura 2) presenta dues seqüències ben diferenciades (BARNOLAS, 1984; FORNÓS *et al.*, 1984). La inferior està formada per dolomies, calcàries i bretxes carbonatades que corresponen a dipòsits litorals i de plataforma interna. A la base presenta fàcies estromatolítiques i abundants evaporites que cap al sostre evolucionen a fàcies de plataforma oberta amb presència de margues amb braquiòpodes i ammonits. Aquestes margues estan recobertes per

which is partially filled by post-orogenic tabular deposits that comprise from the Upper Miocene to the Quaternary.

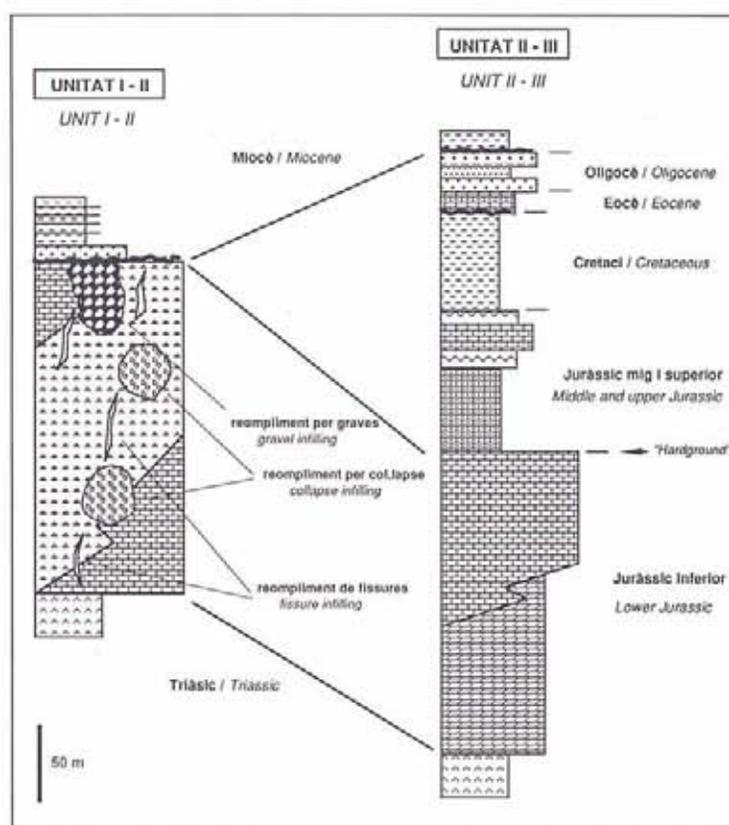
Paleokarst on Jurassic deposits

JURASSIC STRATIGRAPHY

The Jurassic from Mallorca, whose total thickness is over 500 m (Figure 2), presents two well-differentiated sequences (BARNOLAS, 1984; FORNÓS *et al.*, 1984). The lower one is formed by dolomites, limestones and carbonate breccias corresponding to littoral and inner platform deposits. At the base they show stromatolite facies and evaporite moulds which, on the top, become facies of open platform containing marls with brachiopods and ammonites. These marls are covered by a level of reddish and well-rounded quartz sandstones. They constitute a key level which is attributed to the Toarcian (COLOM, 1975). The platform sedimentation ends with the development of a hard ground which gives way to a pelagic sedimentation. The pelagic deposits (the upper sequence) consist of an alternation of marls and marly limestones with levels of chert as well as with calcarenitic and oolite layers resulting from resedimentation processes. They started during the Dogger and gradually became more pelagic (with radiolaria, tintinnids,

Figura 2: Columnes sintètiques del Mesozoic mig i superior i del Terciari de la Serra de Tramuntana de Mallorca, amb indicació de les diverses manifestacions paleokarstiques. Les Unitats I, II i III es refereixen a les principals unitats encavalcants descrites per FALLOT (1922) (SÀBAT, 1986). Veure llegenda a la Figura 1.

Figure 2: Synthetic columns of the Middle and Upper Mesozoic and the Tertiary of the Majorcan Serra de Tramuntana showing the different paleokarstic features. Units I, II and III refer to the main thrust sheets described by FALLOT (1922) (SÀBAT, 1986). See caption of Figure 1.



un nivell de quarsarenites amb els grans de quars ben arrodonits i vermellosos, que constitueixen un bon nivell guia regional atribuït al Toarcià (COLOM, 1975). La sedimentació de plataforma acaba amb el desenvolupament d'un sòl endurit (*hard ground*) que donarà pas a una sedimentació pelàgica. Els dipòsits pelàgics (que corresponen a la seqüència superior) estan formats per una alternança de margues i margocalcàries amb nivells de sílex i indentacions calcarenítiques i oolítiques producte dels processos de re-sedimentació. Aquests dipòsits s'inicien al Dogger i segueixen de forma contínua amb fàcies cada cop més pelàgiques (nivells amb radiolaris, tintínids, presència de sèries condensades tipus *ammonitico rosso*, etc.) fins el Cretaci superior. En aquests moments el procés de formació de la serralada pirinenca produeix l'emersió de l'àrea balear i fins l'Eocè mitjà no hi tornam a trobar cap tipus de registre.

LES CAVITATS I ELS DIPÒSITS DE BRETXES ASSOCIATS

Les cavitats observades en el paleocarst desenvolupat sobre les calcàries juràssiques, bàsicament del Lias, són de tres tipus que endemés es caracteritzen per tipus de reompliment diferents.

Les més grosses, d'ordre decamètric, presenten una geometria irregular pseudo-cilíndrica, amb parets molt llises i netes (Figura 3). Estan reomplertes per bretxes oligomíctiques, heteromètriques (des de blocs d'ordre mètric a matriu llimosa), amb clastos de subarrodonits a subangulosos i sense cap tipus d'ordenació. Localment a la base hi són observables, amb geometria lenticular, calcarenites laminades vermellooses amb grans de quars i insolubles. Des del punt de vista petrogràfic les bretxes del reompliment estan formades per les mateixes litologies que els dipòsits encaixants, que localment poden estar també bretxats. El reompliment doncs es dona principalment pel col·lapse d'aquestes cavitats.

Un segon tipus de cavitats (Figura 4) es troba situat principalment al sostre de la seqüència liàsica. Amb contactes amb la roca encaixant molt nets, presenta parets irregulars, amb geometries pseudocilíndriques de dimensions decamètriques, que al sostre mostren formes de volta relacionades amb les superfícies d'estratificació (*collapse dome*). Aquestes cavitats estan reomplertes de bretxes heteromètriques, encara que no tant com les descrites anteriorment, amb els clastos de subarrodonits a subangulosos. La composició és polimíctica essent reconeixibles materials procedents de la totalitat de la seqüència mesozoica, especialment Lias i Dogger. La matriu és micrítica amb abundància de grans de quars procedents especialment dels nivells de quarsarenites suprajaçants del Toarcià.

El tercer tipus de cavitats correspon a fissures amb amplada d'ordre centimètric, allargades en la vertical (Figura 5), i amb geometries del tot irregulars.

presence of condensed Ammonitico Rosso facies, etc.) until the Upper Cretaceous commenced. By that time, the emersion of the Balearic area had been produced, so that no deposits at all can be found till the Middle Eocene.

CAVITIES AND ASSOCIATED BRECCIA DEPOSITS

Cavities developed on Jurassic limestones (Lower Jurassic in age) are of three types, characterized by different fillings and geometries.

The widest, of decametric scale, show an irregular pseudo-cylindrical geometry with very smooth and neat walls (Figure 3). They appear to be



Figura 3: Aflorament de bretxes de col·lapse monomíctiques que reomplen una cavitat irregular pseudocilíndrica en les calcàries del Lias (sa Calobra, Escorca).

Figure 3: Outcrop of monomictic collapsing breccias filling an irregular pseudocylindrical cavity within the Lias limestones (Sa Calobra, Escorca).

filled by oligomictic breccias of heterogeneous sizes (from boulders of metric scale to silty matrix) containing the whole range from subrounded to subangular clasts and lacking any sorting. At the base, insoluble reddish laminated calcarenites of lenticular geometry with quartz grains can be locally observed. From the petrographical point of view, the



Figura 4: Cavitat al Lias superior reomplerta per materials polimíctics amb formes de volta relacionades amb les superfícies d'estratificació (sa Calobra, Escorca).

Figure 4: Cavity from the Upper Lias filled by polymictic dome-like materials related to stratification surfaces (Sa Calobra, Escorca).

Estan reomplertes d'arenes i llims vermells, localment amb microconglomerats, formats per grans de quars arrodonits vermells procedents també dels nivells toarciens. Localment presenten laminació i granuloclassificació.

DESENVOLUPAMENT I EDAT DEL PALEOCARST

La geometria i el tipus de contactes encaixants de les bretxes dins de la formació carbonatada liàsica són clars indicadors de la seva relació amb cavitats càrstiques. La presència de micrites laminades a la base d'algunes bolsades i l'absència d'espeleotemes indiquen la formació de les cavitats per sota del nivell freàtic; encara que també poden explicar-se per la llarga diagènesi de tot el dipòsit, que en homogeneïtzar-se provoca la seva eventual dissolució. Els tres tipus de cavitats, així com els seus reompliments associats, corresponen a situacions diferents dins del sistema càrstic.

El reompliment per bretxes oligomíctiques que correspon a les cavitats més grans es donaria en les zones més allunyades i més mal comunicades amb l'exterior. La presència de grans blocs, juntament amb clastos de menor mida i arenas, abonaria una gènesi per col·lapse de la cavitat. Les cavitats més ben comunicades amb l'exterior presentarien les bretxes polimíctiques menys heteromètriques i amb un poc més de transport. Les fissures representarien els estadis inicials o juvenils de la porositat. El reduït flux de circulació a través de les fissures només pot donar lloc al reompliment per sediments fins residuals de la dissolució càrstica, així com per alguns elements insolubles procedents de l'exterior (quarsarenites del Toarcià).

El procés de desenvolupament del paleocarst en els dipòsits carbonatats juràssics, amb la important formació d'aquestes masses de bretxes, deu haver-

refilling breccias are composed of the same fitting deposits that can also be brecciated locally. Therefore, the filling is mainly due to the collapsing of such cavities.

Cavities of the second type (Figure 4) are mainly placed on top of the Lias sequence. They show a very clean contact surface with the fitting rock as well as rather irregular walls with pseudocylindrical geometries of decametric dimensions, which on the top show dome-like forms related to the stratification surfaces (collapse dome). These cavities are filled with heterometric breccias, although not to the extent of those described above, composed by clasts of subrounded to subangular shape. Their composition is polymictic and materials from the whole mesozoic sequence, especially Lias and Dogger can be recognized. The matrix is micritic and contains abundant quartz grains which mainly come from Toarcian sandstones.

The third type of cavities corresponds to fissures of centimetric width that appear to be enlarged very irregularly length wise (Figure 5). They are filled by



Figura 5: Reompliment de fissures a les calcàries del Lias per arenas i microconglomerats del Toarcià (sa Calobra, Escorca).

Figure 5: Fissure filling of the Lias limestones by sands and microconglomerates from the Toarcian (Sa Calobra, Escorca).

sands and red silts and, locally, there are microconglomerates formed by red rounded quartz sands coming also from the Toarcian levels. Locally, they present lamination and sorting.

DEVELOPMENT AND AGE OF THE PALEOKARST

Both the geometry and the fitting contacts of the breccias within the Lias carbonate formation clearly reveal their relation with karstic cavities. The presence of laminated micrites at the base of some pockets together with the absence of speleothems may prompt us to assume that the formation of cavities takes place below the phreatic level;

se donat amb posterioritat a la seqüència pelàgica mesozoica ja que són clars i abundants els clastos de materials pelàgics reomplint les cavitats càrstiques. Estudis petrològics de detall a la zona de Pollença (ADAMS, 1989) reconeixen dues etapes de carstificació. No obstant, a partir del coneixement regional sembla clar associar la formació del paleocarst amb el període d'emersió paleocena, ja que a la totalitat de les Balears no s'han trobat materials pertanyents a aquesta edat. Encara que també hi ha una discordança, de menor entitat, entre l'Oligocè i el Miocè, no s'han trobat materials d'edat eocena o oligocena associats als dipòsits de bretxes de reompliment del paleocarst.

Paleocarst al Miocè superior

ESBÓS ESTRATIGRÀFIC

El Miocè superior de Mallorca aflora àmpliament en forma d'una sèrie de plataformes tabulars al voltant dels relleus estructurats i donant un tipus de paisatges que localment es coneixen com a "marines". Aquests afloraments tabulars formen a la línia de costa penya-segats litorals abruptes que, encara que molt continus, rarament superen la trentena de metres d'altura (Figura 6). Les plataformes que aquests



Figura 6: Les calcàries del Miocè superior afloren al llarg del Migjorn de Mallorca, essent molt freqüents els fenòmens de col·lapse càrstic. Els nivells basals a ran de mar corresponen a la Unitat Escullosa, els nivells ben estratificats pertanyen a les Calcàries de Santanyi.

Figure 6: Limestones from the Upper Miocene outcrop all along the Migjorn region in Mallorca, where collapsing karstic phenomena took place. The basal materials at sea level correspond to the Reefal Unit, whereas the well-stratified levels correspond to the Santanyi Limestones Unit.

dipòsits post-orogènics configuren estan solcades per torrents que en arribar a la línia de costa formen les típiques morfologies litorals conegudes com a cales. La continuïtat i elevada qualitat dels afloraments costaners permeten l'estudi d'aquests dipòsits i dels processos que els han afectat, encara que en direc-

nevertheless, they could be also due to the long diagenesis undergone by the whole deposit which, when becoming homogeneous, might have provoked its own eventual dissolution. The three types of cavities as well as their associated fillings correspond to different situations regarding the karstic system.

The process of refilling with oligomictic breccias, which occurs in the biggest cavities, would take place in the deepest zones and in those hardly connected with the open air. The presence of big blocks mingled with sands and smaller clasts may indicate a cavity genesis through collapse. Those cavities best connected to the outside would show the least heterometric polymictic breccias and a slightly high transport rate. The fissures would then represent the initial or juvenile state of porosity. The low flux of circulation through them could only allow the filling by fine-grained sediments remaining from karstic dissolution, as well as the presence of insoluble elements coming from the outside (Toarcian quartz sands).

The development of paleokarst within the Jurassic carbonate deposits, involving the formation of such breccia masses, must have been formed after the Mesozoic pelagic sequence, so that clasts of pelagic materials are abundant in what concerns the filling of karstic cavities. Detailed petrological studies on the Pollença area (ADAMS, 1989) recognized two stages of karstification. Taking into account the knowledge on the region acquired to the present time, it seems reasonable to associate the formation of paleokarst with the Paleocene emersion period, as no materials from this age have been found at all in the Balearic Islands. Although there is also a less remarkable discordance between the Oligocene and the Miocene, no materials from these ages have been found in association with the breccia deposits refilling the paleokarst.

Paleokarst during the Upper Miocene

UPPER MIOCENE STRATIGRAPHY

The Upper Miocene outcrops widely in Mallorca as a series of tabular platforms surrounding the structured areas, which form a kind of landscape locally known as "marines". Such tabular outcrops produce, all along the sea-coast, rather continuous littoral cliffs which rarely exceed 30 m in height (Figure 6). The platforms fashioned by these post-orogenic deposits are furrowed by streams which, when reaching the coast line, form the typical littoral entrance morphologies known as "cales". The continuity and high quality of the coastal outcrops allow accurate studies on such deposits as well as on the processes that once affected them; nevertheless

ció cap a l'interior la qualitat dels afloraments baixa de forma exponencial.

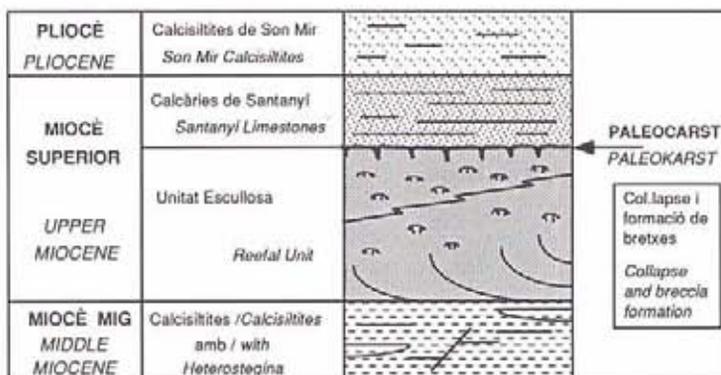
El Miocè superior de Mallorca, així com el de la resta de l'àrea mediterrània, està format per fàcies de plataforma carbonatada amb esculls molt ben desenvolupats (ESTEBAN, 1979/80). A Mallorca, clàssicament, s'hi han definit tres unitats deposicionals (POMAR *et al.*, 1983; POMAR *et al.*, 1985) clarament diferenciades per la seva litologia i l'ambient de formació que representen (Figura 7). A la base, i disposada de forma discordant sobre els dipòsits pre- i sintectònics afectats per la tectònica alpina, hi ha la

their quality decreases exponentially as one advances inland.

The Upper Miocene of Mallorca, as in many Mediterranean areas, consists of facies of carbonate platforms with well-developed reefs (ESTEBAN, 1979/80). Classically, three depositional units have been defined for Mallorca (POMAR *et al.*, 1983; POMAR *et al.*, 1985), all clearly differentiated through their lithology and the formation environment they represent to (Figure 7). At the base one can find a unit named "Calcsiltites with Heterostegina" which is placed discordantly over the pre- and sintectonic

Figura 7:
Esquema estratigràfic del Miocè superior de Mallorca amb la disposició del paleocarst.

Figure 7:
Stratigraphical outline of the Upper Miocene from Mallorca showing paleokarst setting.



unitat anomenada "Calcsiltites amb *Heterostegina*". Aquesta unitat, que està formada per calcarenites i calcsiltites amb una abundant fauna d'equínids i que presenten una forta bioturbació, correspon a fàcies de plataforma carbonatada oberta. Per sobre d'aquests nivells, i de forma lleugerament discordant, es presenta la "Unitat Escullosa" (POMAR, 1991) afectada per un sistema de fracturació de tipus distensiu. Està formada per calcarenites bioclàstiques i esculls de corall amb nivells de calcàries oolítiques i estromatòlits. La unitat descrita correspon al desenvolupament d'esculls de corall tipus barrera amb amples *lagoons*. El sostre de la unitat escullosa presenta una superfície erosiva i parcialment carstificada. A la zona del sud i del llevant de Mallorca, aquesta superfície està recoberta per la "Unitat Calcàries de Santanyi" (FORNÓS & POMAR, 1984). Aquesta unitat està formada per dipòsits carbonatats de tipus litoral amb una gran varietat de fàcies (mangles, planes arenoses) on destaquen les calcàries oolítiques. Els nivells superiors d'aquesta unitat estan formats per calcàries estromatolítiques que enregistren un important event regressiu. El sostre està truncat per una important superfície d'erosió coberta per dipòsits d'edat pliocena.

MORFOLOGIES CÀRSTIQUES

Al Migjorn de Mallorca, en els penya-segats de les rodalies de Santanyi, són molt freqüents les morfologies relacionades amb fenòmens de subsidència ocasionats per processos de dissolució càrstica. Des

deposits. This unit, formed by calcarenites and calcsiltites, contains an abundant fauna of foraminifers (*Heterostegina*) and echinids. It shows strong bioturbation and it corresponds to open carbonate platform facies. On top of this unit slightly unconformably outcrops the "Reefal Unit" (POMAR, 1991). It is composed of bioclastic calcarenites and coral reefs interlayered with levels of oolite limestones and stromatolites and it is affected by normal faults. It corresponds to the development of a coral reef of barrier type with wide lagoons. The top of the reefal unit presents an erosive surface partially karstified. On the southern and eastern zones of Mallorca that unit is coated by the "Santanyi Limestones Unit" (FORNÓS & POMAR, 1984). It is formed by carbonate deposits of a littoral type involving a great variety of facies including oolite limestones (mangroves, sand shoals). The uppermost levels are formed by stromatolite limestones which reveal an important regressive event. The top appears truncated by a relevant erosion surface covered by deposits of Pliocene age.

KARSTIC MORPHOLOGIES

On the Migjorn region (southern Mallorca), in the cliffs surrounding Santanyi, features related to subsidence phenomena caused by karstic dissolution processes are frequently found. They can be observed from Cala Llombards, South of Santanyi, to the North of S'Algar, in Portocolom. A series of nearly continuous deformations in the form of sinkings follow

de Cala Llombards, al S de Santanyí, fins al N de s'Algar, a Portocolom, s'observen deformacions en forma d'enfonsament, de manera més o menys contínua, seguint el contacte entre la Unitat Escullosa i les Calcàries de Santanyí (Figura 6). En detall aquest tipus de deformació (col·lapses) afecta freqüentment a tot el paquet de les Calcàries de Santanyí, tant als nivells inferiors (els més plàstics), corresponents a nivells interpretats com a manglès (FORNÓS & POMAR, 1982), com als nivells superiors donats com de plana arenosa oolítica (*oolitic sand shoal*). La Unitat Escullosa està afectada tan sols en els seus nivells superiors.

Morfològicament aquestes deformacions paleo-càrstiques presenten tres parts ben diferenciades des de la base al sostre (Figura 8). Així, la base, sempre localitzada dins de la Unitat Escullosa, presenta una cavitat amb una forma irregular i amb dimensions molt variables. Està reomplerta per fragments, d'angulosos a subangulosos, tant de la pròpia unitat com de la unitat superior. Al mig, un conducte en forma de xemeneia estreta amb parets força rectilínies i quasi verticals, posa en contacte la cavitat inferior amb una depressió sinusoidal molt marcada, que és el resultat de la deformació plàstica dels nivells inferiors de les Calcàries de Santanyí, els quals conflueixen cap a la xemeneia de forma concèntrica. Excepcionalment aquesta forma superior està representada per una àrea confinada de blocs caiguts corresponents als nivells superiors de les Calcàries de Santanyí. El diàmetre de la depressió oscil·la entre els 25 i 90 m encara que n'hi poden haver de molt petites (<5 m d'amplada), mentre que la seva profunditat màxima al centre va des de 3,5 a 14 m; les parets de la depressió presenten un pendent de 20° a 30°, inclinació que supera els 45° fins a la verticalitat en el punt d'inflexió que dona pas a la xemeneia.

La morfologia general d'aquestes estructures de col·lapse sembla la d'un rellotge d'arena, però amb una forma asimètrica, en esser la cavitat superior més ampla i suau que la cavitat inferior (Figura 8).

CARACTERÍSTIQUES DELS DIPÒSITS CÀRSTICS I PROCESSOS DE FORMACIÓ

La formació, per dissolució, de cavitats i els ulteriors mecanismes de col·lapse que les afecten donen lloc a processos de formació de bretxes (Figura 9). Aquestes bretxes presenten característiques composicionals i texturals molt variades en funció del procés genètic, dels nivells del Miocè superior involucrats, i dels diferents estadis d'evolució del col·lapse càrstic.

Hi ha diversos tipus de bretxes amb petites variacions, essent les més evidents les bretxes de col·lapse generades per la caiguda i el reompliment per blocs i clastos. La porositat interpartícula, molt elevada, pot mostrar diversos episodis de creixement de ciment carbonatat. Sobretot llims vermells, i més

the contact between the Reefal Unit and the Santanyí Limestones (Figure 6). Such a type of deformations (collapses) often affect the whole assemblage of Santanyí Limestones. They are mostly located on the lower levels (the more plastic ones) corresponding to those which have been identified as mangrove-related sediments (FORNÓS & POMAR, 1982), but they also affect the upper levels considered as oolite sand shoal. The Reefal Unit has been only affected on its upper levels.

Regarding their morphology, these karstic deformations present three well-differentiated parts from the base to the top (Figure 8). Hence, the base

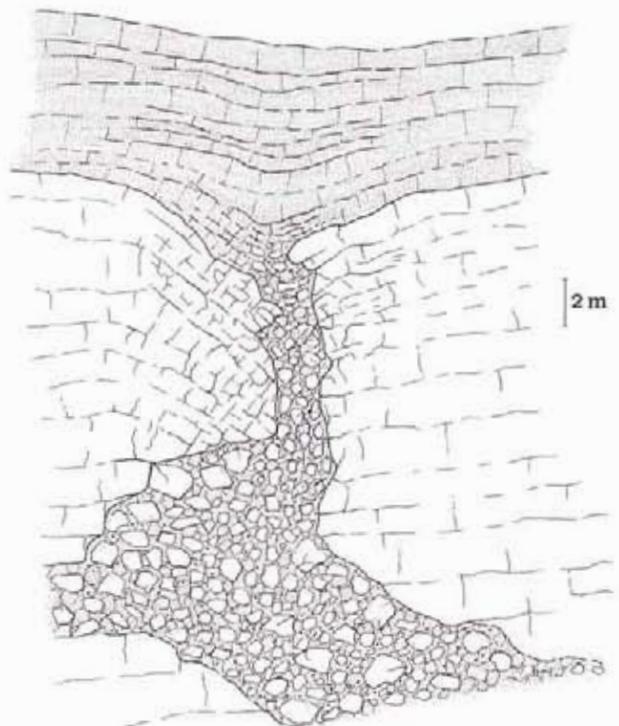


Figura 8: Esquema morfològic dels col·lapses que afecten el Miocè superior. La morfologia és assimilable a la d'un rellotge d'arena.

Figure 8: Morphological outline of the collapses affecting the Upper Miocene. Their morphology is similar to that of an hourglass.

which is always immersed within the Reefal Unit, shows an irregularly shaped cavity of heterogeneous dimensions. It is filled by angular and subangular fragments coming from both the Reefal Unit itself and the upper one. In the middle, there is a narrow chimney-like conduit whose walls are highly rectilinear and almost vertical, and which connect the lower cavity with a sinusoidal depression resulting from the plastic warping of the lower levels of the Santanyí Limestones. Such levels merge towards the chimney in a concentric way. Occasionally this upper structure appears to be represented by a confined area of fallen blocks corresponding to the upper-level

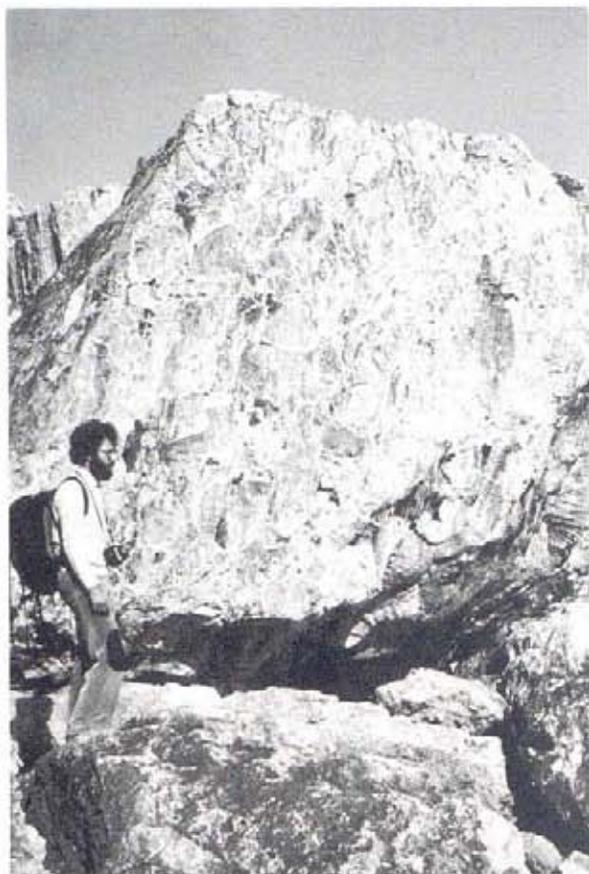


Figura 9: Bretxes de col·lapse formades per clastos angulars de calcàries oolítiques pertanyents a les Calcàries de Santanyí que reomplen cavitats dins de la Unitat Escullosa.

Figure 9: Collapsing breccias formed by angular clasts of oolite limestones from the Santanyí Limestones, which fill Reefal Unit cavities.

rarament argiles, a compleixen el darrer estadi de reompliment de la cavitat, que no és necessàriament contemporània a la formació de les bretxes.

Quan els materials involucrats en el col·lapse arriben als nivells superiors de les Calcàries de Santanyí —les calcàries oolítiques (*grainstones*)— les bretxes formades són oligomíctiques i presenten clastos molt angulars, amb una mida que va des de centímetres fins a més d'un metre, sense observar-se matriu. En canvi, si els materials involucrats només arriben als nivells inferiors (fàcies de mangles), els clastos de les bretxes són de subangulars a subarrodonits, amb una mida d'ordre centimètric i amb una matriu formada per calcarenites i calcisilitites.

La cavitat basal, localitzada sempre dins de la Unitat Escullosa, es troba sempre reomplerta de bretxes polimíctiques amb clastos de mida molt variable (de cm a més d'un metre) d'angulars a subarrodonits i amb una presència important de matriu calcarenítica.

Els diversos tipus de bretxes es corresponen als diversos estadis de desenvolupament dels col·lapses càrstics. La distribució espacial relacionada amb la

Santanyí Limestones. The diameter of such an upper depression ranges from 25 to 90 m, although very little ones (<5 m wide) can also be found, while its maximum depth to the centre ranges from 3.5 to 14 m; the depression walls present a slope of 20° to 30°, which can exceed 45° reaching even total verticality in the inflexion point opening to the chimney.

The general morphology of the collapsing structures resembles that of an hourglass, although with asymmetric shape, as the upper cavity is wider and smoother than the lower one (Figure 8).

CHARACTERISTICS OF KARSTIC DEPOSITS AND FORMATION PROCESSES

Cavity formation by dissolution, as well as further collapsing mechanisms affecting them, give way to the formation of breccias (Figure 9). These display very varied compositional and textural characteristics depending on the genetic process, the involved Upper Miocene levels and the different evolutionary stages of the karstic collapse.

There are several types of breccias showing slight differences, the most obvious being the collapsing ones generated by the falling off and filling of rocks and clasts. The interparticle porosity, which is very abundant, may show diverse stages of the growth of carbonate cement. Not so frequently, clays and, mostly, reddish silts, conform the last stage of the cavity infilling which was not necessarily simultaneous with the formation of breccias.

When the materials involved in the collapse reach the upper levels of the Limestones of Santanyí —oolitic grainstones— the resulting breccia deposits are oligomictic, contain very sharp clasts of sizes ranging from a few centimeters to more than one meter, and lack any matrix. However, in cases where the materials just reached the lower levels (mangrove facies), the breccias contain subangular to subrounded clasts of centimetric size and a matrix composed of calcarenites and calcisilitites.

The basal cavity, always set within the Reefal Unit, is filled by polymictic breccias with clasts of varied size (from 1 cm to over 1 m) and shape (from angular to subrounded) and with an important presence of a calcarenitic matrix.

Different types of breccias correspond to the diverse developing stages of karstic collapses. The spatial distribution related to the present facies correlates with the collapse growth stages, which begin with both the dissolution of the Reefal Unit and the filling through semi-plastic breaking of the basal levels of Santanyí Limestones, ending however with the fragile breaking of the upper deposits of oolite limestones.

PALEOKARST DEVELOPMENT

In the Migjorn area, the so-named Reefal Unit is mainly formed by lagoon facies with alternating

distribució de les fàcies es correlaciona amb les etapes de creixement del col·lapse, que s'inicia amb la dissolució de part de la Unitat Escullosa, el reompliment per trencament semi-plàstic dels nivells basals de les Calcàries de Santanyí, fins el trencament fràgil dels dipòsits superiors amb calcàries oolítiques.

DESENVOLUPAMENT DEL PALEOCARST

L'anomenada Unitat Escullosa està formada en aquesta zona del Migjorn mallorquí principalment per fàcies de *lagoon*, amb dipòsits alternants de calcarenites i calcisiltites, presentant un creixement puntual de coralls en forma de taques (*patch reef*). L'elevada porositat resultant de la dissolució de la massa aragònica dels coralls provocaria el flux subsident de materials plàstics cap aquests forats, la qual cosa a la vegada ocasionaria un increment de la porositat en nivells superiors, que en darrer terme donaria lloc al trencament, la bretxificació i el col·lapse (amb el reompliment d'aquesta segona cavitat) (Figura 10). També les característiques texturals diferencials entre les fàcies descrites de la Unitat Escullosa i les Calcàries de Santanyí afavoririen clarament un drenatge subterrani a través de la Unitat Escullosa.

deposits of calcarenites and calcisiltites, and it presents isolated coral colonies as patch reefs. The high rate of porosity resulting from the preferent dissolution of coral aragonite might provoke the subsident flux of plastic materials towards those voids which, would consequently, increase the porosity of the upper levels so that, to a certain point, they would produce the breaking, the brecciation and the collapse (then causing also the filling of such a second cavity) (Figure 10). Moreover, the differential characteristics of the texture between the facies described from the Reefal Unit and the Santanyí Limestones would certainly favour a subterranean drainage throughout the Reefal Unit.

There is no clear evidence on the functioning of this kind of paleokarstic depressed subsidence-structures as real dolines, so that no direct connexion with the surface has been found, although the own development of the collapses could, in extreme cases, reach the surface. Clear morphologies of subaerial exposition have not been found either. Consequently, the model seems to be in accordance with the notion of subsidence in a subjacent karst assumed by JENNINGS (1985).

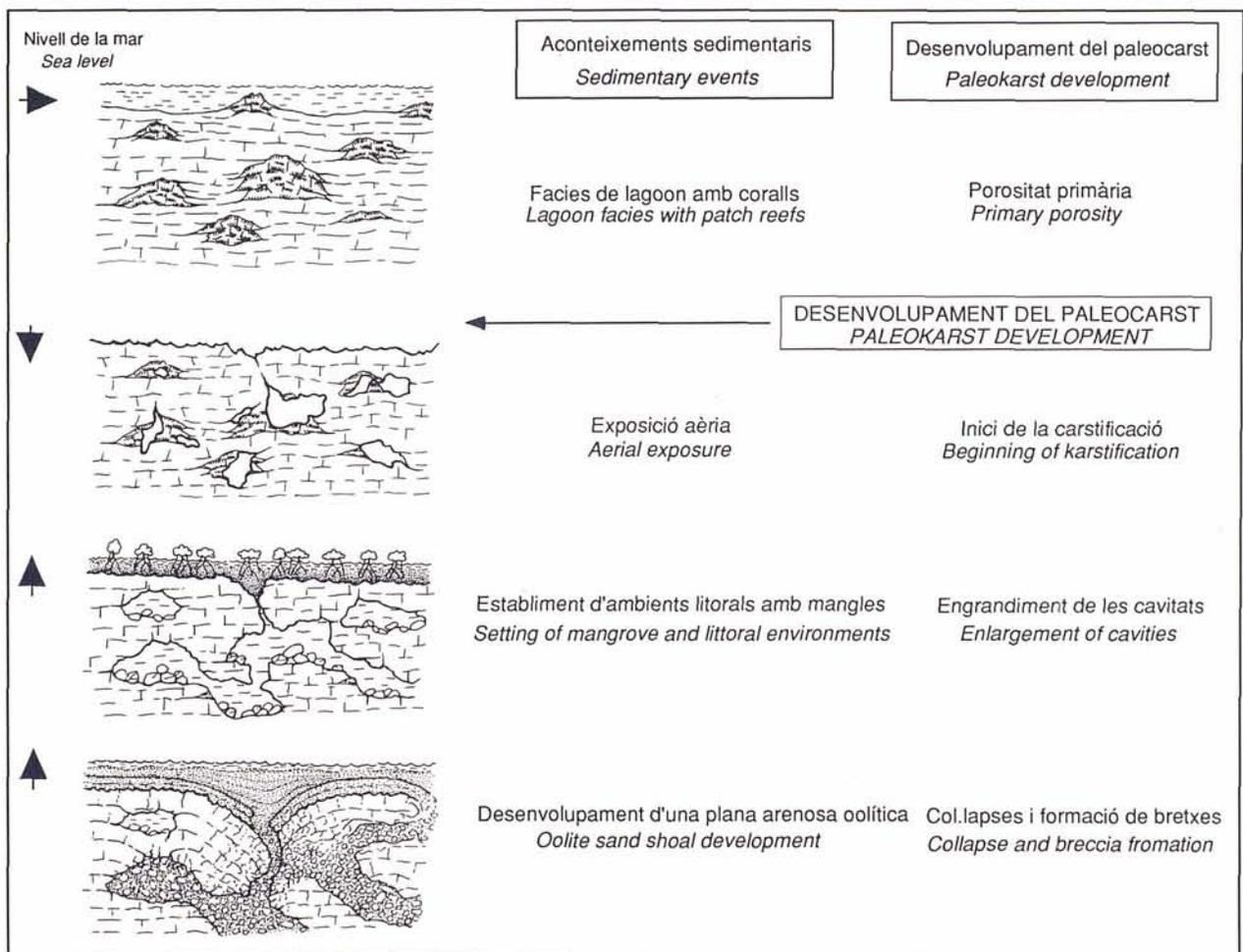


Figura 10: Esquema evolutiu del desenvolupament del paleocarst al Miocè superior de Mallorca.

Figure 10: Evolving outline of paleokarst development affecting the Upper Miocene of Mallorca.

No hi ha evidències clares d'un funcionament d'aquests enfonsaments paleocàrstics com a autèntiques dolines, ja que en cap cas no s'ha observat una connexió directa amb la superfície, encara que el propi desenvolupament dels col·lapses pugui, en darrer extrem, arribar-hi. Tampoc no s'han observat clares morfologies d'exposició subaèria; en conseqüència el model sembla apropar-se al concepte de subsidència en un carst subjacent tal com és recollit per JENNINGS (1985).

L'edat de desenvolupament del paleocarst és difícil de concretar. El seu inici sembla ser immediatament després de la deposició de la Unitat Escullosa. El creixement de les cavitats subjacents deu haver continuat durant la deposició de les Calcàries de Santanyí, almenys fins a la seva litificació, donat que la deformació o el trencament (bretxificació) dels seus nivells seria impossible amb sediments no consolidats. Així mateix el procés de carstificació pot haver continuat durant el Pliocè i, probablement, el Pleistocè.

Altres exemples de paleocarst

Els dos exemples comentats són els més espectaculars i àmpliament representats dels fenòmens paleocàrstics que es poden observar a Mallorca. Malgrat tot, al llarg de tota la sèrie estratigràfica representada a Mallorca, han estat molts els períodes d'emersió que han donat lloc als fenòmens de carstificació dels dipòsits carbonatats. Diversos episodis ocorreguts durant el Pleistocè, els trànsits Miocè-Pliocè i l'Oligocè-Miocè, i localment intrajuràsics, han permès el desenvolupament de morfologies i cavitats originades pels processos de dissolució de les roques carbonatades. Entre ells hi destaquen, especialment per les seves dimensions, les cavitats i els reompliments posats de manifest en ocasió dels sondatges realitzats per la investigació geològica del projecte de transvasament de sa Costera (Escorca). Corresponen probablement als dipòsits descrits en l'apartat que tracta del paleocarst als dipòsits juràsics, però representen cavitats de desenvolupament vertical, amb algunes desenes de metres de fondària, pocs metres d'amplada i rebliment polimíctic similar al de les cavitats del segon tipus descrites anteriorment. Les cavitats reblides s'encaixen dins bretxes oligomíctiques d'edat possiblement mesozoica, i es tractaria de rebliments produïts en l'emersió paleocena.

The time when paleokarst developed cannot be easily determined. Its beginning seems to take place just after the deposition of the Reefal Unit. The growth of the subjacent cavities must have continued during the deposition of the Santanyí Limestones, at least until they were lithified, because the deformation or breaking (brecciation) which its levels underwent would have been impossible if the sediments were non-consolidated. Nevertheless, the karstification processes might have continued in some places during the Pliocene and the Pleistocene ages.

Other examples of paleokarst

The two examples explained above happen to be among the most spectacular and best represented paleokarst phenomena observed in Mallorca. However, all along the stratigraphic series set in the island, there appear many periods of emersion likely to produce the karstification phenomena present in the Majorcan deposits. Several events which occurred during the Pleistocene, the Miocene-Pliocene and the Oligocene-Miocene transitions, and locally during the Jurassic, allowed the development of features and cavities originated by means of dissolution processes acting on carbonate rocks. Among them, the cavities and fillings brought to light by the drillings carried out by the geological research team at the piping works of Sa Costera spring (Sóller) are remarkable, especially due to their magnitude. They probably correspond to the deposits described above as paleokarst on Jurassic deposits, although the cavities show vertical development, a few tens of meters in depth, a few meters in width, as well as polymictic fillings similar to those of the second-type cavities also described above. The cavities are fitted within oligomictic breccias of supposedly Mesozoic age and it could be assumed that the filling was produced by the Paleocene emersion.

Agraïments

Els autors desitgen agrair a E. Descals, N. Llorente i G. Pons els comentaris i correccions efectuats sobre el primer manuscrit que de bon segur han fet millorar el text final i també, i molt especialment, a Lluís Fiol el dibuix de les figures. Aquest treball s'ha vist en part beneficiat pel projecte d'investigació de la DGICYT: PB94-1175.

Bibliografia / References

- ADAMS, A.E. (1989): Genesis of fragmental carbonate rocks in the Mesozoic and Tertiary of Mallorca, Spain. *Geological Journal*, 24 : 19-29.
- BARNOLAS, A. (1984): *Sedimentología del Jurásico de Mallorca*. Libro Guía de la Excursión. Grupo Español del Mesozoico. I.G.M.E. - C.G.S. 263 pàgs.
- COLOM, G. (1975): *Geología de Mallorca*. Institut d'Estudis Balearics. Dip. Prov. Balears. 2 vols. Palma de Mallorca.
- ESTEBAN, M. (1979/80): Significance of the Upper Miocene reefs of the Western Mediterranean. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. 29 : 169-188.
- FALLOT, P. (1922): *Étude Géologique de la Sierra de Majorque*. Thèse, Libr. Polytechnique, Ch. Béranger, ed. 420 pàgs. París.
- FORNÓS, J.J. & POMAR, L. (1982): El complejo de manglar del Mioceno terminal de la isla de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*. 26 : 207-228.
- FORNÓS, J.J. & POMAR, L. (1984): Facies, ambientes y secuencias de plataforma carbonatada somera (Formación Calizas de Santanyi) en el Mioceno Terminal de Mallorca (Islas Baleares). *Publicaciones de Geología (Homenaje a Luis Sánchez de la Torre)*. 20 : 319-330.
- FORNÓS, J.J.; RODRÍGUEZ-PÉREA, A. & SÁBAT, F. (1984): El Mesozoico de la Serra de Son Amoixa (Serres de Llevant, Mallorca). *I Congreso Español de Geología*. 1 : 173-185.

Acknowledgements

The authors gratefully thank to E. Descals, N. Llorente and G. Pons for all the commentaries and corrections made on the first manuscript which have surely improved the final text; and we would especially like to thank Lluís Fiol for the drawings. This work has been partially supported by the DGICYT research project PB94-1175.

- FORNÓS, J.J.; GINÉS, A. & GINÉS, J. (1989): Paleokarst collapse features in the Uppermost Miocene of Mallorca island (Spain). *Proceedings of the 10th International Congress of Speleology*. 1 : 46-48. Budapest.
- FORNÓS, J.J.; RODRÍGUEZ-PÉREA, A. & ARBONA, J. (1986/87): Brechas y paleokarst en los depósitos jurásicos de la «Serra de Tramuntana» de Mallorca. *Acta Geológica Hispánica*. 21-22 : 459-468.
- JENNINGS, J.N. (1985): *Karst Geomorphology*. Basil Blackwell. 293 pàgs. Oxford.
- POMAR, L. (1991): Reef geometries, erosion surfaces and high-frequency sea-level changes, upper Miocene Reef Complex, Mallorca, Spain. *Sedimentology*. 38 : 243-269.
- POMAR, L.; ESTEBAN, M.; CALVET, F. & BARÓN, A. (1983): La Unidad Arrecifal del Mioceno Superior de Mallorca. In: *El Terciario de las Baleares. Libro Guía de las Excursiones del X Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca*. 139-179.
- POMAR, L.; FORNÓS, J.J. & RODRÍGUEZ-PÉREA, A. (1985): Reef and shallow carbonate facies of the Upper Miocene of Mallorca. In: MILA, M.D. (Ed.) *6th IAS European Regional Meeting. Excursion Guidebook*. Excursion nº11 : 495-518. Lleida.
- SÁBAT, F. (1986): *Estructura geológica de les Serres de Llevant de Mallorca*. Tesis Doctoral. Inédita. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona. 128 pàgs.

FAUNA CAVERNÍCOLA DE MALLORCA CAVERNICOLOUS FAUNA OF MALLORCA

Guillem X. PONS¹, Damià JAUME² & Jaume DAMIANS³

Resum

Es realitza una síntesi dels coneixements assolits sobre la fauna hipogea de Mallorca, l'arxipèlag de Cabrera i l'illa de sa Dragonera, des de la visita d'Emil G. Racovitza fins als nostres dies. Es descriuen els diferents ambients ocupats per aquesta fauna i es presenta un inventari exhaustiu de les espècies, així com un llistat de la bibliografia més rellevant sobre la bioespeleologia Balear.

Abstract

A review of the hypogean fauna of Mallorca and its islets is presented. The pioneering work of Emil G. Racovitza in the caves of Mallorca and the range of different hypogean environments on the Island are described. An annotated checklist and a brief biogeographical analysis of the fauna are presented.

Mallorca i la bioespeleologia

La bioespeleologia, o ciència que estudia la vida al medi hipogeu, deu el seu reconeixement com a veritable disciplina científica a la figura del romanès Emil G. Racovitza (1868-1947) (Figura 1), i també en part a les caveres mallorquines.

En Racovitza fou un biòleg marí d'anomenada durant el primer terç de segle, qui desenvolupà gran part de la seva tasca científica al laboratori oceanogràfic de Banyuls de la Marenda (Vallespir-França). Es tractà d'un explorador incansable, alhora que d'un científic dotat de gran capacitat d'organització. Així va poder compaginar la recerca amb importants càrrecs directius, tant al seu laboratori com a d'altres institucions acadèmiques franceses i romaneses. A més, i tal volta el més important de cara a l'orientació que prendria la seva carrera, en Racovitza era un aventurer nat.

Als 29 anys, seguint una tradició fortament arrelada entre els naturalistes decimonònics, es va embarcar en una expedició científica transoceànica, que

Mallorca and biospeleology

Biospeleology, the study of the hypogean life, owes its origin as a modern scientific discipline to the pioneering work of the Rumanian zoologist Emil G. Racovitza (1868-1947) (Figure 1), who began his researches in the caves of Mallorca.

Racovitza was a reputed marine biologist who spend the greater part of his scientific career at the marine laboratory in Banyuls-sur-Mer (Vallespir, France). A tireless explorer and researcher, he also possessed a great talent for organization. This quality was demonstrated by the diversity of science themes he addressed during his career, at the same time as occupying important managerial positions both in his laboratory and in other academic institutions in France and Romania. However one the most power influences on the direction of his researches was Racovitza's nature: he was a born adventurer.

At the age of 29, following a deeply rooted tradition of XIXth naturalists, he embarked on a 3-year scientific expedition to Antarctic waters. The ship (the «Belgica») was piloted by a young Norwegian, Roald Amundsen, destined to become the most famous Antarctic explorer, although this did not save the expedition from an unexpected overwintering among the ice floes. One remarkable

1 Institut d'Estudis Avançats de les Illes Balears (CSIC), Ctra. Valldemossa km 7.5, 07071, Palma de Mallorca.

2 Dept. of Zoology, The Natural History Museum, Cromwell Road, London SW7 5BD.

3 Grup Espeleològic Est, Palma de Mallorca.

el portaria per aigües antàrtiques durant 3 llargs anys. El vaixell fou pilotat pel qui arribaria a ésser el més famós explorador antàrtic, el norueg Roald Amundsen, la qual cosa no va estalviar als expedicionaris una hivernada inesperada entre els gels. Fruit d'aquest viatge fou, entre d'altres, la seva molt anomenada memòria sobre la biologia dels cetacis antàrtics (RACOVITZA, 1903).



Figura 1: Emil G. Racovitza (1868-1947), (recollida a ORGHIDAN, 1970).

Figure 1: Emil G. Racovitza (1868-1947), (from ORGHIDAN, 1970).

Ja establert a terres franceses, es va decantar de la biologia marina als 36 anys, edat a la que inicià les seves eixides espeleològiques. En aquest moment la seva activitat exploratòria es tornà frenètica, arribant a prospectar més de 1.400 cavernes de les vessants francesa i ibèrica dels Pirineus, Còrsega, les Balears, Iugoslàvia i Algèria, a més a més d'altres indrets.

En Racovitza visità Mallorca l'estiu de 1904, en el decurs d'una expedició oceanogràfica. El seu objectiu era recollir materials biològics procedents de dragats de la costa mallorquina. Els dies 16 a 20 de juliol, durant un recès en les tasques de dragatge, realitzà una visita a les Coves del Drac, a la costa de Manacor. Tal com era d'esperar, no es va deixar embadalir per la bellesa de les concrecions i llacs de la gruta: fent portar un bot desmontable del seu vaixell, es va endinsar per la cova, aprofitant l'ocasió per realitzar una acurada prospecció faunística i una sèrie

fruit of this journey, among others, was his renowned observations on the biology of the antarctic cetaceans (RACOVITZA, 1903).

Once established in France, Racovitza abandoned marine biology at the age of 36, and developed a passionate interest in biospeleology. His activity was almost frenzied: He explored more than 1,400 caves on the French and Spanish slopes of the Pyrenees, in Corsica, the Balearic islands, the Balkans and Algeria.

Racovitza visited Mallorca in 1904 in the course of an oceanographic expedition to collect biological specimens from dredgings on the Balearic coast. From the 16th to 20th of July he visited the Coves del Drac in Manacor, an anchihaline cave which had achieved international fame after being explored by the French speleologist E.A. Martel in 1896 and 1901. Racovitza carried out an accurate faunistic survey as well as some observations on water and air temperatures. One result of this short visit was the discovery, among other animals new to science, of a blind and unpigmented aquatic crustacean, *Typhlocirolana moraguesi*, which he described formally a year later (RACOVITZA, 1905) (Figure 2). The morpho-physiological adaptations to the hypogean environment exhibited by this animal impressed Racovitza so much that, on returning to his laboratory, he dedicated himself to a compilation and analysis of all data currently available on cave-dwelling animals. This task generated his famous «Essai sur le problèmes biospéologiques» (RACOVITZA, 1907a), a magisterial treatise in which he focused sharply on the main problems to be investigated in relation to cave life, and criticised inaccuracies, misinterpretations and erroneous theories prevailing in that field of the scientific knowledge.

From that moment onwards cave organisms have attracted a multitude of naturalists, especially on

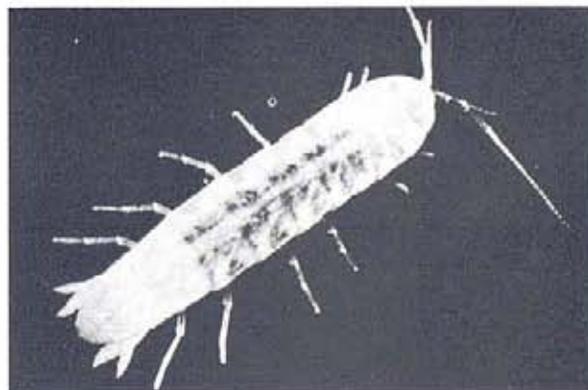


Figura 2: *Typhlocirolana moraguesi* RACOVITZA, 1905, primera espècie hipogea descoberta a Mallorca (foto cortesia de n'Àngel GINÉS).

Figure 2: *Typhlocirolana moraguesi* RACOVITZA, 1905, the first hypogean animal discovered on Mallorca (photo by courtesy of Àngel GINÉS).

d'observacions sobre la temperatura de l'aire i l'aigua de la cavitat. Fruit d'ella fou el descobriment, entre d'altres animals nous per a la ciència, d'un crustaci aquàtic cec i despigmentat del grup dels isòpodes, que descriuria un any més tard amb el nom de *Typhlocirolana moraguesi* (RACOVITZA, 1905) (Figura 2). Les transformacions morfo-fisiològiques que l'ambient subterrani havia imprès a aquest isòpode impressionaren de tal forma a Racovitza que, un cop retornat al seu laboratori, es va dedicar preferentment a la recopilació i anàlisi de tota la informació disponible sobre els habitants de les coves. Fruit d'aquesta tasca ingent fou el seu cèlebre «Essai sur les problèmes biospéologiques» (RACOVITZA, 1907a), on enfocà de forma precisa els problemes a resoldre, a la vegada que posà de manifest el cúmul de teories errònies formulades fins a la data en aquest camp del coneixement científic.

De llavors ençà la vida subterrània ha atret a multitud de naturalistes, especialment a Mallorca, que compta amb un escenari i un poblament hipogeu ric i variat.

El medi hipogeu a Mallorca

Les Illes Balears ofereixen unes condicions idònies per a la investigació bioespeleològica. A Mallorca en concret, no hi ha afloraments de materials silícics, volcànics o evaporítics d'importància. En contraposició al que ocorre a altres indrets, el medi hipogeu de Mallorca és el producte de la carstificació de la roca calcària. No obstant, això no vol dir que la diversitat d'ambients resultants no sigui molt gran, com veurem a continuació.

Els terrenys calcaris ocupen bona part de Mallorca, essent aproximadament 1.200 les coves conegudes. Sols les conques subsidents reblertes d'al·luvions quaternaris al peu de la Serra de Tramuntana (Palma; Inca-Sa Pobla), o la de Campos, semblen lliures de terrenys calcaris.

La major part de les coves mallorquines són hidrològicament fòssils. Els escassos sistemes actius es localitzen a la Serra de Tramuntana. Fora d'aquesta comarca, les coves són seques, o molt seques. Aquest factor ambiental en general es considera negatiu per a la persistència de fauna terrestre genuïnament hipogea. Tal volta resideixi aquí la causa de que la majoria dels troglobis coneguts fins ara a Mallorca es concentrin en les coves de la Serra de Tramuntana (Figura 3). No obstant, la baixa cota sobre el nivell de la mar a la que es situen les cavernes del Pla, i les alçades modestes de les Serres de Llevant, poden explicar també aquest fet. En efecte, moltes d'elles poden haver quedat anegades durant les repetides elevacions del nivell marí esdevingudes durant el Quaternari.

La deposició de guano de rates-pinyades, sustent d'una biota cavernícola molt peculiar, es troba

Mallorca, an island which harbours an unusually rich hypogean biota.

The Majorcan hypogean environment

The Balearic Islands offer a rich and varied resource for biospeleological research. In Mallorca, there are no siliceous, volcanic or evaporitic outcrops of importance. The hypogean environments on the island are thus mainly derived from the karstification of calcareous rock. Nevertheless, this does not mean that the diversity of habitats was low, as we will see below.

Limestone terrains occupy a great part of the island, and approximately 1,200 caves are already known. Only the subsident basins at the foot of the Serra de Tramuntana (Palma; Inca-Sa Pobla) which are filled with Quaternary alluvial deposits, and the Campos basin, seem free of limestone terrains.

The majority of the Majorcan caves are hydrogeologically fossil. The few active systems are located in Serra de Tramuntana. Outside this area, caves are dry, or very dry. The lack of water represents a severe constraint for the persistence of a true terrestrial hypogean fauna, and may be the reason for the concentration of most of the Majorcan troglobionts in the caverns of Serra de Tramuntana (Figure 3). However, the low altitude of the Serres de Llevant mountains, as well as those of the Central and Littoral plains could also explain this fact, since many

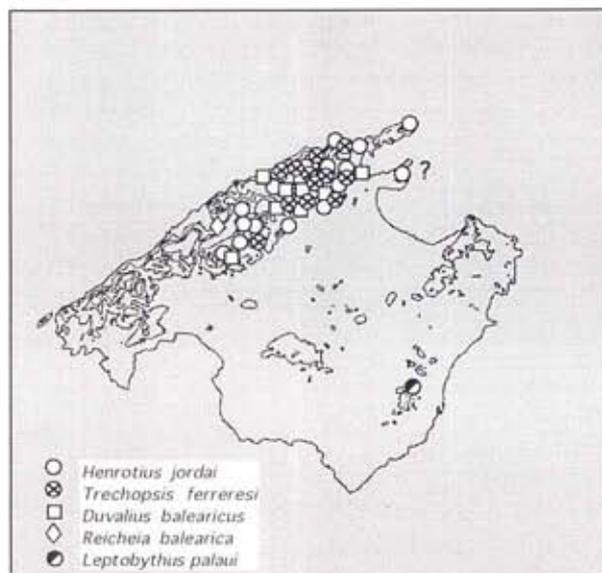


Figura 3: Distribució dels coleòpters troglòbics de Mallorca. Presents a les zones càrstiques més elevades. Isolínies: 250 m sobre el nivell de la mar.

Figure 3: Distribution of troglitic beetles on Mallorca. Note their presence in caves of the main mountain ranges. Isolines: 250 m a.s.l.

actualment en recessió a Mallorca. És conseqüència del fort descens patit per les poblacions de rates-pinyades cavernícoles (*Rhinolophus ferrumequinum*, *Myotis myotis*, *Miniopterus schreibersii*) (ALCOVER & MUNTANER, 1986), i a la llarga és d'esperar que incideixi negativament sobre el manteniment d'aquesta biota. Com a testimoni de l'esplendor assolit en èpoques passades, es poden esmentar les importants acumulacions de guano que encara resten a algunes sales de les Coves del Drac (Manacor), o Coves d'Artà (Capdepera), d'altra part avui totalment desprovistes de rates-pinyades. No obstant, comunitats guanòbies ben esponeroses poden trobar-se encara a les sales de la Cova de sa Guitarreta (Llucmajor), o a les de la Cova de Son Sant Martí (Alcúdia), entre d'altres.

Les caverne de la regió SE de l'Illa són freqüentment invaïdes per arrels de la vegetació epigea que hi creix al damunt. L'extensió del fenomen és conseqüència del tipus general de desenvolupament de les cavitats d'aquesta comarca, situades a baixa cota sobre el nivell de la mar, i on el sostre busca el perfil d'equilibri mitjançant esfondraments, fins a situar-se a poca distància de la superfície. La qüestió té certa rellevància des de que a d'altres indrets del Planeta s'han descobert animals cavernícoles restringits a aquest hàbitat tan peculiar. A Mallorca es té constància de l'existència de comunitats d'aquest tipus, havent trobat RACOVITZA (1907a) i JEANNEL & RACOVITZA (1907) un pugó (Homoptera) aparentment troglòbi i encara no descrit. Per altra part, a la Cova de sa Llumeta (Cabrera), s'ha descobert una comunitat d'artròpodes molt diversificada al voltant dels feixos d'arrels que penjen del sòtil a la part superior de la cavitat, si bé aquesta no compta amb cap representant genuïnament hipogeu (obs. pròpies de X. Bellés i dels autors).

Les coves, concepte totalment antropocèntric, no són més que les parts accessibles als humans d'una àmplia xarxa de crulls i fissures desenvolupada al subsòl. Aquesta xarxa connecta, en alguns indrets especialment propicis per al seu desenvolupament, amb el que els biospeleòlegs anomenen *Medi Subterrani Superficial* (MSS). Aquest es situa per sota dels horitzons del sòl, i integren la zona superficial de degradació de la roca basal, fissurada, i els espais entre fragments de roca. S'hi poden afegir els espais entre pedruscalls clàstics acumulats als costers, sempre que es trobin coberts pel sòl. La coberta edàfica funciona com una mena d'aïllant del medi, tot amortint les oscil·lacions climàtiques i permetent l'establiment d'una atmosfera humida a l'interior dels buits.

Al MSS, encara poc prospectat, poden trobar-se organismes genuïnament cavernícoles, àdhuc en indrets sense caverne conegudes en les proximitats. Els biospeleòlegs mallorquins han iniciat recentment la prospecció d'aquest medi, especialment accessible als talussos de carretera de la Serra de Tra-

caves in these regions would have been flooded by rising sea levels during the glacial cycles of the Upper Tertiary and Quaternary.

*The deposition of bat guano, which is the substrate for peculiar cave biota, is nowadays reduced in Mallorca as a direct consequence of the sharp decreases experienced by the populations of cavernicolous bats (*Rhinolophus ferrumequinum*, *Myotis myotis*, *Miniopterus schreibersii*) (ALCOVER & MUNTANER, 1986). As a witness of past glories, however, important guano deposits still remain in some chambers of Coves del Drac (Manacor) and Coves d'Artà (Capdepera), both of which are completely devoided of bats today. Rich guano deposit communities are still found in Cova de sa Guitarreta (Llucmajor) and in Cova de Son Sant Martí (Alcúdia), among others.*

Caverns in the SE region of the Island are frequently penetrated by roots of the vegetation growing above. These caves are all located just a few meters above sea level and the ceiling is often very close to the surface as a result of breakdowns and collapses. The presence of roots in these caves is relevant since in other parts of the World cavernicolous animals restricted to this special habitat have been discovered. In Mallorca there are old references to the existence of communities of this type. RACOVITZA (1907a) and JEANNEL & RACOVITZA (1907) discovered an apparently troglöbiontic planthopper (Homoptera) on the roots of Pistacia invading chambers in Coves del Drac (Manacor), although it was not formally described. Also, in Cova de sa Llumeta (Cabrera) a diverse arthropod community has been recently discovered on roots which intrude into the upper chamber of the cave, but in this case none of its members can be considered to be a genuine troglöbiont (pers. obs. of X. Bellés and the authors).

The concept of a cave is completely anthropocentric, being used to designate only the part of an immense underground crevicular network that is accessible to humans. This network connects in some places, with what is referred to by biospeleologists as the «Superficial Underground Compartment» (SUC). This special habitat is located under the soil cover, and is composed by the surface degradation zone of the basal rock plus the crevices of this rock. Additional components are the loose rock fragments accumulated in mountain slopes if they have been sealed by overlying soil cover. The soil cover is important since it acts as an insulator, buffering climatic oscillations and permitting the establishment of a humid atmosphere inside the voids of the SUC.

The SUC, a habitat still poorly explored faunistically, can harbour genuinely cavernicolous organisms, even though it can be located in places without caverns in the immediate vicinity. Majorcan biospeleologists have recently initiated exploration of

mundana. Els resultats han estat satisfactoris en quant a la localització de coleòpters troglobis (Damians i Bellés, com. pers.), i una continuïtat en la tasca que ben segur donarà noves sorpreses.

Les aigües subterrànies ofereixen també a Mallorca un ampli ventall d'ambients per a la prospecció faunística. Rius subterranis i corresponents surgències càrstiques, més o menys permanents, es troben a les cavitats hidrològicament actives de la Serra de Tramuntana (Cova des Estudiants, Font des Verger, Bufador de Solleric, Cova de les Rodes, per citar sols les més importants). D'altra banda, camps de gours en zona vadosa, amb poblament estigobiont, es coneixen tant a la Serra de Tramuntana (Coves de Campanet, Coves de Gènova, Cova de sa Campana), com també a d'altres indrets (Cova de sa Bassa Blanca, Alcúdia; Cova de na Barxa, Capdepera).

Un tercer tipus d'ambient apte per a la prospecció de fauna aquàtica subterrània, aquest molt peculiar de Mallorca, el constitueixen els llacs anquihalins o *glacioeustàtics*. Es tracta de cavitats situades a baixa cota prop de la costa, parcialment anegades per la mar. Són bons exemples les arxiconegudes Coves del Drac i Cova des Hams, a Manacor. Les coves anquihalines mallorquines es concentren a la Marina de Llevant, si bé també s'en coneixen a d'altres indrets (Cova des Moro, a sa Dragonera, Cova de Son Sant Martí i de sa Bassa Blanca, a Alcúdia, o algunes cavitats de Cabrera, entre d'altres). Les seves aigües presenten una estratificació per densitat molt marcada i permanent, ocupant les més salades el fons. Tal com ocorre a d'altres indrets on aquest tipus de coves ha estat prospectat, les mallorquines estotgen una fauna molt variada, composta principalment per crustacis pertanyents a estirps filètiques molt antigues.

Anàlogament al medi hipogeu terrestre, que no es limita sols a les coves penetrables pels humans, les aigües subterrànies invaeixen també altres ambients que requereixen del trampeig indirecte per tal de revelar el seu poblament estigobiològic. Els aquífers en terrenys fissurats, més o menys profunds, són explotats intensivament a Mallorca mitjançant centenars de pous repartits per gairebé tots els indrets de l'Illa. No cal dir que representen finestres privilegiades per a la prospecció faunística, que cal realitzar mitjançant la utilització de nanses, o de l'anomenada *xarxa freatobiològica* (CVETKOV, 1968) (Figura 4). Organismes genuïnament estigobionts s'han capturat a molts d'ells, tant als situats a prop de la costa com més a l'interior de l'Illa.

Els aquífers poden estar en connexió més o menys directa amb l'anomenat *medi intersticial*. Aquest l'integren les masses d'aigua que aneguen els espais entre sediments no consolidats, i solen localitzar-se al subsòl de les planes al·luvials, a sota les corrents superficials d'aigua (medi hiporreic), i àdhuc en connexió amb la mar, a les platjes d'arena o còdols. Cal dir que el medi intersticial compta amb poblament estigobiològic, mostrejable gràcies a l'exca-

this habitat, which is readily accessible in road cuttings in the Serra de Tramuntana. Preliminary results have been revealed for troglobiont Coleoptera (Damians and Bellés, pers. obs.), and the continuing sampling program should result in further new discoveries.

Groundwaters in Mallorca also offer a wide range of environments suitable for faunistic studies. Underground rivers, some with karstic springs, are found in the hydrologically active caves on Serra de Tramuntana (Cova des Estudiants, Font des Verger, Bufador de Solleric, Cova de les Rodes, among others). Rimstone dams developed in the vadose zone and harbouring stygobiont biota are known from Serra de Tramuntana (Coves de Campanet, Coves de Gènova, Cova de sa Campana) as well as from caves in other districts, as Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia) and Cova de na Barxa (Capdepera).

A stygohabitat which is very characteristic of Mallorca consists of the anchihaline or «glacioeustatic» lakes within the flooded coastal karst. Examples include two of the most famous tourist caves in the world, the Coves del Drac and Cova des Hams, both in Manacor. Majorcan anchihaline caves are concentrated in the Marina de Llevant (SE coast), although some are also known from other districts (such as, Cova des Moro, sa Dragonera; Cova de Son Sant Martí and Cova de sa Bassa Blanca, Alcúdia; some caves on Cabrera). The water column in such a lake is permanently stratified, with the more saline water occupying the bottom layers. These lakes harbour a diverse faunistic assemblage composed mainly of crustaceans, many of them belonging to ancient or isolated phyletic lineages.

By analogy with the terrestrial hypogean environment, which is not limited to the caves accessible to man, groundwaters permeate other environments and indirect sampling methods must be used to reveal their stygological populations. Aquifers in fissured terrains are intensively exploited by hundreds of wells distributed all over Mallorca. They represent privileged windows for the faunistic exploration using traps or the filet freatobiologique (or Cvetkov net, CVETKOV, 1968) (Figure 4). Stygobiont animals have been collected from many wells located both close to the coast and far inland.

The aquifers can be more or less directly connected with the so-called Interstitial Medium. It is composed by flooded non-consolidated sediments, and is usually developed in alluvial plains, below rivers (Hyporheic environment), or in connection with the sea in beaches of sand or coarse sediments. The Interstitial Medium has a stygobiological population, which can be sampled by digging in the sediment down to the water table, or by using pumps connected to a drilling probe. In Mallorca the Hyporheic environment is hardly developed (except for the cove of Torrent de Pareis, Escorca), but beaches are

vació de clots, o utilitzant bombes d'extracció d'aigua connectades a un tub de perforació. A Mallorca, mentre el medi hiporreic es troba poc desenvolupat (desembocadura del torrent de Pareis, a més de les parts baixes d'alguns altres torrents de la Serra), no ocorre el mateix amb les platges. En ambdós ambients s'han realitzat troballes interessants, àdhuc d'elements nous per a la Ciència (HARTMANN, 1953; PRETUS, 1992; PRETUS & STOCK, 1990).

Catàleg faunístic

A les coves mallorquines i dels petits illots del seu voltant s'han comptabilitzat més de 250 espècies animals, entre terrestres i aquàtiques. D'elles, aproximadament 50 són troglòbies genuïnes (veure la Taula I per a la acepció d'aquest i altres termes semblants, utilitzats amb profusió en la literatura bioespeleològica). Més de la meitat (56 %) d'aquestes últimes són endèmiques de les Balears, un percentatge prou gros en termes evolutius per donar una idea del seu valor patrimonial i interès conservacionista. En contraposició, i a títol orientatiu, cal recordar que el nivell d'endemicitat assolit entre els diferents grups d'animals epigeus del nostre Arxipèlag oscil·la entre un 1'5 i un 30 %.

Al catàleg comentat que es presenta a continuació s'han inclòs únicament les espècies més rellevants des d'un punt de vista bioespeleològic, és a dir, els troglòbics genuïns, a més dels troglòfils més assidus i dels endemismes que, malgrat els seus trets morfològics no semblen indicar un *modus vivendi* restringit a les coves, no s'han trobat fins ara al medi epigeu. S'esmenten també els troglòxens pertanyents a grups que, per manca d'informació en el seu moment, no havien estat tractats a altres inventaris. Tanmateix, a la Taula II es llisten tots els tàxons, troglòbics o no, registrats fins ara al medi hipogeu mallorquí, excloses les coves submarines.

Bona part de les contribucions a la bioespeleologia balearica han aparegut a les pàgines de la revista *Endins*. Treballs de síntesi d'especial rellevància són l'inventari bioespeleològic de GINÉS (1982), i la monumental monografia de BELLÉS (1987). Posteriorment, PONS (1991) realitza una actualització d'aquest catàleg.

En la presentació dels grups s'ha seguit, preferentment, l'ordenació sistemàtica proposada per BELLÉS (1987).

Platyhelminthes Turbellaria

Els elements d'aquesta classe trobats a Mallorca, exclusivament dulciaquícules, han estat col·lectats preferentment a surgències càrstiques i pous. *Dugesia iberica*, *D. sicula* i *D. gonocephala* han estat citades de diverses estacions hipogees mallorquines (GOURBAULT & LESCHER-MOUTOUÉ, 1979; BA-

extensively represented. Both have rendered interesting new species for science (HARTMANN, 1953; PRETUS, 1992; PRETUS & STOCK, 1990).

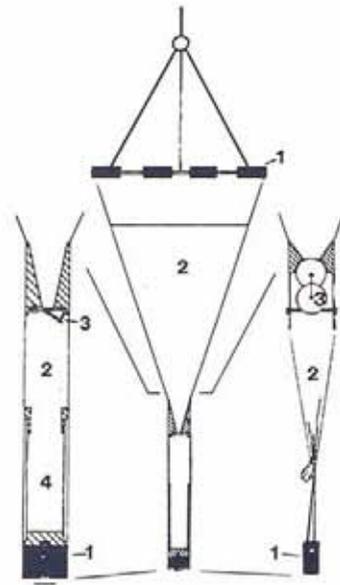


Figura 4: Xarxa treantobiològica (o xarxa de Cvetkov) especialment dissenyada per al mostreig de pous i d'altres zones inacessibles de les aigües subterrànies, segons CVETKOV (1968).

Figure 4: The Cvetkov net, a device specially designed for sampling in wells and other inaccessible groundwater habitats (after CVETKOV, 1968).

A checklist of the Majorcan cave fauna

More than 250 species of animals have been recorded to date in Majorcan caves. Approximately 50 of these can be considered to be genuine troglóbionts (see Table I for the meaning of this term and others commonly used in biospeleological literature). More than half (56%) of the latter are endemic to the Balearic Islands, a percentage big enough to be remarkable in evolutionary terms and important for conservation. In comparison, the level of endemism recorded among the different groups of epigeal animals in the Archipelago ranges between 1,5 and 30%.

The checklist presented below deals only with the taxa that are more remarkable from a biospeleological point of view, i.e., the troglóbionts and the more frequently encountered troglòphiles, plus the endemics that, even though their morphology does not denote a *modus vivendi* specially restricted to caves, have never been found in the epigeal medium. Troglòxene taxa which were not included in previous checklists are also treated here. Table II lists all the taxa, both troglóbiont and non-troglóbiont,

<p>TROGLOBIONT (o ESTIGOBIONT, si es tracta d'animals subterranis aquàtics): Cavernícola amb característiques morfològiques (com la regressió de l'aparell visual, despigmentació, allargament dels apèndixs) restringit al medi subterrani que suggereix una adaptació història per a la vida cavernícola.</p>	<p>TROGLOBIONT (or STYGOBIONT, if it is a groundwater animal): A cavernicole which shows morphological features (such as loss of eyes and surface pigment) which suggest that it has undergone a long history of cave habitation.</p>
<p>TROGLÒFIL (ESTIGÒFIL): Espècie que es troba amb freqüència en el medi cavernícola, i que pot o no completar el seu cicle a la cova, però que es pot localitzar en altres medis.</p>	<p>TROGLOPHYLE (STYGOPHYLE): A cavernicole which is known to complete its life cycle in non-cave habitats as well as in caves.</p>
<p>TROGLOXÈ (ESTIGOXÈ): Tàxon trobat accidentalment a les coves, on ha arribat circumstancialment, mai completa el seu cicle a l'interior de la cova.</p>	<p>TROGLOXENE (STYGOXENE): A species which occurs in caves, but does not complete its whole life cycle there.</p>

Taula I: Classificació bioespeleològica de les espècies cavernícoles.

Table I: A brief glossary of biospeleological terms.

GUÑÀ *et al.*, 1983), mentre que un representant indeterminat pertanyent a aquest gènere s'ha registrat a Cabrera (obs. pers.).

Nematoda

Han estat citats nematodes en les aigües de Mallorca sense donar-los una major assignació taxonòmica (GOURBAULT & LESCHER-MOUTOUÉ, 1979). El grup és freqüent als sediments dels llacs anquihalins de la costa SE (obs. pers.).

Mollusca

Els lamel·libranquis *Pisidium casertanum* i *P. personatum*, sense esser espècies cavernícoles, han estat col·lectats a les surgències càrstiques més importants de la Serra de Tramuntana (GASULL, 1965; obs. pers.).

No obstant, el major nombre d'espècies de mol·luscs citats a les nostres coves es concentra entre els gasteròpodes prosobranquis i pulmonats. Entre els primers cal citar l'espècie endèmica *Belgrandiella edmundi*, coneguda de surgències càrstiques de la Serra de Tramuntana (BOETERS, 1984, 1987). Un altre representant d'aquest grup, *Microna saxatilis*, fou citat per MOOLENBEEK (1980) de la mateixa comarca, encara que aquesta citació podria correspondre en realitat a l'espècie anteriorment esmentada (Altaba, com. pers.).

Entre els Pulmonats s'han citat un total de 19 espècies, localitzades principalment a les entrades de les coves (PONS & DAMIANS, 1992). Aquest nombre no és gens orientatiu, doncs quasi la totalitat d'espècies epigees conegudes a Mallorca poden comportar-se com a troglóxenes. Així per exemple, a

reported to date in the Majorcan hypogean environment, submarine caves excluded.

A great many of the contributions to Balearic biospeleology have appeared in the journal *Endins*. Specially relevant synthetic papers on our hypogean fauna are the biospeleological inventory of GINÉS (1982) and the monograph of BELLÉS (1987). Recently PONS (1992) has updated the faunal checklist.

The groupings used below follow mainly the systematic scheme adopted by BELLÉS (1987).

Platyhelminthes Turbellaria

The representatives of this group found on Mallorca are mainly associated with karstic springs and wells. *Dugesia iberica*, *D. sicula* and *D. gonocephala* have been recorded from several Majorcan stations (GOURBAULT & LESCHER-MOUTOUÉ, 1979; BAGUÑÀ *et al.*, 1983). Another representative of this genus, still not determined at species level, is present on Cabrera (pers. obs.).

Nematoda

Nematodes has been reported in Majorcan groundwaters although without any taxonomic details (GOURBAULT & LESCHER-MOUTOUÉ, 1979). They are frequent in the sediments of the anchihaline lakes of the SE coast (pers. obs.).

Mollusca

The lamellibranchs *Pisidium casertanum* and *P. personatum*, although not considered as true stygobionts, have been collected in several karstic

l'interior de l'Avenc del Far (Pollença) ha estat col·lectat l'endemisme *Rupestrella moraguesi* (obs. pers.). Això no obstant, la família dels Zonitidae és la que mostra més afinitat per a la vida hipogea. A Mallorca està representada amb l'espècie endèmica de les Gimnèsies *Oxychilus lentiformis*, comuna a l'interior de la majoria de cavitats (PONS & DAMIANS, 1992).

Annelida Oligochaeta

ENCINAS (1973) cita la presència d'oligoquets a Mallorca sense determinar l'espècie amb seguretat (*Lumbricus communis?*). Per la seva part, TRIGO *et al.* (1989) estudien el material provinent de coves de Mallorca, identificant *Allolobophora caliginosa*, *A. georgii*, *Dendrobaena byblica*, *D. cognettii*, *D. rubida* i *Eiseniella tetraedra*. Totes foren recol·lectades a la zona d'Escorca i de Puigpunyent.

Arachnida

Els aràcnids estan representats a les Balears per distints ordres: Scorpiones, Opiliones, Palpigradi, Araneae, Pseudoscorpiones i Acari.

L'únic escorpi present a les Gimnèsies és *Euscorpium carpathicus balearicus*, un tàxon epigeu que ha estat recol·lectat en distintes ocasions en les entrades de les coves.



Figura 5: *Roncus vidali* LAGAR, 1972, pseudoscorpí troglòbi de Mallorca.

Figure 5: *Roncus vidali* LAGAR, 1972, a troglöbittic pseudoscorpion from Mallorca.

D'entre els opilions, la família dels laniators és la més adaptada a la vida hipogea, si bé les espècies d'aquest grup trobades fins ara a les nostres coves es coneixen també de l'exterior. Són destacables l'endemisme mallorquí *Scotolemon balearicus*, i també *S. krausi*, endèmic de Mallorca, Eivissa i Cabrera (RAMBLA, 1972; 1977; PONS & RAMBLA, 1993).

Eukoenenia draco draco és un palpigrad endèmic de Mallorca conegut únicament de les Coves del Drac (PEYERIMHOFF, 1906). La espècie està representada al continent per la subspècie *zariqueiyi*, descrita d'una cavitat de Barcelona.

springs in Serra de Tramuntana (GASULL, 1965; pers. obs.).

The largest number of mollusc species reported from Majorcan caves relates to prosobranch and pulmonate gastropods. Among the former is the endemic *Belgrandiella edmundi*, known only from karstic springs in Serra de Tramuntana (BOETERS, 1984; 1987). Another representative of this group, *Microna saxatilis*, was cited by MOOLENBEEK (1980) from the same district, although this citation could in fact correspond to the species cited above (Altaba, pers. com.).

Among the pulmonates, 19 species have been cited from caves, although they were mainly located in the threshold zone. That number is non-indicative since all epigeal taxa known from Mallorca can also occur as troglöxenes. Thus, as an example, in the deepest part of *Avenc des Far* (Pollença) the endemic *Rupestrella moraguesi* has been collected (pers. obs.). The family Zonitidae displays a major affinity for hypogean life. On Mallorca it is represented by the endemic *Oxychilus lentiformis*, which is very common in the interior of most caves (PONS & DAMIANS, 1992).

Annelida Oligochaeta

ENCINAS (1973) reported earthworms from several Majorcan caves but without determining the species (*Lumbricus communis?*). TRIGO *et al.* (1989) identified *Allolobophora caliginosa*, *A. georgii*, *Dendrobaena byblica*, *D. cognettii*, *D. rubida* and *Eiseniella tetraedra*. All collected from caves in Escorca and Puigpunyent.

Arachnida

The arachnids are represented in the Balearics by several orders, viz. Scorpiones, Opiliones, Palpigradi, Araneae, Pseudoscorpiones and Acari.

The only scorpion on Mallorca is *Euscorpium carpathicus balearicus*, an epigeal species which has been collected repeatedly in the threshold zone of many caves.

Among the harvestmen, the family Laniatores is the best adapted to hypogean life, although none of its representatives on Mallorca is a true troglöbiont. Two taxa are specially noteworthy, the Majorcan endemic *Scotolemon balearicus* and also *S. krausi*, an endemic from Mallorca, Eivissa and Cabrera (RAMBLA, 1972; 1977; PONS & RAMBLA, 1993).

Eukoenenia draco draco is a palpigrad endemic to Mallorca and known only from Coves del Drac (Manacor) (PEYERIMHOFF, 1906). The other subspecies *zariqueiyi* was described from a cavern near Barcelona (Iberian peninsula).

The Pseudoscorpiones are one of the most common elements in caves (Figure 5). As other arachnid groups, they predate upon other cavernicolous organisms of small size. Different

<p>PLANARIA <i>Dugesia ibérica</i> <i>Dugesia sicula</i> <i>Dugesia gonocephala</i></p> <p>NEMATODA OLIGOCHAETA <i>Allolobophora caliginosa</i> <i>Allolobophora georgii</i> <i>Dendrobaena byblica</i> <i>Dendrobaena cognatii</i> <i>Dendrobaena rubida</i> <i>Eiseniella tetraedra</i></p> <p>MOLLUSCA <i>Pisidium casertanum</i> <i>Pisidium personatum</i> <i>Bolgrandiella edmundi</i> <i>Tudorella ferruginea</i> <i>Lauria cylindracea</i> <i>Rupestrella moraguesi</i> <i>Oxychilus lentiformis</i> <i>Ferussaria folliculus</i> <i>Cermelea virgata</i> <i>Trochoidea frater</i> <i>Trochoidea claudinae</i> <i>Iberellus balearicus</i> <i>Iberellus companyonii</i> <i>Alloganthus graellsianus</i> <i>Hygromia lanuginosa</i> <i>Caracolina lenticula</i> <i>Helix aspersa</i> <i>Otala lactea</i> <i>Otala punctata</i> <i>Papillifera bidens</i> <i>Rumina decollata</i> <i>Ovatella myosotis</i> <i>Ovatella ciliata</i> <i>Deroceras reticulatum</i> <i>Limax flavus</i> <i>Limax majoricensis</i></p> <p>ARACHNIDA PALPIGRADA <i>Eukoenaia draco draco</i> **</p> <p>ARACHNIDA PSEUDOSCORPIONES <i>Chthonius dacnoides</i> <i>Chthonius ischnochelae</i> <i>Chthonius balearicus</i> <i>Chthonius ponsi</i> <i>Chthonius gibbus</i> <i>Neobisium monasterii</i> ** <i>Roncus neotropicus</i> <i>Roncus caralinatus</i> <i>Roncus pugnax</i> <i>Roncus vidali</i> **</p> <p>ACARI HYDRACHNELLAE <i>Eylais hamata</i> <i>Hydryphantes parmularis</i> <i>Hydryphantes placationis</i> <i>Trycothys petrophila</i> <i>Paniscus torrenticolus</i> <i>Wandesia stygophila</i> <i>Hydrodroma despiciens</i> <i>torrenticola</i> <i>Sperchon denticulatus</i> <i>Teutonia cometes</i> <i>Lebertia (Lebertia) sp.</i> <i>Lebertia porosa</i> <i>Lebertia zschokkei</i> <i>Lebertia lineata</i> <i>Lebertia (Pikolebertia) sp.</i> <i>Torrenticola pharyngealis</i> <i>aberrans</i> <i>Limnesia arevaloi</i> <i>Hygrobatas calliger</i> <i>Hygrobatas longipalpis</i> <i>Atractides nodipalpis pennatus</i> <i>Atractides tener</i> <i>Atractides inflatus</i></p>	<p><i>Neumania uncinata</i> <i>Tiphys torris (grup)</i> <i>Pionopsis lutescens</i> <i>Aturus crinitus</i> <i>Balcanohydracarus alveolatus</i> <i>Arrenurus sp.</i></p> <p>ARACHNIDA ARANEAE <i>Nemesia brauni</i> <i>Dysdera crocota</i> <i>Harpactea dufouri</i> <i>Filistata insidiatrix</i> <i>Ariadna spinipes</i> <i>Leptoneta intuscata</i> <i>Zora sp.</i> <i>Loxosceles rufescens</i> <i>Pholcus phalangioides</i> <i>Spermophora valentiana</i> <i>Steatoda grossa</i> <i>Steatoda triangularis</i> <i>Coscinidia tibialis</i> <i>Pholcomma gibbum</i> <i>Eidmannella suggerens</i> <i>Lepthyphantes tonius</i> <i>Lepthyphantes stygius</i> <i>Lepthyphantes aff. obscurus</i> <i>Microneta viaria</i> <i>Centromerus sylvaticus</i> <i>Meta merianae</i> <i>Meta boumeti</i> <i>Zygiella x-notata</i> <i>Ero furcata</i> <i>Malthonica balearica</i> <i>Tegenaria pagana</i> <i>Tegenaria domestica</i> <i>Textrix coartata</i></p> <p>ARACHNIDA OPILIONES <i>Scotolemon krausi</i> <i>Scotolemon balearicus</i> ** <i>Phalangium clavipes</i></p> <p>ARACHNIDA ACARI <i>Ixodes vespertilionis</i></p> <p>CRUSTACEA CLADOCERA <i>Alona guttata</i> <i>Pleuroxus aduncus</i> <i>Cypridopsis newtoni</i></p> <p>CRUSTACEA OSTRACODA <i>Mixtacandona sp.</i> * <i>Pseudocandona sp.</i> * <i>Bairdia raripila</i> <i>Xestoleberis costata</i> **</p> <p>CRUSTACEA COPEPODA <i>Speleophria sp.</i> ** <i>Stephos margalefi</i> ** <i>Halicyclops troglodytes</i> * <i>Halicyclops rotundipes</i> <i>Halicyclops neglectus</i> <i>Metacyclops subdolos</i> * <i>Macrocyclus albidus</i> <i>Eucyclops serrulatus</i> <i>Eucyclops aff. hadjebensis</i> <i>Tropocyclops prasinus</i> <i>Paracyclops fimbriatus</i> <i>Acanthocyclops viridis viridis</i> <i>Diacyclops clandestinus</i> <i>Diacyclops bisetosus</i> <i>Diacyclops languidoides</i> <i>Diacyclops languidoides</i> <i>dandestinus</i> <i>Diacyclops balearicus</i> ** <i>Diacyclops bicuspidatus</i> <i>Thermocyclops dybowskii</i> <i>Speleocyclops hellenicus</i> * <i>Thermocyclops oblongatus</i> * <i>Parapseudoleptomesocra</i> <i>minoricae</i> <i>Parapseudoleptomesocra aff.</i> <i>subterranea</i> <i>Nitocra psammophila</i></p>	<p><i>Pseudectinosoma sp.</i> * <i>Parastenocaris sp.</i> *</p> <p>CRUSTACEA SINCARIDA <i>Iberobathynella fagei</i></p> <p>CRUSTACEA TERMOBENACEA <i>Tethysbaena scabra</i> ** <i>Monodella argentarii</i></p> <p>CRUSTACEA ISOPODA <i>Metacriolana ponsi</i> ** <i>Typhlocirolana moraguesi</i> ** <i>Lekanesphaera hookeri</i> <i>Proasellus coxalis gabriellae</i> <i>Jaera itaica</i> <i>Jaera nordmanni brevicaudata</i> <i>Jaera nordmanni balearica</i> <i>Microcharon comasi</i> <i>Buddelundiella cataractae</i> <i>Armadillidium granulatum</i> <i>Armadillidium vulgare</i> <i>Armadillidium espanyoli</i> <i>Balldillium pilosum</i> <i>Armadillo officinalis</i> <i>Chaetophiloscia elongata</i> <i>Anaphiloscia simoni</i> * <i>Leptotrichus panzeri</i> <i>Porcellio dilatatus</i> <i>Porcellio laevis</i> <i>Porcellio incanus</i> <i>Porcellionides sexfasciatus</i> <i>sexfasciatus</i> <i>Porcellionides pruinosus</i> <i>Agabillomius manacori</i> <i>Trichoniscus pusillus provisorius</i> <i>Trichoniscus dragani</i> ** <i>Balearonethes sesrodesanus</i> ** <i>Haplophthalmus chisterai</i></p> <p>CRUSTACEA AMPHIPODA <i>Metacrangonyx longipes</i> ** <i>Salentinella angelieri</i> * <i>Bogidiella balearica</i> ** <i>Bogidiella torrenticola</i> ** <i>Pseudoniphargus adriaticus</i> * <i>Pseudoniphargus mercadali</i> * <i>Pseudoniphargus racovitzai</i> ** <i>Pseudoniphargus triasi</i> ** <i>Pseudoniphargus daviui</i> ** <i>Psammogammarus burri</i> ** <i>Rhipidogammarus</i> <i>rhipidophorus</i> * <i>Rhipidogammarus varicauda</i> **</p> <p>CRUSTACEA MYSIDA <i>Burrmysis palmeri</i> **</p> <p>DIPLOPODA <i>Lophoproctus pagesi</i> ** <i>Lophoproctus joanneli</i> <i>Polydesmus dismilus</i> <i>Polydesmus coriaceus t</i> <i>arraconensis</i> <i>Orphanoiulus religiosus</i> <i>majoricensis</i></p> <p>CHILOPODA <i>Lithobius dieuzeidei</i> <i>Lithobius piceus manacori</i> <i>Lithobius piceus tabacauri</i> <i>Lithobius aeruginosus</i> <i>Lithobius georgescui</i> <i>Lithobius vivesi</i> ** <i>Stimatogaster gracilis</i> <i>Chaetechelyne vesuviana</i> <i>Scutigera coleoptrata</i></p> <p>SYMPHYLA <i>Scutigera immaculata</i></p> <p>COLLEMBOLA <i>Heteromurus nitidus</i></p>	<p><i>Oncopodura tricuspdata</i> * <i>Pseudosinella subcentralis</i> **</p> <p>DIPLURA <i>Campodea majorica majorica</i> * <i>Campodea majorica interjecta</i> * <i>Plusiocampa fagei</i> * <i>Homojapyx espanoli</i> **</p> <p>ORTHOPTERA TRICHOPTERA <i>Micropterna fissa</i> <i>Mesophylax aspersus</i></p> <p>LEPIDOPTERA <i>Triphosa dubitata</i> <i>Hyphen obsoletus</i> <i>Alucita hexadactyla</i> <i>Pyrois effusa</i></p> <p>DIPTERA <i>Rhynchosia dziedickii</i> <i>Aphiochaeta rufipes</i> <i>cf. Hypocera flavimana</i> <i>Limonia nubeculosa</i> <i>Penicillidia dufouri</i> <i>Nycteribia schmidli</i> <i>Nycteribia vexata</i></p> <p>HYMENOPTERA <i>Ponera coarctata</i> <i>Crematogaster scutellaris</i></p> <p>COLEOPTERA <i>Elaphocera capdebouvi</i> <i>Aglenus brunneus</i> <i>Reicheia balearica</i> ** <i>Porolachys bisulcatus</i> <i>Duvallius balearicus</i> ** <i>Trechopsis terrestris</i> ** <i>Henrotius jordi</i> ** <i>Pristonychus algerinus</i> <i>Mycetoporus longicornis</i> <i>Conosoma cavicola</i> <i>Atheta negligens</i> <i>Atheta bellesi</i> <i>Omalium espanoli</i> <i>Labrathium bellesi</i> <i>Catops zarquieyi</i> <i>Leptobythus palau</i> ** <i>Elenophonus collaris</i> <i>Akis acuminata</i> <i>Blaps lusitana</i> <i>Blaps bedoli mcminni</i> <i>Cryptophagus sp.</i> <i>Anobium punctatum</i></p> <p>PSOCOPTERA SIPHONAPTERA <i>Xenopsylla gratiosa</i></p> <p>HOMOPTERA <i>Cixius sp.</i> *</p> <p>HETEROPTERA <i>Velia hoberlandti</i></p> <p>PECES <i>Anguilla anguilla</i></p> <p>AVES <i>Passer domesticus</i> <i>Columba livia</i> <i>Tyto alba</i></p> <p>CHIROPTERA <i>Rhinolophus ferrumequinum</i> <i>Rhinolophus hipposideros</i> <i>Rhinolophus mehelyi</i> <i>Myotis myotis</i> <i>Myotis nattereri</i> <i>Myotis capaccinii</i> <i>Plecotus austriacus</i> <i>Miniopterus schreibersii</i></p>
---	---	---	--

Taula II: Llistat de la fauna hipogea de Mallorca. *: Taxon troglòbiont / estigobiont; **: Taxon troglòbiont / estigobiont endèmic de les illes Balears.

Table II: Checklist of the hypogean fauna of Mallorca. *: Troglòbiont / stygobiont taxa; **: Troglòbiont / stygobiont endemic taxa from the Balearic Islands.

Els pseudoscorpins són un dels elements més comuns en les cavitats (Figura 5). A l'igual que els altres aràcnids, actuen depredant sobre altres organismes cavernícoles de mida petita. A Mallorca han estat citades distintes espècies (LAGAR, 1972; 1973; MAHNERT, 1977), entre les que destaquen els endemismes: *Chthonius balearicus*, *Neobisium monasterii*, *Roncus vidali* i *Chthonius ponsi*, aquest darrer conegut exclusivament d'una cavitat de Cabrera (MAHNERT, 1993a, 1993b). *Neobisium monasterii* és l'espècie més troglòbitzada i està relacionada amb la fauna algeriana. Per altra part, cal dir que les citacions existents de *Roncus lubricus* segurament són sinònimes de *Roncus caralinatus* (MAHNERT, 1993a) (Figura 6).

Alguns dels àcars de vida cavernícola estan associats com a ectoparàsits a rates-pinyades (Ixodidae). D'entre ells, únicament ha estat citat de Mallorca *Ixodes vespertilionis*. Altres citacions d'àcars es refereixen a oribàtids (principalment Oppidae), freqüents entre els acúmuls de matèria orgànica o formant part de la fauna guanòbia. Un darrer grup que compta amb representació al medi hipogeu mallorquí és el dels hidràcars, abundants a les fonts i surgències càrstiques de la Serra de Tramuntana (GIL et al., 1994).

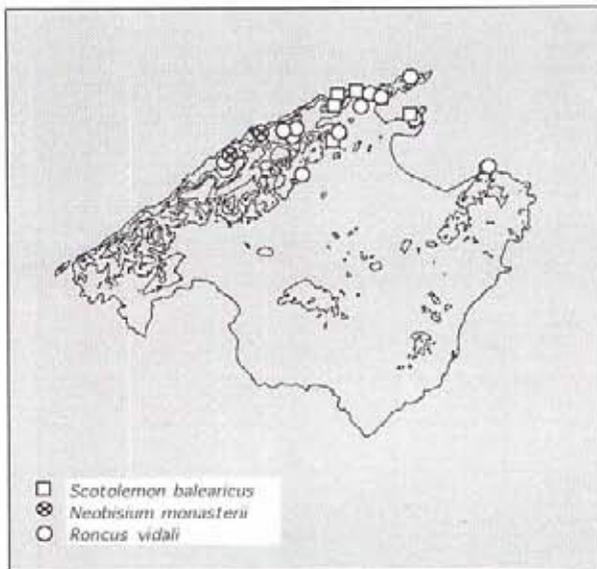


Figura 6: Distribució dels aràcnids troglöbits de Mallorca.

Figure 6: Distribution of troglöbitic Arachnida on Mallorca.

Els principals estudis sobre les aranyes de les coves de Mallorca han estat realitzats per FAGE (1931), ORGHIDAN et al. (1975), RIBERA (1977; 1981) i PONS & DAMIANS (1992). Si bé algunes d'elles són típicament troglòfiles, cap espècie es pot considerar estrictament cavernícola. Àdhuc l'espècie amb aptituds més «troglòbies» (PONS, 1992), *Leptoneta infuscata*, ha estat també recol·lectada a l'exterior (DRESCO, 1980).

species have been recorded from Majorcan caves (LAGAR, 1972; MAHNERT, 1977), the most remarkable being the endemics *Chthonius balearicus*, *Neobisium monasterii*, *Roncus vidali* and *Chthonius ponsi*, the latter known only from a single cave on Cabrera (MAHNERT, 1993a; 1993b). *Neobisium monasterii* is the most specialized troglöbitic species, and is related to Algerian forms. The existing records of *Roncus lubricus* are surely misidentifications of *R. caralinatus* (MAHNERT, 1993a) (Figure 6).

Some cavernicolous Acari are parasites of bats (Ixodidae). Among them, only *Ixodes vespertilionis* has been reported from Mallorca. Others, belonging to the Oribatida (mainly Oppidae) are common on deposits of guano or decaying organic matter. The Hydracari are also represented, specially in the karstic springs of Serra de Tramuntana (GIL et al., 1994).

The main studies on the spiders from Majorcan caves are those of FAGE (1931), ORGHIDAN et al. (1975), RIBERA (1977; 1981) and PONS & DAMIANS (1992). Although some of them are typically troglöphiles, no one can be considered as strictly troglöbiont. The species which seems best adapted to live in caves, *Leptoneta infuscata*, has been also collected in the epigeal medium (PONS, 1992; DRESCO, 1980).

Crustacea

Many different groups of crustaceans have been reported from the Majorcan hypogean environment.

The mystacocarid *Derocheilocaris remanei*, a species widely distributed in the Mediterranean basin, has been collected from the interstitial of a sandy beach on Mallorca (PRETUS, 1992).

The Cladocera are a mainly epigeal group, although some are known to be restricted to the hyporheos of some European rivers. *Pleuroxus aduncus*, *Alona guttata* and *Tretoccephala ambigua* have been reported from the Majorcan caves, but all three are common in epigeal waters (GOURBAULT & LESCHER-MOUTOUÉ, 1979; MARGALEF, 1953).

The Ostracoda are relatively common in Majorcan groundwaters, although they are poorly studied. GOURBAULT & LESCHER-MOUTOUÉ (1979) reported podocopids belonging to the genera *Mixtacandona* and *Pseudocandona* from several caves, although they did not determine the species. HARTMANN (1953) described *Xestoleberis costata* from the interstitial of the beach at Illetes (Calvià); today also known from the island of Stromboli (Italy) (DANIELOPOL & BONADUCE, 1990).

Among the copepods, the calanoid *Stephos margalefi* was described from the deepest parts of a submarine cave in Capdepera (RIERA et al., 1991), though it is now known from other anchihaline caves on the SE coast, and also on Cabrera. Other

Crustacea

Representants d'aquesta Classe, pertanyents a grups molt diversos, s'han citat amb profusió del medi hipogeu mallorquí.

Entre els mistacocàrides, l'espècie *Derocheilocarid remanei*, d'àmplia distribució mediterrània, s'ha col·lectat en el medi intersticial de platges de Mallorca (PRETUS, 1992).

Els cladòcers són un grup principalment epigeu, si bé s'en coneixen algunes espècies exclusives del medi hiporreic d'alguns rius europeus. A les coves mallorquines s'han citat *Pleuroxus aduncus*, *Alona guttata* i *Tretocephala ambigua*, les tres comunes en aigües superficials (GOURBAULT & LESCHER-MOUTOUÉ, 1979; MARGALEF, 1953).

Els ostràcodes es troben amb freqüència a les aigües subterrànies mallorquines, si bé el seu estudi no s'ha iniciat encara en profunditat. GOURBAULT & LESCHER-MOUTOUÉ (1979) citaren podocòpids pertanyents als gèneres *Mixtacandona* i *Pseudocandona* a diverses coves de Mallorca, encara que no els varen determinar a nivell específic. Per altra part, HARTMANN (1953) va descriure l'espècie *Xestoleberis costata* del medi intersticial de la platja d'Illetes, a Calvià, i coneguda també de l'illa d'Stromboli (DANIELOPOL & BONADUCE, 1990).

Entre els copèpodes, el calanoid *Stephos margalefi* es va descriure de la part fonda d'una cova submarina de Capdepera (RIERA *et al.*, 1991), si bé ara es coneix també d'altres coves anquihalines de la costa SE, àdhuc de Cabrera. Per altra part, un misofrioid del gènere *Speleophria* s'ha citat a una cova d'aquesta darrera illa (JAUME, 1993). En contraposició a aquests grups, els ciclopoides estan més ben representats. S'han citat una decena d'espècies, essent 5 estigobionts: *Speleocyclops hellenicus*, *Thermocyclops oblongatus*, *Halicyclops troglodytes*, *Metacyclops subdulus* i l'endemisme de Mallorca *Diacyclops balearicus* (LESCHER-MOUTOUÉ, 1978; 1981). Els harpacticoides estigobionts mallorquins són poc coneguts. GOURBAULT & LESCHER-MOUTOUÉ (1979) col·lectaren a coves alguns exemplars pertanyents als gèneres *Pseudectinosoma* i *Parastenocaris*, encara que no els varen determinar a nivell específic.

D'entre els sincàrids, els batinelacis, grup primordialment dulciaquícola, compta amb un representant a les aigües subterrànies dolces de Mallorca: *Iberobathynella fagei*. S'ha localitzat a diversos indrets de la Serra de Tramuntana (Coves de Gènova, Bufador de Solleric, Font de Massanella), així com als gours de la Cova de sa Bassa Blanca (muntanyes d'Alcúdia) (MARGALEF, 1951; obs. d'A. Ginés i obs. pers.). No és un endemisme, doncs es coneix també de nombroses estacions de la península Ibèrica i del sud de França.

Els termosbenacis són un grup de crustacis principalment circumscrit a aigües anquihalines. A Ma-

interesting anchihaline copepods are the Misophrioida, which include an as yet undescribed new species of *Speleophria* from a cave on Cabrera (JAUME, 1993). The cyclopoids are represented by 10 species in groundwater habitats, 5 of them stygobionts: *Speleocyclops hellenicus*, *Thermocyclops oblongatus*, *Halicyclops troglodytes*, *Metacyclops subdulus* and *Diacyclops balearicus*. The last species is endemic to Mallorca (LESCHER-MOUTOUÉ, 1978; 1981). The stygobiont harpacticoids from Mallorca are poorly known. GOURBAULT & LESCHER-MOUTOUÉ (1979) collected some representatives of the genera *Pseudectinosoma* and *Parastenocaris* from caves, but these were not determined at the species level.

Among the Sycarida, the mainly freshwater Bathynellacea has a representative in Majorcan groundwaters: *Iberobathynella fagei*. It is known from several stations in Serra de Tramuntana (Coves de Gènova, Bufador de Solleric, Font de Massanella), as well as from gours in Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia) (MARGALEF, 1951; pers. comm. A. Ginés; pers. obs.). It is not an endemic, as it is also known from numerous stations on the Iberian peninsula and southern France.

The Thermosbaenacea is mainly restricted to anchihaline waters. The endemic *Tethysbaena scabra* (Pretus, 1991) has been described from Mallorca and Menorca (WAGNER, 1994).

Woodlice (*Oniscoidea*) are good colonizers of dark humic environments. Their detritivorous nature facilitates colonization of caves and many troglobiont species are found in the group. On Mallorca there are 4: *Anaphiloscia simoni*, *Trichoniscus dragani*, *Balearonethes sesrodesanus* and *Haplophthalmus chisterai*, described respectively by RACOVITZA (1907b), TABACARU (1974), DALENS (1977) and CRUZ & DALENS (1989). The last 3 are endemics. RACOVITZA (1907b) also described *Agabiformius manacori*, a troglophile only known from the type locality (Coves del Drac, Manacor), which has never been found again (Figure 7).

Among the more remarkable aquatic isopods is the cirolanid *Typhlocirolana moraguesi* which is widely distributed in anchihaline and freshwater environments on Mallorca, Cabrera and sa Dragonera (GINÉS & GINÉS, 1977; pers. obs.). This species is also known from Menorca (PRETUS, 1981) as well as from Sicily, although the latter population possibly represent a separate new species (CACCONI *et al.*, 1986). Another stygobiont cirolanid from Mallorca is *Metacirolana ponsi*, known only from an anchihaline cave on Cabrera (JAUME & GARCIA, 1992b) (Figure 8).

The only citation of a stygobiont janirid isopod on Mallorca corresponds to «*Microcharon comasi*», an as yet undescribed species from Cova de Can Sivella (Pollença) (COINEAU, 1986). Other citations of janirids refer to several stygophilic Jaera species found in caves and karstic springs (GOURBAULT &

llorca es coneix l'endemisme balear *Tethysbaena scabra* (Pretus, 1991) (in WAGNER, 1994).

Els isòpodes terrestres (Oniscoidea) són bons colonitzadors d'ambients humícoles i obscurícoles. El seu règim detritòfag facilita la seva presència a les coves i, de fet, es coneixen moltes espècies genuïnament troglòbies dintre del grup. A Mallorca en trobam quatre pròpies d'aquest ambient: *Anaphiloscia simoni*, *Trichoniscus dragani*, *Balearonethes sesrodesanus* i *Haplophthalmus chisterai*, descrites respectivament per RACOVITZA (1907b), TABACARU (1974), DALENS (1977) i CRUZ & DALENS (1989). Les tres darreres són endèmiques de Mallorca. A més, RACOVITZA (1907b) també descriu *Agabiformius manacori*, espècie troglòfila coneguda únicament de la localitat tipus (Coves del Drac), i no torna a retrobar des de la seva descripció (Figura 7).

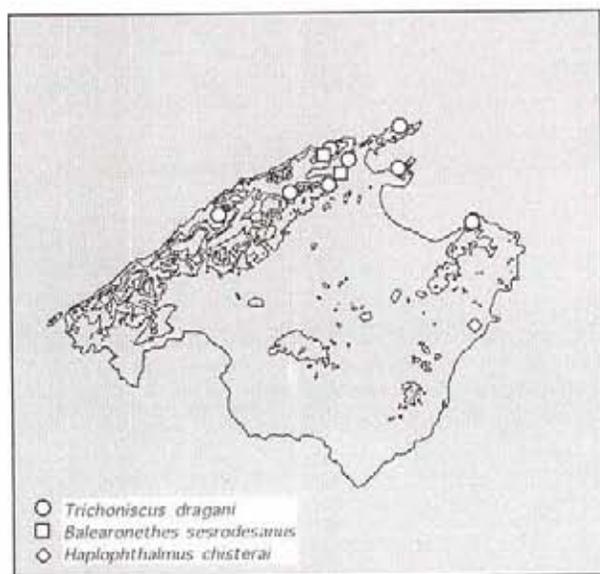


Figura 7: Distribució dels isòpodes oniscoides troglòbits de Mallorca.

Figure 7: Distribution of troglöbitic oniscoid isopods on Mallorca.

Entre els isòpodes aquàtics, destaca el cirolànid *Typhlocirolana moraguesi*, que colonitza àmpliament les aigües subterrànies de Mallorca, Cabrera i sa Dragonera (GINÉS & GINÉS, 1977; obs. prop.). Aquesta espècie es coneix també de Menorca (PRETUS, 1981), així com d'aigües freàtiques sicilianes, si bé en aquest darrer cas pot tractar-se d'una espècie diferent (CACCONI *et al.*, 1986). Un altre cirolànid estigobi mallorquí és *Metacirolana ponsi*, conegut únicament d'ambients anquihalins a l'illa de Cabrera (JAUME & GARCIA, 1992b) (Figura 8).

En quant a isòpodes janírids, s'ha citat un «*Microcharon comasi*», capturat a la Cova de Can Siveïlla (Pollença) (COINEAU, 1986), si bé aquest tàxon no ha estat formalment descrit. Altres citacions de janírids, si bé en aquest cas estigòfils, fan referència a diverses *Jaera* localitzades a cavernes o surgències

LESCHER-MOUTOUÉ, 1979; JAUME & GARCIA, 1988; PRETUS, 1989).

The Amphipoda are highly diverse in Majorcan groundwaters. The following endemics are specially noteworthy: *Bogidiella balearica*, *B. torrenticola*, *Rhipidogammarus variicauda*, *Metacrangonyx longipes* and *Psammogammarus burri*. All inhabit

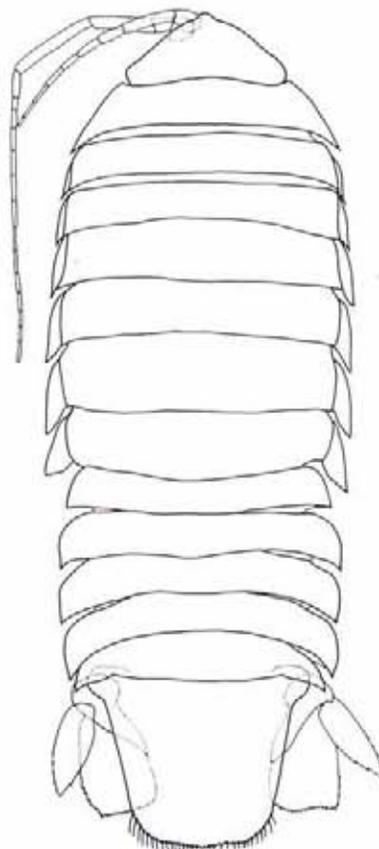


Figura 8: *Metacirolana ponsi* JAUME et GARCIA, 1992, isòpode anquihalí de la Cova des Burri (Cabrera).

Figure 8: *Metacirolana ponsi* JAUME & GARCIA, 1992, an anchihaline isopod from caves on Cabrera.

brackish waters, although *Metacrangonyx* is also regularly found in fresh waters (DANCAU, 1973; PRETUS & STOCK, 1990; STOCK, 1978; CHEVREUX, 1909; JAUME & GARCIA, 1992a) (Figure 9). Three additional endemic species, viz. *Pseudoniphargus racovitzai*, *P. daviui* and *P. triasi* are restricted to freshwater habitats on Mallorca and Cabrera (PRETUS, 1990; JAUME, 1991). Another 4 amphipods are known from Majorcan groundwaters, although their distributions extend beyond the Balearic Islands. *Pseudoniphargus mercadali*, for example, which was to date only known from Mallorca and Menorca, has been recently collected on Sardinia (pers. obs.). There are 2 littoral species displaying a wide circum-mediterranean distribution: *Pseudoniphargus adriaticus* and *Salentinella angelieri*.

càrstiques (GOURBAULT & LESCHER-MOUTOUÉ, 1979; JAUME & GARCIA, 1988; PRETUS, 1989).

Els amfípodes es troben àmpliament diversificats a les aigües subterrànies mallorquines. Destaquen els endemismes *Bogidiella balearica*, *B. torrenticola*, *Rhipidogammarus variicauda*, *Metacrangonyx longipes* i *Psammogammarus burri*, tots ells habitants d'aigües salobres (encara que *Metacrangonyx* pot trobar-se també en aigües dolces) (DANCAU, 1973; PRETUS & STOCK, 1990; STOCK, 1978; CHEVREUX, 1909; JAUME & GARCIA, 1992a) (Figura 9). Altres 3 endemismes, *Pseudoniphargus racovitzai*, *P. triasi* i *P. daviui*, es troben per contra relegats a estacions exclusivament dulciaqüícoles de Mallorca i Cabrera (PRETUS, 1990; JAUME, 1991). Es coneixen altres 4 amfípodes estigobis a aigües mallorquines, si bé en aquest cas es tracta d'espècies amb distribucions que s'estenen més enllà de l'àmbit Balear. Així, *Pseudoniphargus mercadali*, conegut fins a hores d'ara únicament de coves de Mallorca i Menorca (PRETUS, 1989), ha estat recol·lectat recentment també a Sardenya (dades inèdites dels autors). D'altra banda, es coneixen també 2 elements litorals d'àmplia distribució circummediterrània: *Pseudoniphargus adriaticus* i *Salentinella angelieri*. Finalment, *Rhipidogammarus rhipidiophorus*, un altre element circummediterrani, és comú a les surgències càrstiques properes a la costa de la vessant nord de la Serra de Tramuntana.

L'únic misidaci exclusivament cavernícola conegut a les Balears és *Burrimysis palmeri*, gènere endèmic de la Cova des Burri, a l'illa de Cabrera (JAUME & GARCIA, 1993).

Diplopoda

Els milpeus són animals higròfils de costums detritòfages. A les coves de Mallorca ha estat descrit l'endemisme *Lophoproctus pagesi*, conegut únicament de les Coves de Gènova (CONDÉ, 1981) i de la Cova de Bellver (NGUYEN DUY-JACQUEMIN, 1993). Altres espècies epigees es troben amb més o manco freqüència a les coves, com: *Lophoproctus jeanneli*, *Polydesmus dismilus*, *Polydesmus coriaceus tarraconensis* i *Orphanioiulus religiosus majoricensis*, aquesta darrera, subespècie endèmica de Mallorca.

Chilopoda

Els centpeus, malgrat no estar especialment adaptats a la vida en les coves, són formes lucífuges comunes en ambients lapidícoles. *Lithobius vivesi*, endemisme de Mallorca, és l'únic que es pot considerar com a veritable troglòbi (SERRA, 1983).

Insecta

Els col·lèmbols són localment abundants en les zones de les coves on es dona una major acumulació

Finally another circum-mediterranean element, *Rhipidogammarus rhipidiophorus*, is common in the karstic springs close to the sea on the northern slope of Serra de Tramuntana.

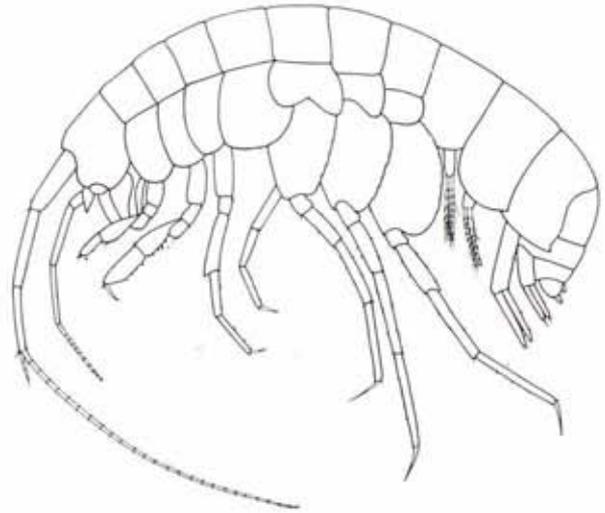


Figura 9: *Metacrangonyx longipes* CHEVREUX, 1909, el primer amfípode estigobiont conegut de Mallorca (segons CHEVREUX, 1909).

Figure 9: *Metacrangonyx longipes* CHEVREUX, 1909, the first stygobiont amphipod known from Mallorca.

The only stygobiont mysid on the Balearic Islands is *Burrimysis palmeri*, a genus known to date only from an anchihaline cave on Cabrera (JAUME & GARCIA, 1993).

Diplopoda

Millipedes are hygrophilous animals which feed mainly on detritus. In Majorcan caves the endemic *Lophoproctus pagesi* is restricted to Coves de Gènova (CONDÉ, 1981) and Cova de Bellver (NGUYEN DUY-JACQUEMIN, 1993). Other epigeal species have been recorded regularly in caves, including *Lophoproctus jeanneli*, *Polydesmus dismilus*, *P. coriaceus tarraconensis* and *Orphanioiulus religiosus majoricensis*.

Chilopoda

Centipedes, although not specially adapted for the life in caves, are frequent under stones and in other dark habitats. *Lithobius vivesi*, an endemic of Mallorca, is the only which can be considered as a true troglóbiont (SERRA, 1983).

Insecta

Springtails (*Collembola*) are locally abundant in caves, specially on accumulations of decaying organic matter. In Mallorca 3 species are known, *Oncopodura tricuspidata*, *Heteromurus nitidus* and the endemic *Pseudosinella subcentralis*, the latter

de matèria orgànica. A Mallorca han estat citades *Onopodura tricuspidata*, *Heteromurus nitidus* i l'endemisme *Pseudosinella subcentralis*, conegut únicament de la Cova des Estudiants (Sóller) (GAMMA, 1985).

Els diplurs compten a Mallorca amb representants de dues famílies amb aparença ben diferent. Els campodèids, amb *Campodea majorica majorica*, *Campodea majorica interjecta* i *Plusiocampa fagei*, tenen antenes i cercs molt llargs. Els Japígids, representats per *Homojapyx espanyoli*, tenen antenes curtes i de vegades els cercs modificats en forma de pinces, de fesomia semblant a dermàpters. *Campodea majorica*, un altre representant d'aquest grup, havia estat considerada fins fa poc com a endemisme de Mallorca, però actualment es coneix també del llevant Ibèric (Sendra *in lit.*, HERRERO-BORGOÑÓN & GONZÁLEZ, 1993).

Els dípters, tricòpters, lepidòpters i himenòpters citats a les coves mallorquines s'han capturat preferentment a les entrades, i poden considerar-se sub-troglòfils. No obstant, entre els dípters es troba un grup d'espècies o bé guanòfiles o bé ecto-paràsites de rates-pinyades, que sí mantenen una relació més estreta amb el medi cavernícola (veure Taula II). Aquests grups han estat estudiats essencialment per FILBÀ (1977) i ESCOLÀ (1981).

En quant als coleòpters cavernícoles, Mallorca compta amb 5 espècies, totes elles endèmiques i estrictament troglòbies o endogees: *Reicheia balearica*, *Duvalius balearicus*, *Trechopsis ferreresi*, *Henrotius jordai* i *Leptobythus palaui* (Figura 10). DAMIANS (1980) estudià la distribució de *Duvalius balearicus* i *Trechopsis ferreresi*, posant de manifest la seva circumscripció a les coves de la Serra de Tramuntana. A aquesta comarca semblen també restringits *Reicheia* i *Henrotius*, si bé d'aquest darrer hi ha una citació de la Cova de la Carretera (Alcúdia), que s'hauria de confirmar. D'altra banda, el pselàfid *Leptobythus palaui*, descrit per JEANNEL (1955) de la Cova de na Boixa (Puig de Sant Salvador, Felanitx), constitueix un gènere monoespecífic endèmic, fins a hores d'ara, d'aquesta única localitat de les Serres de Llevant de Mallorca.

BLAS (1992) sintetitza les dades que fan referència al catòpid troglòfil endèmic de Mallorca *Catops zariquieyi*.

Els estafilínids són una família de coleòpters comuna a les entrades de les coves. En realitat no són elements troglòbics, però cal destacar que alguns dels trobats a les coves mallorquines són endèmics, fins aleshores, d'aquestes localitats. Entre ells destaquen *Atheta bellesi* descrita per BENICK (1990) de la Cova de les Rodes (Pollença), *Lobrathium bellesi* descrita per BORDONI (1977) de la Cova de Can Sivella (Pollença), i *Homalium espanoli*, descrita per JARRIGE (1952) d'una cova d'Andratx («Cova Andritxol»).

Les puces (Siphonaptera) són paràsites de vertebrats. A les coves mallorquines únicament s'ha ci-

only from Cova des Estudiants (Sóller)(GAMMA, 1985).

The Diplura are represented on Mallorca by two families of very different appearance. The Campodeidae, with *Campodea majorica majorica*, *C. m. interjecta* and *Plusiocampa fagei*, display very elongate antennae and cerci. In contrast the Japigidae, represented by *Homojapyx espanyoli*, display short antennae and sometimes claw-like cerci, resembling Dermaptera. *Campodea majorica*, which also belongs to the latter group, had previously been considered an endemic of Mallorca, but is now known from the East of the Iberian peninsula (Sendra, *in lit.*; HERRERO-BORGOÑÓN & GONZÁLEZ, 1993).

The Diptera, Trichoptera, Lepidoptera and Hymenoptera reported from Majorcan caves were all captured mainly at the threshold zone. They can be considered as sub-troglophiles. Nevertheless, among the Diptera, there is a group of species displaying a closer relationship with the hypogean medium, being guanophiles or ectoparasites of bats (Table II). These groups have been studied by FILBÀ (1977) and ESCOLÀ (1981).

Five strictly troglotic endemic species of Coleoptera are known on Mallorca: *Reicheia balearica*, *Duvalius balearicus*, *Trechopsis ferreresi*, *Henrotius jordai* and *Leptobythus palaui* (Figure 10). DAMIANS (1980) studied the distribution of



Figura 10: *Duvalius balearicus* HENROT, 1964, coleòpter trèquid de les coves de la Serra de Tramuntana.

Figure 10: *Duvalius balearicus* HENROT, 1964, a trechid beetle from caves in Serra de Tramuntana.

Duvalius and *Trechopsis*, concluding that they are restricted to caves on Serra de Tramuntana. *Reicheia* and *Henrotius* are also located in the same region, although there is a report of the latter from Cova de la Carretera (Alcúdia), which has to be confirmed. The pselaphid *Leptobythus palaui*, described by JEANNEL (1955) from Cova de na Boixa (Puig de Sant Salvador, Felanitx), is a monospecific genus restricted to this single locality on Serres de Llevant.

BLAS (1992) synthesized the data on the troglophile endemic *Catopidae* *Catops zariquieyi*. The

tat *Xenopsylla gratioiosa*, trobada sobre un virot (*Calonectris diomedea*) a la Cova dels Virots (Cabrera) (BEAUCOURNU & ALCOVER, 1993).

Els homòpters s'alimenten de la saba de les plantes, i per tant, no caldria esperar d'ells cap propensió a la vida cavernícola. No obstant hi ha un grup, el dels fulgoroideus, que ha adquirit una diversificació notable al medi hipogeu d'arxipèlags oceànics com a les Hawaii, les Canàries, o alguns indrets d' Austràlia. Enllà viuen sobre les arrels que penetren dins els tubs de lava, de les que succionen la saba. A Mallorca, RACOVITZA (1907a) i JEANNEL & RACOVITZA (1907) citaren un *Cixius* sobre les arrels de *Pistacia lentiscus* que penetren en algunes sales de les Coves del Drac (Manacor). El varen qualificar com a troglòbi atenent a la presència d'estats larvaris a la cavitat, i a que l'únic adult capturat «présente une décoloration assez marquée et qui a les yeux rouges». No ha tornat a ésser retrobat.

Entre els heteròptes sols s'ha citat l'endemisme gimnèsic *Velia hoberlandti*. Espècie comuna a aigües de superfície, fou trobada dins l'Avenc des Gel (Escorca), a on ben segur havia arribat de forma fortuïta (RIBES, 1977).

Chordata

Les anguilles (*Anguilla anguilla*) s'han observat en repetides ocasions als llacs anchihalins del litoral SE de Mallorca. Pel que fa a rates-pinyades, ALCOVER & MUNTANER (1986) recullen totes les dades conegudes fins aleshores i amplien sensiblement el coneixement de la distribució dels quiròpters de les Balears. De les 15 espècies citades, 8 poden considerar-se com a cavernícoles: *Rhinolophus ferrumequinum*, *R. hipposideros*, *R. mehelyi*, *Myotis myotis*, *M. nattereri*, *M. capaccinii*, *Plecotus austriacus* i *Miniopterus schreibersii*.

Origen i afinitats del poblament hipogeu mallorquí

El medi hipogeu ha funcionat sovint com a refugi de línies filètiques que han vist minvada amb el temps la seva àrea de distribució, o fins i tot han arribat a extingir-se al medi epigeu. Per altra part, l'adaptació al medi cavernícola sol comportar una reducció considerable de la capacitat dispersiva dels animals implicats. Aquestes dues característiques confereixen a la fauna hipogea un valor extraordinari com a document paleogeogràfic.

Les Balears són l'arxipèlag més aïllat de la Mediterrània. Fisiogràficament constitueixen la part emergida de la prolongació de la cadena Bètica, localitzada al llarg del marge sud-sud-est de la península Ibèrica, enc que la història geodinàmica de la zona és més complexa. L'orogènia alpina no afectà per

Staphylinidae, common in the threshold zone of caves, includes several endemic species on Mallorca that are known only from this special habitat, although they do not display a troglóbiontized morphology. Examples of these species include: *Atheta bellesi*, described by BENICK (1990) from Cova de les Rodes (Pollença), *Lobrathium bellesi*, described by BORDONI (1977) from Cova de Can Sivella (Pollença), and *Homalium espanoli*, described by JARRIGE (1952) from a cave on Andratx.

Fleas (*Siphonaptera*) are parasites of vertebrates. From the Balearic caves only *Xenopsylla gratioiosa* is known, from a Cory's shearwater (*Calonectris diomedea*) found in Cova dels Virots (Cabrera) (BEAUCOURNU & ALCOVER, 1993).

Planthoppers (*Homoptera*) feed on the sap of plants and are, thus, not a group specially preadapted for life in caves. However, one group, the Fulgoroidea, has diversified in hypogean habitats on oceanic archipelagos such as Hawaii and the Canaries, and in regions of Australia. They live on the roots penetrating lava tubes, feeding on their sap. On Mallorca RACOVITZA (1907a) and JEANNEL & RACOVITZA (1907) cited a *Cixius* from the roots of *Pistacia lentiscus* penetrating some chambers of Coves del Drac (Manacor). It was considered to be a true troglóbiont because of the presence of larval stages in the cave, and because the single adult specimen captured «présente une décoloration assez marquée et qui a les yeux rouges». It has not been found again.

Among the Heteroptera there is a single citation of the epigeal endemic *Velia hoberlandti* in Avenc des Gel (Escorca). It is a common species in epigeal waters and its presence in this cave has to be considered accidental (RIBES, 1977).

Chordata

Eels (*Anguilla anguilla*) are frequently observed in the anchihaline lakes of the SE coast caves of Mallorca. ALCOVER & MUNTANER (1986) analyzed the conservation status and distribution of bats in the Balearics. They register 8 cave species within a total of 15 species. These eight species are: *Rhinolophus ferrumequinum*, *R. hipposideros*, *R. mehelyi*, *Myotis myotis*, *M. nattereri*, *M. capaccinii*, *Plecotus austriacus* and *Miniopterus schreibersii*.

Origin and affinities of the Majorcan hypogean fauna

The hypogean environment has frequently acted as a refugium for phyletic lineages which have suffered severe reductions in their original distribution ranges, or which have become extinct above ground. In addition, cave-dwelling animals usually display a very reduced potential for dispersal. This combination

igual a totes les Balears. Així, mentres a la resta d'illes es poden identificar fàcies i estructures pròpies de la cadena Bètica, Menorca no fou afectada tan intensament per l'orogènia alpina. De fet, aquest és un territori que originàriament estava unit al continent, probablement en algun lloc de la zona avui ocupada pel Golf de Lleó. Aquesta placa es separà del continent, es desplaça i rotà cap el SE durant l'Oligocè (-20 Ma), i col·lisionà amb el promontori Balear. Aquest desplaçament fou contemporani i associat al sofert per la microplaca cirno-sarda. (ÁLVAREZ, 1972; 1976).

Aquest esbós geològic ajuda a identificar les possibles àrees font del poblament més antic que pot trobar-se avui a les Balears. Però la data precisa de la darrera submersió completa de l'Arxipèlag és remarcable i rellevant per dilucidar l'antiguitat potencial d'aquest poblament, doncs representa un punt inicial per a la colonització per la fauna terrestre i dulciaquícola. Aquesta data ha estat objecte de molt de debat.

Per una part, JEANNEL (1942) considerà la presència a les Illes de fauna cavernícola antiga, provinent d'un stock d'origen Paleogen (anterior als 26 Ma), el qual derivaria de l'anomenat *Massís Proto-Ligúric* (que comprendria el NE de la península Ibèrica, Provença, Còrsega, Sardenya i Menorca). Aquesta hipòtesi és en essència totalment compatible amb la visió actual de l'evolució geodinàmica de la Mediterrània occidental (ÁLVAREZ, *loc. cit.*), si bé aquesta fa innecessari postular l'existència d'un antic massís per a explicar les semblances, geològiques i biòtiques, entre els territoris abans esmentats. Així, les antigues espècies *Proto-Ligúriques* de Mallorca (o els seus ancestres) podrien haver estat associades inicialment a l'illa de Menorca durant el seu desplaçament rotacional des dels territoris Ibero-Provençals, per després colonitzar la resta d'illes en connectar aquella amb el promontori balear.

Altres biogeògrafs mantenen un punt de vista diferent. Així, COLOM (1975) defensà una submersió gairebé total de l'Arxipèlag en èpoques recents (Tortoniana, -10 Ma), i conseqüentment un origen de la fauna baleàrica posterior a aquesta data.

Amb els coneixements faunístics actuals, l'anàlisi de les afinitats biogeogràfiques de la fauna hipogea balear no permet descartar de forma global cap d'aquestes hipòtesis, havent grups d'organismes que semblen recolzar-ne una o l'altra. Així, a la fauna estigòbia de Mallorca semblen absents els elements límnic (d'aigua dolça) d'origen Paleogen, presumptament derivat del massís *Proto-Ligúric*. Tots els tàxons recol·lectats són d'afinitats marines (*línatges talassoids*), enc que alguns d'ells semblen molt antics atesa la seva distribució amfiatlàntica (*Pseudoniphargus*, *Tethysbaena*, *Psammogammarus*).

L'origen de la fauna troglòbia terrestre sembla, en canvi, múltiple:

1) Hi ha, en primer lloc, un grup amb clares afinitats amb el SE de la península Ibèrica i Nordàfrica, re-

of features ensures that the cave fauna has a great value as a tool for paleogeographical reconstruction.

The Balearic Islands are the most isolated archipelago in the Mediterranean Sea. Physiographically they can be considered as the emergent part of an extension of the Betic Chain (located along the S and SE margins of Iberian Peninsula) into the western Mediterranean, even though the geodynamic history of the zone is more complex. Thus, whereas the other islands of the Archipelago display facies and structures that can be clearly related to the Betic domain, Menorca was not affected by the Alpine orogeny. In fact, it originally belonged to the N Iberian-Provence margin which underwent a rotational displacement towards the SE during the Oligocene (20 Ma BP) and collided with the Balearic Promontory. This displacement was contemporary and associated with that of the Corsica-Sardinia microplate (ÁLVAREZ, 1972; 1976).

This geological scenario helps to identify the potential source areas of the putative ancient taxa currently found on the Islands. But the precise date of the last complete submergence of the Archipelago is important and highly relevant as we attempt to elucidate the antiquity of this fauna, since it represents the baseline for colonization by terrestrial and freshwater taxa. This date has been the subject of considerable debate.

JEANNEL (1942) considered to be important the presence on the Islands of an ancient species stock of Paleogene origin (older than 26 Ma BP), which would have been derived from the so-called Proto-Ligurian Massif (which embraced NE Iberia, Provence, the Tyrrhenian Islands and Menorca), since it is in these regions where their closer relatives are found. This hypothesis is compatible with the modern concept of the geodynamic evolution of the western Mediterranean region (ÁLVAREZ, 1972; 1976), although the latter now makes unnecessary to postulate the existence of an hypothetical massif to explain the geological and biotic similarities between the territories listed above. Thus the ancient Proto-Ligurian stock on the Balearic Islands (or its ancestors) would have been associated initially with the island of Menorca during its rotational displacement to the SE from the mainland Ibero-Provençal margin during the Oligocene, until its collision with the Balearic promontory. Then they could have initiated the colonization of the rest of the Archipelago.

Other biogeographers sustain a different point of view. COLOM (1975) postulated a complete flooding of the Archipelago in recent epochs (Tortonian; 10 Ma BP), and consequently an origin for the Balearic biota after this date.

Preliminary analysis of the biogeographical affinities of the Balearic cave fauna does not permit the rejection of either of these two hypotheses, since there is evidence from different groups that supports

gions que probablement hagin estat connectades amb les Balears durant el Tortonian (via el SE de la península Ibèrica). Aquest és el cas del pseudoscorpí *Roncus vidali*, l'opilió *Scotolemon balearicus*, els coleòpters *Reicheia balearica*, *Trechopsis ferreresi*, *Leptobythus palaui*, i l'isòpode *Haplophthalmus chisterai*. El pseudoscorpí *Neobisium (Blothrus) monasterii* fou relacionat per MAHNERT (1977) amb la fauna d'Euskadi, però HEURTAULT (1990) ha descrit una espècie pertanyent a aquest subgènere del nord argelí (regió biogeogràfica més afí a les Balears), i és per això que l'englobam dins d'aquest grup.

2) Es pot identificar també un reduït grup d'espècies d'afinitat *Proto-Ligúrica* (això és, NE de la península Ibèrica, Provença i illes Tirrèniques), i per tant d'origen antic. Ho componen els coleòpters *Duvalius balearicus* i *Henrotius jordai*, i també el diplòpode *Lophoproctus pagesi*.

3) Hi ha també elements d'afinitat múltiple, com l'isòpode *Trichoniscus dragani*, o el quilòpode *Lithobius vivesi*, pertanyents a grups que compten amb representants per tota la Mediterrània.

4) Finalment pot esmentar-se l'enigmàtic isòpode *Balearonethes sesrodesanus*, un gènere endèmic de Mallorca amb afinitat incerta, i que és considerat com la forma més arcaica entre els Haplophthalminae (CRUZ, 1990).

both. The stygobiont fauna of Mallorca seems devoid of limnic taxa derived from a Proto-Ligurian massif. All taxa recorded to date show marine affinities (Thalassoid lineages) although some seem very ancient, according to their amphiatlantic distributions (Pseudoniphargus, Tethysbaena, Psammogammarus).

The origins of the terrestrial hypogean fauna seem more diverse:

1) There is a major species assemblage showing clear affinities with south-eastern Iberia and North-African taxa which could have reached the Balearics during Tortonian times, when the Archipelago may have been connected to the Iberian levantine coast. Included here are the pseudoscorpion *Roncus vidali*, the harvestment *Scotolemon balearicus*, some beetles such as the scaritid *Reicheia balearica*, the trechid *Trechopsis ferreresi* and the pselaphid *Leptobythus palaui*, and the oniscoid isopod *Haplophthalmus chisterai*. Although the pseudoscorpion *Neobisium (Blothrus) monasterii* was related by MAHNERT (1977) to some taxa of the western part of the Pyrenees, this species is included here since HEURTAULT (1990) has described a new species belonging to this subgenus from northern Algeria (a region closer biogeographically to the Balearics).

2) A reduced species group of Proto-Ligurian affinity, and thus of ancient origin, can also be distinguished. It is composed of beetles such as the trechid *Duvalius balearicus* and the pterostichid *Henrotius jordai*, and by the diplopod *Lophoproctus pagesi*.

3) Another group consists of taxa belonging to circum-Mediterranean lineages, such as the oniscoid isopod *Trichoniscus dragani* or the chilopod *Lithobius vivesi*.

4) There is finally the enigmatic oniscoid isopod *Balearonethes sesrodesanus*, an endemic genus of Mallorca. Its close relatives are unknown, but it is considered to be the most archaic form in the Haplophthalminae (CRUZ, 1990).

Bibliografia / References

- ALCOVER, J.A. & MUNTANER, J. (1986): Els Quiròpters de les Balears i Pitiüses: una revisió. *Endins*, 12:51-63.
- ÁLVAREZ, W. (1972): Rotation of the Corsica-Sardinia microplate. *Nature Phys.-Sci.*, 235:103-105.
- ÁLVAREZ, W. (1976): A former continuation of the Alps. *Geol. Soc. America Bull.*, 87: 891-896.
- BAGUÑÀ, J.; SALO, E. & ROMERO, R. (1983): Biogeografía de las planarias de aguas dulces (Platelmintos; Turbellaria; Tricladida; Paludicola) de España. Datos preliminares. *Actas I Congr. Español de Limnol.* (N. Prat. Ed.), p. 265-280. Barcelona.
- BEAUCOURNU, J.C. & ALCOVER, J.A. (1993): *Els sifonàpters*. In Alcover, J.A., Ballesteros, E. & Fornós, J.J. (Eds), *Història Natural de l'Arxipèlag de Cabrera*. CSIC-Edit. Moll, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 2:377-382.
- BELLÉS, X. (1987): *Fauna cavernícola i intersticial de la Península Ibèrica i les Illes Balears*. Monografies Científiques 4, Consell Superior d'Investigacions Científiques-Editorial Moll, Palma de Mallorca. 207 pp.
- BENICK, G. 1990. *Atheta bellesi* G. Benick. nov. spec. eine neue höhlenbewohnende Art aus Mallorca. *Entomol. Blätter*, 86:69-70.
- BLAS, M. (1992): Nuevos datos sobre los Cholevidae (Coleoptera) de las islas Baleares. *Elytron*, 6:159-162.
- BORDONI, A. (1977): Stafilinidi raccolti nel corso di ricerche bio-peleologiche in Spagna (Bellés-Comas-Cuñé) e descrizione del *Lobrathium bellesi* n. sp. di Maiorca (Coleoptera). *Speleon*, 23:15-19.
- CACCONE, A., ALLEGRUCCI, G., CESARONI, D., COBOLLI SBORDONI, M., DE MATTHAEIS, E. & LA ROSA, G. (1986): Genetic variability and divergence between cave dwelling populations of *Typhlocirolana* from Majorca and Sicily. *Bioch. Syst. Ecol.*, 14:215-221.
- CHEVREUX, E. (1909): Amphipodes (Première Série). Famille des Gammaridae. Genre *Metacrangonyx*. *Arch. Zool. Exp. Gen.*, 2:27-42.
- COINEAU, N. (1986): Isopoda: Asellota: Janiroidea. In: *Stygofauna Mundi. A Faunistic, Distributional, and Ecological Synthesis of the World Fauna inhabiting Subterranean Waters (including the Marine Interstitial)*, Botosaneanu, L. (Ed.), E.J. Brill/W. Backhuys, Leiden. 740 pp.

- COLOM, G. (1975): Nuevas nociones generales sobre la evolución paleogeográfica y poblamiento del Archipiélago Balear desde el eoceno al cuaternario. *Revista Balear*, 38-39:8-24.
- CONDÉ, B. (1954): Campodéidés cavernicoles des Baléares. *Notes biospéologiques*, 9:121-132.
- CONDÉ, B. (1981): Un Pénicillate cavernicole de Majorque (Diplopoda, Penicillata). *Arch. Sc. Genève*, 34(3):313-318.
- CRUZ, A. (1990): *Contribución al conocimiento de los isópodos terrestres (Oniscoidea) de la Península Ibérica y Baleares*. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. 1006 pp. Barcelona.
- CVETKOV, L. (1968): Un filet phréatobiologique. *Bull. Inst. Zool. Mus. Bulgare*, 27:215-218.
- DALENS, H. (1977): Sur un nouveau genre de Trichoniscidae *Balearonethes sesrodesanus* n.g., n.sp. (Isopoda, Oniscoidea). *Bull. Soc. d'Hist. Nat. Toulouse*, 113(3-4):298-303.
- DAMIANS, J. (1980): Distribución en Mallorca del género *Duvalius* Delarouzeé (1859) (Coleoptera, Tenebrionidae). *Endins*, 7:23-25.
- DANCAU, D. (1973): Observations sur les Amphipodes souterrains de l'île de Majorque. Genre *Bogidiela* Hertzog. *Trav. Inst. Spéol. Emile Racovitza*, 12:113-119.
- DANIELOPOL, D.L. & BONADUCE, G. (1990): Origin and distribution of the interstitial species group *Xestoleberis arcturi* Triebel (Ostracoda, Crustacea). *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg*, 123: 69-86.
- DRESCO, E. (1980): Étude des *Leptoneta*. *Leptoneta infuscata* forma typica Sim. (Araneae, Leptonetidae). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 116:179-182.
- ENCINAS, J.A. (1973): Perforaciones de anélidos en los sedimentos de la cueva de Cornavaques (Pollensa-Baleares). *Speleon*, 20:81-86.
- ENCINAS, J.A. (1974): Inventario bio-espeleológico de Baleares, año 1973. *Com. IV Simp. Bioespeleología*. E.C.E., G.E. Pedraforca, 49-62. Barcelona.
- ESCOLÀ, O. (1981): Primeres dades sobre la col·lecció de Lepidòpters subtròglics del Museu de Zoologia. *II Sessió Conjunta Ent., ICHN-SCL*, 15-24. Barcelona.
- ESPAÑOL, F. (1974): Sobre un nuevo cavernícola balear del género *Reicheia* Saulcy (Col. Scaritidae). *Speleon*, 21:79-84.
- FAGE, L. (1931): Araneae, cinquième série, précédée d'un essai sur l'évolution souterraine et son déterminisme. *Biospeologica LV*. *Arch. Zool. Esp. et Gén.*, 71:99-291.
- FILBÀ, L. (1977): Noves localitzacions ibèriques de Tricòpters cavernícoles. *Com. 6è Simp. Publ. C.E.T.*, 131-134. Terrassa.
- GAMMA, M.M. (1985): Coliembolos cavernícoles d'Espanya. II (Insecta Apterygota). *Misc. Zool.*, 9:209-214.
- GASULL, L. (1965): Algunos moluscos terrestres y de agua dulce de Baleares. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 11:7-154.
- GIL, M.J.; LLOBERA, M. & FERRIOL, A. (1994): Water mites (Hydrachnellae, Acari) in Majorcan springs. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 25:1449-1451.
- GINÉS, A. (1982): Inventario de las especies cavernícolas de las islas Baleares. *Endins*, 9:57-75.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1977): Datos bioespeleológicos obtenidos en las aguas cársicas de Mallorca. *Com. 6è Simp. d'Espeleologia. Publ. C.E.T.*, 81-95. Terrassa.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1989): El karst en las Islas Baleares. p.163-174. In: J.J. Durán & J. López (eds.), *El karst en España*. Soc. Esp. de Geomorfología, Monografía n.4. Madrid.
- GOURBAULT, N. & BENAZZI, M. (1978): Une nouvelle espèce ibérique du group *Dugesia gonocephala* (Turbellariés, Tricladés). *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat.*, IV Série; 1, Sect. A. (2):329-337.
- GOURBAULT, N. & LESCHER-MOUTOUÉ, F. (1979): Faune des eaux souterraines de Majorque. *Endins*, 5-6:43-54.
- HARTMANN, G. (1953): Ostracodes des eaux souterraines littorales de la Méditerranée et Majorque. *Vie et Milieu*, 4:238-253.
- HENROT, H. (1964): Un *Duvalius* nouveau de l'île de Majorque (Col. Carabidae). *Bull. Soc. Entom. de France*, 69:15-17.
- HERRERO-BORGOÑÓN, J.J. & GONZÁLEZ, J.V. (1993): *Aproximación a la flora y fauna cavernícola de La Safor (Valencia)*. Conselleria de Medi Ambient - Generalitat Valenciana - Fed. Territorial Valenciana d'Espeleologia. 150 pp. València.
- HEURTAULT, J. (1990): Les Pseudoscorpions d'Algérie de la collection Biospéologica. *Mém. Biospéol.*, 17:197-202.
- JARRIGE, J. 1952. Brachélytres cavernícoles nouveaux d'Europe Occidentale. *Bull. Soc. ent. Fran.*, 57:86-88.
- JAUME, D. (1991): Two new species of the amphipod genus *Pseudoniphargus* (Crustacea) from Cabrera (Balearic Islands). *Stygologia*, 6(3):177-189.
- JAUME, D. (1993): Fauna carcinológica de les aigües continentals. In Alcover, J.A., Ballesteros, E & Fornós, J.J. (Eds), *Història Natural de l'Arxipèlag de Cabrera*, CSIC-Edit. Moll, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 2:309-322.
- JAUME, D. & GARCIA, LI. (1988): Revisión de la especie polítípica *Jaerea nordmanni* (Rathke, 1837) (Isopoda: Asellota: Janiridae) de las aguas dulces de Mallorca. *Misc. Zool.*, 12:79-88.
- JAUME, D. & GARCIA, LI. (1992a): A new *Metacirolana* (Crustacea: Isopoda: Cirolanidae) from anchialine cave lake on Cabrera (Balearic Islands). *Stygologia*, 7:179-186.
- JAUME, D. & GARCIA, LI. (1992b): *Burrinymysis palmeri*, a new genus and species of Heteromysini (Crustacea: Mysidacea) from anchialine cave lake of Cabrera (Balearic Islands, Mediterranean). *Bijdr. Dierk.*, 62:227-235.
- JEANNEL, C. (1950): Sur deux Ptérostichides cavernícoles de Majorque. *Rev. Franc. Entom.*, 17(3):157-165.
- JEANNEL, C. (1955): Un psélaphide cavernícole de Majorque. *Notes Biospéologiques*, 10:27-29.
- JEANNEL, R. (1942): *La genèse des faunes terrestres*. Presses Universitaires. 513 pp. Paris.
- JEANNEL, R. & RACOVITZA, E.G. (1907): Biospéologica II. Énumération des grottes visitées. 1904-1906. *Arch. Zool. exp. et gén.*, IV Série, 6(8):489-536.
- LAGAR, A. (1972): Contribución al conocimiento de los Pseudoscorpiones de España. II. *Speleon*, 19:45-52.
- LAGAR, A. (1973): Biospeleología de la Cova de Sa Campana. *Cavernas*, 18:55-57.
- LESCHER-MOUTOUÉ, F. (1978): Cyclopidae des eaux souterraines de l'île de Majorque (Espagne). *Vie et Milieu*, 28/29:83-100.
- LESCHER-MOUTOUÉ, F. (1981): Cyclopidae des eaux souterraines du Portugal et de l'île de Majorque (Crustacea, Copepoda). *Bull. Zool. Mus. Univ. Amsterdam*, 8:65-67.
- MAHNERT, V. (1977): Spanische Höhlenpseudoskorpione. *Misc. Zool.*, 4(1):61-104.
- MAHNERT, V. (1993a): *Els Pseudoscorpions (Arachnida, Pseudoscorpiones)*. In Alcover, J.A., Ballesteros, E & Fornós, J.J. (Eds), *Història Natural de l'Arxipèlag de Cabrera*, CSIC-Edit. Moll, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 2:355-360.
- MAHNERT, V. (1993b): Pseudoskorpione (Arachnida: Pseudoscorpiones) von Inseln des Mittelmeers und des Atlantiks (Balearen, Kanarische Inseln, Madeira, Ascension), mit vorwiegend subterranean Lebensweise. *Revue suisse de Zoologie*, 100:971-992.
- MARGALEF, R. (1951): Un sincárido del género *Parabathynella* en las Baleares. *Publ. Inst. Biol. Aplic.*, 8:151-153.
- MAURIÉS, J.P. & VICENTE, M.C. (1976): Miriápodos de Baleares. Descripción de un nuevo Diplopodo cavernícola y catálogo de Miriápodos señalados en Baleares. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 21:33-46.
- MOOLENBEEK, R.G. (1980): *Microna saxatilis* (Reynies, 1843) new for the Balearic Islands. *Boll. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 24:101.
- NGUYEN DUY-JACQUEMIN, M. (1993): Convergences évolutives entre diplopodes pénicillates vivant dans les Grottes. *Mém. Biospéol.*, 20:147-155.
- ORGHIDAN, T. (1970): Livre du centenaire 1868-1968 Émile G. Racovitza. Éditions de l'Académie de la République Socialiste de Roumanie. 699 pp. Bucarest.
- ORGHIDAN, T.; DUMITRESCO, M. & GEORGESCO, M. (1975): Mission biospéologique Constantin Dragan à Majorque (1970-1971): Première note: Arachnides (Araneae et Pseudoscorpionidae). *Trav. Inst. Spéol. Emile Racovitza*, 14:9-33.
- PEYERIMHOFF, P. (1906): Sur l'existence à Majorque du genre *Koenenia* (Arach. Palpigradi). *Bull. Soc. Entom. de France*, 300-302.
- PONS, G.X. (1991): *Llista vermella de la fauna cavernícola de les Balears*. Doc. Tèc. cons., 10. Conselleria d'Agricultura i Pesca. 150 pp. Palma de Mallorca.
- PONS, G.X. (1992): El gènere *Leptoneta* Simon, 1872 (Araneae, Leptonetidae) a Mallorca. *Apunts Biogeogràfics*. *Endins*, 17:18-61-66.
- PONS, G.X. & DAMIANS, J. (1992a): Fauna malacològica d'algunes cavitats de l'illa de Mallorca. *Endins*, 17-18:51-56.

- PONS, G.X. & DAMIANS, J. (1992b): Els aràcnids de la Cova de sa Cometa des Morts (Escorca). *Endins*, 17-18:67-72.
- PONS, G.X. & RAMBLA, M. (1993): *Dos ordres d'aràcnids (Arachnida; Opiliones i Scoripiones)*. In Alcover, J.A., Ballesteros, E. & Fornós, J.J. (Eds), *Història Natural de l'Arxipèlag de Cabrera*, CSIC-Edit. Moll, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 2:351-354.
- PRETUS, J.L. (1981): Nota preliminar a l'estudi de la distribució del gènere *Typhlocirolana* Racovitza (Crustacea, Isopoda). Primera cita a Menorca. *Endins*, 8:21-24.
- PRETUS, J.L. (1989): Noves dades per a la distribució de l'estigofauna balear. *Endins*, 14/15:61-64.
- PRETUS, J.L. (1990): Three new species of the genus *Pseudoniphargus* (Cruatacea, Amphipoda) in Balearic ground waters. *Stygologia*, 5:101-118.
- PRETUS, J.L. (1992): Contribució al coneixement de la fauna intersticial litoral. Presència de Mistacocarides (Crustacea) a l'illa de Mallorca. *Butll. Inst. Cat. Hist. Nat. (Sec. Zool., 9)*, 60:113-119.
- PRETUS, J.L. & STOCK, J.H. (1990): A new hyporheic *Bogidiella* (Cruatacea, Amphipoda) from Mallorca. *Endins*, 16:47-51.
- RACOVITZA, E.G. (1903): *Expédition Antarctique Belge: résultats du voyage du S. Y. Belgica en 1897-1899 sous le commandement de A. de Gerlache de Gomery: rapports scientifiques*. Vol. 7/9 (Zoologie): Cétacés. Commission de la Belgica. 142 pp.
- RACOVITZA, E.G. (1905): *Typhlocirolana moraguesi* n.g., n.sp. Isopode aquatique cavernicole des Grottes du Drach (Balears). *Bull. Soc. Zool. France*, 30(4):72-80.
- RACOVITZA, E.G. (1907a): Biospéologica I. Essai sur les problèmes biospéologiques. *Arch. Zool. exp. et gén.*, IV Série, 6(7):371-488.
- RACOVITZA, E.G. (1907b): Biospéologica IV. Isopodes terrestres. *Arch. Zool. exp. et gén.*, IV Série, 7(4):145-225.
- RAMBLA, M. (1972): Opiliones (Arachnida) de las Baleares. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 21:89-92.
- RAMBLA, M. (1977): Un nuevo *Scotolemon* cavernícola de la isla de Mallorca (Arachnida, Opiliones, Phalangodidae): *Speleon*, 23:7-13.
- REITTER, E. (1914): Beitrag zur Kenntnis der blinder *Tapinopterus*-Arten (Col. Pterostichini). *Wien Entomolog. Zeitung*, 33(7-10):261-263.
- RIBERA, C. (1977): Nota sobre algunos araneidos de Baleares. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 24:9.
- RIBERA, C. (1981): Breves consideraciones sobre los araneidos cavernícolas de Baleares. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 27(9):91-92.
- RIBES, J. (1977): Heteròpters cavernícoles. *Com. 6è Simpòsium d'Espelologia. Publ. C.E.T.*, 121-124. Terrassa.
- RIERA, T.; VIVES, F. & GILI, J.M. (1991): *Stephos margalefi* sp. nov. (Copepoda: Calanoida) from a submarine cave of Majorca Island (Western Mediterranean). *Oecol. aquat.*, 10:317-323.
- SERRA, A. (1983): Contribució al coneixement de la fauna cavernícola (Chilopoda, Lithobiomorpha) de les Balears. *Speleon*, 26-27:33-38.
- STOCK, J.H. (1978): A remarkably variable phreatic amphipod from Mallorca, *Rhipidogammarus varicauda* n.sp. in which the third uropod can assume the parviramus or the varilramus condition. *Bijdragen tot de Dierkunde*, 48(1):89-95.
- TABACARU, I. (1974): Espècies de *Trichoniscus* (Crustacea, Isopoda) de l'illa de Majorque. *Trav. Inst. Spéol. Emile Racovitza*, 13:213-221.
- TRIGO, D.; SOUTO, B.F. & DIAZ COSIN, D.J. (1989): Lombrices de tierra de la colección del Museu de Zoologia de Barcelona. *Misc. Zool.*, 13:27-35.
- WAGNER, H.P. (1994): A monographic review of the Thermosbaenacea (Crustacea: Peracarida). *Zool. Verh.*, 291:1-338.

FLORA DE LES ENTRADES DE LES CAVITATS DE MALLORCA

FLORA AT THE CAVITY ENTRANCES IN MALLORCA

Lluís Fiol¹

Resum

Amb la intenció de presentar una síntesi dels coneixements disponibles sobre la flora de les entrades de les cavitats de Mallorca, feim un repàs, a partir de la bibliografia a l'abast, de les condicions ambientals que caracteritzen aquests indrets i de la flora que colonitza els microclimes peculiars que s'hi creen. Assenyalam les diferents regions que es poden distingir —preferentment en els avencs—, el seu poblament florístic més freqüent, la importància de les cavitats com a redutes d'espècies considerades relictuals i el possible origen d'aquesta flora.

Abstract

With the intention of presenting a synthesis on the available knowledge on the flora of cavity entrances in Mallorca, we will go over this issue —on the basis of the bibliography at our disposal— dealing with both the environmental conditions that characterize these areas and the flora that inhabits the peculiar microclimates generated from the former. We will point out the different regions that can be distinguished, preferently in shafts, and their most frequent botanical inhabitation, as well as the importance of cavities as redoubts of species considered as relict and the possible origin of this flora.

Introducció

El món subterrani, que pareix a primera vista poc propici per al desenvolupament de la vida, és un indret que també ha estat colonitzat per multitud d'organismes vius. Però, mentre la fauna està en condicions d'accedir a qualsevol punt d'aquest hàbitat, la vegetació queda limitada a les zones on arriba l'energia lluminosa, imprescindible tant per a la síntesi de clorofil·la com per a la fotosíntesi subsegüent. Per aquesta raó la flora queda localitzada a les entrades de les cavitats i per tant el terme "flora subterrània", utilitzat amb freqüència, el consideram poc apropiat, exceptuant la microflora quimioautòtrofa i heteròtrofa que pot viure en absència total de llum, però que per altra banda està prou allunyada taxonòmicament de la resta de grups que consideram.

Introduction

The underground world, which at first sight does not seem favourable for the development of life, is a place that has also been colonized by a multitude of living organisms. However, while fauna is in condition of acceding to almost any spot of this habitat, the vegetation is limited to the areas where the luminous energy reaches, essential both for chlorophyll synthesis and for the subsequent photosynthesis. For this reason, flora is restricted to the entrances of cavities and therefore the term "underground flora", frequently used, is considered rather inaccurate, except for the chemoautotrophic and heterotrophic microflora that can live with a total absence of light, but that on the other hand is at a great distance taxonomically from the rest of groups taken into consideration.

Although the available information on the subject in general terms, without being abundant, is beginning to be varied (MORTON & GAMS, 1925;

¹ Departament de Biologia Ambiental (Laboratori de Botànica). Universitat de les Illes Balears. Ctra de Valldemossa km 7.5. E-07071 Palma de Mallorca.

Si bé la informació disponible sobre el tema a nivell general, sense ser abundant, comença a ser variada, com per exemple: MORTON & GAMS (1925), TOSCO (1959), DALBY (1966), DOBAT (1970), CUBBON (1976), GRACIA (1974), DOBAT (1977), HERRERO-BORGOÑÓN & MATEO (1984) i HERRERO-BORGOÑÓN (1986), en canvi en relació a les cavitats mallorquines, a part d'alguna petita informació inclosa en els treballs de KNOCHE (1921-1923), KOPPE (1965), SLOOVER (1967), LLORENS (1972) i DUNK (1977), les úniques publicacions disponibles són les de MAHEU (1912), ROSSELLÓ & GINÉS (1980), GINÉS (1983), GRUP ESPELEOLÒGIC EST (1986) i GINÉS & GINÉS (1992).

A partir d'aquesta informació i en particular de la proporcionada per més de 40 cavitats repartides per l'illa (GINÉS, 1989), ja estem en condicions de donar una visió general del poblament florístic d'aquests indrets —encara que hi ha grups molt poc estudiats com són els líquens i altres com cianobacteris, algues i la resta de fongs que estan pendents d'estudi—, així com de les condicions ambientals que el fan possible.

TOSCO, 1959; DALBY, 1966; DOBAT, 1970; CUBBON, 1976; GRACIA, 1974; DOBAT, 1977; HERRERO-BORGOÑÓN & MATEO, 1984; HERRERO-BORGOÑÓN, 1986), however, with regard to Majorcan cavities, apart from some minor information included in the works of KNOCHE (1921-1923), KOPPE (1965), SLOOVER (1967), LLORENS (1972) and DUNK (1977), the only available publications are those of MAHEU (1912), ROSSELLÓ & GINÉS (1980), GINÉS (1983), GRUP ESPELEOLÒGIC EST (1986) and GINÉS & GINÉS (1992).

Starting from this information, and particularly that provided by more than 40 cavities scattered around the island (GINÉS, 1989), we are now able to give a general view of the botanical inhabitation of these places —although there are very little studied groups such as lichens and others, like cyanobacteria, algae and the rest of fungi, that are yet to be studied— as well as the environmental conditions that make it possible.

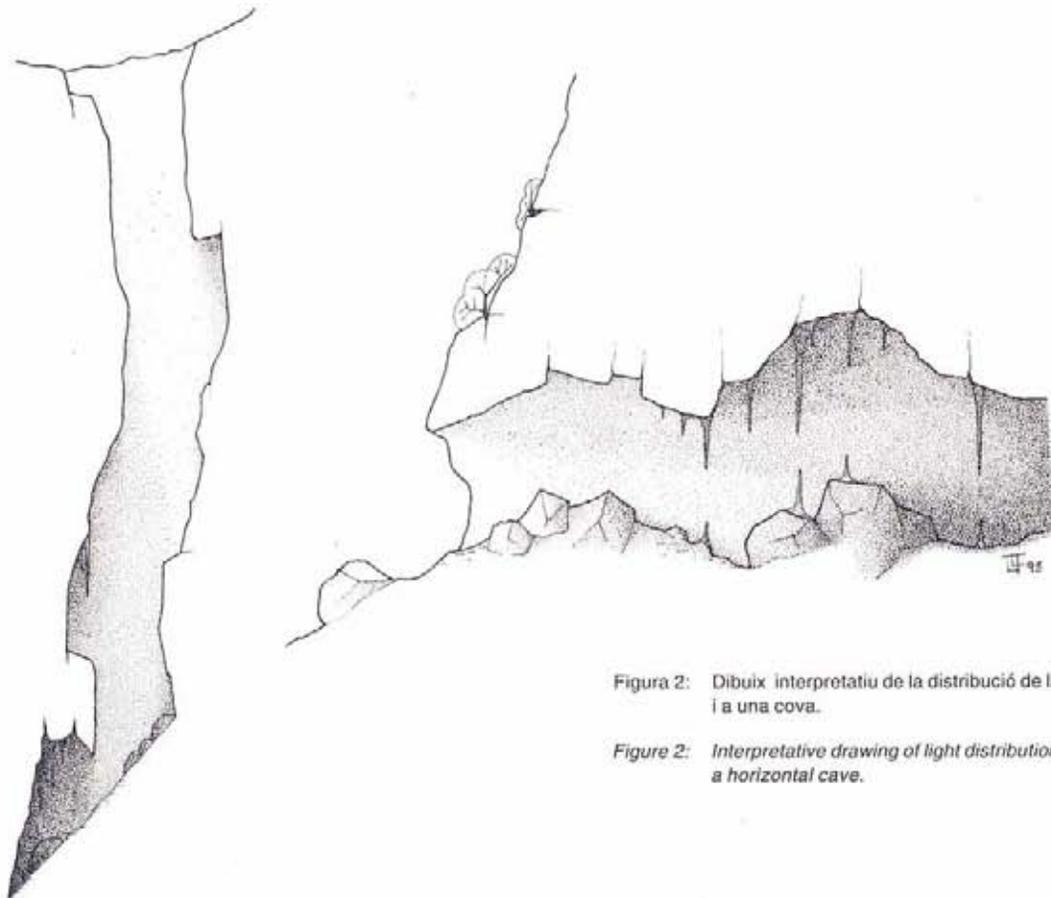


Figura 2: Dibuix interpretatiu de la distribució de la llum a un avenc i a una cova.

Figure 2: Interpretative drawing of light distribution in a shaft and in a horizontal cave.

Caracterització del medi físic

La informació disponible pertany majoritàriament a les cavitats de desenvolupament vertical o avencs, però tant a aquests com a les coves, a part de diferències significatives que tractarem més endavant,

Characterization of physical environment

Most of the available information belongs to cavities of vertical development or shafts, but both these ones and the horizontal caves, apart from

es presenten unes condicions ambientals molt peculiars que passam a comentar.

El factor més definidor i que condiciona totalment la vida vegetal en aquests indrets és la llum que, fins i tot en les condicions més favorables, disminueix ràpidament en funció de la distància a l'entrada i de manera exponencial (GRACIA, 1976) (Figura 1). L'especial topografia dels avencs, amb parets més o manco verticals o extraplomades, amb multitud de microrelleus i esclletxes, fa que la distribució de la llum sigui molt aleatòria. Com apunten ROSSELLÓ & GINÉS (1980) la significativa freqüència amb què apareix en els avencs la molsa *Tortella tortuosa*, espècie xeròfila i fotòfila, exemplificaria aquest fet. En canvi a les coves, pel seu desenvolupament més horitzontal, passa gairebé tot el contrari, ja que es pot determinar amb prou exactitud la correlació existent entre els valors de lluminositat i la distància respecte a l'entrada de la cavitat (Figura 2).

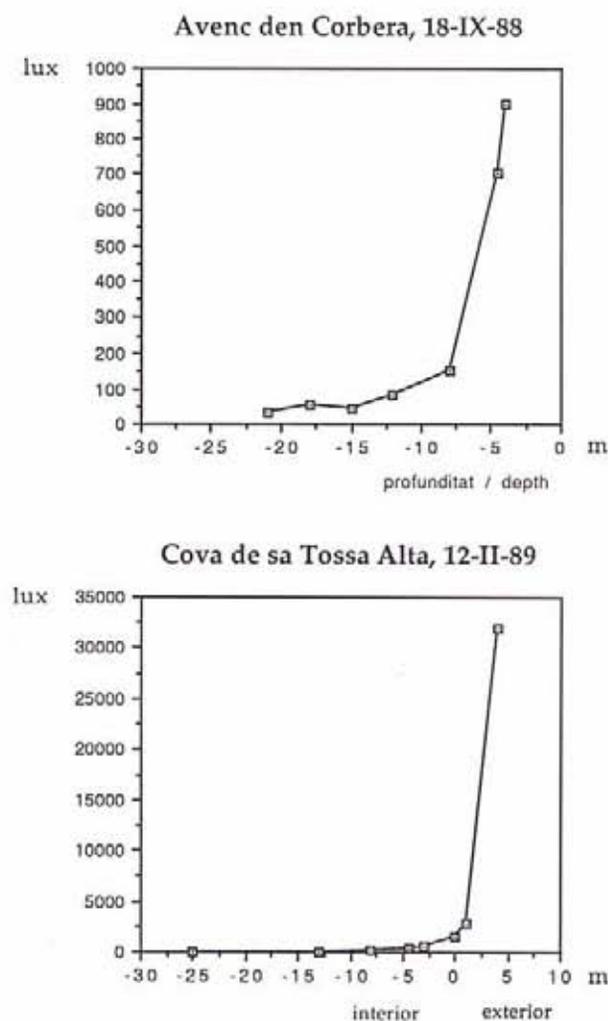


Figura 1: Valors de lluminositat de l'Avenc d'en Corbera i de la Cova de sa Tossa Alta (segons GINÉS, 1989).

Figure 1: Luminosity values in Avenc d'en Corbera and Cova de sa Tossa Alta localities (after GINÉS, 1989).

significant differences that we will deal with later on, present very peculiar environmental conditions that we will now comment.

The most defining fact and that totally conditions plant life in these areas is light which, even in the most favourable cases, diminishes quickly following an exponential trend (GRACIA, 1976) depending on the distance to the entrance of the cavity (Figure 1). The special topography of shafts, with rather vertical or overhanging walls, with a great deal of microreliefs and crevices, causes the distribution of light to be very aleatory. As ROSSELLÓ & GINÉS (1980) point out, the significant frequency with which the moss *Tortella tortuosa* appears in shafts, a xerophilous and photophilous species, would set out an example of this fact. However, in caves, due to their most horizontal development, what happens is quite the reverse, since it is possible to determine accurately the existent correlation between the amount of light received and the distance with regard to the entrance of the cave (Figure 2).

This progressive extinction of light goes very well together with zoning bands of the different plant groups and their progressive disappearance. Schematically, the phanerophytes are the first group to disappear, the pteridophytes are the following, then the bryophytes and finally the cyanobacteria. A few examples taken from recent data (GINÉS, 1983; GINÉS & GINÉS, 1992) prove this fact; therefore the umbrophilous communities of phanerophytes with *Parietaria lusitanica* or *Soleirolia soleirolii* have a rather favourable development with 1/65 or even 1/100 of the whole of the maximum exterior illumination. The fern *Polypodium cambricum* is rarely found below 700 lux, whereas *Phyllitis scolopendrium* is found with values comprised between 1,500 and 140 lux, that is to say 1/800 and 1/30 respectively. One of the most significant mosses in cavities such as *Homalia lusitanica* can be found between 200 and 40 lux and cyanobacteria reach up to about 1/2,000 of environmental luminosity.

It is interesting to point out that as we approach the extinction zones of a group, different morphological modifications take place which are very evident and that affect the size, shape and arrangement of the aerial parts and the reproductive structures significantly, which end up by disappearing. Together with the physiological changes, more difficult to detect, a proof of that would be the pigmentation changes, it can altogether hinder greatly the determination of these species.

A curious case of cave vegetation is located in the surroundings of the artificial light spots installed in show-caves which are visited by tourists. This vegetation, called "lampenflora" by DOBAT (1977), is formed by mosses, ferns and algae that are distributed concentrically in this order all around the spot of light.

The temperature and the humidity are the other

Aquesta extinció progressiva de la llum va acompanyada amb bastant precisió per una zonació en bandes dels diferents grups vegetals i la seva gradual desaparició. Esquemàticament el primer grup a desaparèixer és el de les fanerògames, a continuació el dels pteridòfits, després el dels briòfits i finalment el dels cianobacteris. Uns quants exemples a partir de dades recents (GINÉS, 1983; GINÉS & GINÉS, 1992) demostren aquest fet; així les comunitats esciàfiles de fanerògames amb *Parietaria lusitanica* i *Soleirolia soleirolii* es desenvolupen més o manco favorablement amb 1/65 o fins i tot 1/100 del total de la il·luminació màxima exterior. La falguera *Polypodium cambricum* rarament es troba per davall dels 700 lux, mentre que *Phyllitis scolopendrium* es troba amb valors compresos entre 1500 i 140 lux, és a dir 1/800 i 1/30 respectivament. Una de les moltes més significatives de les cavitats, com és *Homalia lusitanica*, la trobam entre 200 i 40 lux i els cianobacteris arriben fins aproximadament 1/2.000 de la lluminositat ambiental.

És interessant assenyalar que, a mesura que ens aproximam a les zones d'extinció d'un grup, es produeixen diferents modificacions morfològiques ben evidents que afecten la mida, forma i disposició de les parts aèries i, de forma significativa, les estructures reproductores, que acaben per desaparèixer. També es produeixen canvis fisiològics, més difícils de detectar, una prova dels quals serien els canvis de pigmentació. Tot plegat pot dificultar seriosament la determinació d'aquestes espècies.

Un cas curiós de vegetació cavernícola es presenta als voltants dels punts de llum artificial instal·lats a les coves condicionades per a ser visitades pels turistes. Aquesta vegetació, denominada "lampenflora" per DOBAT (1977), està formada per moltes, falgueres i algues que de forma concèntrica es distribueixen per aquest ordre al voltant del punt de llum.

La temperatura i la humitat són els altres dos factors limitadors de la vida a les cavitats, però mentre que en els avencs s'estableix una estratificació vertical amb uns gradients de temperatura i humitat nítidament delimitats, que presenten una marcada inèrcia respecte als canvis que tenen lloc a l'exterior durant el pas de les estacions, a les coves aquesta estratificació és molt més difusa a causa sobretot dels corrents d'aire que s'hi generen periòdicament.

Respecte a la temperatura, és interessant remarcar la suavització de l'estacionalitat que es produeix a les cavitats i que es fa més evident a mesura que anam accedint a les parts més profundes, fins arribar a una zona on la temperatura és quasi constant (Figura 3). Aquesta generalització s'ha de matisar ja que hi pot haver factors locals que modifiquin el règim tèrmic, com seria el cas dels corrents d'aire a les coves, o el que es deriva de les observacions climàtiques realitzades en el Clot des Sero (GINÉS & GINÉS, 1992), que demostren que aquesta cavitat ac-

two restrictive factors of life in cavities, but while in shafts a vertical stratification with some temperature and humidity gradients clearly delimited is established, which present a marked inertia with regard to the changes that take place in the exterior as seasons go by, this stratification is much more diffuse in caves mainly due to air draughts that generate periodically.

In relation to the temperature, it is interesting to observe the seasonal mildness that occurs in cavities and that becomes more evident as we get to the deepest parts, until we reach an area where the temperature is almost constant (Figure 3). This

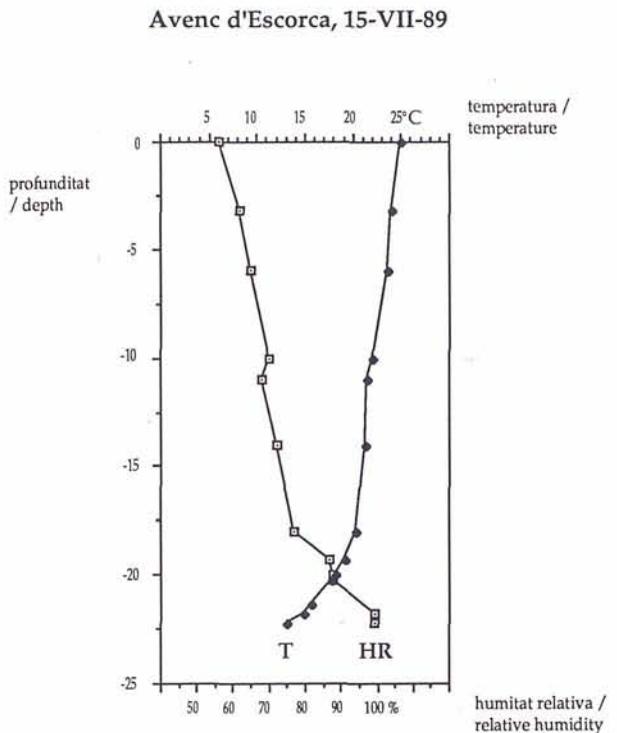


Figura 3: Perfils verticals de temperatura i humitat relativa de l'Avenc d'Escorca, o de sa Font de s'Espinal (segons GINÉS & GINÉS, 1992).

Figure 3: Vertical profiles of temperature and relative humidity in Avenc d'Escorca, also named Avenc de sa Font de s'Espinal (after GINÉS & GINÉS, 1992).

generalisation has to be clarified taking into account the existence of local factors that can modify the thermic system, like the case of draughts in caves, or what derives from climatic observations such as those carried out in the shaft named Clot des Sero (GINÉS & GINÉS, 1992), which prove that this cavity acts like a "cold air trap" (CHOPPY, 1982; 1983). This fact makes the presence of the fern *Phyllitis scolopendrium* possible in this special microclimate, which in turn is fitted into an exterior macroclimatic context absolutely adverse for most of the species that inhabit the interior of this shaft.

The values of relative humidity become apparent

tua com una "trampa d'aire fred" (CHOPPY, 1982; 1983), que fa possible la presència en aquest microclima de la falguera *Phyllitis scolopendrium* dins un context macroclimàtic exterior radicalment advers per a aquesta i la majoria d'espècies que colonitzen l'interior d'aquest avenc.

Els valors d'humitat relativa es manifesten com un factor ambiental de primer ordre, que influeix decisivament en el poblament florístic de les cavitats. Aquests valors s'incrementen amb la profunditat, i donen lloc a bandes ben definides (PIPAN, 1956), i arriben a les parts més profundes a valors de saturació o pròxims a ells (Figura 3). Convé insistir, per la transcendència que té a un clima mediterrani com el nostre, en la poca incidència a l'interior de les cavitats dels períodes de marcada sequera estival que es donen a l'exterior, i que fan possible unes agrupacions vegetals encara mal definides, però en moltes ocasions exclusives d'aquests indrets.

Es poden considerar també altres factors ecològics de menor incidència general, però que localment poden ésser decisius per a explicar el poblament florístic d'una determinada cavitat o de part d'ella, com són: tipus de substrat, disposició, porositat i valors del seu pH, etc.

Considerant tots els factors citats i en especial els tres primers, és possible caracteritzar una sèrie de microclimes diferents a les cavitats, entre els quals el més característic i per tant aquell on es desenvolupa la vegetació més típica, és la zona —d'amplitud variable segons les cavitats— on la quantitat de llum és encara suficient i els valors d'humitat relativa són ja prou elevats. Aquest àmbit sol presentar uns límits difusos com a conseqüència del seu dinamisme, en funció dels canvis macro i micro ambientals que es van succeint en el temps.

Zonació i vegetació associada

En funció del seguit de microclimes i de les necessitats dels diferents grups i espècies, es crea una distribució zonada de la vegetació. A partir de la informació que ja disposam (GINÉS, 1989) i seguint el criteri exposat per DOBAT (1970) podem distingir, més clarament definides als avencs, les següents regions:

REGIÓ D'ACCÉS, que es correspon amb els sectors immediats a l'entrada de les cavitats i que, si bé ja pot ésser una zona més o menys ombrívola, està sempre ben il·luminada i presenta quantitats considerables de sòl. En aquests indrets predominen les fanerògames, que formen part de la vegetació pròpia dels voltants de la cavitat, amb espècies tan xèriques com: *Ampelodesmos mauritanica*, *Smilax aspera*, *Pistacia lentiscus*, *Asparagus acutifolius*, *Erica multiflora*, *Oryzopsis miliacea*, etc. Entre els pteridòfits cal destacar *Selaginella denticulata* i *Ceterach officinarum*. D'altra

as a major environmental factor, which influences decisively the botanical inhabitation of cavities. These values increase with depth, producing well-defined bands (PIPAN, 1956), and reach to the deepest parts up to saturation values or very near them (Figure 3). It is convenient to insist, due to the importance in a Mediterranean climate as ours, on the scarce incidence inside the cavities of marked droughts that take place in the exterior during dry summer season, and which favour the appearance of groups of plants, still badly defined by the researchers, but being in many occasions exclusive of these kind of locations.

Other ecological factors of less general incidence can also be considered, but that can be decisive locally in order to explain the botanical inhabitation of a determined cavity or part of it, such as: the kind of substratum, disposition, porosity and values of its pH, etc.

Taking into account the mentioned factors and specially the first three, it is possible to characterize a series of different microclimates in cavities, among which the most characteristic, and therefore the one where the most typical vegetation grows, is the area —of a variable width depending on the cavities— where the amount of light is still sufficient and the humidity values are high enough. This ambit usually presents diffuse limits as a result of its dynamism depending on the macro and micro environmental changes that occur in time.

Zoning and associated vegetation

Depending on the successive microclimates and on the needs of the different groups and species, a zoning distribution of vegetation arises. Starting from the information at our disposal (GINÉS, 1989) and according with the criterion exposed by DOBAT (1970) we can distinguish, more clearly defined in shafts, the following regions:

ACCESS REGION, which corresponds with the immediate sectors at the entrance of cavities and that, although it can be a rather shady area, is always well-illuminated and presents considerable amounts of soil. In these places there is a predominance of phanerophytes, which form part of the typical vegetation of the surroundings of the cavity, with species so xerophilous as: *Ampelodesmos mauritanica*, *Smilax aspera*, *Pistacia lentiscus*, *Asparagus acutifolius*, *Erica multiflora*, *Oryzopsis miliacea*, etc. Among the pteridophytes we must point out *Selaginella denticulata* and *Ceterach officinarum*. On the other hand, the liverworts *Porella laevigata* and *Plagiochila asplenioides* often appear, whereas the most frequent mosses are *Anomodon viticulosus*, *Ctenidium molluscum* and *Scorpiurium circinatum*. In

banda solen aparèixer les hepàtiques *Porella laevigata* i *Plagiochila asplenioides*, mentre que les molles més freqüents són *Anomodon viticulosus*, *Ctenidium molluscum* i *Scorpiurium circinatum*. En aquesta zona de l'Avenc d'Escorca —conegut també com Avenc de sa Font de s'Espinal— hem trobat els líquens, tots ells més o manco esciàfils: *Acrocordia conoidea*, *Dermatocarpon miniatum* var. *miniatum*, *Peltigera canina*, *Porina byssophila*, *P. oleriana* i *Verrucaria pinguicula*.

REGIÓ DE L'ENTRADA, caracteritzada per rebre una il·luminació indirecta encara bastant intensa, per presentar un considerable pendent i menors quantitats de sòl disponible. La vegetació és ja més higròfila i esciàfila, pròpia del sotabosc o rupícola. Entre les fanerògames, totes elles de fulles més grosses, citam: *Geranium robertianum* subsp. *purpureum* (Figura 4), *Hedera helix*, *Acer granatense*, *Tamus communis*, *Ficus carica*, *Cyclamen balearicum*, *Parietaria*

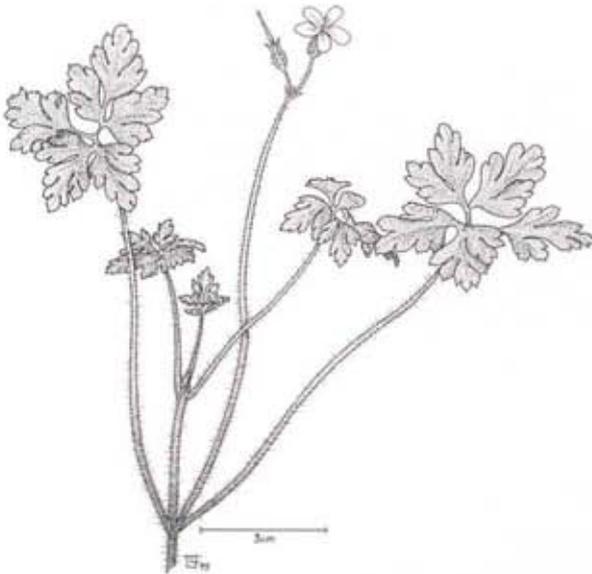


Figura 4: *Geranium robertianum* L. subsp. *purpureum* (Vill.) Nyman.

Figure 4: *Geranium robertianum* L. subsp. *purpureum* (Vill.) Nyman.

lusitanica, etc. Dins aquest grup convé destacar una sèrie d'interessants endemismes tirrènics i baleàrics que es troben a coves de la zona NW de la Serra de Tramuntana, com són: *Urtica bianorii*, *Soleirolia soleirolii*, *Pimpinella bicknelli*, *Sibthorpia africana* i *Cymbalaria aequitriloba*; falgueres com *Polypodium cambricum*, *Asplenium onopteris* i l'interessant *Polystichum setiferum*, que apareix, entre les poques localitats a tota l'illa, a un grapat d'avencs del Puig Major. Hi ha les hepàtiques *Leiocolea turbinata*, *Conocephalum conicum* i *Pellia fabbroniana*, i les molles *Neckera crispa* i *Rhynchostegiella tenella*, juntament amb alguna espècie de la zona anterior. Al Clot des Sero hem localitzat els líquens *Lepraria* sp., que

this upper region of Avenc d'Escorca shaft —also known as Avenc de sa Font de s'Espinal— we have found lichens, all of them rather umbrophilous: *Acrocordia conoidea*, *Dermatocarpon miniatum* var. *miniatum*, *Peltigera canina*, *Porina byssophila*, *P. oleriana* and *Verrucaria pinguicula*.

ENTRANCE REGION, characterized for receiving an indirect illumination still quite intense, as well as for presenting a considerable slope and less amounts of available soil. The vegetation is now more hygrophilous and umbrophilous, typical of the surrounding undergrowth, or even rupicolous. Among the phanerophytes, all of them having bigger leaves, we will mention: *Geranium robertianum* subsp. *purpureum* (Figure 4), *Hedera helix*, *Acer granatense*, *Tamus communis*, *Ficus carica*, *Cyclamen balearicum*, *Parietaria lusitanica*, etc. In this group it is convenient to point out a series of interesting Tyrrhenian and Balearic endemisms that are found in the caves of the NW area of Serra de Tramuntana, such as: *Urtica bianorii*, *Soleirolia soleirolii*, *Pimpinella bicknelli*, *Sibthorpia africana* and *Cymbalaria aequitriloba*; ferns such as *Polypodium cambricum*, *Asplenium onopteris* and the interesting *Polystichum setiferum*, which appears, among the few locations on the island, in a number of shafts near the Puig Major summit. There are also the liverworts *Leiocolea turbinata*, *Conocephalum conicum* and *Pellia fabbroniana*, and the mosses *Neckera crispa* and *Rhynchostegiella tenella*, together with some species of the previous access region. In Clot des Sero shaft, we have located the lichens *Lepraria* sp., which spreads widely forming a whitish carpet of a few m², and *Opegrapha mougeotti* (Figure 5).

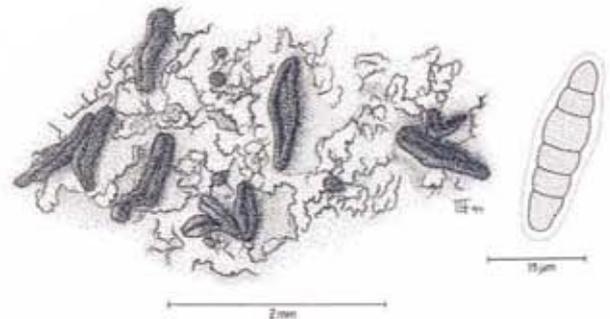


Figura 5: *Opegrapha mougeotti* Massal.

Figure 5: *Opegrapha mougeotti* Massal.

Inside the shafts with a wider opening, like Avenc d'Escorca and Clot des Sero, this vegetation appears luxuriantly at the bottom of the cavities, together with ferns and mosses from the next region.

The lower part of this entrance region usually marks the limit of the phanerophytic occurrence inside the caves.

s'estén àmpliament formant una catifa blanquinosa d'uns quants m², així com *Opegrapha mougeotti* (Figura 5).

Als avencs amb boca més ampla, com l'Avenc d'Escorca o el Clot des Sero, aquesta vegetació apareix de manera exuberant en el fons de les cavitats, juntament amb falgueres i molses de la regió següent.

La part inferior d'aquesta regió sol esser el límit de les fanerògames.

REGIÓ DE TRANSICIÓ, que es correspon amb la zona de la cavitat on arriba una dèbil llum indirecta. A la part externa d'aquesta regió es desenvolupen les falgueres: *Adiantum capillus-veneris*, *Phyllitis sagittata*, *P. scolopendrium*, que és l'espècie més representativa del avencs que es troben en els sectors muntanyosos humits de la Serra de Tramuntana, així com *Asplenium trichomanes*, que és la falguera que arriba a major profunditat. Els briòfits estan representats per un grup de molses que, per les altes freqüències d'aparició en els avencs (ROSSELLÓ & GINÉS, 1980), es poden considerar com les més cavernícoles de les citades fins ara, són: *Thamnobryum alopecurum*, *Homalia lusitanica* (Figura 6), *Eucladium verticillatum*, *Fissidens cristatus* i *Mnium* sp.

L'escassa llum que arriba a la part interior d'aquesta regió encara fa possible que la zona sigui colonitzada per les molses *Th. alopecurum* i *H. lusitanica*, que assenyalen el límit d'extinció dels briòfits. També trobam algues i cianobacteris respecte dels quals, si bé pertanyen a grups no estudiats a bastament fins ara, es pot afirmar que l'important paper tradicionalment assignat als cianobacteris i a les algues com a darrers colonitzadors en els llocs menys il·luminats, queda als avencs molt minimitzat a causa de la competència per la llum que s'estableix amb les darreres molses citades, i que suposa que aquestes siguin de fet el límit intern de la vegetació a les cavitats verticals (GINÉS, 1989).

REGIÓ PROFUNDA, que s'estén a partir de l'extinció de la llum i, per tant, és una zona incompatible amb la vida vegetal en sentit estricte. HERRERO-BORGOÑÓN (1986) identifica aquesta regió com a zona micofítica, amb uns valors d'intensitat lluminosa inferiors a 1/2.500 respecte de l'exterior i colonitzada per fongs i bacteris.

Un caràcter prou interessant dels avencs, a causa dels peculiars microclimes que presenten, és el d'actuar com a refugi de certes espècies que es consideren relictuals (TOSCO, 1959), com són a Mallorca els briòfits: *Taxiphyllum wissgrilli*, *Orthothecium intricatum*, *Solenostoma triste* i *Rhizomnium punctatum*, que fins ara sols s'han trobat dins cavitats. Això fa pensar en la possibilitat de descobrir novetats florístiques desconegudes fins ara, com demostren les set primeres noves cites de briòfits per a les Balears publicades a ROSSELLÓ & GINÉS (1980).

TRANSITION REGION, which corresponds with the area of the cavity where a weak indirect light gets through. Ferns grow in the external part of this region: *Adiantum capillus-veneris*, *Phyllitis sagittata*, *P. scolopendrium* that is the most representative species of the shafts situated in the humid mountainous sectors of Serra de Tramuntana, as well as *Asplenium trichomanes*, which is the fern that reaches a greater depth. Bryophytes are represented by a group of mosses that, due to their high-frequency appearance in shafts (ROSSELLÓ & GINÉS, 1980), they can be considered as the most cavernicolous of the above mentioned up till now; they are: *Thamnobryum alopecurum*, *Homalia lusitanica* (Figure 6), *Eucladium verticillatum*, *Fissidens cristatus* and *Mnium* sp.

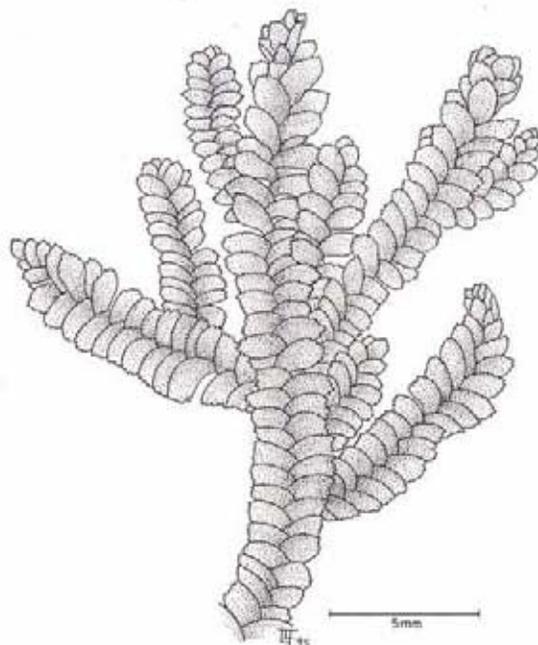


Figura 6: *Homalia lusitanica* Schimper.

Figure 6: *Homalia lusitanica* Schimper.

The scarce light that reaches the interior part of this region still makes possible for the area to be inhabited by the mosses *Th. alopecurum* and *H. lusitanica*, which mark the extinction limit of bryophytes. We also encounter algae and cyanobacteria, groups which have not been well-studied until present; however, it can be now asserted that, in spite of the important role traditionally assigned to algae and cyanobacteria as the inner inhabitants of the less illuminated spots in the cavities, they are absolutely minimized in the shafts due to the competition for light that is established with the last mosses above mentioned, and which entails that these constitute the internal limit of vegetation in vertical cavities (GINÉS, 1989).

Orígen de la flora cavernícola

Tot el que hem exposat fins ara pareix indicar que l'origen de la flora de les cavitats s'ha de cercar a les masses boscoses, tal vegada de caducifolis, que possiblement arribaven a coronar les parts altes de la nostra serra i feien possible, dins un clima més temperat i humit, l'existència d'un sotabosc on eren presents les espècies citades com a més típiques de les cavitats. Un progressiu canvi de clima cap a situacions més extremes, o fins i tot la intervenció de l'home, van provocar la desaparició paulatina d'aquests boscos i les plantes integrants del sotabosc varen quedar relegades a les zones més ombrívoles i humides que proporcionava el relleu, entre les quals es troben les cavitats càrstiques, que en certs casos han resultat ésser els darrers reductes d'aquestes espècies a les nostres illes.

DEEP REGION, that spreads starting from the extinction of light and, therefore, it is an incompatible area with regard to plant life in the strict sense. *HERRERO-BORGOÑÓN (1986)* identifies this region as a mycophytic area, with values of light intensity below 1/2,500 of exterior illumination and inhabited by fungi and bacteria.

A rather interesting characteristic concerning shafts, due to the peculiar microclimate that they present, is their role as refuge for certain species that are considered relict (TOSCO, 1959), such as several bryophytes in Mallorca: Taxiphyllum wissgrilli, Orthothecium intricatum, Solenostoma triste and Rhizomnium punctatum, that up till now have only been found in cavities. This leads one to believe in the possibility of discovering botanical novelties unknown until present, as it is proved by the first seven new occurrences of bryophytes in the Balearic islands found inside some shafts (ROSSELLÓ & GINÉS, 1980).

Origin of cave flora

Everything we have exposed up till now seems to indicate that the origin of flora in Majorcan cavities has to be sought in wood masses, perhaps in deciduous ones, which probably —in a more temperate and humid climate— managed to cover the high areas of our mountains and made the existence of undergrowth communities possible, where the species now quoted as the most typical of cavities were present. A progressive change of climate towards more extreme conditions, or even the intervention of man, provoked the gradual disappearance of these woods, and the integrating plants of the undergrowth were relegated to the shadiest and most humid zones that the relief provided, among which we encounter the karstic cavities that in certain cases have become the last redoubt of these species on our islands.

Bibliografia / References

- CHOPPY, J. (1982): *Processus climatiques dans les vides karstiques. 1, Dynamique de l'air*. Série Phénomènes Karstiques. 84 pàgs. París.
- CHOPPY, J. (1983): *Processus climatiques dans les vides karstiques. 2, Composition de l'air*. Série Phénomènes Karstiques. 88 pàgs. París.
- CUBBON, B.D. (1976): Cave Flora. In: FORD, T.D. & CULLINGFORD, H.D. (Eds.): *The Science of Speleology*. 423-452. Londres.
- DALBY, D.H. (1966): The growth of plants under reduced light. *Studies in Speleology*, 1 (4) : 193-203. Londres.
- DOBAT, K. (1970): Considérations sur la végétation cryptogamique des grottes du Jura Souabe (Sud-Ouest de l'Allemagne). *Annales de Spéléologie*, 25 (4) : 871-907. Moulis.
- DOBAT, K. (1977): Zur ökogenese und ökologie der Lampenflora deutscher Schauhöhlen. In: FREY, W.; HURKA, H. & OBERWINKLER, F. (Eds.): *Beiträge zur Biologie der niederen Pflanzen*. 177-215. Stuttgart.
- DUNK, K.V.D. (1977): Zur Moosvegetation von Mallorca. *Herzogia*, 409-413.
- GINÉS, A. (1983): *Bioespeleología del karst mallorquín. Datos ecológicos preliminares*. Tesis de Licenciatura. Universitat de les Illes Balears. 219 pàgs. Palma de Mallorca. Inèdit.
- GINÉS, A. (1989): *Morfología kárstica y vegetación en la Serra de Tramuntana. Primeros datos*. Memòria d'Investigació 3er Cicle. Universitat de les Illes Balears. 86 pàgs. Palma de Mallorca. Inèdit.
- GINÉS, A. & GINÉS, P. (1992): Principals característiques climàtiques des Clot des Sero (Calvià, Mallorca). *Endins*, 17-18 : 37-42. Palma de Mallorca.
- GRACIA, C. (1974): Consideraciones teóricas y experimentales sobre algunos problemas que plantea el estudio de la vegetación cavernícola. *Comunicaciones IV Simposium Biospeleología*, 107-111. Barcelona.
- GRACIA, C. (1976): Espeleobotànica: les plantes en el món subterrani. In: *Introducció a la Biospeleologia*. Escola Catalana d'Espeleologia. 8 pàgs. Barcelona.
- GRUP ESPELEOLÒGIC EST (1986): S'Era d'Escorca (Escorca, Mallorca) i algunes cavitats veïnes. *Endins*, 12 : 3-11. Palma de Mallorca.
- HERRERO-BORGONÓN, J.J. (1986): *La flora de las simas valencianas. Contribución a su estudio*. Federación T. Valenciana de Espeleología. 301 pàgs. València.
- HERRERO-BORGONÓN, J.J. & MATEO, G. (1984): Sobre la presencia de *Asplenium scolopendrium* y *A. sagittatum* en las simas valencianas. *Fol. Bot. Misc.* 4 : 7-14. Barcelona.
- KNOCHE, H. (1921-1923): *Flora balearica: étude phytogéographique sur les îles Baléares*. Vol. 1-4. Montpellier.
- KOPPE, F. (1965): Bryologische Beobachtungen auf der Insel Mallorca. *Botaniska Notiser*, 118 : 25-48. Lund.
- LLORENS, L. (1972): Anotaciones a la flora balear. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 17 : 55-62. Palma de Mallorca.
- MAHEU, J. (1912): Exploration et flore souterraine des cavernes de Catalogne et des îles Baléares. *Spelunca, Bulletin et Mémoires de la Société de Spéléologie*, 8 (67) : 361-465. Paris.
- MORTON, F. & GAMS, H. (1925): Höhlenpflanzen. *Speläologische Monographien*, V, 227 pàgs. Viena.
- PIPAN, L. (1956): Ricerche preliminari di meteorologia ipogea nelle grotte del Carso Triestino. *Le Grotte d'Italia*, serie 3, 1 : 225-261. Castellana Grotte.
- ROSSELLÓ, J.A. & GINÉS, A. (1980): Introducció a la brioflora dels avencs mallorquins. *Endins*, 7 : 27-35. Palma de Mallorca.
- SLOOVER, J.L. de (1967): Quelques Bryophytes recueillies à Majorque. *Les Naturalistes Belges*, 18 : 389-394. Brussel·les.
- TOSCO, U. (1959): Contributi alla conoscenza della vegetazione e della flora cavernicola italiana; I. Cenni Preliminari sulla vegetazione delle caverne con particolare riguardo alla Briofite. *Le Grotte d'Italia*, serie 3, 2 : 37-70. Castellana Grotte.

INTERÈS PALEONTOLÒGIC DELS JACIMENTS CÀRSTICS DE LES GIMNÈSIES I LES PITIÜSES

PALEONTOLOGICAL INTEREST OF KARSTIC DEPOSITS FROM THE GYMNESIC AND PITYUSIC ISLANDS

Paul Y. SONDAAR¹, Miguel McMINN¹, Bartomeu SEGUÍ¹ & Josep Antoni ALCOVER¹

Resum

El coneixement sobre les faunes vertebrades del Pliocè i Pleistocè de les Gimnèsies i de les Pitiüses prové principalment de l'estudi de materials fòssils obtinguts en dipòsits càrstics. El seu registre fossilífer cobreix el Pliocè i el Pleistocè, un espectre temporal de devers 5,5 milions d'anys. *Myotragus*, un bòvid endèmic de les Gimnèsies, l'únic mamífer de talla mitjana d'aquestes illes, és una espècie-clau per a la interpretació dels processos evolutius. L'estudi del seu registre fossilífer documenta que la discussió entre puntuacionisme i gradualisme és artefactual. El registre fossilífer de les Pitiüses és menys complet per al Pliocè i Pleistocè inferior. Però les faunes fòssils del Pleistocè superior de les Pitiüses estan molt ben documentades i constitueixen l'anomalia faunística més gran de totes les illes mediterrànies. Aquesta anomalia demostra que hi va esdevenir una catàstrofe natural, la qual va causar l'extinció de tots els vertebrats terrestres llevat d'una espècie de sargantana Lacertidae, i de devers 3/4 parts dels gasteròpodes terrestres. Posteriorment en aquest esdeveniment les illes Pitiüses no foren recolonitzades per altres vertebrats terrestres, llevat de per ocells i rates pinyades. Probablement l'actual sistema de corrents marines que actualment es troba entre les Pitiüses i la Península Ibèrica ja existia en el passat, i degué evitar la dispersió ultramarina de vertebrats terrestres.

Abstract

The vertebrate faunas from the Pliocene and Pleistocene of the Gymnesic and the Pityusic Islands are nowadays quite well-known. The current knowledge is mainly based on the study of fossil material which was obtained from karstic deposits. Its stratigraphic range covers the whole Plio/Pleistocene, a time range of about 5.5 My. The bovid Myotragus of the Gymnesic Islands provides a paradigm for the study of evolutionary processes and shows that the distinction between two evolutionary models, punctuated equilibrium and gradualism, often regarded as opposing, is an artifact. The fossil record of the Pityusic Islands is less complete from the Pliocene and Lower Pleistocene. But the Upper Pleistocene is well documented in the Pityusics and contains an exceptional faunistic anomaly if compared with all the other Mediterranean islands. This anomaly is demonstrative for a natural disaster causing the extinction of all the endemic land vertebrates, excepting a lacertid lizard, and nearly all the land gastropods. After this event the Pityusic Islands were not recolonised by land vertebrates, other than by the flying ones, i.e., birds and bats. Probably a system of marine currents similar to the existing currently was already achieved, and prevent overseas immigration of land non-flying vertebrates.

Introducció

Un dels punts d'interès de les regions càrstiques radica en la transcendència que tenen les coves i els

Introduction

One of the points of interest of a karstic region is that the caves and fissures functioning as traps for sediments and organic material. Fossils found in karstic deposits have played and still play an important role in paleontological studies (SUTCLIFE,

¹ Institut d'Estudis Avançats de les Illes Balears (CSIC-UIB). Ctra de Valldemossa km 7,5. 07071, Palma de Mallorca.

reblits càrstics en general per a l'estudi dels fòssils. Els fòssils trobats als dipòsits càrstics han tingut i encara tenen un paper important en els estudis paleontològics (SUTCLIFE, 1976; ANDREWS 1990; ALCOVER, 1992). Les coves sovint han actuat com llocs on 1) s'han acumulat restes animals i vegetals susceptibles de fossilitzar (normalment ossos i caragols, però també pol·len, i de vegades altres restes animals i vegetals), 2) sovint es donen unes condicions particulars que afavoreixen la fossilització, i on moltes vegades es depositen columnes estratigràfiques d'un cert abast temporal i 3) són uns ambients limitats temporalment i espacial. Això fa que sien unes unitats d'estudi relativament senzill, una vegada conegudes les tècniques espeleològiques. Dintre les coves, els fòssils se solen trobar a parts concretes, els dipòsits fossilífers. Aquests dipòsits es poden identificar i estudiar fins i tot quan la cova on es varen acumular ja hagi desaparegut.

L'acumulació de restes que es dona a les coves es deguda a diferents processos tafonòmics. Aquests processos inclouen des dels mecanismes que transporten els ossos i altres restes des de l'exterior fins els mecanismes de transport que actuen a l'interior de les coves. Entre els primers, es poden esmentar els agents geològics, com ara és el transport per l'aigua, però especialment poden jugar un paper destacat els agents biològics bioacumuladors (ANDREWS, 1990; ALCOVER, 1992). Destaquen, com a tals agents, les òlibes i mussols (*Strigiformes*) i diferents espècies depredadores d'altres vertebrats (incloent-hi l'home). Hi ha, però, altres factors: la conducta de determinats animals (que els fa més susceptibles de fossilitzar a les coves), els accidents, el transport passiu amb sediments provinents de l'exterior, i altres. Els processos tafonòmics que han conduït a la formació de dipòsits fossilífers a l'interior de les coves sovint han estat diversos, àdhuc per a una mateixa unitat estratigràfica. Diversos elements faunístics poden haver arribat degut a l'actuació de diferents processos tafonòmics. Així, és freqüent que molts microvertebrats s'introdueixin a les coves sota la forma d'egagròpiles, mentre que les acumulacions de caragols solen ésser degudes al seu transport passiu amb sediments provinents de l'exterior (veure, per exemple, CHAMBERS & STEADMAN, 1986).

D'una altra banda, a les coves quasi no actuen els agents meteòrics ni els agents biològics biodestructors que actuen a l'exterior. És bastant freqüent trobar restes d'animals que s'han conservat en la mateixa posició en que es trobaven quan varen morir, amb els ossos depositats en connexió anatòmica.

Els processos de reompliment de cavitats amb sediments fossilífers donen lloc a seqüències estratigràfiques que de vegades abasten llargs espectres temporals, bé que el més freqüent és que sien d'una duració més limitada (com a màxim uns pocs centenars de milers d'anys). A Mallorca, per exemple, la

1976; ANDREWS, 1990; ALCOVER, 1992). *Caves often acted as places where 1) animal and plant remains suitable for fossilization have accumulated (usually bones and snail-shells, but also pollen and, occasionally, other plant and animal remains); 2) there exist special conditions favouring fossilization processes; and 3) stratigraphic columns covering a considerable time span are often deposited. Caves are temporal and spatially limited. Inside caves, fossils are usually found in specific places. Thus, their excavation is relatively easy once speleological techniques are known. Fossiliferous cave deposits can be identified and studied even after the cave where they accumulated has disappeared.*

*The accumulation of remains inside caves is due to different taphonomic processes. These include both the mechanisms through which bones and other remains are transported from the outside and those which are at work inside the caves. Among the first we can distinguish geological agents like transport by water, but especially bioaccumulative biological agents might play a remarkable role (ANDREWS, 1990; ALCOVER, 1992), especially owls (*Strigiformes*) and other vertebrate-eating species, including man. However, there are other factors involved; e.g., behaviors enhancing fossilization inside caves, accidents, and transport of external sediments. The taphonomical processes leading to the formation of fossiliferous deposits inside caves are diverse, even for a single stratigraphical unit. Various faunistic elements may have arrived through different taphonomical processes. For example many microvertebrates often enter the caves within owl pellets, whereas accumulations of snail shells often result from their passive transport within sediments from the outside (e.g., see CHAMBERS & STEADMAN, 1986).*

Inside the caves, the weathering and biological destructive agents working outside are almost nonexistent. It is not unusual to find animal remains which have been preserved in the same position as when the animal died, with its bones still showing their anatomical connection.

The stratigraphic range of fossiliferous caves occasionally covers long temporal ranges. For instance, in Mallorca Cova de Canet shows a stratigraphic record over 1.8 million years, but not continuous. However mostly the time span is more limited (a few hundred thousands years, maximum). In Eivissa, Es Pouàs presents an uninterrupted stratigraphic column over 30,000 years. In Sardinia, Su Corbeddu contains a continuous stratigraphic column over 50,000 years.

It must be stressed that caves on islands are of great paleontological importance (SONDAAR, 1991). They are usually the only places where fossil vertebrates can be found, as large lake and fluvial deposits are usually lacking on islands. A notable portion of the paleontology of vertebrates from the

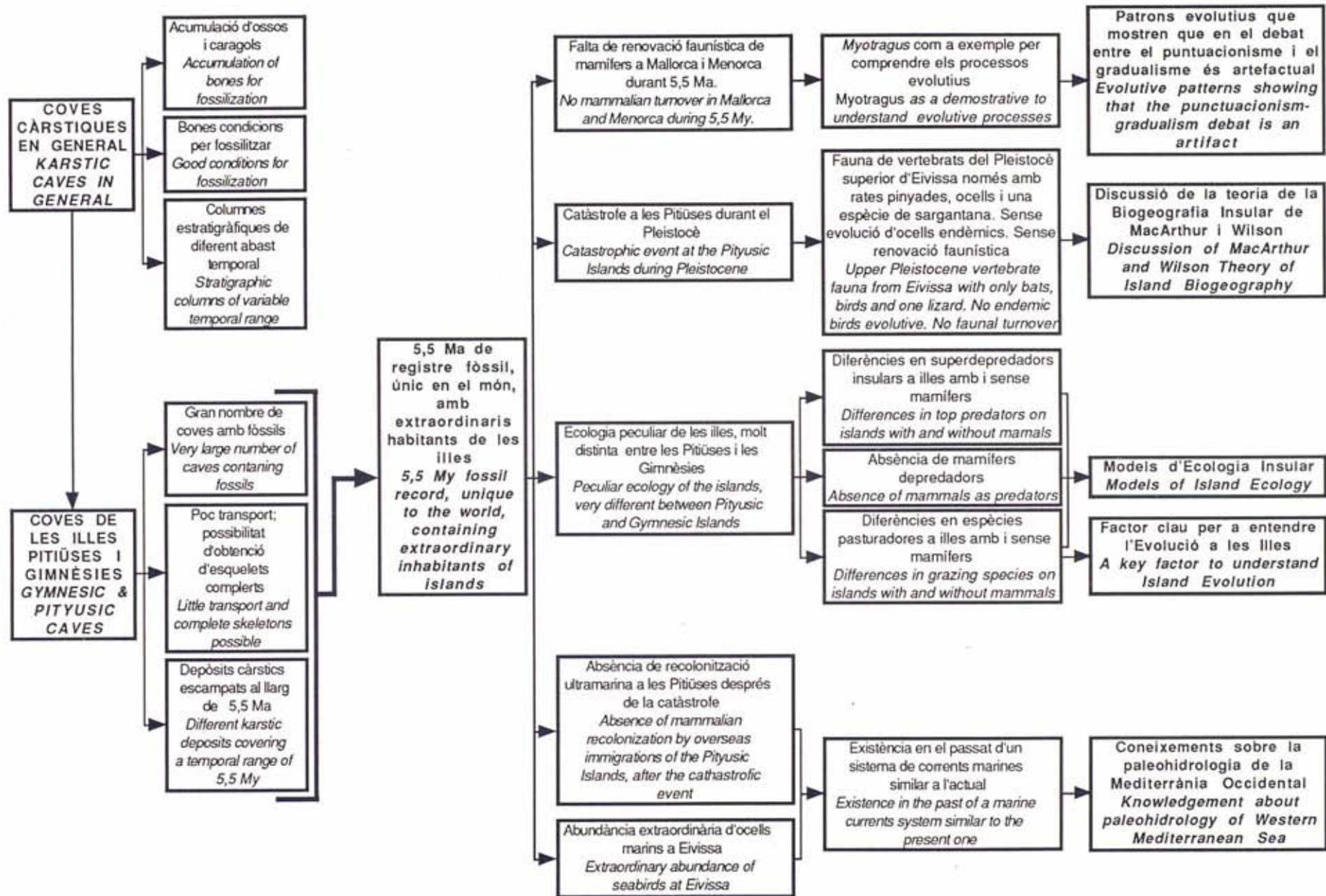


Figura 1: Interès paleontològic dels dipòsits càrstics de les Gimnèsies i de les Pitiüses.

Figure 1: Paleontological interest of karstic deposits from the Gymnesic and Pityusic Islands.

Cova de Canet té un registre estratigràfic de més de 1,8 milions d'anys, bé que no és continu. Es Pouàs (Eivissa) presenta una columna estratigràfica contínua de més de 30.000 anys. La columna estratigràfica contínua de Su Corbeddu (Sardenya) és de més de 50.000 anys.

Cal dir que a les illes les coves tenen una transcendència paleontològica encara més grossa (SONDAAR, 1991). Són sovint els únics indrets on s'han trobat vertebrats fòssils, en no existir habitualment a les illes ni conques llacunars ni fluvials grans. Una part considerable de la paleontologia de vertebrats de les illes d'arreu del món es coneix exclusivament gràcies a l'estudi de les coves. Si tenim en compte que les illes són unes àrees d'interès fonamental per a l'estudi de l'evolució, l'interès de les coves s'escampa cap a aquesta disciplina. Si tenim en compte que les illes oceàniques i para-oceàniques del Món poden ésser considerades, en el seu conjunt, com a un punt calent de la biodiversitat de vertebrats existent a la terra (ALCOVER & ALTABÀ, 1995), la transcendència de l'estudi dels ossos fòssils trobats a les coves il·lenques s'estén a disciplines tals com la Taxonomia, la Sistemàtica i la Biologia de la Conservació.

Tot això fa que si la paleontologia és una disciplina rellevant en el camp de la carstologia, aquesta encara ho és més per a determinats camps de la paleontologia.

En total acord amb aquestes consideracions, l'estudi dels materials provinents de les coves i dels reblits càrstics s'ha revelat com a una eina de primer ordre per al coneixement de les faunes malacològiques i, sobretot, de vertebrats fòssils del Miocè, Pliocè i Quaternari de les Gimnèsies i de les Pitiüses. L'abundància de coves existent (DAMIANS *et al.*, inèdit), i la gran freqüència amb que contenen dipòsits fòssils de vertebrats i malacològics, fa que el registre paleontològic lliurat a les coves d'aquestes illes sigui particularment ric, molt més que el conegut d'altres indrets del Món. Això es deu a l'extraordinari treball exploratori realitzat pels espeleòlegs de les Illes Balears. D'altra banda, l'abundància de coves i reblits càrstics fòssils és tal que tot i que els dipòsits habitualment abasten períodes de temps curts, el conjunt d'ells abasta, d'una forma molt més completa que a cap altra illa del Món, un espectre temporal de més de 5,5 milions d'anys. Per un altre costat, a les Gimnèsies i les Pitiüses hi ha un bon coneixement paleogeogràfic i paleoclimàtic, derivat de l'estudi de les terrasses quaternàries (CUERDA, 1975). Les dades provinents d'aquests i d'altres camps es poden integrar fàcilment amb les dades provinents de l'estudi de la paleontologia de les coves. Tot això converteix les Pitiüses i molt especialment les Gimnèsies, en uns indrets excel·lents per a l'estudi de l'evolució animal.

World's islands is exclusively known thanks to the study of caves. Assuming that islands are areas of essential interest regarding the study of evolution, the interest of caves spread also to this discipline. Taking into account that the whole set of oceanic and oceanic-like islands can be considered as a hot point for the biodiversity of vertebrates on the Earth (ALCOVER & ALTABÀ, 1995), the importance of fossil bones found in insular caves spread to disciplines such as Taxonomy, Systematics and Conservation Biology. All this means that if Paleontology is a discipline relevant within the field of Karstology, the latter is even more so for certain fields of Paleontology.

*The study of cave materials becomes an outstanding tool for the knowledge of malacological faunas and, moreover, of fossil vertebrates of the Miocene, Pliocene and Quaternary from the Gymnesic and Pityusic Islands. The abundance of caves (DAMIANS *et al.*, unpublished), together with the high frequency they contain fossiliferous deposits of vertebrates and molluscs, makes the fossil record of those islands to be especially rich, much more than that of other islands at the World. On another hand, the fossiliferous karstic deposits are so abundant there that, although usually they cover just short periods of time, all of them together are covering a temporal range of more than 5.5 million years, a much more complete span than in any other island of the World. This is due to the extraordinary activities of the speleologists of the Balearic Islands. Also, there is a good knowledge on paleogeography and paleoclimatology of the Gymnesic and Pityusic Islands due to the studies on Quaternary terraces (CUERDA, 1975). Data coming from that and other fields are easily integrated with those of paleontology of caves. All this makes the Pityusic, and more especially the Gymnesic Islands, excellent places for the study of animal evolution.*

Fossil vertebrates from the Gymnesic and Pityusic Islands

The main goal of this paper is to present the Pliocene and Quaternary vertebrate faunas from the Gymnesic and Pityusic Islands. These faunas are almost exclusively known through the study of fossils coming from karstic deposits.

A checklist of the Pliocene and Quaternary vertebrate fauna from these islands, known currently, is presented on Table 1. On the whole, no less than 134 taxa of vertebrates have been found, distributed as following: 84 vertebrates in Mallorca (17 mammals, 64 birds, 1 reptile and 2 amphibians), 12 in Menorca (7 mammals, 2 birds, 1 reptile and 2 amphibians), and 73 in Eivissa (7 mammals, 64 birds, 2 reptiles). There is only one species coming from a non-karstic

Els vertebrats fòssils de les Gimnèsies i de les Pitiüses

L'objectiu principal d'aquest treball consistirà en la presentació de les faunes vertebrades del Pliocè i del Quaternari de les Gimnèsies i de les Pitiüses. Aquestes faunes es coneixen quasi exclusivament gràcies a l'estudi dels fòssils provinents dels dipòsits càrstics.

A la Taula I es presenta el llistat de la fauna vertebrada coneguda fins el present al Pliocè i Quaternari de les Gimnèsies i les Pitiüses. En total s'han trobat no menys de 134 taxa de vertebrats, els quals es reparteixen de la següent forma: 84 taxa de vertebrats a Mallorca (17 mamífers, 64 aucells, 1 rèptil i 2 amfibis), 12 a Menorca (7 mamífers, 2 aucells, 1 rèptil i 2 amfibis), i 73 a Eivissa (7 mamífers, 64 aucells, 2 rèptils). L'única adició a aquestes faunes que prové de jaciments no càrstics és la de *Puffinus mauretanicus* del Pleistocè superior/Holocè a l'illa de Mallorca (McMinn, inèdit).

Les faunes de vertebrats terrestres del Pliocè i Quaternari de les Gimnèsies i de les Pitiüses provenen, almenys en la seva major part, de la colonització de les illes esdevinguda durant el Messinià (fa 5,5 Milions d'anys -Ma-). En aquest període les illes Gimnèsies i les Pitiüses, talment com Còrsega i Sardenya, es mantingueren unides als continents circumdants degut a la dessecació de la Mediterrània. Això no obstant, la colonització de les illes es va realitzar travessant un filtre ecològic summament dur, els deserts salins que les degueren envoltar (ALCOVER, 1987). D'ençà de l'obertura de l'Estret de Gibraltar, en el decurs de la transgressió pliocena, fins a l'actualitat totes aquestes illes han romangut aïllades dels continents circumdants. Les espècies que s'hi trobaven al Messinià iniciaren uns processos nesoevolutius -és a dir, processos evolutius sota condicions d'insularitat- que varen comportar l'origen de diferents línies endèmiques.

Transcendència evolutiva d'aquestes faunes

Les faunes endèmiques de mamífers insulars contenen, arreu del món, nombrosos exemples d'allò que s'ha anomenat «extraordinaris habitants de les illes» (SONDAAR & BRABER, 1988). Sota aquest nom es coneixen formes insulars que, originades per processos nesoevolutius, no tenen homòlegs clars als continents. L'estudi d'alguns d'aquests endemismes insulars ha resultat ésser de gran interès per avaluar models evolutius (SPAAN *et al.*, 1994).

A les illes de Mallorca i Menorca varen evolucionar diferents línies evolutives de *Myotragus* al llarg de 5,5 Ma. Aquest abast temporal fa de *Myotragus* el

deposit: Puffinus mauretanicus, from the Upper Pleistocene/Holocene, from Mallorca (McMinn, unpublished).

Most of Pliocene and Quaternary vertebrate faunas from the Gymnesic and Pityusic Islands colonized them at the Messinian (5.5 million years -Ma- ago). At this period, the Gymnesic and Pityusic Islands, as well as Corsica and Sardinia, were linked to the surrounding continents due to the drying up of the Mediterranean. However, the colonization of these islands was hampered by an ecological filter that acted isolating the islands: the salty deserts surrounding them (ALCOVER, 1987). When the Strait of Gibraltar opened, during the Pliocene transgression all these islands have remained isolated until now from the continents. The species present on them during the Messinian period underwent several nesoevolutionary processes (i.e., evolutionary processes under insular conditions) from which different endemic lineages originated.

Evolutionary importance of those faunas

*Endemic insular mammalian faunas displays many examples of the so-called «extraordinary inhabitants of the islands» (SONDAAR & BRABER, 1988). They are the results of the evolutionary processes under insular conditions, that show no clear ecological homologues in the continents. The study of such insular endemics is of the greatest interest in evaluating evolutionary models (SPAAN *et al.*, 1994).*

All throughout 5.5 Ma, different evolutionary lineages of Myotragus evolved on the islands of Mallorca and Menorca. The bovid Myotragus is the middle-sized mammal displaying the longest nesoevolution on the whole Mediterranean area. The richness, overlap in time and accuracy of the karstic fossiliferous record from the Gymnesics are such that no where else in the world has it been possible to follow so accurately the evolution of an insular taxa, during such a long temporal range, as it has been with Myotragus. Evolution of Myotragus involved several of adaptive morphological changes on different functional structures. Those changes were achieved through evolution in mosaic: the different types of structures evolved at different rates.

Due to the peculiar characteristics of the fossiliferous record of karstic deposits from the Gymnesics, the study of Myotragus evolution constitutes a tool to evaluate different evolutionary models. The evolutionary lineage from M. antiquus to M. balearicus is the clearest and it will be the only one treated in this paper.

The changes occurred in this evolutionary lineage have essentially affected three types of

Taula I: Vertebrats fòssils trobats als jaciments càrstics de les Gimnèsies (Mallorca i Menorca) i les Pitiüses (Eivissa i Formentera).

Table I: Fossil vertebrates from the Gymnesic (Mallorca and Menorca) and Pityusic (Eivissa and Formentera) karstic deposits.

Mallorca	Menorca	Pitiüses
Holocè/Holocene		
Amphibia		
<i>Baleaphryne muletensis</i>	<i>Baleaphryne talaioticus</i>	--
Reptilia		
<i>Podarcis lilfordi</i>	<i>Podarcis lilfordi</i>	<i>Podarcis pityusensis</i>
Mammalia		
<i>Nesiotites hidalgo</i>	<i>Nesiotites hidalgo</i>	--
<i>Hypnomys morpheus</i>	<i>Hypnomys mahonensis</i>	--
<i>Myotragus balearicus</i>	<i>Myotragus balearicus</i>	--
Pleistocè (indeterminat)/Pleistocene (und.)		
Aves		
<i>Phalacrocorax aristotelis</i>		
<i>Pyrhocorax graculus</i>		
<i>Corvus corax</i>		
Pleistocè superior/upper Pleistocene		
Amphibia		
<i>Baleaphryne muletensis</i>		
Reptilia		
<i>Podarcis lilfordi</i>	<i>Podarcis lilfordi</i>	<i>Podarcis pityusensis</i>
Aves		
<i>Accipiter nisus</i>	<i>Pyrhocorax pyrhocorax</i>	<i>Alauda arvensis</i>
<i>Alca torda</i>	<i>Passeriformes indet.</i>	<i>Anas crecca</i>
<i>Anas crecca</i>		<i>Anser sp.</i>
<i>Apus melba</i>		<i>Apus apus / A. pallidus</i>
<i>Aquila chrysaetos</i>		<i>Asio flammeus</i>
<i>Calonectris diomedea</i>		<i>Branta sp.</i>
<i>Columba livia</i>		<i>Bubo bubo</i>
<i>Corvus corone</i>		<i>Burhinus oedicnemus</i>
<i>Corvus monedula</i>		<i>Calandrella sp.</i>
<i>Emberiza cf. cia hortulana</i>		<i>Calonectris diomedea</i>
<i>Erithacus rubecula</i>		<i>Caprimulgus sp.</i>
<i>Falco cf. naumanni</i>		<i>Carduelis cannabina</i>
<i>Falco eleonorae</i>		<i>Carduelis chloris</i>
<i>Falco tinnunculus</i>		<i>Circus cyaneus</i>
<i>Fringilla coelebs</i>		<i>Coccothraustes coccothraustes</i>
<i>Fringilla sp. aff. coelebs montifringilla</i>		<i>Columba livia / C. oenas</i>
<i>Grus primigenia</i>		<i>Columba palumbus</i>
<i>Hirundo rupestris</i>		<i>Coracias garrulus</i>
<i>Lanius excubitor</i>		<i>Corvus cf. corone</i>
<i>Lanius minor</i>		<i>Corvus corax</i>
<i>Loxia curvirostra</i>		<i>Corvus monedula</i>
<i>Melanocorypha calandra</i>		<i>Coturnix coturnix</i>
<i>Montifringilla nivalis</i>		<i>Crex crex</i>
<i>Phalacrocorax aristotelis</i>		<i>Cuculus canorus</i>

Taula I / Table I (cont.)

Mallorca	Menorca	Pitiüses
<i>Pica cf. pica</i>		<i>Charadrius cf. morinellus</i>
<i>Prunella collaris</i>		<i>Charadrius sp.</i>
<i>Prunella modularis</i>		<i>Erithacus rubecula</i>
<i>Pyrrhocorax graculus</i>		<i>Falco eleonorae</i>
<i>Pyrrhocorax pyrrhocorax</i>		<i>Falco naumanni</i>
<i>Pyrrhocorax sp.</i>		<i>Falco tinnunculus</i>
<i>Pyrrhula pyrrhula</i>		<i>Ficedula sp.</i>
<i>Scolopax rusticola</i>		<i>Fringilla sp.</i>
<i>Turdus cf. iliacus philomelos</i>		<i>Galerida thecklae / G. cristata</i>
<i>Turdus cf. viscivorus</i>		<i>Gallinago gallinago</i>
<i>Turdus merula</i>		<i>Grus grus/G. primigenia</i>
<i>Turdus sp.</i>		<i>Haliaeetus albicilla</i>
<i>Turdus viscivorus</i>		<i>Hirundo</i>
<i>Tyto alba</i>		<i>Hydrobates pelagicus</i>
<i>Upupa epops</i>		<i>Lanius excubitor</i>
		<i>Lanius minor</i>
		<i>Lanius senator</i>
		<i>Miliaria calandra</i>
		<i>Montifringilla nivalis</i>
		<i>Numenius arquata</i>
		<i>Otis tarda</i>
		<i>Otus scops</i>
		<i>Pandion haliaetus</i>
		<i>Passer domesticus</i>
		<i>Petronia petronia</i>
		<i>Phalacrocorax aristotelis</i>
		<i>Phoenicurus sp.</i>
		<i>Pluvialis</i>
		<i>Puffinus mauretanicus</i>
		<i>Pyrrhocorax graculus</i>
		<i>Pyrrhocorax pyrrhocorax</i>
		<i>Rallus sp.</i>
		<i>Scolopax rusticola</i>
		<i>Turdus</i>
		<i>Upupa epops</i>
		<i>Vanellus vanellus</i>
Mammalia		
<i>Rhinolophus hipposideros</i>	<i>Hypnomys mahonensis</i>	<i>Rhinolophus hipposideros</i>
<i>Rhinolophus cf. blasii</i>	<i>Nesiotites hidalgo</i>	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>
<i>Hypnomys morpheus</i>	<i>Myotragus balearicus</i>	<i>Plecotus austriacus</i>
<i>Nesiotites hidalgo</i>		<i>Myotis myotis</i>
<i>Myotragus balearicus</i>		
Pleistocè mitjà/middle Pleistocene		
Amphibia		
<i>Baleaphryne muletensis</i>		--
Reptilia		
<i>Podarcis lilfordi</i>		<i>Podarcis pityusensis</i>
		<i>Cheirogaster sp.</i>
Aves		
<i>Apus melba</i>		<i>Puffinus sp.</i>

Mallorca	Menorca	Pitiüses
<i>Carduelis cannabina</i>		
<i>Coccothraustes coccothraustes</i>		
<i>Columba sp.</i>		
<i>Muscicapa cf. striata</i>		
<i>cf. Nucifraga caryocatactes</i>		
<i>Otus scops</i>		
<i>cf. Pica pica</i>		
<i>Scolopax rusticola</i>		
<i>cf. Strix aluco/Tyto balearica</i>		
<i>Sylvia sp.</i>		
<i>Turdus cf. iliacus</i>		
<i>Turdus cf. viscivorus</i>		
Mammalia		
<i>Rhinolophus hipposideros</i>		
<i>Myotis cf. nattereri</i>		
<i>Myotragus balearicus</i>		
<i>Hypnomys morpheus</i>		
<i>Nesiotites hidalgo</i>		
Pleistocè inferior/lower Pleistocene		
Amphibia		
<i>Baleaphryne muletensis</i>	<i>Discoglossus sp.</i>	
Reptilia		
--	<i>Podarcis aff. lilfordi</i>	
Aves		
<i>Turdus cf. viscivorus</i>	<i>Tyto balearica</i>	
Mammalia		
<i>Myotis capaccinii</i>	<i>Nesioties meloussae</i>	
<i>Nesiotites sp.</i>	<i>Hypnomys eliomyoides</i>	
<i>Hypnomys sp.</i>	<i>Myotragus binigausensis</i>	
<i>Myotragus batei</i>		
Limit Plio-Pleistocè/Plio-Pleistocene boundary		
Amphibia		
<i>Baleaphryne sp.</i>		--
<i>Discoglossus sp.</i>		
Reptilia		
<i>Podarcis aff. lilfordi</i>		<i>Podarcis aff. pityusensis</i> <i>Cheirogaster sp.</i>
Aves		
<i>Aegithalos cf. caudatus</i>		<i>Athene sp.</i>
<i>Aegyptius cf. monachus</i>		<i>Buteo sp.</i>
<i>Bucephala cf. clangula</i>		<i>Columba sp.</i>
<i>Carduelis cf. carduelis</i>		<i>Palaeopcryptonyx sp.</i>

Taula 1 / Table 1 (cont.)

Mallorca	Menorca	Pitiüses
<i>Coccothraustes coccothraustes</i>		<i>Passeriformes indet.</i>
<i>Columba sp.</i>		<i>Puffinus nestori</i>
<i>Corvus pliocaenus</i>		
<i>Coturnix cf. coturnix</i>		
<i>Cygnus cf. cygnus</i>		
<i>Dendrocopus cf. major</i>		
<i>Erithacus cf. rubecula</i>		
<i>Fringilla cf. coelebs</i>		
<i>cf. Lullula arborea</i>		
<i>Melanocorypha cf. calandra</i>		
<i>Muscicapa cf. striata</i>		
<i>cf. Nucifraga caryocatactes</i>		
<i>Otus scops</i>		
<i>Parus cf. ater</i>		
<i>Parus cf. major</i>		
<i>Parus cf. cristatus</i>		
<i>cf. Pica pica</i>		
<i>cf. Porzana porzana</i>		
<i>Prunella cf. modularis</i>		
<i>Pyrhocorax cf. pyrrhocorax</i>		
<i>Regulus cf. ignicapillus</i>		
<i>Scolopax rusticola</i>		
<i>Sylvia cf. atricapilla</i>		
<i>Troglodytes cf. troglodytes</i>		
<i>Turdus cf. iliacus/philomelos</i>		
<i>Turdus iliacus</i>		
<i>Turdus cf. merula</i>		
<i>Tyto balearica</i>		
Mammalia		
<i>cf. Barbastella</i>		<i>Chiroptera indet.</i>
<i>Nesiotites aff. ponsi</i>		<i>Eliomys sp.</i>
<i>Hypnomys intermedius</i>		<i>Eivissia canarriensis</i>
<i>Myotragus kopperi</i>		<i>cf. Rupicapriini</i>
Pliocè superior/upper Pliocene		
Mammalia		
<i>Myotragus antiquus</i>		
<i>Hypnomys waldreni</i>		
<i>Nesiotites ponsi</i>		
Pliocè mitjà/middle Pliocene		
Mammalia		
<i>Myotragus peponellae</i>		
Pliocè inferior/lower Pliocene		
Mammalia		
<i>Myotragus sp. A</i>		
<i>Myotragus sp. B</i>		

mamífer de talla mitjana amb una nesoevolució de major durada de tota la Mediterrània. La riquesa, el solapament temporal dels dipòsits i la precisió del registre fossilífer obtingut als dipòsits càrstics de les Gimnèsies, és tal que enlloc més arreu del món s'ha pogut seguir tan acuradament l'evolució d'un tàxon insular durant un espectre temporal tan llarg com en el cas de *Myotragus*. L'evolució de *Myotragus* va comportar nombrosos canvis morfològics adaptatius a diferents tipus d'estructures. Aquests canvis es van assolir mitjançant una evolució en mosaic: els diferents tipus d'estructures varen evolucionar a diferents velocitats.

Per mor de les peculiars característiques del registre fossilífer dels dipòsits càrstics de les Gimnèsies, l'estudi de l'evolució de *Myotragus* constitueix una peça fonamental per a l'avaluació dels diferents models evolutius. La línia evolutiva més clara és la que va de *M. antiquus* a *M. balearicus*, i aquesta serà l'única que es presentarà aquí.

Els canvis esdevenguts al llarg del temps en aquesta línia evolutiva han afectat essencialment tres tipus d'estructures: el sistema locomotor, el complex mastegador i el disseny del crani i la mandíbula.

A l'esquelet locomotor de *Myotragus* s'ha donat un bon nombre de canvis adaptatius. Aquestes adaptacions revelen que *Myotragus*, lluny d'esser cap tàxon anòmal, n'era un molt ben adaptat a viure als ambients insulars, amb una locomoció de «marxes curtes» (SONDAAR, 1977). L'adquisició d'aquest tipus de locomoció va esser possible gràcies a la manca de mamífers depredadors. Els trets més notables de l'esquelet postcranial de *Myotragus* relacionats amb aquest tipus de locomoció són els següents:

1. Acurçament dels metapodials (especialment del metacarpí).
2. Increment de la massivitat dels ossos llargs (especialment a l'autopodi).
3. Estructura peculiar de la pelvis (amb un ilion acurçat i un isquio-pubis allargat).
4. Acurçament de les superfícies articulars dels metapodials.
5. Acurçament del *corpus calcani* i estretament del *sustentaculum tali* al calcani.
6. Fusions dels ossos tarsals (gran cuneiform amb navicocuboid, i aquest complex amb el metatarsià)
7. Adquisició d'un índex intermembral elevat (relació membre anterior/posterior).
8. Presència de mòsses fondes a les superfícies articulars de les falanges per a la inserció dels tendons interarticulars.

Les respectives interpretacions funcionals d'aquests canvis adaptatius són les següents:

1. Adquisició d'una major estabilitat a la locomoció, en situar-se més aprop de terra el centre de gravetat (ALCOVER, 1976).
2. Adquisició d'una major resistència al trenca-ment (ALCOVER *et al.*, 1981).

structures: the locomotion, the feeding structure and the morphology of both the cranium and the jaw.

The locomotor structure of Myotragus underwent several adaptive changes. Such adaptations reveal that Myotragus, far from being an anomalous species was a very well adapted species to the insular environments, exhibiting a low-gear locomotion (SONDAAR, 1977). The acquisition of this locomotion was possible by the absence of mammal predators. The most noticeable features of the Myotragus postcranial skeleton, in relation to this locomotion, are the following:

1. Shortening of the metapodials
2. Increase of massivity of the long bones (especially the autopodian).
3. Peculiar structure of the pelvis (with a shortened ilion and an extended ischio-pubis).
4. Restricted for-aft movements in the distal articular surfaces of the metapodials.
5. Shortening of the corpus calcani and narrowing of the sustentaculum tali on the calcaneum.
6. Fusions of the tarsal bones (great cuneiform with the navicocuboid, and this latter complex joins with the metatarsal bone).
7. Acquisition of a high intermembral index (anterior/posterior limb relation).
8. Presence of deep notches for the insertion of interarticular tendons on the articular surfaces of the digits.

These adaptive changes are respectively interpreted as it follows:

1. Acquisition of a higher stability of locomotion lowering the center of gravity (ALCOVER, 1976).
2. Acquisition of a higher resistance to breakage (ALCOVER *et al.*, 1981).
3. Acquisition of more powerful movements (ALCOVER *et al.*, 1981).
4. Loss of the jumping ability (LEINDERS, 1979).
5. Acquisition of a higher tarsal stability (MOYÀ-SOLÀ, 1979).
6. Acquisition of a higher tarsal stability and loss of the ability to make zig-zag movements (LEINDERS & SONDAAR, 1974).
7. Unknown (SPOOR, 1988).
8. Absolute immobilisation of the vertical digits (could be the first step towards a fusion of all the phalanges; KÖHLER 1993).

*It should be noted here that not all these morphological acquisitions were simultaneously achieved, i.e., at the same rate (ALCOVER *et al.*, 1981). The robustness of limbs was gradually obtained along all the evolutionary lineage of *M. balearicus*. On the contrary, the shortening of metapodials is a very early acquisition, so that shortened metapodials are already found in *M. antiquus*. It should also be mentioned that recent studies on *Myotragus* footprints (FORNÓS & PONS-MOYÀ, 1982; QUINTANA, 1993) also point to the low*

3. Adquisició d'una gran potència als moviments (ALCOVER *et al.*, 1981).

4. Pèrdua de la capacitat de botar (LEINDERS, 1979).

5. Adquisició d'una major estabilitat al tars (MOYÀ-SOLÀ, 1979).

6. Adquisició d'una major estabilitat al tars i pèrdua de la capacitat de fer moviments de ziga-zaga (LEINDERS & SONDAAR, 1974).

7. Desconeguda (SPOOR, 1988).

8. Immovilització dels dits (podria esser una primera passa cap a la fusió de totes les falanges, veure KÖHLER, 1993).

És interessant assenyalar aquí que no totes aquestes adquisicions morfològiques es varen obtenir simultàniament, a la mateixa velocitat (ALCOVER *et al.*, 1981). La robustesa dels membres s'ha anat adquirint bastant a poc a poc, al llarg de tota l'evolució de la línia evolutiva de *M. balearicus*. Per contra, l'acurçament dels metapodials és una adquisició molt primerenca, i ja trobam metapodials acurçats a *M. antiquus*. També mereix esser destacat que recents estudis sobre les icnites de *Myotragus* (FORNÓS & PONS-MOYÀ, 1982; QUINTANA, 1993) apunten igualment al tipus de locomoció de marxades curtes diagnosticat en base als estudis d'anatomia funcional.

Pel que fa als canvis en el complex mastegador, els més destacables han estat els següents:

1. Increment del grau d'hiposodontia als queixals i a les incissives. Com a culminació d'aquesta tendència a les incissives, va esdevenir l'obertura de l'arrel al I_1 , la qual va suposar l'adquisició d'unes incissives de creixement continu. Poc després d'aquesta adquisició es produeix una desaparició sobtada del I_2 i un poc més gradual del I_3 .

2. Reducció del nombre de dents. És el cas dels queixals i de les incissives. *M. balearicus*, l'espècie terminal del fílum, té tan sols una única incissiva de creixement continu (veure Figura 2), 2 premolars superiors, 1 premolar inferior i tres molars superiors i inferiors.

Els canvis esdevinguts a la dentició estan mancats d'una interpretació funcional clara. S'ha suposat que la hiposodontia està relacionada amb la mastiació d'un menjar més abrasiu (veure, p.e. SONDAAR, 1977). La reducció del nombre de dents permet la concentració de l'esforç masticatori a una zona més reduïda de la mandíbula (ALCOVER, 1976). Tot i això es requereixen nous estudis per esbrinar acuradament el significat adaptatiu d'aquests canvis.

El que és interessant recalcar aquí és que a la dentició s'observa una casta d'evolució on es combinen els dos models evolutius, suposadament excloents, actualment en debat. SPAAN *et al.* (1994) han demostrat, en base a l'estudi de l'evolució dels cavalls i dels hipopòtams insulars, com diferents tipus d'estructures evolucionen seguint diferents patrons evolutius. Aquest treball mostra que la polèmica existent entre gradualisme i puntuacionisme és, de fet, ar-

gear locomotion deduced from the functional anatomy study.

Regarding changes on the feeding structure, the following features are the most remarkable:

1. Increasing hypsodonty in molars and incisors. The culmination of the process on incisors was the opening of the I_1 root leading to the acquisition of evergrowing incisors. Shortly after this acquisition, the I_2 disappeared, apparently suddenly, and the I_3 did so gradually.

2. Reduction of the teeth number, molars and incisors. *M. balearicus*, the last species of the genus, had only one unique evergrown incisor (see Figure 2), 2 upper premolars, 1 lower premolar and 3 upper and lower molars.

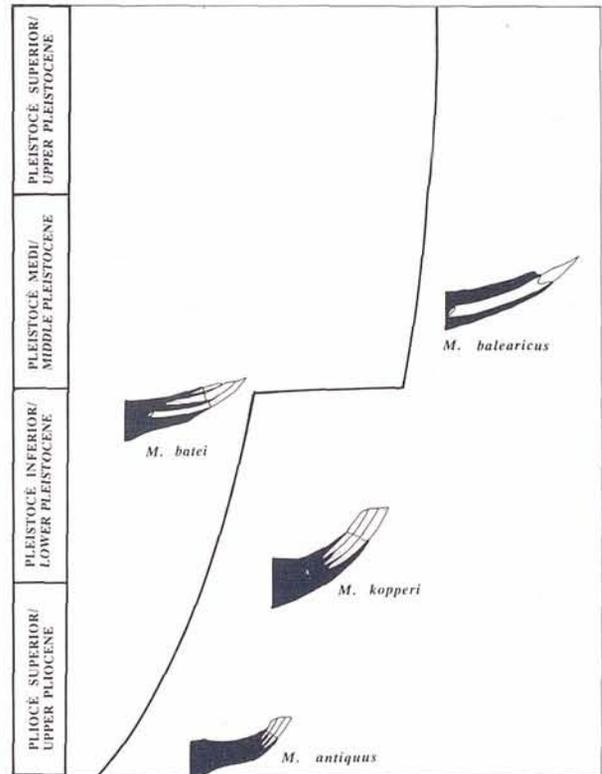


Figura 2: Canvis evolutius a la sèrie incissiva de *Myotragus*.

Figure 2: Evolutionary changes in the incisors of *Myotragus*.

There is a lack of clear functional interpretation of the changes occurred on teeth. It has been assumed that hypsodonty is related to the chewing of a more abrasive food (see SONDAAR, 1977). The reduction in number of teeth allows concentrated chewing effort in a smaller portion of the jaw (ALCOVER, 1976). Despite all that, more studies are required to clarify the adaptive meaning of the changes.

It is interesting to note that the evolutionary changes seen in the dentition of *Myotragus* support the observation of SPAAN *et al.* (1994). By studying the evolution of insular hippopotami and horses SPAAN *et al.* (1994) have demonstrated that different

tificial, i que dintre una mateixa línia evolutiva diferents tipus d'estructures evolucionen seguint diferents patrons. L'anàlisi de l'evolució de la línia filètica de *M. balearicus* permet anar encara més enfora. Per un costat, les taxes de canvi evolutiu són diferents per als diferents canvis morfològics analitzats. Fins i tot l'anàlisi d'un mateix sistema (locomotor o alimentici) revela que els diferents caràcters han evolucionat a diferent velocitat. Per una altra banda, com a mínim al llarg de l'evolució d'un caràcter (la sèrie incisiva de *Myotragus*) s'observa una evolució gradual entre *M. antiquus* i *M. batei*, mentre que el pas entre *M. batei* i *M. balearicus* sembla representar un cas d'evolució per puntuacionisme. Probablement l'obertura de l'arrel del I_1 va representar una adquisició-clau per a l'evolució de l'alimentació de *Myotragus*. Aquesta «revolució» degué ésser el factor clau per a explicar la sobtada desaparició del I_2 .

En qualsevol cas, l'evolució sembla, doncs, ésser més complexa que el que simplificacions com el puntuacionisme han volgut indicar. Aquesta és una sòlida conclusió provinent també de l'estudi dels fòssils de *Myotragus* trobats a les caveres mallorquines.

Transcendència biogeogràfica d'aquestes faunes

El registre fòssilífer càrstic de vertebrats i de caragols documenta d'una manera clara i robusta que aquestes illes, talment com el massís cirno-sard (Còrsega i Sardenya), no han estat unides als continents circumdants durant tot el Pliocè i Quaternari. En efecte, ni a les Gimnèsies ni a les Pitiüses durant tot aquest període es produeix cap entrada d'elements faunístics nous (la qual s'hauria produït d'haver hagut connexions amb els continents circumdants). A les Gimnèsies només pocs elements al·lòctons semblen haver-les colonitzat durant el Pleistocè. Aquest sembla haver estat el cas de *Mastus pupa* (CUERDA, 1974). Durant el Biharià (fa devers 800.000 anys) Còrsega i Sardenya varen ésser colonitzades per una fauna provinent del continent. No obstant, les característiques d'aquesta fauna revelen que hi degué arribar al massís cirno-sard mitjançant colonització ultramarina (SONDAAR *et al.*, 1984; SONDAAR, 1987).

Els patrons evolutius registrats a *Myotragus*, suggereixen que durant la part inferior del Pliocè (probablement Pliocè inferior i medi) l'actual illa de Mallorca probablement estava constituïda per dues unitats separades, a cadascuna de les quals hi degué evolucionar una línia particular de *Myotragus*. En efecte, *Myotragus* sp. A, *Myotragus* sp. B (PONS-MOYÀ, 1990) i *M. peponellae* constitueixen una línia que aparentment no continua amb una altra, la línia *M. antiquus* — *M. balearicus*. El model que suggereixen els fòssils obtinguts als jaciments càr-

kinds of structures evolve according different evolutionary patterns. This work shows that the controversy between gradualism and punctationism is an artifact. In the same evolutionary lineage, different types of structures can evolve according different patterns. Analysing the evolution of the phyletic lineage of M. balearicus we can observe, on one hand, that the evolutionary change are different of rate for every morphological change which was studied. Also, when analysing the same structure (locomotion or feeding), it appears that every character evolved at a different rate. On the other hand, it can be observed, at least through the evolution of one character (the incisors series of Myotragus), that while there was a gradual evolution between M. antiquus and M. batei, the step from M. batei to M. balearicus seems to be an example of punctuated evolution. It seems likely that the opening of I_1 root represented a key-acquisition to the feeding adaptations of Myotragus. This «revolution» might have been the key-factor that would to explain the sudden disappearance of I_2 .

Evolution seems to be more complex than those simplifications, as punctationism, intend it to be. This is a solid conclusion coming also from studies on Myotragus fossils which were found inside Mallorcan caves.

Biogeographical importance of those faunas

*The karstic fossiliferous record of vertebrates and snails indicates that these islands, as well as the cirno-sard massif (Corsica and Sardinia), were not linked to the surrounding continents during the entire Pliocene and Quaternary. In fact, no new arrivals of non-flying vertebrates occurred during all that period into the Gymnesics or Pityusics. In the Gymnesics, just a few allochthonous elements seem to have colonized the islands during the Pleistocene period; this seems to be the case of Mastus pupa (CUERDA, 1974). During the Biharian (800,000 years ago) Corsica and Sardinia were colonized by a fauna coming from the continent, but its characteristics reveal that it reached the cirno-sard massif through overseas immigration (SONDAAR *et al.*, 1984; SONDAAR, 1987).*

The evolutionary patterns recorded in Myotragus suggest that during the earlier Pliocene (probably Lower and Middle Pliocene), Mallorca consisted of isolated units, where different lineages of Myotragus evolved. One, Myotragus sp. A, Myotragus sp. B (PONS-MOYÀ, 1990) and Myotragus peponellae; the other, apparently not derived from the first one, the lineage from M. antiquus — M. balearicus. The model derived from those fossils found in karstic deposits from the Balearics, point to the lineage

tics de les Balears apunten a que la línia que donà lloc a *M. balearicus* inicialment hauria evolucionat localment a una de les dues illes, i que probablement quan les dues illes s'uniren els representants d'aquesta línia degueren desplaçar els de l'illa petita.

Una cosa similar sembla haver esdevingut durant les darreres glaciacions. Les dades de que disposem suggereixen que la forma provinent de l'illa gran (Mallorca, *M. balearicus*) hauria desplaçat l'espècie que localment hauria evolucionat a l'illa petita (Menorca, línia de *M. binigausensis*; veure MOYÀ-SOLÀ & PONS-MOYÀ, 1990).

El registre fòssilífer obtingut revela, així mateix, altres dades biogeogràfiques interessants. Sabem ara que les Gimnèsies i les Pitiüses varen esser colonitzades durant el Messinià per una mateixa fauna, que és la que també va colonitzar a la mateixa època el massís cirno-sard. Entre aquests tres grups d'illes s'observen nombroses diferències faunístiques que cal considerar com a regionals (diferent nombre d'espècies, diferent representació del mateix grup de tàxons, espècies vicariants, etc). Així com durant el Biharià s'ha detectat una renovació faunística al massís cirno-sard, a les Pitiüses s'ha postulat una catàstrofe, encara no identificada, que va implicar la desaparició d'una part considerable de la fauna que havia a aquest arxipèlag durant el Pliocè i Pleistocè inferior (FLORIT *et al.*, 1989; ALCOVER *et al.*, 1994).

L'estudi dels fòssils provinents dels jaciments càrstics de les Gimnèsies i les Pitiüses és un element d'interès per a la discussió de l'anomenada «teoria de l'equilibri insular» de MacARTHUR & WILSON (1967). Aquesta és una teoria important en Biogeografia ecològica, que ha estat objecte de crítiques fortes per part de diversos autors (veure, per exemple, STEADMAN, 1986).

Una de les suposicions d'aquesta teoria consisteix en l'existència d'una renovació faunística al llarg del temps. El registre fòssilífer de mamífers, rèptils, amfibis i gasteròpodes del Pliocè i Pleistocè d'aquestes illes no recolza l'existència de cap renovació faunística al llarg de períodes molt llargs de temps. Algunes espècies s'han extingit (almenys 2 rosegadors, una tortuga de talla gran, i 17 espècies de caragols del Pleistocè inferior d'Eivissa, i 1 amfibi del límit Plio-Quaternari a Mallorca i Menorca), sense que altres espècies pertanyents a les mateixes Classes les hagin substituït. Un gasteròpode (*Mastus pupa*) va colonitzar Mallorca, Menorca i Cabrera durant les darreries del Pleistocè mitjà o els començaments del Pleistocè superior, sense que la seva immigració implicàs cap pèrdua faunística entre els caragols prèviament existents.

L'única renovació faunística registrada és la corresponent al canvi entre la fauna d'ocells del Pleistocè inferior d'Eivissa i la fauna posterior a l'esdeveniment catastròfic registrat.

La interpretació de la història biogeogràfica dels ocells resulta més complexa. Sabem ara que la fau-

ending with *M. balearicus* as locally evolved in one of the two islands, so that probably once these were linked its representatives might have displaced the original ones from the small island.

Something similar took place during the last glaciations. The available data suggest that the form originating in the main island (Mallorca, *M. balearicus*) would have replaced the species locally evolved on the smaller island (Menorca, lineage of *M. binigausensis*; see MOYÀ-SOLÀ & PONS-MOYÀ, 1990).

Moreover, the fossiliferous record obtained reveals interesting biogeographical data. At present, we know that during the Messinian both the Gymnesics and the Pityusics were colonized by the same fauna, which also is the same that, simultaneously, colonized the cirno-sard massif. But also these three groups of islands have peculiar differences, which should be interpreted as regional variations of the fauna that colonized them. The main differences are: the different number of species present on each island group, the different species within the same or related genera, vicariant species, etc. Whereas during the Biharian period a faunistic turnover has been detected on the cirno-sard massif, on the Pityusics an unidentified catastrophic event has been postulated. Such a catastrophic event would have caused the extinction of a great part of the Lower Pleistocene fauna.

The study of fossils coming from karstic deposits of the Gymnesic and Pityusic Islands is relevant for the discussion of the «insular equilibrium theory» of MacARTHUR & WILSON (1967). It is considered an important theory for the ecological biogeography, and it has been the object of strong criticism by different authors (see STEADMAN 1986).

One of the assumptions of this theory is that an equilibrium in number of species is reached on the islands due to a faunistic turnover throughout time. New immigrants would replace earlier colonizers which become extinct. In consequence, the composition of the island fauna would change continuously. The fossil record of mammals, reptiles, amphibians and gastropods from the Pliocene and Pleistocene of the Gymnesic and Pityusic Islands does not support the faunistic turnover postulated by the theory of island biogeography. Some species have become extinct (at least 2 rodents, one big-sized tortoise, and 17 gastropod species from Eivissa because a catastrophic geologic event, and 1 amphibian from the Plio-Quaternary boundary of Mallorca and Menorca) without any turnover happened. One gastropod (*Mastus pupa*) did colonize Mallorca, Menorca and Cabrera by the end of the Middle Pleistocene or beginning of the Upper Pleistocene, without causing any faunistic loss among the previously living snails.

The only faunistic turnover recorded concerns to the faunistic substitution of the avifauna from the

na vertebrada del Pleistocè superior de les Pitiüses està composta per tan sols rates pinyades, una sargantana i molts d'ocells. El registre que tenim dels darrers 30.000 anys és força complet (bé que una part de la fauna ornítica està encara pendent de determinació). Des de fa 30.000 anys fins l'arribada de l'home l'ornitofauna pitiüsa sembla haver estat més o menys constant. No s'ha obtingut cap evidència clara de renovació faunística al llarg d'aquest període. En qualsevol cas, es requereixen més investigacions sobre aquest punt.

Interès paleoecològic

L'estudi dels materials obtinguts als dipòsits càrstics de les Gimnèsies i les Pitiüses és així mateix de gran importància per al coneixement de la paleoecologia d'aquestes illes. La composició faunística del Pleistocè d'aquestes illes és radicalment diferent de la de les faunes coetànies continentals. Les faunes insulars són relativament pobres en espècies (respecte els continents), disharmòniques i amb endemismes. La importància relativa que tengueren els diferents tipus faunístics era diferent de la que aquests mateixos tipus tenen als continents, i en conseqüència l'ecologia de les illes degué ésser també summament peculiar.

Les faunes de mamífers, rèptils i amfibis són summament pobres en espècies, especialment en les Pitiüses, on aparentment mai visqueren amfibis, i on no hi havia mamífers terrestres durant el Pleistocè superior. Mallorca i Menorca contenien només tres espècies de mamífers, un rèptil i un amfibi (dos al Pliocè i Pleistocè inferior). Per contra, les faunes ornítiques semblen haver tengut una gran importància en el passat, i actualment no hi ha dubtes que les Gimnèsies, i sobretot les Pitiüses, eren més riques en ocells que actualment (en densitat d'individus i probablement també en nombre d'espècies que hi viaven).

Un factor ecològic de suma importància radica en l'absència de mamífers depredadors. Com a altres illes del Món (SONDAAR 1977; ALCOVER & McMINN, 1994), aquest ha estat un factor clau que ha condicionat els processos nesoevolutius dels tàxons que s'han lliurat d'aquests depredadors.

La diferent composició faunística de les Gimnèsies i de les Pitiüses té, així mateix, implicacions ecològiques clares. A les Gimnèsies l'espècie que ha exercit el paper de superdepredador ha estat l'àguila reial *Aquila chrysaetos*. Aquesta espècie, inexistent a l'actualitat a les Gimnèsies, ha hagut d'ésser abundant en el passat (ha estat localitzada a 2 jaciments de Mallorca: Cova de Llenaire, Cova Nova), mentre que a les Pitiüses probablement mancava (no hi ha estat trobada, tot i que s'hi han exhumat més de 100.000 ossos d'ocells). En aquest arxipèlag el superdepredador era l'àguila marina *Haliaeetus albicilla*, talment com esdevé a altres illes oceàniques manca-

Lower Pleistocene of Eivissa by the fauna posterior to the catastrophic event mentioned above.

Interpretation of the biogeographical history of birds becomes more complex. Nowadays, we know that the vertebrate fauna from the Upper Pleistocene of the Pityusics consists only of several species of bats, one species of lizard and many of birds. Available records from the latter 30,000 years are highly complete (although there still remains a part of the fossil bird fauna to be determined). Since from 30,000 years ago to the arrival of man, the bird species from Eivissa seem to have remained more or less constant. No clear evidence of faunistic turnover has been obtained along this period. Nevertheless, more research on this point is required.

Paleoecological interest

The study of the materials obtained from karstic deposits in the Gymnesic and Pityusic Islands is also of great importance regarding their paleoecology. Their faunistic composition from the Pleistocene is extremely different from that of the contemporary faunas from the continents. Insular faunas show a rather low number of species (if compared with the continental ones), are disharmonic (unbalanced) and present endemic taxa. The importance that the faunistic types had on the islands, was certainly different to that showed by the same types in the continents. As a consequence, the insular ecology must have been also very peculiar.

Mammals, reptiles and amphibians were represented by extremely low numbers, especially on the Pityusics, where, apparently, the amphibians never inhabited and the terrestrial mammals were absent during the latter Pleistocene. In Mallorca and Menorca there were only three species of mammals, one reptile species and one amphibian species (two during the Pliocene and Lower Pleistocene). On the contrary, ornithic faunas seem to have been greatly relevant in the past and, at present, it is out of doubt that the Gymnesics, and mostly the Pityusics, dwelled more birds than they do today (in density of individuals and, probably, also in number of breeding species).

A very outstanding ecological factor is the absence of predator mammals. Like in other islands (SONDAAR, 1977; ALCOVER & McMINN, 1994), this has been a key-factor which conditioned the nesoevolutionary processes that those taxa free of predators undergone.

*The different faunistic composition of the Gymnesics and the Pityusics has also certain ecological implications. On the Gymnesics, the role of superpredators was played by the Golden Eagle *Aquila chrysaetos*. This species, now disappeared on the Gymnesic Islands, must have been abundant during the past (it has been found within two Mallorcan deposits: Cova de Llenaire, Cova Nova),*

des de mamífers-presa (ALCOVER & McMINN, 1994).

El registre fòssilífer obtingut als jaciments càrstics del Pleistocè de les Gimnèsies i les Pitiüses revela també que els herbívors pastadors han estat ben diferents a ambdós arxipèlags. Això ha suposat unes pressions segurament molt diferents sobre la vegetació. Així, a Mallorca i Menorca *Myotragus* ha estat un pastador molt potent, i per mor de la seva dentició potent, altament especialitzada, amb poques dubtes ha d'esser considerat com a un tàxon clau per a l'ecologia dels ecosistemes insulars. A Eivissa i Formentera durant el Pleistocè superior no hi ha hagut mamífers «pastadors», i el pastoreig sobre la vegetació degué ésser exercit essencialment per oques de talla petita, les quals són molt abundants al registre fòssilífer pitiús (i summament escasses al gimnèsic).

Molts dels aspectes de la paleoecologia de les illes se'ns escapen. El registre palinològic és molt escàs a les Balears. Donada la seva estabilitat al llarg del temps, ni les faunes de mamífers, ni les de rèptils i amfibis, ni les poques dades que tenim sobre plantes fòssils, han lliurat dades rellevants respecte la paleoclimatologia d'aquestes illes. Només uns pocs ocells han resultat ésser d'utilitat com a indicadors bioclimàtics. Els canvis climàtics del Pleistocè coneguts als continents s'han d'haver donat també a les illes, tot i que probablement d'una forma amortiguada. En qualsevol cas, no afectaren la composició de les faunes de mamífers, rèptils i gasteròpodes.

La presència de quantitats molt elevades d'ocells marins al Pleistocè de les Pitiüses s'ha relacionat amb l'existència d'un front marí d'elevada productivitat entre aquestes illes i la Península Ibèrica (FLORIT *et al.*, 1989). Aquest front existeix a l'actualitat i els fòssils provinents de les coves eivissenques són testimoni de la seva existència en el passat, almenys des del Pleistocè inferior (ALCOVER, 1989), però probablement des d'abans. Aquest front es relaciona amb el sistema de corrents marines de la Mediterrània occidental. La manca de colonització de les illes Pitiüses rera l'esdeveniment catastròfic registrat, pot estar també relacionat amb aquest sistema de corrents (o amb la proximitat temporal de l'esdeveniment catastròfic).

En resum, l'estudi dels materials paleontològics de vertebrats del Pliocè i Pleistocè de les Gimnèsies i de les Pitiüses s'ha pogut realitzar gràcies a la seva obtenció a jaciments càrstics. Aquest estudi és de gran transcendència per al coneixement de les faunes del passat, dels processos nesoevolutius que originaren diversos endemismes insulars, així com també de la paleoecologia i la història biogeogràfica d'aquestes illes. Endemés, donades les característiques peculiars dels dipòsits càrstics de les Gimnèsies i les Pitiüses, l'estudi d'aquestes faunes té una transcendència molt gran en la discussió de models biogeogràfics i evolutius aplicables arreu del Món.

*whereas it was probably absent in the Pityusics (it has not been found there, although more than 100,000 bird bones have been exhumated). On this archipelago, the Sea Eagle *Haliaeetus albicilla* displayed the role of superpredator, as it occurs on other oceanic islands where terrestrial mammals are absent (ALCOVER & McMINN, 1994).*

*The fossiliferous record from the Pleistocene karstic deposits of the Gymnesic and Pityusic Islands reveals also that herbivory has been obviously different on both archipelagos. This fact probably derived in a very different kind of pressures on vegetation. In Mallorca and Menorca, *Myotragus* was a voracious grazer and, due to its strong and highly specialized dentition, it must be undoubtedly considered as a key-taxon for understand the ecology of insular ecosystems. During the Upper Pleistocene, in Eivissa and Formentera there were no «grazing» mammals, and grazer pressures on the vegetation was probably exercised mainly by small-sized geese, which are greatly abundant in the Pityusic fossiliferous record (and extremely scarce in the Gymnesic one).*

Many aspects of the paleoecology of the islands has not be studied. The palynologic record on the Balearics is particularly scarce. Because of an assumed climatic stability on islands throughout time, without evidence of change among the mammalian, reptilian and amphibian faunas, together with the scarcity of data on fossil plants, little information concerning the paleoclimatology of these islands exists. Just a few birds have appeared to be useful as climatic indicators. In consequence, there is little information on the paleoclimatology of these islands. But the climate changes in the Pleistocene known from the mainland must have present also on the islands, but did not affected in an important way the faunistic composition.

*The presence of high quantities of sea birds during the Pleistocene from the Pityusics has been related to the existence of a marine front of high productivity between these islands and the Iberian Peninsula (FLORIT *et al.*, 1989). Such a front does exist at present, and the fossils from the caves of Eivissa give testimony of its presence in the past, at least since the Lower Pleistocene (ALCOVER, 1989), but, more likely, since earlier. This front is related to the marine current system of the Western Mediterranean. The lack of colonization of the Pityusics after the catastrophic event that took place could also be related to such current system (or with the temporal proximity of the postulated catastrophic event).*

In conclusion, the study of paleontological materials of vertebrates from the Pliocene and the Pleistocene of the Gymnesic and Pityusic Islands has been possible thanks to their existence in karstic deposits. Such a study is of great importance for the knowledge of past faunas, of the nesoevolutionary processes which gave rise to diverse insular endemic

Agraïments

Aquest treball s'inclou en el Projecte de Recerca del CSIC PB91-0055, finançat per la DGICYT. L'estància del primer dels autors a Palma s'ha pogut realitzar gràcies a la concessió d'un any sabàtic pel Ministeri d'Educació i Ciència (SAB94-0191 de la DGICYT). La versió anglesa es deu a Natalia Llorente, amb aportacions significatives de Cristian R. Alta-ba i Anna M. Traveset. El treball s'ha vist beneficiat per la feina editorial de Guillem X. Pons i Jaume Damians.

Bibliografia / References

- ALCOVER, J.A. (1976): L'evolució de *Myotragus* Bate 1909 (Artiodactyla, Rupicaprini), un procés biològic lligat al fenomen de la insularitat. *Butll. Inst. Cat. Hist. Nat.* 40:59-94.
- ALCOVER, J.A. (1987): Mamífers i illes: síntesi de models de colonització en Biogeografia històrica i la seva aplicació a la Mediterrània. *Paleontologia i Evolució*. 21:69-74.
- ALCOVER, J.A. (1989): Les aus fòssils de la Cova de Ca Na Reia. *Endins*. 14-15:95-100.
- ALCOVER, J.A. (1992): Fossils and Caves. In CAMACHO, A.I. (Ed.), «The Natural History of the Biospeleology». *Mon. Mus. Nac. Cien. Nat.* 7:199-221.
- ALCOVER, J.A. & McMINN, M. (1994): Vertebrate Predators on Islands. *BioScience*. 44:12-18.
- ALCOVER, J.A. & ALTABA, C.R. (1995): Terres isolades: les illes. In FOLCH, R. (Ed.), «Biosfera» vol. 9:338-368.
- ALCOVER, J.A.; McMINN, M. & ALTABA, C.R. (1994): Eivissa: a Pleistocene Oceanic-like Island in the Mediterranean. *Nat. Geogr. Research and Exploration*. 10:236-238.
- ALCOVER, J.A.; MOYÀ-SOLÀ, S. & PONS-MOYÀ, J. (1981): *Les Quimeres del Passat. Els Vertebrats fòssils del Plió-Quaternari de les Balears i Pitiüses*. Mon. Cient, Edit. Moll, 1:1-260.
- ANDREWS, P. (1990): *Owls, Caves and Fossils*. The Natural History Museum, London, 231 pp.
- CHAMBERS, S.M. & STEADMAN, D.W. (1986): Holocene terrestrial faunas from Isla Santa Cruz and Isla Floreana: evidence for late Holocene declines. *Trans. San Diego Soc. Nat. Hist.* 21:89-110.
- CUERDA, J. (1975): *Los Tiempos Cuaternarios en las Baleares*. Edit. Inst. Est. Bal., 304 pp.
- DAMIANS, J.; ENCINAS, J.A.; JANES, M.A.; PONS, G.X. & TRIAS, M. (inèdit): Actualització de l'inventari espeleològic de les Balears.
- FLORIT, F.; MOURER-CHAUVIRÉ, C. & ALCOVER, J.A. (1989): Els ocells pleistocènics d'Es Pouàs, Eivissa. Nota preliminar. *Butll. Inst. Cat. Hist. Nat.* 56:35-46.
- FORNÓS, J.J. & PONS-MOYÀ, J. (1982): Icnitas de *Myotragus balearicus* del yacimiento de Ses Piquetes (Santanyí, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*. 26:135-144.
- JUNIPER, B.E. (1984): The Natural Flora of Mallorca, *Myotragus* coming and its possible effects, and the coming of Man to the Balearics. *BAR Internat. Ser.* 229:145-164.
- KÖHLER, M. (1993): Skeleton and Habitat of recent and fossil Ruminants. *Müncher Geowissenschaftliche Abhandlungen*. 25:1-88.
- LEINDERS, J. (1979): On the osteology and function of the digits of some ruminants and their bearing on taxonomy. *Z.f.Säugetierkunde*. 44:305-318.
- LEINDERS, J. & SONDAAR, P.Y. (1974): On functional fusions in footbones of Ungulates. *Z.f.Säugetierkunde*. 39:109-115.
- MacARTHUR, R.H. & WILSON, E.O. (1967): *The Theory of Island Biogeography*. Mon. Pop. Biol. 1, 103 pp., Princeton.
- MOYÀ-SOLÀ, S. (1979): Morfologia funcional del tarso en el gènere *Myotragus* Bate 1909 (Artiodactyla, Rupicaprini). *Acta Geol. Hisp.* 3, 13:87-91.
- MOYÀ-SOLÀ, S. & PONS-MOYÀ, J. (1980): Una nueva especie del género *Myotragus* Bate 1909 (Mammalia, Bovidae) en la isla de Menorca, *Myotragus binigausensis* n.sp. Implicaciones biogeográficas. *Endins*. 7:37-47.
- PONS-MOYÀ, J. (1990): Estratigrafía y fauna del yacimiento kárstico de Cala Morlanda (Manacor, Mallorca). *Endins*. 16:59-62.
- QUINTANA, J. (1993): Descripción de un rastro de *Myotragus* e icnitas de *Hypnomys* del yacimiento cuaternario de Ses Penyes des Perico (Ciudadella de Menorca, Balears). *Paleontologia i Evolució*. 26-27:271-279.
- SONDAAR, P.Y. (1977): Insularity and its effect on mammal evolution. In HECHT, M.K., GOODY, P.C. i HECHT, B.M. (Eds.), «Major Patterns in Vertebrate Evolution». Plenum P.C., New York: 671-707.
- SONDAAR, P.Y. (1987): Pleistocene Man and extinction of islands endemics. *Mém. Soc. Géol. France*, N.S., 150:159-165.
- SONDAAR, P.Y. (1991): Island mammals of the past. *Sci. Progress*. Edinburgh 75:249-264.
- SONDAAR, P.Y., BOER, P.L. DE, SANGES, M., KOTSAKIS, T. & ESU, D. (1984): First record on a Paleolithic culture in Sardinia. *BAR Internat. Ser.* 229:29-60.
- SONDAAR, P.Y. & BRABER, F. (1988): Gli straordinari abitanti delle isole. *Contr. Comunità Montana del Nuorese*. 9:1-32.
- SPAAN, A.; SONDAAR, P.Y. & HARTMAN, W. (1994): The Structure of the Evolutionary Process. *Geobios*. 27:385-390.
- SPOOR, C.F. (1988): The body proportions of *Myotragus balearicus* Bate (1909). *Proc. Konink. Ned. Ak. v. Wetenschappen*, ser. B, 91:285-293.
- STEADMAN, D.W. (1986): Holocene fossil vertebrates from Isla Floreana, Galápagos. *Smithsonian Contributions to Zoology*. 413:1-103.
- SUTCLIFE, A.J. (1976): Cave Paleontology. In FORD, T.D. i CULLINGFORD, C.H.D. (Eds.), «The Science of Speleology»: 495-520.

ARQUEOLOGIA DE LES CAVERNES DE MALLORCA

ARCHAEOLOGY OF THE CAVERNS OF MALLORCA

Miquel TRIAS ¹

Resum

És difícil exagerar la importància de les cavitats naturals per al coneixement de la prehistòria de Mallorca, i d'algun moment de la seva història. Basta considerar que les úniques estacions on s'han trobat restes de la seva fase de poblament inicial o aceràmica són dues d'aquestes cavitats.

En aquest treball resumim la història del descobriment de les coves d'interès arqueològic. Presentam també una breu sinopsi de la prehistòria mallorquina amb inclusió de taules de formes de les seves principals indústries. Descriuim l'aspecte que poden presentar a l'explorador les estacions arqueològiques en cova natural, amb menció de construccions i altres senyals del seu ús en èpoques remotes. Finalment, mostram alguns exemples de cavernes arqueològiques amb la seva topografia.

Abstract

It is difficult to magnify the importance that natural caverns confer to the knowledge on Mallorca's prehistory and parts of its history. It is enough to consider that the unique sites where remains from its first stage of populating —aceramic period— have been found are two of such cavities.

Within this paper we resume the history of the discovery of the archaeological interesting caves. We also display a brief synopsis of Majorcan prehistory, including several tables of its main industry settlements. We also describe the look that archaeological sites occupying natural caves could offer to the explorer and we mention the growth and other signs of the use they were given in earlier times. Finally, we show some examples of archaeological caverns together with their topographical survey.

Introducció

Si hi ha una activitat científica que té el camp d'acció a les cavernes i que té poc a veure amb les ciències de la natura, ben cert que és l'arqueologia, per tant, podríem pensar que hi és de més en aquestes planes; ara bé, l'espeleòleg o el curiós que s'aventura davall terra n'ha de tenir un mínim de coneixements, baldament només sigui per no malmetre sense voler un jaciment superficial o per donar part a les autoritats competents de l'interès arqueològic d'una cavitat. Per altra banda, és precisament la presència a les coves de restes prehistòriques que

Introduction

If there is any scientific activity whose field of action is caverns and whose relation with nature sciences is scarce that is, undoubtedly, archaeology. Thus, we could think it is out of place in this framework. But the speleologist or enthusiast who venture under the ground must have a minimum of knowledge, at least to not intentionally damage a superficial deposit or to be responsible enough to inform the competent authorities about the archaeological interest of any cavern. Moreover, the presence of prehistoric remains inside caves is, at the same time, what motivated the first cites of such places made nowadays and the curiosity of those first

¹ Secció d'Espeleologia del GEM.

motiva les primeres cites que en tenim a l'època moderna i la curiositat dels primers investigadors que s'hi ficaren, cosa que en justifica, en part, l'estudi.

Curiosament, una de les primeres cites de coves d'interès prehistòric és també la primera menció de la forassenyada afició dels mallorquins per cercar tresors; la cita, de l'any 1632, és de l'historiador Dame-to i es refereix a la Cova d'en Pardines de Manacor, que, segons ell, *ha estat habitació de gegants i on la cobdiciosa curiositat d'alguns ha trobat ocasió de perdre el temps, per pretendre trobar-hi diners.*

A aquesta afició pels tresors podem agrair la destrucció d'un sens nombre de jaciments a canvi de res ja que les peces trobades eren abandonades o destruïdes perquè, fins passada la meitat del segle XIX, ni tan sols existia un interès col·leccionista pels objectes prehistòrics mallorquins. Les coves amb restes humanes exaltaven la imaginació del poble que les atribuïa a gegants i moros, però les pobres ceràmiques i els bronzes mig desfets no corresponien als tresors que s'hi esperava trobar.

Destructores són també les excavacions dels col·leccionistes, ja que una peça treta de context no té gaire valor científic i perquè una excavació és com llegir un llibre i anar-ne cremant els fulls com els anam passant: la informació que no s'hagi pogut arregar és perduda per sempre.

Per no malmetre els pocs jaciments que la legió d'excavadors pirates ha respectat, convé estar sempre a l'aguait, i pensar que a totes les cavitats d'accés més o menys fàcil hi pot haver restes arqueològiques. Àdhuc més enllà d'un pas obert a punta de martell hi podem trobar una cambra sepulcral intacta, comunicada amb l'exterior per una boca actualment tapada, com és el cas de la Cova de Son Mallol (PLANTALAMOR, 1974); o al fons d'un pou on hem hagut de posar cordes, els prehistòrics hi poden haver enterrat llurs morts dins baguls tauromòrfics (ENCINAS, 1974).

És difícil exagerar la importància dels jaciments cavernícoles per a l'estudi de l'arqueologia mallorquina. En un terreny calcari com el nostre no hi manquen cavitats a l'abast de qui les ha hagudes de mester com a habitatge permanent, aixopluc ocasional, femer o cementeri, ja sigui home de la prehistòria, musulmà en perill o pastor modern. I ben segur que n'han fet un ús gairebé general.

L'única relació de cavitats arqueològiques existent fins a l'actualitat és el catàleg de VENY (1968) de coves sepulcral del Bronze antic on en relaciona 34. Tanmateix, posats a fer-ne el catàleg de totes les que tenen algun interès arqueològic, hi podríem afegir la immensa majoria de les coves d'accés fàcil.

Tan importants són les cavernes a la nostra prehistòria que de la seva fase més primerenca no n'hem trobat restes a altra banda (WALDREN, 1974). Això no ens ha d'estranyar, perquè, si bé navetes i talaiots eren males de desfer abans de l'existència de les màquines modernes, els fons de les barraques i

explorers who entered them; facts that could, partly, justify studies on those sites.

Curiously, one of the first cites of prehistorically interesting caves is also the first to mention about the passion of Majorcan people to search for treasures; the cite was made in 1632 by the historian Dame-to and it refers to Cova d'en Pardines in Manacor which, according to him, has been the home of giants and the place where a few curious individuals passed their time searching for money.

We can thank such crazes for the unnecessary destruction of an increasing number of deposits as all the pieces found were abandoned or broken down due to the fact that, until half the XIX century, there was no interest in collecting Majorcan prehistoric objects. Caves containing human remains enhanced the popular believe that attributed them to giants and Moors, but common pottery and half-decayed bronzes were not the type of treasures one expected to find.

The excavations carried out by collectors are also the cause of damage, as an item put out of context loses scientific value and because an excavation resembles a book through which every page once read becomes burnt: the information which has not been compiled becomes lost forever.

As not to ruin the few deposits that pirate excavators hordes not touched, one must be on the watch and must assume that all those more or less accessible caverns may contain archaeological remains. By more than just chipping away, we could find an untouched sepulchral hall, connected to the outside by an opening today sealed, as it happens in Cova de Son Mallol (PLANTALAMOR, 1974); or at the bottom of a well reached by ropes, the prehistoric man could have buried their dead inside tauromorphic coffins (ENCINAS, 1974).

It is not easy at all to exaggerate the importance of cave deposits regarding Majorcan archaeology. In such a limestone terrain as ours, there is no shortage of cavities suitable for anyone; i.e. man from the prehistory, persecuted Muslim or modern shepherd, who used them as a permanent dwellings, occasional shelters, dunghills or cemeteries. And it's certain they made general use of them.

The only inventory of archaeological caves existent at present is the catalogue by VENY (1968) where he lists 34 sepulchral caves from the ancient Bronze period. If one intends to catalogue all those caves involving archaeological interest, most of the easily accessible ones could be added to the list.

As no prehistoric remains have been discovered elsewhere, the caverns are of great importance in the archaeology of Mallorca (WALDREN, 1974). This is not astonishing because, navetes and talaiots were hardly destroyed before modern machines appeared, the bases of huts and light buildings were unable to withstand the activity of peasants and farmers, while deposits within caves were not profaned until the

les construccions lleugeres no han pogut resistir l'acció de conradors i rotors, mentre que els jaciments en coves no foren profanats fins que no va pegar la febre de cercar tresors i, en tot cas, no se solia arribar als nivells inferiors.

És normal que un medi tan conservador, tan ric en materials i, a la vegada, tan fàcil d'excavar sense els caramulls d'enderrocs dels monuments ciclopis, fos objectiu prioritari dels excavadors en començar l'interès per la prehistòria. Com a exemple tenim el cas de Josep Colomines que entre 1915 i 1916, per compte de l'Institut d'Estudis Catalans, va fer excavacions a 30 coves i a 8 poblats. Com veim, la diferència és notable sense tenir en compte altres arqueòlegs que només excavaven coves. Hem volgut posar l'exemple de Colomines perquè gràcies a la seva feina de camp, BOSCH I GIMPERA (1932) pogué fer la primera sistematització de la prehistòria mallorquina que fou vigent fins gairebé la dècada dels cinquanta.

Abans d'ell, altres investigadors s'ocuparen de les coves d'interès arqueològic si bé parant esment tant a les naturals com a les artificials, sovint dins estudis de caràcter general. El primer fou el d'Alberto della Marmora, que l'any 1840 va relacionar els monuments sards i els balears. Més tard, Emile Cartailhac va publicar la primera síntesi de la nostra prehistòria. Les seves visites a Mallorca motivaren l'aparició d'un grup d'investigadors locals que publicaren llurs troballes en el recentment creat Bolletí de la Societat Arqueològica Lul·liana.

La relació de treballs sobre jaciments en cova natural que s'han publicat des de llavors i dels investigadors que hi han dedicat bona part de la seva feina, seria massa llarga perquè cabés en aquestes pàgines. Només volem citar per la seva importància cabdal els susdits Colomines i Bosch i Gimpera, el seu relleu representat pels homes del Museu Regional d'Artà fins a la guerra civil i, després d'aquesta, la tasca feta pel doctor Lluís Pericot i pels museus de Mallorca i de Deià des dels anys seixanta.

Resum històric

PERÍODE ACERÀMIC

Les primeres manifestacions humanes a Mallorca daten de devers el 4.000 abans de Crist i constitueixen un període anomenat aceràmic per manca d'altres elements definitoris. Només se n'han trobat restes a dues estacions, la Cova de Moleta i la Balma de Son Matge (WALDREN, 1974) i d'una pobresa extrema: només una rudimentària indústria de sílex i d'os associada a restes de *Myotragus balearicus*, que poca cosa ens diu dels seus faedors i d'on vengueren.

Tanmateix, és interessant fer-hi dues observacions. Primerament, la seva relació amb ossos del rupicaprí endèmic: per una banda, hi ha una gran

craze of seeking treasures arose. In any case, lower levels were not usually reached.

It seems reasonable that such a preserved and rich-in-material environment could be so easily excavated, not having the big blocks of cyclopean monuments, which became a priority for excavators when interest on prehistory came to light. As an example, we could cite Josep Colomines who, between 1915 and 1916, was commissioned by the Institut d'Estudis Catalans to excavate 30 caves and 8 villages. As it can be seen, there is a notable difference, if leaving apart those archaeologists who just excavated caves, and those like J. Colomines who also excavated villages. We have precisely cited the example of Colomines because it is thanks to his field-work that BOSCH I GIMPERA (1932) was able to elaborate the first systematization of Majorcan prehistory that remained applicable almost until the 50s. Before him, other researchers looked into caves of archaeological interest paying special attention to both the natural and the artificial ones, often involved within general studies. The first of them being Alberto della Marmora who related the Sardinian and Balearic monuments in 1840. Later, Emile Cartailhac published the first synthesis on our prehistory. His visits to Mallorca encouraged a group of local researchers who published their findings in the recently appeared Bolletí de la Societat Arqueològica Lul·liana.

A checklist of all those papers, on deposits in natural caves, published since that time as well as a relation of the researchers who dedicated most of their time to such task would be too long to be exposed in this paper. We would just like to cite, due to their quantitative importance, the above mentioned Colomines and Bosch i Gimpera, whose relay is represented by the men of the Museu Regional d'Artà to the civil war and, secondly, the task realized since the 60s by Dr Lluís Pericot and by the museums of Mallorca and Deià.

Historical abstract

ACERAMIC PERIOD

*The first human signs in Mallorca come from approximately 4,000 B.C. and they constitute a period named aceramic, as there is a lack of any other definitive items. Remains have been found in only two sites, Cova de Moleta and Balma de Son Matge (WALDREN, 1974), both being rather poor: just a rudimentary sílex and bone industry associated to **Myotragus balearicus** remains that tell about very little who made them and the places they came from.*

However, it is interesting to remark two observations. Firstly, their relation with bones of the endemic rupicaprin: on one hand, the skeletons are quite abundant, suggesting that they had become domesticated; on the other hand, shaped bones and

abundància d'esquelets, cosa que suggereix domesticació; per altra banda, trobam ossos tallats i amb marques d'instruments. Tot plegat sembla una prova indubtable que la seva extinció fou obra de l'home.

Per altra part, no deixa d'esser notable que un home que havia estat capaç de navegar fins a Mallorca tengués una indústria tan pobra. Recordem que la nostra illa és, després de Menorca, la més allunyada del continent i que la navegació en aquella època no devia esser empresa fàcil ni a l'abast de tothom.

PERÍODE PRETALAIÒTIC

Han de passar més de 2.000 anys abans que els pobladors de Mallorca tornin a deixar traça del seu pas. Ara ens trobam amb una cultura complexa i relativament rica que té les coves artificials i navetes com a tret arquitectònic més destacat. És una cultura de la qual coneixem molt millor els jaciments funeraris que els d'habitació. Es tracta de la cultura pretalaiòtica, nom que només indica que és anterior a la cultura dels talaiots, la més característica de les Balears. La seva cronologia va des de l'any 1.900 fins a l'any 1.200 a.C. quan les navetes són abandonades pels talaiots, encara que no sigui gaire clar si per la invasió d'un poble diferent o per un canvi cultural degut a una influència externa. En tot cas, el poble pretalaiòtic sembla haver gaudit de pau relativa ja que no ens ha deixat construccions de caràcter defensiu. Les coves artificials, característiques d'aquesta cultura fins al punt d'haver-li donat nom originalment, només es troben allà on la roca és prou blana per permetre'n l'excavació, a les calcarenites post-orogèniques del miocè i el plio-quatnari.

La forma de les coves es va complicant progressivament, de rodona passa a allargassada, després es complica amb un corredor llarg, doble vestibul, fossa central i bancs funeraris. Algunes, finalment, tenen un pati a l'entrada i petites cambres annexes.

En el pretalaiòtic final, l'home habita les navetes, construccions de planta de ferradura molt allargassada, amb sostre de branques, que presenten una interessant diferència de tècnica constructiva amb els talaiots: les pedres que les formen estan posades de cantell mentre que els talaiots i les navetes menorquines d'enterrament les tenen planes.

Molt característica dels moments inicials d'aquest període és una ceràmica incisa de gran qualitat, que prest entra en decadència i acaba per desaparèixer. Es tracta d'una producció influïda pel vas campaniforme, la cultura del qual es va escampar arreu d'Europa fins a Bohèmia des del seu focus original al sud-oest de la Península Ibèrica, si bé els exemplars mallorquins tenen una clara influència sarda. Les coves artificials tenen l'origen a l'altre costat de la Mediterrània, a l'Egeu, zona que al voltant de l'any 2.000 vivia l'hegemonia comercial de les ciutats de la Creta minòica. Les formes ceràmiques més abundants al llarg del període són les globulars, carenades i troncocòniques de mida mitjana i petita.

other carved ones can also be found. On the whole, it seems without doubt that their extinction was caused by man.

It is interesting to note that a man who was capable of navigating to Mallorca shows such a exiguous industry. We must not forget our island is, after Menorca, the furthest from the continent and that navigation in those times was probably not an easy task.

PRETALAIOTIC PERIOD

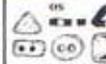
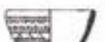
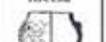
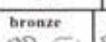
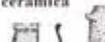
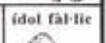
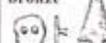
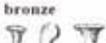
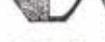
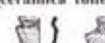
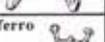
2,000 years had to pass before the population of Mallorca left any hints of their presence. At present, we face a relatively rich complex culture whose most remarkable architectural aspects are artificial caves and navetes. It is a culture of which we know more about funeral deposits than those of everyday life. It is a pretalaiotic culture, meaning it was previous to the talaïotic one, the most characteristic of the Balearic Islands. Its chronology covers from 1,900 to 1,200 B.C., when navetes were abandoned in favour of talaïots, although it is still unclear whether it was due to invasions by different people or to a cultural change caused by external influences. In any case, it seems that pretalaiotic population enjoyed a relatively peaceful existence, as they did not have any defensive build-up. Artificial caves, characteristic from this culture, to the extreme of conferring it its name, are found only where the rock is soft enough as to be excavated; that is, post-orogenic calcarenites from the Miocene and the Plio-Quaternary.

The shapes of the caves become gradually more complex, going from rounded to extended and then being complicated by a long aisle, a double hall, a central pit and funeral banks. Finally, some of them show a patio at the entrance and small annex rooms.

During the final pretalaiotic period man inhabited navetes, a very extended construction of horseshoe-like plan and branched ceilings, which present an interesting technical difference as opposed to talaïots: the rocks forming them are placed edgewise, whereas those of talaïots and Minorcan funeral navetes are placed flat.

An incise pottery of great quality becomes characteristic of the beginning of this period, although it soon became unused and in the end disappeared. It is an industry influenced by the baker ware culture which widespread through Europe, from its original focus on the South-West of the Iberian Peninsula to Bohemia, although the Majorcan samples show a certain Sardinian influence. The origin of artificial caves stems from the opposite side of the Mediterranean Sea, the Aegean, where during the year 2,000 the trading hegemony of the towns from the minoic Crete was taking place. The most abundant pottery forms from that period are globular, crest and troncoconical ones of medium and small size.

QUADRE RESUM DE PREHISTÒRIA DE MALLORCA

PERÍODE I CULTURA	INDÚSTRIA				ESTACIONS	Cron. Ab.	DATA	SINCRONIES
ACERÀMIC ~4000	sílex 				Son Matge Muleta	398±85	3000 2500	Sumeris Unificació d'Egipte Piràmides Bronze a Mesopotàmia Palau de Creta
	os 							
PRETALAIÒTIC ARCAIC ~2000 Hàbitat: cova natural Enterrament: ídem	ceràmica incisa 	ceràmica llisa 	os 	sílex 	Son Matge	1870±120	2000	
					Ca na Coxera	1800±100		
PRETALAIÒTIC D'APOGEU ~1800 Hàbitat: barraca, cova n. Enterrament: cova natural, cova artificial	ceràmica llisa 		ceràmica incisa 	ídol betll 	Son Mallol		1700	Bronze a Europa
			bronze 	os 	Son Sunyer			
PRETALAIÒTIC FINAL ~1500 Hàbitat: naveta Enterrament: cova art. evolucionaada	ceràmica 	os 	bronze 	ídol fàl·lic 	Son Matge		1500	Èxode bíblic
		os 	bronze 	ídol fàl·lic 	Son Matge			
TALAIÒTIC I ~1300 Talaiot allat Enterrament: inhumació	ceràmica domèstica 		bronze 		Son Matge		1170 1150	Pobles de la mar Invasió dòria Tartesos
					Son Matge			
TALAIÒTIC II ~1000 Recintes muradats	ceràmica funerària 		os 		Ses Païsses		1000	David rei a Jerusalem Expansió fenícia
					Ses Païsses			
TALAIÒTIC III ~700 Habitacions adossades Taurolatria Incineració Comerç amb els púnics	ceràmica 		bronze 		Ses Païsses		800 750	Hallstatt Homer
					Ses Païsses			
TALAIÒTIC IV ~500 Santuàries Inhumació: en posició fetal, en calç, en tàüt Aculturació, imitació formes ceràmiques	plom 	bronze 	os 		Son Matge		700 a 300	535
	ferro 	plom 	bronze 	os 				
OCUPACIÓ ROMANA 123	ceràmica 		os 		Son Matge		264-241 227 218-201 146 133	I Guerra Púnica Fundació Cart. Nova II G. Púnica, mercenaris Destrució de Cartago Numància
					Son Matge			
					Son Matge			

Quadre resum de la prehistòria de Mallorca.

Synoptic chart of the prehistory from Mallorca.

El material lític és escàs i de factura grollera. En destaquen els ganivets de tall dentat que prest són substituïts pels de coure o bronze de fulla triangular i mànec postís, molt abundants. També trobam punxons i ornaments personals d'aquest material. L'os està representat per punxons i sobretot per botons, que, en els primers temps, tenen la perforació en V.

PERÍODE TALAIÒTIC

La cultura talaiòtica no és un fet aïllat a les Balears sinó que forma part de tot un món cultural estès per la Mediterrània: la cultura ciclòpia. Aquesta cultura, originada segurament a la zona de l'Egeu, es trasllada cap a occident amb manifestacions originals a diferents terres banyades per la nostra mar: Apúlia, Malta, Sardenya, Còrsega, Tunísia, Menorca i el focus més occidental prop d'Almeria (ROSSELLÓ, 1979). A Mallorca comença devers l'any 1.400 a.C. i perdura fins a la conquesta romana, encara que a partir de l'any 700 s'hi inicia una lenta aculturació provocada pel contacte amb els pobles cananeus i clàssics, accelerada després de la fundació d'Eivissa pels cartaginesos l'any 654.

El seu element més personal és el talaiot, torre de planta quadrada o rodona, feta amb pedres de mida grossa sense ciment —la característica tècnica ciclòpia— retocades o no segons la duresa del material. Monuments semblants es poden veure al sud de Còrsega on reben el nom de *torri* i a Sardenya, on s'anomenen *nuraghe*. La finalitat dels talaiots no està encara ben aclarida, suposant que tots en tenguessin la mateixa. En alguns dels relativament pocs que s'han excavat, s'hi ha trobat evidència d'enterraments, en d'altres, d'habitació. Això, complicat amb les reutilitzacions, fa que no puguem estar segurs de sí, per als seus constructors eren habitacions de personalitats, torres de guaita, sepultures o llocs sagrats, entre d'altres possibles opcions.

A partir de l'any 1.000 ja no se'n construïren més; com a conseqüència d'una situació d'enfrontaments armats o d'inseguretat generalitzada, són substituïts per poblats voltats de murada. En començar la fase de la decadència s'adonen habitacions d'aparell més senzill a les construccions precedents i s'alcen santuaris amb grans lloses de cantell. En tot cas, dels talaiòtics coneixem millor les habitacions que les sepultures, ben a l'inrevés que dels pretalaiòtics.

Començada l'aculturació, augmenta la complexitat del món talaiòtic amb manifestacions molt variades, com ara la taurolatria, i l'adopció de diferents formes d'enterrament, com si els mallorquins haguessin perdut la seva uniformitat cultural, tal vegada per un diferent grau de penetració de les influències estrangeres (GUERRERO, 1979), accelerades a partir del segle III a.C. per la presència de mercenaris mallorquins als exèrcits cartaginesos que lluitaven contra Roma. D'ençà del 500 compareixen per primera vegada representacions figuratives, com a caps de brau

Flint stone is scarce and its texture is coarse. It is remarkable that the clogged knives were, in early times, substituted by copper and bronze ones with triangular blades and postiche handles, which were very common. Also to be found are burins and personal ornaments made of those metals. Bones can be found in the form of burins and, more commonly, buttons that, in early times, were perforated in V shape.

TALAIOTIC PERIOD

The talaiotic culture is not an isolated fact of the Balearic Islands but a part of a whole cultural world common in the Mediterranean, the cyclopean culture. This probably originated in the Aegean zone, moved towards the western area in its original form to different coastal lands of our sea: Apulia, Malta, Sardinia, Corsica, Tunis, Menorca and the most western focus close to Almeria (ROSSELLÓ, 1979). In Mallorca it begins circa 1,400 B.C. and lasts till the roman conquest, although since the year 700 a gradual acculturation process starts, provoked by the contact with cananean and classical populations, and sees itself accelerated after the foundation of Eivissa by the Carthaginians in 654 B.C.

Its most personal element is the talaiot, a tower with squared or rounded plan made of big rocks without mortar —the characteristic cyclopean technique— retouched or not depending on the hardness of the material. Similar monuments can be seen on the South of Corsica where they are named torri, and in Sardinia where they are denominated nuraghe. Talaiots function is not clear yet, assuming they were all made for the same purpose. In a few of the relatively low number of them which have been excavated, evidence of burying has been found whereas others were used as dwelling-rooms. All that, entangled with their former re-utilization makes it difficult to assert whether they were used as rooms for personages, as watchtowers, as sepulchres or as sacred places, among other possible alternatives.

Since the year 1,000 no more talaiots were built up; as a consequence of armed confrontation or general instability they became substituted by fortified villages. With the decline of the talaiotic period simpler rooms are attached to the former buildings and sanctuaries made of big flagstones, placed edgewise, are constructed. More is known about the rooms, that talaiotic man built, than the sepulchres, the opposite that occurs with the pretalaiotic constructions.

Once the acculturation process commenced the complexity of the talaiotic world increased in various forms as the taurolatria, and with the adoption of different ways of burying, as if Majorcan people had lost their cultural uniformity, perhaps due to a different grade of foreign colonization (GUERRERO, 1979) which has been accelerated since the III century as a

i guerrers de bronze, en clara imitació de l'escultura clàssica. Les espases en bronze i ferro, segons el moment, ens parlen d'una societat jeràrquica i guerrera. També trobam als jaciments eines i objectes d'ornament personal —pectorals i polseres— dels materials esmentats. Així mateix s'han localitzat unes curioses plaques de plom decorades amb motius geomètrics. La ceràmica de les fases talaiòtiques 1 i 2, és a dir, d'abans del 700, continua essent feta a mà, com a les anteriors èpoques, tot i que les peces són de mida més gran i de parets més gruixades. A partir d'aquella data, es comencen a imitar les formes clàssiques, coincidint amb l'ús de peces d'importació gregues, cartagineses i romanes que acaben per suplantar totalment la ceràmica indígena.



Dues safes musulmanes de la Cova dets Amagatalls en el seu lloc original.

Two Muslim pans from Cova dets Amagatalls (Manacor) in their original hide.

PERÍODE HISTÒRIC

A partir de l'època d'August els mallorquins abandonen els seus antics costums i deixen d'emprar les cavernes com a habitació i sepultura; des d'aquest moment només alguns pagesos, pastors o llenyaters hi deixaran les seves pobres pertinences, tret de pocs casos concrets, i dels musulmans que

consequence of the appearance of Majorcan mercenaries who fought against Rome with the Carthaginian army. Since 500 B.C. there appear, for the very first time, figurative samples as bull heads and bronze warriors, certainly imitating the classical sculpturing. Bronze and iron swords show us a warlike and hierarchical society. In those deposits we also find tools and personal adornments —pectorals and bangles— made of the same materials mentioned above. Several bizarre plates made of lead and decorated with geometrical designs have also been discovered. Pottery from the talaiotic stages 1 and 2, that is to say previous to the year 700, continues to be hand-made as in ancient periods, even though the pieces are bigger and thicker. From that time on, classical patterns begin to be imitated simultaneously to the usage of Greek, Carthaginian and Roman imported pieces that eventually substituted indigenous pottery.

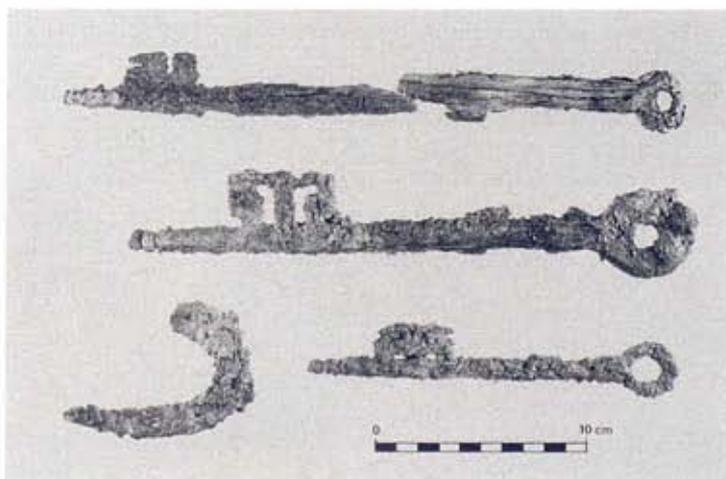
HISTORIC PERIOD

From the Augustus' epoch onwards Majorcan people left apart their ancient habits and ceased to use caverns as rooms and sepulchres; thereafter, only a few peasants, shepherds and woodcutters would leave their possessions there and Muslims would use them to hide during the Catalanian conquest of the island. Between September 1229, when the host of King Jaume el Conqueridor of Aragon landed in Santa Ponça and June 1332 when last majorcan Muslims hid in the mountains surrendered, people hid inside any cave they could find so that today we find plenty of examples of their domestic vases, and several hideouts containing very valuable pieces such as tools, glazed plates and keys (TRIAS, 1979; 1981; TRIAS et al., 1992).

Finally, a few caves were used as dwellings by hermits or as a cult site by Christians, as with the cave of Son Santmartí.

Claus i ferradura musulmanes de la Coveta des Rovell (Escorca).

Muslim keys and horseshoe from Coveta des Rovell (Escorca).



s'hi amagaren durant els dies de la conquesta catalana de l'illa. El curt període en què les coves tornen a ésser freqüentades va des del desembarcament de la host del rei Jaume el Conqueridor, el setembre de 1229, fins a la submissió total dels musulmans mallorquins, el juny de 1232, amb la ciutat assetjada i gran part del Pla en mans dels cristians. Aleshores els mallorquins s'amagaren en tota quanta cova trobaren a l'abast, on ara trobam abundantíssims tests dels seus atuells domèstics i alguns amagatalls amb peces de gran valor com eines, plats vidriats i claus (TRIAS, 1979; 1981; TRIAS *et al.* 1992).

Finalment, algunes coves han servit d'habitatge a ermitans o de lloc de culte cristià com la Cova de Son Santmartí.

Les cavernes i els jaciments

Com hem vist, podem trobar restes arqueològiques, poc o molt importants, a la majoria de coves d'accés fàcil i en algunes d'entrada més complicada. De vegades són clarament vistables; en altres ocasions, el jaciment està colgat per sediments moderns, en el cas més extrem per una bona solada de dejeccions d'ovella. El pol oposat a aquest cas són les coves que tenen les parets talaiòtiques que, pel seu aparell de pedres grosses, no es poden confondre amb construccions d'èpoques modernes.

MURS CICLOPIS

Les construccions talaiòtiques poden ésser murs que tanquen una boca ampla, com en la Cova des Moro de Manacor, o que separen una zona de la cova de la resta, com en les Coves del Drac del mateix



Entrada talaiòtica de la Cova des Moro (Manacor).

Talaiotic entrance of Cova des Moro (Manacor).

municipi. El mur està obert per un portal semblant al dels talaiots. De vegades després del portal continua un corredor de lloses ortostàtiques, baix de sostre, que només es pot passar d'acotat (TRIAS & MIR, 1977); el perquè de la seva construcció és difícil d'aclarir: simple transposició de corredor d'entrada

Caverns and deposits

As we have seen, archaeological remains, important or not, can be found in most of the easily accessible, as well as in some inaccessible caves. Sometimes they are easily seen, whereas sometimes the deposit inside appears to be buried by modern sediments, that can occasionally be covered by a great quantity of sheep droppings. The opposite example is that of the caves having cyclopean walls, due to the layout of big stones, hardly confused with modern constructions.

CYCLOPEAN WALLS

Cyclopean architecture can not only be walls enclosing a wide entrance, as in Cova des Moro in Manacor, but also walls isolating part of the cave from the rest, as in Coves del Drac in the same municipality. The wall opens in a portal similar to that of talaiots. Sometimes the corridor of orthostatic flagstones which can be only accessible by stooping, due to its limited height, leads from the portal (TRIAS & MIR, 1977); why such a corridor was built is a difficult question: just a transposition of the entrance corridor of the talaiots? a way of making the entering the cave a matter of an iniciatic path, related with their funeral or religious use?... Due to a lack of evidences, such hypothesis will be hardly more than just plain speculation.

MINOR CONSTRUCTIONS

Any other construction found in a cave could inform us that we may encounter an archaeological site, for example closed walls of simple structure, levelling fringes, scales and ramps to overpass a slope, small enclosures as a base for the hut, entrances and other narrow paths holed with sledgehammers, etc. We should not assume, in any case, that they are ancient constructions as, not longer ago, caves were still being used by peasants, and country people in general, for various purposes and that they could just be fitting out works. Hence, only an accurate identification may allow us to determine the age of the construction.

CREMATIONS

The burnt walls of incineration caves are another sign of prehistoric habitation; these appear cracked, flaking and porous and show broken stalactites and an obviously different colour, in comparison to close unburnt areas. Usually there is not the characteristic black soot hue that modern fires produce, as that present on the ceilings of Coves d'Artà, which was caused by the torches that visitors had to use before electricity was installed in the cave. Occasionally, remains of the wood used for cremations, as well as ashes and bits of coal can be found too, but they can be easily mistaken for modern bonfire embers.

dels talaiots? convertir l'ingrés a la cova en un recorregut iniciàtic relacionat amb el seu ús funerari o religió en sentit general?... Hipòtesis que, per manca d'evidència, no passen d'esser simples especulacions.

CONSTRUCCIONS MENORS

Qualsevol altra construcció que puguem trobar dins una cavitat ens pot informar que som en presència d'una estació arqueològica, com ara murs de tancament d'aparell més senzill, marges per anivellar el pis, escales i rampes per superar un desnivell, petits closos com a base de barraca ben a l'interior, boques i altres passos estrets retocats a punta de picassa, etc. Tanmateix no hem de pensar automàticament que aquestes construccions són antigues ja que, fins fa relativament poc, les coves varen ésser emprades per pagesos i gent del camp en general per a molts d'usos i, per tant, s'hi pogueren fer obres d'habilitació. Així doncs, només una certa pràctica ens permetrà determinar l'antiguitat de la construcció.

CREMACIONS

Un altre indicatiu d'ocupació prehistòrica són les parets cremades de les coves d'incineració; aquestes se'ns presenten clivellades, descloscades i poroses, amb les estalactites trencades i un notable canvi de color respecte a les zones veïnes no afectades pel foc. Generalment no hi ha la característica negror de sutja dels focs moderns, com ara la que mostra el sostre de les Coves d'Artà, produïda per les falles dels visitants d'abans de la seva electrificació. En alguns casos poden trobar també restes de la llenya emprada per a les cremacions, cendres i trossos de carbó, si bé es poden confondre amb focs moderns.

CALÇ

La presència de calç en una cova difícilment es pot atribuir a una altra causa que no siguin enterraments de fases tardanes del període talaiòtic, com a la Balma de Son Matge (ROSSELLÓ & WALDREN, 1973).

OSSOS HUMANS

Els ossos humans procedeixen gairebé sempre d'enterraments prehistòrics. Com que les referències històriques de tombes col·lectives són gairebé inexistents, si en una cova trobam abundància d'ossos en superfície deixats per excavadors, hem de pensar que són prehistòrics baldament no hi vegem els habituals tests com en la Cova des Gegant d'Alaró.

OSSOS D'ANIMALS

Per altra part, els ossos d'animals trencats i xapats poden evidenciar un jaciment d'habitació, ja que segurament es tracta de restes de menjar dels moradors.

LIME

The presence of lime in a cave can hardly be anything else than the consequence of burials from the latter phases of the talaiotic period, as in Balma de Son Matge (ROSSELLÓ & WALDREN, 1973).

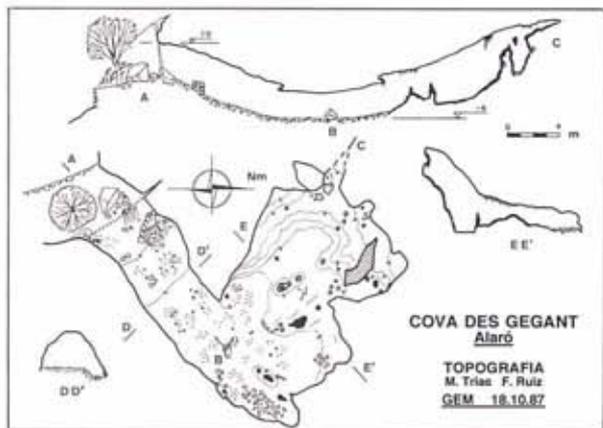


Restes humans de la Cova des Gegant (Alaró).

Human remains from Cova des Gegant (Alaró).

HUMAN BONES

Human bones come, in most cases, from prehistoric burials. As historical references on collective tombs are almost nonexistent, where a lot of bones are found after excavation on the surface of the cave floor, we must presume they are prehistoric remains even if there is a lack of the usual pieces of broken pottery, as in Cova des Gegant in Alaró.



ANIMAL BONES

Broken and cracked animal bones could denote a dwelling-room deposit, as they are probably food remains left by the cave dwellers.

POTTERY

Any item from the prehistoric man industry found inside a cave proves his presence and, at least theoretically, any sort of these items can be found on

CERÀMICA

Qualsevol dels productes de la indústria de l'home prehistòric que haguem trobat en una caverna és una prova de la seva presència en aquest indret i tots hi poden ésser trobats en superfície, almenys en teoria, tant si es tracta de metall, sílex, os, pedra, fusta, etc... però la relativa escassetat d'alguns d'aquests ho fa difícil. Contràriament, en una estació arqueològica no ens mancarà mai la ceràmica per la seva abundància i poc valor quan es tracta de peces fragmentades. Els pirates se'n duran les peces senceres però deixaran els tests; són aquests els testimonis que ens donaran fe que una determinada cultura o època és representada en el jaciment, ja que fins i tot de vegades basta un sol fragment. Per tant, la ceràmica és l'autèntic fòssil director de l'arqueologia.

Una distinció claríssima de la ceràmica és la que podem fer entre la feta a torn —de pasta compacta de color clar i ben cuita, pertanyent a èpoques històriques— i la ceràmica feta a mà —de forma irregular, textura grollera, amb granulació, porosa i de colors foscos entre negre i vermell, segons si el foc era localment reductor o oxidant i, fins i tot, amb la diferència de color entre el nucli de la pasta i l'exterior—. Aquesta segona és característica de la població indígena prehistòrica amb alguna manifestació d'època islàmica.

Podem fer unes distincions clares entre la ceràmica indígena de les diferents èpoques. Primerament, tenim la ceràmica incisa, de clara influència del vas campaniforme, fàcil d'identificar si el test que tenim presenta decoració. Baldament no en tenguim, no és gaire difícil de reconèixer si considerem que les peces són de paret fina i que la pasta és molt compacta, amb la superfície brunyida i de color habitualment gris fosc bastant uniforme.

Les peces pretalaiòtiques de ceràmica llisa tenen la pasta més grollera i la majoria de les que trobam, que són d'ús funerari, són vasos de parets fines —de tres a quatre mil·límetres de gruixa— i de formes fonamentalment globulars, carenades o troncocòniques i de mida generalment petita —entre 10 a 15 centímetres de boca—.

Tot i que també està feta a mà, la ceràmica talaiòtica presenta prou diferències respecte de la pretalaiòtica com per fer-se coneixedora a l'ull expert. Per primer, les peces solen ésser més grosses i les parets més gruixades. També són molt més abundants els culs plans, les anses són de banyó, molt més grosses que les pretalaiòtiques, que solen ésser de mugró, sovint amb perforacions. Tanmateix, hi ha una clara diferència entre ceràmiques funeràries i d'ús domèstic; les primeres són de mides semblants a les seves homòlogues pretalaiòtiques amb predomini de les formes carenades. En els moments finals del talaiòtic apareixen les anses de pont o zoomòrfiques.

De la ceràmica feta a torn que podem trobar a les coves, en tenim de dues èpoques ben separades en

the surface, not only metals but also silex, bone, stone, wood, etc. although the relative scarcity of some of them makes it a difficult task. On the contrary, pottery will not be absent in an archaeological site, being both abundant and fragmented, so that it is of low value. Pirates used to take away the complete pieces and left behind the dross; thus, it is from these pieces, sometimes even only one fragment of broken pottery, that we will have the testimony of a certain culture or epoch being present in a certain deposit. So, pottery happens to be the fossil par excellence of archaeology.

There is a very clear distinction we can make on pottery: the wheel-made one —whose paste is compact, light-coloured and well-baked and belonging to historical times— and the hand-made pottery —irregularly formed, coarse-textured with granulation, porous and dark-coloured, between black and red depending on whether the fire was locally reductant or oxidant and even showing different colour its paste nucleus and its surface—. This second type is representative of the indigenous prehistoric population, sometimes interspersed by patterns of the Muslim epoch.

There are certain distinctions among the indigenous pottery from different periods. Firstly, there is the incise pottery, clearly influenced by the baker ware and easily recognizable if the pieces show any decoration. If decoration is absent identification is not difficult either, as we know the fragments have thin walls and a very compact surface which is polished and coloured, usually in a rather uniform dark grey.

Pretalaiotic pieces of plain pottery present a coarser paste and most of those found, that were used for funeral, are vases of thin walls —from 3 to 4 mm in thickness— and globular, crest line or troncoconical shapes usually small-sized —the mouth between 10 and 15 cm of opening—.

Although talaiotic pottery is also hand-made, it presents quite a lot of differences with the pretalaiotic one, so that it is only recognizable by skilled eyes. Firstly, its pieces are usually bigger and their walls thicker. Flat bases are more abundant also, the handles too are much bigger than the pretalaiotic ones which used to be nipped and were often perforated. Likewise, there is a clear difference between funeral and domestic potters: the first having a similar size to those of their pretalaiotic homologues in which predominate the crest line forms. By the latter talaiotic period there appears the bridge or zoomorphical handles.

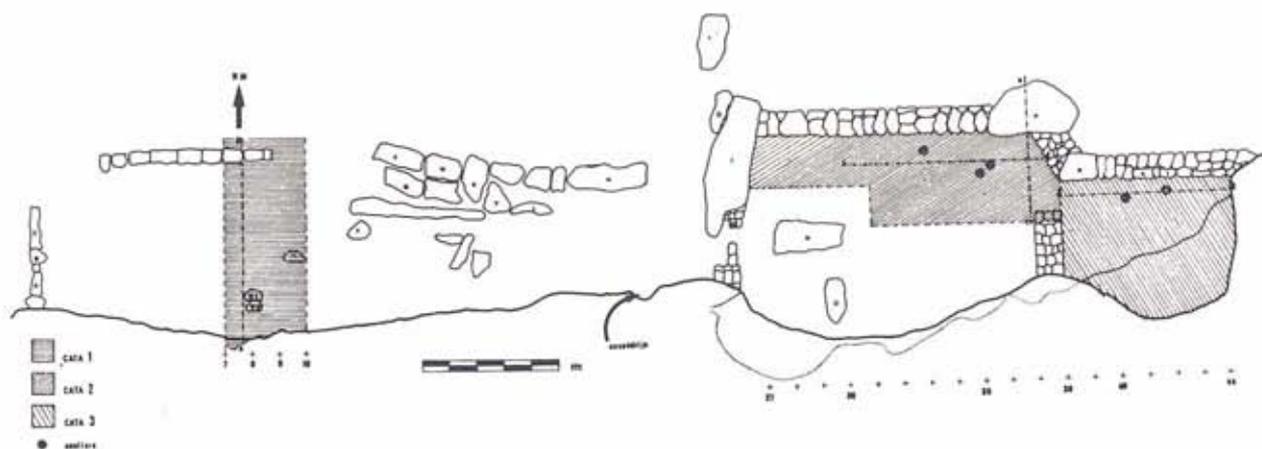
There are two well-differentiated ages regarding wheel-made pottery. The first one, Punic, Greek and Roman potters, placed in a time comprising from Majorcan and Classical populations first contacts, since Eivissa was founded, until the abandonment of the caves; the second, the pottery from the Muslim epoch, placed almost at the end of the Islam period on

el temps. Primer les ceràmiques púnica, grega i romana, que se situen cronològicament entre els primers contactes dels mallorquins amb els pobles clàssics, a partir de la fundació d'Eivissa, fins a l'abandonament de les coves; i, segon, la ceràmica d'època islàmica quasi totalment dels darrers temps de l'Islam a les Illes Orientals d'Al-Andalus. L'establiment d'uns criteris segurs per distingir-ne una de l'altra seria massa complicat però podem dir que, en molts de casos, la ceràmica islàmica es distingeix de la clàssica per l'abundància de decoració, el barroquisme de les formes i la presència de vidriat.

Alguns exemples de cavitats arqueològiques

SON MATGE

Un exemple cabdal de jaciment prehistòric és la Balma de Son Matge, petit recer sota una penya situat a l'estret de Valldemossa i un dels dos únics jaciments on està representat el període aceràmic. En



Planimetria de la Balma de Son Matge (Valldemossa).

the Eastern Islands of Al-Andalus. Establishing certain criteria to distinguish both ages would be too complicated but what is sure is that, in many cases, Muslim pottery differs from classical one in an abundant decoration, barroc forms and presence of glazing.

A few examples of archaeological caverns

SON MATGE

*The Balma de Son Matge is a relevant example of prehistoric deposit; it is a tiny shelter placed on the foot of a cliff in the Valldemossa estret and it represents one of the only two deposits where the aceramic period is typified. All through its 36 levels a long series of cultural episodes are represented, covering from the aceramic to the latter talaiotic one, from approximately the year 200 B.C. In the lower levels bones of **Myotragus** mixed with fire embers can be found thus proving the coexistence of man and*

Survey from Balma de Son Matge (Valldemossa).

els seus 36 nivells presenta una llarga sèrie d'episodis culturals des del susdit fins al talaiòtic tardà de devers el 200 a.C. Als nivells inferiors podem trobar ossos de *Myotragus* en relació a restes de foc, prova de la coexistència d'Home i *Myotragus* i, per tant, que la seva extinció va ésser conseqüència de l'acció humana. Hi ha també 25 nivells d'habitació pretalaiòtica, amb la base de molta antiguitat, ja que a la meitat de la seva potència trobam nivells amb ceràmica incisa de tradició campaniforme datada el 1870 a. C.

El nivell 7 marca un clar horitzó talaiòtic, força antic, entre el 1350 i el 1150 corresponent a un ús funerari on trobam abundants peces de bronze —braçalets, punxons i ganivets—.

Els darrers nivells corresponen a enterraments en calç del talaiòtic tardà bastant pobres de materials, ja que només hi trobam alguns grans de collar de vidre, polseres de ferro i petits vasos d'ofrenes.

Myotragus and, in consequence, that its extinction was caused by human activity. There are also 25 levels of pretalaiotic dwelling-room whose bottom is very ancient, as in the moiety of its thickness there can be observed some levels containing incise pottery of the baker ware style which has been dated in 1870 B.C.

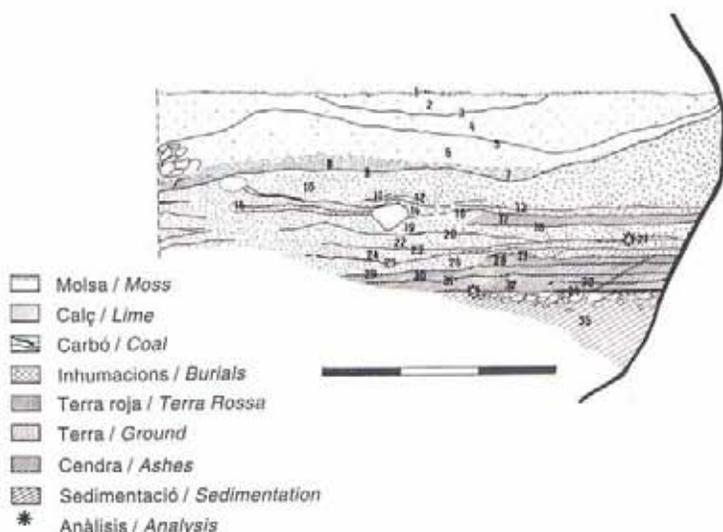
Level 7 delimitates a clear talaiotic horizon, certainly ancient, between 1350 and 1150, correspondent to a funeral use in which abundant pieces of bronze can be found —bracelets, burins and knives—.

The upper levels correspond to rather poor-in-material burials in lime from the latter talaiotic period, where only a few beads of glass necklaces, iron bangles and small offering vases have been found.

Curiously, there is a prolonged time of

Curiosament hi ha un llarguíssim període d'abandonament entre el final del talaiòtic i el 280 a.C. quan comencen els enterraments amb calç.

abandonment since the end of the talaiotic period and 280 B.C., when burials in lime commenced to be realized.



Tall estratigràfic de la Balma de Son Matge (segons ROSSELLÓ & WALDREN, 1973).

Stratigraphic cross-section of Balma de Son Matge (Valldemossa) (after ROSSELLÓ & WALDREN, 1973).

COVA DES NEGRET

Amb aquest suggestiu nom coneixem una petita cavitat, situada a la cara nord de la Serra d'Alfàbia, al peu d'un penyal, part damunt les cases de sa Coma. Malgrat el seu poc desenvolupament horitzontal —està constituïda per una única sala de 20 x 15 m— té una notable fondària: a l'enfront de la sala hi ha un pou que arriba als -21 m. El seu dipòsit arqueològic no és gaire important; la majoria del pis és de colada i només s'hi han trobat restes en alguns racons. Tanmateix, aquestes restes en forma de fragments ceràmics i un punxó de bronze han permès determinar que la cova va estar ocupada durant el pretalaiòtic i el talaiòtic, i que degué servir de refugi o d'amagatall en època islàmica (VENY, 1968).

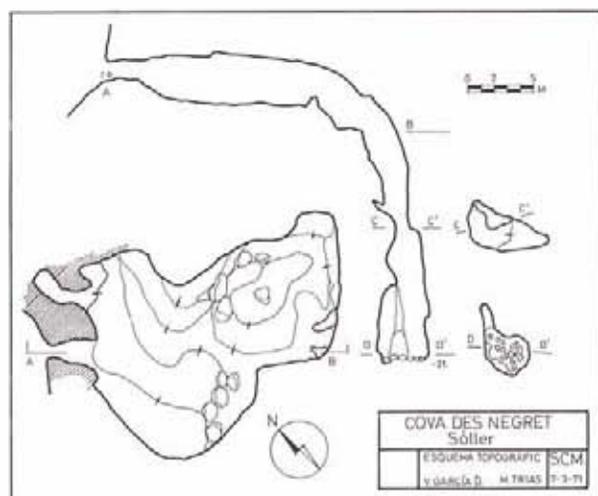
Més interessant que el valor arqueològic és el seu valor com a lloc llegendari. La llegenda que hi té seu ens parla d'un negret que hi sortia el dissabte de

COVA DES NEGRET

Such a suggestive name (Little Nigger's Cave) stands for a small cavern placed on the northern slope of Serra d'Alfàbia, at foot of a boulder, over the houses of Sa Coma. In spite of its low horizontal development —it is formed by a unique hall of 20 x 15 m— its depth is notable and a well 21 m in depth is located on the frontage of the hall. Its archaeological deposit is rather unimportant, most of the floor being flowstones, and only few remains have been found. These findings, for instance some pottery fragments and one bronze burin, have allowed to determine that the cave was occupied during both the pretalaiotic and the talaiotic periods as well as that it probably served as a shelter or hideout during the Islamic epoch (VENY, 1968).

Its legendary value is greater than its archaeological one. The legend talks about a little nigger who went out every First Day of Passover. If a lucky one got to give him a candle alight during the last mass, the little nigger would burnt into a pile of golden coins; the point is that all the offering had to be done before the first stroke of Glory so that, as the time elapsed was steadily short, none was ever able to touch him and he always went back to the cave, where he might still be waiting for someone to catch up with him (ALCOVER, 1903).

Returning to reality, it is likely that the legend is inspired in Joan Albertí, alias Negret, the bandit who used the cave as a refuge and was captured in 1605 (RUL.LAN, 1875).



COVA DELS OSSOS

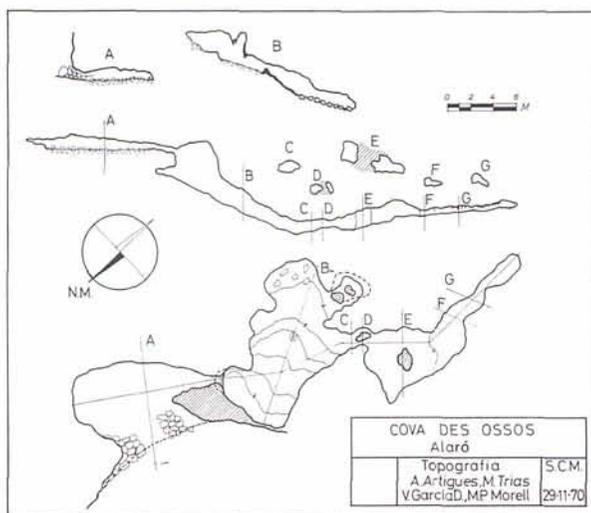
Known from immemorial times, as its name points out (Cave of the Bones), stays this cave of

Pasqua. Si cap afortunat aconseguia dur-li una candela encesa amb el foc nou, que s'encén a l'ofici d'aquell dia, el negret esclafiria en un caramull de monedes d'or; però això s'havia de fer abans del primer toc de Glòria, i com que el temps curtejava ferm entre l'encesa del llum i la primera batallada, ningú fou capaç d'esser a temps de tocar-lo, i el negret se'n tornà sempre a la cova on encara hi deu esser, esperant que qualcú l'aglapesqui (ALCOVER, 1903).

Tocant de peus a terra és possible que tal llegenda vingui inspirada pel bandejat Joan Albertí, *alias* Negret, que tenia el seu cau a la cova i que fou capturat l'any 1605 (RUL-LAN, 1875).

COVA DELS OSSOS

És una de les cavitats d'interès arqueològic conegudes des de temps immemorial com ho indica el seu nom popular. Està situada al coster occidental del Puig de s'Alcadena, ben davant les cases de s'Olivaret, dins la possessió de sa Font Figuera. El pare VENY (1968) hi va fer una prospecció l'any 1948, replegant materials del pretalaiòtic, malgrat la duresa dels seus sediments bastant concrecionats. Hi trobà nombrosos punxons de bronze, botons d'os de perforació en V, plaquetes triangulars del mateix material i fragments de vas bitroncoconic.



archaeological interest. It is located on the northern slope of Puig de s'Alcadena, just in front of the houses of s'Olivaret in the land of Font Figuera. Fra Veny (1968) made a prospection in 1948 and gathered pretalaiotic materials, despite the hardened sediments which were quite concreted. He found plenty of bronze burins, bone buttons perforated in V shape, small bronze triangular plaques and fragments of bitroncoconic vases.

COVA DES MOROS DES TOSSALS

Aquesta caverna està situada al pregon i ferest barranc per on s'obre camí el Torrent des Prat, entre els massisos des Tossals i de Massanella, en un punt de gran bellesa i molt esquerp; està penjada en una timba i per arribar-hi s'ha de fer una petita escalada, això prova que els indígenes mallorquins aprofitaven les coves que els semblaven convenients, independentment de la seva dificultat d'accés.

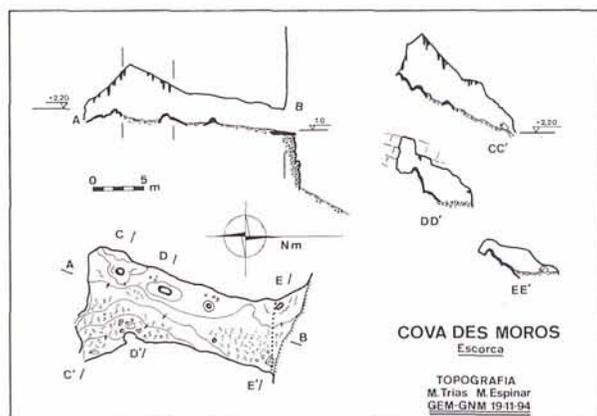
La història recent d'aquesta caverna és ben il·lustrativa de la dissort que ha acompanyat molts de jaciments arqueològics mallorquins: era coneguda des de temps immemorials com ho prova el seu nom popular; tots els carboners que feien feina a la zona la visitaven i en remenaven els sediments cercant

COVA DES MOROS DES TOSSALS

This cavern is placed in a deep and steep gully over the path of Torrent des Prat, between Tossals and Massanella peaks, in a wild and beautiful site; it is dangling from a precipice and a bit of climbing is needed to reach it, what proves that Majorcan natives occupied any cave they found suitable even if their access was eventually difficult.

Recent history of this cave is well-illustrating of the misfortune involving many Majorcan deposits: as its name indicates (Cave of the Moors from Tossals), it was known since immemorial times; every coal-man working nearby used to enter it and to remove the sediments when looking for remains from the Moors times, therefore seriously damaging the deposit.

But its definitive decay is due to the local peasant who decided to empty it completely to use the ground as manure for his sown fields. He invested a few spells between 1937 or 1938 to do the work; the archaeological materials which were removed are now definitively lost: great quantity of human skeletons and pottery pieces were dispersed and crashed; only two entire vases and one silex knife could be saved, both being now exposed at the Museu de Lluc (VENY, 1968). Thereafter, the same author realized a sound in that site and gathered different pieces which allow to establish the chronology of the cave occupation, between the time when silex knives were applicable (ancient pretalaiotic) and that of bridge handles (latter talaiotic).



restes dels *temps des moros*, cosa no gaire bona per al jaciment.

Però el que significà la seva ruïna definitiva va esser la pensada que va tenir el pagès des Tossals de buidar-la tota per emprar-ne la terra com a adob per als seus sembrats. Aquesta tasca li va ocupar una sèrie de temporades devers els anys 1937 o 1938; el material arqueològic que se'n va treure es perdé sense remissió: gran quantitat d'esquelets humans i peces de ceràmica foren escampats i destruïts; només se'n salvaren dos vasos sencers i un ganivet de sílex que avui són al Museu de Lluç (VENY, 1968). Posteriorment aquest autor hi va realitzar una cala, recuperant diferents materials que ens permeten establir una cronologia per a la seva ocupació entre els moments de vigència dels ganivets de sílex (el pre-talaiòtic antic) i el de les anses de pont (el talaiòtic tardà).

AVENC DE LA PUNTA

Un aspecte ben interessant del talaiòtic tardà són els enterraments en baguls de fusta. Un dels jaciments que ens il·lustren aquesta forma cultural és l'Avenc de la Punta, situat al paratge del mateix nom entre les carreteres de Sant Vicenç i del Port de Pollença. Es tracta d'un cas excepcional ja que els taüts sembla que tenen forma de toro. També és excepcional perquè es tracta d'una cavitat d'accés vertical; per arribar a la galeria inclinada on se situen els enterraments hem de superar un pou de 18 metres de fondària. Alguns marges faciliten la col·locació dels morts per a la seva cremació (ENCINAS, 1974). La hipotètica reconstrucció d'un d'aquests toros-sarcòfag es pot veure al Museu Municipal de Pollença.

COVA DES MORO

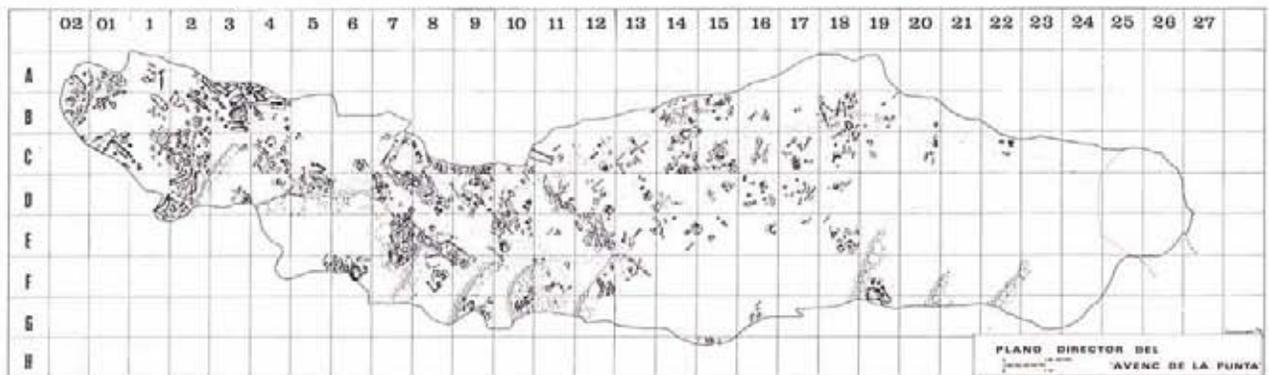
Una altra utilització de les coves que fins aquí no havíem esmentat és l'ús com a lloc de proveïment d'aigua. En aquest cas es tracta d'una caverna costanera, la Cova de sa Font o des Moro de l'illa de sa Dragonera. És una cavitat d'entrada no gaire fàcil, una fissura de 13 metres de desnivell, actualment superat per una escala feta de pedra que facilita molt

AVENC DE LA PUNTA

A very interesting aspect of the latter talaiotic burial in wooden coffins. One of the deposits, representative of such a cultural pattern is Avenc de la Punta, placed in the samely named area between

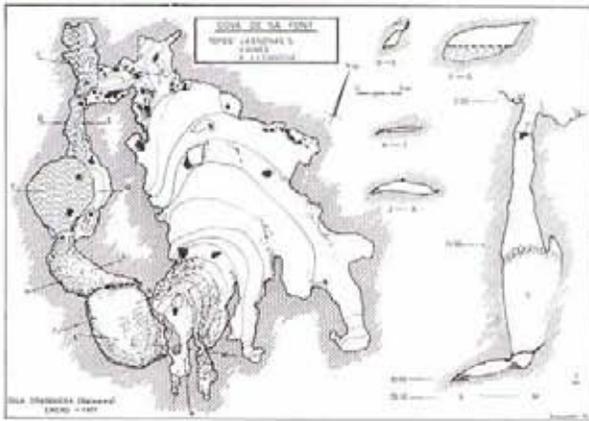


Sant Vicenç and Port de Pollença roads. It is an outstanding example as the coffins seem to have the shape of a bull. It is also remarkable because its access is vertical; to reach the inclined gallery where burials are present, a pit 18 m in depth must be surpassed. Several walls facilitate the placement of the dead to be cremated (ENCINAS, 1974). A hypothetical reconstruction of one of these bull-sarcophagus can be seen at the Museu Municipal de Pollença.



Plànol del jaciment de l'Avenc de la Punta (Pollença) (segons ENCINAS, 1974).

Survey of the deposit from Avenc de la Punta (Pollença) (after ENCINAS, 1974).



l'accés a la zona inferior on trobam un llac d'aigua salobrosa amb abundantíssims fragments de ceràmica. Vista la tipologia d'aquests materials i com que no hi trobam ceràmica indígena, deduïm que els autòctons no l'empraven i els usuaris de la cova eren navegants púnics i romans que la freqüentaven entre el segle IV a. C. i el segle IV d. C. (ENCINAS, 1971). Curiosament hi trobam materials d'època islàmica, encara que no sembla que procedesquin d'un ús de la cova com a amagatall.

COVES D'AMAGATALLS ISLÀMICS

Testimoni dels dramàtics esdeveniments que significaren la destrucció del món àrab mallorquí, són uns sens nombre de coves on s'amagaren els musulmans atemorits. Aquí la ceràmica es troba pràcticament en superfície ja que l'evolució de la cova no ha tengut temps de colgar-la de sediments. Només l'acció dels visitants ha anat esmicolant els materials abandonats.

Fins i tot en coves petites i incòmodes com la de ses Talaies, al terme de Sant Llorenç, s'han trobat tests de ceràmica de luxe amb magnífic vidriat; això evidencia el seu ús com a amagatall ja que els usuaris normals de la cova, pagesos o pastors, no tendrien en via ninguna aquesta ceràmica.

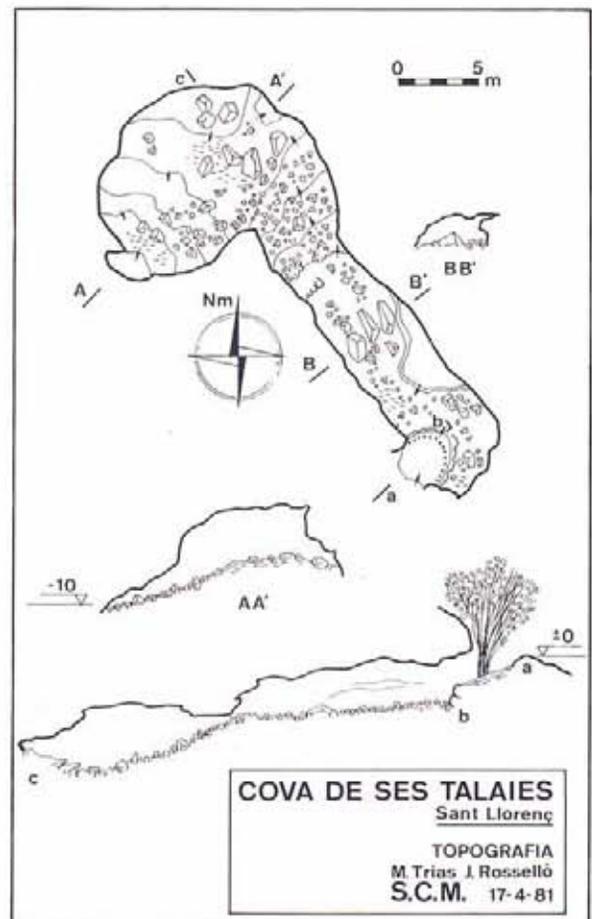
Ultra aquests materials fragmentats i malmesos, hem trobat amagatalls amb peces senceres a més d'eines i claus, com hem citat més amunt. Els dos únics casos descrits d'una manera seriosa són la Cova des Rovell d'Escorca i la Cova dets Amagatalls de Manacor, que són a dos indrets del nostre territori tan diferents i tan allunyats entre si que ens fan pensar que n'hi podria haver per tot. El cas més espectacular és el de la darrera cavitat citada, on s'havien fet obres d'acondicionament, amargenant el pis i fent-hi closos de paret seca a manera de petites habitacions. Amagades arreu de la cova s'hi trobaren eines i restes de ceràmica, alguna de les quals era de valor incalculable com una safa daurada de decoració sense cap paral·lel andalusí.

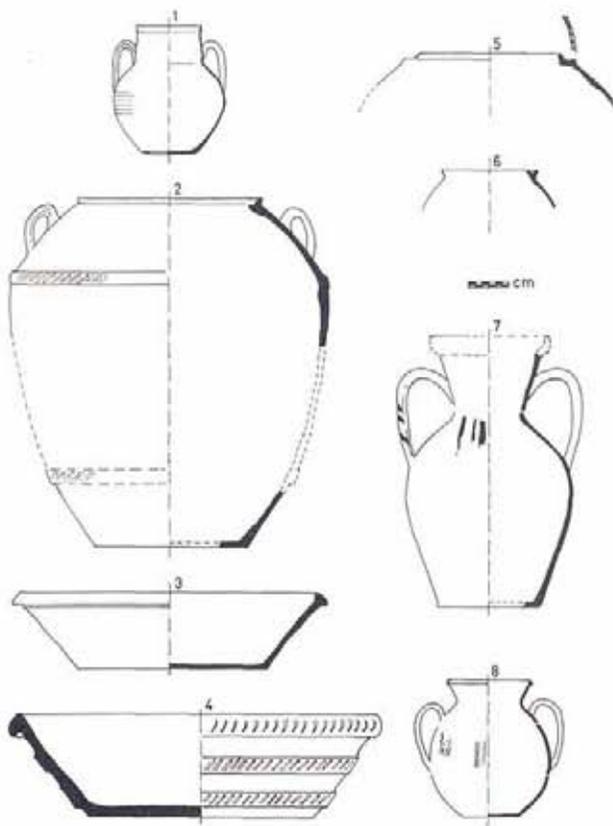
COVA DES MORO

There is another use caves have been given which we have not mentioned yet: water supplying sites. The Cova de sa Font or Cova des Moro is a coastal cavern in the island of Sa Dragonera. Its access, a fissure 13 m. steep, is not easy at all although, nowadays, there is a scale made of stones which facilitates the entrance to the lower zone where a brackish lake containing lots of pottery fragments can be found. According to the typology of those materials and as no indigenous pottery is present, we assume that autochthonous people never used it but that Punic and Roman navigators certainly did, between the IV B.C. and the IV A.D. (ENCINAS, 1971). Curiously, there can also be found materials from the Islamic period, although they do not seem to indicate that the cave was used as a hideout.

CAVES AS ISLAMIC HIDEOUTS

A great number of caves where frightened Muslims looked for refuge stay today as a testimony of the dramatic events occurred when Majorcan Muslim world was devastated. Within this cave, there can be found almost superficial pottery, as their geological evolution has had no time as to cover the floor with sediments. Just the visitors action has broken the abandoned materials.





Cova dets Amagatalls. Taula de formes de ceràmica musulmana comuna. 1, olleta de la Cova dets Amagatalls; 2, alfàbia amb anses de la Coveta des Rovell; 3, ribell o cossi de la Cova des Diners; 4, cossi de la Cova dets Amagatalls; 5-6, alfàbies amb canal a la boca de la Cova des Diners; 7-8, gerres amb decoració pintada de la Cova des Rovell.

Cova dets Amagatalls (Manacor). Table of shapes of common Muslim ceramics. 1, small pot from Cova dets Amagatalls; 2, large earthenware jar with grips from Coveta des Rovell; 3, wash-bowl or basin from Cova des Diners; 4, basin from Cova dets Amagatalls; 5-6, large earthenware jars with step at the mouth from Cova des Diners; 7-8, pitchers with drawn decoration from Cova des Rovell.

COVA DE SON SANTMARTÍ

Un cas curiós de caverna amb una finalitat religiosa, en la millor tradició dels indígenes prehistòrics, és la Cova de Sant Martí o de Son Santmartí al terme d'Alcúdia. La cavitat ha estat convertida en una autèntica església amb dos altars, un de dedicat a Sant Jordi i l'altre a Sant Martí. A més dels altars, hi ha una monumental escala per superar el desnivell entre el terreny i el pis de la cavitat, ja que la boca és un abisament del paladar.

Per manca d'evidència és difícil d'acceptar-hi l'existència d'un lloc de culte paleocristià o, fins i tot, anterior al cristianisme; però, tanmateix, la seva antiguitat és ben notable: la primera notícia escrita és de l'any 1268, quan encara era Sant Martí de Pollença. Va esser restaurada diverses vegades. La més im-

Even inside small and uncomfortable caves there have been found some fragments of luxurious pottery with magnificent glazing; this fact evidences that they were sure hideouts, as normal users, peasants and shepherds, would not have had this ware.

Apart from those broken and damaged materials, we have found hideouts with complete pieces, tools and keys, as we explained above. The two only cases which have been seriously described are Coveta des Rovell, in Escorca, and Cova dets Amagatalls, in Manacor; both being so different and far from each other that we may assume that there must be some more of them all through the island. The second one, Cova dets Amagatalls, is the most spectacular example, where conditioning works were carried out in the form of floor edging and walls without concrete enclosing small rooms. In the cave, hidden here and there, there have been found tools as well as pottery remains, some of them being really valuable, as a golden luster-painted plate showing a decoration having no similarity with any other Andalusian piece.

COVA DE SON SANTMARTÍ

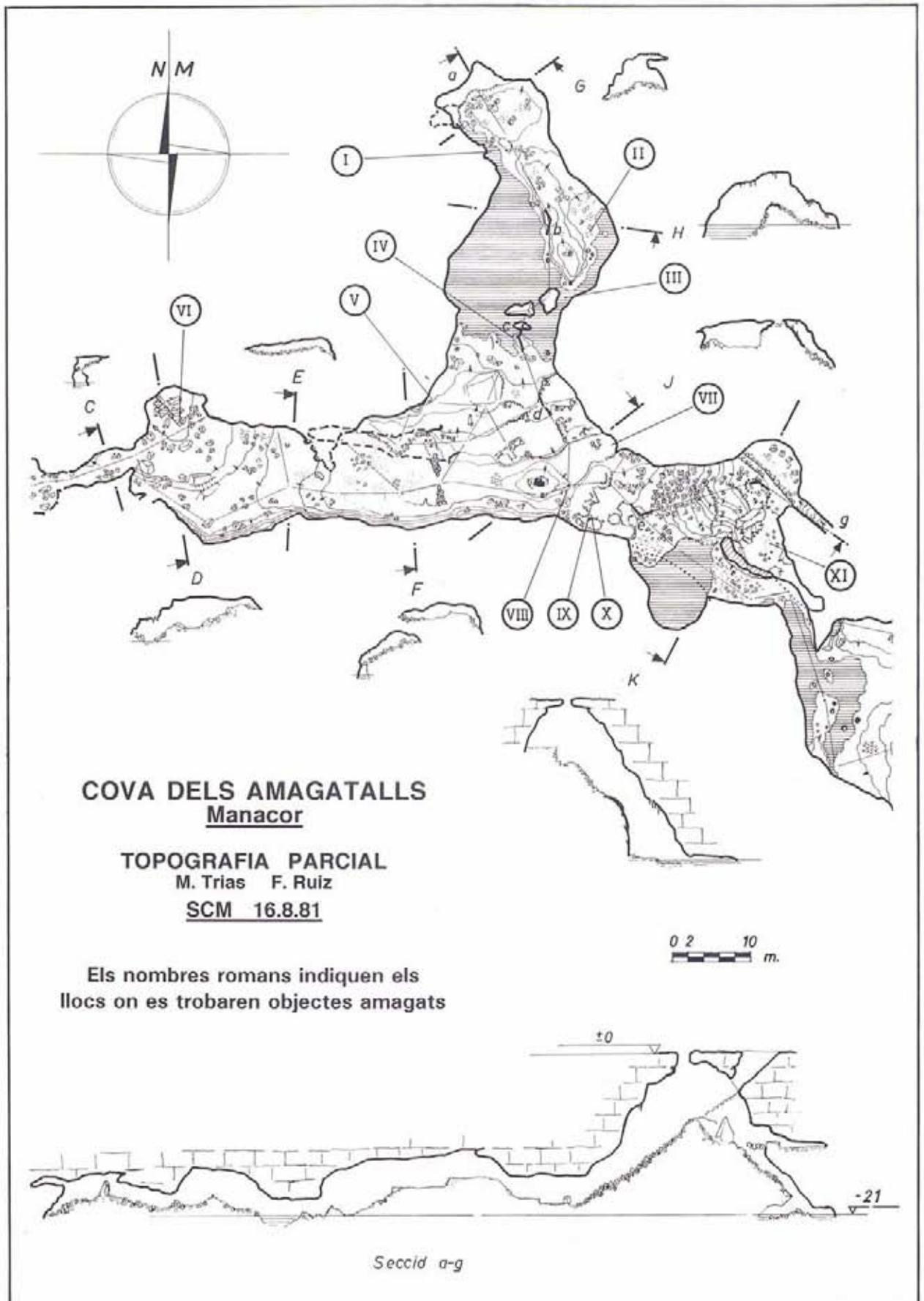
The Cova de Sant Martí or Cova de Son Santmartí, in the municipality of Alcúdia, is a singular example of a cave used for religious purpose following the tradition of the prehistoric natives. The cavern was transformed into a genuine church with two altars, one dedicated to Saint George and the other to Saint Martin. Added to the altars there is a monumental scale to avoid the difference of level between the ground and the cavern floor, as the opening comes from the sunk roof.

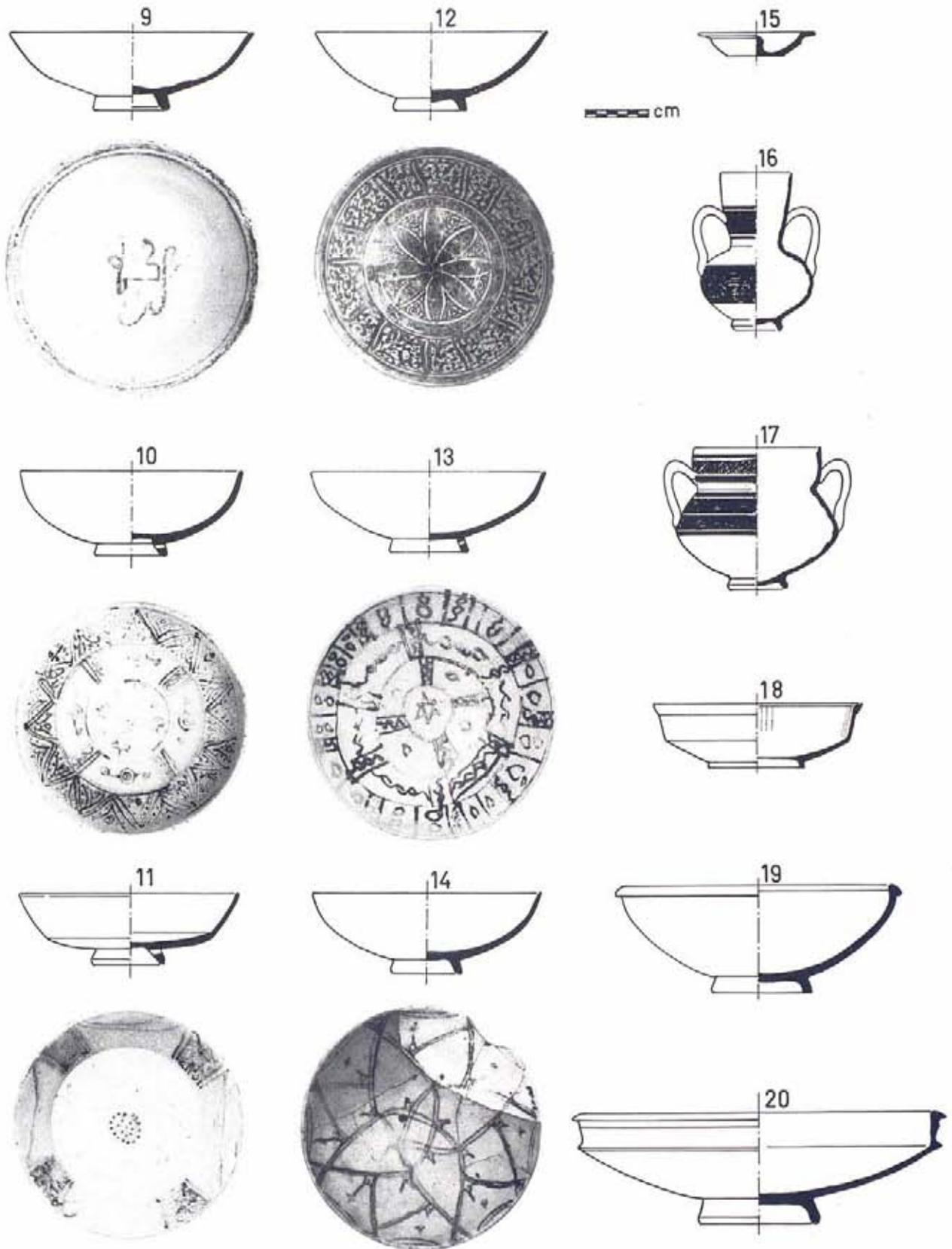


Altar de Sant Jordi a la Cova de Son Santmartí.

Sant Jordi's altar in Cova de Son Santmartí (Alcúdia).

Due to a lack of evidences, it is difficult to admit the existence of a place of cult from the palaeochristian period, or even from former times previous to christianism; but, in any case, its antiquity is notable: the first written report dates from 1268, when it was still dedicated to Saint Martin of Pollença. It was restored a few times. The most



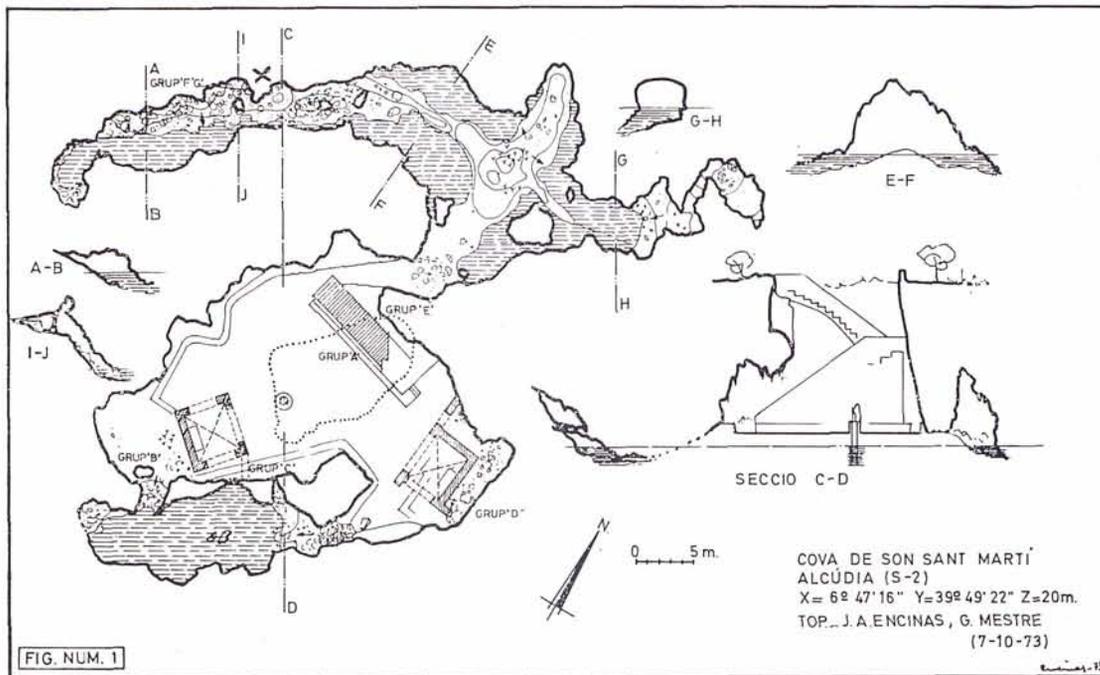


Cova dets Amagatalls. Taula de formes de ceràmica musulmana fina. 9-14, safes de la Cova dets Amagatalls; 9, amb la inscripció BARAKA (la sort, la gràcia de Déu); 12, decorada amb daurat; totes les altres, excepte la 14, foren trobades en el seu amagatall original; 16-17, olletes decorades amb manganès esgrafiats i cordons de vidriat; 18, safà de la Cova de ses Talaies; 19-20, safes de la Cova des Diners.

Cova dets Amagatalls (Manacor). Table of shapes of fine Muslim ceramics. 9-14, bowls from Cova dets Amagatalls; 9, with the inscription BARAKA (the luck, the grace of Good); 12, golden decorated bowl; every bowl, but number 14, were found in their original hide; 16-17, small pots decorated with manganese graffite and strings of glazed; 18, bowl from Cova de ses Talaies; 19-20, bowls from Cova des Diners.

portant és la reconstrucció dels altars en estil gòtic entre els anys 1632 i 1633. Això fou després que el miracle del Sant Crist d'Alcúdia, produït el 24 de febrer de l'any 1507, convertís la cova en un lloc de gran devoció. Aquest és el miracle en boca dels testimonis dels fets: *Faent-sa processó per la esterilitat del temps... al gloriós Sant Martí de la cova; e eixint la dita processó de la dita cova per tornar-se a la vila de Alcúdia, és estat vist per tots los venerables... que lo dit crucifici suava d'aygua ab algunes gotes de sanch* (VENTAYOL, 1928).

important work was the reconstruction of the altars in a gothic style made in 1632 and 1633. Those works took place long after the miracle of the Sant Crist d'Alcúdia, occurred in 1507 on February the 24, so that from then onwards the cave became a place of devotion. This is how events happened, told by someone who witnessed them: walking in a procession throughout the barrenness of times... in honour of Sant Martí of the cave, the blessed; and going such procession from the cave to the village of Alcúdia, every personality there could see.. that the



Malgrat la gran aflluència de fidels que hi anaven en pelegrinatge des de tots els pobles de Mallorca, la devoció va anar minvant. Tant és així que l'any 1827 s'hi suprimeix el culte per l'estat indecorós d'abandonament en què es trobava, car fins i tot s'hi guardava bestiar.

Restaurada l'any 1887 per la Societat Arqueològica Lul·liana és avui en dia un monument ben digne, mancat, però, del fervor popular d'un temps.

mentioned crucifix was exuding water with a few drops of blood (VENTANYOL, 1928).

Despite the great rush of faithful people who went on a pilgrimage from many different localities of Mallorca, devotion gradually decreased. Finally, in 1827, the cave was banned to cult, due to its pathetic state of abandonment, as even beasts were kept in it.

It was restored in 1887 by the Societat Arqueològica Lul·liana and it is today a worthy monument, however, it lacks the fervour that people once awarded to it.

Bibliografia / References

- ALCOVER, A. M. (1903): Folklore Balear. Tradicions populars mallorquines. *B.S.A.L.* Tom X. núms. 278-279. Ciutat de Mallorca.
- AMORÓS, L. (1974): La cueva sepulcral pre-romana de Son Maimó en el término municipal de Petra (Mallorca). *Com. VI Symp. Preh. Pen. Preh. Arg. Is. Bal.* (1972) pàgs. 137-170. Barcelona.
- BOSCH I GIMPERA, P. (1932): Etnologia de la Península Ibèrica. Editorial Alfa. Barcelona.
- COLL, J. (1991): Seriación cultural del Coval d'en Pep Rave (Sóller, Mallorca). Elementos calcolíticos y talaióticos. *Trabajos de Prehistoria*. Vol. 48. Madrid.
- COLOMINES, J. (1915-1920): L'Edat del Bronze a Mallorca. *AIEC*, VI. Barcelona.
- ENCINAS, J. A. (1971): Nota arqueològica sobre la Cova de sa Font. *Speleon*, 18:61-68. Barcelona.
- ENCINAS, J. A. (1972): Las cuevas de incineración en Pollença (Mallorca). *Com. 1r Cong. Nac. Esp.* (1970). 1: 137-142. Barcelona.
- ENCINAS, J. A. (1974): Note on the exploration of the Avenc de la Punta, Majorca. *British Cave Research Assoc.* Vol. 1 núm. 2:127-130.
- ENCINAS, J. A. (1983): Cova de Son Santmartí. *Speleon*, 26-27. Barcelona.
- ENSENYAT, C. (1981): La cuevas sepulcrales mallorquinas de la Edad del Hierro. *Ministerio de Cultura*. Madrid.

- GUERRERO, V. (1979): El yacimiento funerario de Son Boronat (Calvià, Mallorca). *B.S.A.L.* Tom XXXVII.
- PLANTALAMOR, L. (1974): Avance al estudio de la cueva de Son Mallol d'Establiments (Palma de Mallorca). *Com. VI. Symp. Preh. Pen. Preh. Arq. Is. Bal.* (1972). pàgs. 89-100. Barcelona.
- ROSSELLÓ, G. (1972): La prehistòria de Mallorca. *Mayurqa*, 72. Ciutat de Mallorca.
- ROSSELLÓ, G. & WALDREN, W. (1973): Excavaciones en el abrigo del bosque de Son Matge. *Not. Arq. Hip.*, 2:211-286. Madrid.
- ROSSELLÓ, G. (1979): La cultura talaìòtica. *Edicions Cort*. Ciutat de Mallorca.
- RUL-LAN, J. (1875): Historia de Sóller. *Impremta Felip Guasp*. Tom 1. pàg. 25. Ciutat de Mallorca.
- TRIAS, M. & MIR, F. (1977): Les coves de la zona de Can Frasquet. Cala Varques. *Endins*, 4:21-42. Ciutat de Mallorca.
- TRIAS, M. (1979): Nota prèvia a l'estudi de les ceràmiques de la Cova des Diners. *Endins*, 5-6:75-80. Ciutat de Mallorca.
- TRIAS, M. (1981): Notícia preliminar del jaciment islàmic de la Cova dels Amagatalls. *Endins*, 8:59-74. Ciutat de Mallorca.
- TRIAS, M.; SOBERATS, F. & BOSCH, J. R. (1992): Troballes d'època islàmica al Puig Caragoler de Femenia. La Coveta des Rovell (Escorca, Mallorca). *Endins*, 17-18:73-80. Ciutat de Mallorca.
- VENTAYOL, P. (1928): Historia de la muy noble, leal, ilustre, invicta, etc., ciudad fidelísima de Alcúdia, desde los tiempos prehistóricos hasta nuestros días. Tom II. *Biblioteca de Última Hora*. Ciutat de Mallorca.
- VENY, C. (1968): Las cuevas sepulcrales del Bronce antiguo de Mallorca. *C.S.I.C. Madrid*.
- WALDREN, W. (1974): Evidence of the extinction of the *Myotragus Balearicus*. *Com. VI. Symp. Preh. Pen. Preh. Arg. Is. Bal.* (1972) pàgs. 32-38. Barcelona.
- WALDREN, W. & ROSSELLÓ, G. (1975): Excavaciones en la cueva de Muleta (Sóller, Mallorca). Los niveles arqueológicos. *N.A.H.*, 3: 73-108.

LES COVES TURÍSTIQUES DE MALLORCA THE TOURISTIC SHOW CAVES OF MALLORCA

Joaquín GINÉS^{1 2}

Resum

Actualment hi ha a Mallorca un total de cinc coves habilitades per a la visita turística. Les dues més destacables, tant per la seva bellesa i espectacularitat com per les dimensions que assolixen, són les Coves d'Artà (Capdepera) i les Coves del Drac (Manacor). Ambdues cavitats compten amb una llarga història de treballs d'habilitació i incursions més o menys organitzades, a partir de mitjan segle XIX.

La visita a coves càrstiques és, des del començament de l'afluència turística a la nostra illa, una part rellevant dels atractius que s'ofereixen al viatger. Avui en dia aquesta vessant del nostre patrimoni natural està del tot integrada en els circuits del turisme de masses, registrant-se xifres de visitants superiors a les 800.000 persones anuals en el cas de les Coves del Drac. Cal tenir present que aquesta caverna gaudeix d'un cert renom internacional, com a resultat dels descobriments que hi va fer el pioner espeleòleg francès Edouard A. Martel l'any 1896.

Abstract

At present, there are in Mallorca five caves suited for touristic visits, two of which outstand for their beauty and spectacular appearance as well as for their dimensions: Coves d'Artà (Capdepera) and Coves del Drac (Manacor). Since the middle of the 19th century both caves have undergone a long series of conditioning works and more or less organized incursions.

From the beginning of the tourism boom in our island, visiting karstic caves constitutes part of the main attractions offered to travellers. Today, this element of our natural heritage is well-integrated in the circuits of mass tourism, with more than 800,000 annual visitors in what concerns Coves del Drac; it must be pointed out that this cavern has attained a certain international renown as a result of the discoveries made by the French pioneer speleologist Edouard A. Martel in 1896.

Introducció

És innegable avui en dia la transcendència que el fenomen turístic ha assolit en la configuració de la realitat socio-econòmica del conjunt de l'arxipèlag balear, i de l'illa de Mallorca en particular (BENÍTEZ *et al.*, 1994). Per denotar la gran rellevància que el turisme de masses té en el nostre entorn geogràfic, bastarà esmentar algunes dades prou il·lustratives: durant l'any 1993 passaren per Mallorca una xifra de turistes que superava els 5.000.000 de persones; aquesta ingent quantitat de visitants suposa de fet el

Introduction

*The significance of the touristic phenomenon within the socio-economical context of the Balearic islands, with special regard to Mallorca, is undoubtedly obvious (BENÍTEZ *et al.*, 1994). The following figures are illustrative enough of the relevance reached by mass tourism in our geographical environment: in 1993 more than 5,000,000 people visited Mallorca; this enormous amount of visitors represents actually the motor of Majorcan economy, since the touristic sector accounts for 65% of the GNP of our island.*

The subterranean cavities do not remain strange to these phenomena, but are in close relation with them. The share of the Majorcan endokarst to the

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.

motor de l'economia mallorquina, ja que la participació del sector turístic és superior al 65 % del Producte Interior Brut de l'illa.

Les cavitats subterrànies no han estat alienes a aquests fenòmens, ans al contrari, les relacions que se'n deriven són del tot destacables. L'aportació de l'endocars de Mallorca a l'oferta turística inclou dos aspectes principals. Per una banda hi contribueix d'una forma activa, ampliant la gamma d'atractius que l'illa posa a disposició del visitant; paral·lelament existeix una participació molt més passiva, representada per la inclusió de la visita a alguna de les nostres coves en els recorreguts típics que efectuen les grans masses de turistes.

En relació amb el primer aspecte esmentat, s'ha de tenir en compte que tant les Coves d'Artà com les Coves del Drac ja es coneixien bastant temps enrera. Les seves bel·leses ja havien estat difoses per viatgers de la segona meitat del segle XIX, incidint de manera decisiva en la fama que amb posterioritat anirà assolint el medi natural de la nostra illa.

Amb l'arribada del turisme de masses, l'explotació turística de les cavernes es va convertir en una modalitat més de l'oferta complementària de què podia gaudir el visitant. La seva importància quantitativa és ara per ara molt remarcable ja que, a la gran quantitat d'espeleo-turistes potencials que ens arriben anualment, hi hem d'afegir el prestigi internacional aconseguit per les Coves del Drac arran de les exploracions d'Edouard A. Martel. Com a exponent de la magnitud del fenomen es pot afirmar que cada any més d'1.000.000 dels turistes que han escollit la nostra illa per passar les vacances, visiten alguna de les cinc coves habilitades existents a Mallorca.

El turisme a Mallorca

Al llarg del segle XIX les Illes Balears començaren a atreure nombrosos viatgers, artistes i geògrafs. A més de la ja tòpica estada a Mallorca, entre 1838 i 1839, del músic polonès Fryderyk F. Chopin i de l'escriptora francesa Aurore Dupin de Dudevant (més coneguda amb el pseudònim de George Sand), un bon nombre de viatgers europeus s'interessaren pel nostre arxipèlag (FIOL, 1992; SEGUÍ, 1992). Aquestes visites es veren afavorides —durant la segona meitat del segle passat— per l'establiment de serveis regulars de vaixells de vapor entre Barcelona i Mallorca, els quals feien més fàcil l'accés a les nostres terres.

Com a exemple paradigmàtic del viatger erudit de finals del segle XIX, cal referir-se a la figura de l'Arxiduc d'Àustria Ludwig Salvator Habsburg-Lorena. Les llargues estades a casa nostra efectuades per aquest personatge des de l'any 1867, fructificaren en la publicació del gran compendi geogràfic sobre les Balears titulat "*Die Balearen in Wort und Bild Geschildert*", obra que fou premiada amb la me-

touristic offer includes two main aspects. An active role by which it enlarges the choice of attractions supplied to the visitor, and a much more passive one related to the fact that current mass tours include a visit to some of our caves.

With regard to the first aspect, it must be taken into account that both Coves d'Artà and Coves del Drac were already known in the past. The reports of their beauty made by travellers in the second half of the 19th century had a decisive influence on the well-deserved fame that the natural environment of our island has achieved in the course of time.

With the arrival of mass tourism, the exploitation of our caves became an important part of the complementary offer to be enjoyed by the visitor. The large amount of potential tourist-speleologists coming annually to Mallorca, as well as the international prestige attained by Coves del Drac since the explorations undertaken by Edouard A. Martel, make up for their quantitative relevance. The fact that more than 1,000,000 of tourists, who choose Mallorca as their vacational destination, every year visit some of the five caves fitted up for that purpose shows the great extent of this phenomenon.

Tourism in Mallorca

In the course of 19th century, the Balearic islands started to become the destination point of numerous travellers, artists and geographers. Apart from the topical stay in Mallorca of the Polish musician Fryderyk F. Chopin and the French writer Aurore Dupin de Dudevant (better known under the pseudonymous of George Sand), a large number of European travellers became interested in our archipelago (FIOL, 1992; SEGUÍ, 1992), which access was made easier by the establishment of a regular steamliner from Barcelona to Mallorca in the second half of the last century.

The figure of Archduke of Austria Ludwig Salvator Habsburg-Lorena is the best example of an erudite traveller belonging to the end of the 19th century. The publication of his work "Die Balearen in Wort und Bild Geschildert", a great geographical compendium awarded with the gold medal at the Universal Exhibition held in Paris in 1878, was the fruitful result of the long periods he spent in our island since the year 1867. The Archduke sponsored as well the arrival in Mallorca of the French pioneer speleologist E.A. Martel, with the purpose of exploring thoroughly Coves del Drac in the Manacor district. These explorations contributed to build up the offer of touristic incentives of the island, making of this cave an unavoidable point of reference for the tourism visiting Mallorca.

Besides the above mentioned background, the real start of a minority tourism, as economical activity, dates back to the beginning of the present

dalla d'or de l'Exposició Universal que tingué lloc a París el 1878. Així mateix, l'Arxiduc auspicià la vinguda a Mallorca del pioner espeleòleg francès E.A. Martel, per tal d'explorar detalladament les Coves del Drac, del municipi de Manacor. Aquestes exploracions contribuïren de manera notable a conformar el bagatge d'atractius turístics oferts per l'illa, arribant-se a convertir l'esmentada cova en un punt de referència obligat per al turisme que visita Mallorca.

Però a part dels antecedents exposats, l'inici real d'un turisme —encara de minoria— s'ha de situar a principis del segle present. A partir de 1903 comencen a obrir les portes els primers hotels de luxe, i es crea també en aquells moments (1905) la societat denominada *Fomento del Turismo de Mallorca*; aquesta entitat fou fundada amb la finalitat de promocionar l'illa en els mercats estrangers i promoure empreses hoteleres i de serveis turístics, així com facilitar l'accés als paratges pintorescs. D'aqueixa manera s'arriba l'any 1933 a una oferta d'allotjament de 3.300 places, que acolliren una quantitat de turistes propera a les 30.000 persones.

La Guerra Civil Espanyola i, tot seguit, l'esclat de la Segona Guerra Mundial suposaren un parèntesi en el desenvolupament turístic de Mallorca. Alguns anys més tard, ja durant la dècada dels 50, és quan comença la trajectòria ascendent de l'afluència de turisme a les nostres terres, encara que es tracta de visitants espanyols en un percentatge superior al 50 %.

En la dècada dels anys 60 té lloc la vertadera explosió del fenomen turístic, afavorida per la normalització econòmica de l'Europa Occidental i per la importància, cada cop major, del transport aeri no regular. Aquesta tendència meteòrica d'increment en el nombre de turistes, els quals vénen a Mallorca atrets sobretot pel sol i les platges, es manté de manera sostinguda fins el 1973, data en la qual s'enregistren magnituds de l'ordre de 200.000 places turístiques i aproximadament 2.800.000 visitants.

La crisi econòmica internacional que té l'inici el 1973 afectà negativament el creixement de l'afluència turística a les Balears, fins que l'any 1982 es reprèn l'anterior tendència expansiva, encara que amb alguns canvis qualitatius com ara l'increment de places en forma d'apartaments. En els anys 90 ens trobam amb un sector turístic mallorquí on es concentra el 20 % de l'oferta hotelera espanyola, i que ha fet de la nostra illa una de les principals destinacions de vacances a l'estat espanyol. Actualment es totalitza un nombre de places que ultrapassa la xifra de 250.000, les quals allotgen una quantia anual de turistes superior als 5.000.000 de persones, integrada bàsicament per visitants britànics i alemanys en un percentatge pròxim al 60 %.

century. The year 1903 saw the opening of the first luxury hotels, and also around that time (1905) the society Fomento del Turismo de Mallorca was founded with the purposes of promoting the island in the foreign markets and encouraging the development of hotels and touristic services, as well as improving the access to panoramic sites. Thus, in 1933 there was an offer of 3,300 hotel beds that hosted around 30,000 tourists.

The Spanish Civil War and the following outbreak of the Second World War were a parenthesis in the evolution of the Majorcan tourism. The fifties decade registers an upward trend in the tourism flow towards our island; nevertheless over the 50% corresponded to Spanish visitors.

During the sixties decade a real outburst of tourism takes place, favoured by the normalization of the western Europe economy and by the increasing relevance of charter flights. This dashing tendency of increase in the number of tourists —arriving to Mallorca in search of the island's sunshine and beaches— was maintained in a sustained way up to 1973, date that recorded an amount of approximately 200,000 beds and 2,800,000 visitors.

The world economic crisis that started in 1973 had an adverse effect in the growth of tourism in the Balearic islands up to 1982, when the previous expansive trend is launched again even if with certain qualitative changes, as may be the increase of accommodations by way of apartments. In the nineties, the touristic sector of Mallorca accounts for the 20 % of hotel availability in Spain, fact that has made of our island one of the country's main holiday resorts. At present the 250,000 existing hotel beds accommodate annually more than 5,000,000 tourists, of which over 60% are British and German people.

The touristic show caves

The caverns of Mallorca boast a long tradition of conditioning works in order to make their visit accessible to interested people and tourists. Apart from the adaptations carried out along the 19th century in the famous Coves d'Artà and Coves del Drac —with which we shall deal later— at the end of that century moderate attempts were made to use also other caves for recreational purposes. In this sense, we have to mention the conditioning works of Coves del Pirata (Manacor), inaugurated in 1897, that were undertaken on occasion of the «Exposición Agrícola y Ferias y Fiestas de Manacor» celebrated that year (ESTELRICH, 1905); consequently, this cave received a small number of visitors during the first decades of this century, being closed at present. The opening of the artificial access to the bottom of Avenc de Son Pou (Santa Maria del Camí) dates back also to the end of the last century, when more or less organized incursions were initiated and continue

Les coves turístiques

Les cavernes de Mallorca compten amb una llarga tradició d'habilitacions per facilitar la visita a curiosos i turistes. Endemés de les adaptacions efectuades al llarg del segle XIX a les famoses Coves d'Artà i Coves del Drac —de les quals ens ocuparem després— altres cavitats patiren també a finals del segle passat alguns tímids intents d'utilització amb finalitats recreatives. En aquest sentit hem de consignar l'acondicionament, inaugurat el 1897, de les Coves del Pirata (Manacor) efectuat amb motiu de la "Exposición Agrícola y Ferias y Fiestas de Manacor" d'aquell any (ESTELRICH, 1905); aquesta cova va atreure quantitats minoritàries de visitants durant les primeres dècades del present segle, restant tancada ara per ara. També data de les darreries del segle XIX l'obertura de l'accés artificial al fons de l'Avenc de Son Pou (Santa Maria del Camí), iniciant-se aleshores les incursions més o menys organitzades que encara continuen. Ja més recentment, cal esmentar l'adaptació per a visites turístiques de la Cova des Estudiants (Sóller) on, abans de la Guerra Civil Espanyola, es bastiren escales, caminóis i instal·lació elèctrica; aquesta cavitat no arribà a incorporar-se a la dinàmica de l'expansió del turisme a Mallorca, i es troba tancada al públic.

Avui en dia hi ha cinc coves explotades turísticament a Mallorca (Figura 1). D'aquestes cinc, dues cavitats —les Coves de Campanet i les Coves de Gènova— es localitzen a la part meridional de la unitat geogràfica constituïda per la Serra de Tramuntana. Les altres tres estan situades a la costa oriental de l'illa, i entre elles hi ha les localitats més atractives tant per la seva magnitud com per la rica ornamentació natural, que inclou una gran varietat d'espeleotemes.

Sense cap dubte, les Coves d'Artà i les Coves del Drac rivalitzen per la posició capdavantera dins l'àmbit de les coves turístiques mallorquines. La primera compta amb el prestigi i la bellesa que descriuen les nombroses cites d'erudits i viatgers del XIX, així com amb gran quantitat de turistes que la recorren actualment. La segona, encara que fou considerada de menor importància per aquells que la visitaren en la segona meitat del segle passat, es va veure beneficiada pels descobriments fets per MARTEL (1896), posseint endemés el gran atractiu que representen els seus notables llacs subterranis. Així, les Coves del Drac són ara la principal cova turística de Mallorca, essent amb molta diferència la més visitada.

La Taula I agrupa les principals dades geogràfiques i històriques de les diferents cavernes de l'illa que són accessibles al turista. Aquesta taula pretén sistematitzar i facilitar la consulta de les dades que aportarem en aquest capítol, on es dedicarà un breu apartat a cadascuna de les cinc cavitats que suporten actualment explotació turística.

Per a més detalls sobre determinats aspectes de

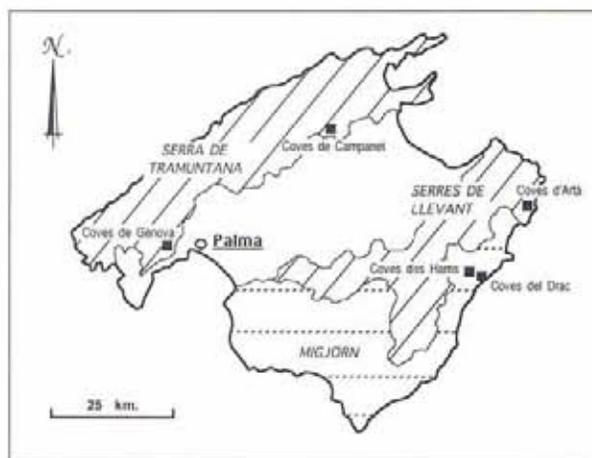


Figura 1: Mapa de les principals unitats geogràfiques de Mallorca, amb la situació de les coves turístiques existents.

Figure 1: Map of the main geographical units of Mallorca, with indication of the existing show caves.

today. More recently, the adaptation to visiting tours of Cova des Estudiants (Sóller) must be mentioned; before the Spanish Civil War this cave was equipped with stairs, paths and electricity, and it was never incorporated to the dynamics of the touristic boom of Mallorca, remaining nowadays closed to the public.

At present there are in Mallorca five caves that withstand tourism exploitation (Figure 1). Two of them —Coves de Campanet and Coves de Gènova— are located in the southern slopes of the Serra de Tramuntana. Among the remaining three caves, located in the eastern coast of the island, there can be found the most attractive sites both for their extension and rich natural decoration that comprises a wide range of speleothems.

Undoubtedly, Coves d'Artà and Coves del Drac contend for the leadership of the Majorcan show caves. The first one benefits from the prestige and beauty recurrently described by scholars and visitors of the 19th century, as well as by the numerous tourists that walk through them currently. The second one, although considered less important by the former century explorers, was favoured by the discoveries due to MARTEL (1896) and by the great attraction of its remarkable subterranean lakes. Thus, Coves del Drac has become the major show cave of Mallorca, being by far the most visited of them all.

Table I groups together the main geographical and historical data about each of the caverns accessible to tourists. This table is intended to provide a systematization and easy consultation tool of the data gathered in the present chapter, which will contain a brief section devoted to each one of the five cavities currently exploited for tourism.

More information on specific aspects of the caves can be found in the corresponding entry about every locality, included in the GRAN ENCICLOPÈDIA DE MALLORCA (1989-94). There are also some

Nom de la cavitat <i>Cave name</i>	Municipi <i>Municipality</i>	Context geològic <i>Geological setting</i>	Desenvolupament horizontal <i>Horizontal development</i>	Primeres exploracions documentades <i>First documented explorations</i>	Data de les primeres obres d'habilitació <i>Date of first touristic conditioning works</i>	Començament de les visites turístiques <i>Beginning of touristic visits</i>
Coves d'Artà	Capdepera	Calcàries mesozoïques plegades <i>Folded mesozoic limestones</i>	500 m.	1806	Segunda mitad del siglo XIX <i>Second half of XIXth century</i>	1912 ?
Coves del Drac	Manacor	Calcarenites miocenes post-orogèniques <i>Post-orogénical miocene calcarenites</i>	2 400 m.	1878	Final del siglo XIX <i>End of XIXth century</i>	1922 ?
Coves des Hams	Manacor	Calcarenites miocenes post-orogèniques <i>Post-orogénical miocene calcarenites</i>	500 m.	1905	1910	1912
Coves de Gènova	Palma	Calcàries mesozoïques plegades <i>Folded mesozoic limestones</i>	200 m.	1906	1932	1945
Coves de Campanet	Campanet	Calcàries mesozoïques plegades <i>Folded mesozoic limestones</i>	300 m.	1945	1946	1948

Taula I: Algunes dades geogràfiques i històriques de les coves turístiques de Mallorca.

Table I: Different geographical and historical data of the Majorcan touristic show caves.

les coves que ens interessin, es poden consultar les entrades corresponents a les localitats en qüestió incloses en la GRAN ENCICLOPÈDIA DE MALLORCA (1989-94). Així mateix hi ha algunes monografies, força antiquades, que s'ocupen de les tres coves turístiques clàssiques de Mallorca: Coves d'Artà, Coves del Drac i Coves des Hams (FAURA Y SANS, 1926; FERRER & COSTA, 1945; SANTAMARTA, 1977).

COVES D'ARTÀ

Antigament era coneguda també amb el topònim de Cova de s'Ermita. S'obre en els penya-segats meridionals del promontori costaner del Cap Vermell, en el municipi de Capdepera.

Encara que existeixen referències sobre aquesta cova que es remunten als segles XVII i XVIII, les exploracions més remotes documentades sembla que daten del 1806, essent per altra banda l'obra de CABRER (1840) la primera descripció detallada d'aquesta important localitat. L'any 1862 té lloc el primer aixecament topogràfic de la cavitat, realitzat per l'escriptor i erudit mallorquí Pere d'Alcàntara Peña. Durant la segona meitat del segle XIX aquesta caverna és recorreguda per nombrosos viatgers europeus, d'entre els quals esmentarem la visita el 1865 del naturalista alemany H.A. Pagenstecher que vingué a Mallorca acompanyat pel prestigiós químic, compatriota seu, R.W. Bunsen (PAGENSTECHER, 1867). Per a més detalls sobre aquestes qüestions, els interessats poden consultar l'exhaustiva revisió dels aspectes històrics de les Coves d'Artà que s'ha publicat recentment (GINÉS, 1993).

Les obres d'acondicionament de la cova comencen ja durant el segle XIX destacant, per l'espectacularitat, la construcció de l'escalonada d'accés rea-

litzada, més que no pas les monografies, rather out-of-date, dealing with the three classical show caves of Mallorca: Coves d'Artà, Coves del Drac and Coves des Hams (FAURA Y SANS, 1926; FERRER & COSTA, 1945; SANTAMARTA, 1977).

COVES D'ARTÀ

In ancient times it was also known by the toponym of Cova de s'Ermita. It opens in the southern cliffs of the coastal promontory of Cap Vermell, belonging to the Capdepera district.

Although the first references of this cave date back to the 17th and 18th centuries, the earliest documented explorations are presumably dated in 1806, and the first detailed description of this important locality belongs to CABRER (1840). In 1862 the Majorcan writer and scholar Pere d'Alcàntara Peña, laid out the first topographic survey of the cavern. Among the numerous European travellers who visited this cave during the second half of the 19th century, we shall mention the visit in 1865 of the German naturalist H.A. Pagenstecher who arrived to Mallorca accompanied by his fellow countryman and prestigious chemist R.W. Bunsen (PAGENSTECHER, 1867). Anyone interested in further information on historical aspects of Coves d'Artà is referred to the detailed revision concerning these topics recently published (GINÉS, 1993).

Conditioning works inside the cave were started already in the 19th century, being remarkable the construction of the access stairway built on the occasion of the visit that Queen Isabel II paid in 1860. The fact that a Signature Album exists in this site since 1869 suggests the prestige it had acquired and the recurrence of the incursions carried out in the cave.

litzada amb motiu de la visita que la Reina Isabel II va fer l'any 1860. A partir del 1869 es disposa a la caverna d'un *Àlbum de Signatures*, circumstància que deixa entreveure el prestigi assolit així com el caràcter ben continuat de les incursions que s'hi realitzaven.

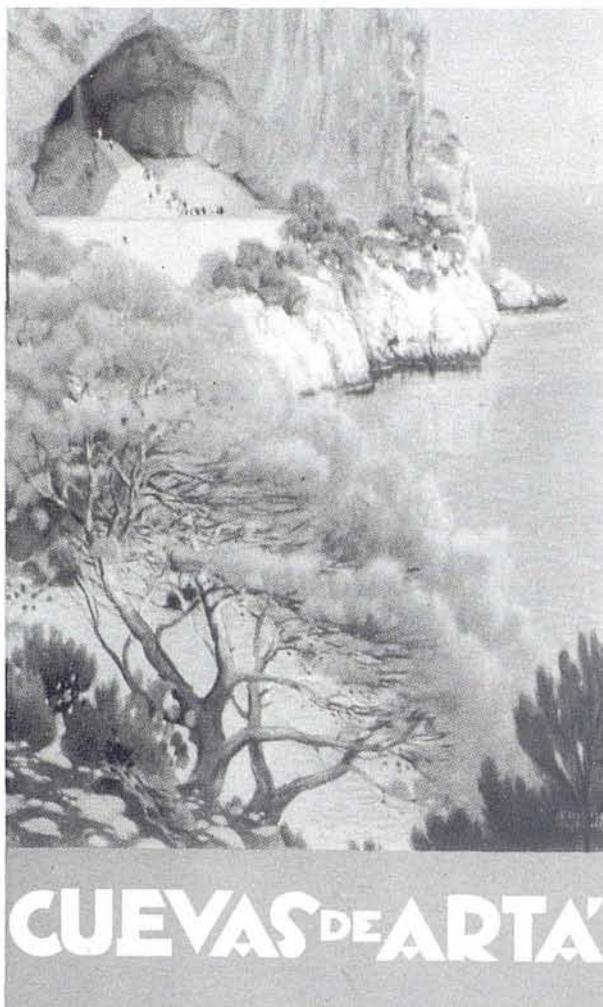


Figure 2: Petita guia turística de les Coves d'Artà editada recentment. La portada reproduceix una aquarel·la del pintor austríac Erwin Hubert, realitzada devers l'any 1930.

Figure 2: A recently published brief touristic guide of Coves d'Artà. The cover reproduces a watercolour picture by the Austrian artist Erwin Hubert, painted around 1930.

L'inici de les visites massives va lligat al naixement a Mallorca del turisme com a fenomen d'importància econòmica, fet que té lloc a principis del present segle. Així, el 1912 s'edita ja un plànol-guia sobre aquesta cova, en el qual es pot constatar que el preu de la visita era aleshores d'1,5 pessetes per persona. L'explotació turística es perllonga fins els nostres dies (Figura 2), essent aquesta la cova que gaudeix de la més dilatada tradició pel que fa a l'aprofitament amb finalitats recreatives.

Des d'un punt de vista espeleològic, la cavitat presenta un recorregut proper als 500 metres. Comp-

The starting of massive visits is linked to the outburst of tourism in our island as a phenomenon of economic relevance, which occurs at the beginning of the present century. In this context, the first guide-map of the cave is published in 1912; this booklet gives evidence that the price of the visit amounted in those days to 1.5 pesetas per person. The touristic exploitation goes on up to present times (Figure 2), having this Majorcan cave the largest tradition in what concerns its recreational uses.

From the speleological point of view, the cave reaches about 500 meters of development. Its large chambers display rich decorations of every type of speleothems; some stalagmites and columns bear great spectacularity being even nearly 20 meters high. Genesis of the cave is related to the evolution, under vadose conditions, of an old phreatic conduits network settled on important fractures. It must be stressed the presence of amazing phreatic speleothems related to high levels reached by the Mediterranean sea during the middle Pleistocene.

The descriptive bibliography about the cave is plentiful (see GINÉS, 1993). Some remarkable publications, bearing notable historical interest, are represented by the works of GAY & CHAMPSAUR (1885) and FAURA Y SANS (1926), including both books descriptions and topographies not only of this cave but also of Coves del Drac, with which we shall deal below. Figure 3 reproduces the survey of Coves d'Artà that appears in the above mentioned book of M. Faura y Sans on the Majorcan caves.

COVES DEL DRAC

This important cavern is located in the surroundings of the coastal village of Portocristo, between the temporary watercourse of Torrent de ses Talaioles and the small inlet of Cala Murta.

The first documented incursion dates back to the year 1878, and only two years later F. Will laid out a topographic map that was published in the already mentioned work of GAY & CHAMPSAUR (1885). At the end of the 19th century the cave was visited frequently by travellers from different European countries, outstanding among them the Archduke of Austria Ludwig Salvator Habsburg-Lorena previously cited. This remarkable personage, stirred by the mystery that surrounded some of the pools existing inside the cave, sponsored the visit to Mallorca of the famous French explorer Edouard A. Martel. The explorations of this pioneer in the field of speleology materialized in the discoveries of notable chambers, located far away from a large subterranean lake that measures 125 meters long covering an area of more than 2,000 sq. meters (MARTEL, 1896; 1903).

It is necessary to mention the visit to Coves del Drac of the Rumanian naturalist Emil G. Racovitza, who collected samples of a blind aquatic crustacean

ta amb àmplies sales ben adornades per tot tipus d'espeleotemes; algunes estalagmites i columnes són molt espectaculars, ja que arriben gairebé als 20 metres d'altària. La seva gènesi es troba relacionada amb l'evolució, en condicions vadoses, d'una antiga xarxa de conductes freàtics assentats sobre importants fractures. Hem de destacar la presència de vistosos espeleotemes freàtics, relacionats amb nivells alts assolits per la mar Mediterrània durant el Pleistocè mitjà.

that in the year 1905 was described as *Typhlocirolana moraguesi*. This event marks out the beginning of this author's interest on the cave fauna, which is considered the milestone that records the initiation of biospeleology as a scientific discipline.

Although the conditioning works carried out in this cavity date back to the end of the 19th century, the fitting up of the new halls just discovered was undertaken during the two first decades of this century. Therefore, the more or less massive visits to

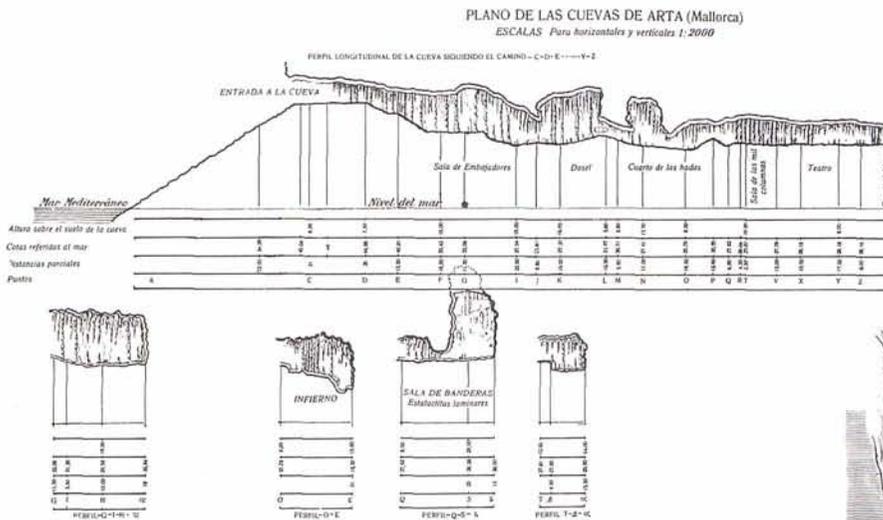


Figura 3: Topografia de les Coves d'Artà, inclosa en l'obra de FAURA Y SANS (1926) sobre les coves de Mallorca.

La bibliografia descriptiva que fa referència a la cova és molt abundant (veure GINÉS, 1993). Algunes publicacions destacables, de marcat interès històric, estan representades per les obres de GAY & CHAMPSAUR (1885) i FAURA Y SANS (1926); ambdós llibres inclouen descripcions i topografies tant de la caverna que ens ocupa com de les Coves del Drac, de la qual parlarem tot seguit. La Figura 3 reproduïx la topografia de les Coves d'Artà, publicada en l'esmentada obra de M. Faura y Sans sobre les coves de Mallorca.

COVES DEL DRAC

Aquesta remarcable cavitat es troba als voltants de la població costanera de Portocristo, entre el Torrent de ses Talaïoles i la petita endinsada de Cala Murta.

La primera incursió documentada data de 1878, realitzant-se tan sols dos anys després un aixecament topogràfic portat a terme per F. Will, que apareix publicat a l'obra abans esmentada de GAY & CHAMPSAUR (1885). La cova és visitada freqüentment, a les acaballes del segle XIX, per viatgers de

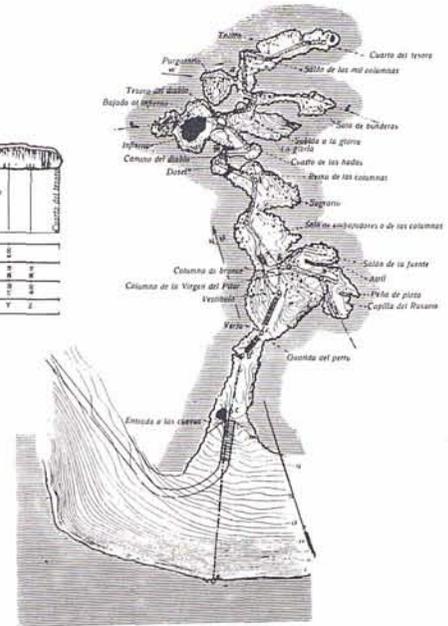


Figure 3: Topographical survey of Coves d'Artà, included in the work of FAURA Y SANS (1926) on Majorcan caves.

the cave start seemingly around the year 1922. This date coincides with the first of a series of editions in different languages of the monography published by E.A. Martel in 1896 (Figure 4); numerous reprintings of this work were issued up to the sixties and made available to visitors as souvenir and popularizing material.

The electric lighting now in service was installed in 1934 by the Catalanian engineer Carles Buigas. Since that date the cave has reached the highest ranking within the show caves of the island, and today it is visited by more than 800,000 people annually. The undeniable beauty of its chambers is complemented by the attraction of the splendid subterranean lake named Llac Miramar (known also as Llac Martel in honour of its discoverer); since the beginning of the touristic exploitation of the cave, the visitors were offered the additional inducement of a short concert played from a boat crossing along Llac Miramar. Until the construction of a bridge, a few decades ago, the visitors were forced to cross its waters by means of several small boats (Photo 1).

This cave is one of the largest in Mallorca, covering a development of nearly 2,400 meters. It has

variada procedència entre els que destaca l'Arxiduc d'Àustria Ludwig Salvator Habsburg-Lorena, al qual hem fet referència amb anterioritat. Aquest remarcable personatge, intrigat per la incògnita que suposaven alguns dels llacs existents en la cavitat, va patrocinar la vinguda a Mallorca l'any 1896 del prestigiós explorador francès Edouard A. Martel. Les exploracions d'aquest pioner de l'espeleologia es materialitzaren en el descobriment de sales notables, situades més enllà d'un gran llac subterrani de 125 metres de llargària i més de 2.000 m² de superfície (MARTEL, 1896; 1903).

Cal deixar constància del pas per les Coves del Drac del naturalista romanès Emil G. Racovitza, qui recollí exemplars d'un crustaci aquàtic cec, que descriuria l'any 1905 com *Typhlocirolana moraguesi*. Aquell fet marcà l'inici de l'interès d'aquest autor envers la fauna cavernícola, i és considerat la fita que assenyala la naixença de la bioespeleologia com a disciplina científica.

Encara que les obres d'acondicionament de la cova es remunten als finals del XIX, és durant les dues primeres dècades d'aquest segle quan es procedeix a l'habilitació de les noves sales descobertes poc temps enrera. Així, sembla que és devers l'any 1922 el moment en què s'inicien les visites més o menys massives a la caverna. Aqueixa data coincideix amb la primera d'una sèrie d'edicions en diversos idiomes del treball monogràfic publicat per E.A. Martel en 1896 (Figura 4); aquests materials divulgatius, posats a disposició dels turistes, foren reeditats múltiples vegades fins els anys 60.

La il·luminació elèctrica actual de la cavitat fou realitzada l'any 1934, per l'enginyer català Carles Buïgas. Des d'aleshores aquesta caverna s'ha anat col·locant al capdavant de les coves turístiques de l'illa, rebent avui en dia una quantitat de visitants anuals (1990) que supera les 800.000 persones. A la bellesa innegable de les seves sales subterrànies, s'hi afegeix l'al·licient que suposa l'esplèndid Llac Miramar (denominat també Llac Martel en honor al seu descobridor); en aquest llac s'ha ofert als visitants, des dels inicis de l'explotació turística de la cova, l'atractiu addicional d'un petit concert executat des d'una embarcació que navega pel Llac Miramar. Les seves aigües s'havien de travessar obligatòriament amb petites embarcacions (Foto 1) fins a la construcció, fa unes poques dècades, d'un pont que permet fer-ho a peu.

La cova que ens ocupa és una de les més grans de Mallorca, amb un desenvolupament aproximat de 2.400 metres. Té dues obertures (Figura 5): una és artificial i porta de manera directa a l'extrem meridional de les sales descobertes durant les exploracions de Martel; l'altra és l'entrada natural, la qual s'utilitza ara per ara com a sortida per al recorregut turístic. La caverna consisteix en un vast conjunt d'amples sales, on els blocs rocósos produïts pels reajustaments mecànics de les voltes de la cavitat es troben coberts

two openings (Figure 5): the first one being artificial, leads directly to the southern point of the halls that came to light during the explorations of Martel; the other one is its natural entrance used now as exit for the visiting tour. The cavern consists of a vast group of large chambers in which the rock blocks produced by mechanical readjustments of its vaults are covered by stalagmitic deposits of an exuberant appearance (Photo 2). Attention must be drawn to the abundant and beautiful brackish pools, some of them of remarkable dimensions, that occupy the lower points of the halls corresponding to the current sea level.

Although MARTEL (1896) considered erroneously Coves del Drac as a cave formed by sea erosion, even if of exceptional magnitude, the first stages of its formation seem to correspond to karstic dissolution produced in a sea-controlled coastal phreatic environment (GINÉS & GINÉS, 1992, 1994). In that respect, the more recent vicissitudes undergone by the Mediterranean through the upper Pleistocene, have been recorded inside the cave by means of good examples of phreatic speleothems. The first of the

M. E. A. MARTEL

Cuevas del Drac

(DRAGÓN)

EN PORTO-CRISTO, ISLA DE MALLORCA

Folleto y Plano en colores a base de la Memoria inserta en el Anuario del Club Alpino Francés (Tomo XXIII-Año 1896) con extractos de otros trabajos y leyendas escritas en el Album de Honor de las Cuevas

Lago Martel - Góndola del Lago



Figura 4: Portada d'una de les edicions, realitzades en diversos idiomes, de la monografia d'Edouard A. Martel sobre les Coves del Drac. Aquests materials es posaren a disposició dels turistes, en nombroses reedicions fetes durant la primera meitat del present segle.

Figure 4: One of the editions, published in different languages, of the monography by E.A. Martel on Coves del Drac. This material was made available to tourists through consecutive reprints in the first half of the current century.

per uns processos d'estalagmitització exuberants (Foto 2). Cal consignar la presència d'abundants i bells llacs d'aigües salobres —alguns de notable extensió— que ocupen les cotes inferiors de les sales, en correspondència amb l'actual nivell de la mar.

Malgrat que MARTEL (1896) considerava erròniament les Coves del Drac com una cova d'abrasió marina, però d'exceptional magnitud, les primeres etapes de la seva formació sembla que corresponen a la dissolució càrstica produïda en un règim freàtic litoral, controlat en tot moment pel nivell marí (GINÉS & GINÉS, 1992; 1994); en aquest sentit, les vicissi-



Foto 2: Les coves turístiques de Mallorca es caracteritzen per l'espectacularitat i diversitat d'espeleotemes que les decoren (foto cortesia de Cuevas del Drach S.A.).

Photo 2: The Majorcan show caves are characterized by a very spectacular and varied speleothems decoration (by courtesy of Cuevas del Drach S.A.)

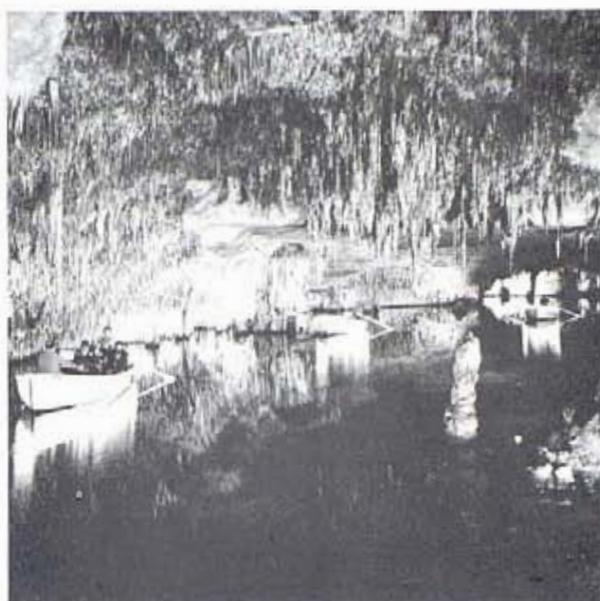


Foto 1: Travesia amb barca del Llac Miramar, dit també Llac Martel en honor al seu descobridor (foto cortesia de Cuevas del Drach S.A.).

Photo 1: Boat navigation across Llac Miramar, named also Llac Martel in honour of its discoverer (by courtesy of Cuevas del Drach S.A.)

above mentioned papers contains a thorough discussion on the speleogenetical theories proposed for the cavern, with a detailed overview of the historical aspects related to this important locality.

COVES DES HAMS

It is located in the outskirts of Portocristo, between two deep incisions represented by the stream beds of Torrent de ses Talaioles and Torrent de na Llebrona. The cavity's toponym alludes to the abundant excentric stalactites (helictites) found in its

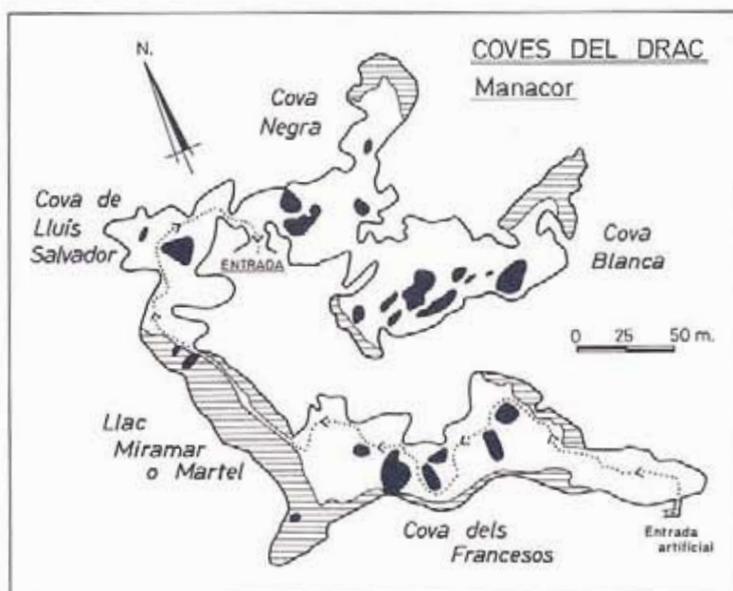


Figura 5: Plànol recent esquematitzat de les Coves del Drac, en el qual s'han representat el recorregut turístic i la toponímia de les sales principals.

Figure 5: Recent schematized map of Coves del Drac, displaying the visiting tour and the toponymy of its principal chambers.

tuds més recents experimentades per la Mediterrània al llarg del Pleistocè superior, han quedat enregistrades a l'interior de la cova amb bons exemples d'espeleotemes freàtics. En el primer dels treballs abans citats es fa una detinguda discussió de les teories espeleogenètiques proposades per a la caverna, repassant també de forma detallada els aspectes històrics lligats a aquesta important localitat.

COVES DES HAMS

Estan situades a prop de Portocristo, entre les dues profundes incisions per on discorren respectivament el Torrent de ses Talaioles i el Torrent de na Llebrona. El topònim de la cavitat al·ludeix a l'abundància al seu interior d'estalactites excèntriques, la forma de les quals s'assembla a la dels hams emprats per pescar.

L'exploració sistemàtica de la cova es va dur a terme el 1905, efectuant-se alguns anys després diverses obres d'habilitació com l'obertura —l'any 1910— de l'entrada actual, que es localitza al vessant septentrional del Torrent de ses Talaioles. El 1912 s'hi instal·là l'enllumenat elèctric, data en què es pot situar el començament de les visites organitzades. Aquesta és la primera cova de Mallorca on es va muntar aquest tipus d'il·luminació, la qual provenia d'un petit generador mogut per un salt d'aigua; l'enllumenat elèctric definitiu es realitzà l'any 1955.

interior, which shape resembles that of fishing hooks ("hams" in the local language).

Its systematic exploration took place in 1905. A few years later began different conditioning works that included the opening, in 1910, of the present entrance to the cave situated in the northern slope of Torrent de ses Talaioles. The electric lighting was installed in 1912, when the organized visits were started. This is the first Majorcan cave that was equipped with this type of illumination, supplied by means of a small waterfall-driven generator; the definitive electric lighting was furnished in 1955.

The French naturalist Jacques Maheu, who visited this site in 1911, published a description and the first topography of the cave (MAHEU, 1912). A later and much more detailed map can be examined in Figure 6, which reproduces the survey included in the already mentioned book by FAURA Y SANS (1926).

The cave comprises a series of not too large chambers that together cover a course of approximately 500 meters. It has two accesses: one of them is formed by a huge collapse that constitutes the natural entrance to the cavern, while the other access has been artificially enlarged and is used as entrance for the visiting tour. It presents an abundant speleothems decoration including a striking group of helictites. General morphology of the site is similar to

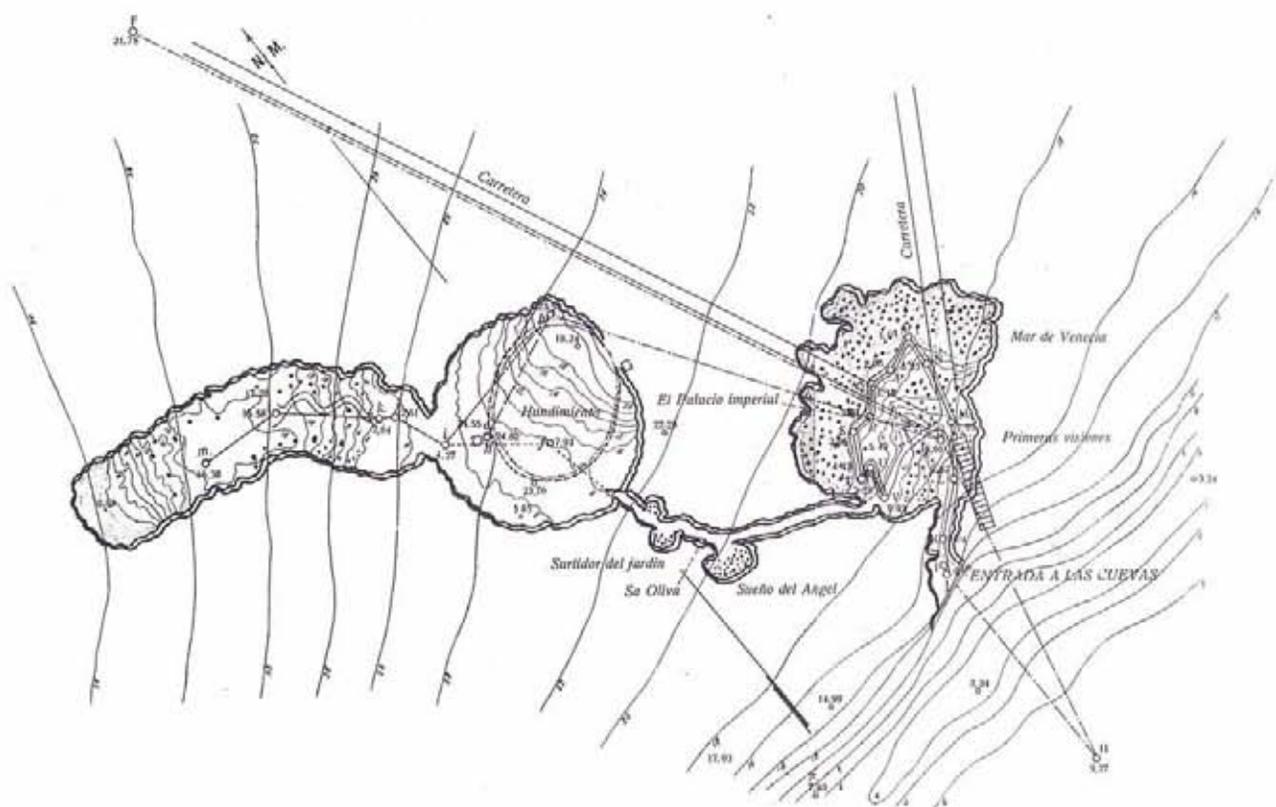


Figura 6: Topografia de les Coves des Hams, inclosa en l'obra de FAURA Y SANS (1926).

Figure 6: Topographical survey of Coves des Hams, included in the work of FAURA Y SANS (1926).

Fou visitada el 1911 pel naturalista francès Jacques Maheu, qui va publicar amb posterioritat la descripció i la primera topografia de la cova (MAHEU, 1912). La Figura 6 reproduceix una topografia posterior, molt més detallada i precisa, que apareix inclosa a l'obra ja esmentada de FAURA Y SANS (1926).

Es tracta d'una successió de sales no gaire àmplies, les quals totalitzen un recorregut proper als 500 metres. Té dos accessos: un és el gran esfondrament que constitueix l'entrada natural de la caverna, mentre que l'altre accés va ser eixamplat artificialment i és emprat com a entrada per a la visita turística. Conté una abundant decoració d'espeleotemes, entre els que destaquen una notable agrupació d'estalactites excèntriques. La morfologia general de la cova és anàloga a la de les veïnes Coves del Drac, presentant també llacs d'aigües salobroses que ocupen les cotes inferiors de les seves sales.

COVES DE GÈNOVA

Cavitat situada en una barriada residencial dels afores de Palma, de la qual pren el seu nom. Fou descoberta casualment l'any 1906 en fer una excavació per construir la cisterna d'una vivenda. Entre 1932 i 1939 es realitzaren les obres d'habilitació per a la visita turística, i s'obrí al públic el 1945.

És una cova de dimensions reduïdes, que tot just arriba a uns 200 metres de recorregut. Consta d'un conjunt de petites sales, on predominen les morfologies d'ensorrament de les voltes, bastant emascarades per variats dipòsits estalagmítics. Entre aquests cal esmentar les concrecions d'aspecte coralloide que es desenvolupen amb relativa abundància sobre colades i estalagmites.

Té un cert interès bioespeleològic, ja que s'hi han recol·lectat diverses espècies d'organismes adaptats a la vida cavernícola com és el miriàpode troglòbi *Lophoproctus pagesi*, espècie endèmica de Mallorca i que fins ara es coneix sols d'aquesta localitat.

Aquesta és la cova turística més modesta de l'illa, amb una quantitat de visitants pròxima a les 10.000 persones anuals (1991).

COVES DE CAMPANET

Es localitza en les proximitats de l'oratori de Sant Miquel, en el terme municipal de Campanet. Es coneix també amb el nom de Cova de So na Pacs.

El descobriment de la cavitat tingué lloc el 1945, en eixamplar un petit forat per on sortia un bon corrent d'aire. Durant aquells treballs de desobstrucció es va trobar un important jaciment paleontològic —d'edat atribuïble al Pleistocè superior— que ha aportat abundants materials ossis del rupicaprí endèmic *Myotragus balearicus*, espècie extingida actualment. L'obertura de la cova a la visita turística va ser l'any 1948.

that of the neighbouring Coves del Drac and, in the same manner, the lowest points of its halls are also occupied by small pools of brackish waters.

COVES DE GÈNOVA

This cave is named after the residential village at the outskirts of Palma in which it is located. It was discovered by chance in the year 1906 during the digging of a well destined to water-supply purposes for a private house. Between the years 1932 and 1939 it was fitted up for visits, being opened to the public in 1945.

It is of reduced dimensions given the scarce 200 meters of its development. It comprises a group of small chambers in which prevail the morphologies derived from the collapse of its vaults, concealed to a large extent by diversified stalagmitic deposits. Among these, the coralloidal speleothems abundantly developed over flowstones and stalagmites are worth to be mentioned.

*It offers a certain biospeleological interest because of the different species of cave-dwelling organisms that have been collected in this cavern; in particular outstands the troglöbitic miriäpod **Lophoproctus pagesi**, a species endemic of Mallorca known up to date only from this locality.*

This site is the less important show cave of the island and receives just around 10,000 visitors annually (1991).

COVES DE CAMPANET

It is located nearby the oratory of Sant Miquel, in the Campanet district. This cavity is also known as Cova de So na Pacs.

*Its discovery took place in the year 1945 while enlarging a small hole that blows away a strong draught. During the digging works came to light an important paleontological deposit probably dating from the upper Pleistocene. This deposit has supplied abundant osseous material belonging to the endemic rupicaprine **Myotragus balearicus**, an species today extinguished. The cave was opened to visits in 1948.*

In 1946 it was explored and examined by the Catalanian speleologists N. Llopis-Lladó and J.M. Thomas-Casajuana who some years later published a monographic paper that includes the survey of the cavern (LLOPIS-LLADÓ & THOMAS-CASAJUANA, 1948).

Its speleometrical range is moderate, reaching around 300 meters. It is formed by a series of chambers with plentiful stalagmitic decoration covering the rocky blocks, resulting from the collapse processes that have affected the walls and the ceiling of the cave. Some assemblages of good examples of straw stalactites should be pointed out.

Fou explorada i estudiada el 1946 pels espeleòlegs catalans N. Llopis-Lladó i J.M. Thomas-Casajuana, els quals publicaren alguns anys després un treball monogràfic que inclou la topografia de la caverna (LLOPIS-LLADÓ & THOMAS-CASAJUANA, 1948).

El seu abast espeleomètric és modest, assolint tan sols una magnitud propera als 300 metres. Està formada per una successió de sales amb abundant ornamentació estalagmítica, la qual recobreix els blocs rocosos resultants dels mecanismes d'esfondrament que han afectat les parets i el sòtil de la cova. Són destacables alguns conjunts de bons exemplars d'estalactites fistuloses.

Conclusions

Les relacions existents entre el fenomen turístic de masses, característic de la segona meitat del present segle, i les coves acondicionades per al turisme a Mallorca es materialitzen en els següents aspectes clau:

- Una notable contribució d'algunes coves clàssiques de l'illa —concretament les Coves d'Artà i les Coves del Drac— a l'atractiu turístic ofert per Mallorca des dels inicis del present segle, com a continuació de la tradició viatgera iniciada per erudits, artistes i geògrafs de la segona meitat del segle XIX.
- La incorporació de l'explotació turística de les coves càrstiques de l'illa a un turisme de masses d'una quantia del tot destacable. Recordem que les Coves del Drac tingueren, l'any 1990, una xifra de visitants superior a les 800.000 persones.
- L'enorme quantitat de visitants potencials, que l'esclat turístic sofert per Mallorca va posar a disposició dels propietaris de cavitats habilitades per al turisme, ha propiciat un tipus d'explotacions presidides per un interès fora mida d'optimitzar el nombre de visitants que pot acollir la cova per unitat de temps. En conseqüència, s'ha deixat totalment de banda l'oferta cultural lligada a l'explotació d'aquest sector del nostre patrimoni natural: manquen materials divulgatius de qualitat acceptable en totes les cavitats, alhora que les explicacions de bona part dels guies segueixen essent simplistes, arcaiques o fins i tot forassenyades.

No és previsible la incorporació de noves coves a l'engranatge turístic de l'illa. De fet ja estan habilitades les que combinen una gran bellesa amb un fàcil accés; endemés no sembla oportú ni necessari incrementar l'oferta d'un recurs natural que ja es troba prou explotat en el conjunt del nostre entorn geogràfic.

Per contra, consideram molt convenient que l'explotació de les coves turístiques de Mallorca sigui més racional i respectuosa amb el medi natural,

Conclusions

The relationships between the mass tourism phenomenon, that characterized the second half of this century, and the caves fitted up for tourism in Mallorca are materialized in the following key aspects:

- *A remarkable contribution of some classic caves of the island —in particular Coves d'Artà and Coves del Drac— to the touristic attraction offered by Mallorca since the beginning of this century, as continuation of the travelling tradition initiated by scholars, artists and geographers at the second half of the 19th century.*
- *The incorporation of the exploitation of Majorcan karstic caves to a mass tourism of a highly relevant extent. It must be recalled that in 1990 Coves del Drac were visited by more than 800,000 people.*
- *The great number of potential visitors, that the tourist boom registered in Mallorca has made available to the owners of show caves, has favoured a type of development with an excessive interest to allow for the largest possible number of visitors to the cave per unit of time. Consequently, the cultural aspects related to the exploitation of this sector of our natural heritage has been almost totally neglected: in all caves there is a lack of popularizing material fairly acceptable, while the explanations given orally to the tourists by a great number of guides are still too simple, obsolete or even crazy.*

It is not likely that new caves will be incorporated to the touristic activity of the island. The caverns that combine the greatest beauty and the easiest access are in fact already conditioned; moreover it is not considered neither convenient nor necessary to increase the offer of a natural resource already too exploited in the whole of our geographical area.

On the contrary, it seems quite necessary to make the exploitation of the Majorcan show caves more rational and friendly towards the natural environment, less massified and more sensible with the cultural inducements holded on by our caves. It must be taken into account that these scientific and cultural aspects are widely demanded by a tourism of higher quality, theoretically targeted by the local economic and political powers.

menys massificada, i molt més sensible amb el vessant cultural que ofereixen les nostres cavitats. Cal tenir present que aquests aspectes científico-culturals són àmpliament demandats pel turisme de qualitat creixent, que els poders econòmics i polítics locals en teoria persegueixen com objectiu.

Bibliografia / References

- BENÍTEZ, J.; RIPOLL, A. & SERRA, S. (Eds.) (1994): *Turisme, Societat i Economia a les Balears*. Fundació Emili Darder. 160 pàgs. Palma de Mallorca.
- CABRER, A. (1840): *Viaje a la famosa gruta llamada Cueva de la Ermita en el distrito de la villa de Artá en la Isla de Mallorca*. Imprenta P.J. Gelabert. 87 pàgs. Palma de Mallorca.
- ESTELRICH, P. (1905): *Las Cuevas del Pirata de Manacor (Mallorca)*. Guía y descripción de sus principales maravillas. Est. Tip. Francisco Soler Prats. 32 pàgs. Palma de Mallorca.
- FAURA Y SANS, M. (1926): *Las cuevas de Mallorca*. Publ. Inst. Geol. Min. España. XIV Congreso Geológico Internacional. 78 pàgs. Madrid.
- FERRER, P. & COSTA, J. (1945): *Las cuevas de Mallorca*. Ediciones Costa. 83 pàgs. Palma de Mallorca.
- FIOL, J.M. (1992): *Descobrint la Mediterrània. Viatgers anglesos per les illes Balears i Pitiüses el segle XIX*. Miquel Font Editor. 225 pàgs. Palma de Mallorca.
- GAY, S. & CHAMPSAUR, B. (1885): *Album de las cuevas de Artá y Manacor*. Luis Fábregas - Librería Española. 50 pàgs + 2 plànols + 25 gravats. Palma de Mallorca, Barcelona.
- GINÉS, A. (1993): Apuntes históricos sobre las Caves d'Artá (Capdepera, Mallorca). *Bol. Museo Andaluz Espeleol.* 7: 21-27. Granada.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1992): Las Caves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes históricos y espeleogenéticos. *Endins*. 17-18 : 5-20. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1994): Caves del Drac, Manacor (Mallorca). *Tecno Ambiente*. 39 : 73-80. Madrid.
- GRAN ENCICLOPÈDIA DE MALLORCA (1989-94). Promomallorca Ediciones. Vol. 1-6. Palma de Mallorca.
- LLOPIS-LLADÓ, N. & THOMAS-CASAJUANA, J.M. (1948): La hidrologia càrstica de los alrededores de Campanet (Inca, Mallorca). *Miscelánea Almera*. 7 (2): 39-60. Barcelona.
- MAHEU, J. (1912): Exploration et flore souterraine des cavernes de Catalogne et des Iles Baléares. *Spelunca*, 8 (67-68) : 1-108. Paris.
- MARTEL, E. A. (1896): Sous Terre. Cueva del Drach, à Majorque. *Ann. Club Alpin Franç.* 23 : 1-32. Paris.
- MARTEL, E. A. (1903): Les cavernes de Majorque. *Spelunca*. 5 (32) : 1-32. Paris.
- PAGENSTECHE, H. A. (1867): *La Isla de Mallorca. Reseña de un viaje*. Establecimiento Tipográfico de Felipe Guasp. 191 pàgs. Palma de Mallorca.
- SANTAMARTA, P. (1977): *Las cuevas de Mallorca (Hams, Drach y Artá)*. Editorial Everest. 64 pàgs. Lleó.
- SEGÚ, M. (1992): *El descubrimiento de las islas olvidadas. Las Balears y Córcega vistas por los viajeros del siglo XIX*. Alpha-3 Serveis Editorials. 261 pàgs. Palma de Mallorca.

CONSERVACIÓ DEL CARST I LES COVES A MALLORCA

CONSERVATION OF THE KARST AND CAVES OF MALLORCA

Àngel GINÉS^{1 2} & Joan MAYOL³

Resum

L'extensió i característiques dels paisatges càrstics mallorquins els confereix una importància notable des dels punts de vista geomorfològic, ecològic i paisatgístic. S'analitzen els problemes més importants que els poden afectar, entre els quals destaquen el vandalisme, les alteracions per obres d'infraestructura hídrica i l'ús incontrolat pels esports d'aventura. S'examina l'estat de conservació tant de l'exocarst com de les cavitats, considerat satisfactori en termes generals. Finalment, i en el context de les normes i recomanacions europees, es proposa un conjunt de mesures i criteris de protecció per garantir la conservació d'aquest patrimoni natural.

Abstract

The extension and characteristics of the karstic landscapes of Mallorca confer them a notorious relevance from the geomorphological, ecological and scenic point of view. Disturbances produced by hydrological alterations, cave vandalism and the uncontrolled practice of adventure sports are here analysed as the most important problems which may have an effect on the above mentioned aspects. The current state of conservation of both exokarst and cavities is examined and is considered, in general terms, as satisfactory. Finally, within the context of the European norms and recommendations, a set of protection measures and land use criteria is proposed in order to guarantee the conservation of this natural heritage.

Introducció

Els processos de dissolució a la superfície i a l'interior de les roques carbonatades, predominants a Mallorca, han generat fenòmens càrstics diversos i abundants: camps de lapiaz, dolines, congosts, coves, avençs i surgències càrstiques (GINÉS & GINÉS, 1989). Aquest conjunt és una part molt significativa del patrimoni natural illenc, ja que representa un fenomen d'elevat interès científic i cultural, tant des del punt de vista geològic com biològic; la biodiversitat pròpia d'aquests ambients, amb una elevada

Introduction

The dissolution processes undergone on the surface and inside of carbonate rock outcrops, which are predominant in Mallorca, have generated diverse and abundant karstic phenomena: karrenfields, dolines, canyons, caves, shafts and karstic springs (GINÉS & GINÉS, 1989). This set of landforms is a very significant part of the island natural heritage because it represents a phenomenon of great scientific and cultural interest, both from the geological and the biological perspectives. The biodiversity, with a high rate of endemic species inherent to these environments, confers them an obvious conservationist priority. Finally, its aesthetic value is well-known and it generates tourist and sports activities not lacking economic profits.

1 Grup Espeleològic EST. Palma de Mallorca.

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

3 Conselleria d'Agricultura i Pesca del Govern Balear. C/ Foners, 10. E-07006 Palma de Mallorca.

taxa d'endemisme, li confereix una clara prioritat conservacionista. Finalment, el seu valor estètic està fora de dubte i genera usos turístics i esportius no desproveïts de vessant econòmic.

La incidència de la carstificació es manifesta enèrgicament en el paisatge i contribueix molt al singular atractiu escènic de distints sectors de la Serra de Tramuntana (Foto 1), com el que s'estén entre Pollença i Lluc, o l'àrea de sa Calobra i Torrent de Pareis. Les espectaculars morfologies de lapiaz són, indubtablement, un dels trets més representatius dels excepcionals valors paisatgístics de la zona septentrional de la serralada.



Foto 1: Paisatge càrstic de muntanya a les rodalies del Puig Major (Escorca). Els principals cims de la Serra de Tramuntana estan formats per calcàries mesozoïques.

Photo 1: Karstic mountain landscape nearby Puig Major (Escorca). The main peaks from Serra de Tramuntana are formed of Mesozoic limestones.

A l'interior dels terrenys calcaris, la presència de coves i avencs, alguns dels quals començaren a ser visitats al s. XIX, constitueix un recurs natural de considerable importància que ha atret tradicionalment l'interès de científics, visitants i àdhuc el turisme massiu. Sols en els darrers trenta anys s'ha assolit un coneixement suficient de la riquesa espeleològica del carst mallorquí (GINÉS & GINÉS 1987): avui estam en condicions de valorar, des dels punts de vista geològic, biològic i recreatiu, aquest notable patrimoni subterrani.

Els fenòmens càrstics tenen importants connotacions conservacionistes, relacionades amb el seu manteniment i l'ús públic del patrimoni paisatgístic i natural, en especial en el seu vessant turístic. Són necessaris i urgents uns criteris de seguiment i gestió que permetin garantir un ús racional d'aquests recursos en el futur immediat.

Problemes de conservació del carst mallorquí

De manera anàloga a la major part dels terrenys càrstics del món (WHITE, 1988; FORD & WILLIAMS,

The incidence of karstification appears strikingly in the landscape and it contributes in great measure to the singular attraction of different areas of the Serra de Tramuntana (Photo 1), as those between Pollença and Lluc or the famous one of Sa Calobra and Torrent de Pareis. The spectacular karren landforms are undoubtedly one of the most representative sights of the exceptional landscape in the northern side of the Serra.

Inside the limestone terrains, the existence of caves and shafts, some of them already visited in the 19th century, constitutes a natural resource of considerable importance which has traditionally attracted the interest of scientists, visitors and even mass tourism more recently. Just in the last thirty years a sufficient knowledge of the speleologic wealth of the Majorcan karst has been reached (GINÉS & GINÉS, 1987). Thus, nowadays we are able to assess from a geological, biological and recreational perspective such noteworthy subterranean heritage.

Karstic phenomena involve important conservationist connotations related to its maintenance and public use of the landscape and natural heritage, especially in what concerns tourism. Some criteria regarding monitoring and management which permit a rational use of these resources in the near future are necessary and urgent.

Conservation problems concerning Majorcan karst

As in most of the karstic areas in the world (WHITE, 1988; FORD & WILLIAMS, 1989; LÓPEZ-MARTÍNEZ & DURÁN, 1989; YUAN, 1991) the Majorcan karst shows a set of specific conditionants that influence the human use of the territory. The main environmental factors that have an effect on karst are: the exploitation of limestone or dolomite quarries; the extraction of subterranean karstic waters and the captation of the superficial ones; the development of facilities for the access of mass tourism to caves or singular places; and the needs for infrastructure related to the protection of archaeological sites. Among these problems stand out the hydrogeological ones which are additionally complicated by the coastal character of the Majorcan water-bearings.

Up to the seventies, the most significant degradation processes that had influenced the Majorcan karst were: the dumping of waste and residual waters in some karstic swallow holes; occasional quarry and building activities and, in many cases, vandalism against the rich decorations of speleothems in easily accessible caves. An example of cavity seriously damaged by quarry works are Coves des Màrmol in the Serra de na Burguesa. Fortunately, this exploitation is no longer present in

1989; LÓPEZ-MARTÍNEZ & DURÁN, 1989; YUAN, 1991) el carst mallorquí presenta una sèrie de condicionants específics que influeixen en la utilització humana del territori. Els principals problemes ambientals que els afecten consisteixen en: l'explotació de pedreres de calisses o dolomies; l'extracció d'aigües subterrànies càrstiques i la captació de les superficials; el desenvolupament d'infraestructures turístiques per a visites massives a coves o indrets singulars; i els relacionats amb la salvaguarda de jaciments arqueològics. D'entre aquests problemes, excel·leixen els hidrogeològics, complicats addicionalment pel caràcter costaner dels aquífers mallorquins.

Fins als anys 70, els processos degradatius rellevants que havien afectat el carst mallorquí consistien en l'abocament de residus sòlids i aigües residuals en alguns engolidors càrstics, algunes actuacions de canteria o construcció i nombrosos casos de vandalisme sobre la rica decoració d'espeleotemes a coves de fàcil accés. Uns exemples de cavitats severament afectades per una pedrera són les Coves des Màrmol, a la Serra de na Burguesa. Afortunadament, aquesta explotació no es dona ja a cap cavitat. Igualment, s'han reduït els casos d'abocaments, encara que no han desaparegut completament.

El vandalisme és un problema greu, ja que els efectes de destrucció de formacions són irreversibles i acumulatius. Sols es pot combatre amb educació i sensibilització, a les quals s'han consagrat diferents esforços, que caldria incrementar.

L'ús recreatiu de distintes zones càrstiques mallorquines s'ha incrementat molt en els darrers anys. Aquest fet és conseqüència de la millora de la xarxa

any cavitat. Dumping has also decreased even if has not disappeared altogether.

Vandalism represents a great problem as its destructive effects are irreversible and accumulative. It can only be eliminated through educational and awareness programmes which have already been launched, but need to be further enhanced.

Within the last years, the recreational use of some Majorcan karst localities has registered an important increase as a result of the improvement of the transport network, the availability of leisure time, the adventure sports fashion and the general interest on the rural world. The declaration of natural protected areas becomes thus a consequence of and an incentive to that interest, while at the same time it increases their public use.

Moreover, together with genuine and careful ramblers or speleologists, a number of tourists and sporadic visitors have access to these places. The latter are more attracted by the merely recreative features and wilderness of such areas than by the morphological singularities, fauna or vegetation. Karstic gorges of the Serra happen to be overvisited in summer and spring, certainly suffering from a risk of alteration in the biotopes of the singular amphibian endemism *Alytes muletensis* (Photo 2). The shafts and caves better known are frequently visited not only by speleologists, but also by uncontrolled dilettantes and speleotourists lacking either formation and supervision. The cave-dwelling fauna, rich in endemic species, is under the risk of being disturbed by this excess of transit and by the deposition of miscellaneous rubbish, such as carbide-lamps residuum and electric batteries.

Foto 2:
Exemplars de l'amfibi *Alytes muletensis*, descobert recentment en diversos torrents càrstics de Mallorca. Encara que la seva descripció científica com a espècie endèmica de les Illes Balears va ésser publicada el 1977, ja era conegut amb el nom popular de "ferreret" pels habitants de les zones més esquerpes de la Serra de Tramuntana (foto cortesia de Gerardo GARCÍA, Zoo de Barcelona).

Photo 2:
Specimens of the amphibian *Alytes muletensis*, recently discovered in different karstic canyons of Mallorca. Although its scientific description as an endemic species of the Balearic Islands was published in 1977, it was already known as "ferreret" by the people inhabiting the wildest areas of Serra de Tramuntana (photo by courtesy of Gerardo GARCÍA, Zoo de Barcelona).



viària, la disponibilitat de temps de lleure, la moda dels esports d'aventura i de l'interès públic pel món rural. La declaració d'espais naturals protegits és conseqüència i estímul d'aquest interès, i n'incrementa l'ús públic.

Així, juntament amb els excursionistes i espeleòlegs genuïns i informats, accedeixen a aquests in-

To resume, during the last few years, to the traditional problems (such as quarrying, pollution and salinization of water-bearings, overwhelming commercial use and vandalism) must be added the new ones that stem from an increasing demand of recreational land use generated by both autochthonous inhabitants and tourists (MAYOL & MACHADO, 1992).

drets visitants esporàdics, turistes i diumengers més interessats en els aspectes purament esportius o de bauxa oferts per la suposada solitud, que no per les singularitats morfològiques, la fauna o la vegetació. Els canyons càrstics de la Serra estan, per tant, sobrevistats durant la primavera i l'estiu, amb un risc cert d'alteració dels biòtops del singular endemisme *Alytes muletensis* (Foto 2). Els avencs i les coves més coneguts són freqüentats tant per espeleòlegs com per dilectants incontrolats i espeleoturistes, sense formació ni supervisió. La fauna cavernícola, rica en endemismes, corre el risc de sofrir perturbacions per aquest trànsit excessiu i la deposició de restes diverses, com són els residus de carburers o piles elèctriques.

En resum, en els darrers anys, als problemes tradicionals (explotació mineral, contaminació i salinització dels aqüífers, ús comercial i vandalisme), se sobreposen els nous, derivats de l'increment de la demanda d'usos recreatius del territori, generada tant per la població autòctona com pel turisme (MAYOL & MACHADO, 1992).

Estat actual de conservació de l'exocarst mallorquí

ELS CAMPS DE LAPIAZ

Les morfologies de lapiaz estan amplament distribuïdes, amb una gran varietat tipològica, sobre els extensos afloraments calcaris de l'illa. Són un element predominant al paisatge del sector septentrional de la Serra de Tramuntana (GINÉS & GINÉS, 1989).

Els camps de lapiaz de s'Esquetjar de Moncaire, sa Mitjania, sa Calobra, sa Torre de Lluc, es Pixarells, Mortitx, Coma de les Truges i el Rellar de Son Marc, situats entre els 200 i els 700 metres s.n.m., constitueixen algunes de les millors localitats de lapiaz pluvial del territori europeu. Per sobre dels 800 metres s.n.m. hi ha també bons exemples d'aquestes morfologies, en especial al Puig Major i al Puig de Massanella. A la perifèria de la Serra es troben microformes de dissolució, menys espectaculars, desenvolupades en condicions climàtiques semi-àrides, entre les quals assenyalarem Coves Blanques i el Cap de Formentor. La preservació d'aquesta diversitat morfològica és una tasca relativament fàcil, prioritària en qualsevol cas pels seus valors geològics i paisatgístics.

L'estat de conservació dels camps de lapiaz és molt bo, afortunadament, excepció feta d'alguns punts excessivament visitats dels voltants de Lluc. És important que la planificació urbanística dels municipis, i la general que pugui afectar el futur Parc de la Serra de Tramuntana, determini la protecció d'aquests recursos geomorfològics i els seus valors paisatgístics i recreatius. Aquesta protecció és senzilla: cal simplement estalviar aquestes àrees d'alter-

The state of conservation of Majorcan exocarst today

THE KARRENFIELDS

Karren features are widespread in Mallorca showing great typological variability all through the extensive limestone outcrops. They are predominant in the scenery of the northern sector of the Serra de Tramuntana (GINÉS & GINÉS, 1989).

The karrenfields of S'Esquetjar de Moncaire, Sa Mitjania, Sa Calobra, Sa Torre de Lluc, Es Pixarells, Mortitx, Coma de les Truges and El Rellar de Son Marc, all located between 200 and 700 meters a.s.l., constitute some of the best examples of pluvial karren in Europe. Over the 800 meters a.s.l. there are also good examples of these features, especially in Puig Major and Puig de Massanella peaks. In the surroundings of the Serra it can be found solutional microforms not so spectacular that have been developed under semiarid climatic conditions, as in Coves Blanques and Cap de Formentor. The preservation of this morphological diversity is relatively an easy task, but in any case it is a real priority due to its geological and scenic values.

Fortunately, the state of conservation of the karrenfields is rather good, with the exception of some overcrowded points around Lluc. It is important that both the municipal urbanistic planning, as well as the general management affecting the future Park of Serra de Tramuntana, determinates the protection of these geomorphological resources and their landscape and recreational values. This protection is simple enough: it is just necessary to avoid the further alteration of those areas through the excessive construction of houses or infrastructures, whereas the actual land uses (mainly agricultural) which have been proved fully compatible should be maintained. An interesting conflict is possible when the decrease of cattle or forestal pression represents an increase of the arboreous cover on the karrenfields, which at the same time could hinder their appreciation as a whole (e.g., Es Camell de Lluc). This process has already begun here and there and it seems really difficult to find a general solution. It may be wise to evaluate separately each particular case.

Small karren features and other dissolution microforms are common in the Mesozoic limestones and dolomites from Serres de Llevant, and also in the tabular Miocene of Migjorn. Interesting karren forms can be found mainly in the littoral border. Preservation of these littoral morphologies is really uncertain as a result of the touristic boom and the intensive building-up along the coast.

THE KARSTIC DEPRESSIONS

The existence of karstic depressions, mainly dolines, is a very characteristic feature on those

racions per construcció de vivendes o infraestructures, tot mantenint-hi els usos actuals (agraris) que s'han demostrat compatibles. Es pot donar un conflicte interessant quan la disminució de la pressió ramadera o forestal determina un increment de la coberta arbòria sobre els camps de lapiaz, impossibilitant la visió de conjunt; aquest procés s'ha iniciat ja en alguns indrets i és difícil preconitzar una solució única. Sembla prudent que cada cas concret sigui avaluat de manera particular.

Petites morfologies de lapiaz i altres microformes de dissolució abunden a les calisses i dolomies mesozòiques de les Serres de Llevant i al Miocè tabular del Migjorn. En especial, la banda litoral inclou extraordinàries representacions de lapiaz costaner. La preservació d'aquestes morfologies és més incerta per l'expansió turística i la urbanització intensiva de la costa.

LES DEPRESSIONS CÀRSTIQUES

L'existència de depressions càrstiques, dolines principalment, és un tret molt característic dels terrenys constituïts per roques solubles. Hi ha bons exemples, a Mallorca, de grans depressions tant a la Serra de Tramuntana (Coma de Son Torrella, Clot d'Albarca) com a la plataforma miocena del Migjorn (Comes de Son Granada). Són freqüents els grups de dolines al sector septentrional de la Serra, entre Fornalutx i Pollença, de presència sols ocasional a la resta de l'illa.

L'estat de conservació geomorfològic, hidrològic i paisatgístic de les depressions càrstiques mallorquines és prou satisfactori, gràcies als usos actuals compatibles amb aquesta conservació. En el cas dels grups de dolines, el seu seguiment i preservació ha de ser una de les funcions del futur parc natural, al nucli central de la Serra.

Els grups de dolines més interessants des dels punts de vista botànic i ecològic, són els d'altitud mitjana, entre els 300 i 600 metres s.n.m., on creixen distintes espècies calcífuges, dominades pel Bruc, *Erica arborea* (GINÉS *et al.*, 1989). El manteniment d'aquesta comunitat vegetal, singular a l'illa, està relacionat amb el "socorrat" periòdic del càrritx, *Ampelodesma mauritanica*, per fer possible la seva pastura per ovelles. Els sòls descarbonatats i la capacitat de rebrot posterior a l'incendi són fonamentals per explicar aquesta associació vegetal (Foto 3), que inclou la falguera *Ophioglossum lusitanicum* i distints líquens rars. Cal preveure l'adequada conservació d'aquestes dolines, tant pel seu interès geomorfològic com botànic.

ELS CANYONS CÀRSTICS

Alguns dels torrents que solquen la part més abrupta de la Serra de Tramuntana excel·leixen per la seva morfologia, trets geològics, valor ecològic i

terrenys composts per roques solubles. In Mallorca there are good examples of great depressions, both in the Serra de Tramuntana (Coma de Son Torrella, Clot d'Albarca) and in the Miocene platform of Migjorn (Comes de Son Granada). Dolines assemblages are frequent in the northern side of the Serra, between Fornalutx and Pollença, being just occasionally present in the rest of the island.

The geomorphological, hydrological and recreational state of conservation of the karstic depressions is quite satisfactory, due to the current land uses that are compatible with it. Concerning the dolines, its preservation and monitoring should be one of the aims of the future Natural Park to be established within the Serra central area.

The more interesting doline assemblages, from the botanical and ecological point of view, are those located in a medium altitude, between 300 and 600 meters a.s.l., where some calcifuge species grow (GINÉS *et al.*, 1989), being dominant the heath *Erica arborea*. The maintenance of such vegetal community, very rare in the island, is related to the periodical burning of the grass *Ampelodesma mauritanica*, to make it suitable for sheep pasture. Decarbonated soils together with the capability of sprouting after the fire are fundamental to explain this vegetal association (Photo 3), that includes the



Foto 3: Fons de dolina en els terrenys càrstics des Castellots (Escorca), cobert per una comunitat vegetal en la qual predominen els brucs de l'espècie *Erica arborea*.

Photo 3: Doline bottom on the karstic terrains of Es Castellots (Escorca), covered by a vegetal community dominated by the heather *Erica arborea*.

pteridophyte *Ophioglossum lusitanicum* and some rare lichens. An adequate conservation of these dolines should be foreseen, since they involve so much geomorphological and botanic interest.

THE KARSTIC GORGES

Some ravines that plough the most abrupt area of Serra de Tramuntana outstand for their beauty and their morphological, geological and ecological values. They are narrow and deep gorges, developed along

bellesa. Es tracta de canyons estrets i profunds, desenvolupats a favor de fractures, al fons dels quals s'han excavat gorgs on es manté aigua quasi tot l'any. En aquest ambient de característiques singulars viu el Ferreret, *Alytes muletensis*, un dels més notables endemismes representatius de la fauna autòctona balear (ALCOVER *et al.*, 1984).

Fins fa una vintena d'anys, aquests torrents eren inexplorats per mor de les dificultats d'accés. Avui, l'auge dels esports d'aventura, i en particular el barranquisme, ha sotmès aquests ecosistemes fràgils i vulnerables a una freqüentació intensa que tal vegada sobrepassa la seva capacitat de càrrega. Un altre problema dels torrents és l'abocament d'aigües residuals de la indústria d'embotellament d'aigua, que en deterioren les característiques químiques; aquest factor és greu, ja que les condicions càrstiques i el cabdal feble d'aquests torrents els permeten una capacitat d'autodepuració força reduïda. Afortunadament, algunes embotelladores han adoptat en els darrers anys sistemes de depuració. L'abocament de residus domèstics (Torrent de na Mora), l'explotació agrícola intensiva amb usos importants de pesticides i adobs (Torrent Fondo de Mortitx) o les obres d'infraestructura hidràulica (Torrent de Pareis, Torrent d'Almadrà), són factors complementaris de degradació. L'estat general dels torrents ha sofert canvis negatius per la juxtaposició dels diferents factors.

Les mesures de protecció sobre aquests ecosistemes són urgents, per la singularitat dels seus valors i la limitació de la seva extensió. La gestió que s'hi apliqui determinarà la supervivència dels seus biovalors, i en especial del Ferreret, espècie considerada prioritària a la Directiva 92/43/CEE de la Comunitat Europea. Calen mesures decidides de control i seguiment d'aquests hàbitats (Foto 4), que hi garanteixin el manteniment de les condicions físiques i químiques.

Estat actual de conservació de l'endocarst mallorquí

LES COVES TURÍSTIQUES

Des dels inicis del s.XIX, els viatgers que arriben a l'illa deixen constància de les visites guiades a les Coves d'Artà i les Coves del Drac, les cavitats de més prestigi de Mallorca, per les quals passaren personatges tan famosos com Jules Verne o Sarah Bernhardt. Aquest seria l'origen de l'explotació turística de les coves mallorquines (Foto 5). Ja en el nostre segle, s'han afegit a aquest ús les Coves des Hams, Coves de Gènova i Coves de Campanet. N'hi ha d'altres on aquesta explotació va ser realitzada i posteriorment abandonada: les Coves del Pirata i la Cova des Estudiants. L'Avenc de Son Pou és utilitzat també per visites, però de forma menys intensiva.

fractures, in which bottom some pools that contain water nearly all through the year have been carved. It is in this characteristic environment where the "Ferreret", *Alytes muletensis*, one of the most noted endemism representative of the autochthonous Balearic fauna (ALCOVER *et al.*, 1984) dwells.

Until two decades ago these streams remained unexplored due to the difficult access. Now, the peak of adventure sports and particularly of gully-trekking produces an excessive amount of visitors which probably overwhelms the loading capacity of these fragile and vulnerable ecosystems. Another problem regarding streams is the dumping of sewage coming from the water bottling industry. Because it deteriorates the chemical characteristics of the water, this is a rather serious problem, as the karstic conditions and the weak discharge of such kind of stream permit just a low rate of self-purification. Fortunately, during the last years some bottling factories have applied depuration systems. The dumping of domestic residuum (Torrent de na Mora), the intensive agricultural exploitation, together with the important use of pesticides and fertilizers (Torrent Fondo de Mortitx), or the hydraulic works (Torrent de

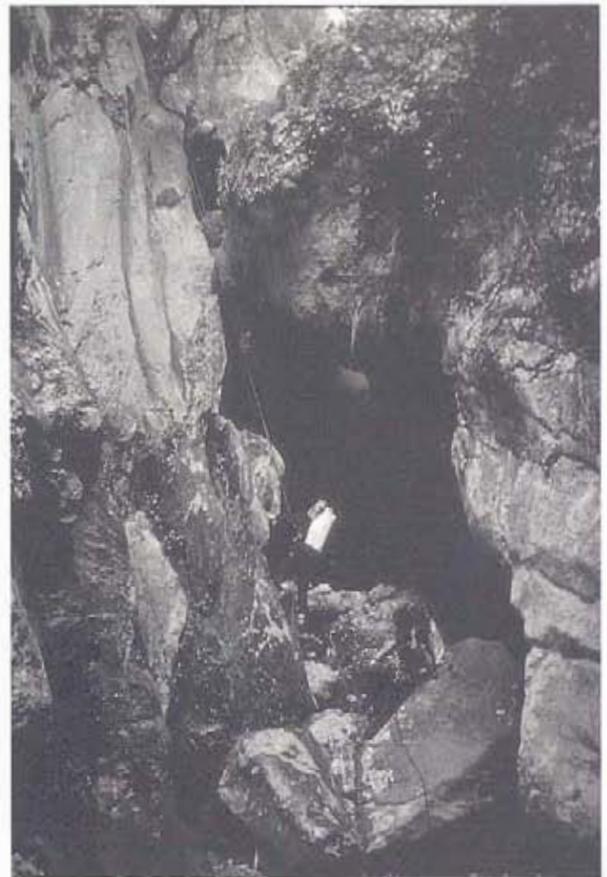


Foto 4: Els torrents càrstics de la Serra de Tramuntana constitueixen un biòtop fràgil, que cal protegir adequadament.

Photo 4: The karstic gorges in Serra de Tramuntana constitute a fragile biotope which should be adequately protected in the future.

La importància turística i econòmica d'aquestes visites és prou gran, ja que les coves són l'eix d'excursions organitzades de gran prestigi, entorn de les quals es mou una indústria de transport, restauració i venda de "souvenirs" quantitativament important. Assenyalem, a títol d'exemple, que les Coves del Drac (Foto 6) són visitades per 600.000 a 800.000 turistes anuals. La imatge i renom que les coves han aportat a la indústria turística de Mallorca són molt rellevants. Malgrat això, les adaptacions de les caver-nes a les visites no han estat sempre prou respectuoses ni imaginatives. En són excepcions la luminotècnia de Carles Buïgas a les Coves del Drac i la grandiosa escala de les Coves d'Artà, bastida en ocasió de la visita d'Isabel II, al 1860.

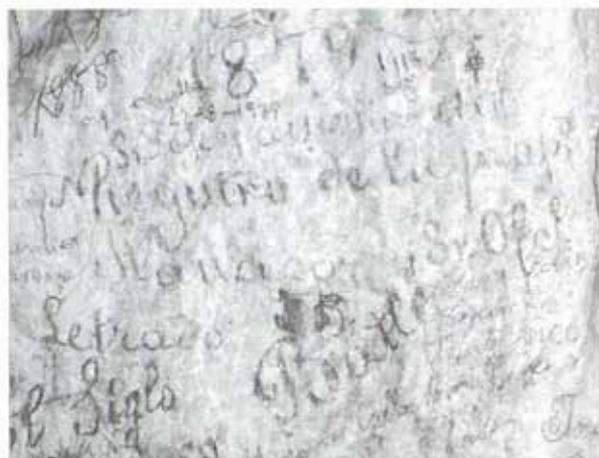


Foto 5: Inscripcions corresponents al segle XIX, fetes damunt les colades estalagmítiques que voregen el Llac de les Delícies, a les Coves del Drac (Manacor).

Photo 5: Nineteenth century inscriptions found on the flowstones surrounding the Llac de les Delícies, in Coves del Drac (Manacor).

Aquest ús comporta un impacte ambiental difícil de corregir: ventilació artificial, microflora entorn dels focus d'il·luminació, àrees alterades pel trànsit continuat de personal, etc... Altres, en canvi, podrien ser evitats amb una voluntat o normativa favorables: detritus d'instal·lacions fora d'ús, manipulació d'espeleotemes amb aigua o productes artificials, etc. Seria positiu, indubtablement, millorar la infraestructura educativa i interpretativa de les coves: pannells i informacions més rigoroses i modernes, que permetin als visitants copsar la importància científica i cultural de les cavitats i no sols el seu pintoresquisme.

COVES I AVENCS EXPLORABLES

Les coves i avencs mallorquins que poden ser objecte d'activitats espeleològiques han estat avaluats en un nombre pròxim al milenar (GINÉS & GINÉS, 1987). Altrament, tant a sa Dragonera com a Cabrera hi ha també cavitats interessants.

La major part de les coves són de dimensions reduïdes, i es poden explorar sense equipaments so-

Pareis, Torrent d'Almadrà) are additional degradation factors. The general state of these karstic gorges has lately suffered from negative changes due to the coincidence of those different disturbances.

Protection measures should be urgently taken on these ecosystems given their value and limited surface. The management to be applied will determine the survival of their biovalues, and especially of the endemic "Ferreret", a species considered a priority by the EC Directive 92/43/EC. Strict control measures as well as monitoring of these habitats (Photo 4) should be promoted, so that the stability of their physical and chemical conditions must be guaranteed.

The state of conservation of Majorcan endokarst today

THE TOURISTIC SHOW CAVES

Since the beginning of the 19th century the travellers arriving in the island reported about guided tours to Coves d'Artà and Coves del Drac, the most celebrated caverns of Mallorca, visited by famous personalities such as Jules Verne and Sarah Bernhardt. This could have been the origin of the touristic exploitation of the Majorcan caves (Photo 5). Yet in our century the Coves des Hams, Coves de Gènova and Coves de Campanet have been added to the list. There are also a few caves that were once exploited and later abandoned: Coves del Pirata and Cova des Estudiants. The breakdown shaft called Avenc de Son Pou is also visited, even if much less intensively.

The touristic and economic importance of the visits is rather significant, as the caves are often the core of prestigious package tours that support a substantial transport, catering and souvenir business. As an example we point out that Coves del Drac (Photo 6) receive annually between 600,000 and 800,000 visitors. The image and fame given by the show caves to the Majorcan tourist industry are very important. Nevertheless, visiting facilities to the caverns has not always been respectful nor imaginative enough for the cave environment. However, it should be pointed out as exceptions the lighting designed by Carles Buïgas in Coves del Drac and the magnificent stairway of Coves d'Artà built in 1860 for Queen Isabel II visit to this cave.

Touristic visits in show caves involve an environmental impact of difficult solution: artificial aeration, microflora growing around the spotlights, alterations in the main paths, etc. However, other impacts could be avoided by willingness and regulations: abandoned debris from former interventions, speleothems manipulation with water and artificial products etc. Undoubtedly, it would be convenient to improve the didactic and informative



Foto 6: Vista general d'una de les sales que formen part del recorregut turístic de les Coves del Drac, a Manacor (foto cortesia de Cuevas del Drach S.A.).

Photo 6: Panoramic view of one of the halls visited by tourists in Coves del Drac, Manacor (photo by courtesy of Cuevas del Drach S.A.).

fisticats ni dificultats tècniques. L'accés als avencs, en canvi, requereix del coneixement dels estris més usuals: cordes d'escalada, descensors i bloquejadors per a SRT, etc. No es tracta, en general, d'avencs especialment dificultosos, però tenen els seus perills per a visitants inexperts. El millor procediment per a estalviar riscos innecessaris i preveure el deteriorament del medi càrstic subterrani és potenciar l'activitat espeleològica federada. És ben conegut que la majoria dels accidents, la destrucció d'espeleotemes i el vandalisme en general són protagonitzats per visitants ocasionals, desproveïts de "cultura espeleològica".

En general, l'estat de conservació de l'endocars t mallorquí és satisfactori, malgrat sigui de lamentar la freqüència de manifestacions de vandalisme i ruptura d'espeleotemes. Un nombre excessiu de visitants incontrolats provoca l'acumulació de residus, inclosa la proliferació de taques de buidat de carburers, que poden perjudicar la fauna cavernícola. Distints grups espeleològics, la Federació Balear d'Espeleologia i entitats excursionistes porten a terme intenses campanyes per estimular la responsabilitat i el respecte al medi subterrani. Altrament, en els darrers anys s'ha moderat l'ús d'anclatges artificials i pitons, per part dels espeleòlegs, a l'exploració de cavitats verticals.

LA FAUNA CAVERNÍCOLA

Les cavitats càrstiques de Mallorca tenen una fauna cavernícola interessant, rica en endemismes (GINÉS, 1983; PONS, 1991) i altres espècies de va-

infraestructura inside the show caves by installing up-to-date and rigorous information which encourage people to appreciate not only the picturesque aspects, but also the cultural and scientific importance of the cavities.

WILD CAVES AND SHAFTS

It has been estimated that in Mallorca there are almost one thousand caves and shafts suitable for caving activities (GINÉS & GINÉS, 1987). There are also some interesting cavities in Dragonera and Cabrera islands.

Most of the caves are of small dimensions, and they can be explored without a sophisticated equipment as they do not involve great technical difficulties. On the contrary, the access to the shafts requires a knowledge of the most common caving equipment: ladders, ropes, abseilers, jammers for SRT techniques, etc. In general, the shafts are not excessively difficult to be explored, although they could be dangerous to inexperienced visitors. The best way to prevent visitors from unnecessary risks and to avoid the subterranean karstic environment decay, would be to get the cavers to be involved in the federated speleological activity. It is well-known that most accidents, acts of vandalism and destruction of speleothems are generally caused by occasional visitors lacking any "speleological culture".

In general, the state of conservation of the Majorcan endokarst is satisfactory, despite of the frequent cases of vandalism and speleothems destruction. Too many uncontrolled visitors provoke the accumulation of rubbish including batteries, flash bulbs and dumping of spent carbide which may damage the cave fauna. Several speleologic groups, the Federació Balear d'Espeleologia and some hikers associations are leading campaigns to encourage some respect and responsibility towards the subterranean environment. Furthermore, during the last few years, cavers have reduced the use of artificial anchorages and bolts in vertical cavities.

THE CAVERNICOLOUS FAUNA

The Majorcan karstic cavities present an interesting cave fauna rich in endemic troglobites (GINÉS, 1983; PONS, 1991) and other biogeographically interesting species (BELLÉS, 1987). Generally speaking, the state of conservation of this fauna and its habitats seems rather satisfactory (PONS, 1991). However, it must be remarked the vulnerability of those species dwelling just in one or few localities: the crustacean **Balearonethes sesrodesanus**, generic endemism which should be especially protected, living in a small geographical area and whose ecological requirements remain unknown; among the choleoptera, **Leptobhytus palaui** (Pselafidae) is an endemic species just found in one single cavity, likewise the **Reicheia balearica** (Escaritidae). There are other groups of arthropoda

lor biogeogràfic (BELLÉS, 1987). En termes generals, l'estat de conservació de la fauna cavernícola i dels distints hàbitats subterranis és satisfactori (PONS, 1991). Però cal constatar la vulnerabilitat de les espècies distribuïdes a una sola o poques localitats: el crustaci *Balearonethes sesrodesanus*, un endemisme genèric que cal protegir amb especial atenció, habita una àrea geogràfica molt reduïda i se'n desconeixen els requeriments ecològics; entre els coleòpters, *Leptobhytus palaui* (Pselafidae) és també un gènere endèmic conegut sols d'una cavitat; *Reicheia balearica* (Escaritidae) està igualment acantonat a una sola cova. Altres grups d'artropodes que presenten interessants organismes troglobis són els pseudoscorpins, amfípodes, isòpodes, etc.

Els quiròpters cavernícoles han sofert una regressió poblacional, probablement a causa de l'ús d'insecticides com a factor més important. L'administració ha barrat l'accés a algunes cavitats, per evitar el vandalisme sobre certes colònies especialment vulnerables. Convé mantenir i estendre aquesta actuació als casos justificats.

Pel que pertoca als hàbitats, els d'importància més extraordinària són els llacs anchihalins, amb una fauna carcinològica d'interès excepcional. Aquests ambients són presents no sols a Mallorca, sinó també a Cabrera i sa Dragonera. La diversitat d'organismes i la complexitat ecològica d'aquests ambients són molt elevades (GINÉS, 1983). Les de Cabrera gaudeixen de serioses mesures de protecció, garantides per l'estatus de Parc Nacional de l'illa. A sa Dragonera, en canvi, es manté un ús incontrolat de l'aigua de la Cova des Moro, que és convenient estalviar. En qualsevol cas, les coves del carst costaner mereixen mesures addicionals de protecció, ja que les investigacions zoològiques en curs, les primeres d'Europa en aquests ambients, confirmen la singularitat dels seus valors.

Amb caràcter general, és prioritari promoure la salvaguarda de cavitats representatives de cada un dels tipus d'ambients de l'endocarst, així com les més singulars pel valor de les seves formacions o de la seva fauna.

La protecció legal i efectiva del medi subterrani

TERCAFS (1992) ha publicat una anàlisi detallada i útil dels problemes de protecció de la fauna cavernícola i del medi subterrani. Molts dels criteris d'aquest autor es poden aplicar a Mallorca. Altres publicacions complementàries que poden tenir interès al cas balear són les de DAVEY & WHITE (1986), HILL & FORTI (1986) i MARKER & GAMBLE (1987).

D'acord amb la legislació espanyola, la protecció dels ecosistemes subterranis és una obligació administrativa, que es deriva de la Ley 4/1989, de "Pro-

(pseudoscorpions, amphipods, isopods, etc.) that include interesting troglobitic organisms.

The cave bats have suffered a substantial regression of their population most probably due to the use of insecticides. Some caves have been closed with special gates by the Administration to prevent several highly vulnerable colonies from vandalism. This kind of action should be maintained and extended to the justified cases.

In relation to habitats, the most extraordinary ones are the anchihaline cave-pools which host an exceptional carcinologic fauna. These environments are also present in Dragonera and Cabrera islands. The biodiversity and the ecological complexity of these environments are relevant (GINÉS, 1983). In Cabrera, they happen to be highly protected, supported by the present-day status of National Park of the island. In Dragonera, however, there is still an uncontrolled extraction of water from Cova des Moro which should be stopped. In any case, the singularity of the coastal karstic caves is worth the application of additional protective measures as confirmed by the success of the zoological research in course, the first of its kind carried out in Europe.

In general, it is priority to promote the safeguard of the most representative cavities containing each type of endokarstic environment, as well as the most singular ones because of their richness of karstic formations and fauna.

The legal and effective protection of the subterranean environment

TERCAFS (1992) has published a detailed and useful analysis of the protection problems relating to the cave fauna and its habitat. Most of his criteria can be assumed to Mallorca. Other complementary publications that could be interesting to the Balearic case are those of DAVEY & WHITE (1986), HILL & FORTI (1986) and MARKER & GAMBLE (1987).

According to the Spanish "Ley 4/1989, de protección de los espacios naturales y de la fauna y flora silvestres", the protection of the subterranean ecosystems is compulsory for the Government. That regulation loads on the public Administration the duty of preserving every species of flora and fauna, giving especial attention to the autochthonous ones, and to the preservation of their habitats (Art. 26). In the same way, the law determines that endemic species and subspecies must be priority in this respect (Art. 27).

At European level, it is outstanding the Directive 92/43/EC, relative to the natural habitats and the wild fauna and flora conservation. This directive dictaminates that those member States must designate as special conservation zones —among many others— the unexploited wild caves, the caves

tección de los espacios naturales y de la fauna y flora silvestres" que atribueix a les administracions públiques el deure de preservar totes les espècies de la flora i la fauna, amb especial atenció a les autòctones i la preservació dels hàbitats (Art. 26). Igualment, la llei determina que s'ha de concedir prioritat a les espècies i subespècies endèmiques (Art. 27).

A nivell europeu, cal destacar la Directiva 92/43/CEE relativa a la conservació dels hàbitats naturals i de la fauna i flora silvestres. Aquesta directiva determina que els estats membres han de designar zones especials de conservació —entre moltes altres— a les coves no explotades pel turisme; a refugis de quiròpters cavernícoles; als biòtops del Ferreret (és a dir, els canyons càrstics).

Fins avui, però, la norma que ens resulta de més interès és el Conveni relatiu a la Conservació de la Vida Silvestre i el Medi Natural a Europa, conegut com a Conveni de Berna. Aquest text (inspirador de la Ley 4/1989, ja esmentada), ha estat desenvolupat en relació als hàbitats subterranis pel seu Comitè Permanent, a la seva recomanació num. 36 a l'any 1992. Entre els punts que semblen prioritaris d'aquesta recomanació, en les circumstàncies mallorquines, volem destacar els següents:

- 1) Formació d'un inventari d'hàbitats subterranis d'interès biològic.
- 2) Assignar un status de protecció a una selecció dels biòtops representatius dels hàbitats subterranis, i gestionar-los de manera adequada.

El criteri que aquest comitè ha seleccionat per a considerar un hàbitat com d'interès biològic és que es compleixi una o varies de les condicions següents:

- a) Presència d'espècies adaptades a la vida subterrània
- b) Presència d'espècies relictas
- c) Presència d'espècies vulnerables
- d) Presència d'espècies endèmiques
- e) Presència d'espècies rares
- f) Presència de quiròpters
- g) Biodiversitat relativament elevada
- h) Originalitat de l'hàbitat
- i) Interès científic i
- j) Vulnerabilitat de l'hàbitat.

Pel que fa als criteris d'aplicació de la protecció, el Comitè Permanent del Conveni de Berna ha assenyalat els següents:

- a) Delimitar i protegir la zona de vulnerabilitat potencial (zona de recàrrega de l'aquífer);
- b) Protegir la perifèria i superfície sobre la cavitat, per la seva influència directa sobre les seves biocenosis;
- c) Considerar particularitats geohidrològiques en el cas de coves;
- d) Investigacions i cartografia del Medi Subterrani Superficial (MSS), la importància del qual sols va començar a ser coneguda als anys 80;

inhabited by bats and the special "Ferreret" biotopes (i.e. the karstic gorges).

However, up to now the most interesting norm for us is the Agreement related to the Conservation of Wildlife and the Natural Environments in Europe, known as the Berna Agreement. This text (which inspired the Ley 4/1989 mentioned above) has been developed in 1992 by the Permanent Committee as the Recommendation No. 36 concerning the subterranean habitat. We would like to stress from such Recommendation the following points which appear to be priority in the Majorcan circumstances:

- 1) *Elaboration of an inventory of subterranean habitats of biological interest.*
- 2) *Assignment of a protection status for a selection of those representative biotopes of the subterranean habitats, and its appropriate management.*

The Committee's criteria to consider a habitat as "of biological interest" has been the accomplishment of one or more of these conditions:

- a) *Presence of species adapted to subterranean life*
- b) *Presence of relict species*
- c) *Presence of vulnerable species*
- d) *Presence of endemic species*
- e) *Presence of rare species*
- f) *Presence of bats*
- g) *Relatively high biodiversity*
- h) *Uniqueness of the habitats*
- i) *Scientific interest, and*
- j) *Habitat vulnerability*

As for the implementation criteria concerning protection, the Permanent Committee of the Berna Agreement pointed out the following ones:

- a) *Delimitation and protection of the potentially vulnerable karstic area (i.e. the aquifer recharge zone);*
- b) *Protection of the surrounding and outer surface of the cave, as they affect directly its biocenosis;*
- c) *Considering the geohydrological peculiarities of the caves;*
- d) *Research and charting of the superficial subterranean compartment (M.S.S, milieu souterrain superficiel) which importance had been ignored until the eighties;*
- e) *Prevention from pollution, artificial land-fill or erosion regarding the interstitial habitat of subsurface waterpaths;*
- e) *Control of the hydraulic public works;*
- g) *Control of the use of caves, including a previous and rigorous Environmental Impact Assessment;*
- h) *Rational policy for the cleaning of the caves (what certainly is a positive task provided it is not exhaustive, as the feeding of the cave fauna relies on the superficial organic matter reaching the cavities);*

tecció de los espacios naturales y de la fauna y flora silvestres" que atribueix a les administracions públiques el deure de preservar totes les espècies de la flora i la fauna, amb especial atenció a les autòctones i la preservació dels hàbitats (Art. 26). Igualment, la llei determina que s'ha de concedir prioritat a les espècies i subespècies endèmiques (Art. 27).

A nivell europeu, cal destacar la Directiva 92/43/CEE relativa a la conservació dels hàbitats naturals i de la fauna i flora silvestres. Aquesta directiva determina que els estats membres han de designar zones especials de conservació —entre moltes altres— a les coves no explotades pel turisme; a refugis de quiròpters cavernícoles; als biòtops del Ferreret (és a dir, els canyons càrstics).

Fins avui, però, la norma que ens resulta de més interès és el Conveni relatiu a la Conservació de la Vida Silvestre i el Medi Natural a Europa, conegut com a Conveni de Berna. Aquest text (inspirador de la Ley 4/1989, ja esmentada), ha estat desenvolupat en relació als hàbitats subterranis pel seu Comitè Permanent, a la seva recomanació num. 36 a l'any 1992. Entre els punts que semblen prioritaris d'aquesta recomanació, en les circumstàncies mallorquines, volem destacar els següents:

- 1) Formació d'un inventari d'hàbitats subterranis d'interès biològic.
- 2) Assignar un status de protecció a una selecció dels biòtops representatius dels hàbitats subterranis, i gestionar-los de manera adequada.

El criteri que aquest comitè ha seleccionat per a considerar un hàbitat com d'interès biològic és que es compleixi una o varies de les condicions següents:

- a) Presència d'espècies adaptades a la vida subterrània
- b) Presència d'espècies relictas
- c) Presència d'espècies vulnerables
- d) Presència d'espècies endèmiques
- e) Presència d'espècies rares
- f) Presència de quiròpters
- g) Biodiversitat relativament elevada
- h) Originalitat de l'hàbitat
- i) Interès científic i
- j) Vulnerabilitat de l'hàbitat.

Pel que fa als criteris d'aplicació de la protecció, el Comitè Permanent del Conveni de Berna ha assenyalat els següents:

- a) Delimitar i protegir la zona de vulnerabilitat potencial (zona de recàrrega de l'aquífer);
- b) Protegir la perifèria i superfície sobre la cavitat, per la seva influència directa sobre les seves biocenosis;
- c) Considerar particularitats geohidrològiques en el cas de coves;
- d) Investigacions i cartografia del Medi Subterrani Superficial (MSS), la importància del qual sols va començar a ser coneguda als anys 80;

inhabited by bats and the special "Ferreret" biotopes (i.e. the karstic gorges).

However, up to now the most interesting norm for us is the Agreement related to the Conservation of Wildlife and the Natural Environments in Europe, known as the Berna Agreement. This text (which inspired the Ley 4/1989 mentioned above) has been developed in 1992 by the Permanent Committee as the Recommendation No. 36 concerning the subterranean habitat. We would like to stress from such Recommendation the following points which appear to be priority in the Majorcan circumstances:

- 1) *Elaboration of an inventory of subterranean habitats of biological interest.*
- 2) *Assignment of a protection status for a selection of those representative biotopes of the subterranean habitats, and its appropriate management.*

The Committee's criteria to consider a habitat as "of biological interest" has been the accomplishment of one or more of these conditions:

- a) *Presence of species adapted to subterranean life*
- b) *Presence of relict species*
- c) *Presence of vulnerable species*
- d) *Presence of endemic species*
- e) *Presence of rare species*
- f) *Presence of bats*
- g) *Relatively high biodiversity*
- h) *Uniqueness of the habitats*
- i) *Scientific interest, and*
- j) *Habitat vulnerability*

As for the implementation criteria concerning protection, the Permanent Committee of the Berna Agreement pointed out the following ones:

- a) *Delimitation and protection of the potentially vulnerable karstic area (i.e. the aquifer recharge zone);*
- b) *Protection of the surrounding and outer surface of the cave, as they affect directly its biocenosis;*
- c) *Considering the geohydrological peculiarities of the caves;*
- d) *Research and charting of the superficial subterranean compartment (M.S.S, milieu souterrain superficiel) which importance had been ignored until the eighties;*
- e) *Prevention from pollution, artificial land-fill or erosion regarding the interstitial habitat of subsurface waterpaths;*
- e) *Control of the hydraulic public works;*
- g) *Control of the use of caves, including a previous and rigorous Environmental Impact Assessment;*
- h) *Rational policy for the cleaning of the caves (what certainly is a positive task provided it is not exhaustive, as the feeding of the cave fauna relies on the superficial organic matter reaching the cavities);*

- Qualsevol previsió d'actuacions als punts o espais documentats en aquestes bases de dades ha de comptar amb procediments d'avaluació d'impacte ambiental, amb les consultes pertinents als especialistes competents.
- Aquest procediment ha de ser especialment rigorós en el cas d'obres públiques i actuacions urbanístiques.
- Formar plans de recursos naturals i d'ús i gestió realistes, amb previsió de les diverses funcions recreatives als Espais Naturals Protegits (en especial, la Serra de Tramuntana, sa Dragonera i Cabrera), per evitar els impactes que aquestes puguin ocasionar sobre les localitats càrstiques.
- Ordenar les activitats excursionistes i de temps lliure, en especial els esports d'aventura, que es desenvolupen als paratges càrstics.
- Potenciar el paper de les federacions esportives (Muntanyisme, Espeleologia), entitats excursionistes i O.N.G. relacionades amb el medi natural, per millorar la conscienciació dels visitants de cavitats, torrents i paratges càrstics.
- Millorar la interpretació i oferta cultural de les cavitats explotades turísticament, amb aspectes educatius i científics.
- Restringir l'accés a determinades localitats càrstiques en funció de la vulnerabilitat dels seus valors (biològic, geològic, escènic o arqueològic) i de la seva capacitat de càrrega.
- Incloure als programes públics d'educació ambiental els valors paisatgístics, ecològics i científics del carst de Mallorca i la necessitat de la seva conservació.
- *This procedure must be specially rigorous for public and urbanistic works;*
- *Elaborating programmes for natural resources and for realistic use and management, taking into account the different recreational functions within the Natural Protected Areas (especially in Serra de Tramuntana, Dragonera and Cabrera), so as to avoid a possible impact on the karst localities;*
- *Control of hiking and leisure activities, with special reference to adventure sports developed on karstic sceneries;*
- *Promoting the role of sporting federations (mountaineering and climbing, speleology), ramblers clubs and NGO related to the natural environment, in order to reinforce the awareness of the visitors of cavities, gorges and karstic landscapes;*
- *Improving the information and cultural offer of show caves exploited for tourism by means of educational and scientific support;*
- *Restricting the access to the karstic sites in terms of their values (biological, geological, aesthetic or archeological) and their loading capacity;*
- *Including in the public environmental education programmes the scenic, ecological and scientific values of the karst of Mallorca, as well as its conservation requirements.*

Bibliografia / References

- ALCOVER, J.A.; MAYOL, J.; JAUME, D.; ALOMAR, G.; POMAR, G. & JURADO, J. (1984): Biología i ecologia de les poblacions relictas de *Baleaphryne muletensis* a la muntanya mallorquina. In: HEMMER, H. & ALCOVER, J.A. (Eds.): *Història biològica del Ferreret*. Editorial Moll. 129-151. Palma de Mallorca.
- BELLÉS, X. (1987): *Fauna cavernícola i intersticial de la Península Ibèrica i les Illes Balears*. CSIC-Editorial Moll. 207 pàgs. Palma de Mallorca.
- DAVEY, A.G. & WHITE, S. (1986): *Management of Victorian caves and karst*. Department of Conservation, Forests and Lands, Victoria. 74 pàgs. Melbourne.
- FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W. (1989): *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin Hyman Ltd. 601 pàgs. Londres.
- GINÉS, A. (1983): *Bioespeleologia del Karst mallorquí. Datos ecológicos preliminares*. Tesis de Licenciatura U.I.B. Federació Balear d'Espeleologia (xerocopiado). 219 pàgs. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1987): Características espeleológicas del Karst de Mallorca. *Endins*. 13 : 3-19. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A.; FIOL, L.A.; POL, A. & ROSSELLÓ, J.A. (1989): Morfologia i vegetació d'un grup de dolines de la Serra de Tramuntana (Mallorca). *Endins*. 14-15 : 43-52. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1989): El karst en las Islas Baleares. In: DURÁN, J.J. & LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. (Eds.): *El karst en España*. S.E.G. Monografía 4. 163-174. Madrid.
- HILL, C.A. & FORTI, P. (1986): *Cave minerals of the World*. National Speleological Society. 238 pàgs. Huntsville.
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. & DURÁN, J.J. (1989): Usos y aprovechamientos de cavidades y paisajes kársticos. In: DURÁN, J.J. & LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. (Eds.): *El karst en España*. S.E.G. Monografía 4. 391-402. Madrid.
- MARKER, M.E. & GAMBLE, F.M. (1987): Karst in Southern Africa. *Endins*. 13 : 93-98. Palma de Mallorca.
- MAYOL, J. & MACHADO, A. (1992): *Medi ambient, ecologia i turisme a les Illes Balears*. Editorial Moll. 130 pàgs. Palma de Mallorca.
- PONS, G. (1991): *Llista vermella de la fauna cavernícola de les Balears*. Documents tècnics de conservació núm. 10. Govern Balear. 150 pàgs. Palma de Mallorca.
- TERCAFS, R. (1992): The protection of the subterranean environment. Conservation principles and management tools. In: CAMACHO, A.I. (Ed.): *The Natural History of Biospeleology*. CSIC-Museo Nacional de Ciencias Naturales. 481-522. Madrid.
- WHITE, W.B. (1988): *Geomorphology and Hydrology of karst terrains*. Oxford University Press. 464 pàgs. New York.
- YUAN, D. (1991): *Karst of China*. Geological Publishing House. 224 pàgs. Beijing.

