



Universitat
de les Illes Balears

TESI DOCTORAL
2015

Programa de Doctorat de Geografia

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

Francesc Gràcia Lladó

Director: Joan J. Fornós Astó

Doctor per la Universitat de les Illes Balears



Universitat
de les Illes Balears

TESI DOCTORAL
2015

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

Francesc Gràcia Lladó



Universitat
de les Illes Balears

TESI DOCTORAL 2015
Programa de Doctorat de Geografia

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



Francesc Gràcia Lladó

Director: Joan J. Fornós Astó

Doctor per la Universitat de les Illes Balears

A la meva família, per les llargues absències
Als companys i amics espeleobussejadors i espeleòlegs
Als exploradors que il·luminen les tenebres eternes

In Mateu Febrer Bauzà (1980-2012) Memoriam
**Amic, de ben segur que ens esperes a l'altre costat del sífó a on
queden encara tantes coses per explorar...**

ÍNDEX

AGRAÏMENTS.....	3
-----------------	---

PART I. INTRODUCCIÓ I MARC METODOLÒGIC

Capítol 1. INTRODUCCIÓ.....	11
-----------------------------	----

1.1. Estructura del treball i objectius.....	11
--	----

1.2. Definició de cavitat litoral i de cavitat subaquàtica.....	13
---	----

1.3. La dissolució de la roca calcària a la zona de mescla litoral.....	14
---	----

1.4. Taules de situació i caracterització de les cavitats.....	15
--	----

1.5. Cavitats d'abrasió marina <i>versus</i> coves càrstiques litorals.....	19
---	----

1.6. Material i mètode.....	36
-----------------------------	----

Capítol 2. L'ESPELEOGÈNESI I CONDICIONANTS LITOLÒGICS.....	47
--	----

2.1. L'espeleogènesi al carst litoral de Mallorca.....	47
--	----

2.2. Estratigrafia i condicionants litològics.....	53
--	----

2.3. Els dipòsits del Miocè superior del Migjorn i Llevant de Mallorca.....	55
---	----

2.4. Els dipòsits del Pliocè i Pleistocè de la depressió de Campos.....	62
---	----

PART II. ANTECEDENTS

Capítol 3. HISTÒRIA DE LES EXPLORACIONS ESPELEOLÒGIQUES SUB-AQUÀTIQUES AL LLEVANT I MIGJORN DE MALLORCA	69
---	----

3.1. Exploracions abans del 1994.....	69
---------------------------------------	----

3.2. Exploracions d'ençà del 1994.....	75
3.3. Accidents mortals documentats.....	82
Capítol 4. CLASSIFICACIÓ DE LES CAVITATS DE MALLORCA.....	87
4.1. Els avencs de la zona vadosa.....	88
4.2. Les coves de la zona vadosa.....	92
4.3. Les coves freàtiques no litorals.....	96
4.4. Les coves de la franja litoral.....	99
Capítol 5. ALTRES CAVITATS LITORALS DE L'ESTAT ESPANYOL.....	105
5.1. La cova de na Polida i la cova de s'Aigua (Menorca, Balears)	106
5.2. La Falconera (Catalunya).....	107
5.3. La cova del Moraig (València).....	110
5.4. Túnel de la Atlántida del Tubo de lava La Corona (Lanzarote, Canarias)..	114
5.5. La cueva del Agua (Cartagena).....	121
Capítol 6. PRINCIPALS ÀREES GEOGRÀFIQUES DE CARST EOGENÈTIC LITORAL DEL MÓN	127
6.1. Introducció.....	127
6.2. Península del Yucatán (Mèxic i Belize).....	128
6.3. República Dominicana (La Hispaniola).....	139
6.4. Bahamas.....	141
6.5. Bermudas (Gran Bretanya).....	144
6.6. Plana de Nullarbor (Austràlia).....	146

PART III. CAVITATS LITORALS DEL LLEVANT I MIGJORN DE MALLORCA AMB CONTINUACIONS SUBAQUÀTIQUES

Capítol 7. CAVITATS LITORALS DEL MIGJORN OCCIDENTAL.....153

7.1. La cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor).....155

- Situació geogràfica
- Història resumida de les exploracions i de les feines de camp
- Descripció de la cavitat
- Superposició de la cavitat respecte de la superfície
- Espeleogènesi
- Els condicionals litològics
- Característiques hidrològiques de la cavitat
- Morfologies de corrosió
- Morfologies hipogèniques
- Els espeleotemes
- Sales d'esfondrament
- Els sediments
- Part faunística
- Part paleontològica
- Conservació de la cavitat

7.2. Es Dolç (Ses Salines).....223

- Situació geogràfica
- Història resumida de les exploracions i de les feines de camp
- Descripció de la cavitat
- Superposició de la cavitat respecte de la superfície
- Espeleogènesi
- Els condicionants litològics
- Datació per luminiscència de les eolianites quaternàries
- Anàlisi morfomètrica de la cavitat
- Característiques hidrològiques de la cavitat
- Morfologies hipogèniques
- Morfologies de corrosió
- Els espeleotemes
- Sales d'esfondrament
- Els sediments
- Restes arqueològiques
- Part faunística
- Conservació de la cavitat

Capítol 8. CAVITATS LITORALS DEL MIGJORN ORIENTAL287

8.1. La cova dels Ases (Felanitx).....289

Situació geogràfica
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp
Descripció de la cavitat
Superposició de la cavitat respecte de la superfície
Espeleogènesi
Morfologies de corrosió
Els espeleotemes
Sales d'esfondrament
Els sediments
Restes arqueològiques
Part faunística
Part paleontològica
Conservació de la cavitat

8.2. La cova de sa Sínia (Felanitx).....303

Situació geogràfica
Història de les exploracions
Descripció de la cavitat
Superposició de la cavitat respecte de la superfície
Espeleogènesi
Morfologies de corrosió
Els espeleotemes
Sales d'esfondrament
Els sediments
Part faunística
Conservació de la cavitat

8.3. La cova des Coll (Felanitx).....307

Situació geogràfica
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp
Descripció de la cavitat
Superposició de la cavitat respecte de la superfície
Espeleogènesi
Característiques hidrològiques de la cavitat
Morfologies de corrosió
Els espeleotemes
Sales d'esfondrament
Els sediments
Restes arqueològiques
Part faunística
Part paleontològica
Conservació de la cavitat

8.4. La cova d'en Bassol (Felanitx).....359

Situació geogràfica
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp
Descripció de la cavitat
Superposició de la cavitat respecte de la superfície
Espeleogènesi

Característiques hidrològiques de la cavitat
Morfologies de corrosió
Els espeleotemes
Sales d'esfondrament
Els sediments
Part faunística
Part paleontològica
Conservació de la cavitat

8.5. La cova de ses Barraques (Felanitx).....387

Situació geogràfica
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp
Descripció de la cavitat
Superposició de la cavitat respecte de la superfície
Espeleogènesi
Característiques hidrològiques de la cavitat
Morfologies de corrosió
Els espeleotemes
Sales d'esfondrament
Els sediments
Restes arqueològiques
Conservació de la cavitat

8.6. La cova Submarina de Cala sa Nau (Felanitx).....391

Situació geogràfica
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp
Descripció de la cavitat
Superposició de la cavitat respecte de la superfície
Espeleogènesi
Característiques hidrològiques de la cavitat
Morfologies de corrosió
Els espeleotemes
Sales d'esfondrament
Els sediments
Restes arqueològiques
Conservació de la cavitat

8.7. La cova de Cala Mitjana (Felanitx).....395

Situació geogràfica
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp
Descripció de la cavitat
Superposició de la cavitat respecte de la superfície
Espeleogènesi
Morfologies de corrosió
Els espeleotemes
Sales d'esfondrament
Conservació de la cavitat

8.8. La cova des Drac de Cala Santanyí (Santanyí).....399

Situació geogràfica
Aproximació al topònim de la cova des Drac
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp
Descripció de la cavitat
Superposició de la cavitat respecte de la superfície
Espeleogènesi
Característiques hidrològiques de la cavitat
Morfologies de corrosió
Els espeleotemes
Sales d'esfondrament
Sediments
Restes arqueològiques
Part faunística
Conservació de la cavitat

Capítol 9. CAVITATS LITORALS DEL LLEVANT.....415

9.1. La cova de s'Abisament (Sant Llorenç des Cardassar).....417

Situació geogràfica
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp
Descripció de la cavitat
Espeleogènesi
Característiques hidrològiques de la cavitat
Morfologies de corrosió
Els espeleotemes
Sales d'esfondrament
Part faunística
Conservació de la cavitat

9.2. La cova Novella de na Llebrona (Manacor).....425

Situació geogràfica
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp
Descripció de la cavitat
Espeleogènesi
Espeleotemes
Sales d'esfondrament
Restes arqueològiques
Part faunística
Conservació de la cavitat

9.3. Les coves del Drac (Manacor).....431

Situació geogràfica
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp
Descripció de la cavitat
Superposició de la cavitat respecte de la superfície

Espeleogènesi	
Morfologies hipogèniques	
Morfologies de corrosió	
Els espeleotemes	
Sales d'esfondrament	
Els sediments	
Restes arqueològiques	
Part faunística	
Conservació de la cavitat	
9.4. Es Dolç de Cala Murta (Manacor).....	471
Situació geogràfica	
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp	
Descripció de la cavitat	
Superposició de la cavitat respecte de la superfície	
Característiques hidrològiques de la cavitat	
Morfologies de corrosió	
9.5. La cova des Coloms de Cala Anguila (Manacor).....	477
Situació geogràfica	
Descripció de la cavitat	
Superposició de la cavitat respecte de la superfície	
Morfologies de corrosió	
Els espeleotemes	
Els sediments	
9.6. La cova Genovesa o cova d'en Bessó (Manacor).....	479
Situació geogràfica i consideracions toponímiques	
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp	
Descripció de la cavitat	
Superposició de la cavitat respecte de la superfície	
Espeleogènesi	
Anàlisi morfomètrica de la cavitat	
Característiques hidrològiques de la cavitat	
Morfologies de corrosió	
Els espeleotemes	
Sales d'esfondrament	
Els sediments	
Restes arqueològiques	
Part faunística	
Part paleontològica	
Conservació de la cavitat	
9.7. El sistema Pirata-Pont-Piqueta (Manacor).....	527
Situació geogràfica	
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp	
Descripció de la cavitat	
Superposició de la cavitat respecte de la superfície	
Espeleogènesi	

Característiques hidrològiques de la cavitat
Morfologies de corrosió
Els espeleotemes
Sales d'esfondrament
Els sediments
Valors arqueològics
Part faunística
Troballes paleontològiques
Conservació de la cavitat

9.8. La cova des Coloms de Cala Falcó o cova des Coloms 1 (Manacor).....569

Situació geogràfica
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp
Descripció de la cavitat
Espeleogènesi
Morfologies de corrosió
Els espeleotemes
Conservació de la cavitat

9.9. El sistema Gleda-Camp des Pou (Manacor).....579

Situació geogràfica
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp
Descripció de la cavitat
Superposició de la cavitat respecte de la superfície
Espeleogènesi
La roca encaixant
Característiques hidrològiques de la cavitat
Morfologies de corrosió
Els espeleotemes
Sales d'esfondrament
Els sediments
Restes arqueològiques
Part faunística
Conservació de la cavitat

9.10. La cova de Cala Varques ACD o cova des Xuetes (Manacor).....657

Situació geogràfica
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp
Descripció de la cavitat
Superposició de la cavitat respecte de la superfície
Espeleogènesi
Els espeleotemes
Sales d'esfondrament
Sediments
Part faunística
Conservació de la cavitat

9.11. La cova de Cala Varques B (Manacor).....667

Situació geogràfica
Història resumida de les exploracions i de les feines de camp
Descripció de la cavitat
Superposició de la cavitat respecte de la superfície
Espeleogènesi
Morfologies de corrosió
Els espeleotemes
Sales d'esfondrament
Els sediments
Part paleontològica
Conservació de la cavitat

PART IV. DISCUSSIÓ DEL CARST COSTANER

Capítol 10. PATRONS DE LES COVES AL CARST EOGENÈTIC COSTANER DEL MIGJORN I LLEVANT DE MALLORCA683

10.1. Introducció.....	683
10.2. Topografia de cavitats: Una qüestió d'accessibilitat.....	685
10.3. Topografia de coves: Una qüestió de metodologia i estratègia de mostreig.....	686
10.4. Mapes de segments de coves.....	687
10.5. Mapes de coves individuals.....	689
10.6. Mapes de sistemes de coves en el carst del Llevant i Migjorn.....	690

Capítol 11. CARACTERÍSTIQUES HIDROLÒGIQUES DE LES CAVITATS.....693

11.1. Introducció.....	693
11.2. Perfils verticals de salinitat i temperatura.....	695
11.3. Les cavitats com a surgències submarines.....	705

Capítol 12. LES MORFOLOGIES DE CORROSIÓ DE LA ZONA DE MESCLA..707

12.1. Introducció.....	707
12.2. Espeleogènesi.....	708

12.3. Hidrologia.....	708
12.4. Catàleg de morfologies de corrosió.....	709
Megaformes	
Macroformes	
Mesoformes	
Microformes	
Capítol 13. LES MORFOLOGIES HIPOGÈNIQUES	733
13.1. Introducció.....	733
13.2. Catàleg de morfologies hipogèniques.....	737
Megaformes	
Macroformes	
Mesoformes	
Microformes	
Capítol 14. ELS ESPELEOTEMES DE LES CAVITATS INUNDADES.....	751
14.1. Introducció.....	751
14.2. Espeleotemes de degoteig.....	752
14.3. Espeleotemes de flux.....	757
14.4. Espeleotemes produïts per capil·laritat i formes botrioidals.....	759
14.5. Espeleotemes subaquàtics d'origen vadós.....	762
14.6. Espeleotemes subaquàtics d'origen freàtic costaner.....	768
14.7. Espeleotemes afectats per la corrosió.....	771
Capítol 15. ELS SEDIMENTS DE LES CAVITATS INUNDADES.....	773
15.1. Introducció.....	773
15.2. Metodologia utilitzada en l'estudi del registre sedimentari.....	775
15.3. El cicle sedimentari a l'interior del sistema càrstic.....	777
15.4. Fàcies sedimentàries.....	778

Fàcies de bretxes de col·lapse
Fàcies clàstiques fines
Fàcies clàstiques de talús d'entrada
Fàcies d'entrada: eolianites
Fàcies d'entrada d'origen marí
Fàcies carbonatades no clàstiques (autòctones)
Fàcies relacionades amb sedimentació hipogènica

Capítol 16. LES SALES D'ESFONDAMENT795

16.1. Introducció.....795

16.2. Les sales d'esfondrament al Migjorn i Llevant.....796

16.3. Principals sales d'esfondrament.....802

Capítol 17. RELACIÓ GENÈTICA ENTRE COVES, CALES I ALTRES ENTRANTS.....813

17.1. Introducció.....813

17.2. Les captures càrstico-marines.....814

17.3. Exemples d'interacció entre cales i cavitats litorals.....817

17.4. La formació de cales en relació a cavitats de Yucatán: las caletes.....822

Capítol 18. COVES LITORALS COM A HÀBITATS ANQUIHALINS.....825

18.1. Introducció.....825

18.2. Organismes sèssils filtradors.....827

18.3. La fauna carcinològica dels hàbitats anquihalins de Mallorca.....828

Introducció
Història de les recerques
Característiques principals de les cavitats
Aspectes biogeogràfics

18.4. Catàleg faunístic.....838

Ordre Decàpode
Ordre Mysidacea
Ordre Thermosbaenacea
Ordre Amphipoda

**Ordre Isopoda
Ordre Calanoida
Ordre Misophrioida
Ordre Cyclopoida
Ordre Harpacticoida**

18.5. Presència d'anguiles.....	853
Capítol 19. TROBALLES PALEONTOLÒGIQUES	855
19.1. Introducció.....	855
19.2. Organismes de la roca mare dipositats abans de la formació de la cova...	856
19.3. Organismes del Quaternari que varen entrar dins les cavitats.....	866
Capítol 20. DESCOBRIMENTS ARQUEOLÒGICS	881
20.1. Introducció.....	881
20.2. Distribució espacial i temporal de les troballes.....	881
20.3. Cavitats amb troballes arqueològiques.....	887
Capítol 21. LA CONSERVACIÓ I PROTECCIÓ DE LES CAVITATS.....	917
21.1. Introducció.....	917
21.2. Normatives relacionades amb la conservació.....	917
Normativa europea	
Normativa estatal	
Normativa autonòmica	
21.3. Agressions i problemàtiques a les cavitats estudiades.....	924
21.4. Protecció de les cavitats.....	937
21.5. Són suficients les mesures de protecció?.....	942
21.6. Divulgació i conservació.....	947

PART V. CONCLUSIONS I BIBLIOGRAFIA

Capítol 22. CONCLUSIONS951

Capítol 23. BIBLIOGRAFIA961



*“... Tout ceci démontre amplement
que la caverne du Dragon est en somme une
grotte marine, mais d’exceptionnelle étendue ...
Aussi est-ce la mer, et non pas une rivière souterraine qui
paraît avoir creusé la Cueva del Drach ...
dans ces conditions, les grosses tempêtes introduisent aisément,
le long des plans d’interstratification, les vagues qui
peuvent alors élargir, par corrosion et érosion, toutes
les fissures de la roche ...”*

Édouard-Alfred MARTEL, 1896.

Sous Terre. Cueva del Drach, à Majorque.

Annuaire du Club Alpin Français. France.

Agraïments

Aquesta Tesi és obra de l'esforç i dedicació titànic compartit amb molts companys. Plegats hem efectuat exploracions i tasques setmanalment al llarg de gairebé 22 anys ininterromputs. El resultat són més de 55 km de galeries i sales de cavitats inundades explorades i topografiades al llarg de més de 1.000 dies. Les troballes documentades suposen una contribució considerable al coneixement de l'endocarst mallorquí. Però principalment els he d'agrair haver pogut viure i compartir una vida privilegiada de somnis aquàtics dins jardins de pedra.

La pluridisciplinalitat de l'estudi de les cavitats litorals és del tot inqüestionable, fan falta bons espeleobussejadors que siguin exploradors, topògrafs o fotògrafs. Però també és necessària la contribució de geòlegs, zoòlegs, paleontòlegs, geògrafs i arqueòlegs per documentar amb un mínim de serietat i de forma interactiva les troballes efectuades. Per la qual cosa, aquest apartat d'agraïments s'ha de subdividir en dos grans blocs, per una part els espeleobussejadors i espeleòlegs, amb els quals he tingut el privilegi de fer feina de camp i per altra banda els científics que han contribuït amb tasques de laboratori i gabinet.

Per començar, he d'agrair als espeleobussejadors del Grup Nord de Mallorca i d'altres grups la immensa feina feta a les cavitats. D'ençà que vam començar l'any 1994, s'ha de reconèixer i valorar, per ordre cronològic, les tasques dels amics i companys: Peter Watkinson, Bernat Clamor, Robert Landreth, Owen Clarke, Juan José Lavergne, Miquel Àngel Gual, Mateu Febrer, Pere Gamundí, Jaume Pocoví, Pedro Gracia, Antoni Cirer, Antoni Cifre, Miquel Àngel Perelló, Miquel Àngel Vives, Freddy Fernández, Nicolás Betton, Maria Martínez Palou, Juan Carlos Lázaro, Guillem Mascaró, Joan Pérez, Anders Kristofersson i Davide Ansali. Ells han estat els companys idonis i els grans col·laboradors en les tasques d'exploració, topografia, fotografia i filmació. Maldament alguns no han estat actius més que uns pocs anys, així i tot la seva contribució ha estat d'allò més preuat.

Als companys espeleo-fotògrafs subaquàtics Tomeu Bordoy, César Bodi, Robert Landreth, Óscar Espinasa, Pedro Gràcia, Miquel Àngel Perelló i Antoni Cirer per la seva excel·lent tasca fotogràfica i professionalitat. Han estat o són fotògrafs subaquàtics capaços d'entrar als llocs més difícils i allunyats, sense protestar, amb l'objectiu de retratar i permetre compartir el món subterrani inundat.

A la Federació Balear d'Espeleologia i als amics espeleòlegs terrestres Tòfol Monserrat, Miquel Alexandre Dot, Moisés Bonnín, Miquel Trias, Francesc Ruiz, Antoni Merino, Antoni Croix, Marc Crespí, Bartomeu Plomer, Joan Montfort, Damià Vicens, Damià Crespí, Antelm Ginard, Vicenç Pla, Xavier Bascuñana i Pere Bover. Per acompanyar-nos en algunes ocasions o bé per col·laborar en tasques espeleològiques a les zones vadoses de les cavitats.

Algunes de les fotografies que il·lustren aquestes pàgines ens han estat amablement subministrades per Gabriel Santandreu, Antoni Merino, Maria Antònia Amezcua, Pere Plomer, Manolo Luque, Maria Luisa Redondo i Antelm Ginard.

He de dir que aquesta Tesi Doctoral no hagués estat possible sense l'ajut i el recolzament del Dr. Joan J. Fornós, director d'aquesta Tesi i col·laborador habitual dels projectes duts a terme tots aquests anys. Ha estat el principal investigador referent a l'estudi dels sediments, la geologia i molts aspectes relacionats amb els espeleotemes freàtics i les morfologies de corrosió de les cavitats. Ell és el principal promotor i catalitzador de molts dels estudis que es fan sobre el carst de les Balears.

Les següents persones a qui vull anomenar són el Dr. Joaquim Ginés, Dr. Àngel Ginés i Miquel Trias per molts de motius. En primer lloc he de dir que me vaig iniciar al món de l'espeleologia organitzada l'any 1980 gràcies als cursos d'espeleologia i sortides amb caire científic que realitzaven llavors. Ells constitueixen els pilars fonamentals de l'actual espeleologia científica de les Balears. En segon lloc, també són els pares de la publicació ENDINS, de la qual vaig assimilar molts coneixements a partir dels seus articles. En tercer lloc per totes les col·laboracions que he tingut amb ells relacionats amb l'espeleologia, com són la recerca d'espeleotemes freàtics, discussions de caire geomorfològic, morfomètric i espeleogenètic. En quart lloc per la revisió atenta dels articles que he publicat en col·laboració tots aquests anys, que constitueixen la base d'aquesta Tesi, pels seus suggeriments, fructíferes discussions, intercanvis d'informacions i rectificacions. Però especialment vull agrair-los totes les seves aportacions científiques al coneixement del carst al llarg de les seves vides.

Els estudis efectuats a les cavitats que constitueixen aquesta Tesi s'han pogut dur a terme en estar finançats parcialment gràcies al projectes de l'Obra Social de "SA NOSTRA", Caixa de Balears, dins les convocatòries d'ajuts per a Projectes de Conservació de la Biodiversitat 2001, 2003, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011.

Els presents treballs són una contribució a diferents projectes de recerca finançats pel MICINN i MINECO: -FEDER, CGL2006-11242-C03-01/BTE; CGL2009-07392; CGL2010-18616/BTE i CGL2013-48441-P.

Part de les prospeccions faunístiques realitzades s'inclouen dins el projecte REN2001-0580/GLO del Ministeri de Ciència i Tecnologia. Aquest treball s'integra també al projecte de la Dirección General de Investigación del Ministerio de Ciencia y Tecnología, BTE 2002-04552-C03, "El modelat càrstic i l'evolució morfològica i sedimentària del litoral a les Balears, València i Sardenya".

Una part dels estudis arqueològics d'aquest treball s'emmarquen en el projecte BTE2001-0589, la part geològica en el projecte BTE 2002-04552-c03.02, i la zoològica en el projecte REN2001-0580 / GLO (Anquifauna) de la Dirección General de Investigación del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

La Comissió de Patrimoni Cultural del Consell de Mallorca va permetre, facilitar i sufragar les despeses de l'extracció del material paleontològic i arqueològic de la cova Genovesa (o d'en Bessó), per procedir a la seva catalogació, conservació i estudi. També pel suport econòmic atorgat per realitzar la recuperació de les peces ceràmiques i l'estudi espeleològic de la font de ses Aiguades (pou d'Alcanada).

L'estudi del material arqueològic trobat es deu als arqueòlegs i especialistes: Dr Bartomeu Salvà, Sebastià Munar, Dr Damià Ramis, Damià Cerdà, Francisca Cardona, Dra Beatriu Palomar, Dra Magdalena Riera i Joan Carreras.

A l'amic, espeleòleg i quaternarista Damià Vicens, hereu científic d'en Joan Cuerda, pels anys de col·laboracions i estudis plegats, així com el plaer de la seva amistat i de les converses científiques mantingudes. Ha estat un puntal bàsic i constant de motivació naturalística. El fet de realitzar simultàniament les nostres Tesis Doctorals ha suposat un gran estímul per poder duu a bon port aquesta tasca.

Als amics, espeleòlegs i paleontòlegs Dr. Pere Bover i Dr Josep Antoni Alcover (IMEDEA), per la determinació i comentaris de la fauna vertebrada fòssil trobada a les cavitats. La determinació de fòssils ha comptat amb la col·laboració de Damià Vicens de la Societat d'Història Natural de les Balears, Josep Antoni Alcover i Pere Bover de l'IMEDEA i Guillem Mas.

La determinació de moltes de les espècies de la fauna present a les cavitats ha estat possible gràcies al Dr. Damià Jaume de l'Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (carcinologia); Dra Maria Jesús Uriz, Daniel Martin, João Gil i Xavier Turon del Centre d'Estudis Avançats de Blanes i a Jorge Núñez, del Dept. de Biologia Animal de la

Universitat de la Laguna (Tenerife) (invertebrats no artròpodes) i al Dr Guillem Pons del Dept. Ciències de la Terra (UIB) i Damià Vicens de la Societat d'Història Natural de Balears (mol·luscs).

A Ferran Hierro i Joan Cifre dels Serveis Científico-Tècnics de la Universitat de les Illes Balears l'ajuda en l'anàlisi de les mostres de sediment, així com també a Joan Miquel Carmona del Departament de Ciències de la Terra de la UIB i a Montse Guart del Departament d'Estratigrafia de la Universitat de Barcelona.

A Joan Cuerda Barceló, estimat mestre i amic, per haver-me subministrat els fonaments del Quaternari marí, eina imprescindible per interpretar l'evolució de les cavitats litorals i la seva interacció amb els canvis de nivell marí. La seva abnegació científica i humana ha estat i és un referent per a la comunitat d'estudiosos del Quaternari de les Balears.

A Cosme Aguiló, especialista en toponímia, per les seves informacions dels topònims de les cavitats i dels indrets on s'ubiquen. A Gabriel Ordines i Francesca Rotger, per fer-nos saber i proporcionar-nos la documentació de 1738 que fa referència a la font de ses Aiguades.

A Alfredo Barón, fins fa poc temps cap del Servei d'Estudis i Planificació de la Direcció General de Recursos Hídrics. Ell ha estat el veritable artífex d'alguns dels documents, ja que ens ho va encomanar per presentar un decret de protecció d'aquests hàbitats subterranis parcialment o total inundats.

Volem manifestar el nostre més sentit agraïment a la família Servera i especialment al Director de les coves del Drac de Portocristo, el Sr. D. Maties Servera per tota la col·laboració, facilitats i interès que ha prestat a les nostres recerques. Volem fer extensiu els agraïments a tot la Junta Directiva de les Coves del Drac, als guies, personal de manteniment i vigilants que en tot moment han ajudat i col·laborat amb les tasques de camp.

També volem expressar la nostra gratitud a l'antic propietari de l'entrada terrestre de la cova des Coll, D. Guillem Muntaner i a l'actual D. Guillem Mas, la seva predisposició i les facilitats per accedir-hi.

A D. Antoni Hernández i la seva família, propietaris del terreny on s'obre l'entrada de la cova d'en Bassol, per les facilitats que ens han donat per accedir-hi.

A la família Fierro, per permetre'ns entrar dins la seva propietat per anar a la cova de Cala Mitjana.

Volem agrair als antics propietaris de la finca de Can Frasquet, D. Pedro Santandreu i D. Miquel Contestí, la seva amabilitat i les facilitats per accedir-hi.

Volem agrair a la propietària de la finca de Son Josep Nou, on es localitza l'entrada de la cova de sa Gleda, la Sra. Margalida Puigserver i al seu fill Guillem Bonet la seva amabilitat.

El nostre més sincer agraïment a la nostra amiga Maria March i a tota la família March, per les facilitats, confiança i paciència que ens han atorgat aquests anys per accedir a es Dolç.

Als propietaris i encarregats dels terrenys on s'ubica la font de ses Aiguades, per totes les facilitats i consideracions que van tenir amb l'equip d'espeleòlegs. Especialment al Sr F. Knuchela, director de l'empresa propietària dels terrenys.

Fem extensiu l'agraïment a tots els propietaris de les finques on s'ubiquen les entrades de la resta de les cavitats litorals estudiades, per permetre'ns l'accés i per les molèsties ocasionades.

A l'Ajuntament de Felanitx, i especialment als batles D. Miquel Riera i D^a Catalina Soler per l'ajut logístic prestat per fer els estudis i documentació de les cavitats del terme de Felanitx.

A l'Ajuntament de Manacor per haver posat a la nostra disposició cinc contenidors de gran capacitat per la recollida dels electrodomèstics i altres fems abocats a l'entrada de la cova Genovesa cavitat. S'ha d'agrair especialment a Magdalena Sales, tècnica de cultura de l'Ajuntament de Manacor per la seva bona disposició.

A tota la gent què, assabentada de les nostres recerques, tant d'interès han mostrat per conèixer aquesta part de la naturalesa oculta a la vista de l'home.

PART I. INTRODUCCIÓ I MARC METODOLÒGIC

Capítol 1. INTRODUCCIÓ

1.1. Estructura del treball i objectius

L'objectiu general de la Tesi és realitzar l'estudi de les cavitats subaquàtiques costaneres del Llevant i Migjorn de Mallorca, és a dir, d'una part important del carst litoral, concretament de l'endocarst inundat, al menys parcialment, per les aigües freàtiques litorals. Aquest carst es desenvolupa dins les plataformes calcàries

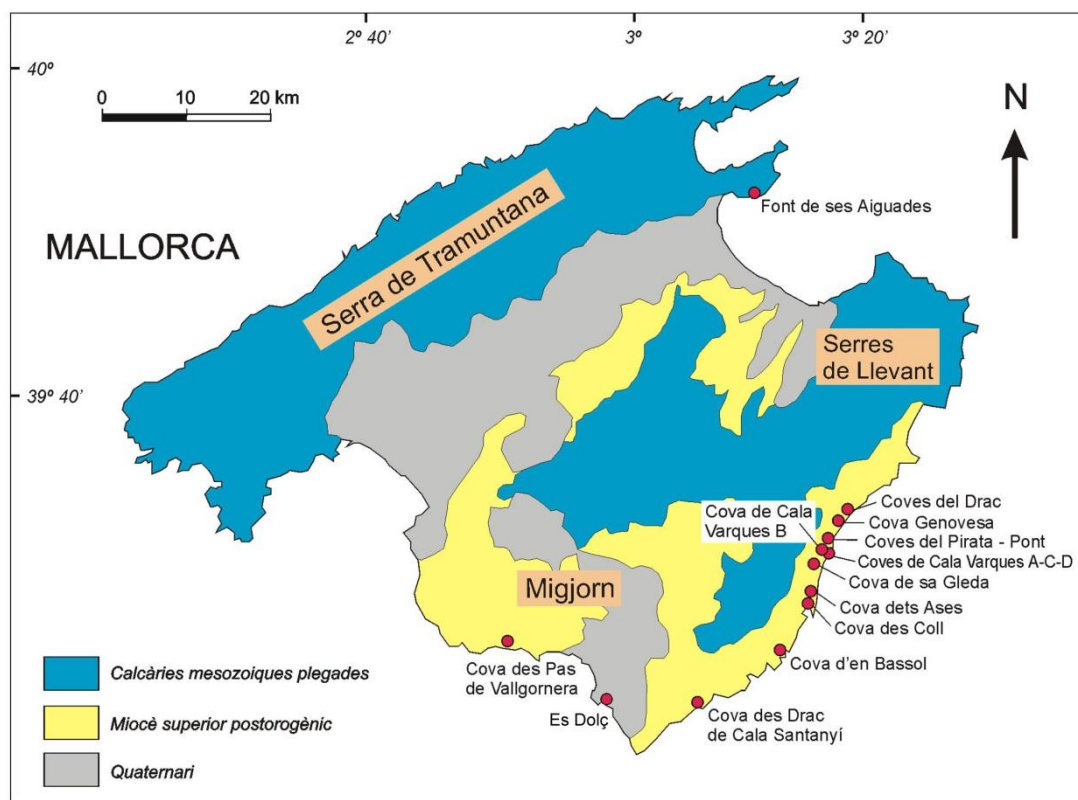


Figura 1.1: Situació de les principals cavitats subaquàtiques estudiades a la Tesi

carbonatades postorogèniques de l'illa, per la qual cosa l'enfocament general o objecte d'interès serà l'estudi de l'endocarst eogenètic subaquàtic. S'entén eogenètic en el sentit a què fan referència articles com els de VACHER & MYLROIE (2002) o GINÉS & GINÉS (2007), en un context de carstificació de materials carbonatats d'elevada porositat i litificació immadura, en contraposició als carsts telogenètics desenvolupats en roques calcàries que han sofert importants i dilatats processos de diagènesi.

D'aquesta manera podem considerar que l'objectiu general de les recerques suposa la continuació i ampliació d'aspectes concrets del què va iniciar GINÉS (2000) a la seva Tesi Doctoral: *El Karst Litoral en el Levante de Mallorca: una aproximación al conocimiento de su morfogènesis y cronología*. El fet d'ésser cavitats inundades no és només un aspecte purament descriptiu relacionat amb l'accés a l'endocarst, que per si mateix ja requereix uns materials i coneixents tècnics molt específics en busseig espeleològic. La zona freàtica de l'endocarst és també la responsable de l'espeleogènesi de les mateixes cavitats. Les variacions del nivell degudes a causes glacio-eustàtiques, han fet variar al llarg dels temps les cotes de la zona de mescla i per tant de les franges més actives del punt de vista espeleogenètic, així com la posterior evolució dels buits creats per dissolució en quedar afectats per processos d'esfondrament o de revestiment litoquímic (GINÉS, 2000).

La franja costanera posseeix una amplària relativa, d'ordre quilomètric, ja que la influència de la mar a les poroses calcarenites amb permeabilitat primària i secundària determinen la penetració de les aigües marines terra endins i la disposició d'una zona de mescla, agressiva químicament, entre les aigües dolces d'origen meteòric que s'infilren dins el massís i les salades situades al davall per posseir major densitat. S'ha de tenir present que als aquífers eogenètics del Yucatán o de la plana de Nullabor (Austràlia), la influència de la mar supera desenes de quilòmetres terra endins (LOWRY & JENNINGS, 1974; WEBB & JAMES, 2006; BEDDOWS *et al.*, 2007).

L'àrea d'estudi la circumscrivim a les plataformes carbonatades neògenes i quaternàries del Llevant i Migjorn de Mallorca, allà a on hem trobat cavitats subaquàtiques de certa rellevància, això és des del terme de Sant Llorenç des Cardassar fins al terme de Santanyí inclòs, i des de la marina de Lluçmajor fins a la platja des Dolç de la Colònia de Sant Jordi (ses Salines). La franja litoral a on penetren les cavitats, per ara documentades, assoleixen una amplària màxima propera als 2 km terra endins. Les particularitats litològiques d'aquests materials determinen un carst molt similar al que es desenvolupa a altres bandes del món, com és el cas de bona part del carib, fet que en ocasions es pugui sentir parlar del carst caribeny del Mediterrani.

L'objecte d'estudi de la Tesi és realitzar per a cada cavitat l'exploració, la topografia, la descripció, les característiques hidrològiques, l'estudi de les morfologies primàries o de dissolució, les morfologies secundàries o espeleotemes, la distribució de les sales d'esfondrament, l'espeleogènesi proposada, els sediments, les restes

arqueològiques sota les aigües, la fauna anquihalina, els fòssils, la relació de la cavitat amb la superfície, la relació de les coves amb les cales i surgències submarines i els impactes que afecten a la cova, a més a més de la dificultosa documentació fotogràfica d'aquests ambients extrems. En segon lloc discutir de forma global per al conjunt de cavitats tots els aspectes mencionats abans i les seves interferències.

D'aquesta manera es procurarà donar cos als resultats de gairebé 22 anys de feines de camp, al llarg de més de mil dies d'immersions i les innumerables hores de feina d'elaboració de les dades arreglades de tantes facetes interdisciplinàries.

1.2. Definició de cavitat litoral i de cavitat subaquàtica

Sovint les definicions que semblen més fàcils són les més complicades de determinar. Això és el que passa amb el concepte de cavitat litoral. Segons les exhaustives i completes definicions i aclariments de GINÉS (2000), les cavitats litorals són cavernes generades per dissolució freàtica a la zona de mescla costanera, així com cavitats mixtes de gènesi càrstico-marina. Aquesta darrera tipologia fa referència a les denominades captures càrstico-marines, que es tracta de cavitats càrstiques, però capturades per la dinàmica litoral, especialment pel retrocés de la línia de costa. Emperò, què ocorre amb les cavitats formades únicament per l'erosió de les ones?. No són litorals si es troben a la línia costanera?. Entenem que s'ha de tenir present que quan ens referim a cavitats litorals ja s'incorpora, sense explicitar-lo, l'adjectivació d'endocàrstiques. Per a les altres coves formades per l'erosió de la mar es reservaria el terme de coves marines.

El terme de cavitats subaquàtiques és molt més fàcil de definir, ja que s'entén com a coves que es troben sota l'aigua, sigui aigua dolça o bé salada; per davall del nivell de la mar, o bé per damunt d'ell, a cavitats de la serra de Tramuntana per posar un exemple, com és el cas de la font des Verger o la cova dels Estudiants que posseeixen trams importants subaquàtics, però no submarines. Així, les cavitats per davall la mar, amb entrada marina són subaquàtiques i també submarines, emperò hi ha moltes coves subaquàtiques al litoral de Mallorca que no són submarines, com és el cas de la major part de cavitats litorals del Migjorn i Llevant de Mallorca. Només en alguns casos que presenten alguna entrada per davall la mar les podem considerar submarines, encara que

transcorri tota la cavitat per davall de “terra ferma” i no per davall de la mar pròpiament. Tanmateix, en aquest cas parlem de cova submarina des del punt de vista de localització, però si és genèticament d’origen càrstic no és coherent fer-ho servir. Per complicar més la cosa, la major part de coves generades per l’abració de les ones de la mar, moltes d’elles en passades èpoques corresponents a pulsacions climàtiques fredes, són submarines. Però no són litorals, encara que es trobin al mateix litoral?. Ja sobreentendem que en aquest cas no parlem de cavitats endocàrstiques, i si d’abració marina. Finalment, per simplificar, si parlem de cavitats litorals ho fem d’un punt de vista càrstic i marines o submarines, les generades per les ones.

1.3. La dissolució de la roca calcària en la zona de mescla litoral

Variació de la saturació de calcita a la zona on l’aigua dolça es mescla amb l’aigua marina. Ambdues dissolucions s’assumeix que es troben saturades amb calcita. Si es mescla una petita proporció d’aigua de la mar amb la dolça, la calcita deixa d’estar saturada, però es torna a sobresaturar si s’incrementa la proporció d’aigua marina. Grans

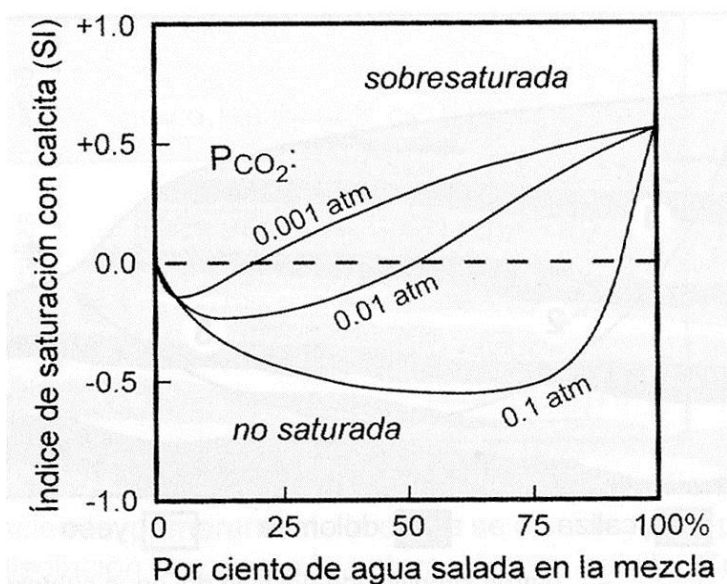


Figura 1.2: Efecte agressiu de la zona de mescla. PCO₂ només aplicables per a l’aigua dolça. Temperatura 15°C. (PLUMMER, 1975).

proporcions d'aigua de mar provoquen la sobresaturació. Les zones no saturades disminueixen amb l'increment de temperatura. L'efecte per la dolomita és similar, encara que les corbes difereixen en la forma. (PLUMMER, 1975). Aquesta mescla implica una contraposició entre el contingut de CO₂ i de la salinitat. El CO₂ normalment és més abundant a les aigües subterrànies que no pas a les aigües marines. El contingut en CO₂ pot tenir tant efecte com la salinitat en el control de la dissolució d'una mescla d'aigua de mar i dolça. Dues fonts d'aigua rarament se mesclen en proporcions idèntiques.

1.4. Taules de situació i caracterització de les cavitats

Taula 1: Relació de les cavitats estudiades, l'ordre de la tabulació és el mateix en que apareixen a la Tesi, a la Part III: Cavitats litorals del Llevant i Migjorn de Mallorca amb continuacions subaquàtiques. S'han fet constar 21 cavitats, encara que apareixen a la Tesi d'altres terrestres relacionades, però per no tenir aquestes continuacions subaquàtiques no les hem tabulat. Per a cada cavitat es fan constar les coordenades UTM, el municipi on s'ubiquen, la presència de morfologies de corrosió de la zona de mescla, la presència de morfologies hipogèniques, l'existència d'espeleotemes vadosos submergits, d'espeleotemes freàtics indicadors de paleonivells marins sota les aigües, és a dir al llarg de pulsacions climàtiques fredes, la presència de fòssils vertebrats del Miocè, la presència de fòssils vertebrats del Pleistocè.

Taula 2: L'ordre de relació de les cavitats és el mateix. En aquesta taula es fa constar el context geològic de les cavitats, el recorregut total, el recorregut subaquàtic, la fondària màxima sota les aigües, el nombre d'entrades naturals (no se consideren els pous artificials), la presència d'una entrada marina o submarina, l'existència de corrents d'aigua apreciables (en el sentit d'una intensitat considerable), la presència de fauna sèssil filtradora (que es trobin a una certa distància de l'entrada), presència de fauna anquihalina, la troballa de restes arqueològiques i finalment l'existència d'impactes ambientals importants que afectin la cavitat actualment.

Localitat	Municipi	Coordenades UTM	Mortològics de la zona de mescla	Mortològics hipogènics	Espeteotemes vadosos submergits	Espeteotemes freatics sota l'aigua	Fòssils vertebrats del Miocè	Fòssils vertebrats del Pleistocè
Cova des Pas de Vallgornera	Llucmajor	489.215 4.357.725	22	SI	SI	SI	SI	SI
Es Dolç	Ses Salines	500.504 4.351.643	1	SI	SI	NO	NO	NO
Cova dels Ases	Felanitx	523.550 4.365.100	22	SI	NO	SI	NO	NO
Cova de sa Sinia	Felanitx	522.780 4.364.710	4	SI	NO	NO	NO	NO
Cova des Coll	Felanitx	522.770 4.364.500	11	SI	NO	NO	SI	NO
Cova d'en Bassol	Felanitx	521.350 4.360.460	20	SI	NO	SI	NO	NO
Cova de ses Barraques	Felanitx	521.480 4.360.620	1	SI	NO	NO	NO	NO
Cova Submarina de Cala sa Nau	Felanitx	521.770 4.360.550	-1	NO	NO	NO	NO	NO
Cova de Cala Mitjana	Felanitx	521.200 4.360.120	13	NO	NO	NO	NO	NO
Cova des Drac de Cala Santanyi	Santanyi	512.830 4.353.625	15	SI	NO	SI	NO	NO
Cova de s'Abisament	Sant Llorenç des Cardassar	532.070 4.380.930	10	SI	NO	SI	NO	NO
Cova Novella de na Llebrona	Manacor	527.725 4.377.415	13	SI	NO	NO	NO	NO
Coves del Drac	Manacor	528.430 4.376.485	27	SI	SI	SI	SI	NO
Dolç de Cala Murta	Manacor	528.700 4.376.110	-2	NO	NO	NO	NO	NO
Cova des Coloms de Cala Anguila	Manacor	527.550 4.374.900	0	SI	NO	NO	NO	NO
Cova Genovesa	Manacor	527.170 4.375.440	22	SI	NO	SI	NO	SI
Sistema Pirata-Pont-Piqueta	Manacor	525.880 4.373.310	32	SI	NO	SI	SI	NO
Cova des Coloms de Cala Falcó	Manacor	525.975 4.372.740	0	SI	NO	NO	NO	NO
Sistema Gleda-Camp des Pou	Manacor	523.805 4.372.315	36	SI	NO	SI	NO	NO
Cova de Cala Varques ACD	Manacor	525.550 4.372.430	2	NO	NO	SI	NO	NO
Cova de Cala Varques B	Manacor	525.510 4.372.450	4	SI	NO	SI	SI	NO

Localitat	Context geològic	Recorregut total	Recorregut subaquàtic	Fondària màxima	Entrades naturals	Entrada marina o submarina	Corrents d'aigua apreciables	Presència de fauna sessil filtradora	Fauna anquihalina	Restes arqueològiques	Impactes ambientals importants
Cova des Pas de Vallgornera	Miocè	74.000	17.000	-15	0	NO	NO	SI	SI	NO	SI
Es Dolç	Plio-Pleistocè	4.100	4.000	-27,5	3	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Cova dels Ases	Miocè	1.851	1.010	-10	3	SI	NO	NO	SI	NO	NO
Cova de sa Sinia	Miocè	70	30	-7	1	NO	NO	NO	SI	NO	NO
Cova des Coll	Miocè	7.020	5.529	-15	2	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Cova d'en Bassol	Miocè	1.491	1.082	-25	0	NO	NO	NO	SI	NO	NO
Cova de ses Barraques	Miocè	64	0	0	1	NO	SI	NO	NO	NO	NO
Cova Submarina de Cala sa Nau	Miocè	150	150	-8	1	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Cova de Cala Mitjana	Miocè	340	140	-11	0	NO	NO	NO	SI	NO	NO
Cova des Drac de Cala Santanyi	Miocè	803	612	-24	1	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Cova de s'Abisament	Miocè	234	132	-13	1	NO	NO	NO	SI	NO	SI
Cova Novella de na Llebrona	Miocè	250	22	-7	1	NO	NO	NO	SI	NO	NO
Coves del Drac	Miocè	6.538	4.704	-21	1	NO	NO	NO	SI	NO	NO
Dolç de Cala Murta	Miocè	93	52	-2	1	SI	SI	NO	NO	NO	NO
Cova des Coloms de Cala Anguila	Miocè	129	39	-8	1	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Cova Genovesa	Miocè	2.415	1.845	-22	1	NO	NO	SI	SI	SI	SI
Sistema Pirata-Pont-Piqueta	Miocè	3.091	1.190	-11	3	NO	NO	NO	SI	NO	NO
Cova des Coloms de Cala Falcó	Miocè	575	214	-15	1	SI	NO	NO	SI	NO	NO
Sistema Gleda-Camp des Pou	Miocè	13.500	13.200	-25	2	NO	NO	NO	SI	NO	NO
Cova de Cala Varques ACD	Miocè	819	252	-18	3	NO	NO	NO	SI	NO	NO
Cova de Cala Varques B	Miocè	1.068	980	-30,5	1	NO	NO	NO	SI	NO	NO

1.5. Cavitats d'abrasió marina *versus* coves càrstiques litorals

LA LÍNIA DE COSTA I LES OSCIL·LACIONS DEL NIVELL MARÍ

La costa és la frontera que separa el domini marí del terrestre i ha estat afectada al llarg dels temps geològics per diversos factors que han conduït a un canvi posicional d'aquest límit. Es tracta per tant d'una delimitació dinàmica, que determina importants implicacions geogràfiques i biològiques. Una de les causes que provoquen la variació del nivell marí és el canvi climàtic. Al llarg de l'era Quaternària s'han produït intensos períodes de fred anomenats glaciacions, separats per períodes interglacials de clima càlid o bé temperat. Tanmateix aquesta és una visió simplista de la realitat, ja que es té constància de l'existència de fluctuacions climàtiques menors que es superposen als períodes anteriors. Les variacions climàtiques produeixen importants alteracions en l'extensió de les plaques de gel polars i de les glaceres, variant en gran quantitat el volum d'aigua gelada, que es tradueix en una major o menor disposició d'aigua líquida a la mar, i per tant en una diferència del nivell marí. Com a conseqüència d'aquest procés glacioeustàtic (a més d'altres factors) en els cicles freds el nivell de la mar va descendir

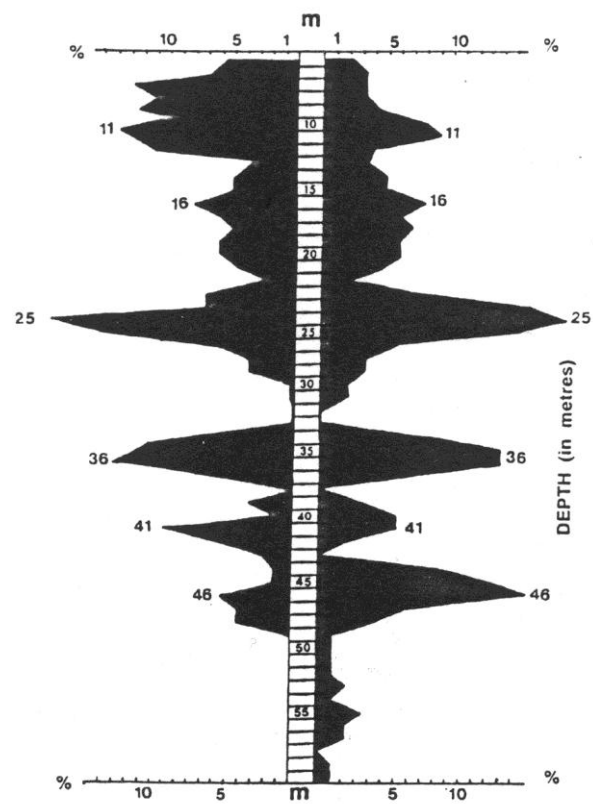


Figura 1.3: Cotes preferents d'abrasió marina estudiades a Itàlia. Correspondrien a antics nivells d'estabilització de la mar.

fins uns 130 m per davall de l'actual nivell marí (durant les darreres glaciacions del Riss i del Würm que han estat les més intenses del Quaternari), mentre que en els períodes càlids la transgressió assolía uns +40 m? i sembla que els nivells màxims de cada interglacial d'ençà del Plistocè inferior han disminuït progressivament fins a



Figura 1.4: Les morfologies d'abrasió constitueixen un dels trets més característics del litoral. Es Pont den Gil.

situar-se lleugerament per damunt de l'actual nivell marí durant el darrer interglacial Riss-Würm.

El que és inqüestionable és la successió d'episodis de transgressió i regressió marina, amb períodes d'estabilitat de més o menys durada, que han permès generar unes empremtes (evidències

geomorfològiques) en el litoral que serveixen per tenir constància d'aquestes variacions en el nivell de la mar. El fet de que Mallorca tectònicament ha restat estable, sobre tot al Pleistocè superior, remarca la importància de l'estudi d'aquestes empremtes.

A partir de les dades d'alçada del nivell marí assolit durant les regressions i

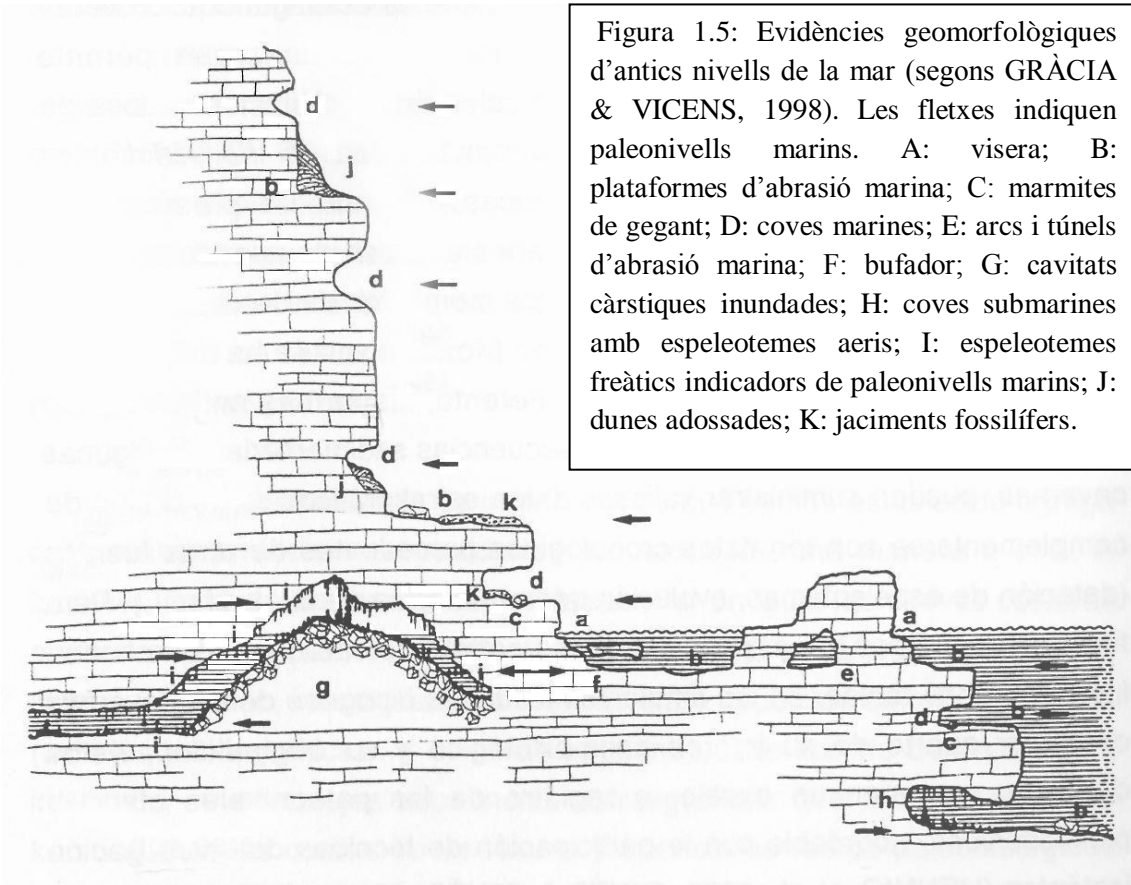


Figura 1.5: Evidències geomorfològiques d'antics nivells de la mar (segons GRÀCIA & VICENS, 1998). Les fletxes indiquen paleonivells marins. A: visera; B: plataformes d'abrasió marina; C: marmites de gegant; D: coves marines; E: arcs i túnels d'abrasió marina; F: bufador; G: cavitats càrstiques inundades; H: coves submarines amb espeleotemes aeris; I: espeleotemes freàtics indicadors de paleonivells marins; J: dunes adossades; K: jaciments fòssilífers.

transgressions, és fàcil reconstruir mitjançant un mapa topogràfic la configuració geogràfica de les Balears en cada moment climàtic. Les més grans davallades de la mar feren que Mallorca, Menorca, subarxipèlag de Cabrera, Dragonera i altres illots s'unissin formant la Gran Gimnèsia que comprenia també les actuals extensions del canal de Menorca, les badies i part de les plataformes continentals. Aquesta illa tenia una extensió aproximada de devers 9.600 km², molt en comparació amb els 3.640 km² de la Mallorca actual o els 4.360 km² del conjunt

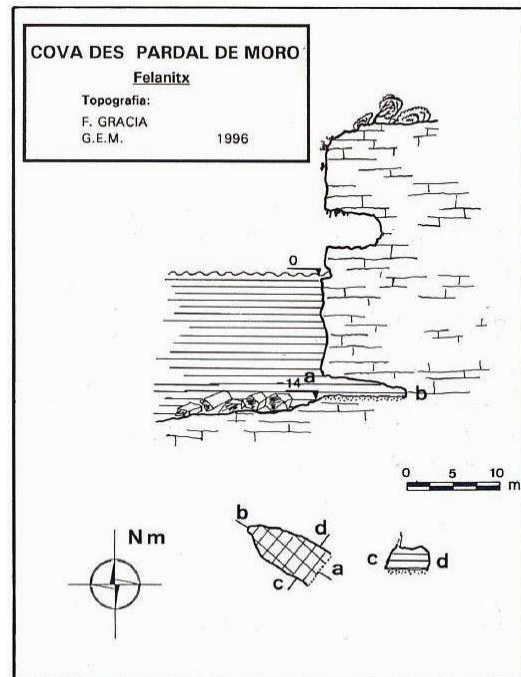


Figura 1.6: Cavitats d'abrasió marina corresponents a dos nivells de la mar.

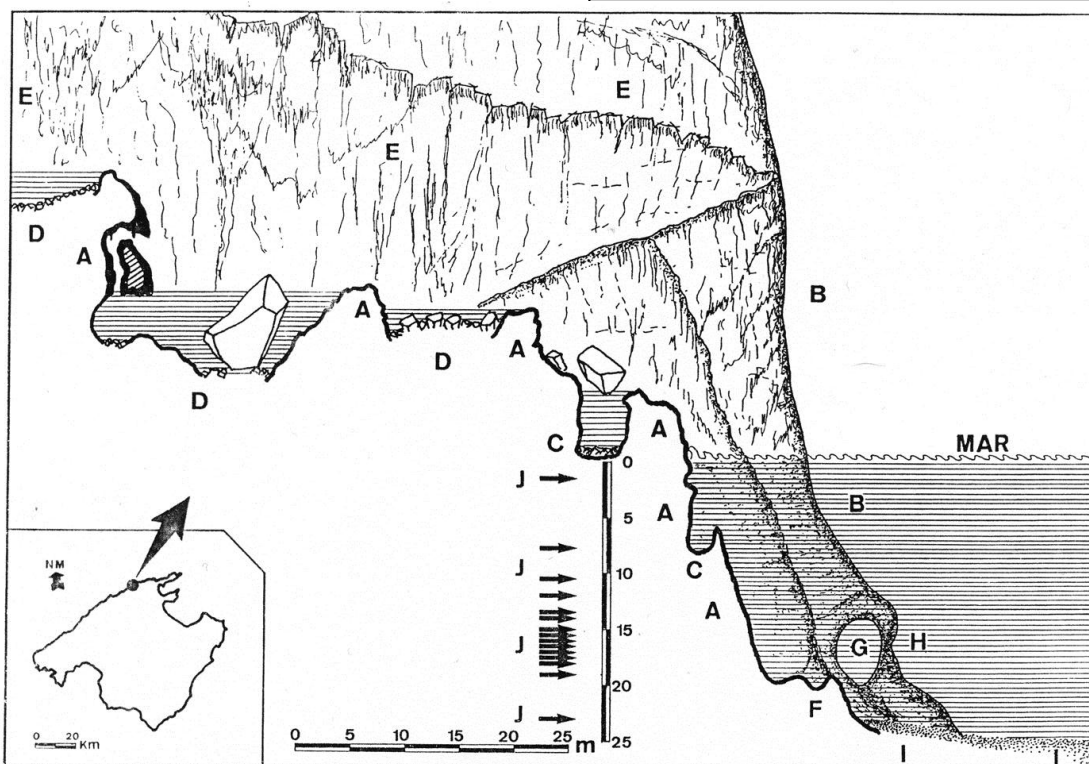


Figura 1.7: Perfil de la desembocadura del torrent Fondo que evidencia antics episodis freds del Mediterrani. Part aèria modificada de TRIAS & RAMÓN (1999); part subaquàtica topografiada per F. Gràcia i M. A. Gual (GRÀCIA *et al.* 2001b). Destaquen les següents morfologies: A) Salts del torrent; C) Marmites de gegant torrencials; D) Gorgs; F) Marmites de gegant d'abrasió marina; G) Arc d'abrasió; I) Sediments; J) Antics nivells de la mar.

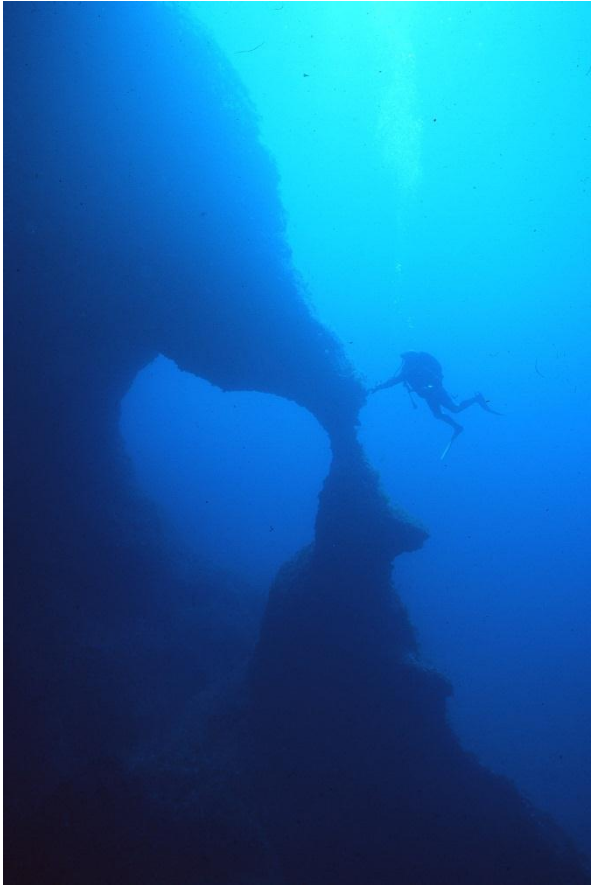


Figura 1.8: Arc d'abració inactiu de 9 m de diàmetre a la desembocadura del torrent Fondo. Pretèrita zona d'erosió preferent entre -14 i -20 m. Foto R. Landreth.

de les Gimnèsies. Mentrestant Eivissa, Formentera i illots adjacents s'uniren formant la Gran Pitiüsa, de devers 2.000 km², respecte als 623 km² actuals de les dues illes sumades.

Al llarg de les màximes transgressions de la mar aquesta va entrar profusament per les badies i zones baixes i va disminuir, fragmentar i negar extenses superfícies de terreny. Les regressions implicaren la retirada de les aigües de les zones poc profundes i la comunicació de zones aïllades, com són les illes i illots actuals, encara que n'apareixien d'altres, actualment submergits per complet.

ANTECEDENTS HISTÒRICS DE L'ESTUDI DE CAVITATS DE GÈNESI MARINA

Les línies de costa quaternàries situades per damunt del nivell marí han estat ben estudiades a Mallorca, principalment per part de CUERDA (1975). A ENCINAS (1994) publica, entre moltes altres, la topografia d'algunes coves d'abració marina del litoral de Pollença. GRÀCIA *et al.* (1997) descriu les cavitats litorals de Portocolom, bona part d'elles generades per l'abració marina. Referent al mesomodelat dels penya-segats de les marines mallorquines es pot trobar un esquema de les morfologies més freqüents a GRÀCIA i VICENS (1998) i a GRÀCIA *et al.* (2001b), ambdues inspirades en l'obra de CUERDA (1975). A GINÉS (2000) es descriuen les interferències que relacionen el modelat litoral amb l'endocarst i aporta informació de cavitats de tot el llevant de Mallorca. LLAMAS (2000) reproduïx cavitats d'abració marina subaquàtiques a diversos punts del litoral. GRÀCIA *et al.* (2001e) publiquen una important cavitat de

Pollença; A SERVERA (2004) hi ha un recull de les morfologies de costes rocoses i de les costes de sedimentació. A GINARD *et al.* (2008 i 2014) s'estudien coves litorals, geomorfologia i jaciments litorals d'una franja del litoral de Lluçmajor; VICENS i CRESPI (2003) i VICENS *et al.* (2006) s'encarreguen d'una franja del litoral d'Alcúdia. A ENCINAS (2014) l'autor fa una recopilació de les cavitats de tota Mallorca, per la qual cosa reproduïx la topografia de moltes cavitats litorals d'abrasió marina.

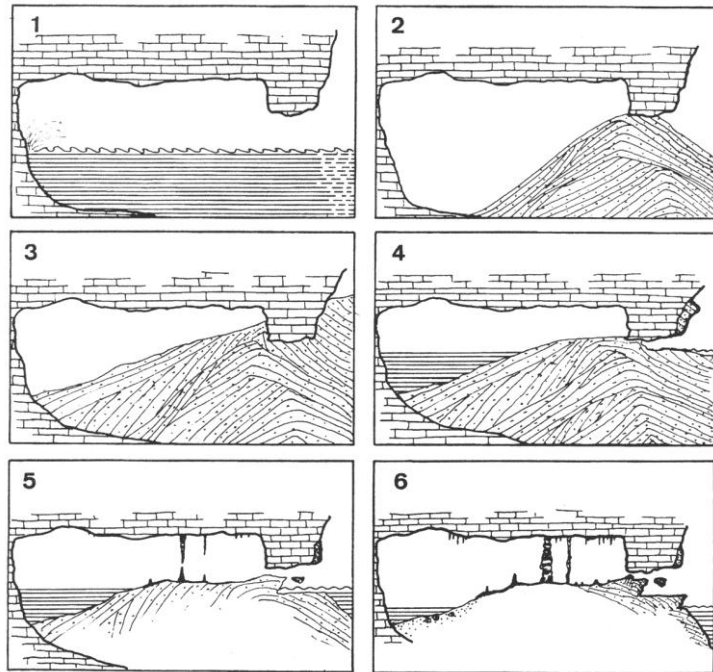


Figura 1.9: Evolució geomorfològica de la cova des Sòtil (Manacor): 1) Cova d'abrasió activa; 2), 3) Regressió marina i sedimentació d'arenes marines (duna); 4) Transgressió marina, formació del llac interior, erosió de les eolianites i reobertura de l'entrada; 5) Formació d'una petita plataforma i dels espeleotemes; 6) Situació actual (a partir d'una topografia de F. Mir i M. Trias).

Segons GRÀCIA *et al.* (2001b) algunes morfologies constitueixen molt bones visualitzacions d'antics nivells de la mar, ja que s'han format per l'acció de les onades o ha estat el mateix nivell de la mar que ha participat en la formació de certes morfologies o les ha induït. Tanmateix en molts casos ni tan sols s'han generat durant un únic nivell de la mar, sinó que s'han format al llarg de diferents períodes durant els quals la mar ha coincidit de nivell marí i s'han anat modificant les



Figura 1.10: Abundants espeleotemes i arenes actuals a la cova de ses Pedreres (Foto R. Landreth).



Figura 1.11: Entrades de les coves de ses Païsses a la marina de Felanitx.

morfologies primigènies. Són també molt importants i espectaculars les evidències geomorfològiques situades per sota del nivell actual de la mar, que en molts de llocs superen en estat de conservació, dimensions i claredat documental als circumstancialment aeris.

Si es fa un balanç de l'estat de coneixement de les cavitats de gènesi marina de Mallorca es pot afirmar que hi ha informació de localitats molt concretes, emperò encara hi ha molta feina per fer. En tot cas la major part de topografies fan referència a coves d'abrasió marines amb les entrades per damunt del nivell actual de la mar, però no de cavitats d'abrasió submarines, és a dir amb l'entrada completament sota les aigües. S'ha de pensar que els espeleobussejadors que estudien les cavitats es troben ocupats amb l'exploració, topografia i estudi de les cavitats càrstiques quilomètriques i no han prestat molta atenció de les petites cavitats d'abrasió marina.

Referent a las zones més estudiades, aquelles on afloren materials del Miocè postorogènic o del Quaternari, coincideixen amb les zones on hi ha més cavitats i morfologies d'abrasió marina. Òbviament la disposició horitzontal dels materials miocens ha afavorit aquestes morfologies. La cronologia és difícil de precisar i probablement moltes d'aquestes cavitats hagin sofert l'erosió marina en distintes ocasions. Evidentment que les que es troben a materials del Miocè i gairebé al nivell actual de la mar, han sofert com a mínim, l'erosió durant els episodis alts del darrer interglacial i l'Holocè.

LES COVES, BUFADORS, ARCS I TÚNELS

La litologia i estructura de la costa condicionen en gran part l'eficàcia de l'acció erosiva de la mar sobre el litoral. Les formes erosives són molt nombroses en tot el litoral de Mallorca, especialment dins les calcarenites del Miocè superior post-orogènic corresponent al Migjorn de Mallorca (principalment dels termes municipals de

Manacor, Felanitx, Santanyí i Lluçmajor). També abunden dins les calcàries i dolomies Mesozoiques plegades (serra de Tramuntana i cap de Menorca; també el litoral dels termes municipals d'Artà i Capdepera que pertanyen a les serres de Llevant). Les eolianites adossades als antics penya-segats igualment es troben foradades per abundants morfologies erosives, ja que el grau de cimentació intergranular sol ésser escàs.

Els relleus plans constitueixen zones on predomina l'acumulació i les morfologies erosives són

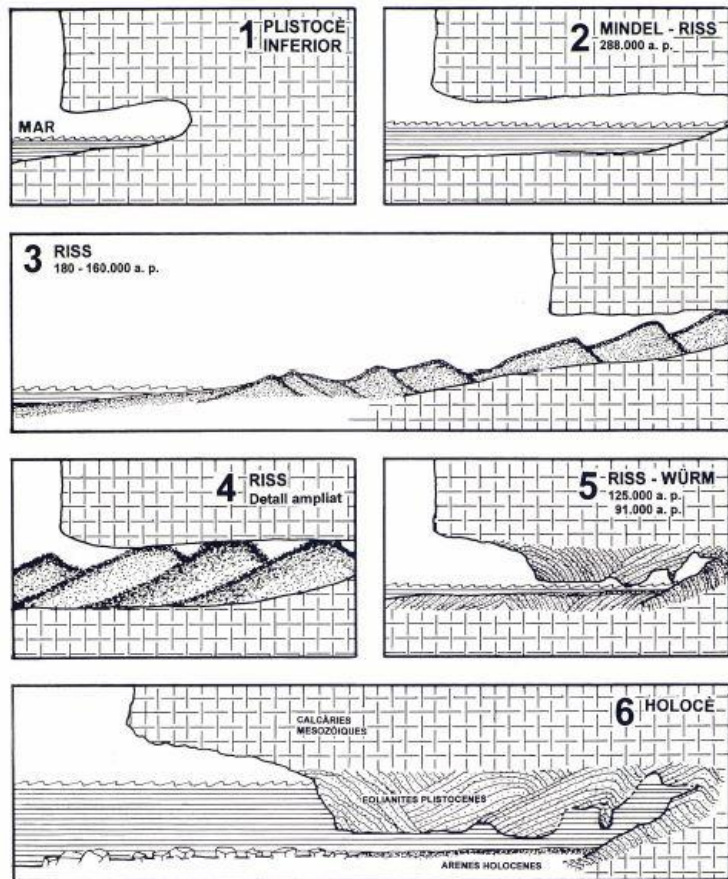


Figura 1.12: Evolució geomorfològica de la cova Negra (Pollença): 1), 2) Cova d'abrasió; 3), 4) Regressió marina i formació de platges i formacions dunars que s'introdueixen dintre; 5) Nova transgressió marina. 6) Configuració actual. GRÀCIA *et al.* (2001e).

molt escasses. La costa abrupta, per raons òbvies és a on aquests processos es desenvolupen actualment o bé on han quedat enregistrats en el passat. Les morfologies d'abrasió actives són les que es troben a l'actual nivell marí, mentre que les inactives es localitzen tant per damunt de la mar (fins a desenes de metres d'alçària), com per davall (a més d'un centenar de metres de profunditat) i constitueixen evidències d'antics nivells erosius de la mar. Les formacions d'abrasió que es troben a cotes superiors al nivell marí pel fet d'haver estat més temps exposades als efectes de la meteorització i a l'acció molt més acusada dels reajustaments gravitacionals estan més desmantellades que no pas les morfologies submarines, molt abundants i millor conservades; tenint en compte evidentment l'antiguitat de les morfologies en qüestió. Les formacions erosives submarines són molt freqüents a totes les zones litorals de Mallorca i en litologies molt diferents entre sí.



Figura 1.13: Eolianites que formen les parets i sostre actuals de la cova Negra. Són abundants les cavitats submarines que presenten eolianites i que solen estar erosionades per antics nivells de la mar. Foto R. Landreth.

Els principals processos erosius que actuen, responsables de la seva gènesi són: primer, l'energia de l'impacte de les ones, que incideix i es dissipa en forma diferent segons les característiques topogràfiques del litoral. Un segon procés és produït pel moviment dels diferents materials arrabassats per les onades (blocs, pedres, arenes, etc.), restes d'animals marins (closques d'invertebrats, esquelets, etc.), o bé materials de mida molt diversa caiguts des de d'alt dels penyalars. Tots aquests detritus es mouen endavant i endarrere pel fons rocós, a més de xocar a la zona frontal del penya-segat, de manera que ocasionen l'erosió litoral. També la bioerosió, especialment provocada per animals perforadors i brostejadors, és un mecanisme per ell mateix important quantitativament i que accentua tots els mecanismes anteriors.

Podem trobar un ampli ventall de morfologies d'erosió costanera, sovint associades entre moltes d'elles. La presència de marmites de gegant, columnes d'abrasió i moltes altres morfologies abrasives a l'interior de les cavitats confirmen la

gènesi marina. El seu interès des del punt de vista d'estudi climàtic és que permeten corroborar i reconèixer paleonivells marins, és a dir, antigues línies de costa. Com ja s'ha esmentat abans, aquestes morfologies poden haver estat retreballades en diferents moments degut a les constants oscil·lacions positives i negatives de la mar, de forma que és difícil atribuir un únic episodi erosiu a una morfologia d'abrasió. Abundants morfologies d'erosió van esser reportades per GRÀCIA *et al* (1997, 1998a), que assenyalen la presència d'abundants coves i plataformes d'abrasió marines a una fondària aproximada de -15 m, en el sector de costa proper a Portocolom. Aquestes dades concorden amb les alineacions d'espeleotemes freàtics més freqüents corresponents a estabilitzacions negatives del nivell marí. Durant els darrers 200 ka el nivell marí ha estat situat entre -14 i -16 m un mínim de sis ocasions (TUCCIMEI *et al.*,

2000; GINÉS, 2000). Aquest fet és de molta importància cronològica i interpretativa, ja que permet afirmar que durant aquest lapse temporal la mar ha pogut retreballar successives vegades antigues línies de costa disposades entorn de la mencionada cota de -15 m.

També es va citar una altra cota de preferència de paleoformes d'abrasió als -5 m, cota que l'hem pogut comprovar a molts altres llocs entre -4 i -6 m, però per ara no corroborada amb espeleotemes freàtics.

Amb les observacions efectuades als darrers anys, establim una llista provisional d'interval·ls de predominança de paleoformes d'abrasió detectades: a -3 m; entre -4 i -6 m; a -8 m; entre -10 i -12 m; entre -14 i -16; entre -17 i -18 m; entre -21 i -23 m; a -35 m; a -40 m; a -45 m; entre -50 i -53 m.

Per profunditzar sobre el tema cal fer un estudi topogràfic exhaustiu de diferents zones del litoral, on es detallin les cotes de les diferents morfologies d'abrasió. En principi la major abundància de cotes estarà en funció de la quantitat de formes conservades i per tant de l'antiguitat, de la possibilitat d'accés (difícil per les fondàries importants) i del temps en que la mar ha estat incidint a uns nivells determinats, així com les litologies que afloren i que són atacades pels fenòmens abrasius.

Coves

Estan molt sovint relacionades amb plataformes o rases d'abrasió pleistocenes (CUERDA, 1975), generalment són de mides modestes, però n'hi pot haver de mides considerables. A les classificacions morfogenètiques de les cavitats de Mallorca (GINÉS & GINÉS, 2009, 2011a), les coves d'abrasió marina no figuren, ja que no s'han format per una gènesi càrstica. En nombroses ocasions difícilment es podrà esbrinar si una cova litoral és una cova de gènesi càrstica o de gènesi erosiva marina

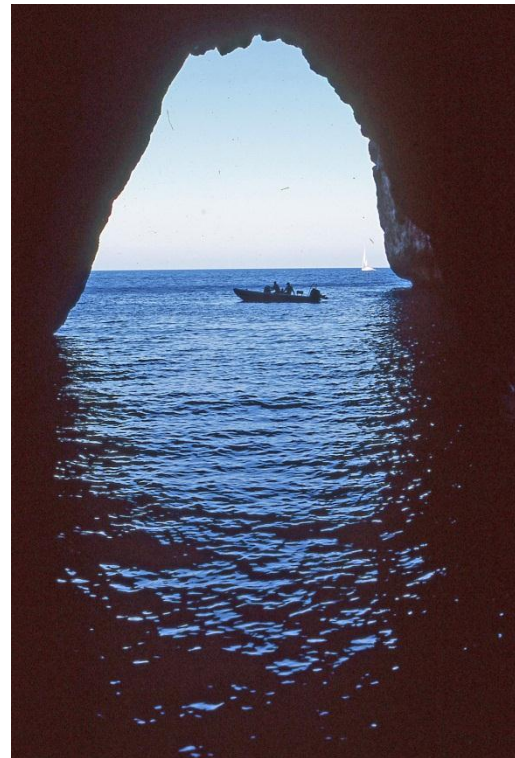


Figura 1.14: Entrada de la cova Negra. La major part de la cavitat es troba submergida (Foto R. Landreth).

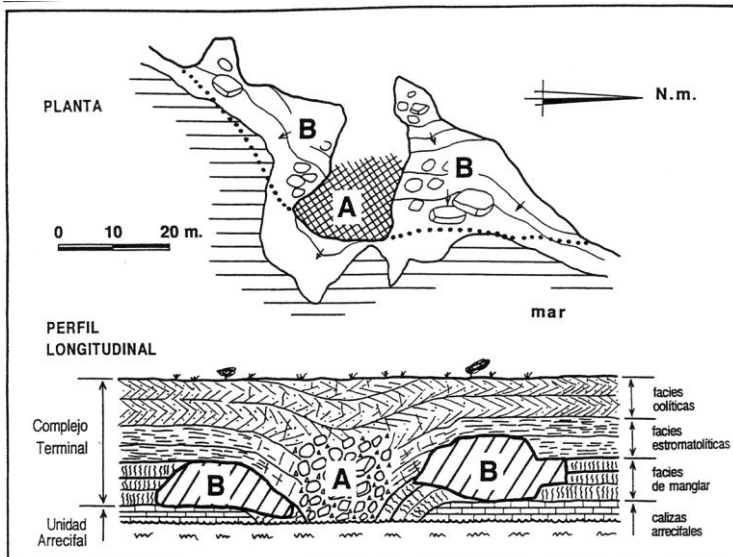


Figura 1.15: Topografia d'un fragment de costa entre el niu de s'Àguila i la punta des Savinar (Santanyí), en materials del Miocè superior. A) Zona brexada i fortament cimentada corresponent a la xemeneia central d'un col·lapse paleocàrstic. B) Coves marines excavades als costats del col·lapse, a on els materials no es troben tan consolidats. GINÉS (2000).

(VICENS *et al.*, 2011). Un exemple clar el podem trobar a la cova de ses Pedreres (Manacor), on GINÉS (2000) creu que és una cova d'origen càrstic i VICENS *et al.*, (2001) creuen que és una cova d'abradió marina. Un altre cas el podem trobar a GRÀCIA *et al.* (1998a) on es representa l'evolució de la cova submarina de cala sa Nau, la qual podria no ser una cova d'abradió marina tal com presentaven els autors abans esmentats i

ser una captura càrstico-marina. La presència d'una cavitat d'origen càrstic propera, com la cova d'en Bassol, les diàclasis preexistents a la formació d'aquestes cavitats a la zona i la direcció d'algunes sales o galeries de la cova d'en Bassol, semblant a la cova submarina de cala sa Nau, han fet canviar de parer als autors i atribuir-la a captura càrstico-marina.

Les coves d'abradió marina es troben a tot tipus de materials (GINÉS, 2000). Les actives actualment es caracteritzen per tenir l'entrada situada al nivell de la mar, en ocasions de grandària considerable en relació a les dimensions de la resta de la gruta. En el cas de les formes actives, les aigües marines inunden la meitat inferior del perfil de la cavitat (GRÀCIA *et al.*, 2001b). Segons GRÀCIA i VICENS (1998) la mida de la cavitat sol disminuir progressivament a mesura que es profunditza i habitualment presenta un perfil ascendent cap a la part terminal. A molts d'indrets, però en especial les zones més castigades per l'acció de les ones, presenten la roca arrodonida i polida, juntament amb altres morfologies d'abradió associades. Estan molt sovint relacionades amb plataformes o rases d'abradió pleistocèniques, fenomen ja observat per CUERDA (1975).



Figura 1.16: Part interior d'una cova marina parcialment inundada i amb diverses entrades, algunes submarines i altres aèries. Litoral de Santanyí (Foto A. Cirer).

Els processos erosius litorals actuen aprofitant els punts dèbils de la roca, és a dir, fractures, diàclasis, plans d'estratificació, i l'heterogeneïtat dels materials dels penya-segats. Generalment són de mides modestes, però n'hi pot haver de mides considerables. Processos que les afecten, com enderrocaments de blocs del sostre, reompliments litogenètics (formació d'espeleotemes), presència de dunes fòssils a l'interior de moltes de les cavernes i el fet que l'abrasió marina aprofita les mateixes discontinuïtats de la roca, fan que en alguns casos sigui difícil esbrinar si es tracta de cavitats amb un origen purament d'erosió litoral, si és una captura càrstico-marina o bé si és la sortida a la mar d'importants cavitats freàtiques, de vegades separades de la resta del sistema càrstic per enderrocaments clàstics (GRÀCIA *et al.*, 2001b).

Algunes d'aquestes grutes presenten històries geomorfològiques complicades, i s'hi alternen moments d'erosió litoral, períodes de sedimentació de materials terrestres com dunes, llims, bretxes i formació d'espeleotemes i èpoques en què es troben sota l'aigua (GRÀCIA i VICENS, 1998). Les zones atacades per l'erosió de la mar no solen tenir espeleotemes, però sí que poden estar presents als sòtils alts, o bé a les

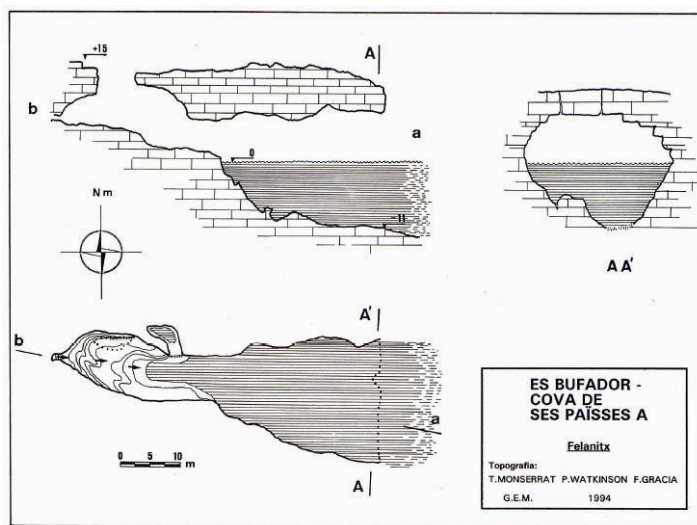
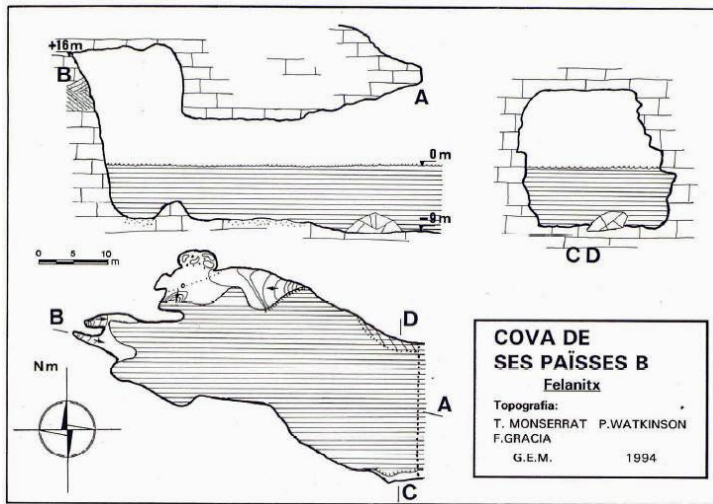


Figura 1.17: Cova de ses Païsses B i des Bufador (Felanitx). Cavitats de gènesi marina amb el perfil típic ascendent. La cova B es troba en un estadi previ a formar un bufador, cas de la cova de ses Païsses A.

cambres aèries internes, poc o gens afectades per l'acció de les ones (GRÀCIA *et al.*, 2001b). Segons GRÀCIA *et al.* (2001b), les grutes submarines són més abundants que les cavitats actives i que les situades per damunt del present nivell del Mediterrani. Aquestes s'han format en èpoques més fredes amb un nivell marí més baix que l'actual.

La incidència dels col·lapses paleocàrstics en la gènesi de coves d'abrasió marina és gran, especialment a les roques calcàries del Miocè postorogènic del Llevant de l'illa de Mallorca (GINÉS, 2000). Aquestes formacions relictas són buits de dissolució, i per tant de paleocarstificació produïts a

la Unitat d'Esculls, d'edat Tortoniana, els quals provoquen la deformació i bretxificació del Complex Terminal suprajacent, d'edat Messiniana (POMAR *et al.*, 1983; FORNÓS & POMAR, 1983). Útil resulta el treball de ROBLEDO (2005), on s'aborda l'estudi dels paleocolapses càrstics de la costa meridional i oriental de l'illa de Mallorca des d'aspectes geològics, geomorfològics, evolutius i paleogeogràfics. L'existència d'aquests col·lapses té repercussions en la formació de coves d'abrasió marina, segons la major o menor cohesió, principalment en funció del grau de cementació, dels materials bretxats del Complex Terminal que formen el col·lapse (GINÉS, 2000; GRÀCIA *et al.*, 2001b).

Alguns exemples de cavitats representatives són: la cova Gran (Felanitx) del litoral postorogènic del Miocè superior llevantí (GRÀCIA *et al.*, 1997; Ginés, 2000), la cova de s'Embarcador (Capdepera) de les calcàries mesozoiques de les serres de Llevant (GINÉS, 2000) i la cova Negra (Pollença) de les roques calcàries mesozoiques de la serra de Tramuntana (GRÀCIA *et al.*, 2001e); aquesta darrera, gairebé subaquàtica per complet, supera en longitud a les grans i nombroses cavitats marines de la costa Brava de Girona (BADIELLA *et al.*, 1992). Més abundants que les cavitats actives i que les situades per damunt del present nivell del Mediterrani són les grutes submarines.

La incidència dels col·lapses

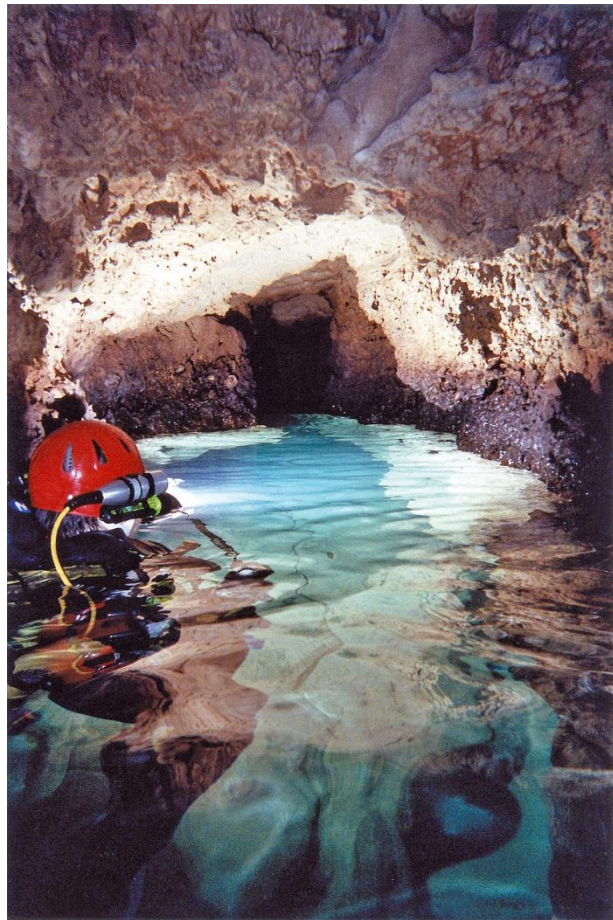


Figura 1.18: Cambra d'una cavitat d'abrasió marina, ja que el perfil ascendent sol determinar la presència d'àmbits amb aire.

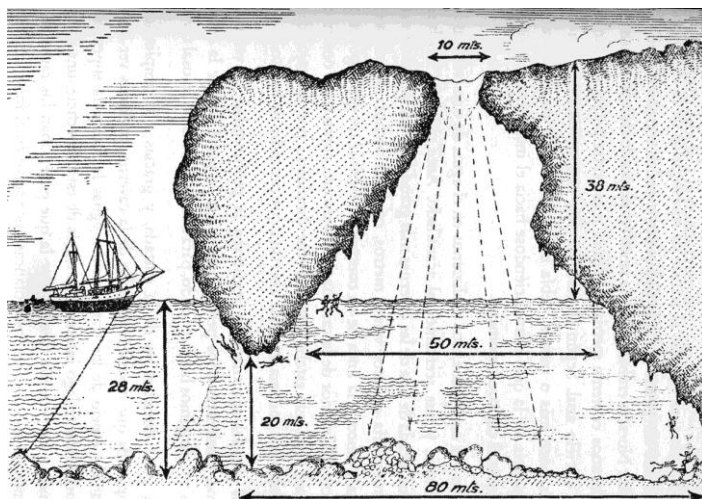


Figura 1.19: Bufador de grans dimensions, que es localitza a punta Nati, Menorca. Dibuix Eduard Admetlla (ADMETLLA, 1957).

paleocàrstics en la gènesi o resistència a la formació de formes d'abrasió es gran, especialment a les roques calcàries del Miocè postorogènic del Llevant de l'illa. Aquestes formacions relictas són buits de dissolució, i per tant de paleocarstificació produïts a la Unitat d'escull, d'edat Tortoniana, els quals provoquen la deformació i bretxificació del Complex

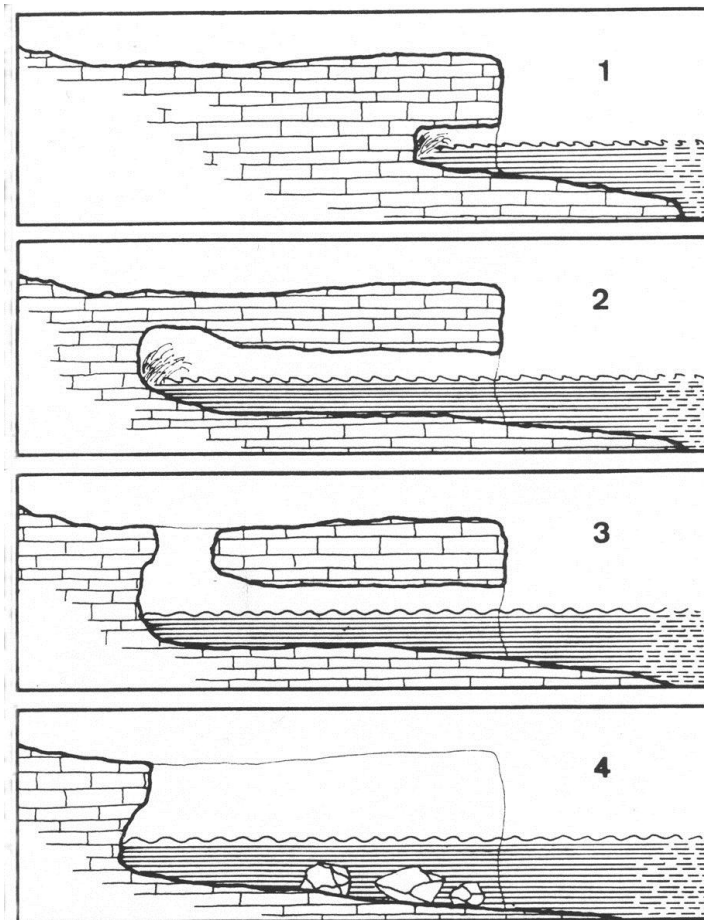


Figura 1.20: Història geomorfològica d'un bufador: 1) i 2) formació d'una cova d'abrasió marina; 3) Obertura del bufador; 4) Esfondrament del sostre i creació d'un petit entrant. Segons GRÀCIA & VICENS (1988).

terminal suprajacent, d'edat Messiniana (POMAR *et al.*, 1983; FORNÓS & POMAR, 1983). L'existència d'aquests col·lapses té repercussions en la formació de coves d'abrasió marina, segons la major o menor cohesió, principalment en funció del grau de cementació, dels materials bretxats del complex terminal que formen el col·lapse. En el cas de la cova Gran, la zona central és més dèbil i ha constituït lloc d'erosió preferent i ha format la cavitat. En altres zones, per exemple entre Mondragó i s'Estret des Temps, a Santanyí els cossos centrals de les xemeneies centrals estan

fortament cimentats de forma que el seu comportament front de l'erosió marina és del tot contraposat al cas anterior, és una zona de resistència i l'acció erosiva es concentra als costats de l'estructura, formant dues cavitats d'abrasió (GINÉS, 2000). Les grans alçades que presenta el sostre fa que puguin haver estat actives durant estadis anteriors inclòs al 7 .

Bufadors

Aquesta espectacular morfologia és el resultat de l'acció conjunta de l'erosió mecànica de les onades i la compressió de l'aire dins les cavitats d'abrasió marina. L'acció erosiva es concentra a la part interna, juntament amb l'efecte pneumàtic dels temporals, que ocasiona un augment de la pressió de l'aire atrapat a l'interior de la cavitat i provoca l'obertura de la volta cap a l'exterior. D'aquesta manera s'obtenen

dues boques: una de marina, cronològicament anterior, generalment de mida major, i un altra de superior, d'accés vertical i de dimensions menors, que es presenta a la part superior dels penya-segats. En ampliar-se la segona entrada o bufador, queda únicament un pont de roca que és el que resta del sòtil de la cavitat. Seria l'estadi previ al total desmantellament de l'antiga cova d'abrasió. Posteriorment es forma un petit entrant que determina un retrocés de la línia de costa i una interiorització de l'efecte erosiu de la mar cap a l'interior del penya-segat, de manera que augmenta la superfície d'atac de les ones. És als terrenys neògens de les plataformes del migjorn i del llevant on s'observen molt bé aquestes formacions.

El nom de la morfologia prové de l'aigua o l'aire que surt del bufador i es dispersa per l'aire els dies de temporal cada cop que una ona romp dins la gruta. Alguns bufadors estan situats per damunt de la mar actual, de forma que estan prou alts perquè surti aigua, però si dins la cova marina encara es comprimeix l'aire, aquest surt a pressió pel forat superior (GRÀCIA *et al.*, 2001b). Tenim molts exemples de bufadors que han esdevinguts submarins.



Figura 1.21: Arc a les proximitats de cala sa Nau (sa cova Foradada) (Foto F. Gràcia).

Arcs

Són el resultat de l'erosió diferencial en funció de la disposició estructural dels materials i de la litologia. De vegades es produeixen pel desmantellament dels materials fluïxos envoltats per roques més dures o compactes, però no és una condició del tot necessària. Normalment es poden formar a partir d'algunes fractures i plans d'estratificació, que aprofita l'erosió en llocs geogràfics especialment indicats. Estan localitzats als llocs on l'acció de les ones és, o va ser, més intensa. El perllongament d'una cova d'abrasió marina en una punta geogràfica o la connexió de dues coves d'abrasió poden formar arcs, de vegades d'una longitud considerable, que reben el nom de túnels. Alguns arcs s'han desenvolupat al llarg de diferents períodes de temps, és el

cas de les coves de la Seu al litoral de Felanitx, a on dos nivells diferents de la mar crearen plataformes d'abrasió i coves d'abrasió en principi independents fins que, aprofitant una mateixa fractura, s'arribaren a ajuntar. La seva evolució posterior pot arribar a convertir l'arc en un illot; aquest fet es demostra en alguns casos per l'observació directa dels blocs de l'antic sostre submergit al fons del freu. També poden acabar produint la fragmentació de l'illot. De fet, alguns illots tenen arcs actualment actius, com ara el famós Pontàs de Santanyí, o d'altres que han esdevingut subaquàtics, com el Faralló d'en Fred a Felanitx, o el Colomer a Pollença, prova d'una transgressió que els va convertir en submarins. Els arcs sota l'aigua, a una fondària suficient no se segueixen erosionant de forma tan activa, fora de la influència de l'onatge, fins que les condicions glacioeustàtiques tornen a canviar. També tenim arcs per damunt de l'aigua, no afectats per la influència tan directa de la mar actual –és el cas de la punta de sa Foradada de Deià-; són evidències d'antigues transgressions marines seguides d'una regressió que els hi confereix l'aspecte actual.



Figura 1.22: Arcs d'abrasió marina a prop del Faralló d'en Fred (Felanitx) a -20 m de profunditat (Foto A. Cirer).

Els arcs submarins de l'illa de Na Corberana (a uns centenars de metres de la Colònia de Sant Jordi) constitueixen un exemple molt didàctic d'aquesta morfologia. Es tracta d'una successió de quatre arcs d'abrasió que se situen a fondàries progressives, en un cap rocós submergit (la continuació geogràfica submarina de sa Puntassa), entre els -12 i -22 metres. L'arc que hi ha a la desembocadura del torrent de Mortitx (Escorca) n'és també un digne exemple.

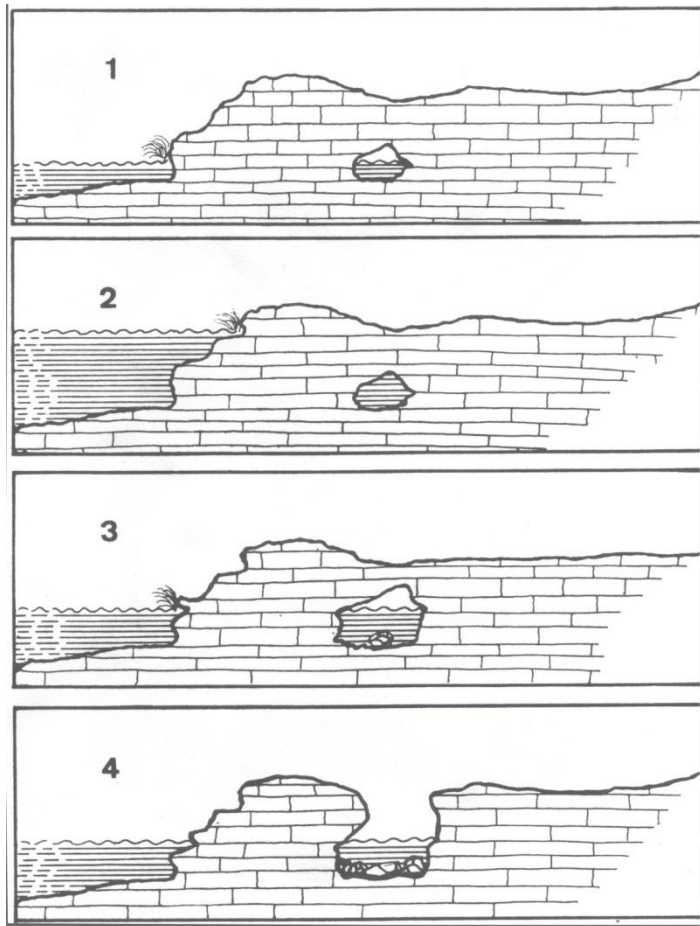


Figura 1.23: Formació i evolució d'un arc. 1) Arc actiu; 2) Transgressió marina i arc que esdevé subaquàtic; 3) Pujada de la mar i reactivació del procés erosiu. Augment de la mida de l'arc; 4) Esfondrament del pont i formació d'un illot. (GRÀCIA & VICENS, 1998).

Túnel

Venen a ser arcs d'abrasió però de longitud considerable. Molt sovint es localitzen als caps rocosos, que travessen de banda a banda, per tant posseeixen al menys dues entrades situades en extrems oposats i no sempre situades a la mateixa cota. El túnel de Balears de més recorregut del què tenim constància es troba a l'Imperial, al sud de l'illa de Cabrera. Es tracta d'un gegantí buit que s'inicia al freu de l'Imperial, a uns 22 m de fondària, amb una longitud que supera els 120 m i travessa l'illa i surt a uns 35 m de profunditat (inèdit). Al seu interior es formen, segons les condicions de la mar, corrents intensos que condicionen la fauna present.

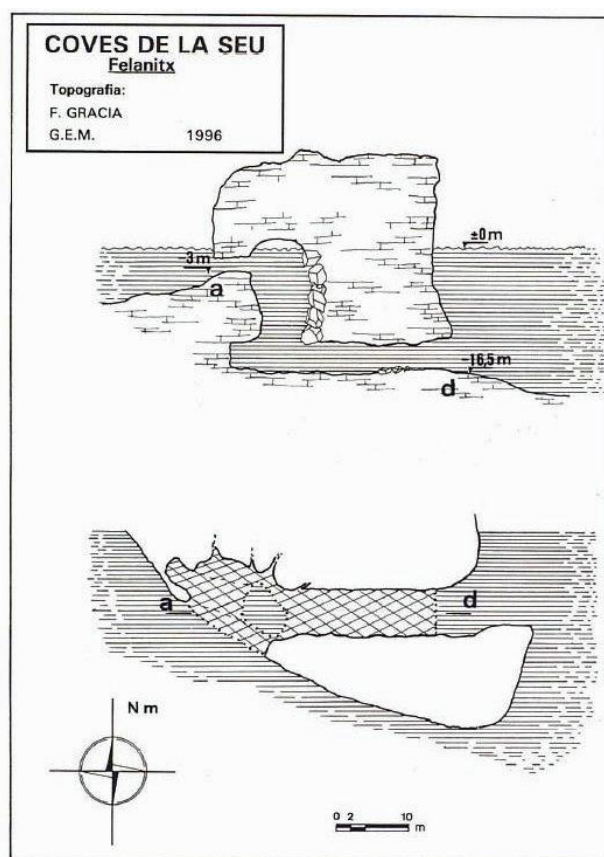


Figura 1.24: Coves de la Seu, formada al llarg de dues regressions marines. Es troba a una punta geogràfica, fruit de la unió de dues coves que es varen connectar. Sa Punta, Portocolom. (GRÀCIA & VICENS, 1998).

1.6. Material i mètode

TEMPS DEDICAT A LES FEINES DE CAMP I COL·LABORACIONS

Els dies acumulats de busseig per realitzar aquesta Tesi Doctoral representen més de 1.000 immersions que he efectuat personalment al llarg de gairebé 22 anys. Les tasques de recerca es van iniciar l'any 1994 fins a devers mitjans del 2015. No ha estat una feina efectuada generalment en solitari, ja que he tingut l'honor i la sort de comptar amb bons col·laboradors que han aportat coneixements, esforços físics i econòmics, així com l'ajuda inestimable a l'hora d'explorar i de recollir informació de camp i de mostreig. La quantificació temporal

és la pròpia, però s'han d'afegir altres moltes sessions a les quals jo no he participat personalment. També les tasques fotogràfiques dins les cavitats subaquàtiques són feines d'equip, ja que a més a més dels fotògrafs la contribució dels models i il·luminadors és bàsica, ja que es tracta de situar-se estratègicament i de forma coordinada entre els models i el càmera per plasmar la cavitat. Sense els amics i companys que han realitzat de forma altruista, professional i entusiasta les diferents tasques, les investigacions no s'haguessin pogut realitzar.

S'ha de tenir present que aproximadament la mitjana de bussejadors per sessió, un pic consultats els diaris d'immersions, ha estat de devers 2,5 espeleòlegs per jornada, encara que varia entre immersions efectuades en solitari i fins a 7 bussos en algunes ocasions. També al llarg de la primera dècada el nombre d'espeleobussejadors era molt

reduït i especialment el darrer lustre s'ha incrementat considerablement. Al començament de les exploracions i recerques, els pocs espeleòlegs de l'equip vam haver de comptar amb ajuts puntuals i temporals, especialment per part de fotògrafs escafandristes no especialitzats en espeleologia subaquàtica, fins que amb els pas dels anys es van incorporar a les files de l'equip de treball espeleobussejadors compromesos. El mateix podem dir de les tasques de filmació de les cavitats. No s'han comptabilitzat les jornades de feines únicament terrestres, efectuades amb els companys espeleobussejadors i en ocasions també amb altres col·laboradors, alguns d'ells espeleòlegs terrestres i membres de la Societat d'Història Natural com són Damià Vicens, Telm Ginard, Pere Bover per citar alguns.

Un fet que vam tenir ben present des del començament era la realització de les feines amb una òptica naturalística i documentar i estudiar el millor possible el major nombre d'aspectes relacionat amb les cavitats subaquàtiques i el carst litoral. Així a poc a poc es va anar comptant amb les col·laboracions de Joan J. Fornós del Departament de Ciències de la Terra de la UIB per estudiar la litologia i els sediments presents, així com també amb Joaquín Ginés i Àngel Ginés, doctors en diferents facetes del carst mallorquí, pel mostreig i estudi dels espeleotemes freàtics situats a cotes negatives, a més a més d'aspectes morfològics i espeleogenètics de les cavitats i darrerament d'estudis morfomètrics que suposen de forma conjunta un bagatge imprescindible. Les discussions profitoses amb l'espeleòleg Antoni Merino especialment sobre les morfologies hipogèniques i també les originades per la mescla d'aigües ha estat del tot profitosa i aclaridora. La col·laboració amb el carcinòleg Damià Jaume de l'IMEDEA per a la determinació de la fauna anquihalina ha estat molt productiva. Les aportacions dels paleontòlegs Pere Bover i Josep Antoni Alcover, investigadors de l'IMEDEA, en l'estudi de la fauna fòssil present ha estat fonamental. La realització de diverses campanyes i estudis arqueològics en col·laboració amb diferents arqueòlegs ha permès conservar i documentar la vinculació de l'home des de temps prehistòrics i les cavitats inundades.

PROSPECCIÓ I RECERCA DE CAVITATS I PLANIFICACIÓ I DISTRIBUCIÓ DE LES FEINES DE CAMP

L'inici personal de tot això, l'estiu del 94, va ésser molt casual. Les ganes de publicar un article de les cavitats dels voltants de Portocolom, lloc d'estiueig familiar, va portar a començar una tasca de topografia de cavitats terrestres conegudes des d'infant. L'exploració, gràcies a la col·laboració d'un conegut del meu pare, de la cova des Coll va fer que ens iniciéssim amb les tècniques d'espeleobusseig d'una cova inèdita. A poc a poc vam anar revisant llacs de coves ja conegudes gràcies a articles publicats o a l'existència de topografies de les zones vadoses de les cavitats. Endemés d'això vam procedir a realitzar prospeccions per les marines mitjançant la col·laboració d'informadors. Així s'ha demanat de l'existència de possibles cavitats amb aigua o seques, esfondraments, forats, pous fets a l'antiga, cavitats submarines interessants, surgències submarines, etc. Els informadors han estat garriguers, pagesos, propietaris, caçadors, pescadors, escafandristes o veïnats. També s'han consultat fotografies aèries per detectar dolines d'esfondrament o entrants a la mar i especialment, un pic superposades les topografies a la fotografia aèria, intentar estudiar possibles connexions entre cavitats properes o d'aquestes amb la mar.

S'ha fet feina normalment en diferents cavitats simultàniament, per evitar cremar als espeleobussejadors i variar un poc de cova i paisatge. Però tampoc se pot dispersar massa els esforços, perquè no s'obtenen resultats. S'ha de pensar que els primers anys les tasques a les coves ens duraven uns 3 a 4 anys de mitjana, llevat d'alguns casos com el sistema Gleda-Camp des Pou a on després de 19 anys encara es fan feines. Els darrers anys, l'increment d'espeleòlegs escafandristes ha fet que cavitats com es Dolç d'uns 4 km s'hagi pogut explorar i documentar en un termini un poc superior als dos anys. Normalment sempre s'han fet les feines, llevat de les de gabinet que normalment ha estat personal, l'exploració, topografia i recollida de mostres es feien compartides. S'ha d'extreure el millor de cada persona i en el cas de les feines a les cavitats submergides és un principi que he procurat seguir. Hi ha espeleòlegs molt bons per explorar, però que no ho són per feines topogràfiques, i també a l'inrevés. Alguns poden fer feines al llarg de setmanes seguides i d'altres per motivació o disponibilitat de temps només en períodes molt més espaiats. Però tots poden contribuir més o menys amb les feines i totes són importants i s'han de valorar.

TÈCNICA D'ESPELEOBUSSEIG SEGONS EL SISTEMA ANGLÈS O SISTEMA LATERAL I ALTRES PARTICULARITATS ADOPTADES

La configuració de l'equip per realitzar les exploracions i feines de camp dins les cavitats s'ha fet segons les tècniques britàniques de portar els tancs laterals i que consisteix bàsicament en portar els tancs subjectes a la cintura, un o dos a cada costat, a més d'un altre tanc opcional situat ventralment. Els tancs duen incorporat una abraçadera amb un ancoratge per enganxar a les anelles de l'armilla o arnès, també ajudats mitjançant elàstics. La segona etapa del regulador penja mitjançant un sistema de gomes o cintes. Aquest sistema permet facilitar o possibilitar el pas per laminadors, gateres o altres zones estretes. Amb el sistema de tancs dorsals aquests passatges resulten més difícils de superar, a la vegada que el risc de quedar encaixats en una angostura és elevat. El fet de permetre accedir, un mateix, al sistema d'obertura del tanc i a la primera etapa del regulador possibilita superar algunes possibles dificultats i incidents. S'han combinat i utilitzat tancs de moltes capacitats volumètriques, així com mescla de gasos, especialment Nítrox 32 per poder allargar els temps de busseig fins a molt més temps sense necessitat d'entrar en descompressió, o almenys reduir el temps d'aquest.

METODOLOGIA TOPOGRÀFICA

La topografia d'una cavitat és l'eina de treball fonamental per saber les dimensions, direccions, desnivells, i altres dades de les formacions endocàrstiques. També és imprescindible per a veure la correspondència amb la superfície. Les cavitats com a megaformes queden representades amb la topografia en planta. La planimetria es pot relacionar amb la litologia i a més a més s'aprecien els condicionants estructurals. Del punt de vista biològic és molt útil per a situar la fauna i realitzar mapes de distribució bioespeleològics dins la cavitat. Els perfils i les alçades a la topografia ens permeten veure possibles indicis genètics generats a la zona de mescla d'aigües.

La presa de dades topogràfiques constitueix una tasca complicada, ja que convergeixen multitud d'elements hostils. Laminadors, galeries i passos estrets, zones amb gran quantitat de sediment que s'alça amb el pas de l'escafandrista, el fred, la pressió de l'aigua que implica l'acumulació de nitrogen i l'entrada en descompressió, la

fosc del medi, les grans distàncies que separen les zones de topografia de les entrades de les coves i el poc temps relatiu de feina condicionat pel consum de l'aire converteixen aquesta activitat en una tasca esgotadora, ingrata i poc atractiva per a la majoria de bussos de coves, fet que explica que grans cavitats mundial no posseeixen topografia detallada i en tot cas només croquis poc fiables i únicament orientatius.

El mètode de treball per fer la planimetria de la major part dels trams subaquàtics ha estat el següent: primer s'explora instal·lant el fil-guia numerat cada 5 metres. En posteriors immersions es prenen les poligonals amb brúixola i les guies marcades i s'anota la profunditat (mesurada amb l'ordinador de busseig), tot això al quadern especial per escriure sota l'aigua. A diferència del que és habitual en altres cavitats, com per exemple als cenotes de Mèxic, no es poden prendre les poligonals a la tornada de l'exploració, ja que a Mallorca el que és normal és que la visibilitat sigui nul·la o estigui molt alterada. A llocs molt concrets i segons l'escala de la topografia, es prenen poligonals amb una cinta mètrica entre dos bussejadors, o entre bussejador i paret. Les poligonals constitueixen la columna vertebral de la topografia i la base que permetrà realitzar la resta de la planimetria de la cavitat. Posteriorment es torna a les zones de treball amb les poligonals traçades en paper mil·limetrat submergible i es dibuixen els contorns de les parets. Per a realitzar els perfils i seccions es retorna en dates posteriors (permetent així que el fang aixecat pels espeleobussejadors se sedimenti) i es prenen dades de profunditat del sostre i del fons a partir de les poligonals ja traçades; posteriorment amb les dades ja passades a fulls submergibles es dibuixen els sostres i el terra. Per fer les seccions de dimensions considerables s'utilitza el mateix procediment que pels perfils. Aquest sistema topogràfic implica molts de dies de treball, però una vegada efectuat permet obtenir més precisió i informació topogràfica de les cavitats i uns estàndards topogràfics poc usuals en espeleobusseig, que van més enllà dels croquis habituals en el busseig espeleològic. Les dades topogràfiques els primers anys es realitzaven damunt paper mil·limetrat amb un porta-angles i amb càlculs trigonomètrics per a fer la projecció projectada. Els darrers anys s'ha emprat el programa de topografia per ordinador "Visual Topo" a on s'introdueixen les dades topogràfiques de distàncies, direccions, amplades i alçades. Una vegada acabada la topografia s'ha de realitzar el dibuix, que actualment faig servir el programa *Illustrator*, però fins fa pocs anys es realitzava el dibuix i la retolació a mà amb els *rotings* de tinta.

La possibilitat de poder efectuar moltes immersions a les cavitats, gràcies a la proximitat geogràfica d'una illa reduïda com és Mallorca, és el que permet captar més informació topogràfica, que seria totalment inviable si es tractés de campanyes de pocs dies de duració. De totes formes, donada la complexitat de les cavitats mallorquines, el disposar de topografies detallades és l'arma més potent per a prosseguir l'exploració de les cavitats i trobar noves continuacions, així com intentar realitzar connexions entre cavitats.

METODOLOGIA DE MOSTREIG DELS PARÀMETRES HÍDRICS

El règim tèrmic i de salinitat dels perfils hídrics d'algunes de les cavitats ha estat estudiat mitjançant sondes oceanogràfiques pertanyents a l'IMEDEA o a la UIB, sempre que s'ha tingut disponibilitat de l'instrumental. L'aparell realitza lectures automàtiques cada segon de salinitat, temperatura a més de la fondària, mentre es desplaçat molt lentament per un cabussador. Les dades posteriorment són transferides a un ordinador. S'ha tingut especial cura en efectuar el descens mentre la sonda prenia les dades. Així, es feia a llocs determinats de les cavitats a on el desnivell topogràfic fos més elevat per poder representar de forma més completa i exacta les gràfiques dels paràmetres. En tot cas, si el perfil no era complet se prosseguia a la zona de la cova més propera fins assolir les màximes fondàries. També es tenia especial cura amb el desplaçament del espeleobussejador per no distorsionar les característiques de l'aigua.

METODOLOGIA EMPRADA EN L'ESTUDI DEL REGISTRE SEDIMENTARI

S'han utilitzat sondeigs manuals obtinguts mitjançant la penetració dins la columna sedimentària de tubs de PVC de diferents llargàries si la potència de sediment era suficient. En els casos de presentar el terra una petita capa de sediment que no fes factible ni operatiu la introducció dels tubs de PVC es feien servir petits pots de plàstic numerats i amb tapa. Un cop extretes de l'aigua les mostres, totes convenientment etiquetades i numerades indicant al tub quina és la part inferior i la superior, les mostres són traslladades al laboratori on, després d'una primera descripció superficial amb l'ajuda de la lupa binocular, descripció del color mitjançant la utilització de taules MUNSELL© i del seu rentat i posterior dessecació a l'estufa, les mostres són sotmeses a diversos anàlisis per tal d'obtenir les seves característiques texturals i de mida de gra així com de composició mineralògica. Per a les anàlisis texturals (granulometries)

s'utilitzen tant els sistemes tradicionals de tamisatge o mètode de la pipeta, com els que utilitzen les modernes tècniques del làser tipus Coulter per analitzar la mida de gra en sediments especialment fins. Amb les dades obtingudes es representen les corbes acumulatives i els histogrames de freqüències, a partir dels quals es calculen els paràmetres estadístics descriptius que permeten deduir els processos hidràulics que els han originat. Per a l'anàlisi de la composició mineralògica se sol polvoritzar la mostra i la seva pols, orientada a l'atzar o no en funció del contingut en argiles, s'introdueix dins un difractòmetre de raigs X. L'anàlisi semi-quantitativa de cada mostra es realitza utilitzant el software associat basant-se en les àrees dels pics obtinguts en els difractogrames, les dades permeten d'aquesta forma avaluar les possibles àrees font del sediment. L'estudi es complementa amb la utilització de microscòpia electrònica d'escandallatge (SEM), molt freqüent no tan sols per observar les característiques morfològiques superficials, sinó també per saber-ne la composició elemental gràcies als equipaments associats com són els detectors d'EDX. La datació dels rebliments sedimentaris també s'ha intentat amb diferents taxes d'èxit. La tècnica del Carboni-14 aplicada a partir de restes orgàniques, introduïdes per corrents superficials cap a l'interior de la cavitat, ha permès datar alguns sediments de coves càrstiques litorals com a relativament recents. Un altra tècnica emprada en l'estudi de les eolianites ha estat la termoluminiscència, per saber l'edat d'una mostra de roca que formen part de la roca mare, com és el cas des Dolç.

METODOLOGIA DE MOSTREIG DE LA FAUNA

La fauna invertebrada no artròpodes s'ha recol·lectat mitjançant pots de vidre etiquetats i posteriorment conservada en alcohol. La fauna de crustacis anquihalins s'ha mostrejat mitjançant dues tècniques: 1- pesques amb xarxes de plàncton (confeccionades amb teixit de nyal de 64 µm de llum de malla) amb les quals es filtra l'aigua mentre es busseja. Es procura separar les pesques en funció de sectors de les coves i per fondàries, almenys a les capes més dolces i a les capes de major salinitat. 2- pesques amb una vintena de nanses numerades (confeccionades amb pots de plàstic i malla de nyal) utilitzant fuet o formatge com a esquer, que es deixen a la cavitat normalment entre tres dies i una setmana. Les captures s'han efectuat per sectors concrets i a fondàries determinades per poder caracteritzar la fauna de les diferents zones de les cavitats. El material capturat amb la xarxa es fixava amb formol a les

diverses cambres d'aire repartides a diferents zones de la coves si era possible, per poder així diferenciar millor la fauna present als sectors i optimitzar l'estudi carcinològic. Les captures provinents de les nanses es fixaven després de filtrar-les amb l'ajut d'una petita xarxa de plàncton i d'annotar la procedència de la mostra. El material recollit s'ha identificat al laboratori de l'Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (IMEDEA), mitjançant lupa binocular i microscopi equipat amb contrast diferencial. Una vegada determinat el material es procedia a l'elaboració de mapes zonals de distribució dels invertebrats.

METODOLOGIA DE RECUPERACIÓ DE LES RESTES FÒSSILS

El primer de tot, s'han de documentar les troballes amb abundants fotografies i si és possible filmacions. També s'ha de marcar a la topografia la localització dels fòssils per no perdre informació relativa a l'estratigrafia o altres aspectes d'interès.

La forma d'extreure els fòssils de les cavitats, una vegada es tenen els permisos pertinents, suposa un repte important per evitar la destrucció per cops o malmenades. S'ha de pensar que les distàncies de centenars de metres sota l'aigua que s'ha de salvar, en ocasions passant per restriccions, és una dificultat considerable. Per això es varen pensar en diferents formes d'extreure els materials sense afectar la seva integritat i pensant, òbviament, amb la seguretat dels bussejadors. Finalment, en els casos de fòssils d'una certa mida, es va decidir per l'extracció mitjançant un caixó de plàstic de mida 50 x 33 x 15 cm folrat amb espuma (per evitar els cops), i llastrant-los amb 2 quilos de plom per evitar que suessin massa i dificultessin el treball als bussejadors per no tenir una flotabilitat més o menys neutra.

Un dels problemes de conservació més greus és que els ossos han estat submergits dins aigua d'elevada salinitat al llarg de mil·lennis i si es procedeix a una extracció sense tractament les sals cristal·litzen i trenquen els fòssils. D'aquesta manera els ossos que s'han extret han de passar per un procés de dessalat al llarg d'un mes en el qual els ossos estan submergits dins cubetes en aigua dolça i a les fosques per a evitar l'aparició d'algues i fent canvis d'aigua cada 4-5 dies, per així eliminar els clorurs. Finalment, es procedeix a un assecat molt lent totalment a les fosques dins d'un armari evitant l'assecat massa ràpid que provoca el trencament de l'os, i consolidar amb Paraloid B-67 al 7% d'acetona.

METODOLOGIA DE RECUPERACIÓ DE LES RESTES ARQUEOLÒGIQUES

En el cas de troballes de material arqueològic dins cavitats sota l'aigua el primer que s'ha de fer és no tocar res i posar-ho en coneixements d'arqueòlegs i de les autoritats i tècnics de Patrimoni per establir un pla de recuperació i conservació de les peces. En dates posteriors s'ha de fer un reportatge fotogràfic el més complet possible. Si es tracta d'un jaciment amb molt de material es realitza una topografia ampliada de la zona del jaciment, cosa que no fa falta si fos la recuperació d'una peça aïllada. També s'han de situar les peces, prèviament etiquetades per saber la seva localització, encara que s'ha de pensar que són peces caigudes des de la superfície dels llacs i que han redolat segons la topografia del pendent.

La principal dificultat de la recuperació del material arqueològic és la falta de visibilitat que es produeix quan es remou el fons i es mobilitzen peces i blocs, alçant el fang del fons. La zona arqueològica sol acabar amb nul·la visibilitat, fet que impedeix prosseguir amb les tasques subaquàtiques. La segona dificultat és el pes i volum, així com fragilitat de les peces arqueològiques recuperades. En ocasions s'han emprat xarxes i cordes per extreure de l'aigua el material, fins i tot s'ha arribat a la construcció d'una plataforma de fusta sobre l'aigua, fixada a les parets i formacions, ha estat de gran utilitat, ja que ha facilitat totes les tasques de transport i representava un punt de comoditat i descans pels espeleobussejadors a l'hora d'equipar-se o desequipar-se. En alguns llocs, especialment als costats del con d'enderrocs, calia anar amb compte per evitar la caiguda de pedres inestables. Sobretot quan es recuperaven les àmfores, de grans dimensions, de vegades encaixades entre els blocs, que podia provocar una esbaldregada que sepultés l'escafandrista.

Així doncs, abans calia localitzar, anotar la situació i la fondària i recuperar d'entre les pedres i el fang el material. Després es procedia a inflar l'armilla hidrostàtica per poder ascendir amb les feixugues àmfores cap als llacs, en casos molt dificultosos pel pes es procedia amb globus, per una vegada allà, posar-les dins la xarxa o passar-les en mà a un company i anant-les pujant d'una en una. La maniobra es realitzava lentament amb total sincronització amb els espeleòlegs de superfície, per pujar primer poc a poc i quan s'estava al nivell de l'aigua aturar la pujada i buidar les peces senceres per eliminar el pes suplementari de l'aigua i evitar el seu trencament. Aquest buidatge per altra banda representa que l'aigua que surt amb fang, embruta i disminueix la visibilitat i el temps efectiu de busseig. Després s'han de condicionar els cotxes per seu

transport, dins caixons de plàstic molt grans, resistents i impermeables. Les peces s'emboliquen amb pedaços o altres coses humides per evitar el dessecat i trencament de les peces. En els casos de la font de ses Aiguades i de la cova des Rafal des Porcs, amb moltes peces i de gran volum, part de l'equip de recuperació portàvem el material de cap a Palma directament al Departament de Patrimoni del Consell Insular de Mallorca. Totes les peces estàvem numerades i relacionades amb mapes ampliats de localització dins la cova. Un pic allà els tècnics procedien a eliminar la sal de les peces mitjançant la seva immersió en aigua dolça i substitució de l'aigua cada cert nombre de dies. Això es feia almenys duran un mes per després procedir al dessecat controlat.

Capítol 2. L'ESPELEOGÈNESI I ELS CONDICIONANTS LITOLÒGICS DE LES CAVITATS LITORALS DE MALLORCA

2.1. L'espeleogènesi al carst litoral de Mallorca

Aquest apartat està tret majoritàriament de GINÉS *et al.* (2008) i FORNÓS & GELABERT (2011) i modificat amb les darreres informacions obtingudes gràcies a les darreres recerques a la cova des Pas de Vallgornera (GINÉS & GINÉS, 2009; MERINO *et al.*, 2009a, 2009b, 2009c; MERINO & FORNÓS, 2010 i MERINO *et al.*, 2011c), es Dolç (GRÀCIA *et al.*, 2014 i GRÀCIA & FORNÓS, 2014) i a les coves del Drac (inèdit). Al carst costaner de Mallorca, els treballs publicats sobre espeleogènesi són relativament escassos fins a les darreries del segle passat. Deixant de banda les publicacions històriques de MARTEL (1896, 1903), que consideraven les coves del Drac com a un fenomen litoral ja que se li atribuïa un origen estrictament relacionat amb l'erosió marina (GINÉS, 1999), les cavitats de l'àrea de Portocristo són contemplades amb

posterioritat des de l'òptica de la carstificació convencional. Així, diferents autors proposen la seva excavació per part de les aigües subterrànies continentals que circulen cap a la costa, en forma de rius subterranis més o manco tumultuosos

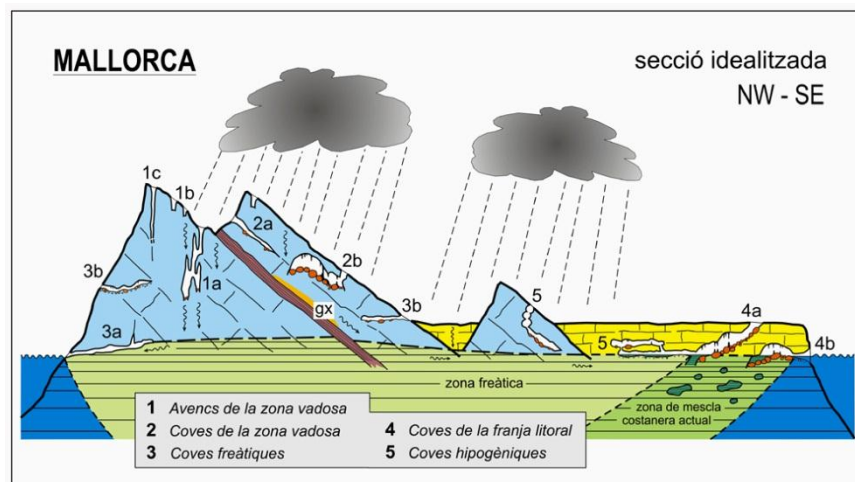


Figura 2.1: Representació esquemàtica dels tipus de cavitats presents a Mallorca, realitzada al llarg d'un perfil ideal de l'illa (GINÉS & GINÉS, 2009). 1a: avenc de dissolució vadosa; 1b: avencs vadosos d'alimentació nival; 1c: avencs d'origen mecànic; 2a: cova estructural; 2b: cova d'esfondrament; gx: guixos triàsics subjacents; 3a: cova freàtica amb activitat hidrològica; 3b: coves freàtiques antigues; 4a: cova de la zona de mescla costanera, morfològicament molt evolucionada; 4b: cova càrstico-marina; 5: coves hipogèniques.

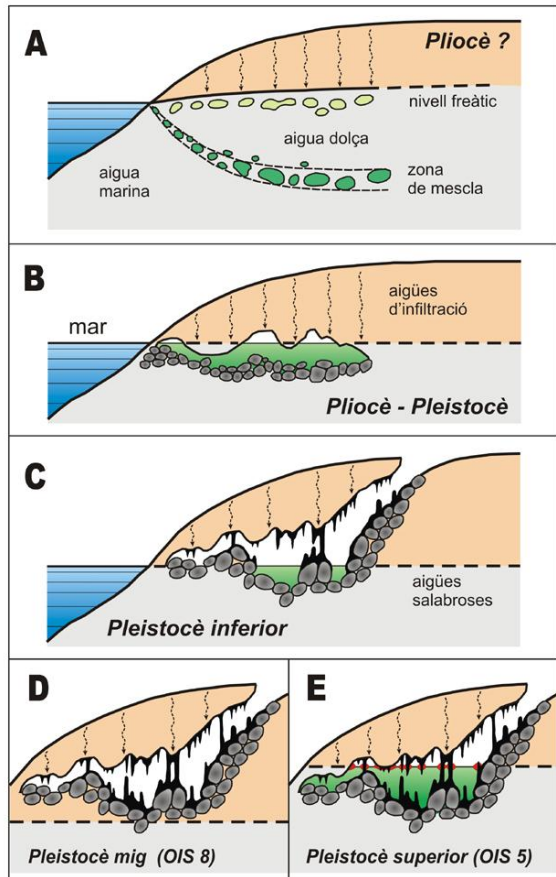


Figura 2.2: Seqüència evolutiva proposada per a la morfogènesi de les coves litorals del Migjorn de Mallorca (GINÉS & GINÉS, 1992). a) excavació inicial per dissolució en règim freàtic, lligada a Situacions geoquímiques específiques (zona epifreàtica i zona de mescla entre aigües continentals i marines); b) desenvolupament volumètric de la cavitat mitjançant esfondraments i ajustaments mecànics de les voltes; c) espectaculars fenòmens d'estalagmitització cobreixen un potent substrat de blocs rocósos; d) durant les oscil·lacions negatives del nivell marí es formen estalagmites aèries en el que són els actuals llacs de la cova; e) les fluctuacions glacio-eustàtiques positives del nivell marí queden enregistrades en forma d'alineacions d'espeleotemes freàtics.

(MAHEU, 1912; DARDER, 1925, 1930); no obstant això, en tots els casos es fa patent la influència de la proximitat a la línia de costa, evidenciada per la presència de llacs d'aigües salabroses controlats pel nivell marí (RODÉS, 1925). Dins d'una línia semblant, encara que quelcom més encertada, FAURA Y SANS (1926) parla de l'actuació de corrents d'aigües subterrànies, a la vegada que argumenta l'acció dissolvent conjunta de les infiltracions i les aigües marines, posant l'accent així –tal vegada de manera una mica casual– en l'especificitat que suposa el caràcter litoral dels processos de carstificació que han tingut lloc.

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



Figura 2.3: Les aportacions dels progressos en l'exploració subaquàtica de les coves litorals mallorquines han anat aportant un enorme bagatge de dades morfològiques (Foto C. Bodi).

Cal esperar a la dècada dels 90 per trobar una discussió crítica sobre l'espeleogènesi de les famoses coves del Drac, feta des d'una perspectiva històrica (GINÉS & GINÉS, 1992), on s'adapten a l'àmbit geogràfic del llevant i migjorn de Mallorca els coneixements generats a les illes del Carib. En aquest treball es proposa un model evolutiu per a les cavitats de la regió càrstica del Migjorn –tal i com fou definida a GINÉS & GINÉS (1989)– on es contempen unes fases espeleogenètiques inicials, desenvolupades en condicions freàtiques a la zona de mescla litoral, seguides per processos de col·lapse generalitzat dels sòtils i parets de les coves que, a la vegada, s'intercalen amb episodis de deposició d'espeleotemes; tot això resulta condicionat i controlat en tot moment per la complexa història de les fluctuacions del nivell marí al llarg del Quaternari. Aquestes idees apareixen exposades i complementades en treballs posteriors on s'esbossa una classificació genètica de les coves de Mallorca (GINÉS, 1995a; GINÉS & GINÉS, 2009), així com en un estudi monogràfic dedicat a posar al dia, en aquelles dates, els coneixements disponibles sobre el carst litoral del llevant de l'illa (GINÉS, 2000).

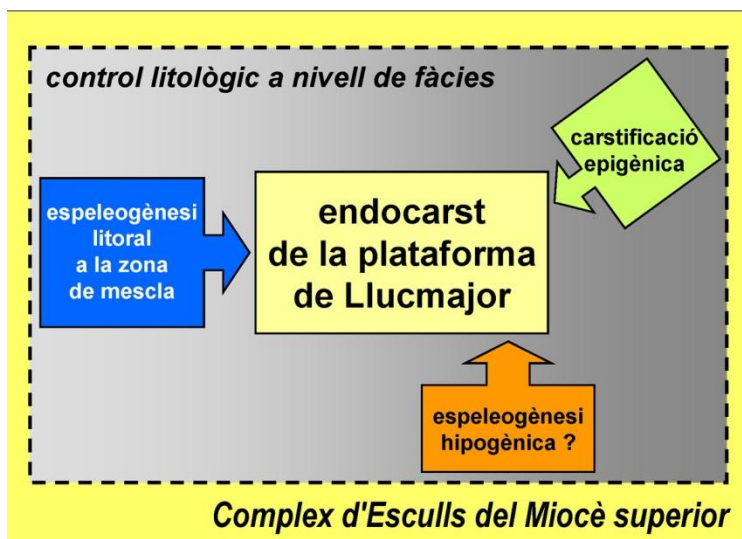


Figura 2.4: Aquest esquema de GINÉS *et al.* (2008) per a la cova des Pas de Vallgornera, amb els coneixements actuals seria també extrapolable a es Dolç, de la depressió de Campos i a les coves del Drac de Portocristo a la marina de Manacor.

D'ençà de 1994, els progressos en l'exploració subaquàtica de les coves litorals mallorquines han anat aportant un enorme bagatge de dades morfològiques, hidrològiques i espeleocronològiques (GRÀCIA *et al.*, 1997, 1998a, 1998b, 2000, 2001c, 2001d, 2001e, 2003a, 2003b, 2003c, 2005, 2006a, 2006b, 2007a, 2007b, 2009a, 2009b; 2009c,

2010a, 2010b, 2014, GRÀCIA & FORNÓS, 2014; TUCCIMEI *et al.*, 2006), que permeten tenir una visió molt més acurada de la disposició tridimensional de les cavitats, dels trets morfològics dominants, de la seva extensió real i dels límits cronològics on s'emmarca l'evolució de l'endocarst. Així mateix, les exploracions en la cova des Pas de Vallgornera (Lluçmajor) anaven convertint aquesta localitat en una de les coves més importants de Mallorca, alhora que aportaven noves dades morfogenètiques de rellevància (MERINO, 1993, 2000, 2002, 2006, 2007a, 2007b, 2008; MERINO & FORNÓS, 2010; MERINO *et al.*, 2006, 2007, 2008, 2009a, 2009b, 2009c, 2011; GRÀCIA *et al.*, 2009a, 2009b). Totes aquestes investigacions reforcen, en línies generals i amb la introducció afegida del paper dels processos hipogènics d'algunes cavitats, el model evolutiu proposat el seu dia per GINÉS & GINÉS (1992). S'han aportant endemés evidències de processos actius de dissolució freàtica en les haloclines observables en algunes cavitats (GRÀCIA *et al.*, 2007a).

És molt interessant tenir present la data relativament recent 2009, en la que s'incorpora, per algunes importants cavitats, la gènesi hipogènica en col·laboració amb la mescla d'aigües i el paper de les aigües meteòriques, per explicar la formació de l'endocarst litoral. Així a l'article de GINÉS & GINÉS (2009) *Proposta d'una nova classificació morfogenètica de les cavitats càrstiques de l'illa de Mallorca*, ja afirmen que les importants exploracions i descobriments efectuats a Mallorca, posen de

manifest una complexitat creixent pel que fa als mecanismes genètics responsables de la formació de les cavitats càrstiques de la illa i que aquests fets fan necessària la reelaboració d'una classificació morfogenètica que actualitzi els coneixements que eren vàlids fa algunes dècades i que sigui capaç d'adonar de la gran varietat d'ambients representats al món subterrani mallorquí. Les principals novetats d'aquesta classificació consisteixen, d'una banda, en el reconeixement del paper de la dissolució de guixos subjacents en la gènesi d'algunes coves d'enfonsament de la serra de Tramuntana; d'altra banda, l'existència de processos d'espeleogènesi hipogènica, de caràcter geotermal, que en alguns casos han actuat conjuntament amb els mecanismes de dissolució lligats a la zona de barreja litoral. Aquesta classificació es torna a reafirmar a GINÉS & GINÉS (2011).

També GRÀCIA *et al.* (2009a, 2009b) documenten, a les galeries subaquàtiques de la cova des Pas de Vallgornera, la presència de precipitats negres al terra de diverses galeries que li atorguen un aspecte fosc, així com l'existència de morfologies de corrosió associades, com són els solcs ascendents de desgasificació, evidències de processos d'origen hidrotermal. Fins i tot batien una galeria del sector Subaquàtic de

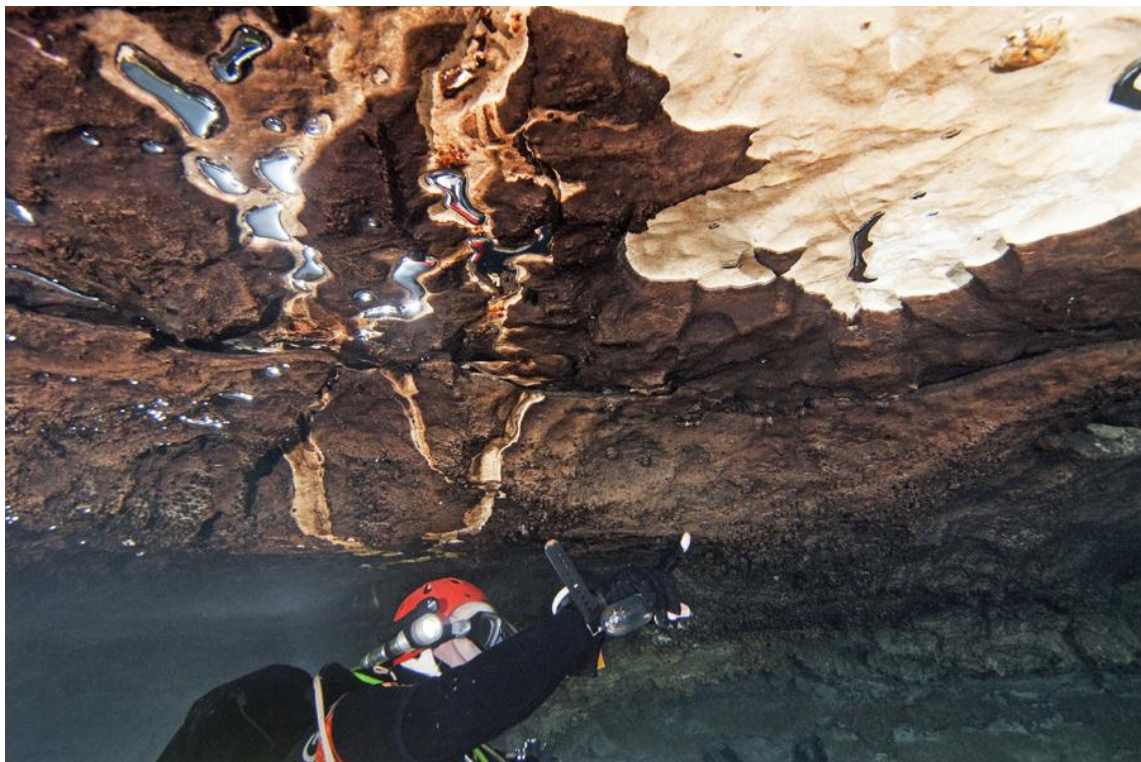


Figura 2.5: Canals de sostre procedents de punts d'alimentació laterals a les coves del Drac. Constitueixen proves de la contribució hipogènica de la cavitat (Foto A. Cirer).

Gregal com galeria Hidrotermal, per les morfologies, sediments i aspecte general que presenta.

MERINO *et al.* (2009a, 2009b, 2009c), MERINO & FORNÓS (2010) i MERINO *et al.* (2011) descriuen les morfologies que constitueixen una evidència tangible de la implicació de processos de tipus hipogènic presents a les galeries actualment vadoses de la cova des Pas de Vallgornera, com són els canals ascendents de dissolució (*solutional rising channels*), canals de sostre (*ceiling channels*), *feeders* i altres morfologies de flux ascendent. També estudien la composició química i els principals minerals identificats a les crostes minerals dels *feeders* o conductes alimentadors.

A GRÀCIA *et al.* (2014) i GRÀCIA & FORNÓS (2014) es descriuen les morfologies hipogèniques trobades a es Dolç, al litoral de la depressió de Campos, dins materials molt recents del Pliocè i Pleistocè. Finalment les darreres troballes a les coves del Drac (inèdit), ens fan qüestionar aquesta cavitat com a cavitat “tipus” d'exemple de coves generades a la zona de mescla, ja que les observacions i estudis efectuats a les galeries subaquàtiques denoten un clar caràcter hipogènic amb una gran densitat de morfologies hipogèniques i poques morfologies típiques de la zona de mescla. Malgrat la presència a les proximitats de cavitats que semblen que només obeeix la seva formació a l'agressivitat de la zona de mescla.

Finalment, cal fer referència a alguns treballs publicats els darrers anys on es posa l'accent en el paper del processos de col·lapse i reajustament mecànic en la morfogènesi de les coves del Migjorn de Mallorca (GINÉS, 2000; GINÉS *et al.*, 2008; GRÀCIA *et al.*, 2006a, 2007a, 2009a, 2010a, 2010b, 2014), situant al mateix temps l'espeleogènesi de l'àrea dins el context de la carstificació litoral desenvolupada en materials carbonatats relativament recents (GINÉS & GINÉS, 2007, 2009; GRÀCIA *et al.*, 2014).

2.2. Estratigrafia i condicionants litològics

Aquest apartat està tret majoritàriament de FORNÓS & GELABERT (2011) i modificat a partir de FORNÓS *et al.* (2013) i GRÀCIA *et al.* (2014). Els aspectes morfològics com els morfodinàmics observables en les diverses fases evolutives de formació d'un carst no poden ésser estudiats de forma aïllada, sinó que s'han d'emmarcar dins de la base estructural i litològica sobre la qual es desenvolupen. Enquadrats dins d'aquest marc geològic, hi sobresurten per la seva relació directa amb el desenvolupament del carst tots aquells aspectes relacionats amb l'estratigrafia, les característiques sedimentològiques, la petrologia, la tectònica o estructura i, per suposat, la hidrologia.

La història estratigràfica de Mallorca compren des del Carbonífer fins al Quaternari amb un important hiatus a la base del Terciari. La sedimentologia dels materials presents és altament complexa i molt variada, amb una gran superposició de diferents

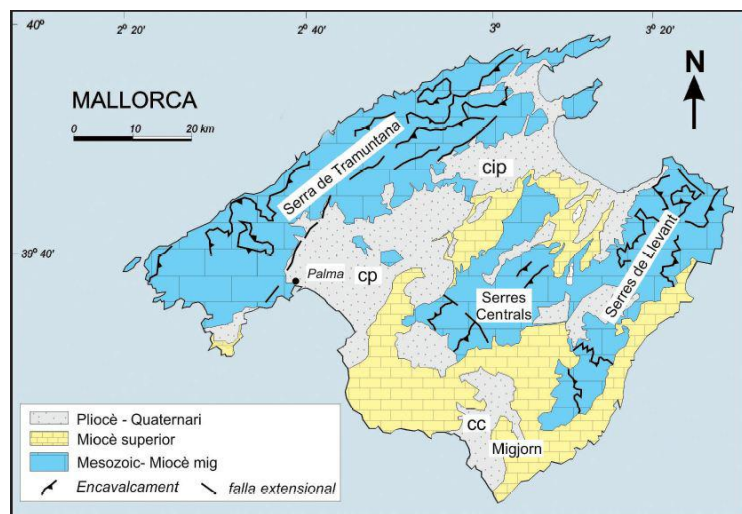


Figura 2.6: Mapa geològic simplificat de l'illa de Mallorca.

ambients sedimentaris, que abasten fàcies de tipus lacustre, litorals, de plataforma, de talús i fàcies pelàgiques, fruit de les diverses etapes en l'estructuració tectònica. El fet comú més destacable és 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 que es poden cartografiar en superfície.

Els dipòsits del Miocè superior, juntament amb els del Lias, suposen un 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, que conformen el Migjorn de Mallorca (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 a Mallorca, 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 potència i quantitat d’aflorament des del punt de vista areal, les calcàries del Miocè superior mostren una gran quantitat de fenòmens càrstics. Donada la localització a la línia de costa hi destaca especialment el lapiaz litoral, i una gran abundància de coves i cavitats, moltes formades per processos relacionats amb el carst litoral (zona de mescla d’aigües), en les quals són presents els processos que relacionen la dinàmica càrstica i la marina, incloent-hi tots els fenòmens relacionats amb les oscil·lacions del nivell de la mar durant el Quaternari. Aquestes calcàries mostren a més, l’afectació per nombrosos processos paleocàrstics que han actuat des del Miocè superior fins a l’actualitat.

El Pliocè, presenta una important potència a Mallorca, més de 200 m (COLOM, 1985; SIMA & RAMON, 1986). Es pot observar bé en sondatges, essent present a les parts més deprimides del Pla, Conca de Palma i Conca d’Inca - sa Pobla. Format per calcisiltites ocres a la base, al sostre evoluciona cap a calcarenites, que s’interdigiten lateralment amb nivells detrítics formats per conglomerats. El conjunt correspon al rebliment 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.

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 zones més elevades. Una novetat important de les darreres troballes efectuades a es Dolç (FORNÓS *et al.*, 2013; GRÀCIA *et al.*, 2014), és que s’ha de modificar el que s’afirmava referent a l’interès càrstic dels materials del Pliocè i Pleistocè a FORNÓS & GELABERT (2011): *només s’hi han localitzat petites cavitats sense gaire importància*. I també a GÓMEZ-PUJOL & FORNÓS (2009): *des del punt de vista del carst destaquen només els processos de lapiaz litoral associats als nombrosos afloraments d’eolianites que es donen en les zones costaneres*.

2.3. Els dipòsits del Miocè superior del Migjorn i Llevant de Mallorca

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

Les zones deprimides, els *grabens*, estan reblertes pels materials considerats postorogènics i que abracen des del Miocè mig fins el Plio-Quaternari. Dins d'aquestes

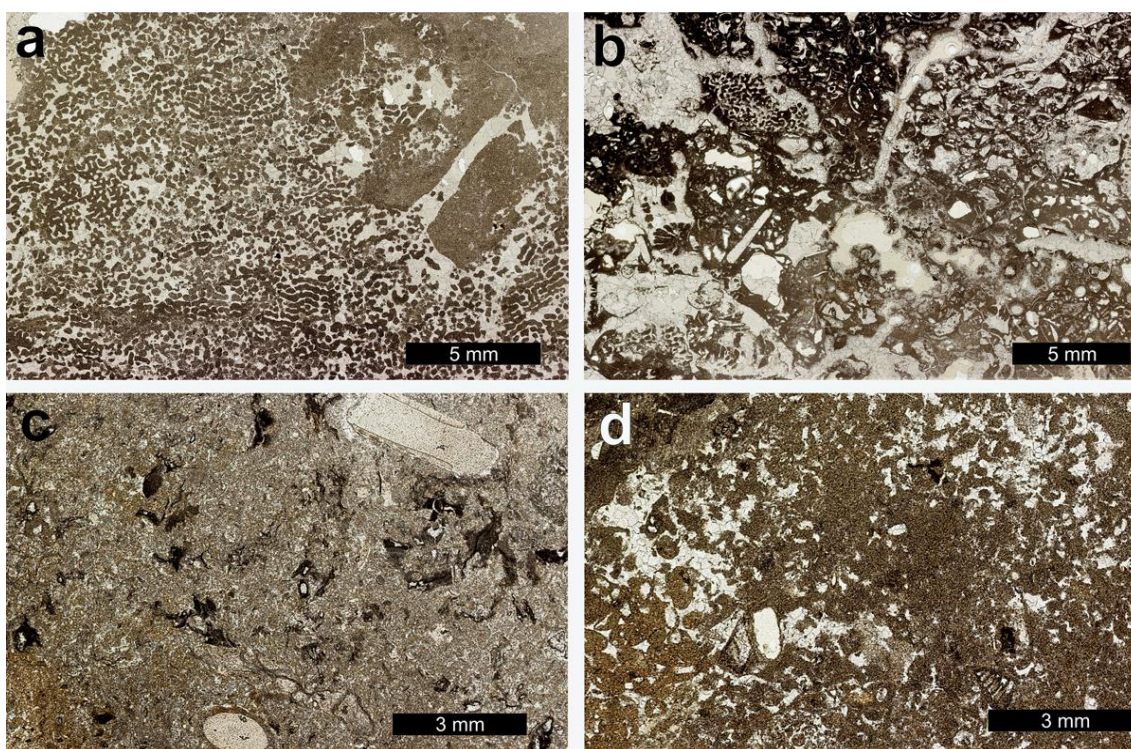


Figura 2.7: Làmines primes (llum paral·lela) de les fàcies del Miocè superior més representatives presents a la Cova de sa Gleda, on s'hi observen les característiques texturals i de composició. a) textura *framestone* amb coralls (*Porites*) de la fàcies de front d'escull; b) textura *rudstone* amb coralls i altra macrofauna (fàcies de front d'escull); c) *packstone* amb equinoderms, foraminífers i mol·luscs (fàcies de lagoon extern); d) *wackestone* amb abundants peloids i foraminífers (fàcies de lagoon intern). Agafat de GINÉS *et al.*, 2008.

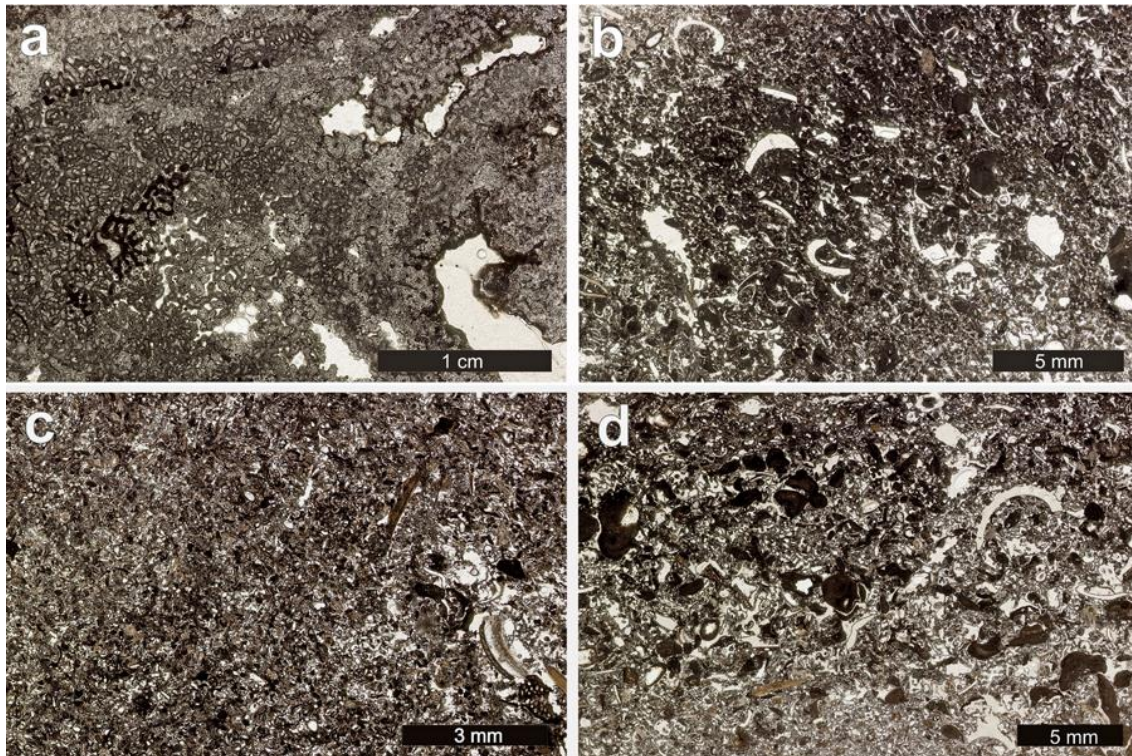


Figura 2.8: Làmines primes (llum paral·lela) de les fàcies del Miocè superior més representatives presents a la Cova des Pas de Vallgornera, on s'hi observen les característiques texturals i de composició. a) textura *framestone* amb coralls (*Porites*) i una important porositat primària, corresponent a la fàcies de front d'escull; b) textura *packstone* amb foraminífers, briozous i fragments de mol·luscs (fàcies de lagoon intern, condicions hipersalines); c) *packstone* amb foraminífers, equinoderms i algues vermelles (fàcies de lagoon extern); d) *wackestone-packstone* amb foraminífers (fàcies de lagoon intern). Agafat de GINÉS *et al.* (2008).

conques neògenes les parts més subsidents presenten potències importants de Pliocè i Quaternari, mentre que a les parts menys subsidents són els dipòsits tabulars del Miocè superior els que afloren amplament. Aquests dipòsits conformen el relleu estructural de la part oriental i sud de Mallorca (Migjorn), que acaba a la línia de costa amb un seguit d'espectaculars penya-segats, amb una gran continuïtat només trencada per l'acció incisiva dels barrancs i torrents, i on els fenòmens endocàrstics hi són ben presents.

Malgrat l'aparent uniformitat litològica carbonatada del Migjorn, els dipòsits del Miocè superior mostren una certa complexitat, diferenciant-s'hi una sèrie de seqüències que es corresponen amb els diversos ambients deposicionals, disposats en arquitectures també complexes pròpies de les plataformes carbonades d'àmbit tropical, i que es caracteritzen des del punt de vista litològic per una gran variabilitat textural. Així, seguint a FORNÓS *et al.* (2002b) la seqüència inferior, que correspon cronològicament

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

Figura 2.9: Mecanismes espeleogenètics implicats a les dues grans xarxes subterrànies, el sistema Gleda-Camp des Pou i la cova des Pas de Vallgornera i associació morfològica resultant en funció dels condicionants litològics.

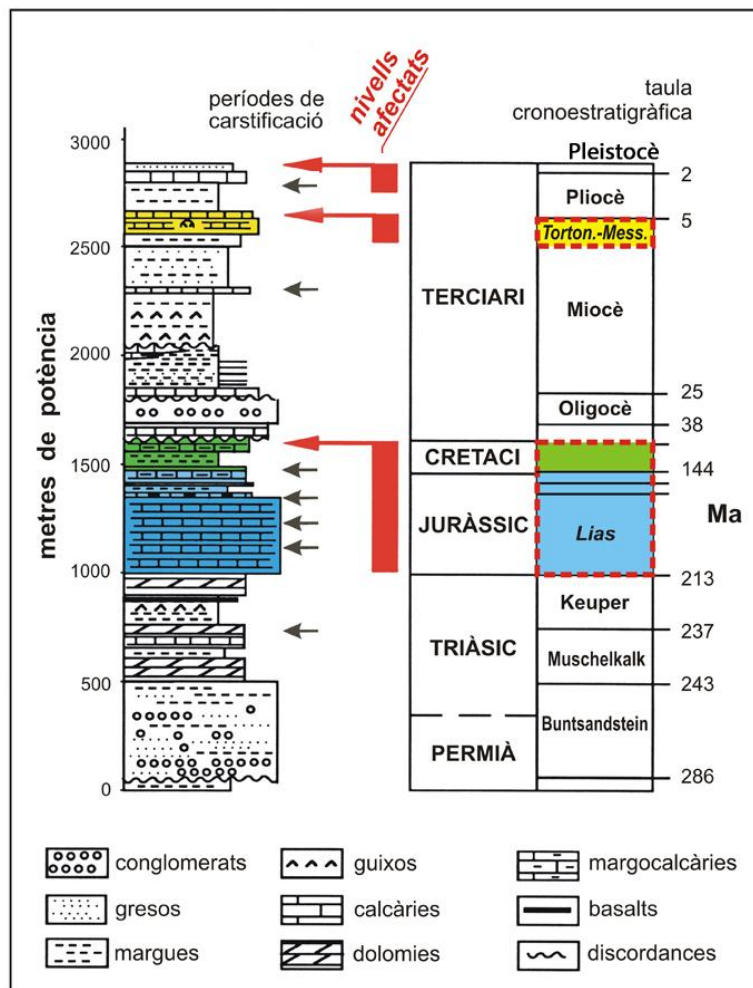


Figura 2.10: Columna litoestratigràfica sintètica de Mallorca amb indicació dels episodis de paleocarstificació (fletxes) i els principals nivells afectats (columnes verticals vermelles). Modificat de GINÉS *et al.* (2011) i a la vegada modificat a partir de FORNÓS *et al.* (1995). Amb les darreres descobertes (GRÀCIA *et al.*, 2014) s'ha modificat la zona superior de la columna estratigràfica i s'han inclòs les calcarenites del Pliocè i Pleistocè com a llocs carstificats.

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

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

Disposada de forma concordant sobre l'anterior, o discordant sobre el basament mesozoic plegat, trobem la següent unitat que correspon al *Complex d'Esculls* (POMAR *et al.*, 1983) d'edat Tortoniana superior – Messinià complexa arquitectura que en resulta

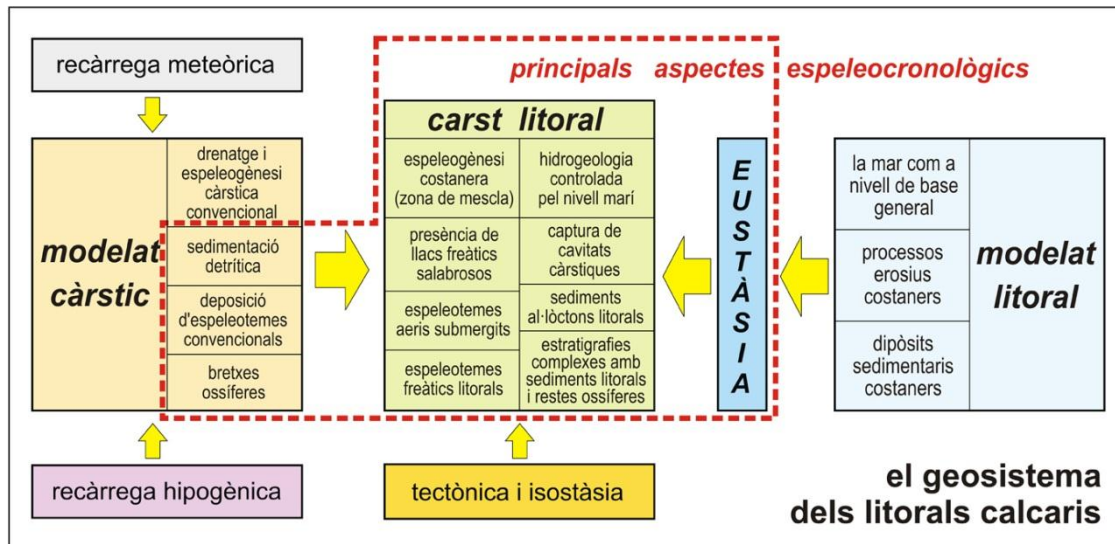


Figura 2.11: Esquema conceptual del funcionament del geosistema càrstic-litoral i de les seves possibilitats espeleocronològiques, relacionades moltes d'elles amb les oscil·lacions glacioeustàtiques. GINÉS *et al.* (2011).

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

Les fàcies que pertanyen al nucli de l'escull, sigui a la cresta com a la paret progradant, presenten una textura *framestone* formada pel creixement de les colònies

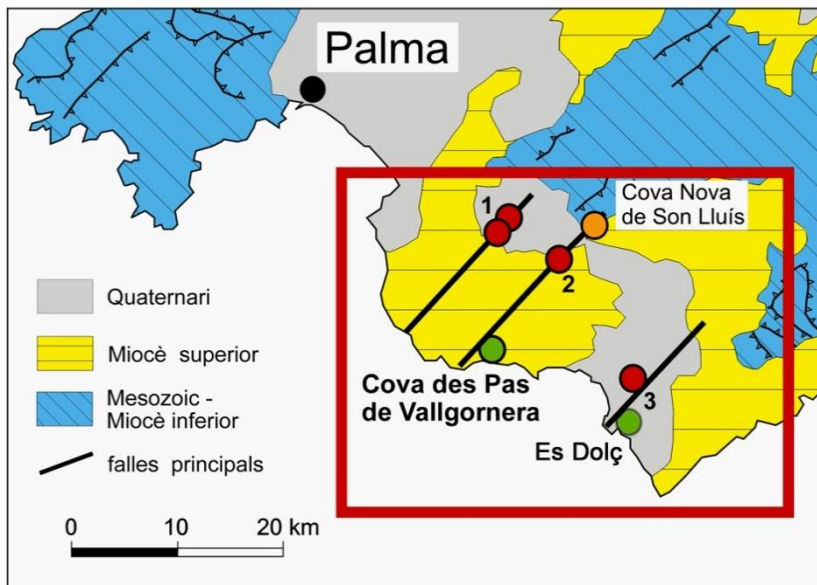


Figura 2.12: Localització d'algunes anomalies geotèrmiques conegudes a la part meridional de Mallorca. 1) pous a prop de la població de Lluçmajor; 2) Païssa (Lluçmajor); 3) Font Santa (Campos). La cova Nova de Son Lluís (Porreres), cavitat vadosa que mostra morfologies de possible origen hipogènic, se situa en materials carbonatats plegats del Mesozoic. Localització de les cavitats litorals amb morfologies hipogèniques. Modificat de GINÉS *et al.* (2008).

coral·lines, dominades pel gènere *Porites* i caracteritzades pel diferent hàbit de creixement coral·lí que varia en funció de la profunditat.

L'estratificació d'aquesta fàcies de front escullós es poc visible donant cossos massius de potència variable, en els quals es fa difícil observar cap laminació. És molt abundant la

presència de macroorganismes, tant reomplint els buits deposicionals com de forma incrustant sobre els coralls. Aquesta litofàcies es caracteritza tant per l'elevadíssima porositat primària de tipus interpartícula com per la porositat secundària de tipus motlle, afavorida per la diferent mineralogia carbonatada d'alguns dels seus components, especialment els coralls aragonítics. Aquest fet li confereix una especial predisposició a l'espeleogènesi càrstica en raó de la seva elevada permeabilitat (FORNÓS & GELABERT, 1995; 2011) i, en la mateixa línia, afavoreix la posterior evolució morfològica de l'endocarst mitjançant successius processos de col·lapse i dissolució dels materials resultants (GINÉS & GINÉS, 2007; GINÉS *et al.*, 2008).

Finalment, trobem les litofàcies corresponents als subambients més restringits del complex escullós, aquelles que corresponen al *lagoon*, en les seves parts més externes o obertes i les més internes o restringides. En funció del grau d'obertura del *lagoon*, en les fàcies que podríem denominar externes, s'incrementa la mida de gra (*grainstone-packstone*) disminuint el percentatge de fang i mostrant una major variabilitat en el tipus de components presents, com és per exemple la presència de coralls aïllats (*patch reefs*). Aquestes fàcies de *lagoon extern* presenten baixa porositat

primària però assoleixen una elevada permeabilitat mitjançant la fracturació. Com a fàcies que caracteritzen els ambients hidrodinàmicament més tranquils i interns del *lagoon*, tenim aquelles que mostren una clara laminació horitzontal i una textura fina (*mudstone-wackestone*), en les quals els peloids i mol·luscs (sencers) en són els components principals. Des del punt de vista hidrològic aquests nivells de *lagoon intern* també es poden considerar aquitards, en raó de la seva baixa porositat, i són poc favorables per a l'actuació dels processos càrstics.

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

2.4 Els dipòsits del Pliocè i Pleistocè de la Depressió de Campos

L'estratigrafia de la zona on s'ubica es Dolç és ben evident dins de la cova, i suposa una vital font d'informació per l'absència d'afloraments exteriors. Es Dolç es desenvolupa en el contacte entre dues unitats estratigràfiques molt diferenciades i que determinen les característiques morfològiques de la cavitat (FORNÓS *et al.*, 2013; GRÀCIA *et al.*, 2014). Per una banda, els materials calcarenítics litorals del Pliocè

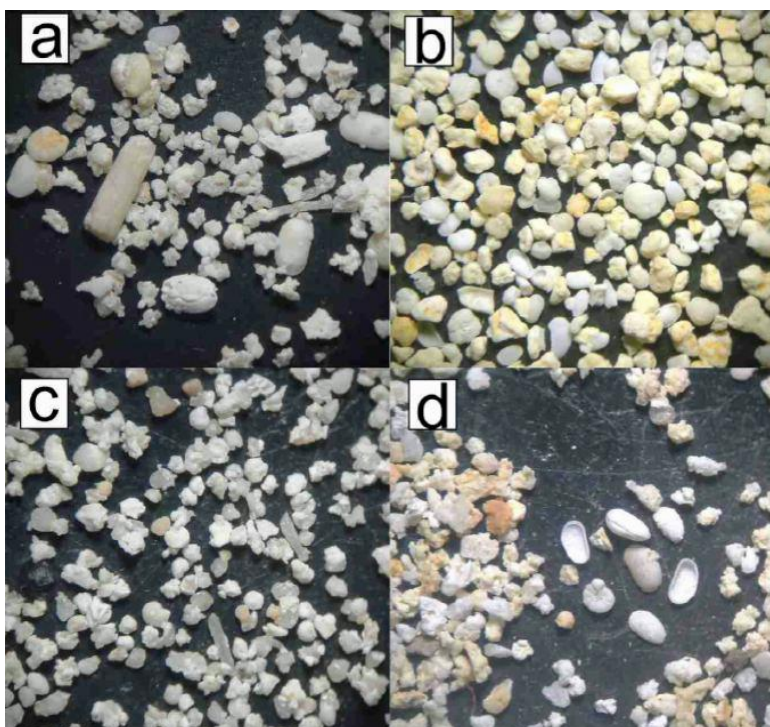


Figura 2.13: Microfàcies representatives de la seqüència sedimentària a Es Dolç: a) marí litoral, platja pliocena; b) litoral restringit (albufera) Pliocè; c) duna, Plio-Pleistocè ; d) platja, Pleistocè. FORNÓS *et al.* (2013).

mitjà-superior a la base i, per l'altra, els formats per eolianites amb paleosòls, que correspondrien ja al Pleistocè. El Pliocè presenta una seqüència regressiva que aniria des d'un ambient marí litoral format per calcisiltites bioturbades, passant per un ambient de platja més restringit i poc enèrgic tipus albufera (calca-

renites amb intercalacions

vermelloses-ocres (eolianites) força cimentades, corresponents segurament al Pliocè per passar després a eolianites del Pleistocè, sense que es vegi clarament la transició. Les eolianites mostren una clara estratificació plano-paral·lela. Amb més detall, a partir de l'article de FORNÓS *et al.* (2013) es distingeix la següent seqüència:

a) A una fondària situada entre els -19 i -22,5 m per davall del nivell marí, es troben calcisiltites del Pliocè amb uns 4,5 m de potència. La reconstrucció paleoambiental correspon a un ambient marí molt litoral de salinitat propera a la normal. Presenten forta

bioturbació per l'activitat de crustacis i contenen fragments de motlles de petits gasteròpodes i bivalves, pues d'equinoïdeus, ostràcodes (*Cyprideis torosa*, cf. *Aurila* sp. i altres indeterminats), foraminífers bentolitorals (*Ammonia* sp., *Cibicides* sp., Miliòlids) i crustacis (fragments de quelípodes de crancs).

b) Entre els -18 i -19 m ens trobem calcarenites amb petits nivells de margues, pròpies d'un ambient més restringit i poc enèrgic (augment de la presència de *Cyprideis* i *Ammonia*) tipus albufera. Estan formades per una capa dura de motlles de bivalves de la família Cardiidae (*Cerastoderma* sp., *Acanthocardia* sp.) i contenen motlles de gasteròpodes, família Hydrobiidae, i força abundància de l'ostràcode *C. torosa* i del foraminífer bentolitoral *Ammonia beccarii*.



Figura 2.14: Laminació espectacular de les eolianites a es Dolç, cavitat litoral amb la major part del recorregut que s'obri dins materials pleistocens. L'espeleogènesi és per tant d'una edat molt recent (Foto A. Cirer).



Figura 2.15: Imatges de processos hipogènics que han afectat a espeleotemes formats al llarg del Pleistocè, el que demostraria que alguns d'aquests processos presenten una antiguitat relativament recent. Galeries Hipòstiles de les coves del Drac (Foto A. Cirer i F. Gràcia).

c) Arenes eòliques i paleosòls (entre +2 i +9,8 i -18 m, amb una potència compresa entre 20 i 27,8 m) que correspondrien ja a un ambient d'acumulacions de platja alta i retoc eòlic. Aquestes eolianites que formen la major part de la cavitat han estat datades, mitjançant mètodes de cronologia absoluta, a la cota de -9 m com del Pleistocè inferior. Tanmateix pensam que a més fondària i abans dels -18 m les eolianites poden pertànyer al Pliocè. Presenten laminació centimètrica i contenen foraminífers bentolitorals fortament recristal·litzats, difícils de determinar; entre d'altres *Ammonia* sp., *Cibicides* sp., Miliòlids molt fragmentats i també fragments de pues d'equinoïdeus molt recristal·litzades. S'interpreten aquests nivells com a dipòsits formats en moments d'acumulació eòlica d'arena bioclàstica procedent de la zona costanera, que formaria dunes parabòliques alternants amb etapes, probablement més humides i càlides, que permetrien el desenvolupament de sòls edàfics. Part dels dipòsits eòlics estan separats per cossos lenticulars de poca potència, que corresponen a materials llimosos vermells característics de desenvolupaments de tipus edàfic.

PART II. ANTECEDENTS

Capítol 3. HISTÒRIA DE L'ESPELEOBUSSEIG AL CARST COSTANER DEL MIGJORN I LLEVANT DE MALLORCA

3.1. Exploracions abans del 1994

Aquesta especialitat espeleològica a Mallorca es va iniciar a principis dels anys 70, en una època en la qual es varen començar a realitzar immersions amb escassos i rudimentaris mitjans tècnics per part d'espeleòlegs aprenents de submarinistes. Així, l'any 1971 es van atacar els breus sifons (galeries totalment submergides), però d'accés esgotador, de la cova de les Rodes (Pollença), a la serra de Tramuntana de Mallorca, per part de G. García i M. Hidalgo. Aquests, juntament amb LL. Astier i J. Cerdán, tots espeleòlegs catalans, realitzen l'any 1972 l'exploració i topografia de les continuacions subaquàtiques de la cova Marina des Pont (TRIAS & MIR, 1977), essent

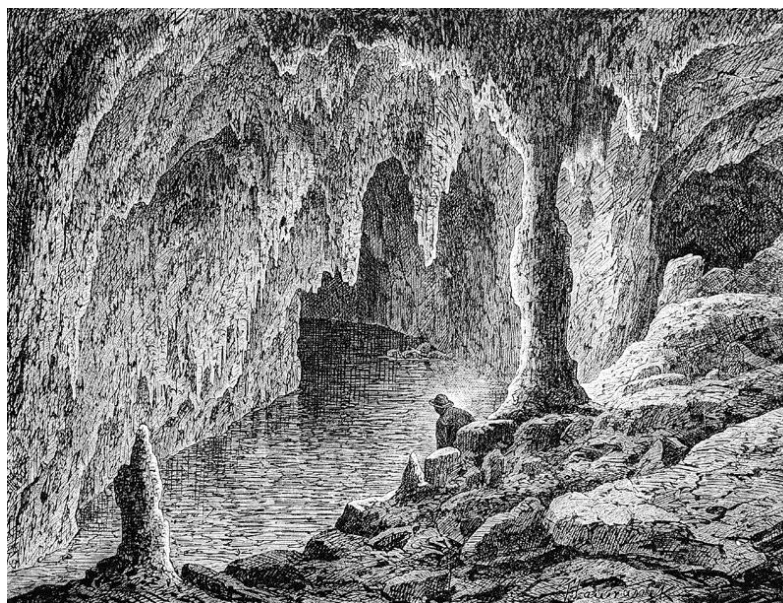


Figura 3.1: La presència de trams de galeries inundats suposava el final de les antigues exploracions espeleològiques.

per tant la primera immersió documentada en una cavitat del Migjorn de Mallorca (Manacor). Un dia després LL. Astier i J. Cerdán realitzen una immersió en un dels llacs de les coves del Pirata, també en el municipi de Manacor (GINÉS & GINÉS, 1976).

Miquel Garau del Grup Espeleològic EST, explora l'any 1974, 40 metres del sifó 2 de la cova dets Estudiants, situada al municipi de Sóller, a la serra de Tramuntana. Altre pioner va esser Francesc Ripoll, del Speleo Club de Mallorca (Figs. 3.2, i 3.3), que l'any 1974 realitzà un croquis de l'inici subaquàtic de la cova de sa Gleda (Manacor), a on localitza una gran campana d'aire a una vintena de metres de l'entrada (FORNÓS *et al.*,

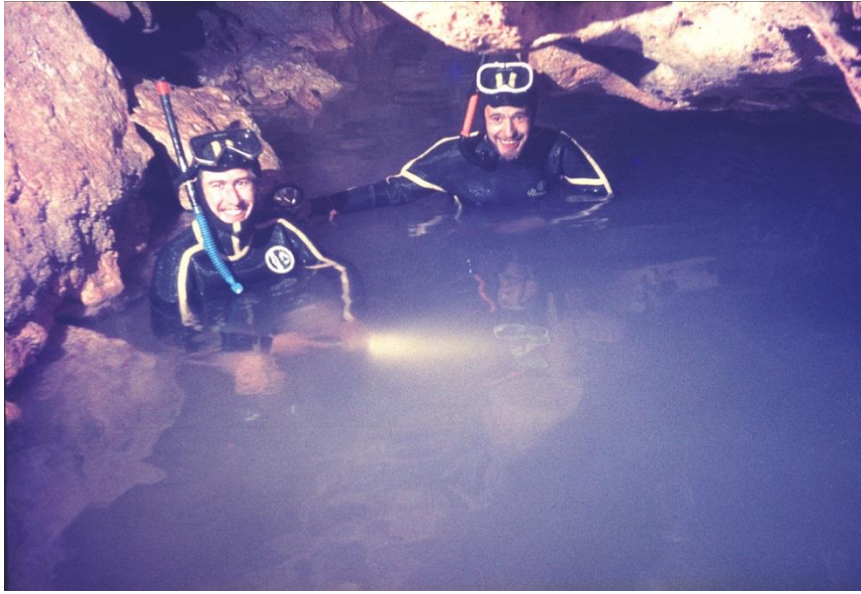


Figura 3.2: Primeres immersions documentades realitzades per mallorquins l'any 1973 dins cavitats litorals. Lluís Roca i Francesc Ripoll. Pou de Can Carro (Campos). Fotografia: Arxiu Miquel Trias.

1989). La mentalitat exploratòria de l'època era principalment la de superar trams inundats per accedir a sales o galeries eixutes.

En aquesta dècada les tècniques de busseig no estaven encara adaptades al busseig espeleo-



Figura 3.3: Francesc Ripoll, a l'esquerra a de la fotografia, l'any 2011 a la cova de sa Gleda, recordant la primera exploració de l'any 1974 per un documental per Televisió. Fotografia M. A. Perelló.

lògic, emprant pràcticament la mateixa configuració de l'equip que dins mar. Els aparells de respiració autònoma anomenats bitràquees, eren molt rudimentaris i perillosos i normalment s'emprava una sola botella carregada a unes 120 atmosferes. La vestimenta era de goma. No s'empraven els rodets de fil guia autònoms, i s'anava fermat a una corda que anaven amollant des de l'inici del busseig els companys; a més a més, la comunicació era per estirades de la corda, fet que provocava fàcilment situacions de confusió i embolics i els accidents estaven a l'ordre del dia. El material d'immersió era extremadament car, poc fiable i mal d'aconseguir pels practicants de busseig no professional.

Als anys 80, Mallorca va passar a esser freqüentada per espeleobussejadors alemanys i xecs. Mentrestant també es realitzaven immersions per part de mallorquins en diferents cavitats de l'illa; així les exploracions efectuades els anys 1986 i 1987 per Jaume Oliver del Grup Espeleològic EST, Martí Ginard i José María Álvarez "Jopelas" del GEM a la cova dels Estudiants (Sóller) i a la cova des Bastons (Alcúdia) constitueixen una pàgina important de la història de l'espeleobusseig insular. A la

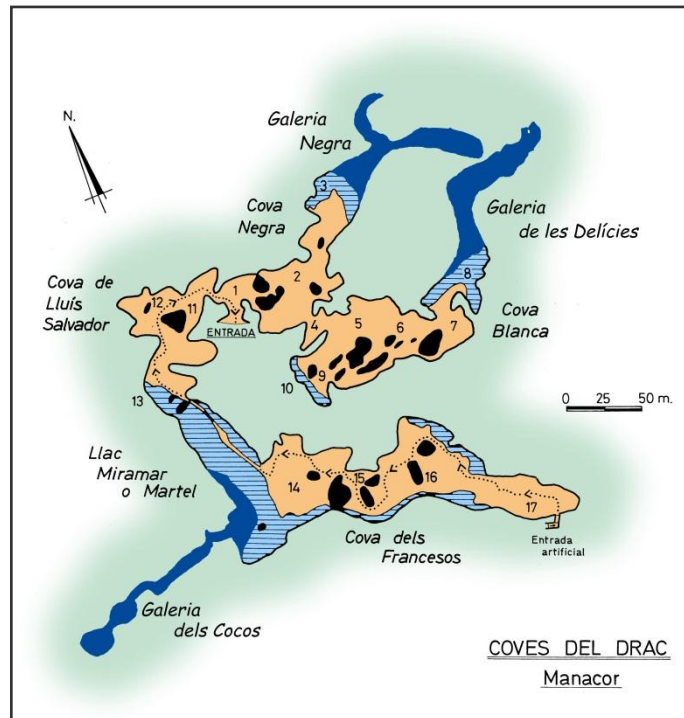


Figura 3.4: Les exploracions efectuades a les coves del Drac (Manacor) constitueixen les troballes més importants efectuades per les expedicions britàniques a Mallorca. Modificat de GINÉS & GINÉS (1992) i de CLARKE (1991).

primera de les coves citades, una galeria de drenatge activa situada a la serra de Tramuntana, Martí Ginard, en el tercer sífó, molt allunyat de l'entrada de la cova, aconseguia superar un pas estret, a més de 50 metres de fondària sota les aigües i materials havien progressat molt, ja s'empraven reguladors, però es tractava d'expedicions que implicaven un gran desplegament de material i de recursos humans per ajudar a transportar el pesat i voluminós equipament, ideat per portar les botelles col·locades dorsalment.

D'ençà de l'any 1988, un equip d'escafandristes gal·lesos del Cwmbran Caving Club, dirigits per Owen Clarke, va estar visitant regularment Mallorca, realitzant immersions a les coves litorals de la zona del Migjorn i als conductes actius de drenatge de la serra de Tramuntana (Figs.3.4 i 3.5). Les tècniques de progressió eren del tot revolucionàries: major independència del bussejador sense tenir que dependre de portejadors; material vital portat per duplicat, arnesos per dur les botelles col·locades lateralment per forçar passos estrets, rodets d'exploració i auxiliars, ordinadors de busseig i tota una sèrie de millores en l'equip. Endemés un factor important era que es

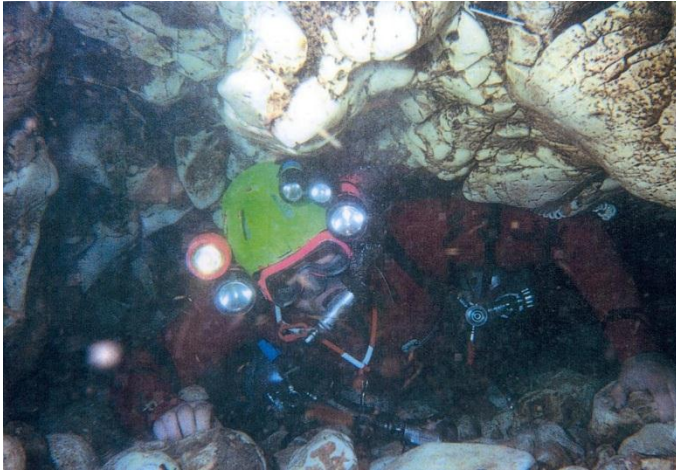


Figura 3.5: Exploració per part dels britànics del Dolç de cala Murta (Manacor). A finals dels anys 80 i començament dels 90 van realitzar diverses campanyes a Mallorca. Fotografia: O. Clarck.



Figures 3.6 i 3.7: Primeres immersions a la cova des Pas de Vallgornera, els anys 1992 i 1993 per part de membres del club CAS Tritón i de l'ANEM. Es pot observar que la major part de l'equipament encara no està adaptat al busseig dins coves. Fotografies: J. Serra.

tractava d'especialistes en el camp de l'espeleobusseig i no espeleòlegs o bussos d'aigües obertes que s'aventurassin esporàdicament dins les cavitats. Les coves objecte de la seva atenció eren ben conegudes; les seves topografies havien sortit publicades a les planes de la publicació *Endins* o constaven a l'arxiu topogràfic de la Federació Balear d'Espeleologia i generalment no havien rebut gaire atenció dels escafandristes illencs. Emperò els tranquils llacs salabrosos de les coves de Manacor i Felanitx van resultar esser ben gratificants amb resultats importants en el camp exploratori que modificaren el registre de les cavitats mallorquines de més desenvolupament horitzontal. Les exploracions més destacades es feren a la cova dels Ases (Felanitx) i a les coves del Pirata i des Pont (Manacor). A la primera aconseguiren una comunicació directa amb la mar, després de superar dos sifons; el primer, de 11 m de llargada, connecta amb una sala de 117 m de llarg amb un llac al seu

extrem SE, llac que després de 20 m de galeria inundada comunica amb la mar oberta. A la cova des Pont i coves del Pirata de Manacor, no troben gaires continuacions sota les aigües, però aconseguen connectar ambdues coves l'any 1989. També realitzaren una primera immersió al llac de la cova d'en Bessó o cova Genovesa i a la cova des Serral, però troben poques continuacions. L'any 1990 es busseja a la cova de sa Gleda, explorant parcialment la sala Francesc Ripoll, sala de gran volum i molt decorada; també exploren el dolç o ullal de Cala Murta (CLARKE, 1991-92, Fig. 3.5). L'any 1991 es troben importants continuacions al llac Negre, llac de les Delícies i llac Martel de les turístiques coves del Drac, que constitueix la seva principal descoberta subaquàtica als carsts del Migjorn de Mallorca (CLARKE, 1991). Fins a l'any 1994 es realitzen campanyes en algunes de les cavitats del Migjorn (FARR, 1997-98). No obstant, la descripció



Figures 3.8 i 3.9. Superior: Primera immersió l'any 2015 a l'entrada submarina de la cova des Coll. Inferior: Busseig al llac d'entrada a on s'inicia el sector del Descobriment i l'enllaç amb el sector del Poble. Bussejadors F. Gràcia i Owen Clarcke. Fotos P. Watkinson.

que s'elaborava sobre els descobriments era escassa i pobre, ja que no es reflectia en articles que documentessin suficientment les troballes. Els descobriments efectuats al carst del Migjorn pels espeleobussejadors gal·lesos no van esser tot l'espectacular que haguessin pogut, ja que varen voler explorar moltes cavitats a la vegada sense



Figures 3.10, 3.11, 3.12: Primeres immersions a la cova des Coll els anys 1994 i 1995 per part d'espeleòlegs especialitzats en cavitats subaquàtiques. Robert Landreth, Peter Watkinson, Owen Clarke i Francesc Gràcia. Fotografies F. Gràcia i Peter Watkinson.

aprofundir i forçar molts dels indrets. També s'ha de dir que tenien en molts de casos l'idea equivocada de que aquestes cavitats costaneres son galeries de drenatge, semblants a les de Gran Bretanya, amb una disposició del tot diferent al que són realment.

Paral·lelament, espeleobussejadors mallorquins del club Tritón i membres de l'ANEM (Figs. 3.6 i 3.7) realitzen els anys 91 i 92 l'exploració i topografia d'una sèrie de galeries subaquàtiques de la cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor), cavitat actualment protegida pel Govern de les Illes Balears, que es publicaren a la revista especialitzada en espeleologia *Endins* (MERINO, 1993).

3.2. Exploracions d'ençà del 1994

D'ençà de l'any 1994, l'espeleobusseig a Mallorca va experimentar un canvi important que començà a partir de la superació dels sifons inicials de la cova des Coll per part de Francesc Gràcia i Peter Watkinson (actiu entre 1994-2002. Com a espeleobussejador entre 1995 i 1996, després terrestre) de la secció d'espeleologia del Grup Excursionista de Mallorca (GEM), mentre realitzaven l'estudi de les cavitats del litoral d'una part del terme de Felanitx (Figs. 3.10,11,12,13). Inicialment empraren metodologies arcaiques i una gran pobresa de

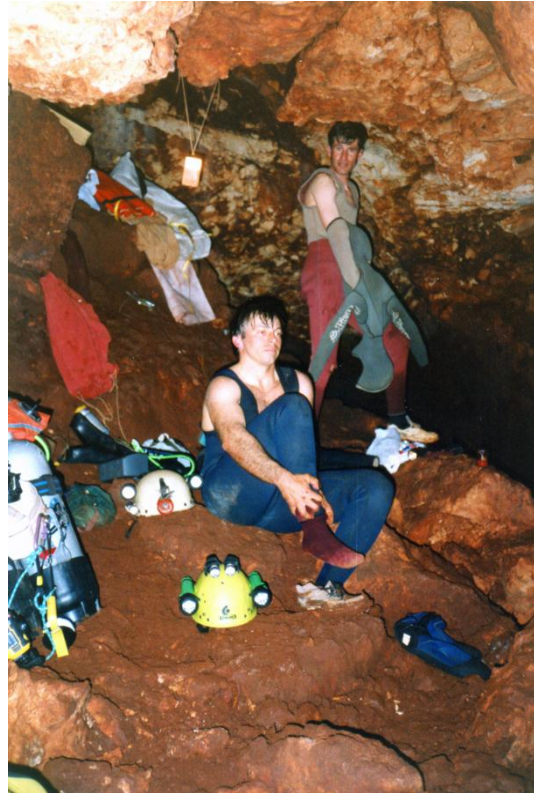


Figura 3.13: Any 1994, Xisco Gràcia i Peter Watkinson a la cova des Coll.



Figura 3.14: Xisco Gràcia, Juan José Lavergne i Bernat Clamor l'any 1999. Aquesta època va suposar un gran avanç en les exploracions efectuades a la cova de sa Gleda. D'ençà de l'any 1994 fins al 2010 el nombre d'espeleobussejadors habituals que feien recerca a Mallorca era només de 3 persones.



Figura 3.15: L'enyorat Mateu Febrer a la cova de sa Sínia l'any 2002 (Portocolom).

mitjans, però va suposar el detonant vocacional d'un grup d'espeleòlegs insulars (membres de la Federació Balear d'Espeleologia) cap a l'especialització en l'exploració i estudi de les cavitats subaquàtiques. Posteriorment es va incorporar Robert Landreth (actiu entre 1995-2002 de forma intermitent) de la secció d'espeleologia del Club Ciclista Defensora Sollerense (CCDS) de Sóller, amb més coneixements tècnics, que van suposar una bona empenta a les progressions subaquàtiques (actiu entre 1995-1999). Owen Clarke, que havia estat realitzant i coordinant diverses campanyes a Mallorca contactà amb ells

per incorporar-se al grup d'exploradors, el qual aportà a l'exploració de la cova des Coll, la tècnica de busseig espeleològic pròpia de Gran Bretanya, que permet forçar passos molt estrets i realitzar importants progressions. A les darreries d'aquesta època s'incorpora al grup Bernat Clamor del Grup Nord de Mallorca (GNM), que es convertiria en el millor espeleobussejador-punta de l'equip. Donades les característiques i el recorregut de la cavitat, les nombroses exploracions efectuades van servir de model per l'aprenentatge i la incorporació progressiva de les tècniques d'escafandrisme dins coves progressivament amb el propi descobriment de la gruta. Els membres fundadors, juntament amb altres que s'hi afegiren posteriorment (Fig. 3.14), com Juan José Lavergne (1998-2001), Pedro Gracia (2000-2004, de forma intermitent) i Miquel Àngel Gual (2001-2003), s'unificaren dins la secció d'espeleobusseig del Grup Nord de Mallorca (GNM). Posteriorment s'incorporen a la secció Mateu Febrer (2004-2012) i Pere Gamundí (a partir de 2006) (Figs. 3.15,16). D'ençà de 2008 els bussos de coves Miquel Perelló i Miquel Vives han format un altra agrupació dintre del grup espeleològic de Llubí (GELL) (Fig. 3.17). Aquests darrers han fet tasques de documentació fotogràfica i de filmació, així com algunes tasques d'exploració i topografia del sector Antic de la cova des Pas de Vallgornera.

Fruit de les recerques de tots aquests anys ha estat l'estudi de moltes cavitats, entre les quals destaquen, de nord a sud: la font de ses Aiguades (GRÀCIA *et al.*, 2001c), la cova de ses Llàgrimes (GRÀCIA *et al.*, 2003d) (terme d'Alcúdia); la cova de s'Abisament (GRÀCIA *et al.*, 2006b) (terme de Sant Llorenç des Cardassar); la cova Genovesa o cova d'en Bessó (GRÀCIA *et al.*, 2003a, 2003b), el sistema Pirata-Pont-Piqueta (GRÀCIA *et al.*, 2006a), la cova des Coloms de cala Falcó, la cova des Coloms de Cala Varques (GRÀCIA *et al.*, 2010b), la cova de Cala Varques B, la cova des Xuetes o cova de Cala Varques ACD (GRÀCIA *et al.*, 2000), la cova de sa Gleda (GRÀCIA & CLAMOR, 2001a; GRÀCIA *et al.*, 2007a, 2010a) (terme de Manacor); la cova des Ases, la cova des Coll (GRÀCIA *et al.*, 1997, 2005), la cova d'en Bassol o cova d'en Passol, la cova de Cala Mitjana (GRÀCIA *et al.*, 1998a; FORNÓS & GRÀCIA, 2007) (terme de Felanitx), la cova des Drac de Cala Santanyí (GRÀCIA *et al.*, 1998b) (terme de Santanyí) i la cova des Pas de Vallgornera (GRÀCIA *et al.*, 2009a, 2009b) (terme de Lluçmajor).

D'ençà de l'any 2009 es produeix un increment exponencial dels practicants d'espeleobusseig a Mallorca. A començaments de la dècada es troben tots



Figura 3.16: Bernat Clamor i Pere Gamundí flanquegen a Mike Madden, espeleobussejador destacat a la historia de les exploracions als cenotes de Yucatan. Any 2006, preparatiu per les filmacions de la sèrie de Televisió Espanyola de *Al Filo de lo Imposible* (Foto F. Gràcia).



Figura 3.17: Miquel Àngel Perelló i Miquel Àngel Vives. Entre moltes d'altres, han destacat a les exploracions efectuades a la cova des Pas de Vallgornera. Son peces clau en la filmació de les cavitats litorals.



Figura 3.18: Preparatius abans del busseig a les coves del Drac l'any 2014. D'esquerra a dreta: Bernat Clamor, Toni Cirer, Xisco Gràcia, Freddy Fernández i Pere Gamundí.

vinculats a la Secció d'Espeleobusseig del GNM, però a mesura que passen els anys en surten a altres grups com són Voltors (Anders Kristofersson) i GELL (Guillem Mulet i s'incorporen novament el 2015 Miquel Àngel Perelló i Miquel Àngel Vives). Així, s'incorporen a les exploracions subaquàtiques

Jaume Pocoví (actiu de forma intermitent entre 2009-2013), Antoni Cirer (2009-), Guillem Mulet (2011-), Anders Kristofersson (2011-), Freddy Fernández (2012-), Nicolás Betton (2013-), Maria Martínez Palou (2013-), Juan Carlos Lázaro (2014-), Davide Ansaldi (2014-), Guillem Mascaró (2015-), Joan Pérez (2015-), i Sergio Jimenez. Aquests s'afegeixen als que queden encara actius, que per ordre d'antiguitat són: Xisco Gràcia (d'ençà de 1994), Bernat Clamor (d'ençà de 1995), Pere Gamundí (d'ençà de 2006), Miquel Àngel Perello i Miquel Àngel Vives (d'ençà de 2008). (Fig. 3.18,19).

Les tasques efectuades els darrers anys les comentam desglossades per cavitats:

Cova des Pas de Vallgornera. Entre els anys 2010 i 2015 els espeleobussejadors dels grups GELL, Voltors i GNM han explorat en diferents sectors de la cova des Pas de Vallgornera i efectuat troballes molt importants. Les més destacades han estat: **Sector dels Privilegiats**, explorat per Miquel Àngel Perelló, Miquel Àngel Vives i Guillem Mulet. Es troba al SE de la cavitat, després de la via Max i abans del sector Subaquàtic de Gregal i connecta amb ell per la galeria Joan Max. **Sector Gran Canyó Subaquàtic**, explorades per Miquel Àngel Perelló i Guillem Mulet l'any 2013. Es tracta de nivells inferiors subaquàtics on els bussejadors requereixen del suport logístic d'altres espeleòlegs per transportar, al llarg d'hores, el pesat i voluminós



Figura 3.19: Any 2013. Aturada per arreplegar forces i plantejament de les tasques abans d'anar a les coves del Drac. D'esquerre a dreta: Miquel Àngel Gual, Jaume Pocoví, Maria Martínez, Nicolàs Betton, Antoni Cirer, Xisco Gràcia i Xavier Bascuñana. Tots menys el darrer mencionat han estat o són espeleobussejadors. Els espeleòlegs terrestres de l'SCM han efectuat col·laboracions topogràfiques a les zones terrestres de les cavitats als diferents projectes realitzats.

equip d'immersió (MULET, 2013). **Sector del Mussol** (com. pers. Anders Kristofersson) es localitza a l'E del laberint Inferior. El descobriment s'efectua per part d'Anders Kristofersson a començaments del 2014 i encara està en fase d'exploració. Miquel Àngel Perelló també realitza noves exploracions al **sector Subaquàtic de Gregal**, a on encara queden pendents moltes galeries que comuniquen entre sí les zones descobertes (com. pers. Miquel Àngel Perelló).

Cova dels Ases. L'any 2014 dos membres del GELL aconseguixen impressionants descobriments a la cova. Ramon Martínez va estar picant en solitari, amb martell i escarpra, al llarg de diversos dies, molt incòmode i entre blocs, molt a prop de la sala d'entrada (MULET, 2014) fins aconseguir desobstruir i superar uns 30 m de l'esfondrament que constituïa l'entrada a la cova i que seccionava la cavitat. Descobreix tres sales aèries molt decorades i amb llacs (**sales de na Laura, na Maribel i n'Aina**). La immersió per part de Guillem Mulet condueix a una gran sala subaquàtica, la **sala Posidó**, que s'estén per tot arreu. A la part més distal, un pic superada una galeria subaquàtica d'uns 70 m de longitud es troba una quarta sala terrestre (**sala de na Malén**), amb l'aire molt carregat de diòxid de carboni i que sembla



Figura 3.20: Preparatius previs a una immersió als nous sectors de la cova des Pas de Vallgornera. D'esquerra a dreta i de dalt a baix: Anders Kristofersson, Nicolàs Betton, Miquel Àngel Perelló i Juan Carlos Lázaro. Foto A. Cirer.

tancada. Els espeleobussejadors han estat Guillem Mulet i Ramón Martínez. Les exploracions segueixen endavant (MULET, 2014).

Es Dolç. Entre els anys 2011 i 2013 el GNM efectua l'exploració d'aquesta sorprenent cavitat localitzada a la Colònia de Sant Jordi i que actua de surgència de les aigües subterrànies dins la platja homònima. Bernat Clamor entra en solitari per **l'Esfondrat des Dolç (Dolç Extern)**, entrada molt propera a la mar i explora amb dificultat i en solitari el laminador del Corrent. Al llarg de diversos dies aconsegueix superar passos estrets i accedir a galeries interiors. La immersió i

desobstrucció al llac molt som de la **cova de s'Aigua**, permet progressar per la **galeria Rectal (Dolç Extern)**, molt difícil i estreta i enllaçar amb les guies que provenen de **l'Esfondrat des Dolç**. El petitíssim llac situat al fons de **l'Esfondrat (Dolç Intern)** es desobstrueix i les exploracions se succeeixen i la cova creix centenars de metres. que han suposat 90 dies d'immersions. La cavitat posseeix un recorregut de 4.100 m. La distància lineal, si se segueix la cova, entre l'entrada més propera a la mar i la part interior més allunyada és de 1.444 m. Els bussos que han participat han estat: Bernat Clamor, Francesc Gràcia, Pere Gamundí, Antoni Cirer, Freddy Fernández, Nicolás Betton, Miquel Àngel Vives, Antoni Cifre i Miquel Àngel Perelló.

Coves del Drac. Entre els anys 2013 i 2015 s'han efectuat exploracions i feines topogràfiques, estudis i documentació de la cavitat per part del GNM amb la col·laboració de topografia terrestre de l'SCM. Els resultats de les recerques han estat sorprenents, ja que la cavitat assoleix els 5000 m, dels quals gairebé 3000 m són subaquàtics. Les indagacions que es varen fer en dues ocasions els anys 2009 i 2010 a la

cova no van fer suposar que es trobarien zones noves, tenint en compte que els anys 1990-91 els espeleobussejadors gal·lesos del CCC van fer molta feina a la cavitat. La troballa d'un pas estret entre columnes al final de la zona coneguda de la **galeria de les Delícies** va quedar com a tasca pendent a revisar.

La intervenció d'Àngel Ginés i Joan Fornós de la UIB i la bona predisposició del nou Director de les coves, el Sr. Maties Servera van permetre i autoritzar la realització de les tasques d'estudi de la cavitat. Freddy Fernández aconsegueix superar el **pas de les Columnes** i endinsar-se a les **galeries Hipòstiles**. D'ençà d'aquestes troballes els descobriments es disparen i apareixen



Figura 3.21: Guillem Mulet a la Font des Verger (Sóller). Les seves troballes a la cova dels Ases i a nous sectors subaquàtics de la cova des Pas de Vallgornera són aportacions importants.

noves galeries i sales no només a la **galeria de les Delícies**, sinó també al **llac Negre**. La **galeria Negra** s'aconsegueix unir amb la de les **Delícies** i també apareixen noves galeries a altres indrets. Al final de les **galeries Hipòstiles** parteix la **galeria Despullada**. A l'esquerra del **llac Negre** es descobreixen les **galeries de la Sultana**, un imbricat laberint iniciat per Pere Gamundí. També el **llac Martel** reserva nous misteris com la **galeria de la Gran Duquesa de Toscana** trobada per Antoni Cirer i de les **galeries Martel**, situades al costat del mateix llac. Al sector Antic apareix la **galeria de l'Arxiduc** que finalitza amb la **sala de la Bella Mort**. Quan semblava tot explorat Francesc Gràcia força un laminador i s'accedeix a les **galeries dels Domassos**. També Freddy Fernández supera una estretor i aconsegueix assolir continuacions al final de la **galeria Despullada**. Els participants a les feines subaquàtiques han estat Francesc Gràcia, Freddy Fernández, Antoni Cirer, Pere Gamundí, Nicolás Betton, Bernat Clamor, Miquel Àngel Vives, Miquel Àngel Perelló, Juan Carlos Lázaro, Guillem Mascaró i Joan Pérez.

S'ha de tenir present com és lògic, que el grau de compromís de les diferents persones varia molt i que també ha oscil·lat al llarg dels anys fins i tot pels més veterans. Tanmateix, en major o menor mesura, la tasca de tots ha estat i és fonamental i imprescindible per poder haver fet tot el que s'ha fet que és molt. De forma molt aproximada uns 55 quilòmetres de galeries subaquàtiques s'han explorat i documentat i la feina segueix endavant. Entre 1994 i 2008 no hi havia suficients espeleòlegs subaquàtics per mantenir diferents recerques els mateixos dies a diferents cavitats. D'ençà del 2009 la capacitat de feina i de tasques es dispara: equips d'exploració, topografia, estudi, fotografia i filmació tenen llocs a molts d'indrets i els resultats s'incrementen i acceleren. Abans, els mateixos membres, entre 2 i 4 fèiem totes les tasques en successives immersions i les feines s'eternitzaven. S'ha de tenir present que coves com es Dolç, de més de 4 km s'han documentat només en poc més de 2 anys. Abans, haguessin fet falta almenys el doble de temps.

3.3. Accidents mortals documentats dins cavitats litorals de Mallorca amb continuacions subaquàtiques

Hem trobat adient documentar i agrupar els accidents mortals que han succeït a Mallorca dins les cavitats litorals subaquàtiques, ja que les informacions que van aparèixer als medis de comunicació i que es troben penjades a la xarxa no són del tot correctes.

Any 1992. El primer accident de què es té constància escrita, es va produir a la gruta de l'Amo en Martí a Cala Morlanda (Manacor), a on una creu metàl·lica al peu del penya-segat recorda la tragèdia. La cavitat és una captura càrstico-marina amb un esfondrament interior que connecta amb la superfície. L'apneïsta Esteban Sánchez Clark, de 17 anys, feia pesca submarina dins la cavitat i després de disparar l'arpó aquest es va encaixar dins un crui. En voler ascendir a respirar va quedar enganxat amb el fil de l'arpó que s'embullà amb el cinturó de plom i les aletes.

17 d'agost de 2002. Carlos Pérez Vázquez de 28 anys, bussejador que posseïa la titulació *Full cave*, que acredita formació avançada en busseig dins coves i practicant assidu d'aquesta disciplina, encara que amb poca experiència, mor a la cova de sa Punta

des Moro, a cala Magraner (Manacor). L'infortunat explorava amb dos bussos més la surgència submarina, amb un únic tanc portat a l'esquena i sense configuració per busseig dins coves ni casc. Arriben a un pas molt estret a on ell s'enfonya i els companys l'esperen. Supera l'angostura i avança per una galeria que es va fent estreta fins a un lloc impenetrable situat a uns de 100 m de l'entrada. Allà psicològicament ha arribat molt afectat, ja que no talla el fil-guia del rodet d'exploració que ha fermat a una punta de roca i deixa abandonat el rodet i el talla-fils. Enormement angoixat i plenament conscient per la seva formació, de la temeritat efectuada, reula, ja que no es pot girar per l'estretor del conducte. Una roca que sobresurt del sostre topa amb la base del tanc i fa que quedi encaixat entre parets i sostre. L'espeleòleg entra en pànic i perd el control de la situació i d'ell mateix. S'intenta alliberar amb força bruta i d'una enganxada els cables del focus s'enreden amb el regulador i amb les punxes de les roques i el regulador li surt de la boca i no el torna a trobar. Mor ofegat, amb els tancs d'aire mig plens. Els companys l'esperen un temps prudencial primer a l'estretor, a on deixen un tanc d'aire i una llanterna encesa per si el company sortís, i després fóra de la cavitat fins que donen la veu d'alarma. Un espeleobussejador del GNM, Xisco Gràcia i dos membres del GEAS (Grupo Especial de Actividades Subacuáticas de la Guardia Civil) recuperen el cos i l'equip de l'infortunat poc després de l'accident. La mort es deu a la imprudència d'entrar sense equipament adequat i perdre el control mental.

12 d'octubre de 2004. El tercer accident mortal es produeix a la cova J-1 (Capdepera), d'uns 150 m de longitud i amb presència de molt de sediment. Ubicada entre la punta de na Foguera i el cap des Freu. Un grup de sis bussejadors d'aigües obertes s'endinsen a la cavitat sense instal·lar tan sols el fil-guia. Pensen erròniament que es troben a la cova de la Catedral que s'ubica a pocs metres de distància de la cova J-1 i que no presenta gaire dificultats. Els darrers del grup se n'adonen que s'està alçant sediment i s'aturen fent senyals als de davant sense èxit. Els dos que encapçalen la colla s'endinsen deixant darrera ells un núvol de sediment que s'alça a mesura que remenen el fons amb les aletes. Ja és massa tard, en adonar-se'n i sense fil-guia comencen una desesperada recerca de la sortida, només tenen visibilitat a escassos centímetres del rostre i entren en un estat de pànic, especialment en Marcos Moreno, policia local de Capdepera. Aquest, a cegues i totalment espantat, incrementa exponencialment el consum d'aire i avança de forma caòtica sense un rumb clar, cercant desesperadament

l'entrada de la cavitat i sap, amb visibilitat zero, que l'aire se li està acabant. No ho aconsegueix.

Mentrestant, Pedro Antonio Nadal va entrar de forma casual de cap a l'interior de la gruta, a la zona d'aigües netes, i veu al sostre un mirall d'aigua, senyal de la presència d'una cambra aèria. Ascendeix fins a una cambra d'aire i es col·loca damunt un petit replà que el deixa gairebé fóra de l'aigua i espera pacientment. A l'endemà, després de 28 hores d'espera Pedro se n'adona de la presència dels rescatadors del GEAS dins la gruta i els fa senyals lluminoses amb la llanterna. L'operació de rescat va ésser molt polèmica per la falta de material adequat per part dels membres del GEAS entre d'altres problemes, fets denunciats per la pròpia *Associació Unificada de la Guàrdia Civil (AUGC)* que es van fer públics als mitjans de comunicació i per no demanar la col·laboració dels especialistes d'espeleobusseig del GNM de la Federació Balear d'Espeleologia, malgrat el seu oferiment, que també es va fer públic en una carta de la FBE adreçada als diaris locals. De fet, els membres del GEAS es van haver d'endinsar a la cova amb les mateixes llanternes dels quatre bussos que inicialment van aconseguir sortir de la gruta. Primer realitzaren una primera immersió de 20 minuts sense resultats i més tard es tornen a submergir i han d'avortar la immersió per la manca de material. Una vegada arribats més reforços recuperen el cos de Marcos Moreno i a les 18,10 hores es procedeix a efectuar una altra entrada a la cova que s'ha de suspendre per falta de bateria de les llanternes i focus. A l'endemà es reprenen les tasques de salvament amb tots els mitjans disponibles del GEAS i s'efectua la troballa de Pedro Antonio a la cambra aèria. El supervivent tenia símptomes d'hipotèrmia degut a les hores en què va restar immòbil a la cavitat.

Comunicat de la Federació Balear d'Espeleologia en relació a l'accident i rescat a la J-1 que es va publicar en diversos diaris locals:

EL RESCAT A LA COVA J-1 DE CAPDEPERA I LES PAUTES A SEGUIR ALS RESCATS D'ESPELEOBUSSEIG

El rescat a una cavitat submarina de Capdepera d'un submarinista ha generat gran quantitat de comentaris i discussions als ambients relacionats amb l'espeleobusseig i les coves en general. Aquestes reflexions han transcendit al carrer i als medis de comunicació. Davant aquests fets i amb l'esperança de millorar els rescats en el futur, la Federació Balear d'Espeleologia vol expressar la seva anàlisi:

- 1) Expressar l'alegria de la FBE pel rescat amb final feliç del bussejador.
- 2) Confirmar que membres de la FBE, un dels quals havia localitzat i desencaixat de les parets el cos de l'espeleobussejador Carlos Pérez l'agost de 2002 a la cova de sa Punta des Moro (cala Magraner), assabentats pels periodistes de l'accident es van posar en contacte el dia 12 d'octubre amb la Guàrdia Civil per oferir-se a col·laborar amb la recerca i van tornar a telefonar el dia 13 amb el mateix oferiment. Inexplicablement no van obtenir resposta.
- 3) Explicar que la FBE compta amb espeleòlegs especialitzats en l'exploració, topografia i documentació de cavitats subaquàtiques de gran complexitat i recorregut (a Mallorca es troben les cavitats subaquàtiques de major recorregut de l'Estat Espanyol que han estat explorades, topografiades i estudiades per ells).
- 4) La cavitat (cova J-1), està inventariada i se considera de dimensions modestes i poc complicada, encara que perillosa per la presència de sediment. La FBE també tenia al seu poder una topografia simplificada de la cova i la constància per part de bussejadors de la presència de cambres d'aire al seu interior, tal com va aparèixer publicat al diari "El mundo" el dia 13 d'octubre.

- 5) La primera pauta del protocol a seguir en un rescat d'espeleobusseig és posar-se en contacte amb bons coneixedors de la cavitat i amb espeleobussejadors experimentats i demanar totes les característiques que es coneixin de la gruta.
- 6) La segona pauta del protocol a seguir en el rescat és revisar, si es té constància de la seva existència, les cambres d'aire que es localitzen a la cavitat. No s'ha d'ajornar la recerca dels escafandristes sense haver revisat aquests espais. A una cavitat no té sentit suspendre la recerca del bussejador per ésser de nit a l'exterior.
- 7) En el cas d'aquest rescat en qüestió, de no haver pogut sortir fora de l'aigua l'escafandrista podria haver mort d'hipotèrmia en 25 hores d'espera dins l'aigua, especialment als mesos d'hivern. La rapidesa en la recerca de supervivents a les cambres d'aire és primordial, de no trobar-se en aquests espais sols es pot esperar trobar un cos inert.
- 8) La necessitat d'establir un marc d'actuació i un protocol en accidents d'espeleobusseig davant l'increment de practicants d'aquesta activitat i la complexitat i gran recorregut d'algunes cavitats de Mallorca.

FEDERACIÓ BALEAR D'ESPELEOLOGIA

Capítol 4. CLASSIFICACIÓ DE LES CAVITATS DE MALLORCA

Aquest capítol està basat en GINÉS & GINÉS (2011a), per resumir i tenir una visió de conjunt de la categorització de les coves i avencs de Mallorca, sobre la base de la proposta que es va elaborar per a l'illa de Mallorca (GINÉS & GINÉS, 2009). La classificació tipològica es basa en criteris hidrogeològics i espeleogenètics. És interessant també consultar l'abundant informació recollida de forma prèvia a GINÉS (1995), GINÉS *et al.* (2008) i GINÉS & GINÉS (2009).

En base als esmentats antecedents, ha estat elaborada una classificació dels avencs i coves de les Balears, que es basa substancialment en la sistematització proposada a GINÉS & GINÉS (2009) per Mallorca i continuada a GINÉS & GINÉS (2011a) per totes les Balears. Aquesta classificació distingeix quatre grans categories morfo-genètiques, que s'articulen al voltant del context hidrogeològic on s'han generat i evolucionat les cavitats subterrànies. Les categories que han estat diferenciades són:

- **avencs de la zona vadosa**
- **coves de la zona vadosa**
- **coves freàtiques no litorals**
- **coves de la franja litoral**

Dins d'aquestes grans categories es distingeixen un total de 10 *tipus* diferents de cavitats, que corresponen a modalitats genètiques a bastament individualitzades dins de cadascuna d'elles. Així mateix, dins d'alguns dels tipus de cavitats considerats es diferencien fins a 5 *subtipus* addicionals, consistents en conjunts de formes subterrànies que mostren un cert grau de singularitat dintre d'una determinada tipologia; aquesta diferenciació en subtipus de cavitats obeeix en general a peculiaritats de la seva gènesi, que es tradueixen en trets morfològics relativament específics.

En total s'estableixen 15 modalitats morfo-genètiques que apareixen recollides a la Fig. 4.1, on també es reflecteix la seva distribució geogràfica en les distintes regions càrstiques de Mallorca, extret de GINÉS & GINÉS (1989). A més, s'ha aprofitat la Fig. 4.1 per incloure-hi una valoració quantitativa sobre el grau de representació de les

context morfo-hidrogeològic	tipus i subtipus de cavitats	MALLORCA			
		Mesozoic plegat		Miocè del Migjorn	Plio-Pleistocè
		Serra de Tramuntana	Serres de Llevant		
Avençs de la zona vadosa	avençs de dissolució	●	○		
	↳ pous d'alimentació nivell	○			
	avençs d'origen mecànic	●	○		
Coves de la zona vadosa	coves estructurals	●			
	coves d'esfondrament	●	○	○	
	↳ sales de col.lapse de volta baixa	●	○	○	
	↳ dissolució de guixos subjacents	○			
Coves freàtiques no litorals	galeries de drenatge	●	○		
	xarxes laberintiques	○	○	○	
	coves hipogèniques		○		
Coves de la franja litoral	coves de la zona de mescla costanera	○	○	●	
	↳ xarxes freàtiques amb control estructural		○	○	
	↳ coves marginals litorals				
	xarxes freàtiques litorals amb influències hipogèniques			●	●
	captures càrstico-marines	●	●	●	○

● abundància ○ presència

Figura 4.1: Classificació morfogenètica de les coves i avençs de Mallorca. S'indica l'abundància relativa de les distintes tipologies en les principals regions càrstiques. Modificat de GINÉS & GINÉS (2011a).

distintes tipologies en les regions càrstiques de Mallorca; en aquest sentit, per a cada tipus de cavitats s'expressa la seva *abundància* significativa o tan sols la seva *presència* ocasional. A continuació es descriuran els contextos hidrogeològics i morfològics de les quatre grans categories establertes, així com els diversos tipus i subtipus que s'hi distingeixen. Per tal de complementar la classificació proposada, a la Fig. 4.6 es representa el perfil idealitzat de Mallorca i les tipologies de cavitats que hi són presents.

4.1. Els avençs de la zona vadosa

El major nombre de cavitats explorables s'ubica en la zona vadosa del carst –o zona d'infiltració–, la qual està presidida, des del punt de vista hidrogeològic, per una ràpida circulació vertical de les precipitacions meteòriques a través de la part superior dels massissos calcaris. Les cavitats més característiques d'aquesta zona són els avençs, els quals constitueixen una primera categoria morfogenètica que agrupa formes subterrànies generades i evolucionades íntegrament en la zona vadosa del carst, i que estan relacionades amb la infiltració de les precipitacions i el seu recorregut fins a assolir el nivell freàtic (Figs. 4.1, 4.6). En la majoria dels casos es tracta d'avençs excavats en els materials plegats que integren les àrees muntanyoses; abunden sobretot

en les calcàries mesozoiques, encara que també hi ha avencs importants desenvolupats en els conglomerats del Miocè inferior. Dins d'aquesta primera categoria es diferencien dues tipologies de cavitats verticals (Fig.4.1) que es descriuen tot seguit, així com un subtipus addicional d'una d'elles.

4.1.1. AVENCS DE DISSOLUCIÓ

Són les cavitats més abundants a la serra de Tramuntana. Aquesta tipologia agrupa un ampli ventall de formes de tendència vertical, originades per dissolució en condicions vadoses a conseqüència del drenatge en profunditat de les precipitacions. En la present classe entrarien des dels petits avencs epicàrstics, existents als camps de lapiaz, fins a les nombroses cavitats verticals de majors dimensions (Figs. 4.2,4.3), assimilables als *gouffres d'absortion* de GÈZE (1953); els avencs de dissolució vadosa apareixen generalment referits a la bibliografia internacional amb termes diversos com: *vadose shafts*, *solutional shafts* o *vadose pits* (FORD & WILLIAMS, 2007; HESS, 2005). Estan integrats per un o més pous verticals, sovint fusiformes (MAUCCI, 1952) i

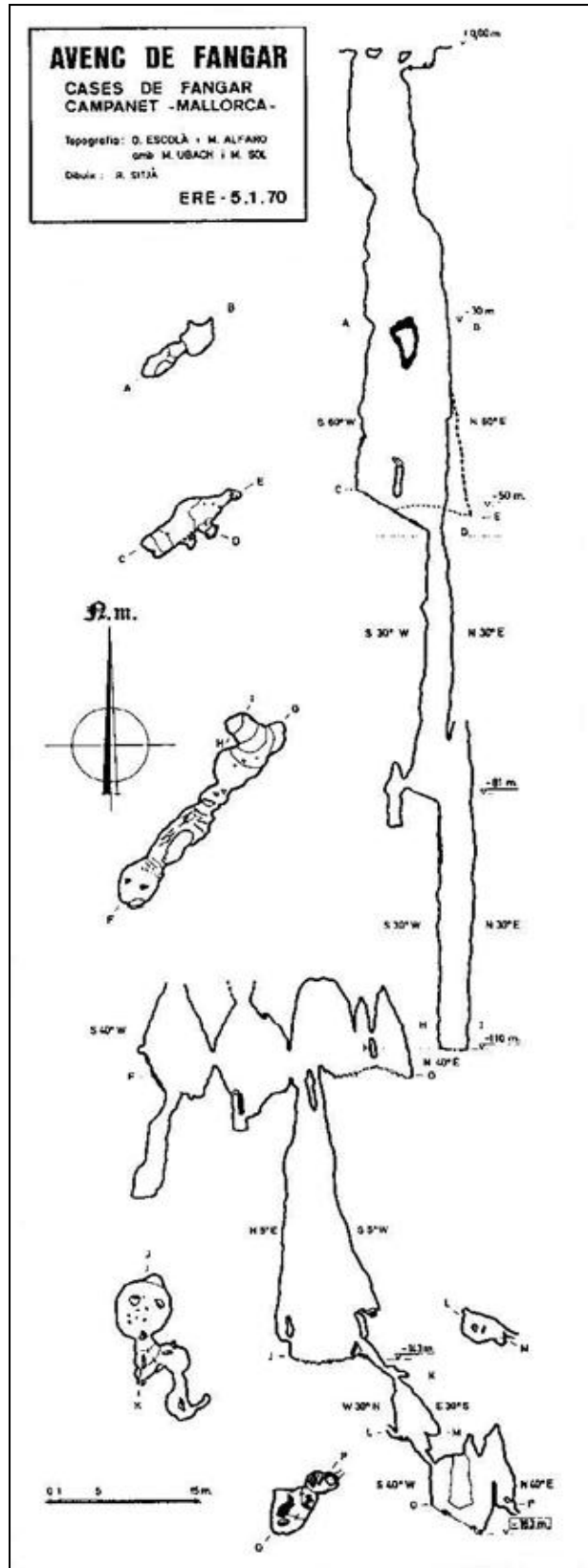


Figura 4.2: Avenc des Fangar (Campanet). Es tracta d'un avenc de dissolució format per una successió de pous.



Figura 4.3: Boca de dimensions considerables d'un avenc de dissolució.

assentats sobre fractures, que se succeeixen en profunditat i arriben a assolir fondàries superiors als 300 m, com és el cas de l'avenc del Puig Caragoler, al municipi d'Escorca (PLOMER & GINÉS, 2008). Alguns avencs inclouen impressionants pous de més de

100 m de fondària, com l'Avenc des Travessets, a Artà, o l'Avenc d'Escorca i l'Avenc de s'Aigo (GRUP ESPELEOLÒGIC EST, 1982, 1986), ambdós al municipi d'Escorca.

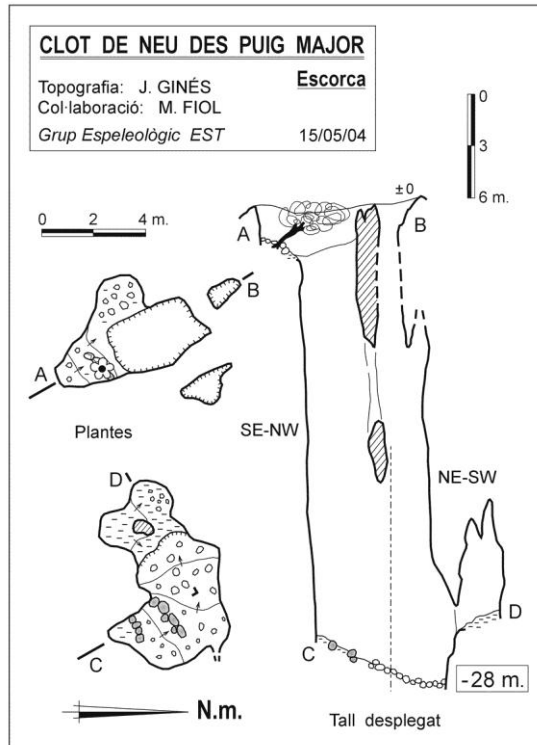


Figura 4.4: Avenc d'alimentació nival. GINÉS *et al.* (2004).

Pous d'alimentació nival. Dins la tipologia que ha estat descrita al paràgraf precedent, és possible diferenciar un subtipus de cavitats que evidencien una important alimentació nival present i/o pretèrita (GINÉS & GINÉS, 1974, 1987), i per tant estan representades únicament a les muntanyes més elevades de Mallorca. Aquests pous d'alimentació nival són de fet avencs de dissolució que presenten fondàries reduïdes i estan dotats d'àmplies boques, on s'acumulen les precipitacions de neu i s'infiltra lentament les aigües resultants de la seva fusió (Fig. 4.4). Moltes cavitats dels massís del Massanella, a Escorca, són prou

il·lustratives d'aquest subtipus (GINÉS *et al.*, 1980, 1982, 2004), així com un bon nombre d'avencs localitzats a les cotes superiors de la serra de Tramuntana (GINÉS & GINÉS, 2009, 2011a).

4.1.2. AVENCOS D'ORIGEN MECÀNIC

Aquest tipus d'avencs són cavitats de planta rectilínia que arriben de vegades a profunditats notables (Fig. 4.5). La seva presència està relacionada amb els processos de distensió que es produeixen als relleus enèrgics de les muntanyes illenques i, en particular, a les proximitats de grans penya-segats. Així es formen importants esclatxes, molt properes i paral·leles als espadats rocosos, que es correspondrien amb les *fentes de décollement* de RENAULT (1967-68) o els *gouffres tectoniques* de GÈZE (1953). Els avencs d'aquestes característiques estan presents sobretot a les zones muntanyoses, vinculats generalment a l'existència d'espadats notables ja siguin interiors o costaners.

Els exemples més destacables, pel que fa a les seves dimensions, se situen a la serra de Tramuntana, com és el cas de l'avenc de ses Papallones, a Bunyola (TRIAS, 1979a), o el crull de Can Termes, al terme d'Escorca (ENCINAS, 1995), que supera els 200 m de fondària. En algunes ocasions, com succeeix a la mola del Ram (entre els municipis mallorquins de Puigpunyent i Esporles), es tracta d'importants fractures verticals gairebé no retocades pels processos de carstificació, les quals no estan lligades directament a la presència de grans espadats sinó a la distensió generalitzada del massís calcari (GINÉS & GINÉS, 2009).

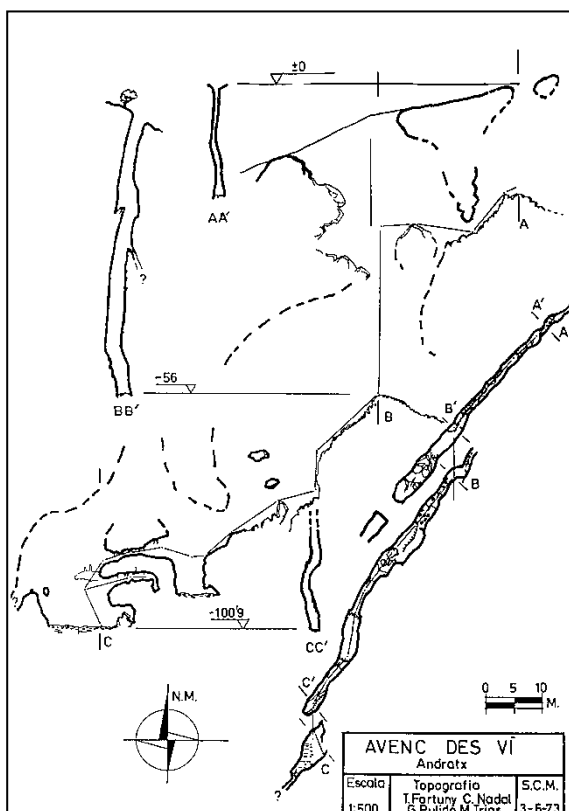


Figura 4.5: L'avenc des Vi és un exemple d'avenc d'origen mecànic, a on predominen les esclatxes.

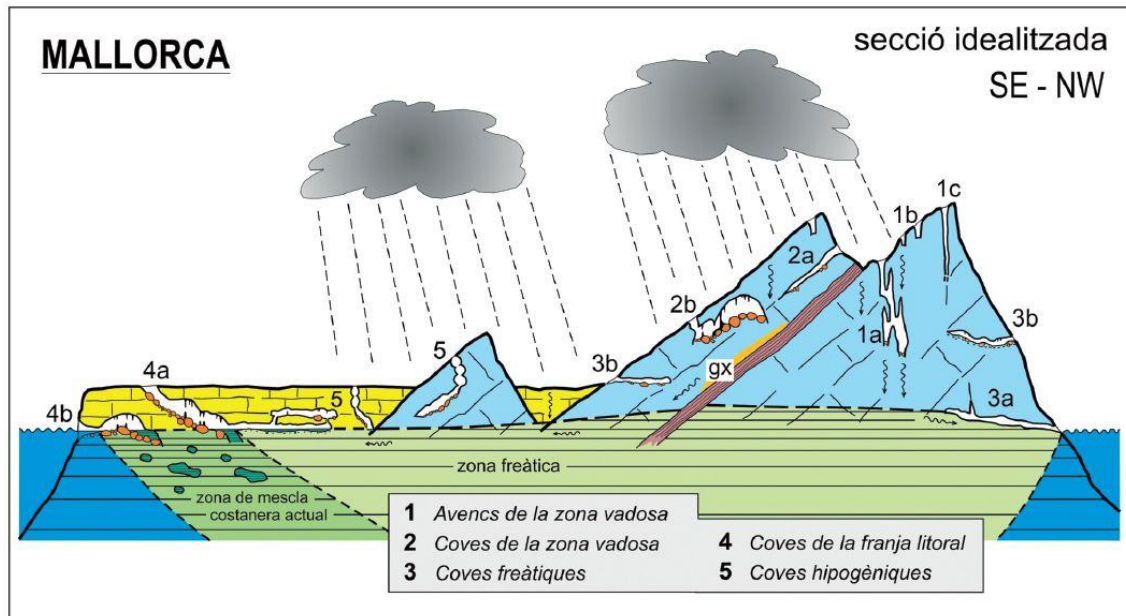


Figura 4.6: Representacions esquemàtiques dels tipus de cavitats presents a Mallorca, realitzades al llarg d'un perfil ideal. 1a: avenc de dissolució vadosa; 1b: avencs vadosos d'alimentació nival; 1c: avenc d'origen mecànic; 2a: cova estructural; 2b: cova d'esfondrament; gx: guixos triàsics subjacents; 3a: coves freàtiques amb activitat hidrològica; 3b: coves freàtiques antigues; 4a: coves de la zona de mescla costanera, morfològicament molt evolucionades; 4b: coves càrsticomarines; 4c: coves marginals litorals; 5: coves hipogèniques. GINÉS & GINÉS (2011a).

4.2. Les coves de la zona vadosa

Una gran part de les cavitats accessibles a l'espeleòleg són coves horitzontals que han experimentat una dilatada evolució en condicions vadoses, amb independència de la seva possible excavació inicial en un context hidrogeològic diferent. D'aquesta manera, la segona categoria de formes subterrànies que es distingeix ara, agrupa les coves de tendència subhoritzontal que tenen en comú dues característiques definitòries: es troben avui en dia situades a la zona vadosa dels massissos càrstics (Figs. 4.1, 4.6) i, a més a més, les morfologies actualment observables fan molt difícil establir com eren els buits primigenis que originaren les cavitats. En molts de casos, la gènesi d'aquestes coves pot correspondre a una excavació en règim freàtic dels buits inicials; es tractaria del que BÖGLI (1980) denomina *secondary vadose caves*, en contraposició als avencs abans descrits, el caràcter vadós dels quals és clarament primari. Es distingeixen dos tipus principals de coves que reuneixen aquests trets, essent factible individualitzar

altres dos subtipus addicionals dintre del que es denomina amb el terme general de coves d'esfondrament.

4.2.1. COVES ESTRUCTURALS

En primer lloc, dins la categoria de coves situades a la zona vadosa s'inclou un tipus que designem com a coves estructurals. Es tracta de cavitats localitzades als materials plegats de la serra de Tramuntana mallorquina, que consisteixen en una o vàries àmplies sales disposades amb una tònica general descendent, aprofitant discontinuïtats subhoritzontals com són algunes falles o, més freqüentment, plans d'encavalcament. Aquestes coves han estat sovint retocades

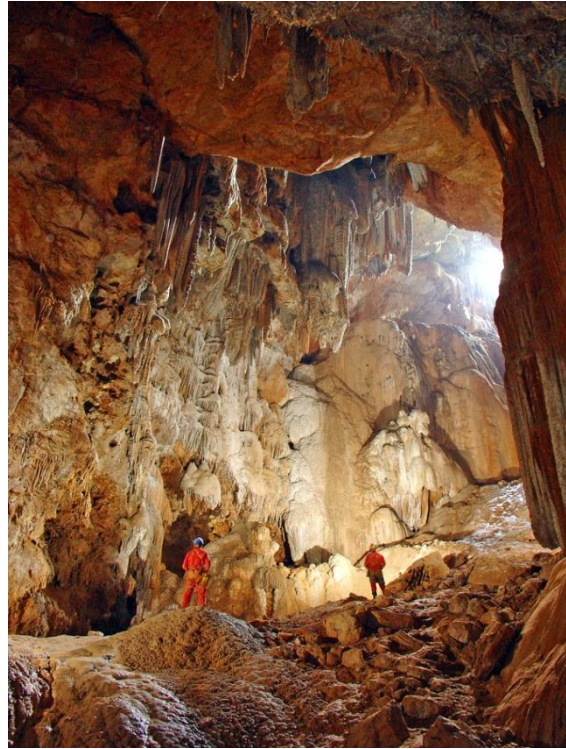


Figura 4.7: Sala d'Entrada de la cova de sa Campana, cavitat d'esfondrament de 304 m de desnivell. Foto D. Mayoral.

per esfondraments de les voltes, així com emmascarades per abundants dipòsits estalagmítics. Localitats com la cova de ses Meravelles (Bunyola), la cova Morella i la cova del Boc (ambdues a Pollença) i la cova de la Tossa Alta (Escorca) són molt bons exemples d'aquest tipus de cavitat.

4.2.2. COVES D'ESFONDRAMENT

La segona tipologia de cavitats vadoses està representada per les coves d'esfondrament, la morfologia de les quals està del tot condicionada per l'existència de grans acumulacions de blocs rocosos despresos de les parets i voltes. Aquests mecanismes morfogenètics apareixen designats a la bibliografia internacional amb expressions molt generals com *breakdown* o *collapse processes* (KLIMCHOUK *et al.*, 2000; FORD & WILLIAMS, 2007; PALMER, 2007), o termes més específics com *incision* (BÖGLI, 1980); a la literatura espeleològica en llengües hispanes ha estat freqüent l'ús del terme –no gaire afortunat ni precís– de *processos clàstics* (MONTORIOL-POUS, 1951). En les coves mallorquines resulta del tot habitual que aquests fenòmens assoleixin una magnitud destacable, de manera que arriben gairebé a esborrar per complet els indicis relatius a les primeres fases de l'excavació de les

cavitats (GINÉS & GINÉS, 1987; GINÉS, 1995a); per a la majoria d'elles no es pot descartar un origen freàtic, encara que el seu aspecte actual no aportï cap evidència en aquest sentit. En general, les coves corresponents a aquesta tipologia tenen caràcter subhoritzontal i de vegades un volum certament important; la decoració estalagmítica sol estar present, emmascarant les acumulacions de blocs rocosos. Els exemples més il·lustratius es donen a les calcàries mesozoiques plegades de la serra de Tramuntana mallorquina, amb localitats ben representatives com les coves de Campanet (LLOPIS-LLADÓ & THOMAS-CASAJUANA, 1948) o la cova de sa Campana (Figs. 4.7, 4.8), al municipi d'Escorca, que conté alguna sala que ultrapassa els 100.000 m³ de volum (BARRERES *et al.*, 1976; MIR & TRIAS, 1973). Una menció particular mereixen

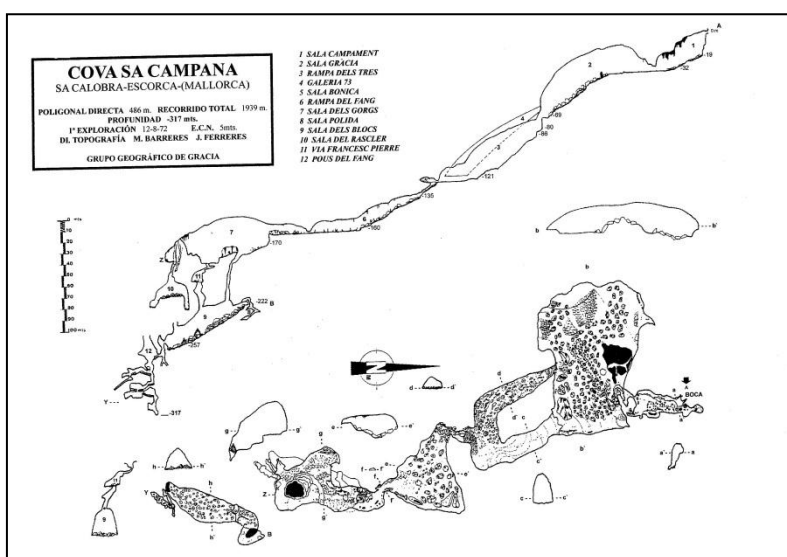


Figura 4.8: La cova de sa Campana, cavitat d'esfondrament que al llarg de molts d'anys va ésser la màxima fondària de Mallorca.

algunes cavitats d'entrada vertical com l'avenc de Son Pou (THOMAS-CASAJUANA & MONTORIOL-POUS, 1952), al terme de Santa Maria del Camí, constituïdes per àmplies sales d'esfondrament accessibles mitjançant obertures naturals existents en el zenit de les seves voltes;

aquestes formes sub-terrànies es correspondrien amb els *gouffres d'effondrement* de GÈZE (1953).

Sales de col·lapse de volta baixa. Resulta fàcil de constatar el fet que bastants de les coves pertanyents a la tipologia de coves d'esfondrament presenten unes característiques ben diferenciades, les quals permeten agrupar-les en un subtipus que s'ha designat amb el nom de sales de col·lapse de volta baixa (Fig. 4.9). Es tracta de sales d'àmplies dimensions en planta, però que mostren un volum proporcionalment moderat com a conseqüència de l'escassa alçada de les seves voltes. Les cavitats que reuneixen aquestes condicions estan representades a gairebé totes les illes, malgrat que

els exemples més abundants i significatius es localitzen a les diferents àrees muntanyoses de Mallorca, com és el cas de la cova de Can Sion, a Pollença (ENCINAS, 1994), la covota de la Peña Rotja, a Alcúdia (TRIAS, 1986), o la

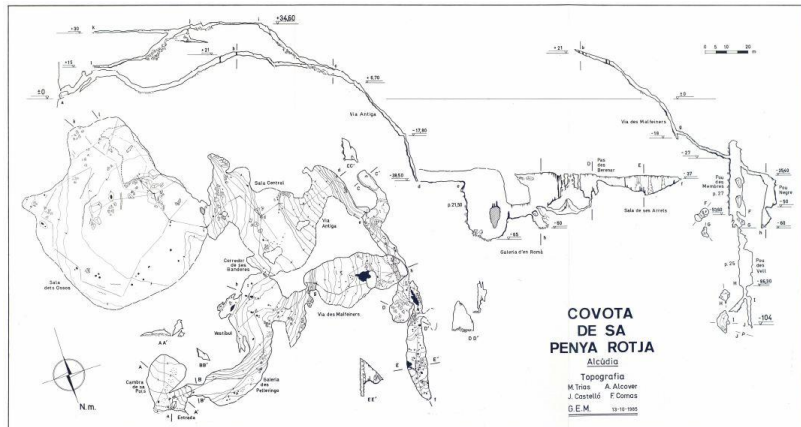


Figura 4.9: Covota de sa Peña Rotja (Alcúdia). Es tracta d'una gran sala de col·lapse de volta baixa travessada per un avenc de dissolució.

cova des Diners, a Manacor (TRIAS, 1979b). També trobem cavitats d'aquestes característiques en els dipòsits carbonatats del Miocè superior de la zona de Ca n'Olesa, als voltants de Portocristo (GINÉS *et al.*, 2007a). Aquest subtipus de cova d'esfondrament es correspon amb algunes modalitats de les *collapse chambers*, tal i com foren definides per GINÉS (2000), que consisteixen en grans sales generades pel col·lapse generalitzat d'àrees extenses del rocam calcari, amb un desplaçament vertical de la massa rocosa més aviat petit. Les cavitats originades, a més de presentar voltes d'alçades modestes i fins i tot bastant reduïdes, tendeixen en ocasions a verticalitzar-se cap a la seva perifèria arribant a fondàries notables, com succeeix a la cova de Can Sion (Pollença), que ultrapassa el centenar de metres de fondària.

Dissolució de guixos subjacents. Algunes coves que exhibeixen morfologies dominants d'esfondrament o col·lapse poden estar relacionades amb reajustaments mecànics de la massa calcària, provocats per la dissolució de guixos subjacents. L'esmentada situació es produeix amb relativa freqüència a la serra de na Burguesa (BOVER *et al.*, 2004), a cavall dels municipis mallorquins de Calvià i de Palma, essent les coves del Pilar (Palma) la localitat on aquests fenòmens s'observen amb més claredat (VICENS *et al.*, 2005); aquí, els guixos del Triàsic apareixen en les galeries artificials inferiors, disposats en bancs massius d'uns pocs metres de potència. Convé remarcar que els processos responsables d'aquest subtipus de coves d'esfondrament ja havien estat proposats per CAÑIGUERAL (1949), per tal d'explicar la formació de determinades coves de la serra de Tramuntana.

4.3. Les coves freàtiques no litorals

La tercera categoria morfofogenètica, que ha estat diferenciada dins l'endocarst mallorquí, reuneix determinades coves que denoten clarament una gènesi lligada a processos de dissolució en règim freàtic, malgrat que cal reconèixer el fet que aquestes cavitats no són en general massa freqüents. La categoria que ens ocupa ara està integrada per formes subterrànies excavades originàriament a la banda inferior dels massissos càrstics, és a dir a la zona freàtica, on tots els buits existents a la roca – porositat primària, fractures i conductes càrstics– es troben totalment negats d'aigua de manera permanent. En aquest horitzó hidrogeològic, també conegut com a zona saturada, el drenatge subterrani s'organitza en sentit horitzontal cap a les surgències,



Figura 4.10: La Font des Verger constitueix una de les principals galeries de drenatge actives de la serra de Tramuntana. (Foto M. A. Perelló).

mitjançant les quals són evacuades les aigües que circulen per l'interior del sistema càrstic (Fig. 4.6). No obstant això, en la majoria d'ocasions aquests fenòmens endocàrstics estan, ara per ara, desconnectats de les circulacions subterrànies actives, com a resultat de la història geomorfològica dels massissos calcaris als quals pertanyen. A més a més, en la mesura que sovint es tracta de formes senils i

no funcionals des del punt de vista hidrològic, aquestes cavitats solen haver experimentat una intensa evolució morfològica després d'haver passat a formar part de la zona vadosa del carst (processos d'esfondrament i deposició d'espeleotemes, bàsicament). Es poden distingir tres tipus de coves freàtiques no litorals, tal i com apareix expressat a la Fig. 4.1

4.3.1. GALERIES DE DRENATGE

En general estan constituïdes per galeries més aviat rectilínies i no gaire ramificades, on és possible observar freqüentment morfologies arrodonides produïdes per la dissolució en condicions freàtiques. Algunes de les localitats pertanyents a

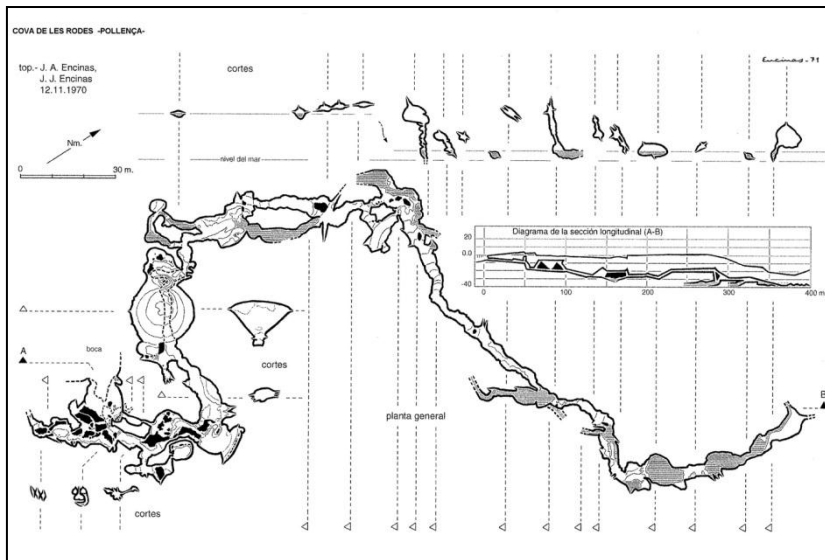


Figura 4.11: La cova de les Rodes constitueix una galeria de drenatge activa a la serra de Tramuntana.

aquesta tipologia són encara actives, pel que fa a la seva funcionalitat hidrològica, i estan recorregudes per corrents subterranis perennes (Fig. 4.10 i 4.11). Alguns exemples d'aquestes característiques són abundants a la serra de Tramuntana ma-

llorquina, on destaquen la cova dels Estudiants (ROMERO, 1975; BENYSEK, 1988) i la Font des Verger (RIPOLL & ROCA, 1974; CORRIGAN, 1998), localitzades al municipi de Sóller, les quals contenen sengles cursos subterranis actius i compten amb importants continuacions subaquàtiques. Altres cavitats actives destacables, situades a la mateixa regió de Mallorca, són la cova des Torrent de Cúber, a Escorca, o la cova de les Rodes (ENCINAS, 1972) i la font de l'Algaret (GRUP NORD DE MALLORCA, 1973), ambdues situades al terme de Pollença. En altres ocasions ens trobem amb formes subterrànies no funcionals, que en són testimoni de la complexa història geomorfològica dels relleus de la serra de Tramuntana. Localitats com la cova de Canet, a Esporles (PONS-MOYÀ *et al.*, 1979; ALCOVER *et al.*, 2001), o la cova de Cal Pesse, a Pollença (MORRO & MORRO, 1972), constitueixen exemples ben eloqüents d'antics conductes freàtics de drenatge, hidrològicament inactius a hores d'ara.

4.3.2. XARXES LABERÍNTIQUES

Aquest tipus de cavitats és generalment de dimensions modestes i està representat en totes les regions naturals de Mallorca, encara que amb molt escasses localitats. Es tracta de fragments inactius de xarxes laberíntiques de conductes, excavats en el seu moment en la zona freàtica del sistema càrstic. La cova de Son Burguet (Puigpunyent), o la cova d'en Tocahores (Petra), són cavitats prou il·lustratives, si bé la localitat més remarcable pel seu desenvolupament proper al quilòmetre de galeries és

sens dubte la cova de sa Teulada, al municipi de Santa Margalida (THOMAS-CASAJUANA & MONTORIOLPOUS, 1952). L'esmentada localitat, encara que geogràficament es troba allunyada de la regió del Migjorn de Mallorca, està enclavada en els mateixos materials calcaris postorogènics del Miocè superior que configuren el sud i llevant de l'illa; per aquest motiu, i encara que sigui d'una manera prou forçada, considerarem la cova de sa Teulada com a pertanyent al Migjorn, tan sols en base als criteris d'afinitat litològica amb aquesta regió càrstica mallorquina. Tant en la present tipologia –xarxes laberíntiques– com en l'anterior –galeries de drenatge–, la gènesi freàtica dels buits primigenis és força evident, tot i que les cavitats han experimentat de vegades una dilatada evolució en condicions vadoses. En ambdós casos, semblen correspondre a una gènesi freàtica poc profunda, relacionada amb la banda de fluctuació de les aigües subterrànies, o zona epifreàtica.

4.3.3. COVES HIPOGÈNIQUES

L'existència de cavitats de gènesi hipogènica és una idea d'introducció més aviat recent i, endemés, està dotada de significats diversos segons els autors que han encunyat i generalitzat l'ús d'aquest concepte (GINÉS & GINÉS, 2009, 2011a). Per una banda inclouria les cavitats originades per una alimentació hídrica profunda (KLIMCHOUK, 2007; FORD & WILLIAMS (2007), mentre que altres autors es refereixen als buits originats per processos de dissolució diferents dels mecanismes de carstificació convencionals com, per exemple, els lligats a aportacions de CO₂ d'origen profund o a l'oxidació de H₂S (PALMER, 2007). Resulta fàcil constatar que ambdues interpretacions se solapen àmpliament, com succeeix en el cas de les coves hidrotermals, les quals poden ser considerades hipogèniques en les dues accepcions del terme, és a dir tant des del punt de vista hidrogeològic com del geoquímic. En els turons centrals de Mallorca es localitza una singular i interessant cavitat, la cova Nova de Son Lluís (Porreres), la qual exhibeix algunes morfologies que apunten cap a una possible gènesi hipogènica (GINÉS & GINÉS, 2006), probablement relacionada amb les anomalies geotèrmiques documentades al sector meridional de l'illa (LÓPEZ & MATEOS, 2006; LÓPEZ, 2007). La cova s'obre en materials plegats calcari-dolomítics del Retià, i es caracteritza per la presència de cambres i cúpules coalescents de formes aproximadament esfèriques, que configuren els sectors superiors de la cavitat. Cal indicar que les morfologies consistents en cambres isomètriques de fins a alguns metres

de diàmetre, disposades sovint en estructures tridimensionals ramificades, són considerades formes característiques de l'espeleogènesi hidrotermal poc profunda (DUBLYANSKY, 2000, 2005); amb freqüència estan relacionades amb processos actius de condensació-corrosió lligats a la presència de llacs subterranis d'aigües termals (DUBLYANSKY & DUBLYANSKY, 2000; AUDRA *et al.*, 2009a, 2009b). Dins d'un context geològic força diferent, el pou de Can Carro –també conegut com la cova de ses Sitjoles–es localitza en els materials postorogènics (Miocè superior i Pliocè) de la vora occidental de la depressió subsident de Campos. Es tracta d'un rosari de cúpules i cavitats verticals arrodonides, de plausible origen hipogènic, que en les seves cotes inferiors assoleixen una sala d'esfondrament on s'arriba al nivell freàtic.

4.4. Coves de la franja litoral

Aquesta quarta i última gran categoria està ben representada, òbviament en relació amb el caràcter costaner, en major o menor mesura, de la totalitat de les regions càrstiques de Mallorca. Els millors exponents de les cavitats associades a la franja litoral es localitzen als dipòsits postorogènics del Miocè superior, presents en particular a la regió natural del Migjorn i Llevant de Mallorca (GINÉS & GINÉS, 2011a). Les darreres exploracions i recerques ens han fet proposar una remodelació interna en aquesta categoria de coves. La troballa des Dolç (ses Salines) dins materials Plio-Pleistocènics mostra clares evidències de la contribució hipogènica en la seva gènesi (GRÀCIA *et al.*, 2014). Les exploracions i noves descobertes a les coves del Drac, han permès documentar gran quantitat de morfologies hipogèniques a les galeries submergides i reconsiderar la importància relativa de la zona de mescla en aquesta cavitat (inèdit). En la categoria que ara ens ocupa s'inclou un ampli i interessant ventall de coves, l'origen i posterior evolució de les quals es troben condicionats –d'una manera directa o indirecta– per la proximitat a la línia de costa. Es diferenciaran tres tipus de coves costaneres, a més de dos subtipus addicionals que s'emmarquen dins del grup de cavitats generades a la zona de mescla litoral (Figs. 4.1 i 4.6).

Les variacions del nivell marí durant el Quaternari, degudes a causes glacio-eustàtiques, han deixat empremtes diverses en la morfologia d'aquestes coves costaneres, afavorint la presència de reompliments específics –espeleotemes freàtics, sediments detrítics litorals i bretxes ossíferes– de gran valor espeleocronològic i paleoambiental (GINÉS & GINÉS, 1995). Així mateix, cal remarcar que el nivell actual

de la Mediterrània determina l'existència de llacs subterranis d'aigües freàtiques salabroses, que ocupen les cotes inferiors de les cavitats i es veuen afectats per oscil·lacions marines de reduïda escala temporal, com ara les mareas.

4.4.1. COVES DE LA ZONA DE MESCLA COSTANERA

Al llarg de les darreres dècades, s'ha anat suggerint per a aquestes coves un model genètic que contempla la formació d'uns buits primigenis, originats per dissolució en la zona freàtica litoral (GINÉS & GINÉS, 1992; GINÉS, 2000; GINÉS *et al.*, 2008) a causa de l'agressivitat que es deriva de la mescla entre aigües continentals dolces i aigües marines, dins d'un context hidrogeològic d'elevada permeabilitat per mor d'una important porositat primària. Les cavitats freàtiques inicials experimentaren al llarg del Pleistocè esfondraments extensius de les voltes i parets (GINÉS & GINÉS,



Figura 4.12: Cova Genovesa (Manacor), cavitat de la zona de mescla costanera (Foto A. Cirer).

2007), especialment durant les davallades glacioeustàtiques del nivell marí; mentre que intenses fases de deposició d'espeleotemes varen contribuir després a emmascarar les característiques dels buits primigenis. Cal remarcar, en aquest sentit, que la magnitud dels processos de col·lapse i reajustament

mecànic de la massa rocosa condiciona l'aparença actual d'extenses zones d'aquest tipus de coves, al mateix temps que és responsable de la seva obertura al exterior per mitjà d'enfonsaments en superfície, o abisaments, de vegades ben espectaculars. El patró planimètric de les coves d'aquesta tipologia denota la coalescència, un tant aleatòria, d'unitats d'esfondrament més o manco independents, que han anat creixent tridimensionalment i connectant unes amb les altres (GINÉS & GINÉS, 2007; GRÀCIA *et al.*, 2007a), fins a donar lloc a una disposició en planta de caràcter *ramiforme* en el sentit enunciat per PALMER (2007). Aquest patró més aviat aleatori es veu fortament condicionat per la litologia dels dipòsits carbonatats del Miocè superior (GINÉS *et al.*, 2008, 2009b), essent possible observar-ho amb claredat en les fàcies de front d'escull,

com a resultat de la dissolució extensiva de les construccions de coralls (Figs. 4.12,4.13).

Els exemples més il·lustratius es donen en les plataformes tabulars litorals constituïdes per materials calcaris del Miocè superior, concretament en el Migjorn de Mallorca. Al municipi de Manacor es localitzen coves destacables com el sistema Pirata-Pont-Piqueta (TRIAS & MIR, 1977; GRÀCIA *et al.*, 2006a), la cova Genovesa o d'en Bessó (GRÀCIA *et al.*, 2003a, 2003b), o el sistema Gleda-Camp des Pou (GRÀCIA *et al.*, 2007a, 2010a; GINÉS *et al.*, 2008).

Xarxes freàtiques amb fort control estructural. És ben evident que els condicionants litològics influeixen de forma decisiva en la configuració morfològica de les cavitats excavades en el Miocè superior

postorogènic de les Balears. Així, mentre en les fàcies de front d'escull dominen les formes de col·lapse lligades a la dissolució dels coralls, tal i com s'ha exposat més a dalt, en les fàcies corresponents a ambients de *lagoon* la permeabilitat associada a la fracturació adquireix major rellevància, en presentar aquests materials una porositat bastant més baixa (GINÉS *et al.*, 2008, 2009). Dins d'aquesta línia, algunes localitats del Migjorn de Mallorca com la cova des Coll, a Felanitx (GRÀCIA *et al.*, 2005), constitueixen extensos sistemes freàtics litorals on hi són actius els processos geoquímics de mescla d'aigües dolces i marines, però on així mateix és ben patent un fort control estructural (diàclasis i fractures en general) pel que fa a la disposició en planta de les cavitats. Amb una freqüència menor, els plans d'estratificació poden assolir un paper important en el desenvolupament d'algunes coves litorals, com succeeix a la cova Figuera, a Manacor. Es tractaria, en aquest casos, d'un subtipus de cova de la zona de mescla litoral, però caracteritzat per un patró planimètric (GINÉS *et al.*, 2009) marcadament rectilini, força diferent en relació al caràcter *ramiforme*, abans

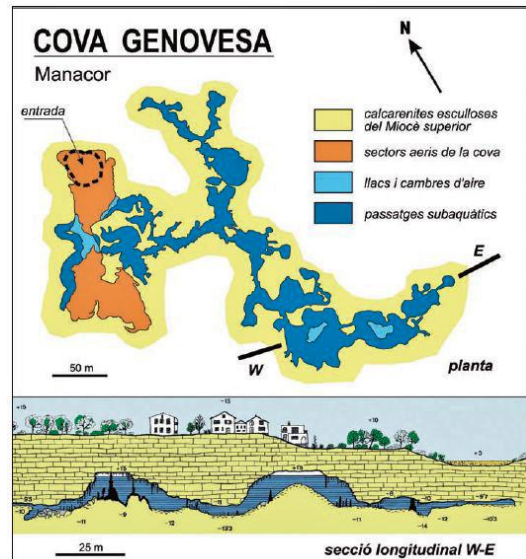


Figura 4.13: El patró planimètric de les coves d'aquesta tipologia denota la coalescència, un tant aleatòria, d'unitats d'esfondrament més o manco independents, que han anat creixent tridimensionalment i connectant unes amb les altres (GINÉS & GINÉS, 2007; GRÀCIA *et al.*, 2007a), fins a donar lloc a una disposició en planta de caràcter *ramiforme*.

descriu, de les coves excavades dins els materials escullosos. La tipologia que ens ocupa ara, es troba també representada a les calcàries plegades mesozoiques de les serres de Llevant de Mallorca.

4.4.2. XARXES FREÀTIQUES LITORALS AMB INFLUÈNCIES HIPOGÈNIQUES

Les exploracions en la cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor) van fer necessari distingir una tipologia nova que donés compte de les singularitats de l'esmentada cavitat (GINÉS & GINÉS, 2009), les quals es concreten en unes dades espeleomètriques espectaculars –més de 75 km de desenvolupament– i uns trets morfològics singulars en molts d'aspectes respecte al que es coneixia a Mallorca abans (MERINO *et al.*, 2006, 2007, 2008, 2009c; GINÉS *et al.*, 2008). En aquest sentit, la cova presenta una acusada disparitat planimètrica i morfològica en funció de les variacions litològiques del rocam del Miocè superior (GINÉS *et al.*, 2009b), però sobretot presenta una associació de formes i sediments que apunten cap a la participació



Figura 4.14: La troballa de nombroses morfologies hipogèniques i sediments associats a les coves del Drac, al Llevant de Mallorca, ha suposat una sorpresa inesperada per una cavitat històrica (Foto A. Cirer).

de processos d'espeleogènesi hipogènica en l'excavació d'aquesta gran xarxa subterrània (GINÉS *et al.*, 2009b; FORNÓS *et al.*, 2010a, 2011a).

El descobriment i exploració des Dolç (ses Salines, GRÀCIA *et al.*, 2014) i també d'importantes galeries submergides a les coves del Drac (Manacor, inèdit. Fig. 4.14.,4.15), ambdues amb abundants i evidents morfologies hipogèniques i sediments associats, han fet que incorporem en aquesta categoria a les dues cavitats esmentades. És a dir, les coves del Drac, com a exemple clàssic de cavitat de la zona de mescla costanera queda incorporada a l'apartat de cavitat freàtica litoral amb influències hipogèniques. La cova des Pas de Vallgornera ja no és un cas tan singular, des del punt de vista de gènesi hipogènica, dins l'endocarst de Mallorca, i

tampoc es pot considerar ja la plataforma de Lluçmajor com una subregió càrstica individualitzada, ja que s'ha estès a la depressió de Campos amb litologia més recent i també a cavitats de les marines de Llevant (Fig. 4.15). Aquestes cavitats s'han format per l'actuació conjunta de diferents mecanismes espeleogenètics, amb més o



Figura 4.15: Coves del Drac. La presència de gran quantitat d'espeleotemes i blocs caiguts en ocasions amaga les diferències genètiques entre diferents cavitats que semblen similars (Foto A. Cirer).

menys importància percentual segons les cavitats: els processos de dissolució lligats a la zona de mescla litoral, una gens menyspreable recàrrega superficial de origen meteòric, i una alimentació hídrica de caràcter hipogènic –*sensu* KLIMCHOUK (2007)– associada als fenòmens geotermals documentats al sud de Mallorca (LÓPEZ & MATEOS, 2006; LÓPEZ, 2007). Tanmateix, ja a GINÉS & GINÉS, 2009; MERINO *et al.*, 2011b es descriuen altres cavitats en relació amb alimentacions hipogèniques, era el cas de la cova de sa Guitarreta, també al municipi de Lluçmajor, el pou de Can Carro (al municipi de Campos) i la cova de s'Ònix, situada als voltants de Portocristo.

4.4.3. CAPTURES CÀRSTICO-MARINES

En les costes calcàries és ben freqüent l'existència de cavitats que s'obren en les proximitats de la

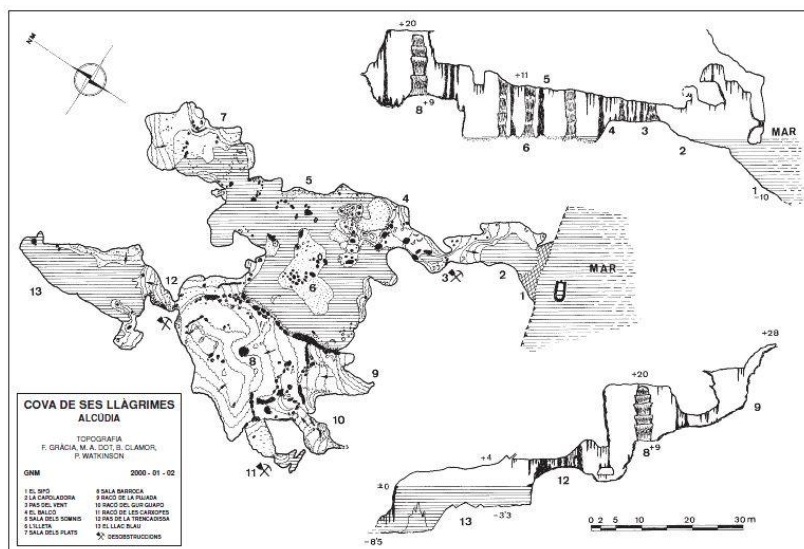


Figura 4.16: Cova de ses Llàgrimes (Alcúdia), exemple de captura càrstico-marina. És una cova de la franja litoral dins les calcàries mesozoiques (GRÀCIA *et al.*, 2003c).



Figura 4.17: L'abundància d'espeleotemes caracteritza l'endocarst de Mallorca, i és una constant per tot tipus de cavitats. Imponents espeleotemes de degoteig de la cova de ses Llàgrimes, captura càrstico-marina (Foto M. A. Perelló).

línia de costa, com a conseqüència de l'actuació dels processos lligats a la dinàmica litoral. A més de les coves originades per l'acció erosiva –majoritàriament mecànica– de les aigües marines, abunda als litorals de tot l'arxipèlag una tipologia de cavitats que són el resultat d'una gènesi mixta relacionada amb el caràcter carbonatat de les costes de les Balears. Ens referim al que MONTORIOL-POUS (1971, 1972) denomina *captures càrstico-marines*, que consisteixen en coves d'un clar d'origen càrstic afectades en major o menor mesura pels mecanismes d'erosió costanera (Fig. 4.16,4.17). De vegades es tracta de cavitats de gènesi càrstica, però amb l'orifici d'accés obert gràcies a l'actuació de la dinàmica litoral, tal i com succeeix a la cova de na Mitjana (GINÉS *et al.*, 1975; GINÉS, 2000) i a la cova de

na Barxa (ANDREWS *et al.*, 1989), al municipi de Capdepera, o a nombroses localitats de la zona de cala Varques i cala Falcó, al municipi de Manacor (TRIAS & MIR, 1977; TRIAS, 1992; GINÉS, 2000; GRÀCIA *et al.*, 2010b). En altres ocasions, s'observen aparells endocàrstics gairebé desmantellats del tot per mor de l'evolució morfològica de la línia de costa, com en el cas de la cova Marina des Pont, a Manacor (TRIAS & MIR, 1977). En aquest tipus de cavitats litorals abunden els dipòsits sedimentaris, sovint força complexos, en els quals s'intercalen seqüències d'espeleotemes amb bretxes ossíferes i materials detrítics marins, constituint registres de gran interès espeleocronològic (GINÉS & GINÉS, 1995; GINÉS, 2000). Es pot afirmar que les captures càrstico-marines constitueixen una tipologia ubiqua a les diferents regions càrstiques.

Capítol 5. ALTRES CAVITATS LITORALS DE L'ESTAT

S'ha de tenir present, que de les principals cavitats litorals de l'Estat, exceptuant les mallorquines, no n'hi ha cap d'elles amb unes característiques litològiques i genètiques similars a les que es presenten a Mallorca. El tub de lava de La Corona (Canàries) és una important cavitat volcànica, que com és lògic no té res a veure amb els processos càrstics. Malgrat això, hem trobat interessant incloure-la com a exemple de cavitat no càrstica però molt important com a exemple de cavitat litoral d'hàbitat anquihalí. La Falconera (Catalunya) i la cova del Moraig (València) constitueixen surgències càrstiques que s'obrin dins materials mesozoics. La Cueva del Agua (Múrcia) és en tot cas la més semblant a les nostres cavitats litorals, no per la litologia, també de materials mesozoics, però sí per la gènesi hipogènica encara activa i possiblement també pel paper exercit per la mescla d'aigües de diferents salinitats.



Figura 5.1: Joaquim Montoriol a la cova de na Polida (Menorca), l'any 1954 (Cortesia de la família Montoriol, cedida al *Qui és qui*).

A l'Estat espanyol, les primeres exploracions subaquàtiques van ser dutes per catalans, la qual cosa no és d'estranyar si es té en compte que el primer grup dedicat a l'exploració subterrània al nostre país, va ésser el GES, pertanyent al Club Muntanyès Barceloní, creat l'any 1.948. Aquest grup va ésser molt actiu en el camp de l'espeleologia, explorant coves dins i fora de la seva província. Però sempre quedaven detingudes aquestes exploracions en arribar a la galeria inundada, al sifó. La falta de mitjans tècnics, el desconeixement del funcionament hídric de les cavitats, i la inexistència d'espeleòlegs preparats per al mitjà subaquàtic, van suposar una barrera infranquejable davant aquesta dificultat. És a partir de 1.952 quan es va formar a Barcelona l'ERE (Equip de Recerques Espeleològiques), grup espeleològic que es dedicarà al busseig dins cavitats. És el temps en el qual l'escafandre autònom de Cousteau es comença a conèixer a Espanya, i cobraran una gran empenta tots els esports subaquàtics. L'ERE

col·laborarà de seguida amb el GES, en totes aquelles cavitats en les quals l'aigua faci acte de presència.

5.1.La cova de na Polida i la cova de s'Aigua (Menorca)

La cova de na Polida serà la que marqui l'inici de l'espeleobusseig al nostre país. A l'estiu de 1.954 el GES demanà la col·laboració als bussejadors de l'ERE per explorar aquesta cova que se situa als voltants del poble menorquí de Fornells (Fig. 5.1). És la primera vegada que espeleòlegs i bussos, van estar units en una exploració subterrània. La cova de na Polida s'obre en un penya-segat en la costa Nord de Menorca. En el seu interior alberga un gran llac que, segons les notícies d'aquell moment, podia ser un dels majors del món. Això va fer que l'expedició acaparés l'interès de la premsa i de la ràdio per vegada primera cap al món subterrani. Integraven l'expedició per part de l'ERE, Ballester, Sibila, Tonnietti i Julia Calzada, i per part del GES, Montoriol, Assens, Termes i Armengou. La premsa estava representada per Mario Lleget, del *Correo Catalan*, Antonio Ribera de *La Revista*, i J.A. Armengou era enviat especial de "El Noticiari Universal". Malgrat el gran desplegament informatiu, els resultats espeleològics van ser molt decebedors. En comptes del gran llac subterrani que esperaven trobar, van explorar quatre petits llacs, sense aconseguir trobar una continuació més enllà dels llacs.

La cova de s'Aigua, amb un gran llac al final d'una galeria de 100 metres, va a veure's ocupada pels bussejadors que recorreran tot el perímetre del llac intentant localitzar una sortida. Va ser una exploració difícil a causa de la terbolesa de les aigües que impedièren la visibilitat. Es van endinsar per un estret passadís que comunicava amb una altra sala a un nivell més inferior. Però van haver de desistir de prosseguir ja que les seves llanternes amb prou feines aconseguien il·luminar més enllà dels dos metres per davant d'ells.

No serà fins als anys 2002 i 2005 quan, al llarg d'exploracions subaquàtiques del GNM a l'illa de Menorca, Francesc Gràcia i Bernat Clamor exploren i topografien més de 200 m de continuacions al llac final, per unes galeries estretes i encara pendents de topografiar (inèdit).

5.2. La Falconera (Catalunya)

En la costa de Garraf, entre punta Ginesta i la cala d'Aigua Dolça, hi ha una sèrie de surgències d'aigua dolça, conegudes des d'èpoques antigues pels pescadors de la zona, la més abundant de totes és la que brolla, just al peu del penya-segat de la Falconera, la qual anomenaven "la Dolça". La Falconera constitueix una cabalosa deu submarina, amb un cabal mig de l'ordre de 500 l/s, arribant als 200 l/s en períodes d'estiatge i als 10.000 l/s en fortes avingudes. Hi ha tres formes d'accedir al riu subterrani de la Falconera, una per mar; una altra davallant per un pou artificial, pou de l'Eusebi, de 50 metres de profunditat, que s'obre enmig del torrent de la Falconera; l'altre accés és des de l'estació de Garraf, d'aquí cal endinsar-se cap al túnel del tren que travessa el penyal de la Falconera, que domina el llogarret de Garraf, i a uns 20 metres abans d'arribar al final hom troba, a l'esquerra, una finestra de ventilació que dona directament al penya-segat on s'obre la boca de la Falconera, s'hi arriba amb l'ajut d'una petita corda (AYMAMÍ, 2007).

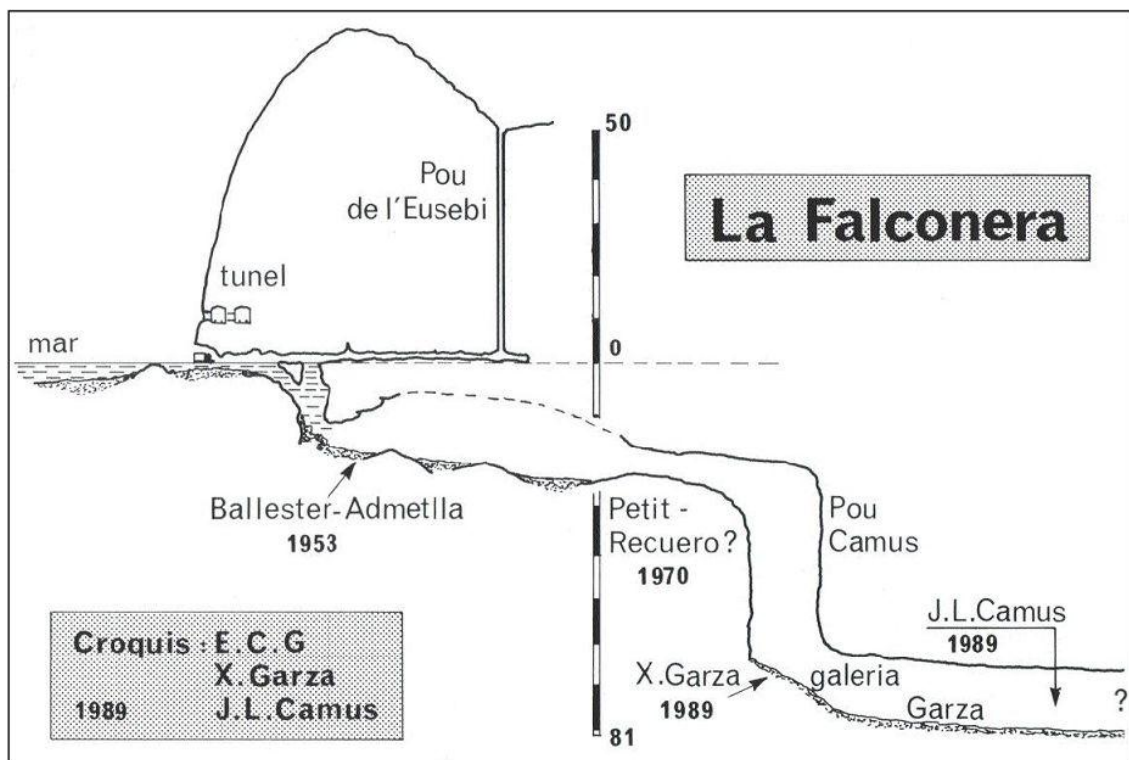


Figura 5.2: Topografia de la Falconera realitzada l'any 1989. Important surgència submarina afectada per l'abocador de l'àrea metropolitana de Barcelona que es va ubicar al massís càrstic del Garraf.

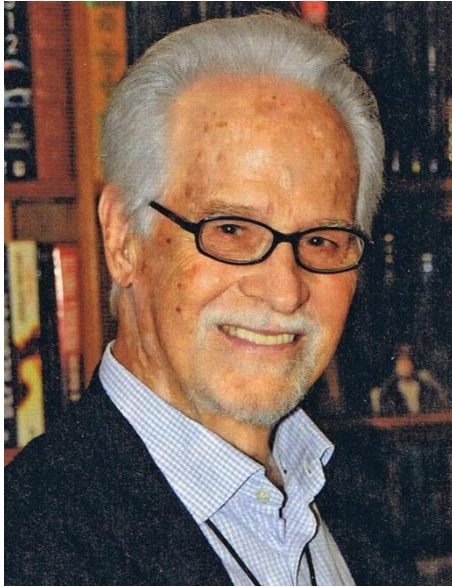


Figura 5.3: Eduard Admetlla ha estat un dels pioners del busseig dins cavitats. Va bussejar a la Falconera l'any 1953 amb A. Ballester.

5.2.1. HISTÒRIA DE LES EXPLORACIONS

A les darreries del segle XIX el Comte de Güell, industrial i empresari important i reconegut mecenes de la cultura catalana, va intentar aprofitar aquesta surgència submarina per proveir d'aigua a la ciutat de Barcelona, fent una sèrie de pous que arribessin al corrent i li permetessin bombejar-la. Va encarregar a l'enginyer de mines Silvino Thos i Codina una sèrie de treballs de prospecció, que duraren quatre anys, durant els quals es van obrir quatre pous i algunes galeries artificials. Un d'aquests pous és el de l'Eusebio, el qual hem comentat anteriorment; tanmateix, sembla ser que s'utilitzà els serveis d'un bus, que resultà una cosa molt nova, ja que llavors tan sols

s'utilitzaven en treballs i prospeccions marines.

No obstant això, la dura competència del projecte d'aportació d'aigua des del riu Ter (projecte que al final va resultar guanyador) i el fet que el cabal de la Falconera fos submarí, encarint l'extracció, van fer desestimar l'empresa fins a l'actualitat.

L'any 1.954 s'efectua la primera immersió subterrània per membres de l'ERE després d'avançar per la galeria principal, els bussejadors, A. Ballester i E. Admetlla, arriben al primer sifó, aconseguint assolir la profunditat de -20 metres (Figs. 5.2, 5.3).

En 1.960 prossegueixen les exploracions a la Falconera, s'organitza l'anomenada "Operació Tritó" a càrrec del GES del Club Muntanyès Barceloní, dirigida per J. Montoriol. S'amplia la xarxa de galeries conegudes.

Entre els anys 1.966 a 1.969 s'aconsegueix la profunditat de -30 metres.

L'any 1.970 es realitza la campanya "Garraf 70", en la qual per primera vegada es van a distribuir tancs de reserva en les galeries submergides. Són els bussejadors E. Petit i R. Recuero els que efectuïn l'exploració arribant a la profunditat de -40 metres, i recorren un total de 350 metres de galeries. D'aquesta manera, en aquelles dates, passa

a ser la Falconera la que ostenti el rècord de major profunditat i major desenvolupament horitzontal en una cavitat inundada. L'Operació Tritó va a suposar un nou pas en el mètode d'exploració subaquàtica. Va ser una campanya en la qual van col·laborar organismes públics com "El Servei d'Extinció d'Incendis i Salvaments", que estava en contacte amb els espeleòlegs mitjançant la ràdio, per si sorgia algun accident. Així mateix van prestar el seu suport l'Institut de Recerques Pesqueres de Barcelona, així com el Servei Geològic d'Obres Públiques. En resum, poques vegades s'havia vist un interès semblant cap al món subterrani per part de centres oficials.

L'any 1.988 el català Xavier Garsa (ECG), i el francès Jean Louis Camus (FFS), van continuar les immersions explorant 335 metres de galeries i arribant a la cota de -81 metres.

En 1972, l'alcalde franquista de la Ciutat Comtal, el polèmic Porcioles, no va tenir millor idea que apanyar un de les valls del massís del Garraf com a abocador d'escombraries de tot l'àrea metropolitana. L'oposició dels veïns i els grups ecologistes, malgrat la dictadura, va ser molt important tenint en compte que la ubicació de l'abocador hipotecava tota la hidrografia de la zona, en drenar tots els lixiviats i contaminar tots els aqüífers a causa de l'estructura càrstica de la serra. La resposta del règim va ser contundent, fins i tot amb visites intimidatòries de la policia a casa dels caps, construint-se el citat abocador a la pitjor zona possible malgrat l'oposició al projecte. Per desgràcia, tal com es va predir, va ocórrer per la falta d'impermeabilització de la zona d'abocament i el subsòl es va contaminar amb matèria orgànica i metalls pesats. El règim va atribuir el fet a una succió d'aigua de mar durant uns quants dies (veure ABC del 5/1/75), però en cap cas al fet evident de l'existència de l'abocador. El sistema hidràulic de la Falconera, des de llavors, va quedar inutilitzat tant per al consum com per al bany recreatiu i si ben els treballs posteriors d'impermeabilització de l'abocador empresos durant la democràcia, han permès controlar en bona part el vessament de lixiviats, el mal ja està fet i la recuperació serà molt lenta i treballosa. La cavitat actua com a sistema de drenatge de l'aigua contaminada i les tasques exploratòries es van aturar. Esperem que el tancament definitiu de l'abocador del Garraf li permeti tornar a recuperar el nom de "La Dolça". La Falconera continua, la galeria principal al final de l'exploració presentava importants dimensions que es podran reprendre en tornar a brollar netes les seves aigües.

5.3. La cova del Moraig (València)

La cova del Moraig o Riu Blanc, l'entrada de la qual es troba en la cala del mateix nom, es localitza a la comarca de la Marina Alta (província d'Alacant), en la costa de penya-segats del terme municipal de Benitatxell, entre les poblacions de Moraira i Xàbia. La cova té una longitud superior a 1300 m i una profunditat màxima, explorada fins al moment, de 62 m, que s'aconsegueix a una distància de 960 m de la boca de la cavitat. Per ella discorre el riu Blanc, la principal descàrrega de l'aquífer de Benissa cap al mar (Fig. 5.4).

5.3.1. HISTÒRIA DE LES EXPLORACIONS

Es coneix la seva existència des de 1.967, any en què el Grup Espeleològic d'Alacant topografia la seva entrada i s'adona de la seva important deu.

Entre els anys 1.974 i 1.978 va ser explorada per Eloy Parra, del Grup Espeleològic d'Alacant, arribant als 200 metres de recorregut i -14 m de profunditat.

Al juliol de 1.982, Juan José Palmero, del Centre Excursionista de València, i Vicente Alegre, del Espeleo-Club alpí de València, continuen la seva exploració. Penetren en el sífo uns 500 metres, emprenent el retorn en adonar-se que amb prou feines els queda aire. Només Juan José Palmero portava un manòmetre. Vicente mor a 470 metres de l'entrada. El seu company intenta tornar a tota velocitat, sofrint una aturada cardíaca a només 100 metres de l'entrada. Després d'aquest accident, el Grup

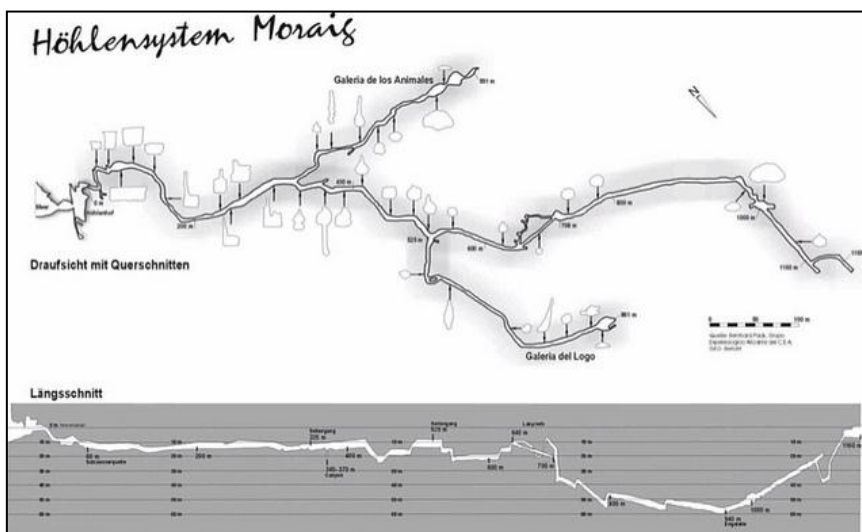


Figura 5.4: Cova del Moraig. Topografia de Bernhard Pack. Malgrat haver passat uns 40 anys des de la darrera topografia no s'ha publicat cap actualització de les novetats exploratòries.

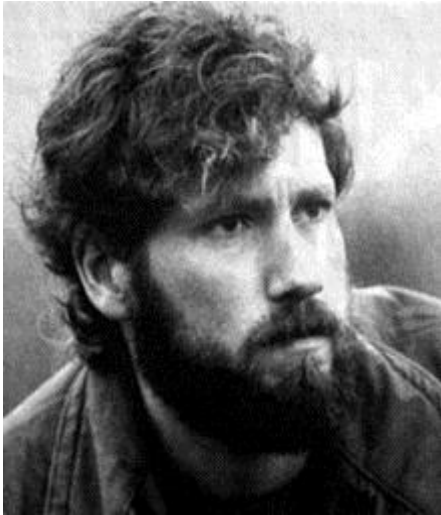


Figura 5.5: L'alemany Bernhard Pack, finat a la cova del Moraig, ha estat el gran descobridor i investigador de la cavitat.

STD de Madrid, que va col·laborar en el rescat dels cossos, continua els treballs a la cavitat i topografia fins als 550 metres. El desnivell aconseguit és de -20 metres.

El 1.987 el mateix grup intenta obtenir ajuda econòmica de diversos organismes públics, per prosseguir l'exploració, però ha de desistir al no aconseguir-la.

Al llarg dels anys 1.988 i 1.989, l'alemany Bernhard Pack, amb la col·laboració del GEA, i especialment José M^a Cortés, organitza la campanya Moraig-Projet, durant la qual realitza 45

immersions en solitari, aconseguint 1.100 metres de recorregut horitzontal i -62 metres de profunditat. Es va filmar la pel·lícula documental "Moraig: Expedición a lo desconocido" guardonada amb 17 premis internacionals. Bernhard Pack va morir el 21 de setembre de 1992, en una de les seves immersions en el Moraig, als 28 anys d'edat (Fig. 5.5).

2012-2015: Es crea una associació, el Grup d'Exploració Moraig (GEM), per continuar amb les recerques a la cavitat. El grup està format pels bussos Carles Ramoneda, Eliseo Belzunce, Joel Borrazás, Johnathan Alcántara i Gustavo Armisén Guaica, encara que compten amb el suport de companys locals. Als darrers anys s'han fet avanços considerables fent servir aparells de respiració

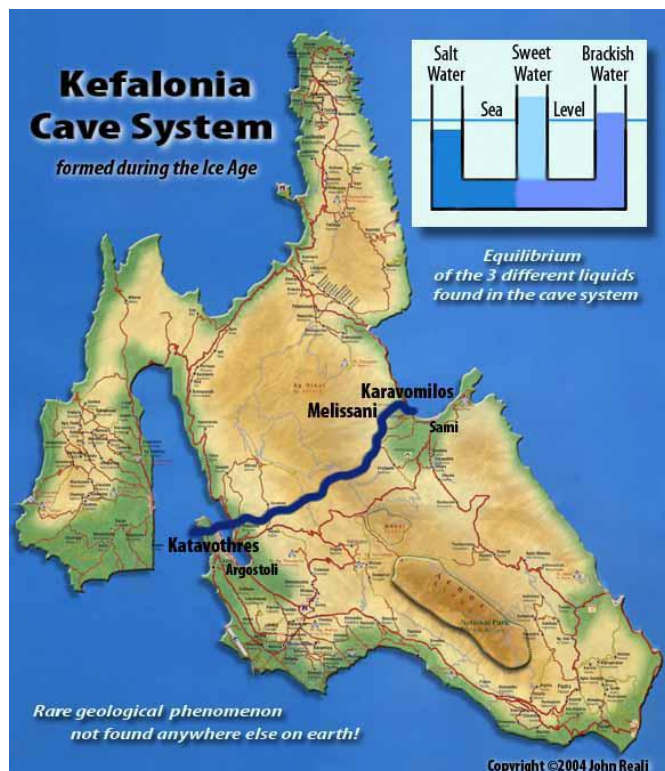


Figura 5.6: La relació de la cova del Moraig amb l'embornal del Toix és un fenomen similar als *Sea Katavothres* de la illa Kephallinia, però de major magnitud. Imatge John Reali.

tancats o recicladors. El projecte pretén aprofundir en l'exploració d'aquesta cova subaquàtica i completar el seu mapa geològic, estudiar el seu sistema hidrogeològic, molt complex i possiblement únic. Fins ara ja han ampliat les exploracions abans realitzades de la cova. Han aconseguit una distància lineal de l'entrada de 1.300 metres i a més a més han descobert bifurcacions i galeries no documentades. Especialment, destaquen la batejada com a «galeria de les Escopinyes», on han trobat nombrosos fòssils a 57 metres de profunditat.

5.3.2. ASPECTES ESPELEOGENÈTICS, MORFOLÒGICS I DESCRIPTIUS

La cavitat es desenvolupa en materials carbonatats de la serra de la Llorença, on destaca el Puig de la Llorença, el més elevat del terme municipal de Benitatxell amb 439 m. Les roques d'aquesta serra pertanyen a la zona externa de la serralada Bètica, en concret, al Prebètic. Aquestes roques sedimentàries es van dipositar en l'Oceà del Tethys, al sud d'Iberia, en una plataforma marina poc profunda durant el Cretàcic i el Paleogen. En l'actualitat, aquests materials estan plegats i fracturats a causa del moviment relatiu entre les plaques Euroasiàtica, Mesomediterrània i Africana (MARTÍN-ROJAS *et al.*, 2013). El complex de galeries presenten una direcció

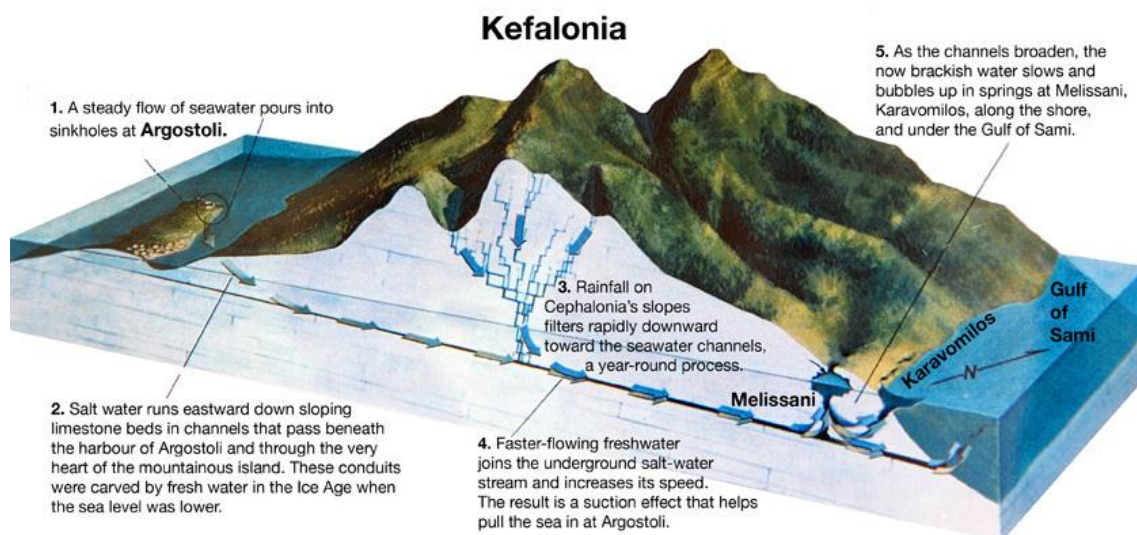


Figura 5.7: A la cova del Moraig de la mateixa manera que a Kefalonia, un flux continu d'aigua marina s'introdueix a l'interior de la terra per l'embornal del Toix, circulant de forma subterrània a través del sistema aquífer de la depressió de Benissa, ressorgint finalment a 20 km de distància a la surgència del Moraig. Imatge John Reali.

MES	Volumen salida (hm ³)	Volumen entrada (hm ³)
Agosto 1998	1.22	0.18
Septiembre 1998	1.37	0.17
Octubre 1998	1.97	0.22
Noviembre 1998	1.91	0.01
Diciembre 1998	2.82	0.04
Enero 1999	1.30	0.12
Febrero 1999	1.15	0.11
Marzo 1999	4.10	0.003
Abril 1999	2.44	0.01
Mayo 1999	1.59	0.50
Junio 1999	1.58	0.49
Julio 1999	1.91	0.23
Agosto 1999	1.58	0.66
Septiembre 1999	1.53	0.74
Octubre 1999	2.33	0.39
Noviembre 1999	5.96	0.06
Diciembre 1999	3.47	0.01
Enero 2000	3.75	0.15

Figura 5.8: Volums de sortida i d'entrada a la part superior i inferior de la columna d'aigua de la cova del Moraig. CORTES *et al.* (2003).

predominant SSE-NNO i es desenvolupen en roques carbonatades del Cretàcic. Té uns 7 m d'ample i 2 d'alt, aconseguint en alguns punts dimensions màximes de 10 m de diàmetre. El sostre és pla i el fons conté abundant sediment i blocs despresos. Té una longitud superior a 1.300 m i una profunditat màxima, explorada fins al moment, de 62 m, que s'aconsegueix a una distància de 960 m de la boca de la cavitat. L'any

1993 es van mesurar aportacions que superen els 1000 i 10.000 l/s. En períodes d'intenses precipitacions és possible reconèixer la descàrrega d'aquesta surgència activa des del mirador de la Falla del Moraig i també la ploma de sediment en el mar.

A la surgència del Moraig i en l'embornal del Toix, una cavitat relacionada hidrologicalment, es van instal·lar correntòmetres autònoms multiparamètrics. Aquests aparells han permès registrar sèries temporals de temperatura, conductivitat, pressió,

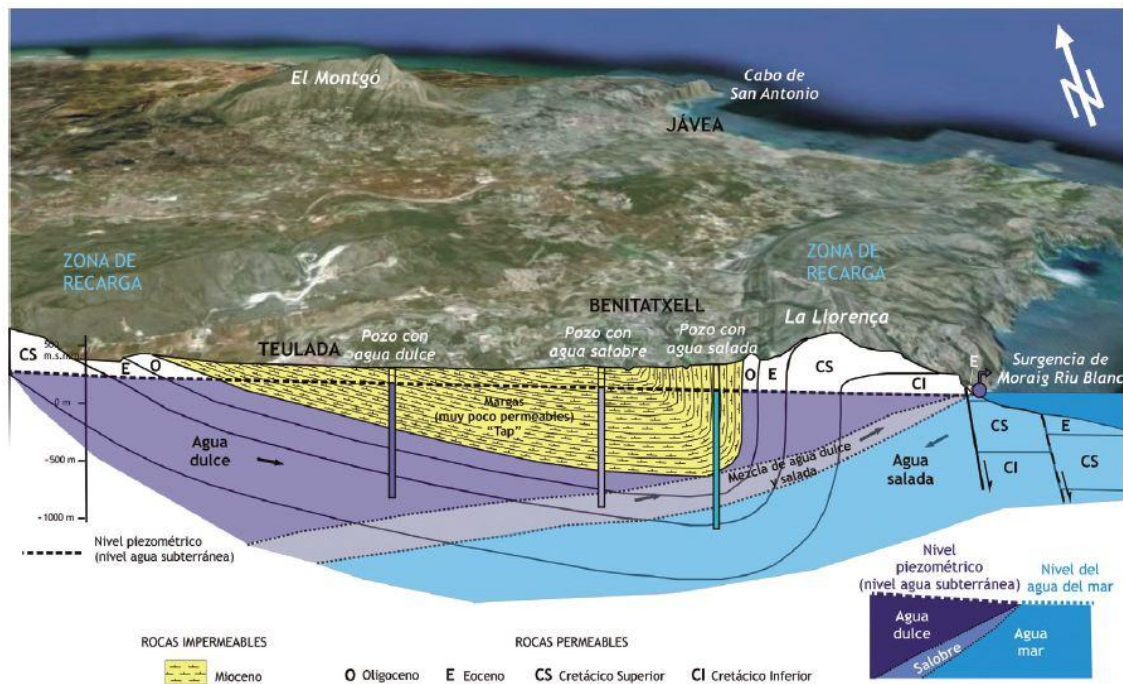


Figura 5.9: Perfil geològic de la zona. Extret de MARTÍN-ROJAS *et al.* (2013).

intensitat i direcció del corrent. Els resultats van mostrar tres capes d'aigua amb comportaments diferents. Una capa superior, caracteritzada per fluxos sortints d'aigües subterrànies, una capa intermèdia de transició, amb velocitats pràcticament nul·les (de vegades per sota del rang de mesurament del correntòmetre), i una capa inferior caracteritzada per fluxos entrants d'aigua molt influenciada per l'aigua marina. En la mesura en què aquestes diferències augmenten, indica un major grau de penetració. Ocasionalment, els valors dels tres aparells s'aproximen, indicant en aquesta situació l'existència d'un únic flux de descàrrega. La seva relació amb l'embornal del Toix és un fenomen similar als *Sea Katavothres* de la illa Kephallinia, però de major magnitud (Figs. 5.6, 5.7). En aquest cas, un flux continu d'aigua marina s'introdueix a l'interior de la terra per l'embornal del Toix, circulant de forma subterrània a través del sistema aquífer de la depressió de Benissa, ressorgint finalment a 20 km de distància a la surgència del Moraig (Figs. 5.8, 5.9).

5.4. Túnel de la Atlántida del tubo de lava la Corona (Lanzarote, Canàries)

Aquest tub volcànic va ser descrit per BRAVO (1964), MACAU (1965) i MONTORIOL-POUS i DE MIER (1969) i, més recentment, per CARRACEDO *et al.*



Figura 5.10: Tub de lava de La Corona. Posició del Túnel de la Atlántida sota la mar. Segons WILKENS *et al.* (2009).

(2003), té una longitud de 7.600 m (dels quals els últims 1.600 estan submergits) i un diàmetre de fins a 25 m (Fig. 5.10). El tub acaba en una àmplia cavitat de 10 x 10 m, a uns -60 m de profunditat sota la mar, que proba-

blement es va formar per la interacció de la lava i l'aigua de la mar en assolir el tub la costa i refredar-se de sobte. A la zona del tub es produeixen baixes taxes de precipitació, uns 100 l/m² i any. Els espeleotemes més comuns a les parets del tub de lava són els estafilits.

5.4.1. HISTÒRIA DE LES EXPLORACIONS

Les primeres exploracions en aquest túnel van tenir lloc l'any 1.972 quan els submarinistes germans Guerra van aconseguir arribar fins a uns 370 metres.

L'any 1.981 un grup de bussejadors italians, patrocinats per la revista *Mondo Sommerso*, aconseguix els 410 metres de penetració. Aquest mateix any, espeleobussejadors del *Grupo Espeleológico Standard*

(després STD), organitza una intensa campanya d'exploració i assoleix els 820 metres de longitud en el sífó.

Durant la mateixa, comproven que els forts corrents que es produeixen dins el sífó, són deguts a les mareas de l'Atlàntic.

En 1.983 té lloc una expedició científica (*Jameos del Agua International Expedition*), a càrrec conjuntament d'alemanys i nord-americans. Encara que el caràcter de l'expedició era fonamentalment científic, es van aconseguir els 1.387



Figura 5.11: Carmen Portilla i Luis Ortega l'any 1985 utilitzant propulsors per al seu desplaçament, aconseguixen arribar fins als 1.570 metres de longitud, i -60 metres de profunditat.



Figura 5.12: Imatge de l'expedició suïssa de l'any 1989 al Túnel de la Atlàntida en la qual va participar Olivier Isler.

metres de longitud. Així mateix es van capturar diversos exemplars de la interessant fauna d'aquesta cavitat, entre els quals es van descobrir diversos endemismes.

L'any 1.984, l'Associació Esportiu-Cultural STD organitza de nou una expedició al túnel, sota el patrocini del *Museo Nacional de Ciencias Naturales* del CSIC i de l'ICONA. El *Grup d'empresa de Standard Eléctrica, S.A.* i la *Federación Centro de Actividades Subacuáticas*, també col·laboren econòmicament en el projecte. Es va tractar d'una expedició eminentment científica, durant la qual es van recollir més d'un centenar d'espècies faunístiques. El més destacat va ser el descobriment d'una nova família de Crustacis, al que es va denominar *Morlockia ondinae*, en record d'aquells éssers subterranis, que descriu H.G. Wells a la seva novel·la *The Time Machine*.

A l'agost d'1.985 es continuen les exploracions a càrrec de l'anteriorment citat grup S.T.D. Aquesta vegada es pretenen aconseguir dos objectius principals: la filmació d'un documental per a la sèrie de Televisió Espanyola *Al filo de lo imposible*, i aconseguir avançar en la cavitat més enllà de la cota establerta per l'expedició germà-nord-americana. A causa dels llargs temps de descompressió que anaven a ser necessaris, es va construir una "bombolla" en forma d'estructura semiesfèrica de tub de ferro, l'interior del qual estava folrat de material plàstic. La "bombolla" es va instal·lar dins de la cavitat a una profunditat de 6 metres. El seu interior es va omplir d'aire a pressió. D'aquesta manera, els bussejadors van realitzar la descompressió en un lloc sec, respirant oxigen pur procedents de dues ampolles allà col·locades. El temps de descompressió es va reduir així a la meitat. El pes de l'esfera era aproximadament de 7.000 quilos, per la qual cosa el seu transport fins al lloc convenient, va comportar un gran esforç per part dels bussejadors. La parella que va realitzar l'exploració de punta, va ser triada mitjançant sorteig, recaient la sort en Carmen Portilla (Fig. 5.11) i Luis Ortega, experts bussejadors. Els dos, utilitzant torpedes propulsors per al seu desplaçament, van aconseguir arribar fins als 1.570 metres de longitud, i -60 metres de profunditat. Havien aconseguit sobrepassar en 183 metres a l'anterior cota de l'expedició germà-nord-americana.

L'any 1986, un grup suís, el GLPS, arribava als 1.600 metres. I el túnel no acabava (Fig. 5.12).

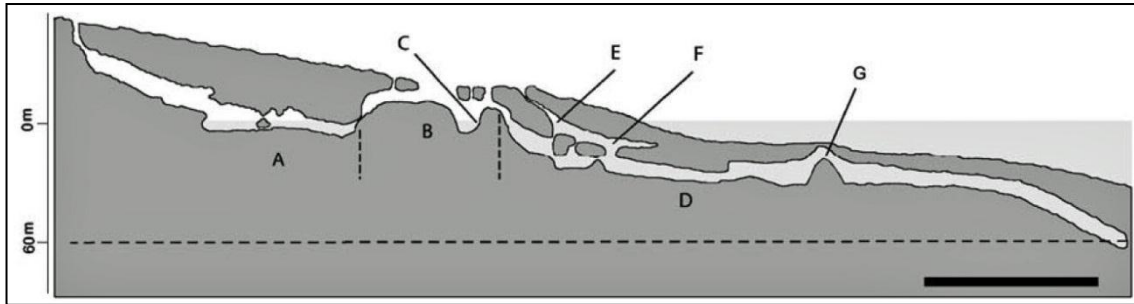


Figura 5.13: Secció esquemàtica de les parts anquihalines del tub de lava La Corona. A) Cueva de los Lagos. B) Llac de Jameos del Agua (les retxes discontinúes verticals representen aproximadament la zona ocupada pel complex turístic. C) Llac amb diatomees. D) Túnel de la Atlántida. E) Lago Escondido. F) Habitació Dome. G) Muntanya d'arena. Les retxes discontinúes horitzontals representen el nivell de la mar en el moment de la formació del tub de lava, al llarg de la darrera glaciació. Escala horitzontal 500 m; l'escala vertical ha estat exagerada. Segons WILKENS *et al.* (2009) i modificat de JANTSCHKE *et al.* (1994)

En 1.987 el STD torna a reprendre l'exploració, amb la finalitat d'aconseguir d'una vegada per sempre arribar al seu final. Set persones són les que es reuneixen un 24 de novembre a l'entrada dels *Jameos del Agua*. Els primers dies es dediquen als preparatius necessaris en una expedició d'aquesta envergadura. A la fi, el 2 de desembre es preparen els dos bussejadors que intentaran arribar al final del túnel: són Luis Lapido i Luis Ortega els que intentaran dur-ho a terme. L'avanç es realitza sense problemes, a pesar que el propulsor d'aquest últim sembla tenir les bateries amb algun problema, i per això la seva velocitat és menor que la del seu company. Arriben als 1.370 metres i instal·len la placa dels nord-americans que van recollir dos anys abans. Passen la punta que van fer en aquest any i comproven que el túnel comença a reduir les seves dimensions considerablement. Ràpidament es troben amb la tableta instal·lada pels suïssos, i uns metres més endavant, el *túnel de la Atlántida* acaba en la seva galeria principal, sense continuació possible, als 1.618 metres de longitud. La profunditat total aconseguida ha estat de -64 metres. Era el sífo més llarg explorat llavors a l'Estat Espanyol (Figs. 5.13, 5.14).

5.4.2. ASPECTES ESPELEOGENÈTICS, MORFOLÒGICS I DESCRIPTIUS

A l'illa de Lanzarote, les erupcions del volcà *La Corona*, va originar un llarg tub volcànic de més de 7 km de longitud, pel qual va seguir fluint la lava. A poc a poc l'activitat del volcà va anar disminuint, fins que va cessar per complet i el llarg tub va quedar buit. Les aigües del mar ho van inundar posteriorment, i alguns enfonsaments de



Figura 5.14: Túnel de la Atlántida (Foto de J. Heinerth).

les seves voltes van donar origen a entrades naturals conegudes amb el nom de Jameos (Fig. 5.10). Són famosos els *Jameos de los Lagos* i els de la *Cueva de los Verdes*. A la vora del mar, es troba el complex turístic Jameos del Agua, lloc d'on arrenca el Túnel de la Atlántida.

El recorregut del tub es troba interromput per diversos jameos, o col·lapses del sostre de la cavitat, que divideixen la cova en diverses seccions. Les tres darreres seccions, conegudes com a Cueva de los Lagos, Jameos del Agua i el Túnel de la Atlántida, s'estenen per sota del nivell del mar i alberguen un dels ecosistemes anquihalins més importants del món.

És el tub més llarg de lava al món en 6100 m (GULDEN, 2009), així com la cova submarina més llarga d'aquest tipus, que s'estén fins a 1618 m (ISLER, 1987). La primera referència científica de la cova es publica pel taxònom d'Àustria KOELBEL (1892) en la seva descripció del cranc galateid *Polymorpha munidopsis*, probablement l'espècie endèmica més coneguda del tub de lava.

Es van instal·lar sondes per estudiar les característiques de l'aigua a 300, 700 i 1000 m de distància de l'entrada del Túnel de la Atlántida. Tots aquests llocs es troben més enllà de la costa i situat per davall del nivell de la mar. La sonda era programada per prendre dades a intervals de 2 minuts i registrar dades de paràmetres físics i químics.

El tub de lava es va formar a partir de materials ejectats per una gola lateral del volcà Corona sota condicions subaèries. Aquesta fase volcànica es va determinar recentment per mètodes de datació directes i va haver ocorregut fa 21.000 ± 6.500 anys per datació absoluta $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$, corresponents amb l'últim màxim glacial, fa 21.000 a 18.000 anys (CARRACEDO *et al.*, 2003). El tram totalment submergit de la cavitat és el Túnel de la Atlántida. Aquesta fracció del tub de lava continua 1.618 m sota el mar, on finalitza a 64 m sota el nivell del mar, en un cul de sac sense sortida (ISLER, 1987). La longitud i la profunditat del tub submergit és coherent amb l'antiguitat d'aproximadament 21.000 anys, en moments en què el nivell del mar a causa de la darrera glaciació era almenys 100 m més baix que a l'actualitat. En aquest escenari, la cova se suposa que s'ha format en condicions subaèries, només per ser inundat durant el posterior post-glacial augment del nivell del mar (CARRACEDO *et al.*, 2003).

El diàmetre del tub de lava Corona arriba a superar els 30 m en algunes seccions del Túnel de la Atlántida, i supera els 20 m d'amplària al llarg de la major part de la seva longitud. La geomorfologia del tub es compon d'un sol conducte sense passatges laterals, però ocasionalment amb nivells superiors i inferiors separats per un envà horitzontal o fals sòl, entre ells. Més de 20 col·lapses formen entrades al llarg de la trajectòria aèria de la cova, mentre que només una única, i angosta obertura directa, es troba a la Montaña de Arena, present en el Túnel de la Atlántida. Estalactites de lava estan presents en tota la cova, així com crostes de guix. En la majoria de parts del sistema de coves seques i sota l'aigua, es troben col·lapses i el sòl està cobert de roques caigudes. No obstant això, en altres seccions, fluxos de lava solidificada cobreixen el sòl, la qual cosa indica que no s'ha produït el col·lapse des que es va formar la cova.

El Túnel de la Atlántida és el tram més llarg i complex de la cova inundada. Excepte en el llac d'entrada, en la part posterior dels Jameos del Agua, la resta del tub està completament submergit i s'allunya de la costa per sota del mar. La Muntanya de Sorra és un impressionant monticle cònic d'11 metres d'altura format per l'acumulació

de sorra calcària blanca, situada a 700 m a l'interior del túnel de lava. La sorra entra a través d'un petit forat en el sostre del fons del mar que ho cobreix.

5.4.3. FAUNA AQUÀTICA

A les tres zones anquihalines del tub de lava Corona, és a dir, Cueva de los Lagos, Jameos del Agua, i el Túnel de la Atlántida, igual que a la majoria de les coves anquihalines, el moment de les mareas dins de la cova es retarda en comparació de les mareas de l'oceà i l'amplitud es redueix. Només es coneix una petita obertura en el sostre de la cova directament sobre el cim de la Montaña de Arena, mostra clars signes de comunicació directa

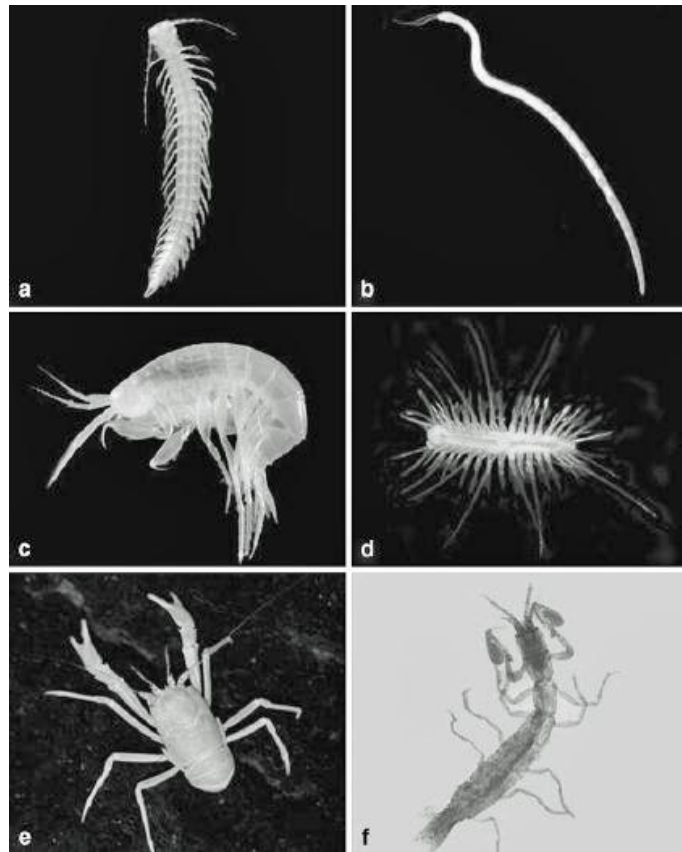


Figura 5.15: Fauna estigòbia de les aigües subterrànies que es troben a l'interior del tub de lava. a) *Speleonectes ondinae* (Remipedia). b) *Protodrilus* sp. (Polychaeta). c) *Spelaeonicippe buchi* (Amphipoda). d) *Gesiella jameensis* (Polychaeta). e) *Munidopsis polymorpha* (Galatheidae). f) *Curassanthura canariensis* (Isopoda). Fotos: U. Strecker.

amb el mar, com ho demostra la presència d'animals marins que s'alimenten per filtració com les esponges i corals solitaris en aquest lloc.

En contrast amb altres seccions del tub de lava, Jameos del Agua presenta una situació ecològica molt diferent perquè entra llum directa del sol i permet producció primària. No obstant això, la baixa intensitat de la llum només és suficient per al desenvolupament de diatomees, que són l'aliment d'abundants poblacions del cranc *Polymorpha munidopsis* i altres espècies de crustacis. Els canvis de salinitat estan directament relacionats amb les mareas; per exemple, es van observar salinitats més altes durant la marea alta i salinitats més baixes durant la marea baixa per a cadascuna de les tres estacions. Pel que fa a la distribució en el tub de lava, les espècies es poden dividir en almenys dos grups. El primer grup està format per espècies marines com

l'equiur *Bonellia viridis* i crustacis decàpodes com *Stenopus athanas* cf. *nitescens*, entre d'altres, en àrees on els recursos tròfics són abundants. El segon grup està format per espècies troglòbies. Moltes d'aquestes espècies, com són *Polymorpha munidopsis*, *Spelaeonicippe buchi*, *Heteromysoides cotti*, i *Danielopolina wilkensi*, també s'han localitzat a les aigües subterrànies anquihalines de les fissures de lava o altres llacs subterranis a (Fig. 5.15).

5.5. La cueva del Agua (Cartagena)

La cavitat es troba a la zona denominada La Mojonera, a la localitat de Isla Plana, que pertany al terme municipal de Cartagena, al costat de la carretera de la Azohía a Mazarrón (Fig. 5.16). Cueva del Agua és un laberint de galeries submergides on s'han explorat 2.400 m, presenta nombroses dificultats, destacant la seva xarxa de galeries i la rapidesa amb que s'enterboleixen les seves aigües, la temperatura de l'aigua és de 30° C a 6 metres de profunditat, amb una surgència d'aigua termals localitzada a 860 m de l'entrada.



Figura 5.16: Tasques dels equips de rescat a l'entrada de la cavitat.

5.5.1. HISTÒRIA DE LES EXPLORACIONS

Anys 70: A Principis dels anys 70 es realitzen unes exploracions superficials a l'entrada per part de l'equip Exploraciones Subterráneas de la Diputación Provincial de Murcia, posteriorment a mitjan anys 70 el Grupo de Espeleología del Centro Excursionista de Cartagena G.I.S., inicia l'exploració del sistema recurrent inicialment la primera sala submergida. En 1978, es descobreix prop de Cueva del Agua, la Sima Destapada de 230 m de desnivell i més de 3.000 m de recorregut (ROS *et al.*, 1988). Al llarg d'una dècada les exploracions del GIS es dediquen en aquest avenc a on es descobreix una zona inundada a 230 m de profunditat, realitzant-se dues incursions, per José L. Llamusí, Andrés Ros (Figs. 5.17,5.18) i posteriorment per Miquel Romans, on es pot apreciar que la cavitat

contínua sota l'aigua amb galeries àmplies, les dificultats de realitzar immersions en el fons de l'avenc i l'equipament desisteixen la idea de moment de continuar les exploracions.

Anys 80: D'ençà dels 80 amb la incorporació de nous equips i una millora en la tècnica de l'exploració en coves submergides, es continuen les exploracions en Cueva del Agua, pel Centro Excursionista de Cartagena. Andrés Ros i José Luís Llamusí, amb la col·laboració d'Ángel Ortego i Miquel Romans, avancen uns 100 metres de recorregut

lineal i uns 200 en total de galeries.



Figura 5.17: José L. Llamusí i Andrés Ros són dues figures claus a les importants exploracions i tasques efectuades a la Cueva del Agua d'ençà de la dècada dels 70 fins a l'actualitat.

1996: Dos especialistes de la Guardia Civil, el tinent Antonio Naranjo y el guardia Antonio Sánchez, pertanyents al Grupo Especial de Actividades Subacuáticas (GEAS), moren dins la cavitat. Les dues morts, se sumaven a la d'un submarinista francès que vint anys abans havia entrat a la cova. S'inicia una intensa i controvertida campanya de rescat amb bussejadors de l'Armada, GEAS, Bombers de la Generalitat i espeleobussejadors d'altres clubs. Amb les tasques de recerca dels cossos s'exploren uns 200 m lineals i prop de 800 metres de galeries en total.



Figura 5.18: Exploracions a la Cueva del Agua. S'aprecien importants morfologies de corrosió zenitals (Foto Grupo del Agua).

1998: L'equip del GIS del Centro Excursionista de

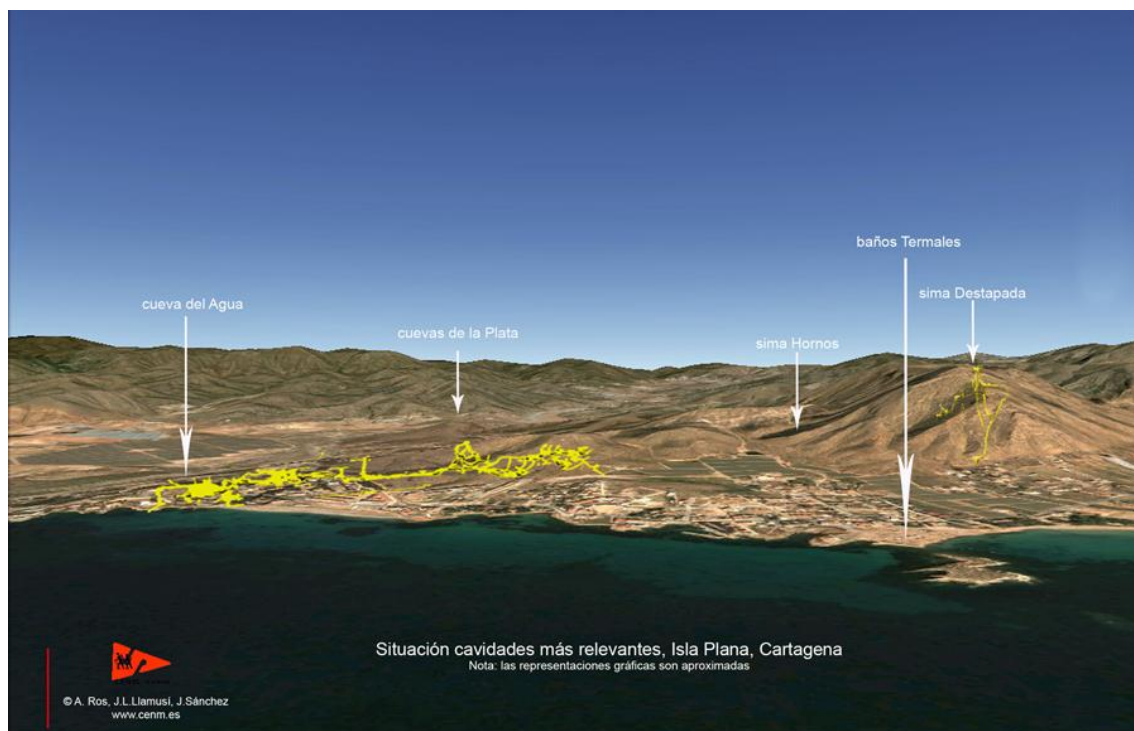


Figura 5.19: Localització de la Cueva del Agua, la Sima Destapada i altres cavitats properes, així com els banys termals. Imatge Grupo Cueva del Agua.

Cartagena, repren les exploracions. Ja s'intueix una important xarxa subterrània i s'organitza un ampli projecte de recerca i exploració a mitjà i llarg termini, on es fixen diversos objectius, coordinats per José L. Llamusi i Andrés Ros denominat “CUEVA DEL AGUA – PROYECTO 2000”. Entre els seus objectius està la realització d'un documental sobre la cova “ LA LUZ Y EL LABERINTO” realitzat en 1999, l'exploració de la cavitat i la realització de la cartografia. S'incorporen a aquest projecte, Vicente García (Vigarto), Alberto Achica, Ángel Ortego, Juan Sánchez, Carlos Bodas, Manuel de les Heras, Sergi Pérez, Daniel Marín, Salvador Inglés, Ángeles Rodríguez, els quals inicien un llarg període d'exploracions.

De 1998 al 2001: Es comença a revisar el recorregut i el croquis realitzat per l'equip de rescat de 1996, s'aprecien notables diferències amb el que realment és la cavitat. Les galeries són mesurades i altres noves explorades. Al juny del 2001 un equip format per Vicente García, José L. Llamusi i Alberto Achica, troben la continuïtat de la galeria principal a 200 m., de la sortida, darrere d'un gran bloc, la nova galeria és ampla i amb importants desprendiments de sediment del sostre. A la fi d'any l'equip

aconsegueix arribar fins a la cota 400 on una esfondrament fa detenir momentàniament les exploracions.

2002: Les exploracions continuen, es localitza un pas en la cota 440 que connecta amb la galeria principal, aquesta s'eixampla en grans proporcions i s'arriba fins a la cota 650 m.

2004: Troballa de la segona bombolla d'aire a 800 m de l'entrada i amb temperatura d'uns 30 graus. La concentració d'O₂ és de 15,7%. Es descobreix a 860 m de l'entrada una surgència d'aigua termal.

2010: Digitalització de la topografia. Exploració en punta i desobstrucció de la surgència termal. José Llamusí i Juan Sánchez recolzats per un nou equip de espeleobussejadors: Carlos Munuera, Andrés Marín, Juan Francisco Plazas, Alberto García i Antonio Latorre. També es produeix un accident mortal, Antonio Pedro

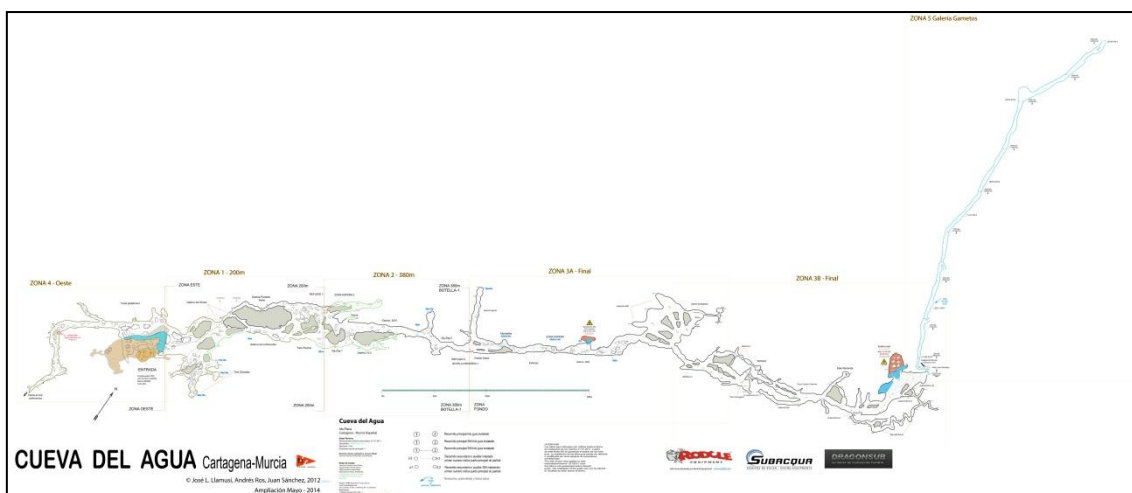


Figura 5.20: Topografia de la Cueva del Agua. El segment de l'escala és de 200 m. En Blau la darrera galeria descoberta el 2014, la Galería Gametos. Grupo Cueva del Agua.

Martínez Ardiz mor ofegat en desorientar-se i perdre el fil-guia, a una galeria a prop de l'entrada, en 2010.

2012: Descobriment de la possibilitat de forçar la surgència termal a l'extrem més distal de la cavitat.

2013: Treballs de desobstrucció del pas final “Juan Sánchez” per intentar forçar-ho per part de l'equip de bussejadors del C.E.N.M Naturaleza. Es transporta fins al final, a 860 m de distància i 17 m de profunditat, l'equip dissenyat expressament per a l'operació de desobstrucció. Consisteix en una xucladora d'efecte venturi (amb aire comprimit) alimentada per dos tancs de vint litres, un de cada bussejador i interconnectats amb un transvasador d'aire flexible, més un regulador amb manòmetre del que surt un tub de deu metres connectat amb la xucladora. Al llarg de diversos dies es va procedint a la retirada de fang del pas. S'aconsegueix obrir-ho prou per progressar per ell i descobrir uns 300 m de la Galería Gametos.

2014: Continua ampliant-se el recorregut de Cueva del Agua. Un equip d'espeleobussejadors format per Juan Sánchez i José Luis Llamusí en punta d'exploració i Carlos Munuera, Juan F. Plazas i Ángel Ortego de suport, aconsegueixen recórrer fins a 400 m de la “Galería Gametos”, més enllà del pas “Juan Sánchez”, ampliant el recorregut de Cueva del Agua a 2.560 m de desenvolupament total i 1.260 en recorregut lineal des de l'entrada. Malgrat el complicat pas "Juan Sánchez" la cova continua per una àmplia fractura.

5.5.2. ASPECTES ESPELEOGENÈTICS, MORFOLÒGICS I DESCRIPTIUS

La Cueva del Agua és una cavitat inundada excepte la sala d'accés i diverses bombolles d'aire a 500 m i 800 m de l'entrada (Fig 5.19, 5.20). S'ha de remarcar l'elevada concentració de CO₂ i baixa d'O₂ a la segona bombolla, amb només és de 15,7% d'O₂. L'aigua drena a la mar i es filtra a través de sediments al final d'una galeria molt propera. En direcció Nord-est s'interna en el massís calcari i és on s'ha localitzat la major part del recorregut amb presència d'aigües termals que eleven la temperatura des dels 18° en superfície fins als 30°. La



Figura 5.21: Agregats bacterians que pegen del sostre de la Cueva del Agua. Grupo Cueva del Agua.

profunditat màxima de la cavitat és de 26 m. A l'extrem del massís es troba el Cabezo de Forns on es localitza la Sima Destapada a uns dos quilòmetres de distància. En el fons del mateix a -230 m es troba el nivell freàtic amb les mateixes característiques que les aigües termals de Cueva del Agua, i que fan pensar que sigui tot un mateix sistema que s'ha denominat Sistema Cueva del Agua-Destapada, encara que no s'ha connectat (LLAMUSÍ & ROS, 2006).

Les galeries són irregulars amb nombroses arestes tallants i una intensa corrosió de l'aigua, a més a més de l'elevada temperatura, que provoquen la descomposició de la roca calcària triàsica en un fi sediment que al no existir corrents d'aigua fan que aquest es quedi en parets i sostre i el pas dels bussejadors trenqui l'equilibri del mateix i aquest es desplomi lentament i en ocasions produeixin esbaldregats fins i tot de roques, creant una terbolesa completa. El sediment es pot torbar diversos dies a decantar-se de nou en el sòl i el gruix de sediment en alguns indrets supera els 2 m. La temperatura a la galeria més interior, Galeria de los Gametos, assoleix els 31°C.

Capítol 6. PRINCIPALS ÀREES GEOGRÀFIQUES DE CARST EOGENÈTIC LITORAL AL MÓN

6.1. Introducció

La pretensió d'aquest capítol és mostrar i comentar altres llocs del món a on es troben cavitats subaquàtiques litorals desenvolupades dins un carst eogenètic. D'aquesta manera tindrem una visió més holística de les cavitats litoral que es formen en condicions similars a les del Migjorn i Llevant de Mallorca. No donarem una informació exhaustiva, ja que no és aquesta la intenció, ni és fàcil trobar bibliografia d'algunes de les zones geogràfiques a on es troben aquest tipus de cavitats. Les publicacions de fauna anquihalina, és possiblement el camp a on s'ha fet més feina i és més fàcil trobar bibliografia especialitzada. Trobam a faltar articles que arrepleguin les topografies de les cavitats litorals. Els estudis a nivell geomorfològic, descrivint i interpretant les formacions primàries que apareixen a l'interior de les coves és una altre camp a on fan falta investigacions.

La proliferació del turisme de busseig de coves, a nivell de visites turístiques guiades i de cursos d'espeleobusseig de tots els nivells, és una constant per tot el món. Paradoxalment, aquest fet suposa que aquestes formacions endocàrstiques es coneguin per part de molts de practicants i fins i tot perilla la seva conservació per la massificació i per accedir per part de bussejadors d'aigües obertes sense control de la flotabilitat i que causen involuntàriament trencament d'espeleotemes. Tanmateix més greus són les agressions que pateixen a causa de les aigües residuals o la destrucció física directa pels processos urbanitzadors, tan freqüents a les zones litorals. És del tot necessari crear figures de protecció i conservació que permetin una gestió adequada i compatible amb l'estudi i visites controlades d'aquesta immensa riquesa patrimonial. Algunes fundacions i associacions s'han creat a diferents parts del món amb la principal funció de servir de plataforma de protecció de les cavitats litorals.

Totes les regions que posseeixen similars cavitats litorals presenten paral·lelismes en les seves estratigrafia, litologia, paleogeografia i espeleogènesi. N'hi ha moltes altres cavitats litorals per tot el món que es troben dins carst telogenètics, però es diferencien bastant morfològicament amb les que es desenvolupen als carst eogenètics.



Figura 6.1: Geologia de la península del Yucatán. El color taronja és Miocè/Pliocè, envoltat a la costa per Quaternari (color gris clar).

6.2. Península del Yucatán (Mèxic i Belize)

CARACTERÍSTIQUES GEOGRÀFIQUES I GEOLÒGIQUES

La península de Yucatán correspon a la part que emergeix de la plataforma continental de Yucatán, que abasta una extensió de 300.000 km² i que separa el Mar Carib del Golf de Mèxic. En la península, els trets orogràfics estan pràcticament absents, la qual cosa és singular en el context nacional; 90% de la seva superfície està a menys de 200 m snm i la Sierrita de Ticul és l'única elevació prominent. Cal esmentar que de nord a sud l'elevació augmenta

lleugerament. Aquesta zona abasta, com a unitat fisiogràfica/geològica, tant el territori mexicà, el Petén guatemalenc i el nord de Belize. La península manca de drenatge superficial a causa de la litologia, i el riu Hondo a la frontera amb Belize és l'únic sistema fluvial de la península (BEDDOWS *et al*, 2007).

El clima de la península de Yucatán és tropical humit amb pluges a l'estiu, no obstant això, presenta un gradient de precipitació que augmenta de nord-oest a sud-est, la qual cosa es reflecteix en la vegetació, des de zones àrides en el nord-oest, passant per selves baixes i mitjanes caducifòlies, fins a selves altes en el sud, prop de Chiapas. A l'estiu es presenten huracans i a l'hivern, "nortes". La pluviositat al litoral es troba als voltants dels 1.200 mm, dels quals el 90% precipita entre els mesos de maig i octubre, amb una temperatura mitjana anual de 25°C, que coincideix amb la de les aigües subterrànies. Degut a la sequera superficial, els cenotes van ser decisius pels maies com a principal font d'aprovisionament d'aigua potable, de la mateixa manera els pobles i ciutats s'han establert al llarg dels segles vora de rius, tots els assentaments dels maies han nascut i han viscut, desaparegut o prosperat, al voltant d'un o més cenotes (LLORET & UBACH, 1993).



Figura 6.2: Cenote Zapote (Tulum), d'uns 36 m de diàmetre. Foto M. A. Perelló.

El Bloc del Yucatán és un bloc tectònic únic del Paleozoic, Juràssic i Cretàcic sense plegaments. La separació entre el Cretàcic i el Terciari presenta l'estructura de l'impacte Chicxulub. El terç nord i la meitat oriental de la península estan formades per roques calcàries en disposició tabular amb poca elevació respecte al nivell de la mar, compostes per seqüències de capes horitzontals de calcàries i dolomites del Miocè i Pliocè, corresponents a sedimentació en aigües somes de plataformes continentals. Posseeixen un espessor d'entre 163 i 240 m, limitada pels dipòsits perifèrics del Quaternari, també de roques calcàries (Fig. 6.1).

Els cenotes se concentren en la part nord, al llarg d'una línia imaginària situada entre Tulum, Quintana Roo i Campeche, i disminueixen cap al sud de la península. La roca càrstica es caracteritza per la seva alta permeabilitat i un gradient hidràulic gairebé nul; l'aigua d'origen meteòric s'infiltra i acumula en el subsòl, formant una lent d'aigua dolça prima que sura sobre una massa d'aigua salada, més densa, l'origen de la qual és la intrusió marina natural. El contacte entre ambdues masses d'aigua, dolça i marina, forma una zona de barreja o haloclina que en conjunt conformen un component geològic important de l'aqüífer. S'han documentat haloclines a una profunditat de 12 m en els cenotes Chac Mool, Dos Ojos, Tajma-Hal, de 6 m en Manatí dependent de la marea. La

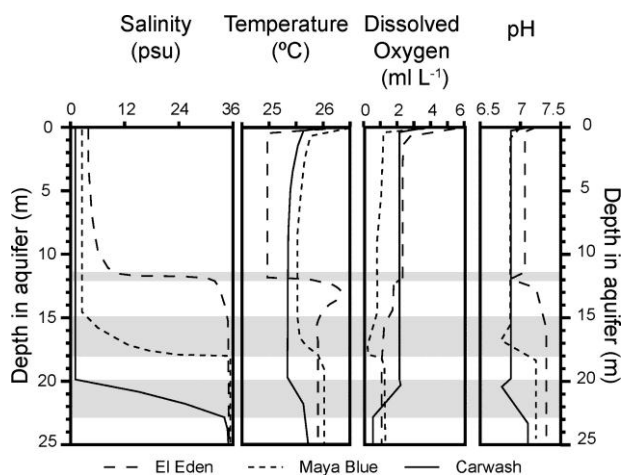


Figura 6.3: Paràmetres de les aigües de tres cenotes. S'observa la presència d'haloclines a diferents fondàries, segons la distància a la mar. També destaca la presència d'un pH lleugerament àcid a les zones d'haloclines.

existeix un contracorrent d'aigua salada que entra cap a l'interior de la Península (observacions realitzades en el sistema de caveres Ox Bel-Ha, al sud de Tulum). A la regió de Carwash i Mayan Blue (SÁNCHEZ *et al.*, 2002) s'ha determinat una velocitat de flux és d'1-3 cm/s, que concorda amb el baix gradient observat a la zona (ORDÓÑEZ & GARCÍA, 2010).

BREU HISTÒRIA DE LES EXPLORACIONS I CARACTERÍSTIQUES DE LES CAVITATS



Figura 6.4: Cenote Caterpillar (Quintana Roo). Es va trobar en fer unes obres per una pedrera, amb maquinària pesant. Actualment és un sistema que uneix 6 cenotes, 13,5 km de longitud i 27 m de fondària màxima. Foto M. A. Perelló.

massa d'aigua marina penetra per la costa a la península i arriba fins als 110 km terra endins a l'estat de Yucatán.

Als voltants a la costa, el flux subterrani costaner és molt complex, fins i tot amb entrada i sortida d'aigua dolça i salada simultàniament, que mantenen corrents de diferent adreça i intensitat (BEDDOWS, 2007): mentre que les aigües dolça i salina succinta flueixen cap a la costa,

El terme cenote, *ts'ono'ot* o d'zonot en llengua maia, denota qualsevol espai subterrani amb aigua, amb l'única condició que estigui obert a l'exterior en algun grau. És a dir, inclou tota manifestació càrstica que aconsegueixi el nivell freàtic. El nombre aproximat de cenotes, només a l'estat de Yucatán va dels 7000 als 8000; la cobertura de

bosc ha fet més difícil el càlcul per als estats de Campeche i Quintana Roo. Entenent els mecanismes i processos del carst tropical de la península podem dir que la formació de cenotes es genera a través d'una seqüència d'esdeveniments. Partint d'un sistema



Figura 6.5: Galeria freàtica de control estructural estratigràfic del sistema Caterpillar. Foto M. A. Perelló.

de circulació horitzontal (cova inundada) es pot formar una gruta o bé un cenote tipus càntrir per esfondrament parcial del sostre. El procés avança des de dalt, per infiltració pluvial, i des de baix per circulació subterrània. Posteriorment, la totalitat del sostre s'esfondra donant lloc a un cenote cilíndric; del cenote cilíndric es pot generar un cenote tipus aguada per rebliment per sediments i per enfonsament lent de la zona adjacent. La major dissolució ocorre a la zona de contacte entre l'aigua dolça i salada o haloclina, la qual puja o baixa depenent del nivell del mar. Al llarg de la costa del sector nord del Carib els exploradors mexicans i estrangers han cartografiat més de 600 km de galeries i túnels inundats, usant tècniques d'espeleobusseig i reconeixent diferents nivells i passatges verticals, que inclouen les cinc coves submergides més grans del món, resultat de la dissolució de volums grans de roca dissolta per la zona de mescla. Aquesta dissolució s'associa a les variacions del nivell del mar al



Figura 6.6: Galeria freàtica de control estructural tectònic del sistema Abejas, que actualment pertany al sistema Sac Actun. Foto Steve Gerrard (GERRARD, 2000).

llarg de milers d'anys. Els conductes subterranis de grans dimensions drenen la pluja que cau a l'interior de la península i la dirigeixen a la costa a través de caletas com Xel Ha i Xcaret i deus submarines (consultar capítol 17).

En contrast, la zona de Mèrida i la costa nord no presenten un xarxa subterrània tan extensa, encara que el nombre de cenotes és major, el que s'ha denominat l'anell de cenotes, el qual coincideix amb el diàmetre extern del cràter Chicxulub. Els descensos en el nivell del mar durant l'Holocè van obligar tant a humans com a la fauna a ingressar a les coves per accedir a l'aquífer, la qual cosa explica els registres paleontològics i antropològics que avui es troben en el subsòl de la península.

Per la seva morfologia, els cenotes es classifiquen d'acord amb l'etapa del procés d'obertura que comunica l'aquífer subterrani amb la selva i la llum solar en superfície com es va descriure en el procés de formació. Per les seves característiques hidrobiogeoquímiques, els cenotes es classifiquen com a joves i vells. Els joves o lòtics –del grec lotus, “ràpid, veloç”– es connecten lliurement amb l'aquífer a través dels túnels de les coves. El flux de l'aigua és horitzontal i el temps de residència de l'aigua és curt. Els cenotes més vells o lèntics presenten un bloqueig de la connexió principal amb l'aquífer, a causa del col·lapse del sostre o les parets i la sedimentació, amb la qual cosa l'intercanvi amb l'aigua subterrània és restringit i el recanvi de l'aigua és més lent. En aquests l'aigua acumula detritus orgànics i organismes vivents. La matèria orgànica modifica les característiques fisicoquímiques de l'aigua, el contingut d'oxigen dissolt i incideix en la generació de gradients químics verticals marcats, per la qual cosa es presenten aigües anòxiques i àcides en el fons. La grandària de l'obertura del cenote determina, fins a cert grau, quanta matèria orgànica pot introduir-se des dels terrenys adjacents del sòl de la selva en èpoques de pluja (Figs. 6.2, 6.4, 6.10). En planta els cenotes són extremadament complexos amb passatges interconnectats anastomòtics. Tanmateix, la classificació que es fa dels cenotes fa referència únicament a les característiques físiques i topogràfiques dels esfondraments que connecten amb l'exterior, però té poc a veure amb la xarxa subaquàtica de galeries a la qual pertanyen. Així que aquestes classificacions no tenen massa importància a nivell de megaescala.

La retirada del nivell del mar durant el màxim glacial va produir el descens del nivell freàtic, facilitant la formació de conductes càrstics amb un sentit de drenatge preferencial cap al mar, i l'aparició d'espeleotemes allà on l'aigua d'infiltració arribava a una cavitat airejada que ara quedava situada per sobre del nivell freàtic. Fa uns 18.000 anys el nivell de l'aigua del mar es localitzava uns 120 m per sota del nivell actual

(WARD & WEIDIE, 1978; COKE & PERRY, 1991) profunditat que coincideix en rang amb les profunditats màximes descrites en algunes coves. Les coves subaquàtiques bellament decorades, però relativament poc profundes de la península de Yucatán s'han establert fermament com les més llargues del món (THOMAS, 2005).

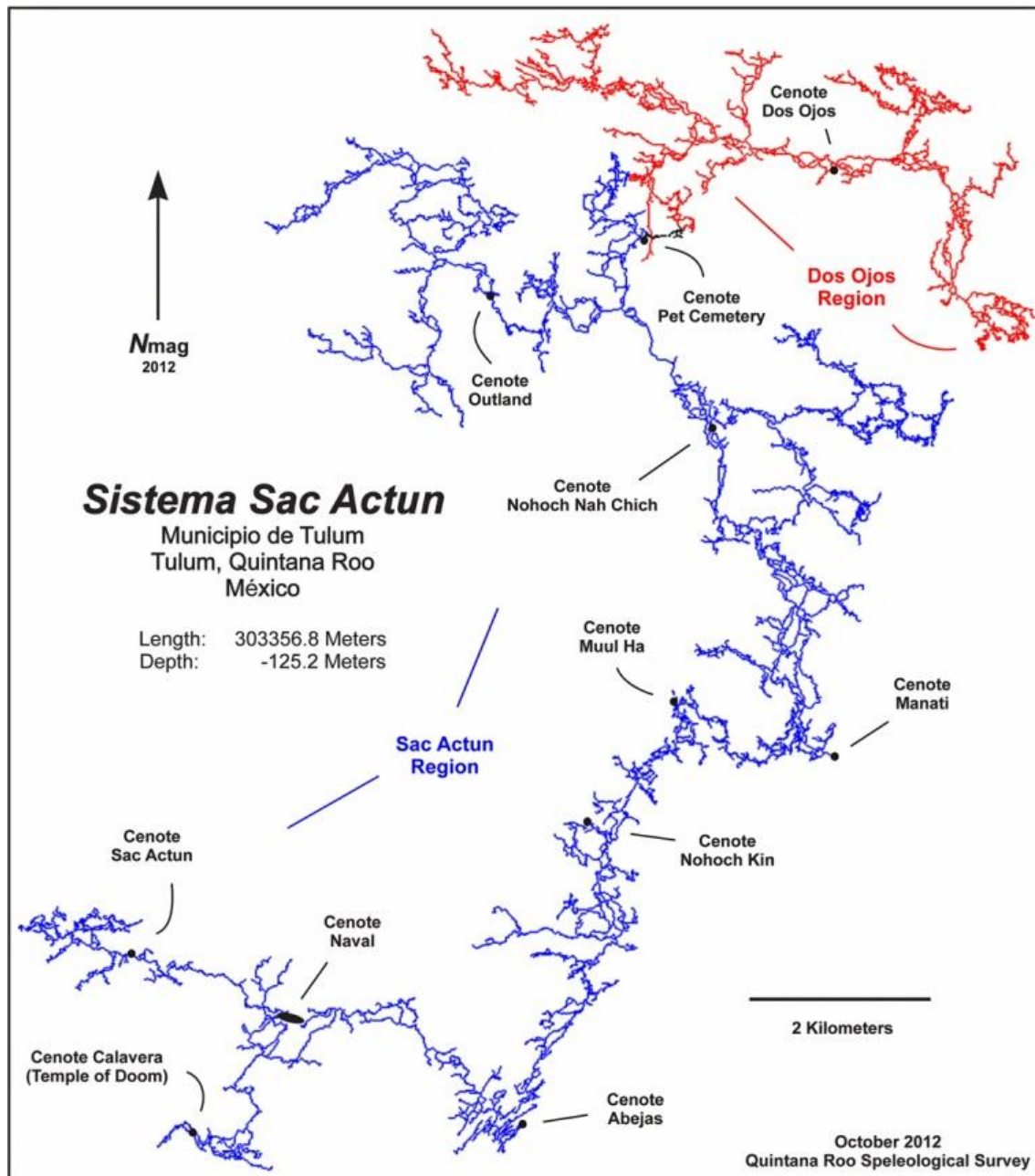


Figura 6.7: Topografia del sistema Sac Actun i indicació d'alguns dels cenotes més importants. Es va aconseguir el 2012 connectar per un tram aeri amb el sistema Dos Ojos, encara que pel fet de no estar connectat per davall l'aigua apareix als llistats de màxims recorreguts subaquàtics del món com a sistema separat. Com és lògic, des del punt de vista càrstic és la mateixa cova. El recorregut total actual és de 332.994 m, amb una fondària màxima de 119 m i agrupa 214 cenotes. Font: Quintana Roo Speleological Survey.

Sistema Sac Actun

Les exploracions en el sistema de Nohoch Nah Chich a l'estat de Quintana Roo, l'any 1966 Chuck Stevens i Eric Noftall aconseguen connectar la cova amb el mar a través del Cenote del Manatee (FARR, 2000).

El començament de la dècada de 1980 va portar als primers bussos dels EE.UU a la Península de Yucatán, Quintana Roo per explorar cenotes com Carwash, Naharon i Maya Azúl, sinó també per al centre de Mèxic, amb exploracions al Río Mante i Zacatón. Sheck Exley va fer immersions pioneres a Xcaret (EXLEY, 1994). L'entrada a Sac Actun va ser descoberta originalment per Jim Coke i Steve DeCarlo durant un reconeixement aeri en 1987, a on es cercaven cenotes. Es trobava en un àrea remota a 6 quilòmetres de la costa, a l'àrea general de la carretera que condueix cap a l'interior. Es van descobrir els sistemes de coves Dos Ojos i Nohoch Nah Chich que van conduir a una competició entre equips d'espeleobussejadors. El similar recorregut explorat de tots dos sistemes va potenciar la competència per quedar-se amb el títol de la cova inundada de major recorregut del món en aquesta dècada.

Descobert en 1987 el sistema Dos Ojos presenta una disposició paral·lela al sistema de coves de Sac Actun, amb una longitud de 81,5 km de llarg. La seva extensió per sota de la superfície de la terra té fins a 28 connexions o cenotes. Al principi únicament es coneixien dues entrades d'aquí el seu nom, Dos Ojos. Nohoch Nah Chich l'any 1989 posseïa 10 km de recorregut.

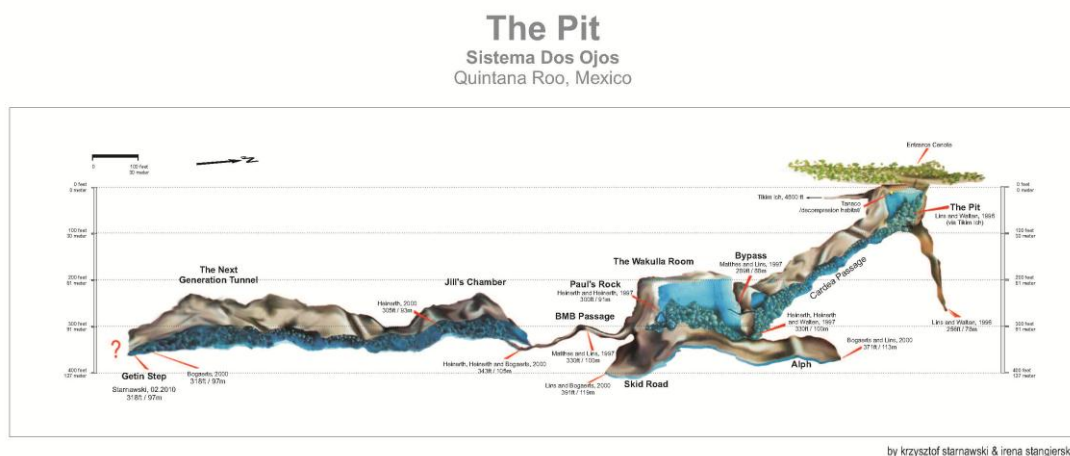


Figura 6.8: The Pit és la màxima fondària que es troba al sistema Dos Ojos, que forma part del sistema Sac Actun. Assoleix els 119 m de fondària. Segons K. Starnawski i I. Stangierska.

A la dècada dels 90 es troba el cenote Aereolito a l'illa de Cozumel. A mitjan dècada de 1990 una embranzida al centre de la Península de Yucatán pels exploradors de coves profundes va descobrir un gran nombre de cenotes que actuen com a engolidors, com són Sabak Ha, Utzil i coves profundes com Chacdzinikche, Dzibilchaltún i Kankirixche. Aquestes profundes cavernes de la zona central de Yucatán requereix tècniques de busseig tècnic amb l'ús de recicladors. L'any 1990 Sac Actun presentava 4,5 kilòmetres de longitud. Exploracions en direcció a la mar van aconseguir connectar-lo al Cenote Naval el 1999.



Figura 6.9: Morfologies espongiformes al sistema Taj Mahal. El recorregut actual és d'uns 1,5 km, la fondària màxima de 24 m i aplega 8 cenotes. Font QRSS.

Mike Madden va ésser un gran explorador de Nohoch Nah Chich que va

permetre, juntament amb molts altres espeleòlegs, passar al sistema a 40 km l'any 1995. Steve Gerrard, Donen Lins, Gary Walten, Kay Walten i dotzenes d'altres bussejadors van ajudar a agregar diversos cenotes en el sistema, Un gran avanç geogràfic va ésser la connexió de Nohoch Nah Chich amb el sistema de coves proper de Dos Ojos, després

d'anys d'exploracions. L'any 1999 la separació en el punt més proper entre ambdós sistemes era amb prou feines de seixanta metres, mentre que els recorreguts totals dels dos sistemes eren de seixanta-un i cinquanta-cinc quilòmetres respectivament. L'any 1996, es descobreix The Pit en el sistema



Figura 6.10: Pozo Chan Chen en Tulum. Foto M. A. Perelló.

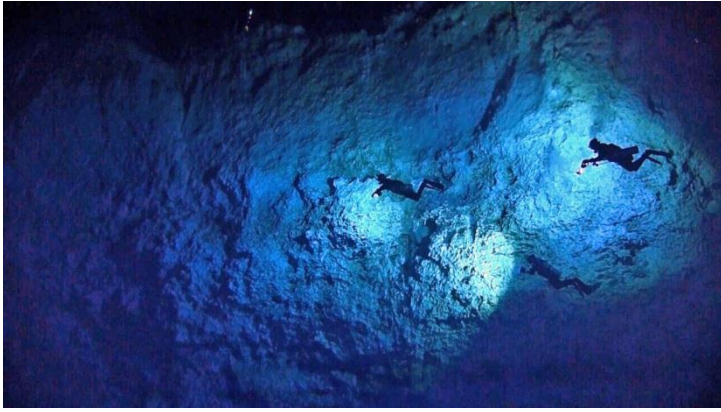


Figura 6.11: Immersió a The Pit (sistema Dos Ojos unit al sistema Sac Actun). Es poden intuir les grans dimensions que posseeix. Foto M. A. Perelló.

de coves Dos Ojos, a 5,8 km de la costa del Carib, i l'any 2008 assolia els 119 m de profunditat (Fig. 6.8, 6.11).

L'any 2002 Nohoch Nah Chich assoleix els 61 km. Sac Actun es va connectar amb el sistema Abejas el 2004. A partir de 2006 una sèrie de grans sistemes de coves prèviament

explorats i assignats s'han connectat utilitzant tècniques de busseig de coves en *sidemount* (busseig amb els tancs col·locats lateralment dissenyat pels britànics) amb la finalitat de passar a través de restriccions. Així s'ha aconseguit el sistema de coves sota l'aigua més gran connectat del planeta, Sac Actun, que és de 220 km de longitud (consultar QRSS per a tenir estadístiques actualitzades) (Fig. 6.7).

Els espeleòlegs Steve Boggarts (britànic) i Robbie Schmittner (alemany) el 12 de gener de 2007 després d'anys d'exploracions, localitzen els conductes que connecten els dos sistemes de coves ja conegudes: Sac Actun i Nohoch Nah Chich. També se connecta amb la mar a Casa Cenote. Només Sac Actun posseïa 111 cenotes. En total, sistema de 153 km de llarg i supera al sistema Ox Bel Ha per convertir-se en la cova subaquàtica més llarga del món. El nom de Sac Actun tenia prioritat, ja que el recorregut de la cavitat era més important que el de Nohoch Nah Chich en el moment de la connexió. Per a l'any 2010, l'exploració en múltiples àrees en Dos Ojos va augmentar la longitud a 64 km i pocs anys després a 84.472 m de llarg. Mentrestant el sistema Sac Actun, era de 215.426 m subaquàtics, per a una longitud total de la cova de 218.885 m.

L'any 2012, a partir de la revisió de sales aèries d'esfondrament de cenotes intermedis es va poder verificar la unió dels dos sistemes de coves. Els esforços reiterats i constants de bussejadors i el treball en enfonsaments aeris van donar el seu fruit en el 2012, en trobar el fil-guia que sortia fora de l'aigua provinent del sistema oposat. El recorregut total actual el 2015 és de 332.994 m i una fondària màxima de -119 m. La connexió entre ambdós sistemes fa que es tracti de la segona cavitat de més recorregut del món, després de *Mammoth cave*, cavitat aèria que es troba a EEUU de 643.738 m. El nombre aproximat de cenotes connectats és de 214 (Fig. 6.7).



Figura 6.13: Galeria freàtica de secció circular del sistema Tortuga, d'uns 5 km de recorregut. Foto S. Gerrard.

QRSS per a les estadístiques actuals), amb -34,7 m de fondària màxima i 140 cenotes connectats (Fig. 6.12).

Les exploracions continuen en el nou mil·lenni. La majoria d'exploracions es realitzen ara sobre la base de "miniprojectes" que duren entre 1 i 7 dies, i que es repeteixen moltes vegades a l'any, i aquests inclouen viatges diaris des de campaments en la selva situats a 1 hora d'accés per carretera. El potencial que presenta el carst de la península del Yucatán és molt gran, ja que hi ha multitud de cenotes no explorats per tot arreu, que seguiran proporcionant novetats importants i noves connexions.

Great Blue Hole

El gran forat blau es troba a la costa de Belize, a prop del centre de l'escull Lighthouse, un petit atol situat a 100 quilòmetres de la costa continental. El forat és de



Figura 6.14: Blue Hole, situat a la costa de Belize. Aquests tipus de cavitats són cavitats d'esfondrament, però situats sota la mar.

forma circular, i fa més de 300 m d'amplària i 125 de profunditat. Es va formar com un sistema de coves del qual el sostre es va esfondrar. Va ésser conegut gràcies a Jackes-Yves Cousteau, que va declarar aquest lloc com un dels deu millors llocs de busseig del món (Fig. 6.14).

6.3. República Dominicana (La Hispaniola)

CARACTERÍSTIQUES GEOGRÀFIQUES I GEOLÒGIQUES

La Española o Isla de Santo Domingo és la segona illa més gran de l'arxipèlag de les Antilles Majors, després de Cuba, amb una superfície de 76.480 km². Haití té 27.500 km², la República Dominicana 48.440 km². L'illa està dividida entre dos estats sobirans, la República Dominicana i Haití. Geològicament, la Hispaniola, com les altres Grans Antilles i a diferència de les Petites Antilles, forma part de la massa continental. Constitueix el nus orogràfic del mar Carib. El relleu està marcat per un conjunt complicat de plegaments muntanyosos, constituïts principalment per la Cordillera Central, la Cordillera Meridional i la Cordillera Septentrional.

La presència de calcàries, principalment esculloses, a la major part de la geologia de l'Illa Hispaniola, ha permès la formació de coves i cavernes de variades dimensions, però també la formació de sistemes de coves que caracteritzen algunes de les àrees naturals més importants de la illa. En el Pliocè, La Hispaniola ja estava formada, amb algunes de les cavitats. Al voltant de l'illa, especialment a la zona de l'est, es troba la Llanura Costera, amb una litologia especialment Plio-Quaternària.

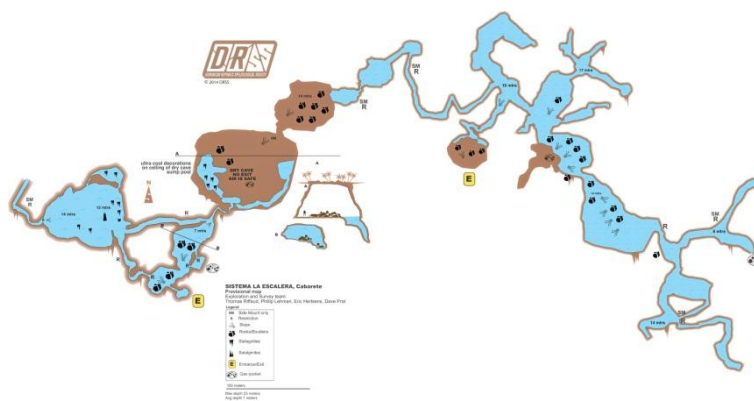


Figura 6.15: Topografia de La Escalera, una de les més importants de la Hispaniola. Es veu clarament que es tracta d'un sistema ramiforme, amb galeries freàtiques que connecten grans sales d'esfondrament. Topografia DRSS.

PRINCIPALS CAVITATS

El registre més complet de cavitats inundades va ser realitzat per la Fundació de Espeleobuceo Hispaniola entre els anys 1999 i 2003. En aquell moment s'explorava el Pozo la Piscina, Pozo la Hicotea, Palo de Luz, així com el major sistema de l'illa anomenat El Asfalto. En 2000, juntament amb el bus nord-americà Lamar es va

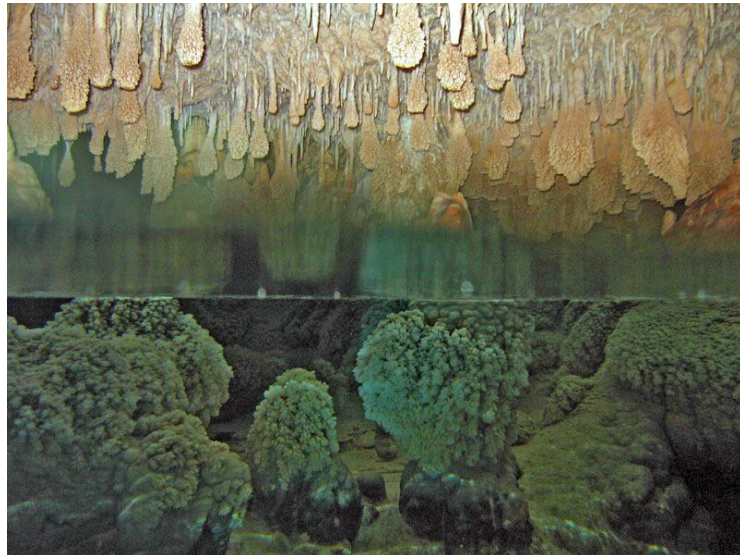


Figura 6.16: Galeria freàtica amb abundants penjants al sostre que li atorguen un aspecte de morfologies espongiformes. S'aprecia un esfondrament al costat dret de la galeria. Foto DRSS.

organitzar la primera expedició de la cova i després amb Jill Heinerth i Curt Bowen. En l'informe es reporten 59 coves conegudes importants que poden ser explorades turísticament per busseig de coves, deixant de banda les milers de cavernes petites que recorren tota l'extensió de la illa. Quinze d'aquestes coves es troben a la província de Pedernales, onze en les proximitats de la ciutat de Santo Domingo, i altres onze a la regió Nord del país. A la regió d'Altagracia s'han registrat 16 coves a la província; tres a La Romana i una a Hato Mayor. Mentre a Santo Domingo Oeste hi ha tres coves, una en el poblats de San Isidro i dos en les proximitats de Boca Chica. A Santo Domingo es pot bussejar en les coves La Roca, Taína, Titllo, Hipódromo I, II, III i IV, los Jardines Orientales, Kilómetro 14 i Mainagua. I a la zona Nord són aptes pel busseig, El Dudú, Pozo de los Caballos, Lily, la Anguila, Lago Azul, el Limón, Frontón, Cristall de Yuna, Pozo Amarillo, Cabarete i Perla Marina. El busseig en coves a la República Dominicana es va convertir en una nova atracció turística, similar al que s'ofereix a Yucatán i va ser ofert per totes les escoles de busseig en el sud.

L'exploració activa està sent realitzada per la Dominican Republic Speleological Society (DRSS), que està treballant juntament amb les institucions locals, així com

Figura 6.17: Espeleotemes freàtics que recobreixen espeleotemes vadosos a una de les cavitats de la Hispaniola. Aquestes formacions secundàries han estat estudiades a la Mediterrània i informen de les oscil·lacions glacioeustàtiques de la mar. S'aprecien revestiments freàtics subactuals i un antic nivell freàtic a una cota positiva.



científics internacionals per explorar més a fons totes les possibilitats dels sistemes de coves i se centra en la preservació. Les coves més conegudes de l'illa són Cueva Taina (màxima fondària 43 m i 1100 m de recorregut), El Tildo, La Escalera (Fig. 6.15), El Chicho, El Dudu i El Toro, de més de 1800 m de recorregut.

6.4. Bahamas

CARACTERÍSTIQUES GEOGRÀFIQUES I GEOLÒGIQUES

L'arxipèlag de les Bahames és un grup d'unes 24 illes habitades, més de 600 deshabitades i més de 2.000 esculls localitzats a l'oest de l'oceà Atlàntic. Tot el grup forma el país independent de la Mancomunitat de les Bahames amb una superfície de 13.940 km². La major de les illes és Andros, situada a uns 190 km al sud-est de Florida, amb 5.957 km². Les illes Bimini estan al nord-oest i al nord està l'illa de Gran Bahama (1.373 km²), on està la segona ciutat més gran del país, Freeport. L'illa de Gran Abaco (1.681 km²) es troba a l'est. El punt més alt es troba a només setanta metres sobre el nivell del mar en Long Island; l'illa de Nova Providència, on es troba la ciutat principal de Nassau, assoleix una elevació màxima de només trenta-set metres. El clima és subtropical, amb unes precipitacions mitjanes anuals de 1.320 mm que es concentren en els períodes maig-juny i setembre-octubre. Les Bahames tenen una base coral·lina, però gran part de la roca és calcària oolítica; la pedra procedeix de la desintegració dels esculls de coral i de petxines marines. La majoria de les Bahames estan formades per



Figura 6.18: Galeria completament recoberta d'espeleotemes de Crystal cave (Abaco). Foto B. Kakuk.

roques del Plistocè, amb una petita porció d'Holocè (WILSON *et al.*, 1995). També hi ha abundants eolianites pliocenes que s'eleven fins a 30 m snm. A l'interior de les illes es donen cotes topogràfiques que se situen per sota del nivell del mar i formen llacs hipersalins. Les roques del Plistocè estan cobertes amb una calcària

micrítica vermella o paleosols de terra rossa (CAREW & MYLROIE, 1991) tret que hagin estat retirats per l'erosió. Encara que la majoria dels paisatges en les Bahames són en gran part d'origen Plistocè, algunes illes de les Bahames són totalment holocenes. Aquestes illes són poc més que bancs exposats, amb tan sol 100 m de llarg i d'ample, i només entre 1,5 a 2,5 m d'altura.

CARACTERÍSTIQUES DE LES CAVITATS

Hi ha quatre tipus comuns de coves desenvolupades en les roques del Plistocè: pit caves (coves de pou), flank margin caves (coves marginals litorals), banana holes (forats de plàtan) i lake drains (desguassos del llac). Les pit caves són de tendència vertical i condueixen l'aigua de l'epicarst a través de la zona no saturada fins al nivell freàtic (MYLROIE & CAREW, 1995; MYLROIE *et al.*, 1995b). Les coves marginals litorals són buits subhorizontals produïts en el marge de descàrrega d'una lent d'aigua dolça (MYLROIE & CAREW, 1995; MYLROIE *et al.*, 1995b). A aquestes cavitats es pot accedir per l'erosió del mar, que també introdueix en la seva interior sorres actuals o pretèrites. Les coves submergides de les Bahames tenen corrents que es desplacen en doble sentit entre les coves i el mar durant la baixamar i la plenamar. Així es produeixen forts corrents en les coves segons el moment dues vegades per dia. En les ocasions en les quals la mar s'introdueix en algunes d'aquestes coves, ho fa amb tal ferocitat que es porta amb ella una enorme quantitat de plàncton i detritus que s'utilitzen com a aliment per els animals que habiten les coves. Durant els últims 45 anys, centenars de forats

blaus i sistemes de coves submergides han estat explorats per bussos especialment entrenats, revelant alguns dels sistemes més profunds i més llargs de les Bahames.

Stargate Blue Hole (Andros). Se situa a uns 500 m terra endins de la costa, al sud de l'illa d'Andros. És part d'una important fractura paral·lela al penya-segat que prossegueix sota l'aigua per desenes de quilòmetres i que es va formar com a resultat dels canvis del nivell del mar glacioeustàtics i les tensions gravitatòries al llarg de la vora del banc de pedra calcària (PALMER, 1986a, 1986b). És un sistema de coves grans, terra endins, explorat per Rob Palmer. L'entrada a aquesta cova és una obertura en el fons marí, a 6 m de profunditat, amb una caiguda vertical a profunditats que superen els 80 m, mentre que diverses galeries s'estenen al nord i al sud. Aquest famós forat blau conté espècies i gèneres endèmics. S'han trobat al seu interior vestigis dels lucayos, antics habitants de les Bahames. En 1998, Rob Palmer va descobrir i recuperar l'única canoa de cerimònies funeràries d'aquesta cultura ancestral.

Guardian Blue Hole System (Salvador Point, North Andros). És un dels sistemes més profunds de forats blaus de les Bahames, format per una extensa xarxa de coves (Fig. 6.19). S'ha explorat fins a una profunditat de 440 peus, amb més de 3000 peus de galeries que connecten les 4 entrades que posseeix. El sistema inclou les entrades de The Guardian Blue Hole, Little Frenchman Blue Hole, K-Blue Hole, i Swimming Hole, així com altres entrades en terra. Existeix una fundació que estudia les cavitats i procura conscienciar de la seva protecció enfront de les amenaces: The Bahama Caves Research Foundation (BCRF).

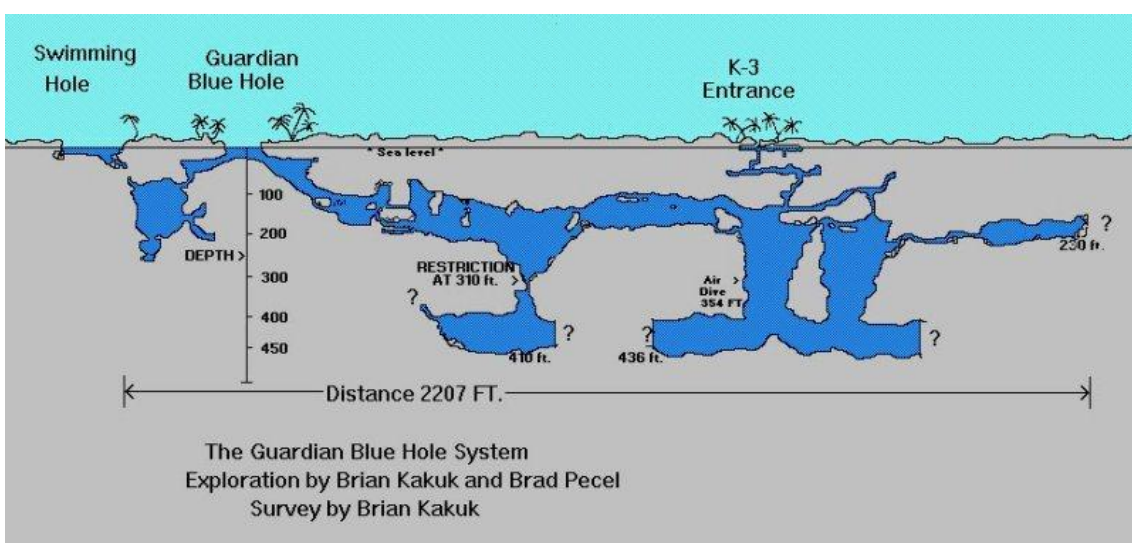


Figura 6.19: Topografia de Guardian Blue Hole (Abaco). Les Bahames presenten cavitats amb molta més fondària en comparació amb altres del Carib. La fondària està expressada en peus. Segons Brian Kakuk.

6.5. Bermudas (Gran Bretanya)

CARACTERÍSTIQUES GEOGRÀFIQUES I GEOLÒGIQUES

Les illes Bermudes es troben a 1000 km de la costa aquest dels Estats Units, en la part de l'Atlàntic occidental conegut com el Mar dels Sargassos. És un arxipèlag de 360 illes, moltes de les quals estan deshabitades, amb una superfície de 53,2 km². El corrent del Golf tempera les seves aigües i suavitza el clima, que atreu importants contingents de turistes, sobretot nord-americans. El punt més alt és Town Hill amb només 76 m sobre el nivell del mar.

Les illes es van formar per erupcions volcàniques a l'Atlàntic fa uns 100 milions d'anys. Durant el Plistocè inferior (fa uns 1-2 milions d'anys), els cims de la muntanyes volcàniques submarines van ser erosionats per sota del nivell del mar i els corals van començar a créixer al voltant dels marges, la qual cosa va produir atols. Avui dia, les roques del basament volcànic de les Bermudes estan completament cobertes per pedra calcària. Aquesta pedra calcària es va originar com a sorres calcàries dels esculls que van formar dunes i posteriorment van ser cimentades i convertides en roca. Totes les coves conegudes de les Bermudes es formen en aquesta roca de pedra calcària. Les roques volcàniques no afloren en molts llocs de la superfície de les Bermudes, ja que estan recobertes amb uns 15 a 100 m de potència de roques calcàries del Plistocè marí i

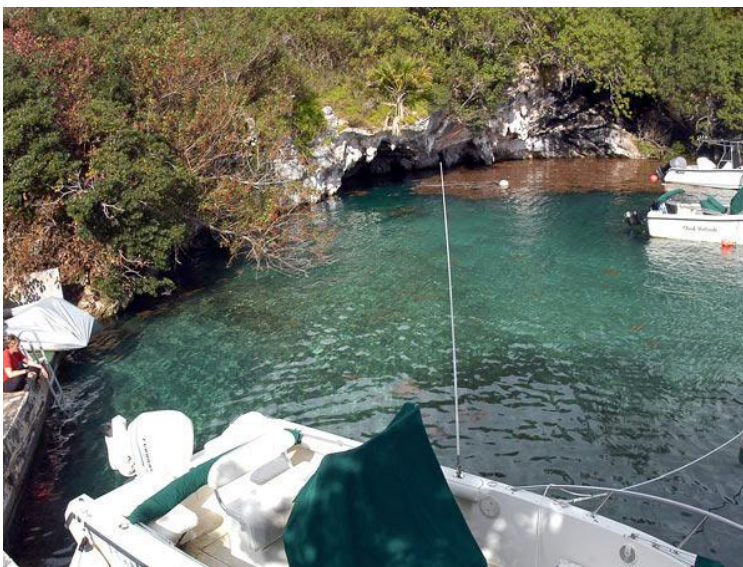


Figura 6.20: L'entrada submergida a Green Bay Cave (centre superior), la cova més llarga coneguda de les Bermudes, es troba al final d'una petita badia de Harrington Sound.

eòlic. Una àmplia plataforma s'estén des dels esculls cap al mar a uns 15 a 22 m de profunditat fins a distàncies de 800 a 4.800 m (STANLEY & SWIFT, 1968), a les zones sud-oest i nord-est de la plataforma, que corresponen a direccions predominants del vent i les ones. La profunditat de la plataforma es correspon amb la profunditat de

l'aigua a les parts més profundes de la llacuna. Una altra plataforma més estreta i profunda es localitza entre 55 a 64 m. En trobar coincidències batimètriques en comparació amb altres plataformes d'altres parts del món, es dedueix que es tracta de relictos d'erosió formats durant perllongats nivells regressius marins al llarg

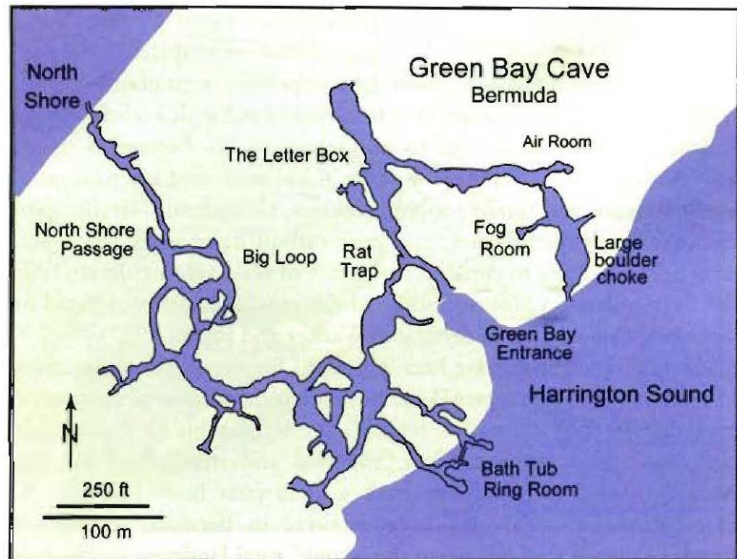


Figura 6.21: Topografia de Green Bay Cave, una de les més importants de Bermudes.

del Plistocè. S'ha de recordar que amb les grans regressions de l'última glaciació, el nivell del mar va descendir més de 127 m. .

CARACTERÍSTIQUES DE LES CAVITATS

Hi ha 150 coves submarines a les Bermudes que es caracteritzen per la seva riquesa en espeleotemes, la datació d'aquestes formacions secundàries submergides s'ha utilitzat com una eina per determinar la història cronològica de les oscil·lacions del nivell del mar a les Bermudes (PALMER *et al.*, 1977; HARMON *et al.*, 1978, 1981). Encara que la majoria de les entrades conegudes estan situades a l'interior, moltes de les coves s'estenen fins al nivell freàtic i contenen llacs cristal·lins i profunds. Les exploracions subaquàtiques de coves han donat com resultat el descobriment d'extenses xarxes, de fins a 3 km de recorregut, amb abundants sales d'enfonsament, amb profunditats mitjanes de 18 m, encara que assoleixen un màxim de 26 m.

Green Bay Cave, amb dues entrades conegudes, és la cova de major recorregut subaquàtic de les Bermudes. Es troba al final d'una petita badia de Harrington Sound (Figs. 6.20, 6.21). Té passadissos submarins que s'estenen més de 2 km. Hi ha excel·lents i grans formacions d'espeleotemes. La galeria principal té un gran diàmetre, però hi ha gran quantitat de túnels estrets que conformen una complexa xarxa de passadissos. **Walsingham** i **Palm Cave**, són dos sistemes de coves inundades de Bermuda i situades a Harrington Sound però oposada a Green Bay Cave. Walsingham

és un sistema d'aproximadament 1,5 km de llarg i compta amb set entrades, de les quals dues són ara cavitats turístiques; Palm Cavi té cinc entrades. Les fondàries de l'aigua de les cavitats van des dels 2 fins a als 24 m. Les aigües superficials són generalment salobres amb un rang de salinitat de 6,9 a 36,1 per mil. En algunes de les cavitats es produeixen forts corrents de marea.

6.6. Plana de Nullarbor (Austràlia)

CARACTERÍSTIQUES GEOGRÀFIQUES I GEOLÒGIQUES

La plana de Nullarbor, al sud-est d'Austràlia, amb 200.000 km² de superfície, és horitzontal i sense arbres. És una de les més extenses zones càrstiques contínues del



Figura 6.22: Plana de Nullarbor, de prop de 900 km de longitud que forma una immensa extensió de carst eogenètic.

món. La altitud va dels 240 m per damunt del nivell del mar en el nord-oest i acaba de sobte en penya-segats de 40 a 90 m d'altura, que s'estenen de forma més o menys contínua al llarg d'uns 900 kilòmetres (Figs. 6.22, 6.23). Les precipitacions oscil·len entre 400 mm a prop de la costa a menys de 150 mm al nord.

La roca calcària de la plana de Nullarbor es deposità dins la Conca Eucla de l'Eocè-Miocè, una extensa plataforma poc pregona al llarg de la part central del marge sud d'Austràlia. La roca està composta predominantment per fragments de mida arena formada per restes d'organismes amb esquelets de calcita (briozous, foraminífers, equinoderms i algues calcàries). Amb freqüència no es troben molt cimentades, per la qual cosa mantenen al menys part del seu estat original de porositat.

En comparació amb altres zones càrstiques eogenètiques del món, posseeixen menys densitat de cavitats. Així per exemple, la península de Yucatán, a Mèxic, té una porositat de coves molt més gran. Això es deu a que la Península de Yucatán presenta una costa amb tres zones laterals amb la mar i la barreja de la zona de mescla d'aigües pot formar una major proporció de coves que no pas les de la plana de Nullarbor, que

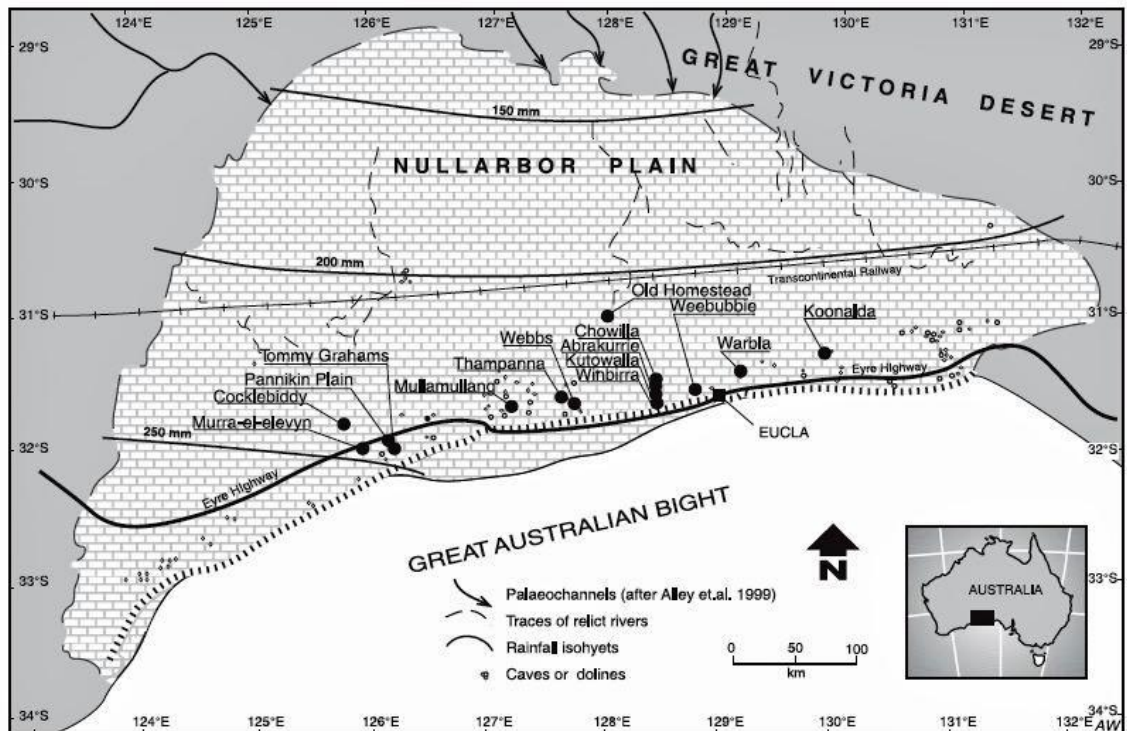


Figura 6.23: Mapa de la immensa plana de Nullarbor amb la situació d'algunes de les principals cavitats. Figura de WEBB & JAMES (2006).

ofereix menys perímetre litoral. La plana de Nullarbor, especialment dins els 60 km de litoral, conté escampades més de 150 dolines d'esfondrament i uns pocs centenars de cavitats, algunes de grans dimensions, encara que només un centenar tenen recorreguts significatius (LOWRY & JENNINGS, 1974). La franja costera de roca calcària que conté la major part de les coves presenta uns 400 km de longitud, 50 km d'amplària i 150 m de potència de roca apta per formar cavitats (coincideix amb la màxima profunditat de les coves). Les cavitats tenen una longitud total de 40 km, una amplària mitjana de galeries de 15 m, i una alçària de 10 m. Aquests valors representen una porositat de cova de només un 0,0002%, encara que és cert que hi pot haver un nombre considerable de cavitats per descobrir. El desenvolupament inicial del carst probablement ocorregué al llarg de les condicions climàtiques càlides i estacionalment humides de l'Oligocè, quan la retirada del mar exposa la roca calcària (WEBB & JAMES, 2006). Diversos conductes principals probablement se desenvoluparen llavors, els quals es varen inundar per la transgressió marina, que finalment es retirà a les darreries del Miocè seguit d'un aixecament regional. El desenvolupament de les coves al Pliocè i Quaternari fou inhibida pel clima semiàrid, que es convertí de cada cop més



Figura 6.24: Típica sala d'Esfondrament de Cocklebiddy Cave. Foto L. Rogers.

àrid amb el pas del temps. L'aridesa general causà cristallització de minerals evaporítics dins escletxes i espais de porus dintre de les parets de pedra calcària de les coves, i es produïren grans esfondraments, generant sales d'esfondrament i dolines. Posteriorment, una fase humida d'entre 5-3 milions d'anys, els rius s'estenien per la plana càrstica i penetraren dins les cavitats. Les coves profundes, probablement, també es formaren en aquest moment, tal volta associats amb profunds nivells freàtics. La plana de Nullarbor no desenvolupà una ampla superfície i característiques càrstiques subterrànies. L'aquífer presenta porositat primària intergranular i també secundària, per l'existència de conductes càrstics. L'aigua subterrània es torna de cada vegada més salada en direcció a la costa, amb valors de 1000-4000 mg / L al nord fins 5000-20,000 mg / L prop de la costa (COMMANDER, 1991).

CARACTERÍSTIQUES DE LES CAVITATS

La plana calcària d'Austràlia del Sud ha atret a molts bussejadors de coves des de finals de 1950. Fins a mitjans dels 1980s generalment es van fer servir tancs individuals de busseig, focus i altres equipaments casolans. La tecnologia de mescla de gasos i rebreathers són ara comuns a moltes exploracions d'Austràlia. Una sèrie d'accidents entre 1969 i 1974 en els que moriren 11 bussejadors (incloent accidents mortals múltiples) mobilitzaren l'opinió pública i incidiren a la formació de

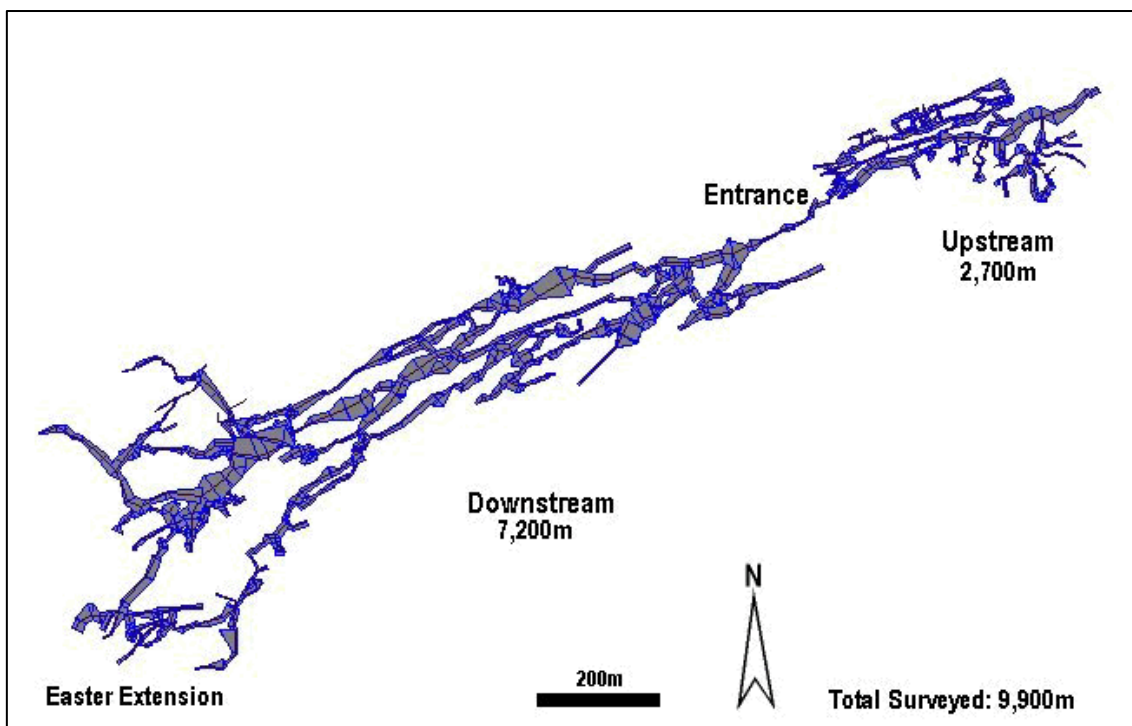


Figura 6.25: Topografia d'Olwolgin, amb un recorregut total de devers 9.900 m. Extret de Paul Hosie (CEGWA) i Cave Diving Association of Australia (CDAA).

l'Associació de Bussos de Coves d'Austràlia Inc. (CDAA) el setembre de 1973. La introducció d'un programa de proves per la CDAA en 1974, implicà l'avaluació de la capacitat de busseig en coves dels aspirants rebaixant la mortalitat. El 1989, aquest sistema de proves fou reemplaçat per un sistema de formació que consta de tres nivells de qualificació. Cinc noves morts han ocorregut d'ençà de 1974, incloent la notable bussejadora Agnes Milowka.

Les coves més profundes, més grans, que se estenen des de 50 fins a 150 m per sota de la superfície de la plana s'accedeix a elles a partir de les dolines d'esfondrament. Moltes sales i galeries de desenes de metres d'ample i alçades considerables, se caracteritzen per ésser realment sales d'esfondrament, de les quals han desaparegut els vestigis de formació en condicions freàtiques. Els sostres són plans en seguir plans d'estratificació, i el terra es troba recoberts per blocs o sediment. Una de les cavitats, **Abtrakurrie**, posseeix la sala aèria més gran d'Austràlia (~ 150 mil m³). Les cavitats que són suficientment profundes per arribar al nivell freàtic ho fan mitjançant llacs d'aigües transparents i salades. A **Cocklebidy Cave**, se superen els 6,5 kilòmetres de conducte inundat que condueix des del llac com un gran tub freàtic col·lapsat (Fig. 6.24), de fins a 20 m d'ample i d'alt, amb sostre pla i acumulacions de

blocs al terra. Aquesta galeria creua dos sales gegants d'esfondrament. Algunes de les coves profundes conserven característiques freàtiques originals (per exemple, **Warbla Cave** amb un complex freàtic laberíntic inundat). **Old Homestead Cave** es notable per trobar-se més allunyada de la costa que la majoria de cavitats (100 km) i és també la cova més llarga de Nullarbor (i segona cova més llarga d' Austràlia), amb uns 30 km de galeries topografiades; els punts més allunyats de la cova es troben a 4 km de distancia en línia recta. En general la cova, de direcció predominant N-S, és un sistema freàtic horitzontal desenvolupat en dos nivells, l'antic a 63 m y 70 m por davall de la plana i està completament inactiu. Old Homestead Cave té una diferent morfologia en comparació a les coves costaneres como Cocklebidy, a on les galeries són sovint més petites y moltes no s'han esbucat i encara mostren característiques freàtiques originals, amb parets plenes de morfologies de dissolució i algunes morfologies espongiformes i penjants. Algunes de les galeries amb sostre pla, sembla que no està determinat per un pla d'estratificació i que correspondria a un antic període freàtic. **Olwolgin Cave** presenta actualment 9.900 m de galeries topografiades, que la situen entre les cavitats inundades més llargues d' Austràlia (Figs. 6.25, 6.26), així com **Panniken Plains, Tank i Cocklebidy Caves**.



Figura 6.26: Progressió per una galeria amb predomini de morfologies de corrosió a Olwolgin cave. Foto L. Rogers.