

## L'ACCIÓ DEL VENT

### Sistemes dunars actuals i eolianites

Jaume Servera<sup>1</sup> i Jorge Riquelme<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears

<sup>2</sup> Departament de Geografia. Universitat de València

#### INTRODUCCIÓ

Menorca és un espai insular fortament influenciat per la dinàmica eòlica: el vent penetra a l'interior d'un paisatge relativament pla, gairebé des de totes les direccions, sense trobar-hi grans barreres muntanyoses que puguin fer d'obstacle. Dins del context del Migjorn, dos aspectes principals condicionen l'acció del vent en funció dels tipus de relleu, la importància de la tramuntana i els efectes locals de canalització del flux. En el primer cas, els sectors occidental i oriental, són molt més plans, amb costes de penya-segats baixos i mitjans, sense obstacles al flux eòlic, i on es constata la importància del transport N-S de les arenes en l'actualitat (Servera, 1997). Els efectes locals de canalització del flux, dins dels profunds canyons fluvio càrstics i les cales, són molt més acusats en el sector central, on les diferències d'alçària i l'efecte barrera dels penya-segats protegeixen i desvien els fluxos amb una major eficàcia que en els sectors occidental i oriental del Migjorn.

Menorca té un clima temperat, amb una marcada estacionalitat típicament mediterrània quant a la humitat, que és menys pronunciada quant a les temperatures degut a la seva situació central dins de la conca del

Mediterrani Occidental. L'illa fa gala del tòpic de ser l'illa més ventosa de les Balears i també de ser aquella on més influeix la tramuntana sobre el desenvolupament del medi i de la vida (Jansà, 1979). Segons les dades obtingudes a les observacions de les 06, 12 i 18 h (TMG), fetes a l'aeroport de Menorca des del 1961 al 1971 (Jansà, 1979); més del 75 % de dies bufa vent, mentre que les calmes tan sols corresponen a un 23,4 % dels dies de l'any. Per al vent mitjà anual la direcció més freqüent és la de N (24,4 %), seguida de la SW (15,7 %), NE (13,8 %), W (12,1 %), etc. Pel que fa a la velocitat del vent, les més freqüents es troben en l'interval entre els 19 i 31 km/h (30,1 %), seguides per l'interval entre 12 i 19 km/h (28,2 %). Els vents forts amb velocitats entre els 30 i 50 km/h representen el 13,5 %, mentre que els vents de temporal que superen els 50 km/h només arriben al 2,2 %. Malgrat que en qualsevol velocitat predomina la direcció N, aquesta destaca en els vents forts amb una freqüència del 43,7 %, seguida de la direcció SW amb un 16,5 %. L'hegemonia de la component N és pràcticament absoluta en els vents superiors als 50 km/h que representen el 68,4 %, seguida per les components NE, SW i W amb 10,5 % cadascuna.

L'illa també es diferencia en la importància dels sistemes platja-duna actuals, que són

Fornós, J.J., Obrador, A. i Rosselló, V. M. (eds.), 2004, *Història Natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'influx humà*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 11: 213-234.

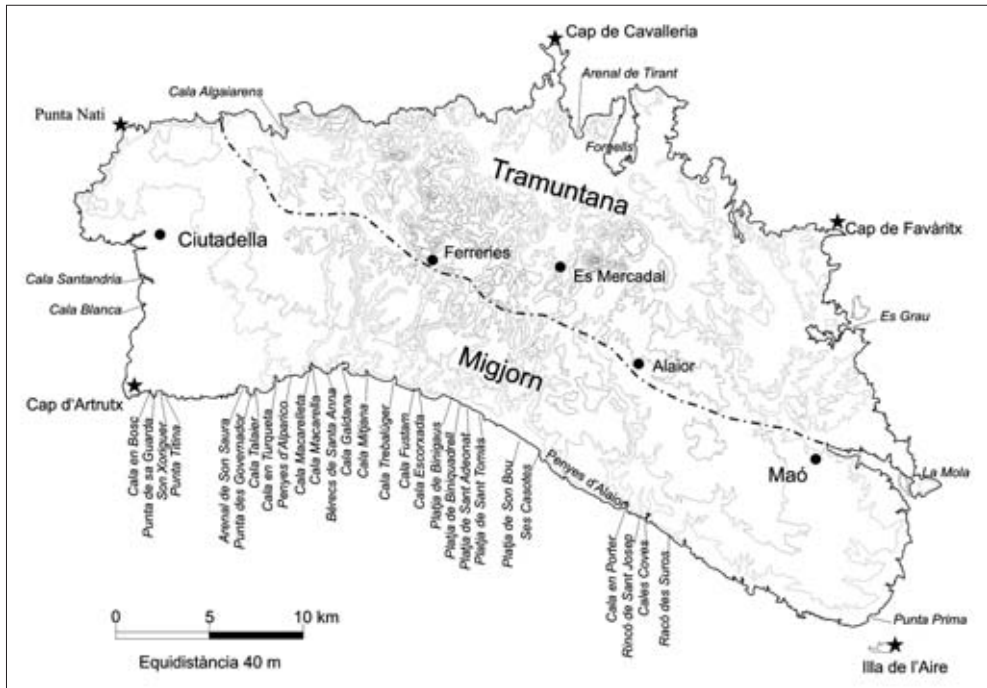


Fig. 13.1. Mapa de les localitzacions citades en aquest capítol.

més nombrosos a la regió de Tramuntana que no a la del Migjorn. Una altra vegada s'ha de culpar, potser, la topografia i la seva relació amb el sistema litoral, com un dels factors que actuen diferencialment a Menorca. Les condicions per a que es trobin sistemes platja-duna d'una certa entitat, depenen de que els processos de deposició i de transport litoral acumulin arenes a les platges, de forma que el vent pugui actuar eficaçment. Tenint present que el litoral és generalment de penya-segats baixos i mitjans, és fàcil entreveure que al Migjorn no han de ser abundants els sistemes platja-duna. Hi ha poques formes d'acumulació, excepte en les entrades de les cales, a les costes baixes de Binigaus i Sant Tomàs, i al sistema de restinga-albufera de Son Bou. Així i tot, en cada un dels indrets costaners en què es donen les condicions topogràfiques adequades, en la transició de l'àmbit submergit al subaeri si hi ha disponibilitat de sediment arenós, hi trobem forma-

cions de platges i/o sistemes platja-duna. Encara que són molt nombrosos els entrants de mar cap a terra que en la seva part més pregona presenten aquesta formació, tots ocupen unes superfícies relativament petites.

Els sistemes platja-duna són ambients molt dinàmics on es donen variacions de les formes deposicionals a una diferent escala temporal. Així aquests ambients tenen canvis molt ràpids, en qüestió de hores, com poden ser els moviments de les barres arenoses de la platja submergida, i canvis lents, mil·lenaris, com pot ser l'ampliació o reducció del camp de dunes. Tots aquests processos responen a la natural recerca de l'equilibri o l'estabilitat de la línia de costa, entesa com un balanç sedimentari, on les pèrdues es compensen amb les entrades. Malgrat tot, la variabilitat dels agents que intervenen a curt i mitjà termini i dels factors a llarg termini, fan que la recerca de l'equilibri i estabilitat de la línia de costa sigui permanent, i que la dinàmica

dels sistemes dugui a una persistent adaptació sincrònica de totes les formes a les potencials variacions ambientals. En darrera instància, dins el complex dinamisme d'aquests litorals, l'existència i els trets definitoris dels sistemes platja-duna actuals estan lligats al factor clau del nivell relatiu de la mar. A mitjà o llarg termini el comportament regressiu o transgressiu de la mar marca una pauta molt important en el balanç sedimentari. Una variació de signe regressiu afavoreix un excendent en el sistema, ja que progressivament queda al descobert la platja submergida. Durant aquests períodes de tendència regressiva la dinàmica eòlica actua construint les formes dunars que constitueixen una gran part de la zona emergida del sistema. En un sentit oposat, en èpoques de signe transgressiu s'acusa un dèficit de sediment. És en aquestes circumstàncies que es facilita el retorn del material dunar a la zona de platja submergida.

Com a conseqüència del que hem exposat, els canvis dels factors ambientals, provocats pels cicles climàtics quaternaris, han donat lloc als dipòsits d'eolianites plistocèniques, resultat de la disfuncionalitat progressiva dels camps de dunes que havien estat excedents sedimentaris en les fases regressives glacials. En aquest marc teòric són gairebé simultanis duna fòssil plistocènica i nivell baix de la mar, com sol representar-se a les interpretacions cronoestratigràfiques clàssiques. Ara bé, no sempre calen oscil·lacions del nivell de la mar com les concomitants a un període glacial per a tenir una construcció dunar. Les pulsacions interestadials i els moments d'equilibri temporal en les corbes generals dels períodes glacials poden donar les condicions d'estabilitat geomorfològica i superàvit sedimentari, amb una resposta ràpida del sistema eòlic, suficient per a que es formin aquests dipòsits i puguin consolidar-se. Tal com s'esdevé en els sistemes platja-duna actuals, que han estat construïts com a resultat de les regressions i transgressions del nivell de la mar provocades per les pulsacions i oscil·lacions climàtiques de l'Holocè. Més encara, la presència de diferents genera-

cions de dipòsits en els camps dunars actuals es deu a que cap transgressió del nivell de la mar provocada per les pulsacions més recents ha superat el nivell assolit en el màxim flandrià, ara fa uns 6000 anys. Això implica que, com més recent ha estat l'oscil·lació, menor magnitud ha presentat, cosa que ha permès l'acoblament en horitzontal de les diferents generacions de dunes que hi trobem construïdes.

Dècades de treball han consolidat dins del Mediterrani una línia d'investigació que, arrancant de l'estudi dels jaciments de dunes i platges plistocèniques i la seva interrelació amb medis morfogenètics terrestres, dóna per a reconstruir els canvis del nivell de la mar i subministrar dades paleoambientals i paleoclimàtiques. Dins les zones d'estudi preferencials, per abundància de dipòsits o per existir-hi equips d'investigació, trobam el litoral valencià (Sanjaume, 1985; Fumanal *et al.*, 1993; Goy *et al.*, 1993; Rosselló *et al.*, 1995; Riquelme i Blázquez, 2002), tunisià (Bourgou, 1982; Paskoff i Sanlaville, 1983; Paskoff, 1996), l'egipcià (El Asmar, 1994), l'israelià i el libanès (Horowitz, 1979; Sanlaville, 1971; Gvirtzman *et al.*, 1983), i de forma destacada el litoral balear. Des de les aportacions del binomi Butzer i Cuerda (1962; 1975; 1983; 1985) que entre els 1960 i 1980, usant elements paleontològics i estratigràfics, proporcionaren una cronoestratigrafia dels dipòsits litorals plistocènics mallorquins, dividida en fases continentals i marines, als que es poden afegir els estudis a les Pitiüses de Henningsen *et al.* (1981), s'han succeït tota una sèrie de recerques que incideixen en aspectes sedimentològics, morfològics i paleontològics del litoral balear (Calvet i Esteban, 1977; Pomar i Cuerda, 1979; Fornós *et al.*, 1986; Servera, 1997; Gràcia i Vicens, 1998) que l'han convertit en un marc fecund d'investigació del medi litoral quaternari. Ara bé, en aquest context l'illa de Menorca ha quedat relativament al marge, en contrast amb la relativa abundància d'estudis a la resta del territori insular. Les aportacions referides al quaternari eòlic menorquí es basen principalment en aspectes descriptius, paleontològics i cronoestratigràfics

generals dels jaciments de dunes fòssils (Mercadal, 1959; 1966; Cuerda *et al.*, 1966; Mercadal *et al.*, 1970; Servera, 1997; Rossell i Llompart, 2002), dins dels quals els diferents autors citen tres generacions plistocèniques i una holocènica. Encara que la majoria d'aquests dipòsits es localitzen a Tramuntana (Fornells, Algaiarens, es Grau-es Tamarells, s'arenal de Tirant, etc.), també es troben al Migjorn (cala Galdana, es Bèrecs de Santa Anna, Trebalúger, Son Saura, Binigaus-Son Bou, etc.), però manquen aproximacions sistemàtiques amb estudis sedimentològics, morfològics i estratigràfics que autoritzin una perspectiva general del conjunt de l'illa i del Migjorn com a subespai amb característiques pròpies.

L'estudi dels sistemes platja-duna actuals del litoral balear, es troba en fase de consolidació en l'aspecte de delimitació d'espais, formes i processos, quedant oberts els estudis dinàmics i sedimentològics. La tendència en nombre d'aportacions al coneixement dels sistemes platja-duna holocènics de Menorca, no difereix gaire de la pobra situació en què es troba el coneixement del Quaternari litoral i això que la diversitat i qualitat d'aquests espais litorals menorquins des del punt de vista científic els fa molt atractius. Una primera referència molt puntual i descriptiva del conjunt de camps dunars com a processos actius de Menorca, la realitzen Obrador i Mercadal (1979) al volum de Geografia Física de l'*Enciclopèdia de Menorca*. Entre els pocs treballs específics relacionats amb la regió del Migjorn, trobem una avaluació geoambiental dels camps dunars de majors dimensions de Menorca realitzada per J. Rita, A. Rodríguez-Perea i J. Tebar (1988), comunicació inèdita a un col·loqui internacional (Tebar, Rita i Rodríguez-Perea, 1991). Com a estudi morfològic sistemàtic, cal destacar l'apartat dedicat a Menorca de la tesi doctoral de J. Servera (1997). Finalment i de forma més recent, s'ha realitzat un estudi sedimentològic de les platges de Menorca, per Ll. Gómez, P. Balaguer, J. Mateu i F. X. Roig (2000), resumit en aquest llibre.

Des del punt de vista de la morfologia dels sistemes platja-duna i del context estruc-

tural i sedimentari del litoral immediat, hem observat amb el treball de camp i la bibliografia que, en funció del tipus de costa, de fons de cala alta, cala oberta, penya-segat baix o mitjà i restinga-albufera (Rosselló, 2003), es poden definir al Migjorn una sèrie de models de camps dunars fòssils i actuals que, si bé no són únics, sí que suggereixen extrems de relació entre la dinàmica marina i eòlica amb el relleu del medi submergit i del continental immediat. En aquest estudi comentarem els dipòsits d'eolianites i sistemes platja-duna actuals en funció d'eixos modèlics, a fi de poder comparar, en un intent d'actualisme i de generalització, els elements morfològics que ens portin a una comprensió sistemàtica de processos i formes i això ens deixi obrir les línies d'estudi futures. La relació de localitzacions es mostra al mapa de la figura 13.1.

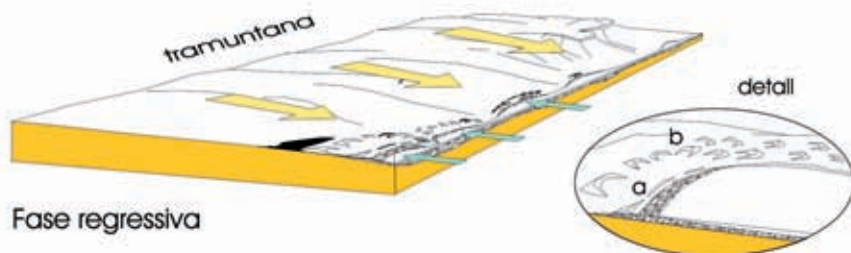
## DIPÒSITS D'EOLIANITES

Hem comentat a grans trets en l'apartat introductor l'existència de jaciments dunars plistocènics i holocènics, allà on la morfologia costanera i les dinàmiques marina i eòlica, han construït i mantingut els dipòsits. Degut a les diferències morfològiques clares entre els sectors central i els extrems occidental i oriental del Migjorn, com també l'especificitat del tram Binigaus-Son Bou, a la relativa imprecisió de la cronologia atribuïda a les dunes i a la constatació de continuïtat morfològica dels sistemes dunars plistocènics i holocènics estudiats, classificam en aquest apartat els diferents sistemes dunars fòssils d'acord amb el tipus de litoral actual.

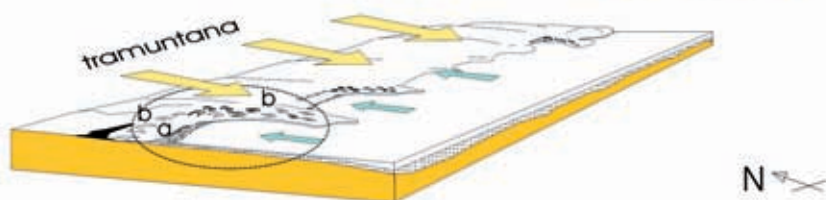
## Jaciments de fons de cala alta i entorn de canyó fluvicàrstic

En aquest model (Fig. 13.2) la relació entre l'acumulació d'arena en les platges i el medi estructural i fluvicàrstic, emmarcat pel encanyonament dels barrancs immediats, que canalitzen el transport eòlic, el sistema dunar

### Model de cala baixa

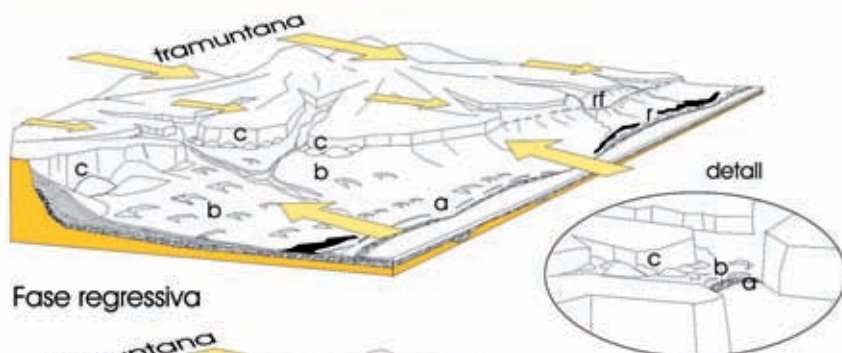


Fase regressiva

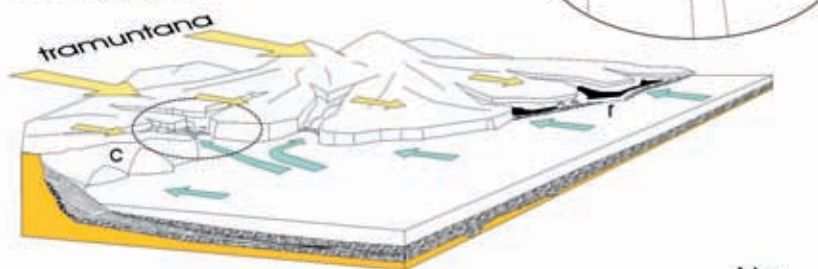


Fase transgressiva

### Model de cala alta i Binigaus - Son Bou



Fase regressiva



Fase transgressiva



Fig. 13.2. Presentam els models de sistema dunar de cala baixa i cala alta, en les fases regressives i transgressives del cicle glacioeu-tàtic respectivament, en relació amb el vent de tramuntana. Llegenda; 1) relleu miocènic, 2) sediments marins i de platja 3) acumulacions eòliques, 4) sediments d'albufera, a) sistemes dunars litorals, b) sistemes dunars progredants terra endins, c) sistemes dunars grimpadors, r) sistemes dunars associats a restinga i rf) sistemes dunars associats a restingues fòssils.

passa d'una *foredune* a dunes grimpadores condicionades pel relleu específic i empeses pel vent dominant. Dins d'aquest model entrarien els dipòsits de sis indrets.

**CALA MACARELLA.** Es tracta d'un dipòsit d'uns quatre metres de potència situat en el límit W de la platja en contacte amb el cantell miocènic fossilitzat per un dipòsit de vessant quaternari. De l'observació de les estructures internes es dedueix que l'edifici dunar es va formar arrancant d'un nivell del mar més baix que l'actual. Les dunes associades a aquella platja es desenvoluparen en un sistema que va migrar terra endins, fins a recobrir els marges de la cala oberts al SE. La presència de *foresets* de sotavent, allà on el relleu miocènic és més acusat, i els *topsets* grimpants típics que s'hi superposaren, apunten que el procés migratori va incloure formes eco, que s'han d'entendre com un pas previ a la regularització de les variables morfològiques per la

dinàmica eòlica. Els efectes locals de desviació dels fluxos i la barrera del relleu miocènic impliquen l'existència de crestes dunars separades del marge rocós, que evolucionen a dunes grimpants típiques, una vegada superat el llindar de l'obstacle.

La roca és una biocalcarenita de color crema, relativament consolidada en la que abunden macrorestes de bivalves i equinoderms, i que presenta poca rubefacció comparada amb les altres dunes fòssils estudiades en aquest tram del Migjorn. No se n'ha detallat la cronologia, però es tracta d'un sistema pliocènic format almenys a partir de l'últim interglaciari, ja que el model d'acomodació d'aquest tipus de litoral correspon a un rebliment d'estuari que, com a mínim, té 8 m de profunditat prop del jaciment (Fornós, 2000), fet que, junt amb la dimensió de l'edifici dunar, els necessaris nivells de creixement del mateix el situen en una fase de regressió



Fig. 13.3. Dunes fòssils a cala Galdana. S'hi pot observar el contacte dels sets eòlics amb el paleopenya-segat miocènic.

no datada. L'existència d'un dipòsit de vessant prou consolidat posterior, que fossilitza les dunes, reforça aquesta idea.

CALA GALDANA. Són dos jaciments separats devers 200 m un de l'altre, adossats al penya-segat miocènic a la banda W de la cala, i que d'acord amb la seva posició estratigràfica i altitudinal, cal considerar com a distints. El primer, visitat per Mercadal (1959), està recolzat al penya-segat i correspondria a una duna regressional posterior a la platja que Cuerda *et al.* (1966) daten al Tirrenià II la qual, gràcies als còdols inclosos, indica que es va formar simultàniament que s'activaven els processos de vessant del talús superior (Fig.13.3). Aquest dipòsit s'estén al llarg d'uns 100 m en el costat W de la cala, de la desembocadura del barranc d'Algendar cap al S. En el tram més al N, aflora el contacte amb el dipòsit de platja comentat, però el nivell de base de l'edifici canvia cap al S, cosa que suggereix una major profunditat mar endins, en funció de la topografia de la cala que la regressió deixà emergida. Les estructures dunars són grimpants i s'adapten al contorn dels blocs despresos del talús superior. Tot el dipòsit es troba exposat al SSE i la mesura dels sets indica paleovents d'aqueix component, que oscil·la entre els 150 i 170°, malgrat que geomètricament el morro de Llevant bloqueja en part la influència des d'aquestes direccions; aquest fet suggereix una canalització del flux adaptada a la disposició topogràfica de cala Galdana. El material és una calcarenita biolitolàstica molt consolidada i de color rosat, heteromètrica, amb presència de grans rodats i quars polits en medi eòlic. No hem observat discontinuïtats dins l'edifici dunar, que arriba fins als 8 m de potència en alguns punts, succeint-se les estructures de caràcter grimpador de forma concordant amb una acreció vertical de l'edifici dunar. És notable la presència de rizoconcrecions que són indicatiu d'una cobertura vegetal densa, una vegada l'edifici arribà a una situació estable, com també alguns encrostaments –caliche– blanc-rosats, que aprofiten els plans de cabussament interlaminars, i sobretot, allà on la duna contacta amb els blocs inserits per col·lapse dins de l'edifici.

El segon jaciment descrit per Cuerda *et al.* (1966) descansa directament damunt una platja fòssil atribuïda també al Tirrenià II, adossada a un paleopenya-segat en la banda oriental des racó des Mart. La sèrie és una transició platja-duna regressiva que es troba actualment penjada a +3-4 m del nivell de la mar i no concorda topogràficament amb el jaciment anterior, la base de la qual es troba, al costat de la desembocadura del barranc d'Algendar a nivell de la mar i més al S té la seva base clarament per sota. La duna incorpora blocs inserits del penya-segat miocènic i tan sols arriba a una potència d'1 m, però la diferència de nivells implica que el primer dipòsit és estratigràficament més jove i en principi no correlacionable, si exceptuam el factor disruptor d'una tectònica activa que no ha estat assenyalada fins aleshores.

CALA TREBALÚGER. A la banda esquerra de la cala es troben dipòsits d'una eolianita d'arenas vermelles, de textura heteromètrica i que es presenten mal classificades, majoritàriament compostes per quars i algunes calcàries rodades i aplanades. Les estructures són grimpadores i van ser dipositades des del SSW, adaptant-se al relleu de la plataforma miocènica, aprofitant l'existència d'un barranc que canalitzà els fluxos pels costats de la vessant. Les dunes actuals es comporten de forma similar, grimpant per damunt de les dunes plistocèniques. La competència del barranc de Trebalúger a l'hora d'aportar materials paleozoics des de Tramuntana i els productes de descalcificació del sistema càrstic del Migjorn serien els responsables del paper dels quars vermells d'aquesta duna fòssil, així com de la barreja d'origen dels grans (tant continentals com biodetrítics marins) que la formen. Tota la superfície es troba plena de rizoconcrecions, i, tal com es veu a les dunes actuals, la coberta vegetal és abundant i responsable del procés de fixació dels edificis.

CALA EN TURQUETA, CALA MITJANA I CALA FUSTAM. També tenen restes d'eolianites en les mateixes condicions de fons de cala alta i un entorn de canyó fluvio-càrstic que canalitza i distorsiona els fluxos eòlics. Són tres jaciments que caldrà estudiar en detall en pròximes campanyes.

**Dunes grimpadores i dunes eco**

Al llarg del tram central del litoral del Migjorn, on els penya-segats assoleixen unes quantes desenes de metres d'alçària i sovint gairebé la verticalitat, hi ha tota una sèrie de jaciments de dunes fòssils grimpadores, adossades directament. A vegades les trobem interdigitades amb dipòsits de vessant i en el cas de les coves de Sant Josep i els Bèrecs de Santa Anna, rebleixen parcialment coves formades per processos de col·lapse càrstic dins

dels materials miocènics. La característica morfològica principal n'és la presència d'estructures de *topssets translacionals* grimpadors i *foresets* de sobrevent relacionats amb els efectes d'eco. Aquests provenen de la desviació del flux eòlic enfront de la barrera del penya-segat, que per una banda redueix la competència del transport, al frenar el vent, i afavoreix per l'altra reflexos helicoïdals que mantenen separada la cresta de la duna del relleu. Aquest efecte minva quan el creixement de l'edifici dunar consegueix superar el

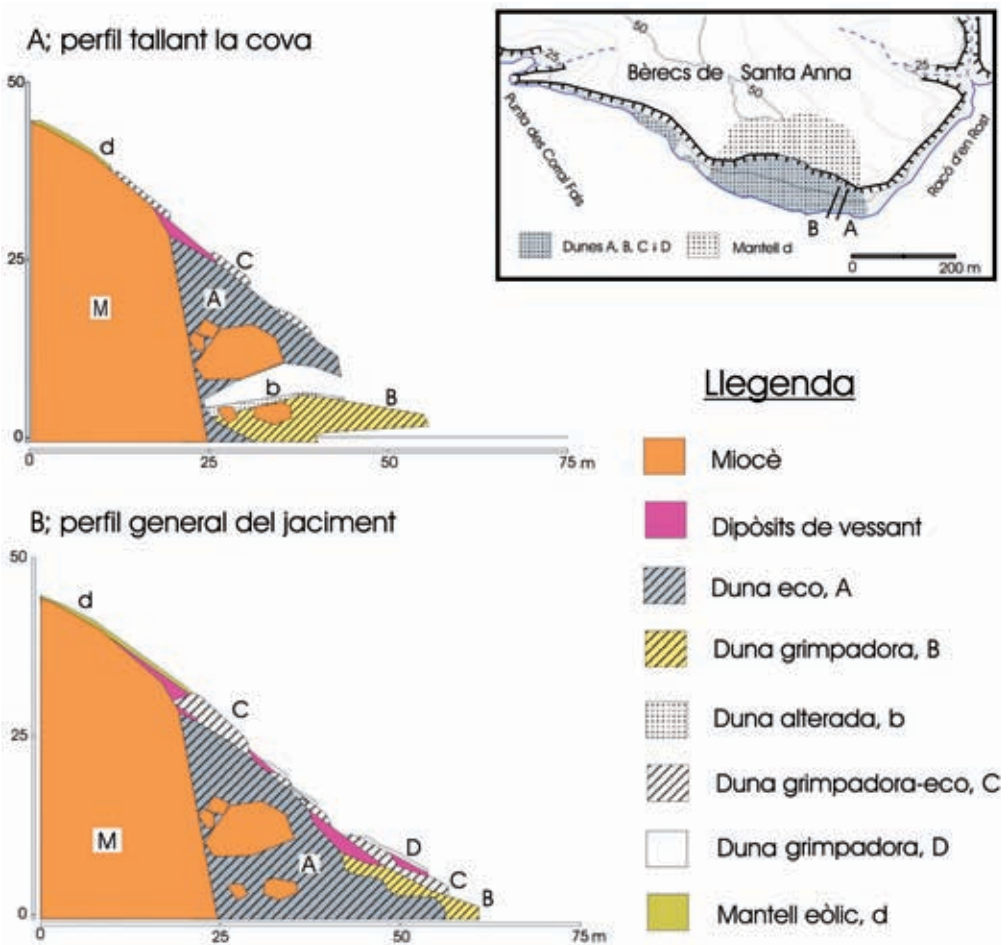


Fig 13.4. Situació, esquema morfològic i estratigrafia preliminar dels Bèrecs de Santa Anna. Presentam dos perfils ideals; A) tallant la cova i B) perfil general, per a facilitar la comprensió de l'evolució del jaciment al llarg de les successives fases eòliques. Explicació detallada dins el text.



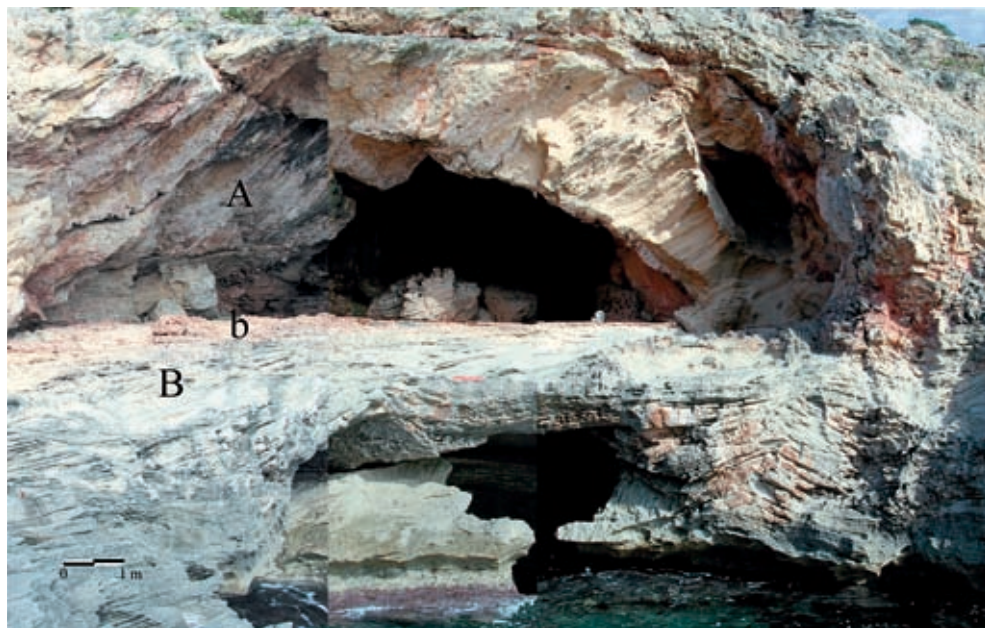


Fig 13.5. Imatge de la cova dels Bèrecs de Santa Anna on s'observen els sets grimpadors i el buidament i posterior rebliment dels edificis dunars. A) Duna eco més antiga, B) duna grimpadora que va omplir la paleocova i b) la duna B alterada.

llindar de la barrera, moment que les dunes tornen a grimpar en *foresets*. En tots aquests casos tenim un nivell de base situat en l'actual plataforma continental en un moment regressiu dels cicles quaternaris i per tant ara sotaiguat. A causa de la inaccessibilitat d'alguns jaciments només hem pogut estudiar *in situ* es Bèrecs de Santa Anna.

**BÈRECS DE SANTA ANNA.** Mercadal (1960), seguint la cronologia alpina clàssica, cita aquest dipòsit com una duna rissiana, però només va poder identificar-hi una generació, quan de fet es tracta d'un edifici complex en el qual hem diferenciat almenys quatre generacions de dunes de cronologia indeterminada. L'estratigrafia preliminar que proposam (Fig.13.4) queda a l'espera de posteriors revisions. La implicació de dipòsits de vessant sin-sedimentaris i postsedimentaris, col·lapses càrstics decamètrics, rebliment de coves i superposició parcial posterosional dels diferents cossos dunars plistocènics dificulten l'esquema evolutiu general, deixant necessària-

ment oberta la cronologia fins que l'aplicació de datacions absolutes es pugui dur a terme.

El dipòsit estratigràficament més antic és una potent duna eco (A), d'uns 30-40 m de potència, la base i l'altura original de la qual no poden ser més que imaginades i que en un primer moment regressiu va grimpar fins a adossar-se al penya-segat. Rera un col·lapse càrstic amb caiguda de blocs decamètrics i un procés erosiu, probablement en un període transgressiu associat a una pulsació positiva del nivell de la mar, es desmantella parcialment. Posteriorment en un nou període regressiu, una segona duna (B) s'enfila damunt l'anterior amb *sets grimpadors* i cresques dunars que s'ajusten a la topografia prèvia, i rebleix parcialment la cova (Fig.13.5), tal com succeeix en altres llocs semblants del litoral mallorquí o valencià, es Buit-sa Foradada (Santanyí), sa cova des Sòtil (cala Bota, Manacor) o valencians, la cova Tallada (Dénia). En la cova s'ha desenvolupat un nivell d'alteració de l'eolianita (b), amb pene-

tració de material de descalcificació i encrosaments intersticials. Sin- o post-deposicionalment hi apareix un nivell d'enderrocs, conservat tant sols en part, on trobam tant blocs miocènics del penya-segat com de la duna anterior, i de l'evolució del vessant superior, en una matriu formada per arenas grogues i argiles vermelles de descalcificació que fossilitza l'edifici. Després d'un altre període erosiu trobam una tercera formació dunar (C) que grimpà fins arribar, com a mínim al nivell dels 30 m, on es veu una cresta de contacte amb *sets* de sobrevent. De forma parcial i de moment no definitiva, apuntam una quarta duna (D) damunt del talús que va fossilitzar l'anterior, en un nou esdeveniment regressiu, i que vessant amunt desenvolupà un mantell eòlic (d), que temptativament donam com a sinsedimentari. En tots els casos es tracta de calcarenites biolito-clàstiques de color ocre-rosat, amb abundància de quars cristal·lins i acaramel·lats polits en medi eòlic, relativament retreballats, que presenten fracció grava i còdols aïllats incorporats per processos gravitacionals. També en tots els casos els vents que les van generar provenien del SE, d'acord amb les estructures sedimentàries.

ES MARESOS DE SA MARJAL I D'ALPARICO. Es tracta de dos jaciments similars al dels Bèrecs de Santa Anna i que es conserven parcialment al peu dels penya-segats entre cala en Turqueta i cala Galdana (Fig.13.6). Ambdós edificis dunars es desenvoluparen en funció del ressalt del penya-segat i amb vents del sector SE. No s'hi ha pogut accedir des de terra, motiu pel qual el seu estudi detallat queda per a futures investigacions. Com denota el topònim, l'aprofitament com a pedreres es feia des de mar.

RINCÓ DES SUROS, CALES COVES I RINCÓ DE SANT JOSEP. Edificis similars als anteriors foren comentats per Mercadal (1966) i corresponen al tram occidental del sector central dels penya-segats mitjans i alts del Migjorn. El primer cas és citat com una duna grimpadora d'uns 15 m, fossilitzada per un talús conglomeràtic. El segon cas assenyalava una duna, també de 15 m de potència, adossada a un



Fig 13.6. Aspecte general de les restes del sistema dunar grimpador recolzat al penya-segat dels Maresos d'Alparico.

paleopenya-segat marí i en darrer lloc, al rincó de Sant Josep es destaquen successius nivells de paquets dunars que presenten cares de sobrevent, grimpants, i de sotavent, per efectes eco, en el seu desenvolupament en front del penya-segat miocènic. L'observació de perfils laterals i longitudinals ha estat possible gràcies a l'aprofitament històric com a pedrera. Hem de dir que també en aquests cas la limitada campanya deixa oberts a posteriors estudis els detalls dels jaciments.

### Jaciments de restinga albufera i altres

En tot el litoral de Migjorn l'únic tram que no forma part d'una costa de penya-segat o de cala és el tram de Sant Tomàs-Binigauss-Son Bou, en el que trobam un sistema de restinga-albufera holocè (Servera, 1997 i Segura *et al.*, 1999). Concretament a la platja de Binigauss hi ha un aflorament d'eolianita, fossilitzat per dunes holocèniques, que correspondria al sistema dunar d'una antiga restinga pliocènica. Es tracta d'una calcarenita bioclàstica, amb gasteròpods continentals i

còdols de gres triàsics, amb una densa xarxa de rizoconcrecions, fet pel que hem de pensar que va estar vegetada i va assolir prou estabilitat, encara que no suficient per a desenvolupar processos de pedogènesi. Malauradament l'aflorament és molt petit, tan sols d'un m de potència i no té continuïtat lateral visible més enllà d'un parell de metres; d'altra banda, les estructures dunars son massa escasses per a deduir-ne conclusions morfològiques.

A l'extrem oest de la platja de Son Bou, prop de la basílica, diversos autors (Muntaner, 1959; Mercadal *et al.*, 1970 i Segura *et al.*, 1999) citen en l'estratigrafia dels dipòsits quaternaris de ses Casotes, l'existència d'un nivell de calcarenita de platja i duna plistocènica, en la que nosaltres, a l'espera d'ulteriors anàlisis, només hem observat el nivell de platja plistocènica, bé perquè no va ser degudament determinada la seva adscripció eòlica, o perquè l'erosió i antropització d'aquests últims quaranta anys ha desmantellat l'aflorament, ja que ni la disposició de les estructures sedimentàries internes, ni el calibre i abundància dels macrorestes de fauna marina, permeten de moment la seva adscripció clara a un dipòsit de gènesi eòlica.

L'ILLA DE L'AIRE. Es tracta d'un camp de dunes fòssils que no hem pogut visitar i que es troba damunt del Miocè basal de la petita illa. La seva importància és palesa, no sols per la descripció de la troballa de copròlits de *Myotragus*, sinó també per la localització exposada a tramuntana, dominant un relleu topogràfic que tanca des del S, si seguim la isòbata de -10 m, una plataforma preflandriana en la que podria desenvolupar-se un sistema platja-duna grimpant sotmès a l'influx dels vents del N i NW.

LA MOLA. Damunt la Mola, a l'entrada del port de Maó, es troben restes de dunes antigues (Rosell i Llopart, 2002) que probablement grimpaven des del N, encara que la falta de continuïtat, més enllà dels vestigis visibles, degut a la posterior erosió, deixa la reconstrucció del possible edifici dunar com un exercici poc defensable sense ulteriors treballs.

## ELS SISTEMES PLATJA-DUNA HOLOCÈNICS I ACTUALS

Com ja hem comentat a la introducció, els sistemes dunars menorquins són generalment petites acumulacions de dunes davanteres amb una línia de dunes, com a molt, desenvolupada, que separa la costa dels ambients continentals. Això és així, excepte en el cas de les dunes de Son Bou i Son Saura on la disponibilitat de sediment i la conformació del relleu permeten un major desenvolupament dels sistemes platja-duna. Igual que en els sistemes dunars fòssils que hem vist en el apartat anterior, també trobam sistemes de cala tancada, que evolucionen amb formes grimpadores, de cala oberta, on el vent de tramuntana es deixa sentir en la direcció de les formes parabòliques, i cordons dunars associats a la platja de Sant Tomàs i a la restinga de Son Bou.

### El sediment dels sistemes platja-duna del Migjorn menorquí

Els ambients deposicionals platja-duna menorquins, igual que s'esdevé a la resta de les illes Balears, no difereixen gaire de la morfogènesi i morfodinàmica que caracteritzen la resta d'ambients similars de la Mediterrània, fins i tot de la resta dels oceans. Tal vegada, la diferència més important i remarcable sigui l'origen del sediment que els compon. Normalment la font d'alimentació arenosa solen ser els contingents al·lòctons (litoclasts) que aboquen les xarxes fluvials a la costa o els que la mar treballa desmantellant el rocam litoral; no obstant, a les illes Balears la principal font de sediment ve de la producció biogènica *in situ* (bioclasts). Aquests sediments són fragments esquelètics dels organismes que trobam a diferents medis marins com les praderies de *Posidonia oceanica*, fons d'algues vermelles, concrecions coral·lígenes, coquilles, closques, etc. (Fornós, 1987; Jaume i Fornós, 1992; Fornós i Ahr, 1997). Aquest fet transfereix una sèrie de singularitats a aquests sistemes: en primer lloc

i força important, una producció de sediment limitada que pot dificultar la reposició de les pèrdues en el balanç sedimentari; en segon lloc, la seva naturalesa carbonatada.

Pel que fa específicament a Menorca i entre el dos dominis geomòrfics de Tramuntana i Migjorn s'observen diferències importants en el percentatge mitjà de bioclasts i litoclasts del sediment de platja. Mentre a la regió de Tramuntana la mitjana de litoclasts és troba en un 27,4 %, al Migjorn aquesta fracció només arriba a un 7,7 %. Des d'un punt de vista de la textura també trobam unes diferències entre les dues regions geomorfològiques; mentre que a Tramuntana dominen les arenes mitjanes- gruixades i s'imposa un menor grau d'arredoniment, el Migjorn es caracteritza per arenes mitjanes-fines i un major grau d'arredoniment (Gómez *et al.*, 2000).

Els sistemes platja-duna constitueixen un ambient litoral on entren en contacte dos medis excloents: un medi submergit, dominat per la hidrodinàmica de la mar, i un medi subaeri, dominat per la dinàmica eòlica. En aquest context ambiental, els camps dunars formen una zona morfodinàmica subaèria ben definida i delimitada dins els sistemes platja-duna (Rodríguez-Perea *et al.*, 2000). No obstant, el rol de les dunes no es pot sostenir, des d'un punt de vista dinàmic, de les interrelacions que mantenen amb la resta d'àmbits subaeris i submergits que garanteixen l'estabilitat i equilibri de tot el sistema. Encara que aquests àmbits litorals localitzats al Migjorn menorquí no difereixen dels seus homònims, els objectius d'aquest treball no tenen més pretensió que descriure'n morfològicament els principals trets i fer una primera aproximació a les particularitats dels dipòsits eòlics dels camps de dunes de la zona estudiada.

### **Estructura i distribució dels camps dunars del Migjorn de Menorca**

Els sistemes litorals platja-duna de la comarca del Migjorn de Menorca presenten

una distribució una mica peculiar; es pot afirmar que la pràctica totalitat d'aquestes formes, les localitzam a la meitat occidental de la costa al·ludida. A l'altra meitat, l'oriental, només hi ha algunes petites platges de fons de cala sense formes dunars; excepció feta de cala en Porter i de punta Prima, on avui només hi ha petites restes d'acumulacions dunars holocèniques –tipus duna davantera (*foredunes*)–, com a conseqüència de la pressió antròpica a la que estan sotmeses. Les principals raons explicatives de la manca de sistemes platja-duna a la meitat oriental són les següents: en primer lloc, el sector conegut com ses penyes d'Alaior, entre Son Bou i cala Biniparratx, presenta els penya-segats més verticals i elevats del litoral de Migjorn, reduint-ne el nombre de cales; en segon lloc, pràcticament a tot aquest sector la isobata de 20 m és molt prop de la línia de costa, cosa que fa difícil establir sediment solt. Tot plegat sembla romandre sota el control d'una fractura que defineix l'orientació litoral.

La descripció individual permet la singularització de cada sistema dunar i la seva classificació en models relacionats amb el tipus de costa, com ja s'ha fet amb les eolianites. Centrant-nos així, en la meitat occidental de la costa de Migjorn i iniciant el periple des de Ciutadella, trobam els següents sistemes platja-duna: cala Santandria, cala Blanca, cala en Bosc, la platja de Son Xoriguer, l'arenal de Son Saura, cala des Talaier, cala en Turqueta, cala Macarella i Macarelleta, cala Galdana, cala Mitjana, cala Trebalúger, platja de Binigaus, platja de Sant Adeodat i Sant Tomàs i, finalment, Son Bou. A la meitat oriental només hi ha els sistemes platja-duna ja esmentats de cala en Porter i el de punta Prima.

### **Model de fons de cala alta**

Aquest model està caracteritzat per l'absoluta canalització del vent que implica la forma de la cala i la seva prolongació en els barrancs immediats. Així doncs, la dinàmica eòlica que intervé en la construcció i distribució de les formes dunars, presenta un com-

portament bimodal gairebé contraposat: per una part, les direccions de vent que poden penetrar des de la mar cap a terra; i per l'altra, la canalització del vent que des de terra va en direcció cap a mar. Aquesta darrera situació, a la nostra àrea d'estudi, agafa un fort protagonisme ja que, com s'ha dit a la introducció, la tramuntana és el vent predominant a Menorca i encara destaca més en les velocitats superiors. La conseqüència en són sistemes platjaduna de superfície migrada, d'acord amb les dimensions de la cala que els alberga. Fet i fet, en molts de casos, el camp dunar queda reduït a la presència d'un cordó de davanteres i un mantell eòlic al seu darrera.

En aquest model, hi podem incloure els següents sistemes: cala en Turqueta, cala Macarella, cala Galdana, cala Mitjana, cala Fustam i cala en Porter. Totes aquestes cales estan localitzades al litoral meridional més alt de l'illa i on els barrancs presenten un major desenvolupament i recorregut cap al nord sobre la plataforma miocènica. A la majoria de casos citats la platja submergida queda reduïda a la zona negada de cala protegida de la mar exterior i, a l'àmbit subaeri, de banda a banda de la cala observem la platja alta amb els corresponents cordons de dunes davanteres. A cadascun d'aquests sistemes, el cordó

de les dunes davanteres està minvat o seccionat en algun punt que coincideix amb la desembocadura del barranc. Amb una certa periodicitat, les revingudes del barranc desmantellen part de la *foredune* que en ocasions, entre episodi i episodi torrencial, no té el temps necessari per a tornar a reconstruir-se. Tot i això, tant si la reconstrucció de la *foredune* és total com parcial, les dunes tanquen el darrer tram del barranc, creant una petita zona d'albufera allargassada que cap a l'interior del barranc manté inundat el canal i una zona de marjal. Un tret morfològic d'aquestes *foredunes* és que presenten un perfil simètric i homogeni de baixa alçària, al mateix temps que una inusual amplitud del sector amb una més que satisfactòria coberta d'*Ammophila arenaria*.

No hi ha cap referència específica sobre la implicació que els barrancs puguin tenir sobre el control dels sistemes de fons de cala. Per a les Illes, treballs recents de Servera (1997), Servera i Rodríguez-Perea (1999), en camps de dunes holocèniques a les Balears, i de Clemmensen, Fornòs i Rodríguez-Perea (1997) en dunes fòssils plistocèniques al Llevant de Mallorca, ja varen posar de manifest el control que el relleu exerceix sobre el flux eòlic i, en conjunt, sobre les formes i la

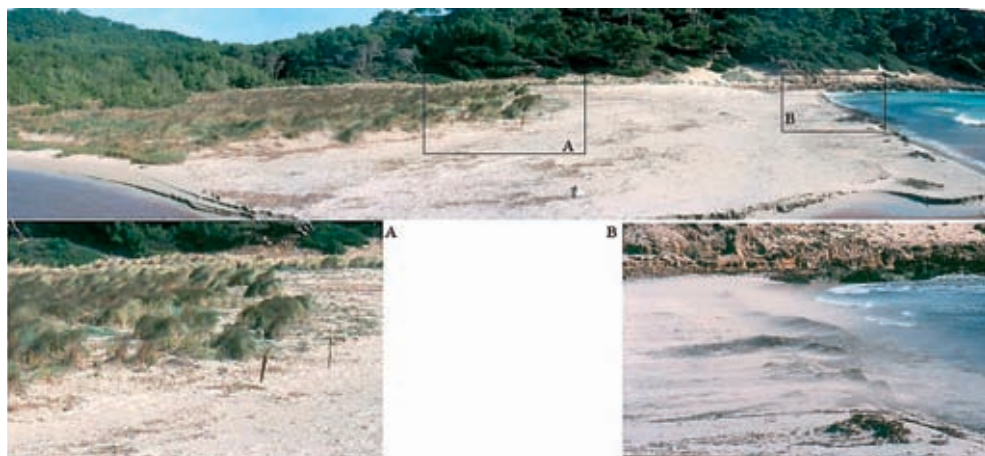


Fig 13.7. Platja i dunes davanteres de cala Trebalúger. (A) detall de l'*Ammophila arenaria* sotmesa pel vent de tramuntana de terra cap a mar. (B) detall de la importància del transport de sediment de terra cap a mar.

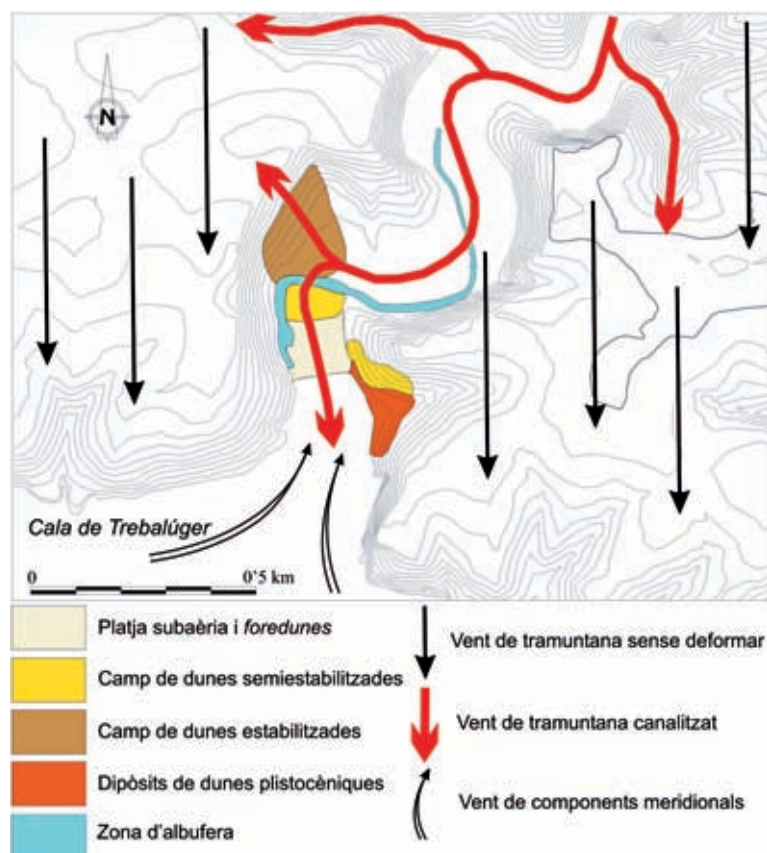


Fig 13.8. Aproximació esquemàtica del control que el relleu del barranc de Trebalúger exerceix sobre la tramuntana i la distribució de les formacions dunars en aquesta cala.

distribució dels camps de dunes. Així doncs, encara que quedi subjecta a futurs treballs, la hipòtesi sobre el modelat del perfil singular d'aquesta tipologia de *foredunes* es fonamenta en que, ultra l'admès transport de sediment de la platja cap a terra, també tingui un efectiu control en el modelat el vent que, canalitzat pel barranc, transporta gran quantitat de sediments de terra cap a mar, en aquests casos, quan bufa la tramuntana (Fig. 13.7). Potser que, en aquest mateix sentit, la canalització eòlica del barranc que amplifica l'efectivitat del procés de deflació, sigui la raó perquè aquests sistemes no presentin un important camp de dunes d'acord amb les possibilitats que la seva pròpia font d'alimen-

tació permetria. La majoria únicament despleguen algunes formes parabòliques o simplement un mantell eòlic prim de dimensions esquifides, sempre localitzats a les raconades més arrecerades de la canalització eòlica del barranc.

Menció a part mereixen els sistemes de fons de cala Trebalúger i de Macarelleta, malgrat que l'explicació geomorfològica conclouent d'ambdós casos implicaria, si més no, un estudi de detall del comportament eòlic local. El primer cas, el de Trebalúger, constitueix un sistema de fons de cala que, terra endins, dona pas al barranc que, geomorfològicament parlant, podem considerar el més espectacular de l'illa. Aquest barranc, definit

per unes parets d'uns 50 m de desnivell, a tan sols un quilòmetre de la costa es bifurca en dos ramals: el propi barranc de Trebalúger i el barranc de sa Cova; ambdós tenen la seva capçalera que ultrapassa la regió del Migjorn i s'estenen per la regió de Tramuntana. Cala Trebalúger, orientada gairebé nord-sud, no és molt pregona, tant sols penetra un 350 m terra endins i, una vegada que supera la platja, a uns 200 m, el barranc fa un primer canvi de 90° en direcció est per a seguir amb un segon gir, també de 90°, a uns 300 m, però en aquesta ocasió cap el nord (Fig. 13.8). Rera la platja subaèria s'estén un ampli sector de dunes davanteres en una superfície que abasta un front d'uns 140 m per una progressió cap l'interior, també d'un centenar de metres. Per darrera de les *foredunes*, s'estén un camp de dunes que en la seva part més interna i més estabilitzada, presenta formes grimpadores fins a la meitat de la paret occidental del barranc. En l'actualitat, el conjunt d'aquest camp de dunes està dividit en dos sectors pel curs fluvial que desemboca al costat occidental de la platja i que tot l'any es troba inundat. Així doncs, atribuïm el desenvolupament actual d'aquest camp de dunes, de molta més extensió que la que presenten els homòlegs del mateix model, a un doble control: en primer lloc, la variabilitat del curs fluvial que en el seu moment hauria transcorregut pel costat oriental de la platja, possibilitant la continuïtat del camp de dunes i el transport de sediment; per altra banda, la canalització del vent per la topografia del barranc. En aquest darrer aspecte, cal tenir present la possibilitat que la component de vent efectiva en el transport de sediment no sigui únicament la de mar cap a terra, sinó que la tramuntana canalitzada per la topografia del barranc, en la seva darrera girada, pot desbordar el flux i donar lloc a un transport de sediment cap el nord-oest.

El sistema platja-duna de Macarelleta es localitza en un petit entrant de la vora occidental de cala Macarella, delimitada per penya-segats de 30 m d'alçada i oberta cap a l'est. A diferència dels anteriors casos explicats per a aquest model, Macarelleta no té la

continuació terra endins d'un gran barranc, sinó la confluència de tres canals que no superen els 500 m de recorregut des del punt de la seva desembocadura on tots tres es troben. Actualment, a la part superior de la platja, hi ha un cordó de *foredunes* molt alterat per la pressió antròpica i delimitades per talussos d'erosió. Malgrat tot, aquestes *foredunes* ja presenten un perfil transversal més d'acord amb un model teòric on predomina com única direcció de vent efectiu el de mar cap a terra. Una vegada superem la platja i les *foredunes*, cap a l'interior en els tres petits canals i gairebé fins al seu final on ja guaiten sobre la plataforma i desapareix la canalització, trobam un camp de formes eòliques grimpadores (Fig. 13.9). Aquest continu mantell de sediment arenós es troba recobert per un pinar, però amb un sotabosc molt poc poblat, com a conseqüència del transport de sediment que s'hi produeix remuntant pels canals i els seus vessants. Una prova d'aquesta actual activitat eòlica, la constitueix la presència d'*ecodunes* a la base de les parets més verticalitzades que defineixen alguns dels vessants dels petits barrancs. De moment s'ens fa impossible concretar quina és la component del vent efectiu que mobilitza aquest sediment; malgrat tot, l'obertura de la cala a l'est fa pensar en components properes a aquesta direcció. No obstant, el detall que les formacions no sobresurtin per dalt de l'interior dels tres barrancs, donant lloc a *topdunes*, fa pensar que la tramuntana deu deflacionar el sediment que hi arriba a sortir. No obstant, i com a hipòtesi, no cal descartar que sigui aquest mateix vent de tramuntana, que arriba canalitzat pel barranc de Santa Anna a la platja de Macarella i es dirigeixi de mar cap a terra per dins del barranc de cala Macarelleta, el responsable que transporti el sediment des de la platja fins a una cota superior als 40 m. És evident que, per a remuntar el sediment tan amunt, calen vents forts i aquests, majoritàriament, són de tramuntana. Això no lleva que la transferència de sediment de la platja a les dunes davanteres es realitzi per vents de component meridional.

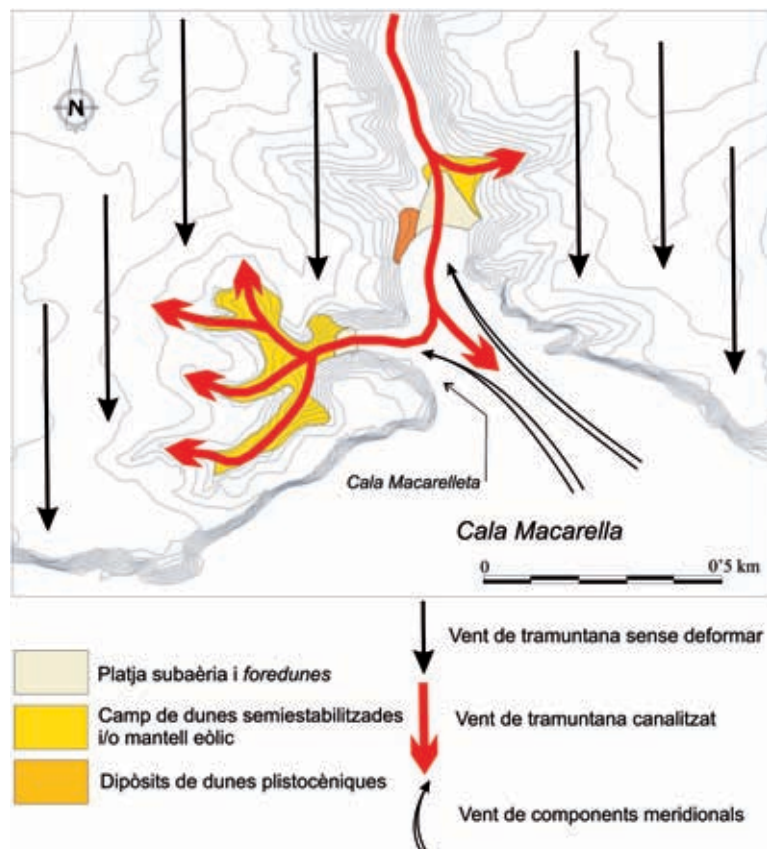


Fig 13.9. Aproximació esquemàtica del control que el relleu de Cala Macarella i Macarelleta exerceix sobre la distribució del camp de dunes grimpadores.

### Model de fons de cala baixa i oberta

A diferència del model anterior, la menor alçada del relleu que defineix aquestes cales en redueix el control sobre el desenvolupament dels sistemes platja-duna, encara que els canals dels barrancs puguin continuar terra endins.

En aquest model podem incloure: cala Blanca, cala en Bosc, la platja de Son Xoriguer, l'arenal de Son Saura i cala des Talaier. La totalitat d'aquests sistemes es troben al litoral sudoccidental de Menorca, on la plataforma miocènica, amb un suau pendent cap al sud-oest, va perdent alçada.

Les cales baixes i obertes no presenten en planta grans diferències amb les cales

altes, no obstant, les parets que les delimiten tenen una menor alçada i no tanta verticalitat, on no solen superar els 3-4 m. D'aquesta forma, les cales, malgrat canalitzar el vent marí, a mesura que el flux eòlic recorre el canal s'obri cap els laterals amb la possibilitat de transportar sediment cap a l'exterior de la cala. És per això que els sistemes d'aquest model desenvolupen un camp de dunes en un dels dos marges superiors, en funció de quina sigui la direcció del vent efectiu predominant. A diferència del que passa en les cales altes, el vent canalitzat pel barranc de terra cap a mar perd gairebé el seu protagonisme com agent de modelat.

Cala Blanca, al sud de Ciutadella constitueix una entrada amb un eix disposat de



ENE a WSW i oberta a ponent. La cala té un recorregut d'uns 300 m, definits per una costa de graó que guanya una mica més d'alçada cap a l'interior. Presenta unes dunes davanteres ben desenvolupades al marge nord de la seva part més interior que, per la seva part meridional, queden delimitades pel canal del petit barranc que hi desemboca. Fora del barranc, al marge superior meridional, travessant el canal esmentat, la dinàmica eòlica es propaga al llarg de uns 350 m amb un camp de dunes semiestabilitzades, formant un petit conjunt de parabòliques dirigides al SE. Cal dir que aquest petit sistema platja-duna ha estat, en el darrers temps reduït pels processos d'urbanització de la zona.

Cap al sud, una vegada superat el cap d'Artrux, trobem com a primer sistema el de cala en Bosc. Aquesta cala, d'uns 200 m d'entrada des de la seva gola, està orientada de NNE a SSW i presenta trets morfològics litorals semblants als de cala Blanca. Actualment, degut a la pressió antròpica, no conserva més que petites restes de dunes davanteres. Aquest sistema compta amb un camp de dunes que es desenvolupa al seu marge oriental, d'una extensió relativament àmplia  $-75.000 \text{ m}^2$  aproximadament (Fig. 13.10). Curiosament la seva progradació no va en direcció NNE, com caldria esperar, sinó en direcció SE, ocupant el promontori de la punta de sa Guarda. Aquest és un magnífic exemple de l'efectivitat que té la tramuntana en el modelat eòlic de Menorca, inclosa la seva vessant meridional.

Cap a l'est, veïna de cala en Bosc, trobam la platja de Son Xoriguer. La platja pròpia es localitza al marge oriental d'una entrada de mar cap a terra, més oberta que profunda i amb una forma força arrodonida i no allargassada, com les cales descrites fins al moment. El sistema presenta les mateixes característiques morfològiques i de disposició que el de cala en Bosc; malgrat tot, el seu camp de dunes, d'unes dimensions inferiors, s'estén cap el petit promontori oriental de la punta Titina.

El sistema platja-duna de Son Saura es localitza en una penetració marina major



Fig 13.10. Visió parcial del camp de dunes desenvolupades al marge oriental de cala en Bosc. Malgrat que avui estigui molt antropitzat, aquest sistema és un bon exemple de l'efectivitat i implicació de la tramuntana en el modelat eòlic de Menorca.

que les descrites fins ara: bada uns 600 m i n'entra uns 400. El sistema s'organitza a partir de dues platges, la de Llevant i la de Ponent, separades per un sortint rocallós. La de Llevant, de majors dimensions que la de Ponent, té una llargària d'uns 350 m, amb un ampli sector continu de dunes davanteres que s'estenen de cap a cap de la platja i que només es trenca a la seva vora occidental per l'espòrdica gola del prat de Bellavista. Aquestes dunes davanteres mostren un perfil d'àmplia base i poca alçada, amb una densa coberta de vegetació dunar, cosa que ens posa de manifest que estan subjectes a vents bimodals amb direccions gairebé contraposades. Cal dir que la meitat occidental d'aquest conjunt de platja i de dunes davanteres, conforma una restinga de tancament de la petita zona humida abans esmentada. Des de la meitat oriental de la platja de Llevant s'estén el camp de dunes que, com passava a cala en Bosc i Son Xoriguer, cau en direcció SE sobre una superfície aproximada de  $4,1 \text{ ha}$  al promontori que constitueix la punta des Governador. Gran part de les dunes parabòliques que conformen aquest camp tenen l'eix orientat dins el quadrant SE, fet que mostra, una vegada més, l'efectivitat del vent de tramuntana en el control morfològic dels àmbits subaeris d'aquests sistemes meridionals de Menorca.

La platja de Ponent té una llargària d'uns 200 m, amb un sector de dunes davanteres migrants que s'estenen a la seva meitat oriental. Cap a l'interior es poden destriar algunes formacions de parabòliques que progressivament passen a un mantell eòlic on, tot plegat, ocupen una superfície de 0,5 ha. Aquest mantell, sense formes definides, s'estén per darretre fins a connectar amb el camp dunar de la platja de Llevant.

Finalment, al costat de llevant de la punta des Governador, trobam cala Talaier. Aquesta cala de petites dimensions presenta un sistema amb una platja que a la seva part més interior té unes reduïdes formacions de dunes davanteres que, cap a l'interior, esdevenen un discret mantell eòlic.

### Model de costa oberta

A la part central del litoral de Migjorn el control eòlic del sistema platja-duna no està gaire condicionat pels relleus que l'envolten. En aquests casos, la platges de Binigaus, Biniquadrell, Sant Tomàs i Son Bou, al coincidir amb el recer dels majors relleus interiors de l'illa, la tramuntana no els afecta amb la intensitat que hem pogut apreciar als models descrits fins ara. Per altra banda, i com a conseqüència de la tectònica recent que ha deformat la plataforma miocènica, l'aixecament del sector de costa que ens



Fig. 13.11. La restinga dunar de l'albufera de Son Bou constitueix un dels pocs exemples de sistema platja-duna del model de costa oberta al litoral de Migjorn de Menorca.

ocupa, ha permès el desenvolupament d'un *peudemont* (format per conglomerats i argilles cimentades) a la base del talús que configura els límits meridionals de les moles miocèniques de la contrada (Segura *et al.*, 1999). Sobre aquests *peudemonts* han progressat els camps dunars dels sistemes platja-duna holocènics que inclourem en aquest model, amb una estructura més pròpera a l'explicada com a ideal en un punt anterior.

Les platges de Binigaus i de Biniquadrell exemplifiquen una situació d'una costa en retrocés on predomina l'erosió. Tant l'una com l'altra presenten a la part superior de la platja un talús d'erosió a la base del qual afloren els dipòsits col·luvials sobre els que es disposava el camp dunar i al damunt restes de dunes estabilitzades. Les raons d'aquesta situació singular poden ser d'una variada naturalesa: processos de reajustament tectònic, la progressiva pujada del nivell de la mar o la combinació d'ambdós. El cert és que només a l'extrem més occidental de la platja de Binigaus, coincidint amb la desembocadura del barranc del mateix nom, hi ha una zona de platja més estable i unes migrades *foredunes*. La resta de la platja de Binigaus i de Biniquadrell, fins arribar al nucli urbanitzat de Sant Tomàs, es mostra molt inestable i sense cap formació de *foredune*, amb períodes alternatius marcats per moments que gairebé desapareix la totalitat de la fracció arenosa, deixant un codolar.

Tot just deixam la platja de Biniquadrell, en direcció sud-est, i encaixada entre dos ressals rocallosos constituïts per materials del Miocè, la punta Negra i la punta Atàlix, el sistema platja-duna de Sant Tomàs es desplega sobre una superfície aproximada de 5 ha. La platja, d'uns 600 m de llargària, va augmentant la seva amplada cap a l'est. La platja de Sant Tomàs no pareix estar en una situació *in extremis* com la de les seves veïnes de Binigaus i Biniquadrell; malgrat tot, a gran part del sistema, la falta de les primeres formes dunars –*foredunes*– a la part superior de la platja implica que l'onatge treballi un talús d'erosió sobre les dunes semiestabilit-

zades, sense que pel moment aflorin els dipòsits de *peudemont* sobre els que es disposen. Actualment, el camp de dunes ha quedat delimitat i reduït a una estreta franja per la zona edificada que l'envolta, on les formes encara conservades responen a dunes parabòliques formades per vents del sud-oest (Servera, 1997). Un altre aspecte remarcable és la presència de nombrosos *blowouts* que penetren des del talús d'erosió cap a l'interior de les parabòliques, que en gran part poden ser atribuïts a una gènesi antròpica.

Separat per una prominència rocallosa de materials miocènics, a un quilòmetre de Sant Tomàs i en direcció sud-est trobem l'arenal de Son Bou. Constitueix una restinga, d'uns 2,4 km de llargària i una amplària que oscil·la entre 100 i 150 m, que tanca una albufera coneguda com el prat de Son Bou (Fig. 13.11). La zona albuferenca ocupa unes 73 ha i presenta una poligènesi tectònica, càrstica i fluvial, on dels tres factors destaca preferentment una major implicació del primer (Segura *et al.*, 1999). Durant la transgressió flandriana tota la zona fou envaïda per la mar, i degué ser a partir de la seva retirada que es configura la barra arenosa actual suportada per un bloc enfonsat de la plataforma calcarenítica miocènica. Actualment la restinga presenta dues goles, la més oriental de les quals es manté oberta gran part de l'any i al mateix temps ens serveix com a referent per diferenciar, des d'un punt de vista dinàmic, dues zones en el conjunt de platja subaèria i camp de dunes d'aquest sistema. La meitat occidental constitueix un sector on la superfície de platja manté una amplitud entre el 15 i 25 m, seguida d'un cordó discontinu de *foredunes* amb remarcats talussos d'erosió i un nombre important de *blowouts*. Cap a l'interior, les formacions de dunes semiestabilitzades s'estenen entre la platja i el prat en una franja que oscil·la entre els 50 i 125 m, formada per parabòliques que se superposen i que, majoritàriament, de forma individual presenten els seus eixos entre 34° i 79° N, fet que ens indica la seva formació per vents de components

entorn al SW. La segona zona, entre la gola i l'extrem més oriental del sistema, conté una platja subaèria d'uns 60 m d'amplària i a la seva part més interior està delimitada per un continu talús d'erosió sobre unes malmeses restes de *foredunes*. Més endins, des de la gola cap a l'extrem oriental, desapareixen pràcticament les formes dunars que progressivament donen pas a un mantell eòlic més o menys pla. Cal dir que a l'interior d'aquesta zona ja no hi ha albufera i, de més a més, ha estat totalment urbanitzada, fet que l'ha sotmesa a una forta i recent pressió antròpica que, sense cap dubte, ha contribuït a la seva degradació.

## CONCLUSIONS

Encara que els treballs sobre morfologia litoral i eòlica desenvolupats al Migjorn es troben en un estadi inicial i que el present assaig de síntesi, cal veure'l com a temptatiu, han quedat clars determinats fets que resumim en els punts següents:

### *Significat de la configuració de les cales en els sistemes platja-duna*

Dins els models comentats; fons de cala alta, cala baixa oberta a tramuntana, grimpants i de restinga-albufera, es constata el paper dels sistemes de fons de cala alta com una característica prou notable del Migjorn. La interferència entre la dinàmica marina, la presència de canyons fluvio-càrstics i el medi eòlic, permet el desenvolupament de camps dunars amb dinàmiques complexes. Els sediments marins, les barreres al flux aeri i les aportacions continentals mantenen balanços i relacions pròpies en cada cas, amb una gradació entre el simple sistema d'un únic cordó de *foredune*, els sistemes amb un o dos cordons dunars i aquells que, en funció de la forma del relleu immediat a l'interior de la cala i dels efectes de canalització del flux permeten la migració de les dunes grimpadores de major o menor envergadura. Romanen per analitzar molts aspectes dels

diferents factors i agents que interactuen en l'evolució d'un sistema platja-duna, que activen o desactiven la seva dinàmica en funció dels canvis quaternaris del litoral i del funcionament càrstic de la plataforma escullosa miocènica. Queden per aclarir els paràmetres de la interacció entre barrera topogràfica i el vent dominant en cada cas per a poder explicar de forma general les expressions morfològiques observades.

#### *Persistència dels models al llarg del Quaternari*

Encara que els sistemes estudiats no tenen una cronoestratigrafia fixada clarament i els dipòsits estàn desconnectats, tant un dels altres com dels sistemes de Tramuntana, sí que s'ha observat que els condicionants morfològics i dinàmics es mantenen al llarg del Quaternari. Sistemes plistocènics d'un o altre tipus apareixen allà on els testimonis s'han conservat i sota condicions semblants s'han desenvolupat sistemes holocènics. Evidentment no se'ns escapa que els sistemes holocènics pertanyen als equilibris d'una costa postflandriana eustàticament transgressiva i que les condicions imperants en el desenvolupament dels sistemes plistocènics, exceptuat probablement el cas de Binigaus, s'ha d'adscriure a uns moments regressius o de *still-stand*, però la recurrència de formes i processos es manté, malgrat els canvis del nivell del mar. Els dipòsits grimpadors dels penya-segats entre cala en Turqueta i cala Galdana i els situats entre Llucalari i es Canotells presenten diferències morfològiques més acusades degut als espais emergits de la plataforma continental menorquina i als sediments que quedaren exposats, però en el mateix sistema actual de Binigaus-Son Bou podem veure com les dunes arriben a grimpar fins allà on el relleu i els ajustaments sedimentaris ho permeten. El fet que els sistemes holocènics de cala Macarelleta i Trebalúger aconseguïen grimpar pels flancs dels canyons fluvio-càrstics, en funció de la circulació predominant dels fluxos redirigits, manté la perma-

nència dels processos i per tant de les formes. El cas de les dunes eco dels edificis grimpadors plistocènics del sector central seria l'excepció, gràcies a la barrera frontal que el penya-segat o paleopenya-segat en el seu cas, presenta al vent del SE i que en el cas de l'holocènic no té possibilitat de manifestar-se per la inexistència de disposicions postflandrianes semblants.

#### *Hipòtesi explicativa de la diferència en el models; relleu central i extrems vs Tramuntana*

En la relació espacial dels espais comentats s'observa una clara absència de conjunts plistocènics en els sectors occidental i oriental del Migjorn, front a l'acumulació de jaciments en el sector central i els abundants de Tramuntana. Els sistemes holocènics en canvi sí que s'han desenvolupat, per poc que aquestes cales més obertes disposin de platges i per tant d'arena susceptible de ser transportada. L'interrogant que aquesta diferència planteja no té fàcil explicació i caldria reprendre'l en futurs estudis. A tall d'hipòtesi de treball, però, pensam que la importància de la tramuntana, així com d'uns relleus plans i tabulars en el context insular, podrien ser elements afegits que no permeten un desenvolupament uniforme dels sistemes eòlics plistocènics entre el port de Ciutadella i la talaià d'Artrutx, i des de Canotells fins al port de Maó, en els moments que el nivell del mar baixa a l'iniciar-se un període glacial, a diferència del que s'observa entre cala en Turqueta i es Canotells en el sector central del Migjorn. La influència de la tramuntana en els sistemes holocènics de cala Blanca, cala en Bosc, Son Xoriguer i Son Saura, força les dunes en direcció S en la actualitat. En el passat l'arena d'aquest sector, emergida en una regressió, no tindria opció a migrar cap al N si el comportament de tramuntana fos el mateix. La interposició dels relleus més vigorosos del sector central, que protegeixen eventualment les acumulacions de fons de cala i la canalització dels vents procedents del S i SE,

com en els casos de Macarella, Trebalúger i cala Galdana magnifiquen presumiblement de forma diferencial, la incidència dels components de tramuntana i migjorn. En conjunt i amb l'existència en el sector oriental dels dipòsits plistocènics de la Mola i l'illa de l'Aire, que entenem ara per ara com a sistemes grimpadors des de tramuntana, ens du a plantejar la hipòtesis que els condicionants morfològics estructurals i la seva relació amb el component eòlic de direcció N, se superposen als factors locals en la gènesi diferencial dels sistemes platja-duna quaternaris de Migjorn.

*Investigacions futures pendents i diagnòstic dels sistemes actuals: ús vs conservació*

Totes aquestes conclusions generals resten pendents d'ulteriors estudis que al nostre entendre haurien de plantejar la naturalesa sedimentològica dels dipòsits, les relacions morfològiques i dinàmiques dels sistemes actuals i relictos, com també una estratigrafia de detall generalitzada dels dipòsits quaternaris, que ha d'incloure mètodes de datació absoluta i noves aportacions paleontològiques i mineralògiques a fi de poder caracteritzar els jaciments en una cronologia més detallada i actual.

Ens faltaria plantejar els estudis de balanç sedimentari i dinàmica eòlica actual, i al mateix temps contribucions biogeogràfiques, ecològiques, d'impacte antròpic, que, en permetre conèixer millor el medi, ens podrien portar a ordenar-lo i conservar-lo en el futur.

## BIBLIOGRAFIA

- BOUDOURESQUE, C.F. i MEINESZ, A. 1982. *Découverte de l'herbier de posidonie*. Parc National de Port-Cros, GIS Posidonie publ.
- BOURGOU, M. 1982. *Les accumulations dunaires de la péninsule du Cap Bon (Tunisie). étude géomorphologique*. Université de Tunis. 198 pp.
- BRESSOLIER, C. i THOMAS, Y. 1977. "Studies on wind and plant interaction on French Atlantic coastal dunes". *Journal of Sedimentary Petrology*, 47: 331-338.
- BUTZER, K.W. 1985. La estratigrafia del nivel marino en Mallorca en una perspectiva mundial. *Geomorfología litoral y Cuaternario. Homenaje a Juan Cuerva*. Valencia, Universitat de València. Cf. pp. 17-28.
- BUTZER, K.W. i CUERDA, J. 1962. Coastal stratigraphy of southern Mallorca and its implications for the Pleistocene chronology of the Mediterranean Sea. *Journal of Geology* 70: 398-416.
- BUTZER, K.W. i CUERDA, J. 1983. Pleistocene sea-level stratigraphy of Mallorca. *Revue de Géologie Méditerranéenne*. Paris (20): 259-270.
- CAIVET, F. i ESTEBAN, M. 1977. Evolución diagenética en los sedimentos carbonatados marinos del pleistoceno de Mallorca. *Boletín Sociedad de Historia Natural de Baleares*, 22: 96-118.
- CEBRIÁN, J. i DUARTE, C. 2001. Detrital stocks and dynamics of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) DELILE in the Spanish Mediterranean. *Aquatic botany*, 70: 295-309.
- CLEMMENSEN, L.B.; FORNÓS, J. J. i RODRÍGUEZ-PÉREA, A. 1997. Morphology and architecture of a late Pleistocene cliff-front dune, Mallorca, Western Mediterranean. *Terra Nova*, 9: 251-254.
- CUERDA, J. 1975. *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Diput. Prov. de Baleares, Palma de Mallorca, 304 pp.
- CUERDA, J., SACARES, J. i MERCADAL, B. 1966. Nuevos yacimientos marinos del Pleistoceno superior de cala Galdana (Menorca). *Boletín Sociedad de Historia Natural de Baleares*, 12: 101-105.
- EL ASMAR, H.M. 1994. Aeolianite sedimentation along the northwestern coast of Egypt: evidence for middle to late Quaternary aridity. *Quaternary Science Reviews*, 13: 699-708.
- FORNÓS, J.J. 1987. *Les plataformes carbonatades de les Balears, estudi sedimentològic de les plataformes miocenes de les illes Balears i la comparació amb la sedimentació actual de la seva plataforma*. Tesi doctoral inèdita. Universitat de Barcelona. 954 pp.
- FORNÓS, J. J. 2000. Rebliment holocènic de la vall incisa de Santa Anna, Sud de Menorca (Mediterrània occidental). *Geoarqueologia i Quaternari Litoral. Memorial M<sup>a</sup>. Pilar Fumanal*. Universitat de València-Departament de Geografia. València. Cf. pp. 343-356.
- FORNÓS, J.J., POMAR, L. i RODRÍGUEZ PÉREA, A. 1986. Deformation Structures on Eolian Calcarenes Recognized as Mammal Footprints. *International Association of Sedimentologists, 7<sup>th</sup> Regional Meeting, Krakow, Abstracts* 63.
- FORNÓS, J.J. i AHR, W.M. 1997. Temperate carbonates on modern, low-energy, isolated ramp: the Balearic Platform, Spain. *Journal of Sedimentary Research*, 67: 364-373.
- FUMANAL, M.P., MATEU, G., REY, J., SOMOZA, L. i VIÑALS, M.J. 1993. Las unidades morfosedimentarias cuaternarias del litoral del Cap de la Nau (Valencia-Alicante) y su correlación con la plataforma continental. En Fumanal, P. y Bernabeu, J. (eds): *Estudios sobre Cuaternario*. Valencia. Cf. pp. 53-64.
- GÓMEZ, LL., BALAGUER, P. MATEU, J. i ROIG, F.X. 2000. *Sedimentología de las plagas de Menorca*. Institut Menorquí d'Estudis, Consell Insular de Menorca. 52 pp.
- GOY, J.L., ZAZO, C., BARDAJÍ, T., SOMOZA, L., CAUSSE, C. i HILLAIRE-MARCELL, C. 1993. Eléments d'une chronostratigraphie du Tyrrhénien des régions d'Alicante-Murcie, Sud-Est de l'Espagne. *Geodyn. Acta. Paris*, 6, 2: 104-119.

- GRÀCIA, F. i VICENS, D. 1998. Aspectes geomorfològics quarternaris del litoral de Mallorca. In Fornós, J. J. (ed.): *Aspectes geològics de les Balears (Mallorca, Menorca i Cabrera)*. Universitat de les Illes Balears, Palma. Cf. pp. 308-329.
- GVIRTZMAN, G., SACHNAI, E., BAKLER, N., i LANI, S. 1983-84. Stratigraphy of the kurkar group (Quaternary) of the coastal plain of Israel. *GSI, Current Research* 1983-1984, pp. 70-82.
- HOROWITZ, A. 1979. *The Quaternary history of Israel*. N.Y. Academic Press, 394 pp.
- HENNINGSEN, D., KELLETAT, D. i HAGN, H. 1981. Die quartären Äolianite von Ibiza und Formentera (Balearen, Mittelmeer) und ihre Bedeutung für die Entwicklungsgeschichte der Inseln. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 31: 109-133
- HESP, P.A. 1999. The beach backshore and beyond. In Short A.D. (ed): *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. John Wiley & Sons. Chichester. Cf. pp. 145-169.
- JANSÀ, A. 1979. Climatologia de Menorca. *Enciclopèdia de Menorca. Geografia Física* Vol.1. Obra Cultural Balear de Menorca. Cf. pp. 85-160.
- JAUME, C. i FORNÓS, J.J. 1992. Composició i textura dels sediments de les platges del litoral mallorquí. *Boll. Soc. Hist. Nat. de Balears*, 35: 93-110.
- JEUDEY DE GRISSAC, A. 1984. Effects des herbiers de *Posidonia oceanica* sur la dynamique marine et la sédimentologie littorale. In Jeudy de Grissac, A. i Olivier, J. (eds.): *International Workshop Posidonia oceanica beds*, Vol. 3. Marsella. Cf. pp. 437-443.
- KOMAR, P.D. 1998. *Beach processes and sedimentation*. Prentice Hall. New Jersey, 544 pp.
- MERCADAL, B. 1959. Notícia sobre la existència de restos de terrazas del Tirreniense en la costa sur de Menorca. *Bolletí Societat de Història Natural de Balears*, 5: 41-44.
- MERCADAL, B. 1966. Nuevas aportaciones al conocimiento del Cuaternario de Menorca. *Rev. Menorca*, 3/4: 148-161.
- MERCADAL, B., VILLALTA, J.F., OBRADOR, A. i ROSELL, J. 1970. Nueva aportación al cuaternario menorquín. *Acta Geológica Hispánica*, V, 4: 89-93.
- MUNTANER, A. 1959. Nota preliminar sobre las formaciones tirrenienses de la isla de Menorca (Balears). *Bolletí Societat de Història Natural de Balears*. 5: 33-37.
- OBRADOR, A. i MERCADAL, B. 1979. Geomorfologia de Menorca. *Enciclopèdia de Menorca. Geografia Física* Vol.1. Obra Cultural Balear de Menorca. Cf. pp. 265-320.
- PASKOFF, R.P. 1996. Upper Quaternary eolianites in coastal Tunisia: A review. *Z. Geomorph. N.F.*, 102: 135-149.
- PASKOFF, R.P. i SANLAVILLE, P. 1983. Les côtes de la Tunisie: variations du niveau marin depuis le Tyrrhénien. *Maison de l'Orient Méditerranéen*, Lyon, 192 pp.
- PETHICK, J. 1984. *An Introduction to Coastal Geomorphology*. Arnold, London. 259 pp.
- RIQUELME J. i BLÁZQUEZ A. 2002. Caracterización de las eolianitas cuaternarias entre Cap Blanc y el Penyal d'Ifac (Litoral Valenciano). *Cuader. de Geogr.* 69/70: 163-186.
- RITA, J., RODRÍGUEZ-PEREA, A. i TEBAR F. J. 1988. *Sistemas dunares de Menorca. Valoración Geambiental y estado de conservación*. Inèdit, Departament de Biologia i de Ciències de la Terra de la UIB. 2 vols.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A., SERVERA, J. i MARTÍN, J.A. 2000. *Alternatives a la dependència de les platges de les Balears de la regeneració artificial continuada: informe Metadona*. Col·lecció Pedagogia Ambiental, núm 10. Universitat de les Illes Balears, Ajuntament de Calvià. 108 pp.
- ROSELL, J. i LLOMPART, C. 2002. *El naixement d'una illa. Menorca. Guia de geologia pràctica*. IME. Dòria i Forcada, A. (ed.). 277 pp.
- ROSSELLÓ, V.M<sup>a</sup>., ESTEBAN, V., YÉBENES, A. i FUMANAL, M<sup>a</sup>.P. 1995. Les Penyes de l'Albir: geomorfologia cuaternària. Aleixandre, T. y Pérez González, A. (eds.) *IX Reunión nacional sobre Cuaternario*. Madrid. C.S.I.C.-AEQUA. cf. pp. 3-14.
- SANJAUME, E. 1985. *Las costas valencianas. Sedimentología y morfología*. Universitat de València, València, 505 pp.
- SANLAVILLE, P. 1971. Sur le Tyrrhénien libanais. *Quaternaria*, XV: 239-248.
- SEGURA, F., PARDO, J. E. i SERVERA, J. 1999. Tectònica i carst al Migjorn de Menorca: El Prat de Son Bou. *Geoarqueologia i Quaternari litoral. Memorial M. P. Fumanal*. Departament de Geografia, Universitat de València. Cf. pp. 435-446.
- SERVERA, J. 1997. *Els sistemes dunars litorals de les illes Balears*. Tesi doctoral (inèdita). Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 904 pp., atles: 138 pp.
- SERVERA, J., MARTÍN, J.A. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. 1997. Coastal Parabolic Dunes of the Balearic Islands. In Cañaveras, J.C.; García del Cura, M. A. i Soria, J. (eds.): *15th International Sedimentological Congress*. International Association of Sedimentologists, Universitat d'Alacant. Cf. pp. 715-717.
- SERVERA, J. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. 1999. The setting the Holocene coastal dune systems of the Balearic Islands. In Clemmensen, L.B. (ed.): *Abstracts 19th Regional European Meeting of Sedimentology*. IAS, Geological Institute University of Copenhagen. 232.
- SERVERA, J., MARTÍN, J.A. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. 2002. Forma y dinámica de las acumulaciones de hojas de *Posidonia oceanica*. Su papel como elemento protector de la playa subaérea. In Pérez-González, A.; Vegas, J. i Machado, J.M. (eds.): *Aportaciones a la Geomorfología de España en el inicio del tercer milenio*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie: Geología, núm 1. Cf. pp. 363-369.
- TEBAR, F.J., RITA, J. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. 1991. Environmental valuation and state of conservation of the coastal dune systems of Menorca (Balearic Islands, Spain). *Collection Recherches Environnement*, núm 6. Recherches Scientifiques et Techniques sur l'Environnement, Colloque International Territoires et Sociétés Insulaires, Brest. 417-420.