

# CONDICIONANTS LITOLÒGICS I ESTRUCTURALS DEL CARST A LES ILLES BALEARS

per Joan J. FORNÓS<sup>1</sup> i Bernadí GELABERT<sup>1</sup>

## Abstract

The lithology and structural setting of the rocks which form the island of Mallorca are magnificent bases on which karstic phenomena develop. Almost every geological period is continually represented here, from the Carboniferous to the Pleistocene (only part of the Upper Cretaceous and Lower Paleogene being absent). The approximate thickness of the stratigraphic sequence is 3,000 m in which carbonate deposits (not only limestones but also dolomites) constitute the most important lithologies. The main structure consists of thrust sheets imbricated in a NW transport direction. Such deformation took place during the alpine orogeny. Furthermore, the existence of impervious materials from the Keuper at the base of the thrust sheets, added to the imbricate thrusts system structure, cause permeable zones to remain isolated by areas of impervious material. The development during the post-orogenic phase (Late Miocene) of a carbonate reef deposition, forms a large tabular slab where the phenomena related to coastal karst have its maximum expression. Menorca, can be divided into two very distinct parts. The northern half or Tramuntana, well structured, but dominated by the presence of siliceous material from the Devonian with a couple of large slabs of Mesozoic limestones and dolomites, quite different from Migjorn, in the south, where the Late Miocene calcarenites and calcisiltites clearly dominate. Eivissa can be assimilated to the same structure of the Tramuntana mountains of Mallorca, which are almost exclusively dominated by carbonate materials, particularly the dolomites, but the limestones from the middle Triassic and the marls (Cretaceous and lower Miocene) are very abundant. Formentera is dominated at both ends of the island by sea cliffs cut on Miocene reefal limestones joined by an isthmus where Pleistocene aeolian calcarenites outcrops.

## Resum

La litologia carbonatada quasi omnipresent i la disposició estructural de les roques que conformen l'arxipèlag de les illes Balears són una magnífica base per al desenvolupament dels fenòmens de tipus càrstic. A Mallorca hi són representats pràcticament sense interrupció materials des del Carbonífer fins al Pleistocè. La sèrie amb una potència aproximada de 3.000 m, està dominada àmpliament, àdhuc els detrítics, pels dipòsits de tipus carbonatat, tant calcàries com dolomies, que són els que formen els relleus més importants de la illa. L'estructuració en forma d'escates encavalcants dirigides cap al NW va tenir lloc durant l'orogènia alpina (des de finals del període Cretaci fins al Miocè mig). El desenvolupament durant la fase post-orogènica al Miocè superior d'una deposició carbonatada de tipus escullós forma una ampla llosa tabular, on el fenòmens relacionats amb el carst litoral presenten la seva màxima expressió. Menorca, es divideix en dues parts força diferenciades. La meitat septentrional o de Tramuntana, també estructurada, però dominada per la presència dels materials silícics des del Devonià amb un parell de grans lloses de calcàries i dolomies mesozoiques, força diferent del Migjorn a la part meridional on hi dominen, les calcarenites i calcisiltites del Miocè superior. Eivissa la podem assimilar a un racó amb la mateixa estructura que de la serra de Tramuntana de Mallorca, on dominen també quasi exclusivament els materials carbonatats, especialment les dolomies, però també les calcàries des del Triàsic mig, i on les margues (del Cretaci i Miocè inferior) hi son molt abundants. Formentera està dominada a ambdues puntes de l'illa pels espadats retallats sobre les calcàries esculloses del Miocè superior unides per un istme on s'hi estenen les calcarenites eòliques del Pleistocè.

## Resumen

La litología carbonatada, casi omnipresente, así como la disposición estructural de las rocas que constituyen el archipiélago de las Illes Balears, son una magnífica base para el desarrollo de fenómenos de tipo kárstico. En Mallorca están representados desde el Carbonífero hasta el Pleistoceno. La serie con una potencia aproximada de 3000 m, está dominada casi exclusivamente por los depósitos de tipo carbonatado, que son los que constituyen la mayor parte de los relieves de la isla. La estructuración tectónica en forma de escamas cabalgantes dirigidas hacia el NW que tuvo lugar durante la orogenia alpina (desde finales del período Cretácico hasta el Mioceno medio), dio como resultado una disposición imbricada de los cabalgamientos. El desarrollo durante la fase postorogénica en el Mioceno superior de una deposición carbonatada de tipo arrecifal forma una amplia losa tabular donde los fenómenos relacionados con el karst litoral presentan su máxima expresión. Menorca, puede ser dividida en dos mitades bien diferenciadas. La mitad septentrional o de Tramuntana, también estructurada, pero dominada por los materiales silícicos presentes desde el Devónico con un par de grandes bloques de calizas y dolomías mesozoicas, muy diferente de la parte meridional o del Migjorn donde dominan, como en el caso de Mallorca, las calcarenitas y calcilitas del Mioceno superior. Eivissa puede ser asimilada a un rincón con la misma estructura que la Serra de Tramuntana de Mallorca, donde dominan casi exclusivamente los materiales carbonatados, especialmente las dolomías, pero también las calizas desde el Triásico medio, y donde las margas (del Cretácico y Mioceno inferior) son muy abundantes. Formentera está dominada en los dos extremos de la isla por los acantilados cortados sobre las calizas arrecifales del Mioceno superior unidos por un istmo donde se adosan las calcarenitas eólicas del Pleistoceno.

1 Universitat de les Illes Balears.

## Introducció

Els processos que donen l'ampli ventall de formes tant superficials (l'exocarst o karren) com subterrànies (l'endocarst amb les seves coves i avencs) que s'observen a les Balears estan ben lluny de presentar una homogeneïtat morfogènica marcada. Ans al contrari, la diversitat de condicionants litològics i hidrogeològics (condicionats principalment per l'estructura tectònica) presents a les nostres illes produeixen una varietat notable de fenòmens subterrànies (GINÉS & GINÉS, 2011), que abracen des de coves amb grans sales (Cova de sa Campana, MIR & TRIAS, 1973), conductes més o menys desenvolupats dins d'una xarxa hídrica subterrània (Cova de les Rodes, ENCINAS, 1972) o tot el conjunt de cavitats relacionades amb la interferència amb la mar que limita les illes, el denominat carst litoral (GINÉS *et al.*, 2008), on hi podem trobar des de les quilomètriques xarxes subterrànies existents en el cas del Migjorn de Mallorca (Cova des Pas de Vallgornera, MERINO *et al.*, 2008), fins a les més petites coves marginals (*flank margin caves*) de Formentera (TRIAS, 1983).

És així doncs, que tant 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. En el present treball és descriuen de forma planera tant les característiques que fan referència a l'estratigrafia com les que fan referència a l'estructura i que condicionen el desenvolupament dels

fenòmens relacionats amb la dinàmica càrstica a les Balears. Per a una informació geològica més estructurada i detallada es poden consultar les obres de VERA (2004) i GIBBONS & MORENO (2002).

Des del punt de vista morfològic i morfodinàmic les quatre illes majors de les Balears (Mallorca, Menorca, Eivissa i Formentera) presenten unes certes similituds però també algunes diferències remarcables que a la llarga s'acaben traslladant al modelat càrstic.

L'estructura geològica així com la distribució litològica presents a cada una de les illes, condicionen la seva geomorfologia. En conjunt les Balears presenten una ampla varietat d'exemples, tant endo- com exocàrstics, desenvolupats en les abundants formacions carbonatades que hi afloren. Aquestes formacions, presents de forma pràcticament contínua des del Triàsic mitjà, estan afectades per una complexa estructuració que queda emmarcada dins del joc de la tectònica de plaques del Mediterrani Occidental, a cavall entre les plaques europea i africana, donant lloc a una forta orografia.

## Estratigrafia i interpretació sedimentològica

La història estratigràfica de Mallorca comprèn des del Carbonífer fins al Quaternari amb un important hiatus a la base del Terciari (Figura 1). La sedimentologia dels materials presents és altament complexa i molt variada, amb una gran superposició de diferents ambients sedimentaris, que abasten fàcies de tipus lacustre,

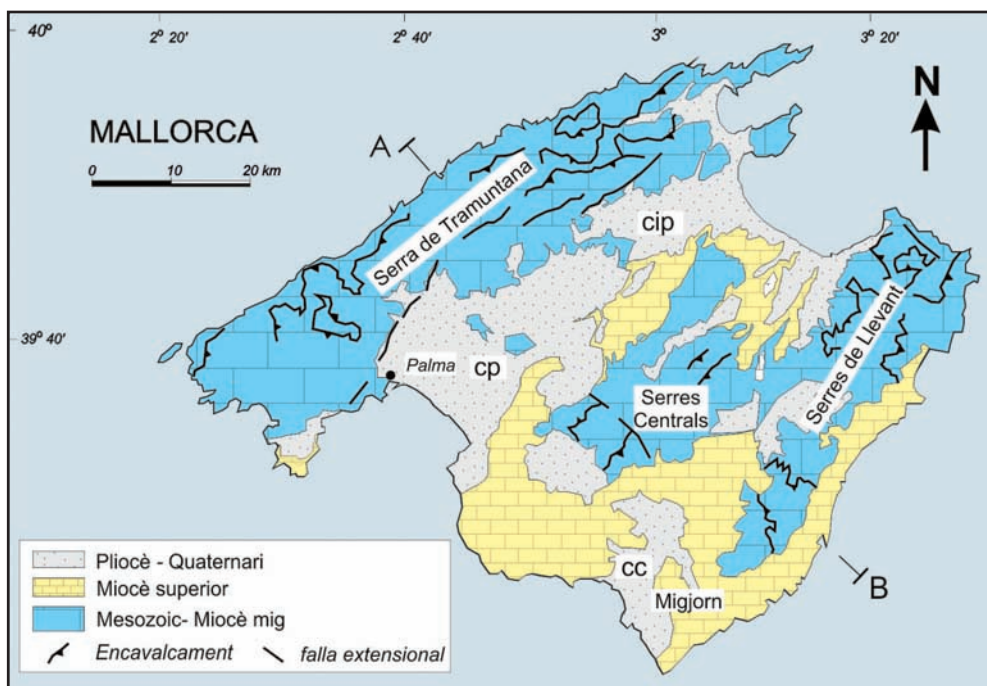


Figura 1: Mapa geològic esquemàtic de l'illa de Mallorca (tal·l geològic a la Fig. 12).

Figure 1: Geological sketch map of Mallorca island (see geological section at Fig. 12).

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.

La història estratigràfica de Menorca comença molt abans (OBRADOR, 1998). Els dipòsits més antics presents a l'illa corresponen al trànsit Silurià-Devonià (BOURROUILH, 1983; ROSELL & ELÍZAGA, 1989) i arriba de forma discontinua i molt fragmentada fins el Quaternari. Hi són especialment representats els nivells detrítics del Carbonífer i Triàsic inferior (Buntsandstein), les dolomies juràsiques i les calcarenites del Miocè superior.

A Eivissa els materials més antics presents a l'illa corresponen al Triàsic mig (fàcies Muschelkalk) i mostren una certa continuïtat fins el Cretaci superior amb gran presència dels dipòsits de calcàries i calcàries noduloses. Pràcticament no hi ha ni Paleogen ni Neogen. A Formentera només les calcàries i calcarenites neògenes hi són presents.

La representació estratigràfica de Formentera és la que mostra una història més curta que s'inicia amb el materials formats per calcàries i calcarenites del Miocè superior i té una ampla representació dels nivells pleistocènics més recents.

Donada la similitud geològica dels materials que conformen les Balears, passarem a descriure'ls globalment comentant l'estratigrafia amb la descripció dels materials presents en el seu conjunt per tal de no ser repetitius, remarquant en cada cas les diferències que afecten a cada una de les illes.

## PALEOZOIC

L'illa on els materials paleozoics estan més ben representats, o podríem dir que quasi exclusivament hi ha representació de Paleozoic, és Menorca on ocupen una bona part de la zona de Tramuntana. Es tracta d'uns dipòsits de turbidites amb gresos de gra fi i calcàries de més d'un milenar de potència (uns 2.000 m) que intercalen dipòsits amb olistostromes (ROSELL & LLOMPART, 2002) disposats sobre uns dipòsits devonians també de turbidites que probablement mostren moltes llacunes estratigràfiques (BOURROUILH, 1983). La sèrie acaba amb uns 3.000 m de potència de pelites grises intercalades amb gresos de mida arena fina que intercala nivells de conglomerats de poca potència. De forma discordant sobre d'aquest dipòsits el materials silicico-clàstics permians, gresos i conglomerats, amb uns 600 m de potència (GÓMEZ, 1987), culminen la sèrie paleozoica.

A Mallorca el Paleozoic només és representat de forma testimonial per un sol aflorament, d'un centenar de metres quadrats i escaig de superfície, compost per unes pelites grises, que intercalen nivells de quarsarenites amb crinoïdeus i pol·len que daten aquests dipòsits com a Carbonífer (RODRÍGUEZ-PEREA & RAMOS-GUERRERO, 1984). Presenten un lleuger grau de metamorfisme i estan afectats per l'orogènia herciniana

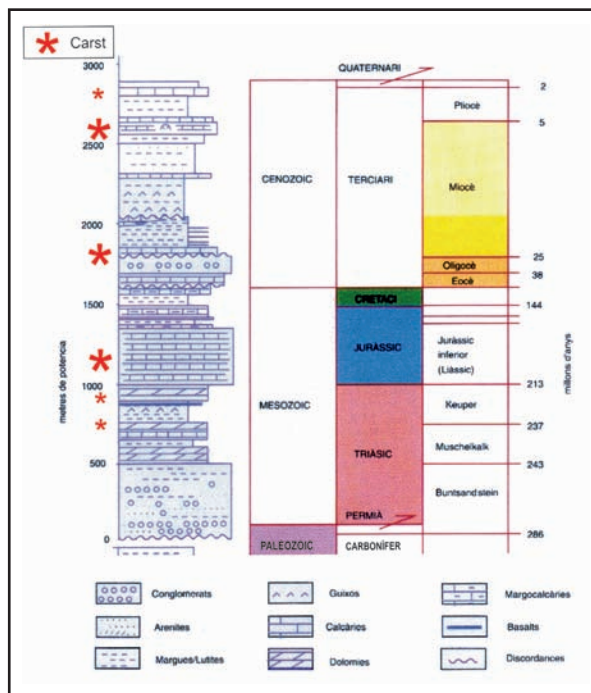


Figura 2: Columna estratigràfica sintètica dels dipòsits presents a l'illa de Mallorca (modificat de RODRÍGUEZ-PEREA & GELABERT, 1998).

Figure 2: Synthetic stratigraphic log of materials present at Mallorca Island (modified from RODRÍGUEZ-PEREA & GELABERT, 1998).

que ha deixat la seva empremta en forma d'un intens plegament afectat d'esquistositat. Per la presència en reduïts afloraments al peu de la Serra de Tramuntana i per la composició siliciclàstica, no té interès per a l'estudi del carst de Mallorca.

## MESOZOIC

La màxima representació dels materials mesozoics a les Balears es dona a Mallorca i Eivissa. Els dipòsits que conformen la seqüència del Mesozoic a Mallorca presenten una potència superior als 1.500 m, els 1.000 m superiors dels quals corresponen, amb petites interrupcions, a materials carbonatats (Figura 2). Els materials mesozoics constitueixen la major part del afloraments presents en les zones estructurades: Serra de Tramuntana, Serres de Llevant i petites elevacions del Pla de Mallorca. Els relleus més abruptes d'aquestes serres estan constituïts pels dipòsits de calcàries i dolomies pertanyents al Juràssic. Aquests dipòsits presenten les manifestacions càrstiques, especialment d'exocarst, més esplendoroses (GINÉS & GINÉS, 1995, 2009). A Eivissa, el Mesozoic està present de forma de taques en una distribució irregular que abasta pràcticament tota l'illa donant lloc als seus i irregulars relleus que la caracteritzen. A l'illa de Menorca el Mesozoic està present només a la zona de Tramuntana on comparteix distribució amb els materials paleozoics (Figura 3). Els relleus més abruptes, predominantment dolomítics, corresponen al Juràssic i són els que mostren la major repre-

sentació càrstica (i de paleocarst); la resta està formada pels materials detrítics de composició silícica del Triàsic inferior i les dolomies del Triàsic mig presents de forma puntual a la part superior del Monte Toro.

### El Triàsic

Els dipòsits basals del Mesozoic presents a les illes corresponen al període Triàsic. El Triàsic està format (Mallorca, RODRÍGUEZ-PEREA *et al.*, 1987; Menorca, ROSELL & LLOMPART, 2002; Eivissa, RANGHEARD, 1972) pel característic triplet de fàcies anomenades germàniques, encara que amb alguna influència alpina. La part basal, fàcies Buntsandstein, present només a Mallorca amb una potència superior als 400 m, i a Menorca amb una potència d'uns 500 m (Figura 4), està formada per argiles, gresos i conglomerats que representen un cicle de sedimentació fluvial amb episodis de tipus lacustre (CALAFAT *et al.*, 1986/87). Els afloraments principals d'aquesta unitat es donen a Mallorca només en el vessant NW del sector meridional de la Serra de Tramuntana, entre Estellencs i Banyalbufar. A Menorca presenta tres clares bandes de direcció N-S (Figura 3) a la zona de Tramuntana. Per la seva composició siliciclàstica i la seva disposició al peu de la Serra de Tramuntana no tenen interès per a l'estudi del carst, excepte com a nivell impermeable en el funcionament hidrològic.

La part intermèdia, la fàcies Muschelkalk, aflora també a la costa d'Estellencs, en el cas de Mallorca, al Monte Toro a Menorca i a les petites elevacions de la zona central a Eivissa, corresponent en aquest cas als nivells més antics que afloren a les Pitiüses.

Amb una potència aproximada a Mallorca de 260 m i uns 150 m a Eivissa, correspon a dolomies i calcàries dolomítiques amb laminacions algals, motlles d'evapori-

tes, bretxes intraformacionals i les denominades fàcies zebra molt abundants a Eivissa, que evolucionen a nivells amb margues vermelles i grogues amb carnoles, i a sostre acaben dominant les calcàries amb *fucoïds* (RODRÍGUEZ-PEREA *et al.*, 1987). El tipus de dipòsits presents marquen uns ambients de formació supra i intermareals a la base, amb un petit episodi regressiu marcat per sediments continentals però acabant amb una clara sedimentació marina de plataforma interna soma. Especialment a Mallorca el fort grau de dolomitització i l'escassa superfície d'aflorament en els pendents més forts del sector meridional de la Serra de Tramuntana fan del Triàsic mitjà un mal substrat per al desenvolupament de les morfologies càrstiques.

El Triàsic acaba a les tres illes grans amb la fàcies Keuper. Es tracta d'un conjunt molt variat que pot presentar potències de fins a 300 m en el cas de Mallorca i uns 80 m a Eivissa, però amb una representació cartogràfica extremadament irregular lligada en la seva major part a la part basal dels encavalcaments, tant a Eivissa com molt especialment a la Serra de Tramuntana, per causa dels efectes tectònics. A Menorca quasi es pot considerar testimonial. Està format per sediments pelítics, margues vermelles i groguenques, amb importants intercalacions de nivells amb evaporites, guixos i anhídrides, i bancs de dolomies i carnoles que es fan més importants cap al sostre de la sèrie triàsica, ja en el trànsit vers els dipòsits juràssecs. Les roques volcàniques, en forma de colades basàltiques i dipòsits piroclàstics (cinerites), estan amplament representades, a més de la presència de traquites i andesites en forma de sills a Eivissa (BEAUSEIGNEUR & RANGHEARD, 1968). Presenten variacions volumètriques molt importants, essent aquest el fet més característic d'aquests nivells. La sedimentació del Keuper representa un esdeveniment regressiu important amb l'acumulació de dipòsits continentals i una forta activitat volcànica (ENRIQUE,

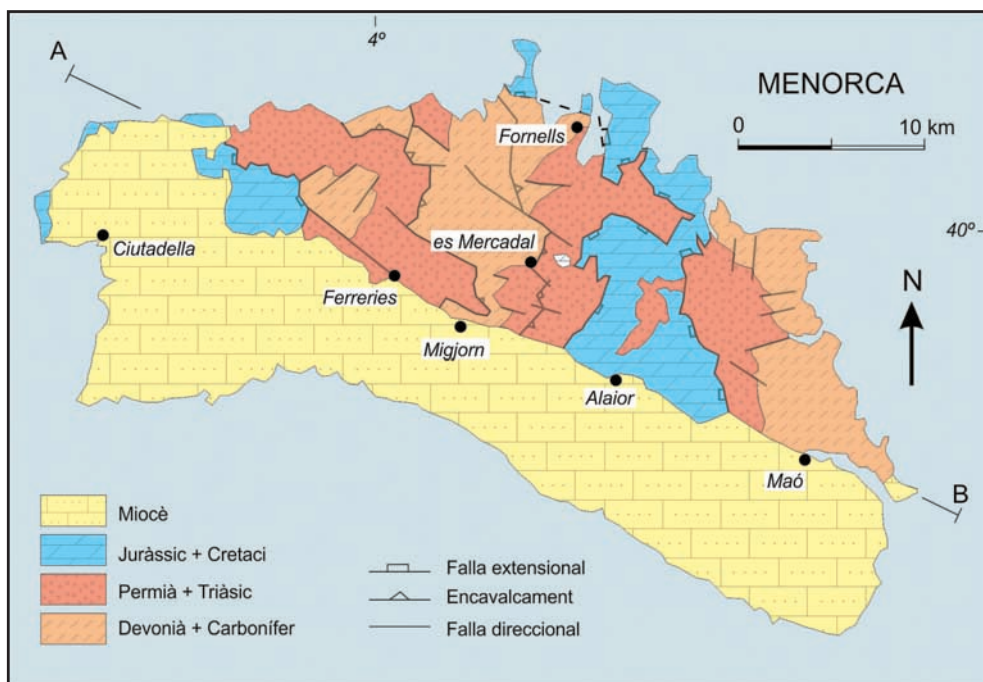


Figura 3: Mapa geològic esquemàtic de l'illa de Menorca (tall geològic a la Fig. 11).

Figure 3: Geological sketch map of Menorca island (see geological section at Fig. 11).



1986). Des del punt de vista carstològic, el Keuper tan sols presenta algunes morfologies de lapiaz en alguns afloraments puntuals de guixos, en canvi té una gran importància hidrològica ja que és el nivell impermeable per excel·lència en el desenvolupament del carst no litoral de Balears.

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

### El Juràssic

Els materials juràssics són els materials dominants a l'illa de Mallorca i conformen la major part dels dominis estructurats (Figura 1). Afloren al llarg de tota la Serra de Tramuntana i Serres de Llevant, així com en algunes elevacions de la zona del Pla. Formats per materials carbonatats, presenten unes potències al voltant dels 500 m. Representen una gran fase transgressiva en la qual queda reflectida l'evolució des d'una plataforma soma carbonatada al Lias, a dipòsits de marge continental i fàcies pelàgiques que perdurarà fins el Cretaci (COLOM, 1975; BARNOLAS, 1984; FORNÓS *et al.*, 1984 i 1986/87). A Menorca el Juràssic presenta una potència superior als 600 m ROSELL & LLOMPART, 2002; BOURROUILH, 1983); format quasi exclusivament per dolomies aflora en dues bandes paral·leles en direcció N-S, una a la zona de Ciutadella i l'altre a l'altura d'Alaior (Figura 3). A Eivissa, aflora (RANGHEARD, 1972) en forma de taques molt desiguals arribant a uns 450 m de potència i donant els relleus més importants (Figura 5).

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

fi de la important sedimentació carbonatada de plataforma liàsica, amb la ruptura i enfonsament d'aquesta plataforma al Toarcià.

El Lias a Eivissa també correspon a calcàries i dolomies que, dipositades en un ambient similar de plataforma nerítica epicontinental, presenten una potència d'uns 120 m (RANGHEARD, 1972). El mateix es pot dir en el cas de Menorca però amb un predomini de les dolomies i on segons ROSELL *et al.* (1989) la potència del Juràssic arribaria als 600 m.

La major part dels fenòmens càrstics, tant d'endocòm d'exocarst, que s'observen a la Serra de Tramuntana afecten directament les calcàries del Lias (Figura 6). A les Serres de Llevant, on la composició del Lias és més dolomítica, el carst hi està menys desenvolupat. La mateixa regla serveix per a Eivissa i Menorca. La complexa història geològica que ha afectat aquests nivells fa que els fenòmens del paleocarst també hi siguin visibles (FORNÓS *et al.*, 1986/87).

El Juràssic mitjà, Dogger, està format a grans trets per calcàries noduloses i margocalcàries, que presenten variacions de potència molt importants a Mallorca, de 30 a 160 m. Segons ROSELL *et al.* (1989) no és present a Menorca.

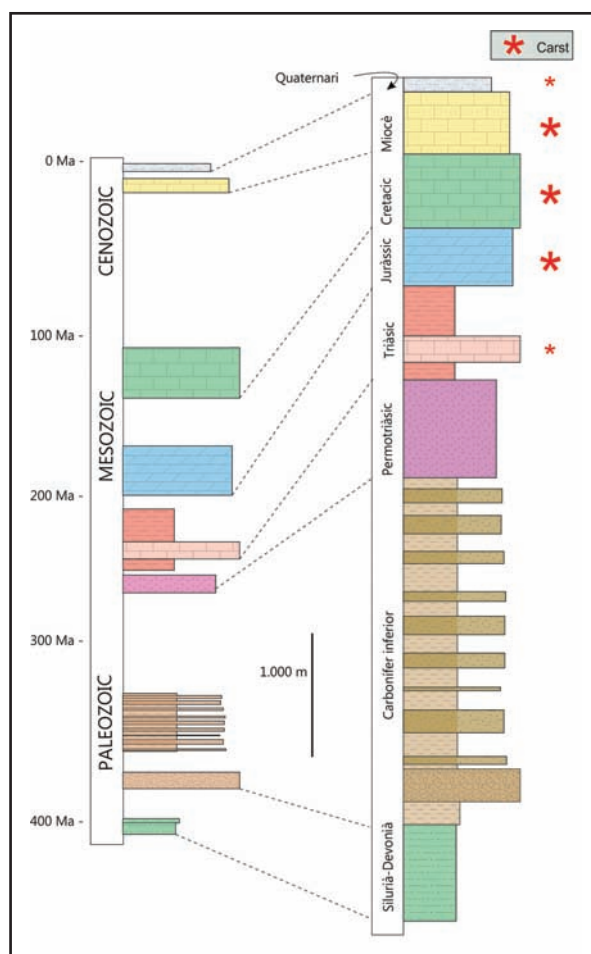


Figura 4: Columna estratigràfica sintètica dels dipòsits presents a l'illa de Menorca (modificat de ROSELL & LLOMPART, 2002).

Figure 4: Synthetic stratigraphic log of materials present at Menorca Island (modified from ROSELL & LLOMPART, 2002).

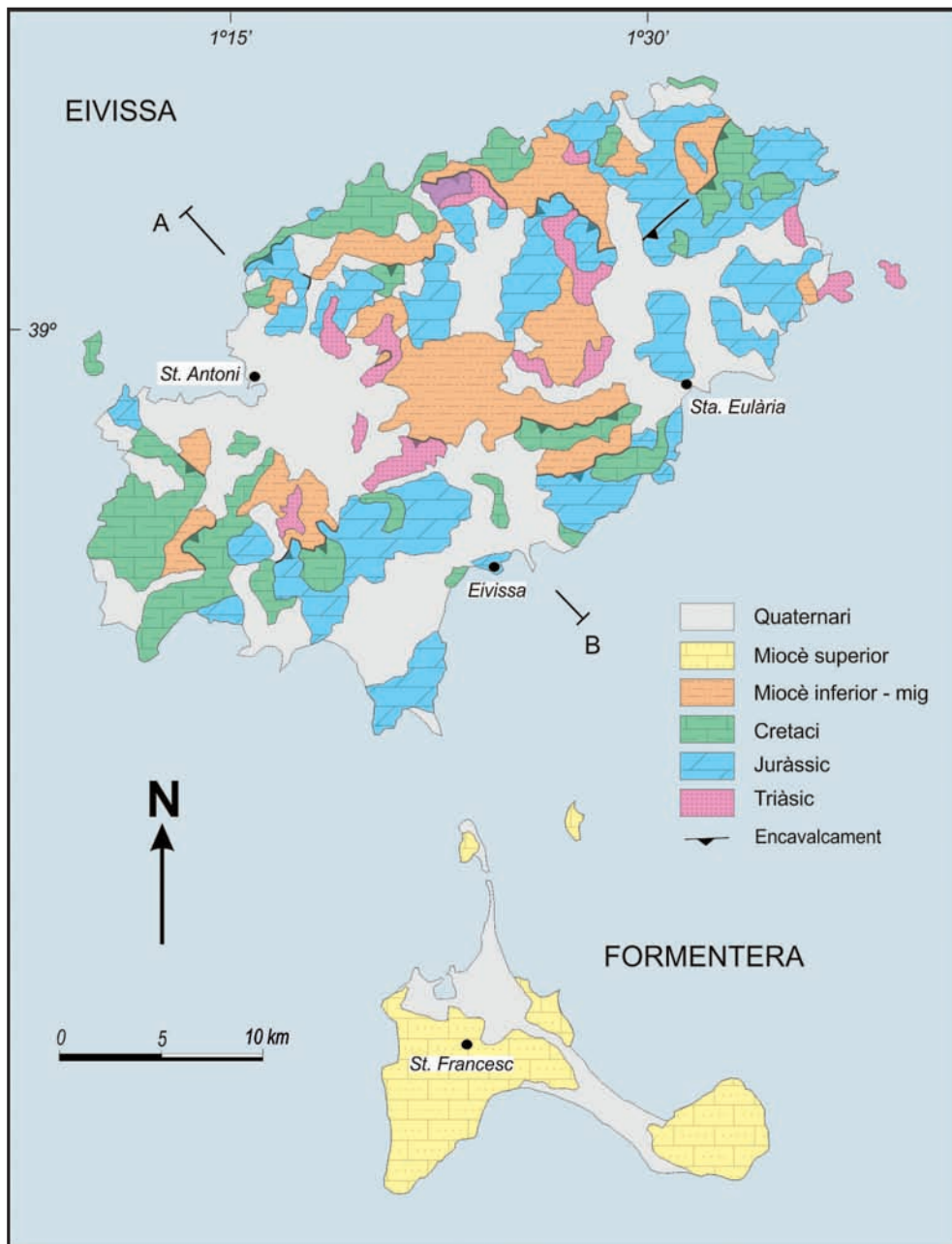


Figura 5: Mapa geològic esquemàtic de les Pitiuses.

Figure 5: Geological sketch map of Pytiusic Islands.

Aquesta unitat a Mallorca és molt rica en fauna d'ammonits i inclou diversos nivells considerats com a *Ammonitico rosso* o fàcies de condensació. L'alternança rítmica de capes margoses i capes de calcàries d'ordre decimètric amb abundants nivells amb sílex també hi és freqüent. De forma aïllada, i amb cossos que presenten geometries lenticulars, es disposen calcàries oolítiques i bioclàstiques distribuïdes de forma seqüencial amb potències que poden superar els 100 m. El conjunt dels dipòsits del Dogger representa una sedimentació de tipus hemipelàgic, amb alguns alts estructurals sobre els quals es desenvolupen les fàcies d'*Ammonitico rosso*, i amb la presència en aquests fons pelàgics de fàcies ressedimentades (nivells oolítics) en forma turbidítica, procedents de la plataforma. A Eivissa durant aquest període hi continua la sedimentació de plataforma amb

uns nivells de bretxes vermelles, calcàries i calcàries noduloses de més de 175 m de potència (Figura 7).

Els afloraments més importants a Mallorca del Dogger corresponen als nivells margosos, per la qual cosa els fenòmens càrstics hi són poc representats, no així en el cas de les calcàries d'Eivissa.

El Juràssic superior, o Malm a Mallorca, representa a grans trets la continuació de la sedimentació de tipus pelàgic i hemipelàgic iniciada a la fi del Lias. En conjunt es tracta de fàcies de calcàries noduloses que intercalen nivells de condensació tipus *Ammonitico rosso*, amb margues radiolarítiques i calcàries silíciques finament laminades. Localment també hi són presents calcàries bioclàstiques i oolítiques ressedimentades. La potència del Malm, rarament supera els 200 m, essent en general més reduïda a la Serra de Tramuntana que a les Serres



de Llevant. Els dipòsits del Malm, com els del Dogger, representen una clara sedimentació de marge continental.

A Eivissa els dipòsits del Juràssic superior són molt variables, en les seqüències dels sector NW hi continua la deposició de les calcàries nerítiques de plataforma, mentre que en les sèries més al SE es nota un aprofundiment de la conca amb la presència de nivells més margosos amb potències que superen els 150 m (RANGHEARD, 1972).

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

## El Cretaci

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

inferior hi té força representació (RANGHEARD, 1984). Està constituït a la zona més occidental per uns 400 m de calcàries i dolomies, 120 m de margues i uns 250 m de calcàries compactes amb rudistes (AZEMA *et al*, 1979) acabant amb uns nivells margosos. A les sèries més orientals hi predominen les margues i les calcàries margoses que indicarien un aprofundiment de la conca en aquesta direcció. A Menorca, els 400 m de potència observada (ROSELL *et al.*, 1989) estan formats per calcàries micrítiques i margues amb abundants ammonits que cap a sostre van evolucionant a calcàries amb rudistes (BOURROUILH, 1983). La seqüència presenta nombrosos hiatus i hi són freqüents els *hard-grounds*.

En línies generals podem dir que a l'arxipèlag Balear la sedimentació de tipus pelàgic, dominant en el Juràssic superior, continua i s'incrementa durant el Cretaci inferior, amb la deposició d'importants gruixos de margues i margocalcaris blanques (fàcies *Maiolica*) amb fauna de radiolaris i tintínids, que marquen una clara sedimentació pelàgica en un mar cada cop més profund. Aquest tipus de sedimentació, però, esdevé cada cop més sòma i amb influències terrígenes ja cap a la fi del Cretaci.

El desenvolupament del carst damunt el Cretaci per la seva composició més margosa és poc important, excepte a Menorca i sobretot a Eivissa on els paquets calcaris tenen un major desenvolupament.

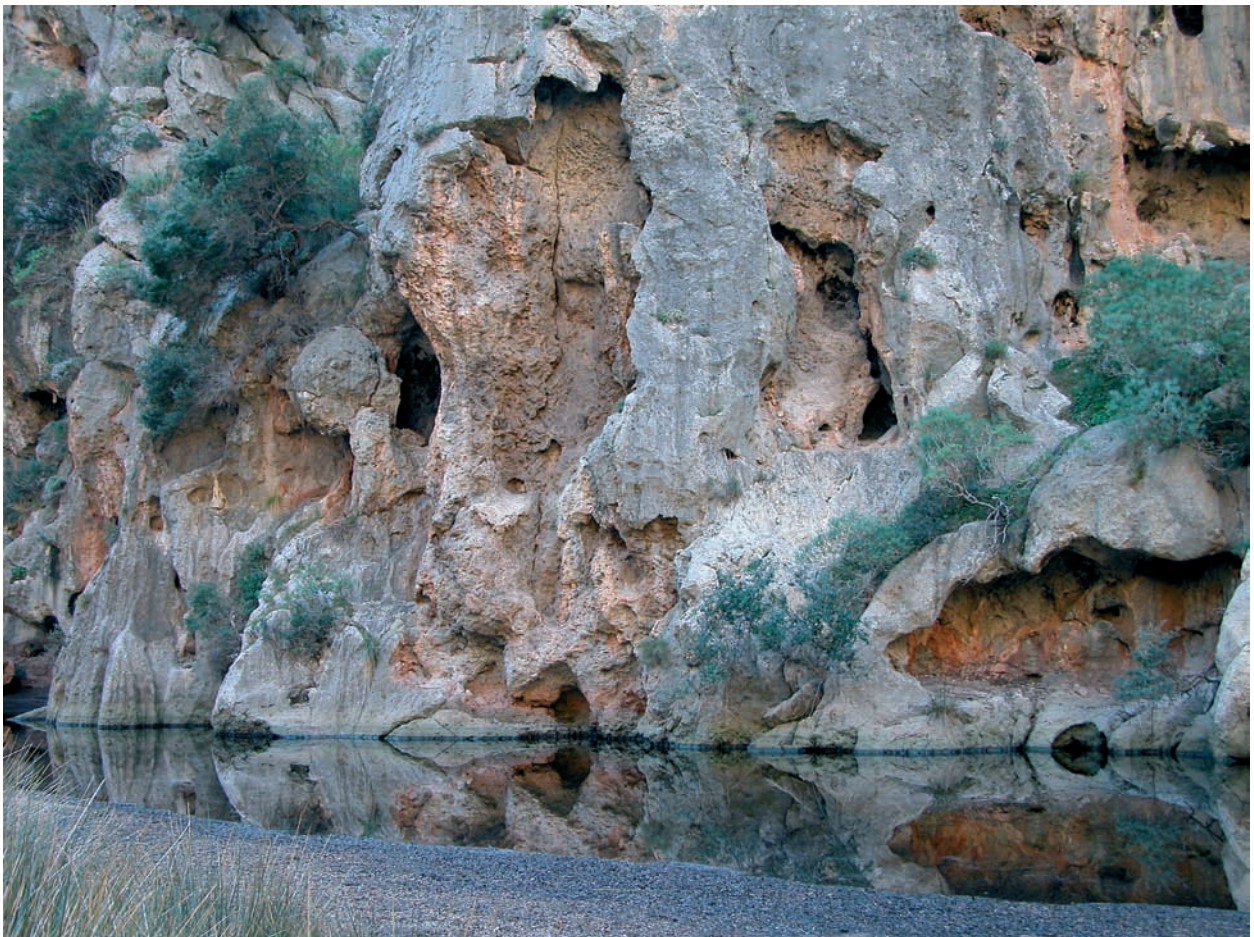


Figura 6: A les calcàries juràssiques de les Balears hi són omnipresents els fenòmens de tipus càrstic. (Sa Calobra, foto J.J. Fornós).

Figure 6: Karstic phenomena are omnipresent on the jurassic limestones of the Balearics. (Sa Calobra, photo J.J. Fornós).

## CENOZOIC

El Cenozoic a les Illes Balears està ben present, tant des d'un punt de vista de l'àrea d'aflorament com de la potència que presenta, essent els seus nivells més joves (Miocè superior) on s'hi concentren bona part dels fenòmens càrstics més importants.

A Mallorca està àmpliament representat mostrant el seu conjunt una potència superior als 1.500 m (RAMOS-GUERRERO *et al.*, 1989). Pot ser dividit en dos grans unitats: un Cenozoic pre- i sintectònic i un postectònic. El primer, que abasta des de l'Eocè mitjà fins al Miocè inferior (Languità), aflora només en la Serra de Tramuntana, Serres de Llevant i, puntualment, al centre de l'illa. El segon des del Miocè mitjà fins a l'actualitat ocupa la major part del Pla, les zones deprimides, així com les denominades "Marines" que conformen el Migjorn de Mallorca. A Eivissa també ocupa grans extensions, però la seqüència superior del Neogen només té una minva-da representació. A Menorca hi és present tota la seqüència, però amb nombrosos gaps.

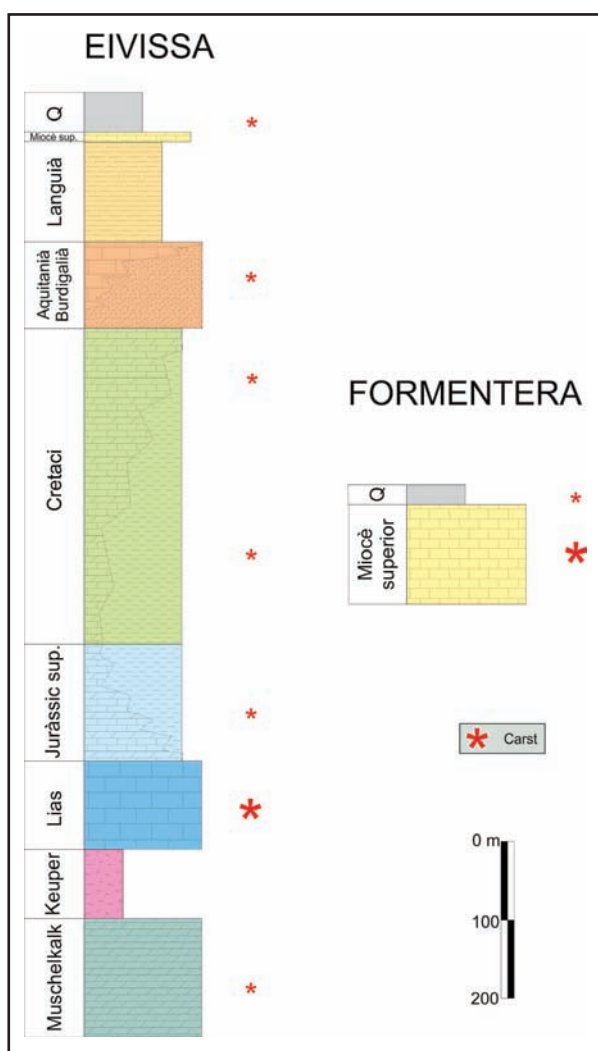


Figura 7: Columna estratigràfica sintètica dels dipòsits presents a les illes d'Eivissa i Formentera.

Figure 7: Synthetic stratigraphic log of materials present at Eivissa and Formentera Islands.

## El Paleogen

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

A Mallorca els primers materials d'edat paleògena afloren a les Serres de Llevant i corresponen a l'Eocè mig i superior. Amb potències que escassament superen l'ordre decamètric, estan formats per calcarenites i margues riques en nummulits, que intercalen nivells de gresos i conglomerats poligènics amb còdols de materials juràssics i cretacs, dipositats en un ambient litoral i de plataforma interna. A la Serra de Tramuntana aquests nivells estan formats per calcàries micrítiques brunes, disposades en bancs tabulars, amb restes carbonoses, que corresponen a conques lacustres d'aigua dolça més o menys profundes (RAMOS-GUERRERO *et al.*, 1985). L'Oligocè, amb una presència més important que l'Eocè, és una unitat clarament detrítica de caràcter continental. A les Serres de Llevant, està formada per gresos massius amb intercalacions de llims i argiles vermelles amb potències que localment poden superar els 100 m. A la Serra de Tramuntana, dominen els conglomerats poligènics disposats en cossos lentiformes, que inclouen nivells llimosos i petits bancs carbonatats amb nombroses concrecions algals. El conjunt, que pot superar els 150 m de potència, representa una sedimentació de tipus fluvial amb episodis de tipus palustre.

A Menorca, el Paleogen, disposat discordant sobre el Cretaci, està formada per una successió terrígena d'uns 60 m de potència formada per conglomerats, gresos i lutites dipositats en un ambient fluvio-al·luvial (RAMOS, 1988; BOURROUILH, 1983). A les Pitiüses no s'han descrit dipòsits d'aquesta edat.

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

## El Neogen

El Neogen juga un paper cabal en el desenvolupament del carst de les Balears, sigui per comportament hidrològic en l'alternança de les diverses unitats i variacions de fàcies, especialment en les zones estructurades, sigui per l'elevada porositat que presenta i per la localització dels seus afloraments en bona part del litoral.

A les illes majors està format pràcticament en la seva totalitat per dipòsits de tipus carbonatats i el seu conjunt a Mallorca suposa una potència de més de 1.500 m. La part basal del Miocè, amb presència molt irregular i amb importants variacions de potència que poden arribar als 70 m (120 m a Eivissa i uns 50 m a Menorca – FORNÓS & GELABERT, 2004), està formada per conglomerats amb matriu de calcarenites i calcàries bioclàstiques i esculloses (RODRÍGUEZ-PEREA, 1983). Aquests nivells reomplen un substrat irregular i representen una sedimentació litoral dins d'una paleogeografia complexa. En trànsit cap el Miocè mig, una im-





Figura 8: Als penya-segats tallats sobre les calcàries del Miocè superior hi són presents els processos càrstics (Cala Figuereta, foto J.J. Fornós).

Figure 8: Karstic phenomena are present on the Upper Miocene limestones in the Balearic coastal cliffs. (Cala Figuereta, photo J.J. Fornós).

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

Els dipòsits del Miocè inferior (fora les turbidites), juntament amb les calcàries del Lias, són els que mostren les morfologies exocàrstiques més espectaculars, especialment a Mallorca on representen un percentatge major d'aflorament, de les quals destaquen els paisatges de lapiaz de la zona central de la Serra de Tramuntana (GINÉS & GINÉS, 2009). La composició juràssica (calcàries) de la major part dels còdols que formen els conglomerats del Miocè inferior, així com l'elevat grau de cimentació, fa que tinguin un comportament similar davant els fenòmens de tipus càrstic i que, per tant, en el paisatge siguin difícils de diferenciar uns nivells dels altres.

El Miocè mig enregistra les darreres etapes de l'estructuració alpina de les Illes, amb la deposició de se-

qüències clarament regressives, de tipus lacustre i palustre, amb la deposició de margues amb guixos, nivells de carbó i llenties de calcàries amb sílex, que només afloren parcialment de forma dispersa a la zona del Pla de Mallorca amb potències molt irregulars d'ordre hectomètric (RAMOS-GUERRERO et al., 1994).

Els dipòsits del Miocè superior, juntament amb els del Lias, suposen l'altre volum important pel que fa a afloraments a l'illa de Mallorca, Menorca i Formentera. 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), tota la zona del Migjorn de Menorca i els sectors oriental i occidental de Formentera. A Eivissa només hi estan representats en uns petits afloraments al nord-est de l'illa, sense més importància des del punt de vista càrstic. Es tracta de dipòsits tabulars, formats per una alternança de calcarenites i calcisilitites 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.

El Miocè superior, encara que similar a les tres illes, mostra algunes diferències en funció dels nivells que afloren en cada cas. Així a l'illa de Menorca, hi predominen les fàcies basals més lutítiques corresponents a sistemes de barres progradants que constitueixen la major part dels afloraments, exceptuant a les zones de Ciutadella i Maó, on hi afloren els nivells escullosos superiors. A Formentera, la major part dels penya-segats dels caps de La Mola i Barberia corresponen a les fàcies d'escull i estan coronades per les calcarenites del Complex Terminal.

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 (Figura 8). Donada la localització a la línia de costa (Figures 1 i 3) hi destaca especialment el lapiaz litoral (Figura 9), 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. Un exemple de tota aquesta dinàmica són, entre moltes d'altres, les famoses Coves del Drac a la part oriental de Mallorca. Aquestes calcàries mostren a més, l'afectació

per nombrosos processos paleocàrstics que han actuat des del Miocè superior fins a l'actualitat.

El Pliocè, encara que amb una important potència a Mallorca, més de 200 m (COLOM, 1985; SIMA & RAMON, 1986), pràcticament no aflora (ni a Menorca ni a Eivissa ha estat descrit). Es pot observar bé només en sondatges, essent present a les parts més deprimides del Pla, Conca de Palma i Conca d'Inca - sa Pobla. Format per calcisiltites ocre a la base, al sostre evoluciona cap a calcarenites, que s'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. Des del punt de vista càrstic, a causa de la falta d'aflorament, no presenten morfologies de lapiaz i només s'hi han localitzat petites cavitats sense gaire importància.

Els dipòsits plio-quaternaris i quaternaris (BUTZER & CUERDA, 1962; CUERDA, 1975) consisteixen bàsicament en calcarenites, que corresponen a diversos episodis dunars relacionats amb els episodis glacials pleistocens, i a fàcies detrítics conglomeràtiques d'origen al·luvial i procedents del desmantellament de les zones més elevades. Des del punt de vista del carst destaquen només els processos de lapiaz litoral associ-



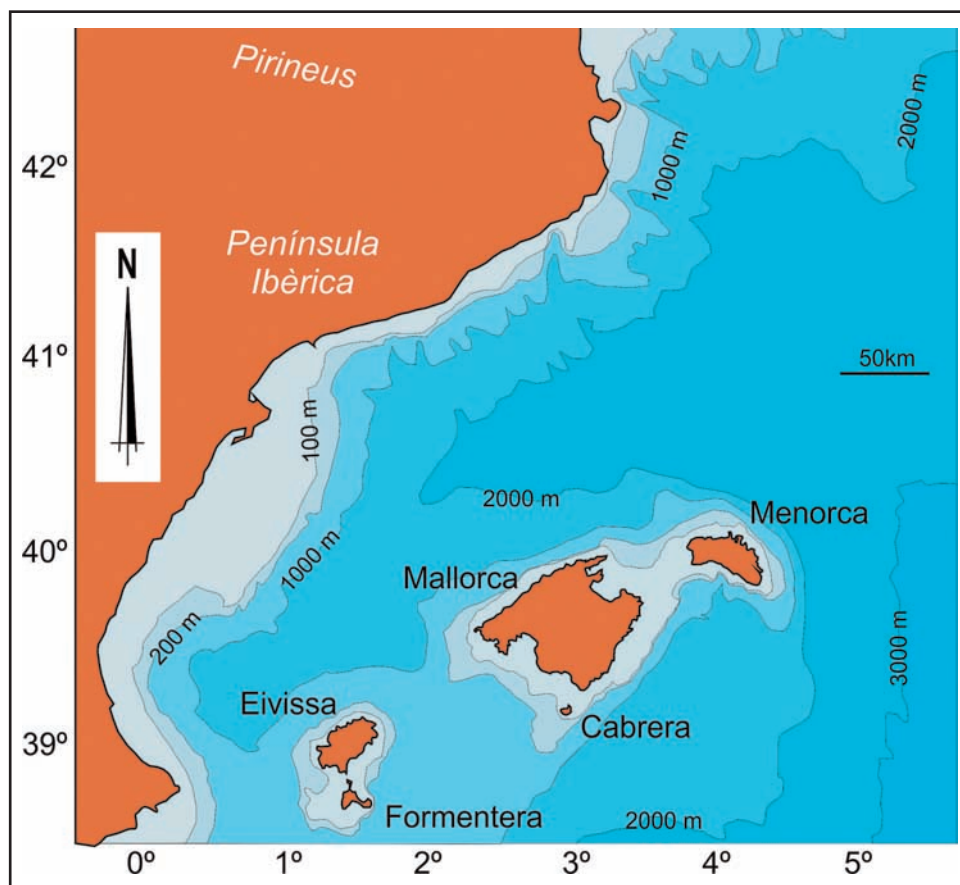
Figura 9: El lapiaz litoral presenta un gran desenvolupament als materials calcarenítics neògens, com és el cas de les eolianites pleistocenes a la zona del Mal Pas, Alcúdia. (Foto J.J. Fornós).

Figure 9: Littoral karren is well developed on neogene calcarenites, as is the case of the Pleistocene aeolianites at Mal Pas area, Alcúdia. (Photo J.J. Fornós).



Figura 10: La batimetria deixa ben clara la situació de les illes Balears sobre el denominat Promontori Balear.

Figure 10: Bathymetry reflects the location of the Balearic Islands on the so called Balearic Promontory.



ats als nombrosos afloraments d'eolianites que es donen en les zones costaneres tant de Mallorca com Menorca i les Pitiüses, especialment Formentera, on tenen un gran desenvolupament (GÓMEZ-PUJOL & FORNÓS, 2009).

## Marc tectònic i geològic de les Illes Balears

Les Illes Balears constitueixen la part emergida d'una extensa zona majoritàriament submarina coneguda com el Promontori Balear. El Promontori Balear, d'orientació general NE-SW, té una longitud de 350 km i una amplada de 100 km i presenta una alçada relativa respecte els fons oceànics circumdants de entre 1.000 i 2.000 metres (Figura 10).

### EL PROMONTORI BALEAR

Tant des d'un punt de vista fisiogràfic com geològic el Promontori Balear correspon a la continuació cap al NE de l'arc orogènic Bètiques-Rif. L'origen tant de l'arc com del Promontori està associat a la subducció de la llosa oceànica que estava localitzada, durant l'Oligocè i Miocè, al S de les Balears i que es troba actualment dins del mantell davall de la zona del Mar d'Alboran (SPAK-

MAN & WORTEL, 2004). De fet, aquesta subducció és encara activa a l'arc de Gibraltar (GUTSCHER *et al.*, 2002) i molts dels terratrèmols profunds de la part interna de la Serralada Bètica poden associar-se a aquesta subducció activa.

La estructura geològica de les illes és el producte d'una evolució complexa en la qual es poden diferenciar tres grans etapes: una primera etapa mesozoica bàsicament extensiva, la compressió alpina desenvolupada entre l'Oligocè i el Miocè i, finalment, l'extensió neògena i quaternària. Cadascuna d'aquestes etapes, en funció de la seva edat, intensitat i duració, ha deixat una empremta en l'actual estructura i morfologia de les illes.

A continuació es presenta la estructura geològica de les més grans de les Illes Balears, ordenades segons la seva posició geogràfica, de N a S.

### MENORCA

Des d'un punt de vista tectònic, però també geològic, geomorfològic, litològic i paisatgístic, a l'illa de Menorca es distingeixen dues grans unitats: Tramuntana i Migjorn, separades per una línia imaginària d'orientació ESE-WNW que va des de Cala Morell fins a Maó. L'estructura de Tramuntana reflexa principalment l'etapa compressiva desenvolupada durant l'Oligocè superior i el Miocè inferior, mentre que l'estructura de Migjorn reflexa bàsicament l'etapa extensiva del Miocè superior i Quaternari.



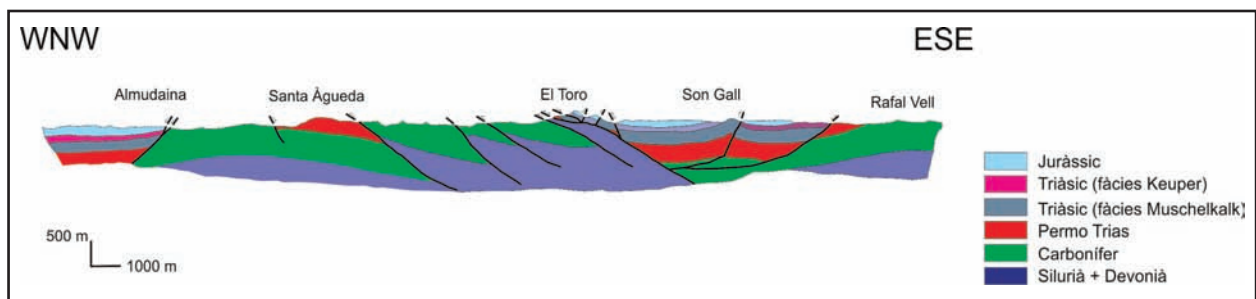


Figura 11: Tall geològic representatiu de l'estructura de l'illa de Menorca.

Figure 11: Representative geological cross-section of Menorca Island.

La zona de Tramuntana compren la meitat septentrional de l'illa i està composta per nombroses elevacions suaus amb una alçada compresa entre els 200 i els 350 metres. Aquest sector es troba estructurat en un sistema de làmines encavalcants (Figura 11) que estan recobertes de manera discordant pels materials del Miocè superior i Quaternari (BOURROUILH, 1983; OBRADOR, 1972). L'emplaçament d'aquestes làmines, que involucren materials del Paleozoic, del Mesozoic i de l'Oligocè, es va donar posteriorment a l'Oligocè i amb anterioritat al Miocè superior. L'emplaçament de les làmines està condicionat per falles extensives, d'edat mesozoica, prèvies a la compressió. Els materials paleozoics ocupen quasi la meitat de la regió septentrional i comprenen principalment pissarres, gresos i calcàries que donen lloc a petites muntanyes de formes arrodonides. Els materials mesozoics, i especialment les calcàries del Lias, donen formes més punxegudes i també algun escarpament.

La regió de Migjorn, meitat meridional de Menorca, correspon a una plataforma poc elevada i suaument inclinada cap a la mar, solcada per barrancs molt encaixats. Presenta un relleu tabular i unes costes amb penya-segats. Geològicament està constituïda per calcarenites i calcàries esculloses subhorizontals, del Miocè superior, amb una potència màxima de 400 metres. La fracturació que s'observa en el Migjorn de Menorca presenta, en el seu sector central, una direcció N, NNE o NNW, mentre que en els sectors oriental i occidental les fractures predominants tenen una orientació E, ENE o ESE. El fet de que la direcció predominant dels torrents o barrancs coincideixi, en cadascun dels sectors, amb la direcció de fracturació fa suposar que el traçat de la xarxa de drenatge en la regió meridional de Menorca estigui condicionada per l'orientació de les fractures (GELABERT *et al.*, 2005).

## MALLORCA

L'illa de Mallorca està constituïda, des d'un punt de vista geològic, per un conjunt de horsts i grabens, disposats alternativament i que es corresponen respectivament amb les serres i els plans de la morfologia actual de l'illa (Figura 12). Així, de SE a NW es diferencien: 1) les serres de Llevant; 2) el pla Central, compost pel pla de Campos, les serres Centrals i els plans de Palma, Inca i sa Pobla i, finalment; 3) la serra de Tramuntana. Aquesta estructuració global en horsts i grabens, és a dir, en blocs aixecats i blocs enfonsats, ve donada per la presència de grans falles normals formades a partir de l'extensió del Miocè superior, orientades preferentment NE-SW i amb desplaçaments a vegades quilomètrics. Els plans es corresponen amb els blocs enfonsats de les falles normals i equivalen a conques amb un reblliment de materials del Miocè mig-superior i del Plio-Quaternari. Les serres corresponen als blocs aixecats de les falles normals abans citades.

La serra de Tramuntana és una alineació muntanyosa paral·lela a la costa nordoccidental de l'illa. Presenta fins a 10 cims que superen els 1000 metres d'alçada. Aquests importants relleus estan constituïts per grans masses de calcàries, dolomies i bretxes del Lias inferior disposades en làmines encavalcants imbricades cap al NW. Dins de la serra s'obren valls excavades sobre els materials més tous, margosos del Triàssic mig, del Cretaci superior o del Miocè inferior. La diferència de relleu entre el vessant NO, escarpat, i el vessant SE, més suau, s'explica per la disposició estructural dels materials, inclinats cap al SE.

Les serres de Llevant estan constituïdes per un conjunt de muntanyes de pendents suaus i formes arrodonides amb altituds més modestes que la serra de Tramuntana (màxim 560 metres). La seva estructura geològica

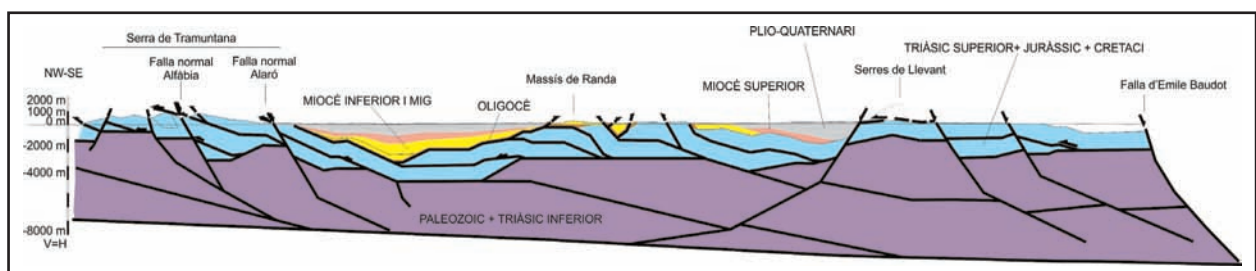


Figura 12: Tall geològic representatiu de l'estructura de l'illa de Mallorca.

Figure 12: Representative geological cross-section of Mallorca Island.

consisteix en un sistema imbricat d'encavalcaments que presenta el seu nivell de desenganxament en el Triàsic (Keuper) i té una vergència cap al NW (SÀBAT, 1986). A semblança de Tramuntana, les valls s'emporten sobre els materials més blans del Keuper, el Cretaci inferior o el Miocè inferior, mentre que els escarpaments i les zones culminants de les muntanyes s'esculpeixen sobre les calcàries del Juràssic inferior.

L'estil estructural de les serres Centrals és diferent de la resta de serres de Mallorca. Aquest fet es deu a que els encavalcaments involucren una sèrie estratigràfica més potent i apareixen nous nivells de desenganxament. El tret estructural més destacable és la freqüent disposició de materials del Paleogen per damunt de materials del Miocè inferior, els quals són especialment abundants a les serres Centrals. L'estructura bàsica consisteix en la coexistència d'encavalcaments dirigits cap al NW afectant la sèrie mesozoica i de retro-encavalcaments amb el nivell de desenganxament a un nivell estratigràfic superior (base del Paleogen). Aquest tipus d'estructura, en tascó, es reflexa amb la vergència NW dels plecs que afecten el Mesozoic i la vergència tant NW com SE dels plecs que afecten el Paleogen.

Tant les serres de Llevant com les serres Centrals estan recobertes discordantment per una plataforma escullosa d'edat Neògena superior, sobre la qual s'hi han dipositat els materials del Plio-Quaternari. Aquestes zones formen extenses plataformes solcades per torrents i truncades pels penya-segats costaners. La orientació dels torrents i penya-segats no és aleatòria sinó que està condicionada, tant a petita com a gran escala, per la fracturació post-Miocè mig, la qual presenta (com els torrents) orientacions preferents NE-SW i NW-SE (CÉSPEDES *et al.*, 2001; GIMÉNEZ *et al.*, 2002).

Els plans que ocupen l'espai entre les serres corresponen a depressions amb subsidència activa durant el Neogen superior i el Quaternari, la qual cosa produeix importants rebliments de materials del Miocè mig-superior i del Plio-Quaternari. L'espessor del rebliment varia d'un pla a un altre: des dels 300 m del pla de Campos fins als més de 1.000 del pla d'Inca.

La compressió que ha donat lloc a les serres ha estat continua en el temps, progressant cap al NW, estructurant, *grosso modo*, primerament les serres de Llevant i finalment la serra de Tramuntana. Va existir un lleuger

canvi en el sentit de transport tectònic en l'espai i en el temps. A les serres de Llevant el sentit de transport tectònic fou N310-315E (SÀBAT, 1986), mentre que a la serra de Tramuntana, el sentit d'emplaçament dels encavalcaments ha estat N322E. Aquest canvi en el sentit de transport queda reflectit en l'orientació actual de les serres a Mallorca: NE-SW per la serra de Tramuntana, NNE-SSW per les serres de Llevant.

La relaxació de l'edifici orogènic es manifesta a partir del Serraval·lià fins a l'actualitat, mitjançant el desenvolupament d'un sistema extensional caracteritzat bàsicament per grans falles normals que configuren l'actual morfologia d'alts i cubetes. L'extensió post-Miocè mig no és exclusiva de les cubetes sinó que també s'ha documentat a la serra de Tramuntana amb desplaçaments de fins a 2 km (GELABERT, 1998).

En definitiva, el relleu de l'illa de Mallorca està influenciat bàsicament per les dues darreres etapes de la seva història geològica: la compressió de l'Oligocè-Miocè mig que donà lloc a l'estructura imbricada que aflora a les serres i l'extensió Neògena i Quaternària que conforma la delimitació de serres i plans.

## EIVISSA

Des del punt de vista morfològic, a Eivissa es poden diferenciar dues zones muntanyoses i dues àrees deprimides que conformen franges amb orientacions ENE-WSW, que de N a S són: serra de Es Amunts-Serra de Sant Vicent; depressió de Sant Antoni-Santa Eulària; serra de Sant Josep-Serra Grossa; i depressió de Sant Jordi-Ses Salines. Des del punt de vista tectònic, Eivissa ha estat dividida clàssicament en tres unitats tectòniques que conformen franges amb orientació NE-SW, en les quals es reconeixen plecs i encavalcaments vergents majoritàriament cap al NW (RANGHEARD, 1972; FONTBOTÉ *et al.*, 1983), encara que n'hi ha alguns de vergents cap al SE que solen estar associats a falles normals mesozoiques (Figura 13). Aquestes tres unitats són de N a S: Eivissa, Llentrisca-Rei i Aubarca. Les unitats septentrionals són l'autòcton relatiu; així la unitat d'Eivissa encavalca la de Llentrisca-Rei, i, al mateix temps aquesta encavalca la d'Aubarca. L'edat de la deformació compressiva a les Pitiüses coincideix amb

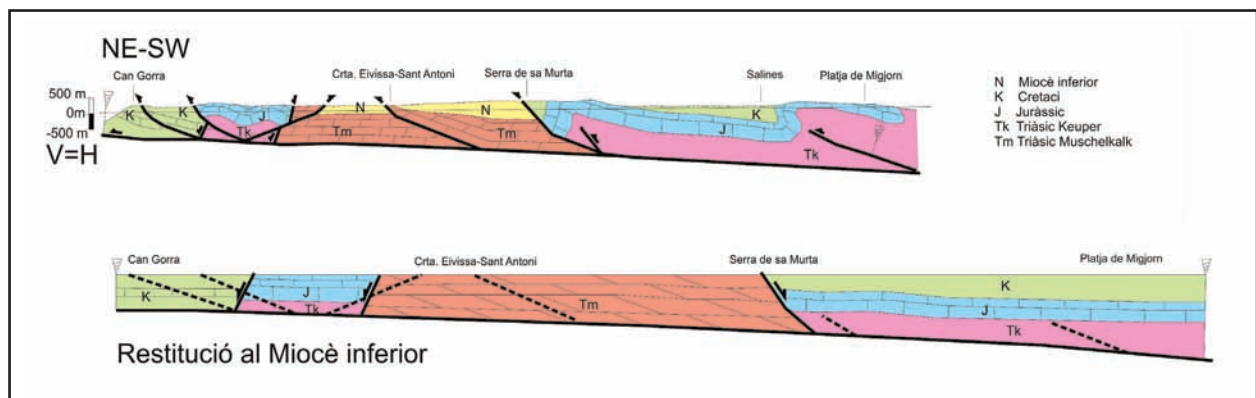


Figura 13: Tall geològic representatiu de l'estructura de l'illa d'Eivissa.

Figure 13: Representative geological cross-section of Eivissa Island.

la de la resta de les Balears, és a dir que té lloc entre finals de l'Oligocè i el Miocè mig. Després d'aquesta etapa de deformació es dipositen materials terrígens d'edat Plio-Quaternari que conformen actualment grans afloraments de zones deprimides d'Eivissa.

A les serres del nord d'Eivissa, on s'hi troben les majors elevacions de l'illa, sovintegen els penya-segats abruptes constituïts per calcàries i dolomies del Juràssic inferior i Cretaci. A la seva vegada el vessant meridional presenta pendents molt més suaus. Aquesta asimetria és el resultat del cabussament general dels materials cap al SE.

A la depressió de Sant Antoni-Santa Eulària afloren bàsicament materials detrítics del Miocè inferior i mig,

juntament amb materials triàsics. En el tall, quan es restitueixen aquests materials a la seva posició original, abans dels encavalcaments, s'observa que la seva disposició és deguda a la presència de falles extensionals anteriors als encavalcaments.

Les serres meridionals tenen una extensió menor a les del nord però és on trobem les majors elevacions de l'illa. Aquesta zona inclou l'illot de Es Vedrà. La part occidental d'aquestes serres acaba amb penya-segats orientats cap a l'oest i nord-oest i estan formats per calcàries del Cretaci superior. La part meridional i oriental presenta relleus suaus i arrodonits. Aquesta asimetria és també deguda a la vergència de les estructures.



Figura 14: Penya-segats tallats sobre les calcàries esculloses del Miocè superior a La Mola, Formentera. (Foto J.J. Fornós).

Figure 14: Vertical cliffs developed over the Upper Miocene reefal limestones at La Mola, Formentera. (Photo J.J. Fornós).



A la depressió de Sant Jordi-Ses Salines afloren bàsicament materials del Plio-Quaternari, d'ambients diversos. Aquesta depressió presenta un plec sinclinal probablement associat a falles normals del Neogen superior.

## FORMENTERA

Les Pitiüses (Eivissa i Formentera) es poden considerar una sola unitat morfològica en la qual es pot diferenciar un domini nord format per Eivissa, on afloren bàsicament materials plegats per la compressió Oligo-Miocena, i un domini meridional format per Formentera i els illots del canal de Formentera, en el qual afloren materials del Miocè superior i Plio-Quaternari. Aquest fet és el responsable de que Formentera sigui, a grans trets, una illa plana (encara que amb zones topogràficament elevades), mentre que Eivissa presenti un relleu molt més irregular i abrupte.

Formentera i els illots del canal de Formentera es caracteritzen per tenir un relleu relativament pla. Formentera presenta una forma irregular relativament allargada en direcció E-W on las parts central i nord-oest constitueixen zones deprimides respecte els extrems oriental i sud-oriental. Les àrees aixecades (La Mola i Barbaria) es poden considerar petites plataformes de materials horitzontals constituïdes per fàcies esculloses del Neogen superior, les quals acaben abruptament formant penya-segats (Figura 14). A les zones deprimides afloren bàsicament sediments del Plio-Quaternari que recobreixen els materials neògens. Aquesta configuració i la mateixa morfologia de la illa poden associar-se a falles normals d'orientació NE-SW i NW-SE que es formaren en posterioritat al Miocè superior.

## Agraïments

El present treball és una contribució als projectes de recerca finançats pel *Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN)*, CGL2008-05724/BTE i CGL2010-18616/BTE.

## Bibliografia

- ÁLVARO, M. (1987): La tectónica de cabalgamientos de la Sierra Norte de Mallorca (Islas Baleares). *Boletín Geológico y Minero*, 9815: 34-41.
- ANGLADA, E. (1985): *Estudi geològic del massís de Randa (Mallorca)*. Tesi de Llicenciatura. Universitat de Barcelona, 111 pàgs.
- AZEMA, J.; CHABRIER, G.; CHAUVE, P. & FOURCADE, E. (1979): Nouvelles données stratigraphiques sur le Jurassique et le Cretacé du Nord-Ouest d'Ibiza (Baleares, Espagne). *Geol. Romana*, 18: 1-21.
- BARNOLAS, A. (Ed.) (1984): *Sedimentología del Jurásico de Mallorca*. Libro Guía de la Excursión. Grupo Español del Mesozoico. I.G.M.E.-C.G.S.263 pàgs.
- BEAUSEIGNEUR, C. & RANGHEARD, Y. (1968): Contribution à l'étude des roches éruptives de l'île d'Ibiza. *Bull. Soc. Geol. France*, 3 (5): 9.12.

- BOURROUILH, R. (1983): Estratigrafía, sedimentología y tectónica de la Isla de Menorca y del noreste de Mallorca (Balears). *Mem. Inst. Geol. Min. España*, 99: 1-672.
- BUTZER, K.W. & CUERDA, J. (1962): Nuevos yacimientos marinos cuaternarios de las Baleares. *Notas y Comun. del I.G.M.E.* 67: 25-70.
- CALAFAT, F.; FORNÓS, J.J.; MARZO, M.; RAMOS-GUERREIRO, E. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1986/87): Icnología de vertebrados en las facies Buntsandstein de Mallorca. *Acta Geológica Hispánica*. 21-22: 515-520.
- CANALS, M.; SERRA-RAVENTÓS, J. & RIBA, O. (1982): Toponímia de la mar Catalano-Balear. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*. 26: 169-194.
- CÉSPEDES, A.; GIMÉNEZ, J. & SÀBAT, F. (2001): Caracterización del campo de esfuerzos neógenos en Mallorca mediante el análisis de poblaciones de fallas. *Geogaceta*, 30: 199-202.
- COLOM, G. (1947): *Estudios sobre la sedimentación profunda de las Baleares desde el Lias superior al Cenomanense-Turonense*. Inst. "Lucas Mallada" C.S.I.C. 147 pàgs. 28 làms.
- COLOM, G. (1975): *Geología de Mallorca*. Institut d'Estudis Balearics. Dip. Prov. Balears. 2 vols. Palma de Mallorca.
- COLOM, G. (1985): Estratigrafía y paleontología del Andaluciese y del Plioceno de Mallorca (Balears). *Boletín Geológico y Minero*, 96: 235-302.
- CUERDA, J. (1975): *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Inst. d'Estudis Balearics. Dip. Prov. Balears. 304 pàgs. 20 làms. Palma de Mallorca.
- DARDE, B. (1925): La tectonique de la région orientale de l'île de Majorque. *Bull. Soc. Géol. France*, 25: 245-278.
- ENCINAS, J.A. (1972): Contribuyendo al estudio del karst del valle de Sant Vicenç de Pollença (Mallorca). Espeleogénesis y espeleografía. *Geo y Bio Karst*, 31: 15-22. Barcelona.
- ENRIQUE, P. (1986): Nota sobre les roques hipabissals de la Serra de Tramuntana de Mallorca: Algunes característiques petrogràfiques i geoquímiques. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 30: 19-50.
- ESCANDELL, B. & COLOM, G. (1960): Sur l'existence de diverses phases de plissements alpins dans l'île de Majorque. *Bull. Soc. Géol. France. Série 7*, 11(3): 267-272.
- FALLOT, P. (1922): *Étude géologique de la Sierra de Majorque*. Lib. Polyt. Ch. Beranger ed. 420 pàgs. Paris.
- FONTBOTÉ, J.M.; OBRADOR, A. & POMAR, L. (1983): *Islas Baleares*. En Libro Jubilar J. M. Ríos. Geología de España, 2, 343-391.
- FORNÓS, J.J. & GELABERT, B. (2004): Baleares. In: VERA, J.A. (ed.), *Geología de España*. Sociedad Geológica de España, Instituto Geológico y Minero de España, p. 450-464.
- FORNÓS, J.J. & POMAR, L. (1983): Mioceno Superior de Mallorca: Unidad Calizas de Santanyi (Complejo Terminal). In: *El Terciario de las Baleares*. Guía de la Excursiones del X Congreso Nacional de Sedimentología. Menorca.
- FORNÓS, J.J.; RODRÍGUEZ-PEREA, A. & ARBONA, J. (1986/87): Brechas y paleokarst en los depósitos jurásicos de la Serra de Tramuntana de Mallorca. *Acta Geológica Hispánica*. 21-22: 459-468.
- FORNÓS, J.J.; RODRÍGUEZ-PEREA, A. & SÀBAT, F. (1984): El Mesozoico de la Serra de Son Amoixa (Serres de Llevant, Mallorca). *1er Congreso Español de Geología*. 1: 173-185.
- GELABERT, B. (1998): *La estructura geológica de la mitad occidental de la isla de Mallorca*. Memorias del Instituto Tecnológico Geominero de España. 129 p.
- GELABERT, B.; FORNÓS, J.J.; PARDO, J.E.; ROSSELLÓ, V.M. & SEGURA, F. (2005): Structurally controlled drainage basin development in the south of Menorca (Western Mediterranean, Spain). *Geomorphology*, 65: 139-155.
- GELABERT, B.; SÀBAT, F. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1992): A structural outline of the Serra de Tramuntana of Mallorca (Balearic Islands). *Tectonophysics*. 203 :167-183.

- GIBBONS, W. & MORENO, T. (2002): *The Geology of Spain*. The Geological Society, London, pp. 649.
- GÍMÉNEZ, J.; FORNÓS, J.J. & GELABERT, B. (2002): Análisis de la fracturación de los materiales calcáreos neógenos de la costa sudoriental de Mallorca. *Geogaceta*, 31: 91-94.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1995): Les formes exocàrstiques de l'illa de Mallorca / The exokarstic landforms of Mallorca island. In: GINÉS, A. & GINÉS, J. (eds.) *El carst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. Endins, 20 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 3: 59-70. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (2009): Mid-mountain karrenfields at Serra de Tramuntana in Mallorca Island. In: GINÉS, A.; KNEZ, M.; SLABE, T. & DREYBRODT, W. (eds.) *Karst rock features. Karren sculpturing*. Zalozba ZRC. Institut za raziskovanje kraska ZRC SAZU, Postojna. Carsologica, 9: 375-390. Ljubljana, Eslovènia.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (2011): Classificació morfològica de les cavitats càrstiques de les Illes Balears. *Endins*, 35.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; GRÀCIA, F. & MERINO, A. (2008): Noves observacions sobre l'espeleogènesi en el Migjorn de Mallorca: Els condicionants litològics en alguns grans sistemes subterranis litorals. *Endins*, 32: 49-80. Palma de Mallorca.
- GÓMEZ, D. (1987): *Estratigrafia física y petrología sedimentaria del Pérmico y Buntsandstein de la isla de Menorca*. Tesis de Licenciatura. Inédito. UAB, Depto. Estratigrafía y Geología Histórica. 117 p.
- GÓMEZ-PUJOL, L. & FORNÓS, J.J. (2009): Coastal karren in the Balearic islands. In: GINÉS, A.; KNEZ, M.; SLABE, T. & DREYBRODT, W. (Eds.), *Karst rock features – karren sculpturing*, ZRC Publishing, Ljubljana, 40: 487-502.
- GUTSCHER, M.A.; MALOD, J.; REHAULT, J.P.; CONTRUCCI, I.; KLINGELHOEFER, F.; MENDES-VICTOR, L. & SPAKMAN, W. (2002): Evidence for active subduction beneath Gibraltar. *Geology*, 30: 1071-1074.
- MATAILLET, R. & PECHOUX, J. (1978): *Étude géologique de l'extrémité occidentale de la Sierra Nord de Majorque*. Tesis Doctoral, Univ. Franche-Comté.
- MERINO, A.; MULET, A.; MULET, G.; CROIX, A. & GRÀCIA, F. (2008): La Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca) alcanza los 55 kilómetros de desarrollo topográfico. *Endins*, 32: 33-42. Palma de Mallorca.
- MIR, F. & TRIAS, M. (1973): Sobre el karst de la Cova de sa Campana i les seves concrecions excèntriques. *III Simposium Espeleologia*. Escola Catalana d'Espeleologia - Agrupació Científic Excursionista de Mataró. 53-70. Mataró, Barcelona.
- OBRADOR, A. (1972): *Estudio estratigráfico y sedimentológico de los materiales miocénicos de la isla de Menorca*. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona.
- OBRADOR, A. (1998): Un cap d'ull a la geologia menorquina. In: FORNÓS, J.J. (ed.), *Aspectes geològics de les Balears*. Universitat de les Illes Balears, p. 39-66.
- OLIVET, J.L.; BONNIN, J.; BEUZART, P. & AUZENDE, J.M. (1984): *Cinématique de l'Atlantique nord et central*. In: Rapports scientifiques. CNEX, O. 108 pàgs. Paris.
- POMAR, L.; RODRÍGUEZ-PEREA, A.; SÀBAT, F. & FORNÓS, J.J. (1990): Neogene stratigraphy of Mallorca Island. In: AGUSTÍ, J.; DOMENEC, R.; JULIÀ, R. & MARTINELL, J. (Eds.): Iberian Neogene Basins. Field Guidebook. *Paleontologia i Evolució (Mem. Esp.)*. 2: 271-320.
- RAMOS-GUERRERO, E. (1988): *El Paleógeno de las Baleares: Estratigrafía y Sedimentología*. Tesis Doctoral, Univ. Barcelona, 212 p.
- RAMOS-GUERRERO, E.; BERRIO, I.; FORNÓS, J.J. & MORA-GUES, L. (1994): The Middle Miocene Son Verdera lacustrine-palustrine system (Santa Margalida Basin, Mallorca, NW Mediterranean). In: *Lake basins through space and time* (GIERLOWSKI-KORDESCH, E.H. & KELT, K. eds.), Global Geological Record and Lake Basins (IGCP Project 324), AAPG, Studies Geol., 46: 441-448.
- RAMOS-GUERRERO, E.; MARZO, M.; POMAR, L. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1985): Estratigrafia y sedimentologia del Paleógeno del Sector Occidental de la Sierra Norte de Mallorca. *Rev. d'Invest. Geol.* 40: 29-63.
- RAMOS-GUERRERO, E.; RODRÍGUEZ-PEREA, A.; SÀBAT, F. & SERRA-KIEL, J. (1989): Cenozoic tectosedimentary evolution of Mallorca island. *Geodinamica Acta*, 3 (1): 53-72.
- RANGHEARD, Y. (1972): *Étude géologique des îles d'Ibiza et de Formentera (Baléares)*. Memorias del IGME, 82, 340 pp. Madrid.
- RANGHEARD, Y. (1984): The geological history of Eivissa and Formentera. En: Khubier, H., Alcover, J.A. y Guerau d'Arellano Tur (eds.), *Biogeography and Ecology of the Pityusic Islands*, 3: 25-104.
- ROCA, E. & VERGES, J. (1989): Estudio de la evolución neógena del sector suroccidental de la Serra de Tramuntana (Mallorca). 51. *Geol. Miner. C* (5) : 842-852.
- ROCA, E. (1992): *L'estructura de la Conca Catalano-Balear: Paper de la compressió i de la distensió en la seva gènesi*. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. 2 vols. 330 pàgs. 206 figs.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. & GELABERT, B. (1998): Geologia de Mallorca. In: FORNÓS, J.J. (ed.), *Aspectes geològics de les Balears*. Universitat de les Illes Balears, p. 11-38.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. & POMAR, L. (1983): El Mioceno de la Sierra Norte de Mallorca (Sector Occidental). *Acta Geológica Hispànica*. 18: 105-116.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. & RAMOS-GUERRERO, E. (1984): Presencia de Paleozoico en la Sierra de Tramuntana (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat Balears*, 28: 145-148.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1992): Geologia de Mallorca. *Gran Enciclopèdia de Mallorca*, 8: 225-238.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A.; RAMOS-GUERRERO, E.; POMAR, L.; PANIELLO, X.; OBRADOR, A. & MARTÍ, J. (1987): El Triásico de las Baleares. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 11: 295-321.
- ROSELL, J. & ELÍZAGA, E. (1989): Evolución tectosedimentaria del Paleozoico de la isla de Menorca. *Bol. Geol. y Min.*, 100: 193-204.
- ROSELL, J. & LLOMPART, C. (2002): *Guia de Geologia Pràctica. El naixement d'una illa. Menorca*. Institut Menorquí d'Estudis. 279 pp.
- SÀBAT, F. (1986): *Estructura geològica de les Serres de Llevant de Mallorca (Balears)*. Tesis Universitat de Barcelona, 128 pàgs. 2 vols.
- SIMA, A. & RAMON, X. (1986): Análisis sedimentológico y descripción de las secuencias deposicionales del Neógeno postorogénico de Mallorca. *Boletín Geológico y Minero*, 157: 445-472.
- SPAKMAN, W. & WORTEL, R. (2004): A tomographic view on Western Mediterranean geodynamics. In: CAVAZZA, W.; ROURE, F.; SPAKMAN, W.; STAMPFLI, G.M. & ZIEGLER, P. (Eds.), *The TRANSMED Atlas*, 31-52.
- TRIAS, M. (1983): *Espeleologia de les Pitiüses*. Institut d'Estudis Eivissencs. Estudis breus, 2. 59 pàgs. Eivissa.
- VERA, J.A. (ed.) (2004): *Geología de España*. Sociedad Geológica de España, Instituto Geológico y Minero de España, pp. 884.