

MORFOLOGIA COSTANERA I PROCESSOS LITORALS

El paper de la fracturació i el carst

Joan J. Fornós

Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears

INTRODUCCIÓ

La línia de costa és l'ambient en què es confronten la mar (medi líquid) i la terra (medi sòlid), sota la presència de la capa atmosfèrica (medi gasós). Els tres medis experimenten dinàmiques pròpies molt diferents i variables en el temps, la qual cosa provoca que la línia de costa estigui en continuus evolució i canvi, per tal de mantenir el punt d'equilibri entre els diversos medis. El resultat d'aquest procés continu de canvi, i l'acció dels diferents processos que hi actuen, queden reflectits en la geomorfologia de la zona litoral. Podem, doncs, considerar la costa com un sistema geomorfològic dinàmic en el qual les formes resultants corresponen a la interacció de processos físics, entre els que inclouríem tant els hidrodinàmics com els aerodinàmics, i els processos químics (bàsicament la dissolució), condicionats en darrer terme pel substrat (la litologia, l'estructura i textura del rocam) i la biota.

Encara que la definició àmplia de costa correspon a tota l'àrea d'interacció entre els processos marins i terrestres (Woodroffe, 2003), el present treball focalitza només allò que denominam línia de costa, és a dir la franja de separació entre ambdós medis.

Tractarà de la morfogènesi del paisatge costaner com a resposta als processos que actuen sobre els materials.

Si ens centram a l'illa de Menorca i n'observem un mapa geològic (Fornós i Rosselló en aquest mateix volum), veurem que més de la meitat de l'illa està ocupada per roques carbonatades; i si, de més a més, ens centram a l'àrea d'estudi que fa referència al Migjorn, comprovarem que en la seva totalitat la línia de costa està formada per aquest tipus de roques, amb la seva gran variabilitat de calcàries i calcarenites.

Les roques carbonatades són roques que podem considerar "dures" i, per tant, podem deduir que, a grans trets, són resistents a l'erosió produïda pels processos físics. Això fa preveure que la forma més característica del litoral correspongui al penya-segat. La variabilitat de formes de penya-segat vindrà donada pels aspectes geològics, tant de tipus sedimentològic com de caire tectònic, molt especialment. Per altra banda, tenint en consideració que ens trobam en una zona de clima temperat i amb una pluviometria estacional més o menys regular, comprendrem fàcilment que un dels processos més importants del modelat de l'illa, i concretament del Migjorn, correspongui al modelat càrstic (García Senz, 1985; Fornós, 2003; Ginés i Fornós, en aquest mateix volum).

El present treball se centrarà en la descripció del litoral rocós, i molt més concretament en el paper que juguen la fracturació i els processos càrstics (i d'altres associats) en el modelat de la línia de costa. Altres aspectes d'interès i relacionats amb la costa, com és el



Fig. 12.1. Aspecte de la variabilitat litològica (a baix: Unitat Inferior de Barres; a dalt: Unitat d'Esculls) en els penya-segats del Migjorn. Observi's la relació entre fracturació, conductes freàtics i dinàmica marina.

fet de les cales i el litoral (Rosselló, 2004 en aquest mateix volum) o els dipòsits eòdics i sistemes dunars i les platges, relacionats amb la costa baixa (Servera i Riquelme, 2004 en aquest mateix volum), són tractats amb major profunditat en altres capítols d'aquest mateix llibre. S'emfatitzarà, doncs, el paper que han tingut i segueixen tenint en l'actualitat els processos càrstics, tant els relacionats amb l'endocarst com amb l'exocarst en el modelat litoral del Migjorn, on les litologies carbonatades, tant de calcàries, calcarenites com calcisiltites hi són omnipresents, sempre sota el condicionant de l'estructura tectònica, la fracturació i el diaclasament. Finalment és proposa un model evolutiu, tenint en consideració el factor temps, que posa de manifest la forta interacció i el condicionament del litoral amb l'oscil·lació del nivell de la mar des del Miocè superior i, molt especialment, durant els temps plistocènics.

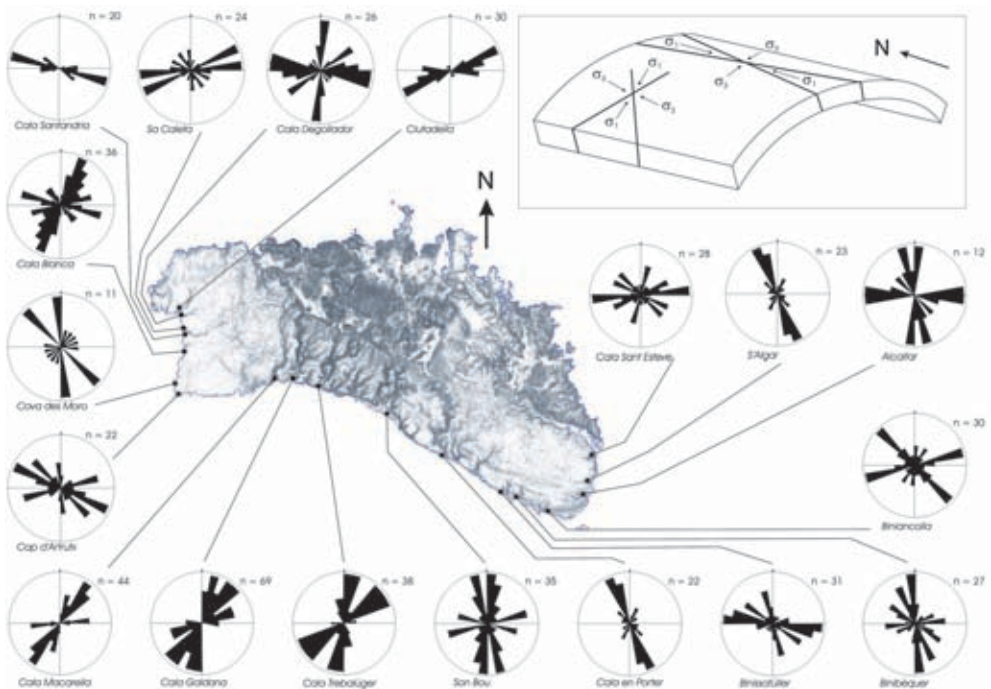


Fig. 12.2. Principals orientacions de la fracturació amb indicació del model teòric de fracturació en un anticlinal lax (modificat de Gelabert, 2003).

ELS CONDICIONANTS DE BASE: LITOLOGIA I FRACTURACIÓ

Qualsevol procés geomòrfic requereix un substrat material, de manera que les característiques mineralògiques i, sobretot, texturals de la roca condicionen en primer grau les formes resultants. A això, hi hem d'afegir la fracturació, o trencament en general de la roca, que donarà els punts de debilitat per on incidirà preferentment l'acció erosiva dels processos físics, i a la llarga condicionarà també l'acció dels processos càrstics o de dissolució, per la circulació preferent que aprofitarà aquests punts o línies.

La litologia

Com ja hem comentat, la totalitat dels materials que afloren a la zona costanera i que formen els penya-segats del Migjorn de Menorca corresponen a roques carbonatades atribuïdes al Miocè superior (Pomar *et al.*, 2002). Presenten una àmplia varietat textural, que abasta calcàries, calcarenites i calcisiltites en una alternança i disposició complexa, fruit de la història sedimentològica i de l'ambient deposicional a què corresponen (Fig. 12.1). Encara que Obrador i Pomar (2004 en aquest mateix volum) descriuen unitats més nombroses i més detallades, per als nostres propòsits només en considerarem dues, la Unitat Inferior de Barres i la Unitat d'Esculls, que són les que afecten a la major part del litoral.

La UNITAT INFERIOR DE BARRES (UIB), que és la inferior, correspon a un ambient de rampa progradant que està compost per unes fàcies bioclàstiques, el component majoritari i quasi únic de les quals, són les algues vermelles o coral·linàcies. Aquestes fàcies es disposen en capes molt marcades que mostren de forma monòtona un suau capbussament deposicional en direcció sud. Puntualment la inclinació pot ser més marcada per la presència de barres tractives que acusen laminació interna. La litologia pertany a una alternança de calcarenites i calcisiltites. Les textures predominants són *packstones* i *grainstones*, localment *rudstones*, amb una intensa bioturbació.

La UNITAT D'ESCULLS (UE), que és la superior i es disposa sempre damunt l'anterior, correspon a un ambient de plataforma de progradació escullosa amb unes característiques litològiques molt similars a l'anterior on, encara que hi predominin les calcarenites, també hi són presents les calcisiltites i les calcàries. Aquestes fàcies són molt variables ja que depenen del subambient deposicional. Poden presentar una gamma variada de cossos bioconstruïts per coralls que, de més a més de les textures anteriors, deixen veure textures *rudstone* i *framestone*. D'aspecte en general més massiu, poden presentar també marcades laminacions, en el cas de fàcies atribuïdes a talusos que capbussen cap a mar una desena de graus.

La fracturació

Els materials del Migjorn de Menorca, com la resta de materials del Miocè superior de les illes Balears, són postorogènics i, com a conseqüència, no han sofert una deformació compressiva important; aquesta només afecta a la zona de Tramuntana en la qual es reconeix un sistema d'encavalcaments (Roca, 1992) emplaçats amb anterioritat a la deposició dels materials del Miocè que constitueixen el Migjorn (Rosell i Llompart, 2002).

Els materials miocènics del Migjorn estan afectats per dos sistemes de fracturació extensiva (Bourrouilh, 1983; Roca, 1992; Rosell i Llompart, 2002), un d'orientació general NW-SE, de salt superior a l'ordre decamètric i una llargària quilomètrica, amb un capbussament preferent vers el SW; i un segon sistema de direcció N-S dins el que destacaria la falla de Santa Eulàlia-Son Bou. Aquesta fractura extensiva d'edat miocènica, que hauria rejugat de forma compressiva durant el Plio-Quaternari (inversió tectònica), seria la responsable de la formació d'un anticlinal molt obert amb eix N-S que constituïria l'estructura general del Migjorn (Gelabert, 2003). Associades amb aquesta estructura, en resulten tot un seguit de fractures, o més ben dit diàclasis, amb una orientació variable d'acord amb la disposició del plec. Així, en els sectors oriental i occiden-

tal, la direcció predominant de la fracturació és E, ENE o ESE; mentre que al sector central hi predominen les direccions N, NNE i NNW, que clarament correspondrien a l'associació de fracturació ideal d'un anticlinal suau (Fig. 12.2).

A part d'això, s'ha de destacar la fracturació paral·lela a la línia de costa, responsable de la formació de bona part dels penya-segats i dels grans trets morfològics que l'afecten. Per això són freqüents als extrems oriental i occidental de l'illa les direccions N i NNE. Cal esmentar també els traçats rectilinis i en escaire de la costa de Ciutadella, que correspondria a aquests sistemes, o el traçat en forma de semicercle del prat de Son Bou, característic de falles extensionals (*rollover*).

EL MACROMODELAT

Consideram com a formes del macromodelat litoral aquelles que tenen ordres de magnitud d'hectòmetres a alguns quilòmetres. La característica més visible i monòtona de la

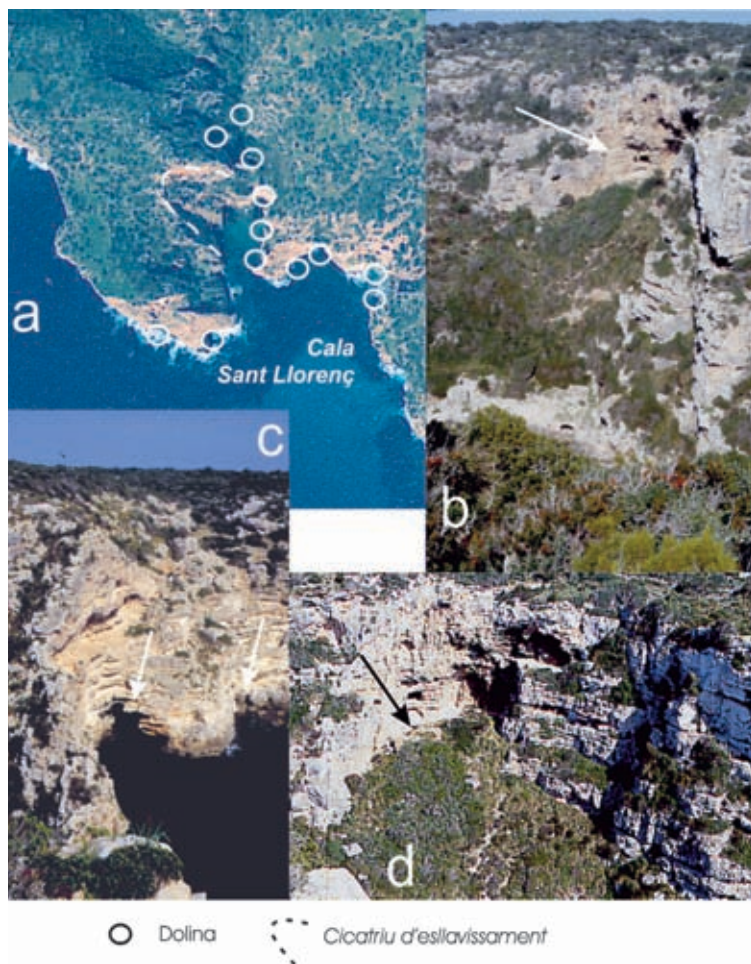
costa del Migjorn de Menorca són els penya-segats que limiten la plataforma carbonatada miocènica a vorera de mar i que estan tallats per profundes incisions (denominades *barrancs*) que acaben en la típica forma de cala (Rosselló *et al.*, 1997; Rosselló, 2003 i 2004 en aquest mateix volum) (Fig 12.3).

L'origen de les cales s'ha associat tradicionalment a la incisió fluvial del darrer estadi glacial que, amb la posterior pujada del nivell de la mar durant l'Holocè, crearia un ambient d'estuari envoltat de penya-segats (Penck, 1894). Una observació acurada mostra que hi ha una varietat morfològica molt gran en el desenvolupament de les cales. Malgrat el decisiu paper de la fracturació (Rosselló *et al.*, 1997), tant en la linealitat del litoral com en el recorregut dels torrents i el traçat d'aquestes cales, s'ha de postular algun altre procés que contribueixi al desenvolupament i evolució, tant dels torrents com de les cales, per a explicar la major part de la variabilitat morfològica. Aquest procés implicaria la proposta d'un model en el qual el carst exerceix un paper



Fig. 12.3. Típica forma de cala amb parets empinades en la desembocadura del barranc de Cala en Porter.

Fig. 12.4. Cala de Sant Llorenç. (a) Vista en planta amb la localització de les dolines i dels principals esllavissaments; (b) esllavissament relacionat amb fracturació; (c) col·lapse de dolines relacionades amb conductes freàtics; (d) cicatriu d'esllavissada.



fonamental (Rosselló *et al.*, 2002; Fornós, 2003). Descriurem a continuació dos exemples d'aquest model, en dos estadis evolutius diferents, un inicial (cala de Sant Llorenç) i un altre ja plenament desenvolupat (cala Galdana), per a incidir finalment en el model evolutiu que es proposa.

Cala de Sant Llorenç

El cas de la cala de Sant Llorenç marcaria l'estadi primerenc de formació d'una cala i barranc associat (torrent de Torrevella). Consisteix en una cala molt poc desenvolupada

en la qual manca el sistema sedimentari platja-duna-albufera. La platja, de més a més, es caracteritza per l'acumulació de material guixat, conseqüència del caràcter esquerp del paisatge envoltant. Es tracta d'un penya-segat important, tallat per un barranc que té un pendent força elevat i molt poc desenvolupament horitzontal, amb un traçat meandritzant molt tancat i on les parets, quasi verticals, presenten formes còncaves molt penetrants i lligades amb el mateix traçat tortuós del torrent. Aquestes formes còncaves mostren senyals inequívocs de processos de desmantellament gravitacional recents,

amb cicatrius delapcionals i amb acumulació de grans blocs a la seva base (Fig. 12.4). La forma i el traçat de les parets estan relacionats amb les direccions de fracturació i diaclasament.

En diversos sectors de la costa es pot observar tot un seguit de conductes freàtics, lligats al nivell actual de la mar, que coincideixen amb punts de debilitat estructural i que en bona part se relacionen amb la formació de dolines. En ser capturats per la mar, els conductes i les cavitats originàries subjacents, es degué provocar el col·lapse de les parets, afavorit pel diaclasament vertical, tot generant formes excavades als penya-segats de tipus còncav, i donant lloc, de forma repetitiva i coalescent, al retrocés del penya-segat. El procés fluvial iniciaria aquí la seva incisió.

Cala Galdana

Cala Galdana és un cas típic de cala totalment desenvolupada. Lligada a un torrent (barranc d'Algendar), presenta un clar aspecte de desembocadura fluvial (avui en dia artificial) amb un fons pla, conseqüència del rebliment sedimentari de la darrera transgressió flandriana (Fornós *et al.*, 1998) en un ambient d'albufera similar a l'actual.

La forma de la cala és circular (lleugerament el·líptica) amb unes parets verticals que la delimiten, tot mostrant formes còncaves que es van succeint amb continuïtat i amb una certa regularitat. Aquestes formes es repeteixen, tant al tram final del barranc, com aigües amunt, on estan realçades per la trajectòria meandritzant del torrent. Les formes còncaves localitzades a les parets verticals coincideixen amb zones de fracturació vertical de direccions aproximades NNE-SSW i que aprofiten enfonsaments de tipus càrstic (Fig. 12.5).

Aquests enfonsaments vénen controlats pel desenvolupament de dolines amb conductes verticals a favor de la fracturació que es relacionen amb conductes freàtics horitzontals situats al nivell de la mar. El tipus i la morfologia dels enfonsaments esdevé especialment visible a l'actual línia de costa on la seva trajectòria, de més a més, hi fa molt

palès el paper de la fracturació i el seu control en la distribució dels enfonsaments (Rosselló *et al.*, 2002).

Model d'evolució

Cala de Sant Llorenç i cala Galdana representen dos estadis evolutius, inicial i ja desenvolupat o madur, respectivament, de la formació d'un tipus característic de cala en què el procés càrstic, el modelat fluvial, l'estructura i la dinàmica marina actuen en una interacció total.

La presència de cavitats càrstiques relacionades amb la morfogènesi litoral és un fenomen conegut a les illes Balears (Ginés, 2000) on ha despertat darrerament molt d'interès científic per diversos motius. L'exploració subaquàtica de diverses cavitats (Gràcia *et al.*, 2000) ha posat de manifest tota una sèrie de conductes i cavitats que segueixen un traçat paral·lel a la actual línia de costa, així com conductes que ressegueixen la llera dels torrents a una certa profunditat. Aquesta disposició, coneguda i descrita en altres zones, especialment tropicals (Whitaker i Smart, 1990; Mylroie i Carew, 1990), és deguda a la dissolució preferent que té lloc en els aqüífers marins carbonatats litorals en la zona propícia a la mescla d'aigües (Smart i Whitaker, 1991). En conseqüència, a la zona costanera s'hi desenvolupa tot un seguit de cavitats que se relacionen amb la falca d'intrusió marina, localitzades de forma paral·lela a la costa. Aquesta intrusió evidentment presenta indentacions depenents de la dinàmica fluvial i de les variacions texturals del rocam.

El procés càrstic s'ha de relacionar forçosament amb la fracturació i/o el diaclasament. Admesa una estructuració distensiva a la zona central del Migjorn de Menorca, perpendicular a la línia de costa (Gelabert, 2003), aquella ha afavorit la circulació i per tant la dissolució, en direcció a terra, gràcies a la canalització preferent del flux a través de la discontinuïtat que representen aquestes fractures (Back *et al.*, 1984). La digitació de les cavitats càrstiques per aquest mecanisme debilita la roca i afavoreix l'activitat erosiva marina amb

la conseqüent captura de les cavitats i els conductes per la mar, donant lloc a l'inici i desenvolupament d'entrades marines que podrien acabar en cales. Al cas del Migjorn, sembla clar que bona part de la formació de les cales té molt a veure amb l'aprofitament de conductes i cavitats freàtiques.

Els conductes freàtics es formen seguint el pendent deposicional dels materials calcarenífics miocènics per dissolució preferent (alternança amb nivells més lutítics, més impermeables) a través del diaclasament ver-

tical i assoleixen el màxim desenvolupament en moments d'estabilització marina del Plio-Quaternari. La variabilitat glacioeustàtica d'aquest període donaria lloc a la superposició de nivells de dissolució, localitzats a cotes diferents, que afavoririen la formació de canyons càrstics, depressions o dolines i el seu col·lapse, probablement a causa de la pèrdua de suport hidràulic en episodis regressius (sobretot en penya-segats d'una certa altària). El mecanisme de formació no seria únic, sinó que el resultat final correspondria a una

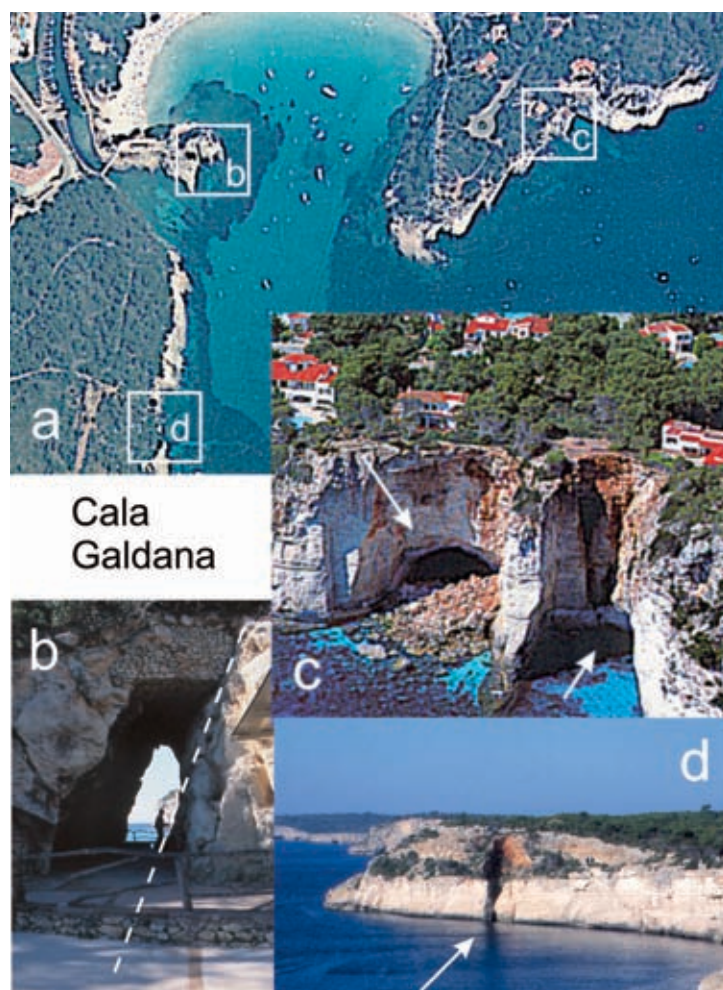


Fig. 12.5. Visió aèria de cala Galdana amb les característiques càrstiques associades. (b) conducte freàtic dependent de la fracturació; (c) dolines de col·lapse relacionades amb conductes freàtics; (d) incidència de la fracturació en la localització dels processos càrstics.

munió i interacció de processos (entre ells el fluvial) i formes que derivarien en la formació de la cala i barranc associat (Fig. 12.6).

Així, les etapes regressives implicarien el col·lapse i l'acceleració dels processos de desmantellament, mentre que durant els episodis transgressius es produiria la invasió per part de la mar de les zones més deprimides provocant de més a més el rebliment dels barrancs (Fornós *et al.*, 1998 i aquest mateix volum). La forma final de planta circular o el·líptica de les cales, així com el límits de les parets verticals que les envolten i també les dels principals barrancs del Migjorn, donen suport a una interpretació genètica remarcadament càrstica amb formació i enfonçament de cavitats i conductes. Cal dir, tanmateix, que la forma resultant no és exclusiva, sinó

que hi ha una gran variabilitat, fruit de la combinació amb els processos fluvials, la dinàmica marina, l'estructuració tectònica, l'alternança textural litològica i l'evolució quaternària del nivell de la mar.

EL MESOMODELAT

Hem englobat aquí com a mesomodelat del litoral tot el conjunt de formes litorals d'ordre decamètric i que, en molts casos, pot correspondre a l'estadi inicial de desenvolupament del macromodelat i/o la seva expressió, en penya-segats de petita o mitjana escala. També, en aquest cas, diferenciam les formes condicionades per la fracturació i/o el diaclasmament i pels processos de dissolució càrstica.

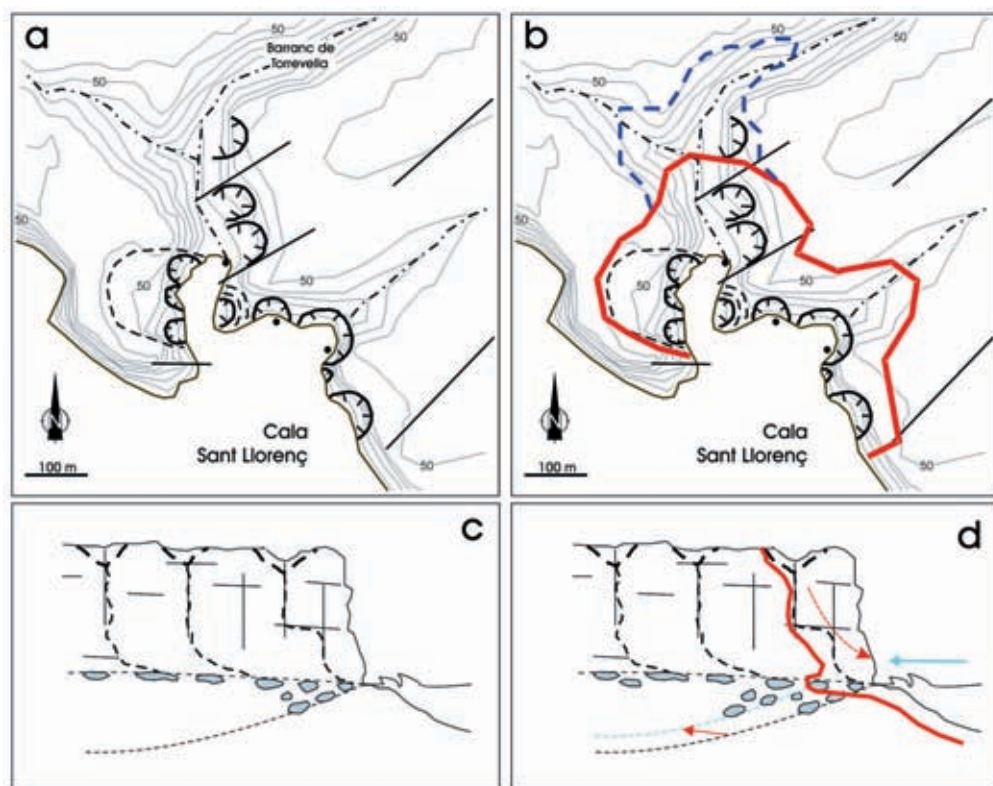


Fig. 12.6. Model evolutiu de formació d'una cala a partir de la convergència dels processos càrstics, fluvials i la dinàmica marina. Vista en planta de l'estadi inicial (a) i més evolucionat (b) i secció ideal (c) i (d) respectivament.

Fig. 12.7. La fracturació i els materials presents condicionen i propicien el modelat del litoral (a: cala Mitjana; b: Atàlitx) per l'acció de la dinàmica marina.



La freqüent presència de dos sistemes de fracturació, aproximadament perpendiculars i de direccions variables al llarg de tota la costa del Migjorn, com s'ha comentat abans, explica que bona part dels penya-segats mostri un traçat en ziga-zaga, degut al desmantellament preferencial mecànic, produït per l'acció marina en la conjunció dels sistemes de diaclasma (Fig. 12.7a). Aquest fet s'acusa especialment a la costa meridional on els penya-segats verticals no assolixen gaire altària. Les parets verticalitzades en continuïtat longitudinal rarament superen el centenar de metres; el trencament i l'esllavissada pel pla de diaclasma

ment hi deixa un pla net. A la vegada, allà on les fàcies aflorants corresponen a la Unitat Inferior de Barres, més fàcilment erosionables per l'acció marina, la incisió preferent afavoreix formes més arrodonides i en general, d'aspecte més caòtic (Fig. 12.7b).

A part de l'empremta de la fracturació, allà on la costa rocosa és relativament baixa (normalment, 4 o 5 m) i sovint esglaonada, es comprova la reiterada acció indirecta del carst. Es tracta d'una línia de costa més o menys rectilínia però que, a escala decamètrica-hectomètrica, és molt irregular formant entrades i sortides a mode de cales i caps.

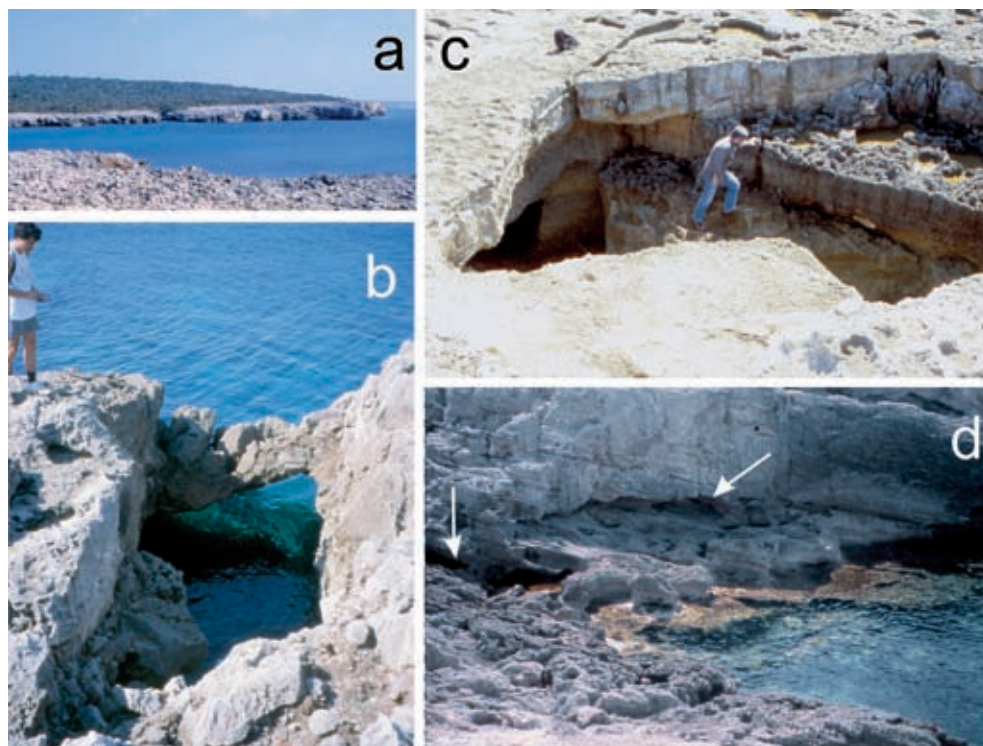


Fig. 12.8. Els fenòmens càrstics són omnipresents a mesoescala (a: aspecte del litoral a la cala des Talaier; b: fractura, conducte càrstic i col·lapse; c: col·lapse de cavitats; d: captura de conductes freàtics).

Aquest tipus molt característic de formes, per exemple al tram comprès entre el cap d'Artrux i l'arenal de Son Saura, vindria donat per la dissolució preferent a la zona de mescla de l'aigua freàtica amb la de mar, amb formació de cavitats relacionades amb aquest nivell, paral·leles a la línia de costa. L'abundància de fractures o diàclasis facilitaria el flux d'aigües freàtiques i crearia una xarxa arborescent de conductes cap a la direcció marcada per la direcció estructural. L'activitat dinàmica marina, amb posterioritat, excavaria i capturaria aquestes cavitats i produiria el fistoneig amb una evolució similar a l'exposada per Back *et al.* (1984). El model d'evolució seria, a una altra escala, similar al descrit per al macromodelat.

La interacció entre la fracturació i el carst és també perceptible quan bona part dels con-

ductes freàtics, localitzats a l'actual nivell marí i que empren la fracturació preexistent, conflueixen a la línia de costa on la dinàmica marina n'aprofita la debilitat. En aquest cas s'obrin concavitats, en general de poca importància, que puntualment arriben a formar ponts (especialment si hi ha captura de cavitat càrstica), bufadors o altres singularitats (Fig. 12.8).

EL MICROMODELAT

Finalment cal considerar dins la morfologia litoral tot aquell seguit de formes (microformes) d'ordre mètric o inferior desenvolupades per processos de meteorització sobre les roques carbonatades en les quals la dissolució, juntament amb l'activitat biològica, hi té un paper primordial. Aquestes formes que són

molt freqüents quan la costa rocosa conté plataformes, replans o bé penya-segats de poca altària, s'engloben dins del denominat *karren* (lapiaz o rascler) litoral (Ginés, 2000; Gómez-Pujol, 2001). Hi entren totes aquelles formes, microformes i conjunts de microformes (Fig. 12.9) que es desenvolupen sobre la costa rocosa des de la zona supralitoral (on l'influx marí remodelaria la formació del criptolapiaz) a la intermareal o mesolitoral i infralitoral (on hi hauria un predomini dels processos marins).

Totes les formes del karren, al qual no entrarem (vegeu Gómez-Pujol i Fornós en aquest mateix volum), experimenten un procés genètic molt complex al que intervenen, a part de la dissolució, d'altres processos com l'acció física de l'onatge, l'acció fisicoquímica de l'espri marí i, sobretot, l'activitat biològica (Viles, 1988). Donat el gradient perpendicular a la

línia de costa de tots aquests processos, la disposició de les formes hi mostra un clar paral·lelisme i s'estableix una clara zonació, només trencada puntualment en la vertical, per la presència de microhàbitats condicionats per la freqüència de diàclasis.

L'existència d'aquestes microformes depèn de la disposició general de la costa rocosa i de la presència o absència de penya-segats. Així, el seu major desenvolupament es dona a tota la zona del Migjorn, tant sobre les calcarenites miocèniques com sobre els escadussers afloraments d'eolianites plistocèniques. El paper més remarcable correspon als sectors occidental i oriental, coincidint amb les cotes més baixes dels penya-segats, mentre que al sector central, ja sia per una composició més lutítica (calcisiltites) ja sia per la verticalitat d'ordre decamètric, és tan sols testimonial.

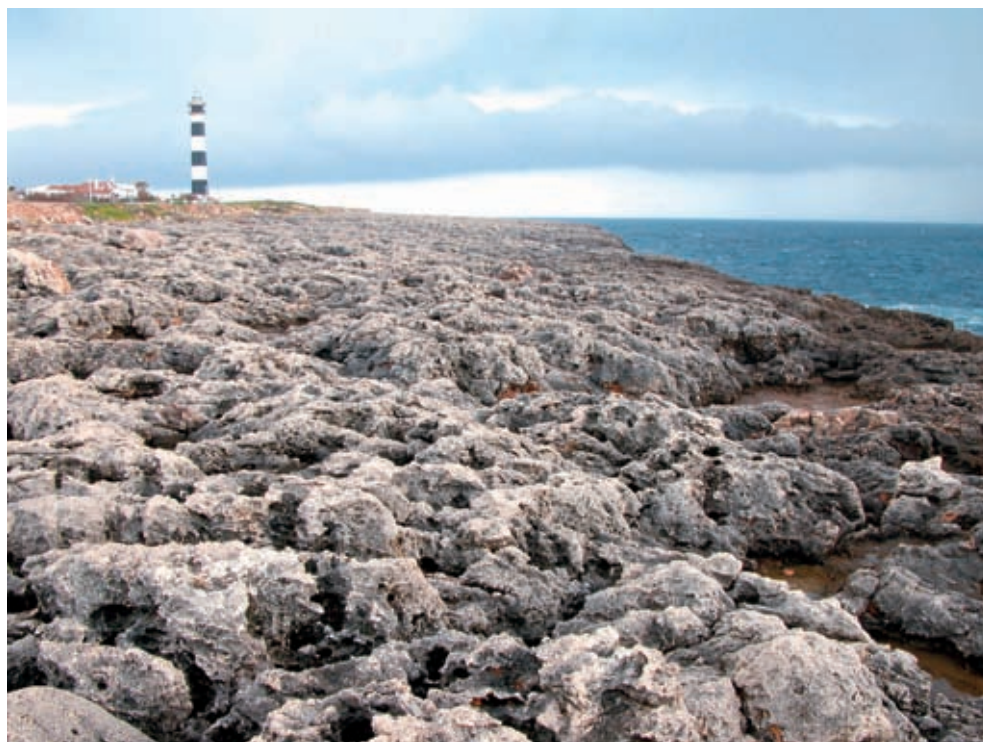


Fig. 12.9. Karren o lapiaz litoral ben desenvolupat sobre la Unitat d'Esculls a la zona del cap d'Artrutx.

Agraïments

El present treball és una contribució al projecte de la Direcció General d'Investigació del Ministeri de Ciència i Tecnologia BTE2002-04552-C03-02: "El modelado kárstico y la evolución morfológica y sedimentaria del litoral en las Baleares, Valencia y Cerdeña, como resultado de las oscilaciones del nivel marino".

BIBLIOGRAFIA

- BACK, W., HANSHAW, B.B. i VAN DRIEL, J.N. (1984): Role of groundwater in shaping the Eastern Coastline of the Yucatan Peninsula, Mexico. En: La Fleur, R.G. (ed.) *Groundwater as a Geomorphic Agent*. Allen and Unwin, Inc. London. The Binghamton Symposia in Geomorphology: International Series, 13(12): 281-293.
- BOURROUILH, R. 1983. Stratigraphie, sédimentologie et tectonique de l'île de Minorque et du Nord-Est de Majorque (Baléares). La terminaison Nord-orientale des Cordillères Bétiques en Méditerranée occidentale. In : *Memorias del Instituto Geológico y Minero de España*, 99. 672 pp.
- FORNÓS, J.J. 2003. El karst y la evolución del litoral del Migjorn de Menorca. A: Rosselló, V.M., Fornós, J.J. i Gómez-Pujol, Ll. (editores), *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. AGE, Universitat de València – Societat d'Història Natural de les Balears, 8: 101-110.
- FORNÓS, J.J., FUMANAL, M.P., PONS, G.X., BARÓN, A., FORNÉS, A., PARDO, J.E., RODRÍGUEZ-PÉREA, A., ROSSELLÓ, V.M., SEGURA, F., i SERVERA, J. 1998. Rebliment holocènic de la vall incisa del barranc d'Algendar (Cala Galdana, sud de Menorca, Mediterrània occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 41: 173-189.
- GARCÍA SENZ, J.M. 1985. *Estudio geomorfológico del karst del Migjorn menorquín*. Tesis de Llicenciatura. Departament de Geodinàmica Externa e Hidrogeologia. Universitat Autònoma de Barcelona, 51 pp. Inèdita.
- GELABERT, B. 2003. La estructura geològica de Menorca. Las zonas de Tramuntana y Migjorn. A: Rosselló, V.M., Fornós, J.J. i Gómez-Pujol, Ll. (editores), *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. AGE, Universitat de València – Societat d'Història Natural de les Balears, 8: 39-48.
- GINÉS, J. 2000. *El karst litoral en el Levante de Mallorca; una aproximación al conocimiento de su morfogénesis y cronología*. Tesis doctoral. Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Inèdita.
- GÓMEZ-PUJOL, LL. i FORNÓS, J.J. 2001. Les microformes de meteorització del litoral calcari de Mallorca: Aproximació a la seva sistematització. *Endins*, 24: 169-185.
- GRÀCIA, F., CLAMOR, B. i LAVERGNE, J.J. 2000. Les coves de Cala Varques (Manacor, Mallorca). *Endins*, 23: 41-57.
- MYLROIE, J.E. i CAREW, J.L. 1990. The flank margin model for dissolution cave development in carbonate platforms. *Earth Surface Processes and Landforms*. 15: 413-424.
- PENCK, A. 1894. *Morphologie der Erdoberfläch*. Engelhorn. Stuttgart.
- POMAR, L., OBRADOR, A. i WESTPHAL, H. 2002. Sub-wavebase cross-bedded grainstone on a distally steepened carbonate ramp, Upper Miocene, Menorca, Spain. *Sedimentology*, 49: 139-169.
- 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. 330 pp.
- ROSELL, J. i LLOPART, C. 2002. *El naixement d'una illa. Menorca. Guia de geologia pràctica*. Impressió Dacs, Indústria Gràfica, SA. Montcada i Reixac. 279 pp.
- ROSSELLÓ, V.M. 2003. Las calas y la costa del Migjorn. A: Rosselló, V.M., Fornós, J.J. i Gómez-Pujol, Ll. (editores), *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. AGE, Universitat de València – Societat d'Història Natural de les Balears, 8: 87-100.
- ROSSELLÓ, V.M., FORNÓS, J.J., FUMANAL, M.P., PARDO, J.E., i RODRÍGUEZ-PÉREA, A. 1997. Elementos morfogenéticos de las calas y barrancos del sur de Menorca. Dinámica Litoral, *Actas del XV Congreso de Geógrafos Españoles, Santiago, 15-19 Set*. Universidad de Santiago de Compostela, 1: 245-255.
- ROSSELLÓ, V.M., FORNÓS, J.J., GELABERT, B., GIMÉNEZ, J., GINÉS, J., PARDO, J.E. i SEGURA, F. 2002. El papel del karst en el macromodelado litoral: el ejemplo de las calas de las Islas Baleares. In: Carrasco, F., Durán, J.J. y Andreo, B. (Eds.) *Karst and Environment*, 329-335.
- SMART, P.L. i WHITAKER, F.F. 1991. Karst processes, hydrology and porosity evolution. In: *Palaeokarsts and Palaeokarstic Reservoirs*. (ed. V.P. Wright, M. Esteban y P.L. Smart), P.R.I.S. Occ. Publ. Series, 2: 1-54. University of Reading.
- VILES, H. 1988. *Biogeomorphology*. Blackwell. Oxford. 365 pp.
- WHITAKER, F.F. i SMART P.L. 1990. Active circulation of saline ground waters in carbonate platforms: Evidence from the Great Bahama Bank. *Geology*, 18: 200-203.
- WOODROFFE, C.D. 2003. *Coasts. Form, process and Evolution*. Cambridge University Press. 622 pp.