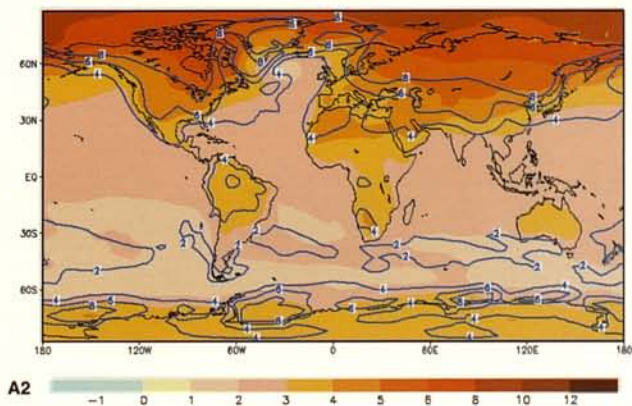
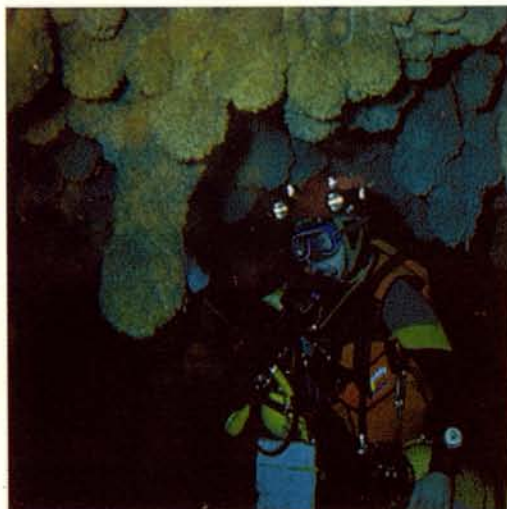


EL CANVI CLIMÀTIC: passat, present i futur

Guillem X. PONS i José Antonio GUIJARRO (eds.)



MONOGRAFIES DE LA SOCIETAT D'HISTÒRIA NATURAL DE LES BALEARS, 9



**Consell
de Mallorca**



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS



GOVERN DE LES ILLES BALEARS
Conselleria de Medi Ambient

EL CANVI CLIMÀTIC: PASSAT, PRESENT I FUTUR

Guillem X. PONS i José Antonio GUIJARRO (eds.)

Palma de Mallorca

2001

El Canvi climàtic: passat, present i futur / Pons, G.X. i Guijarro, J.A.
(eds). -- Ciutat de Mallorca: Societat d'Història Natural de les Balears,
2001. -- 204 p.; 25 cm. -- (Monografies de la Societat d'Història Natural de
les Balears; 9)

Bibliografia

ISBN.: 84-87818-34-X

D L PM. 230-2002

1. El Canvi climàtic: passat, present i futur.

II. Societat d'Història Natural de les Balears III. Col·lecció



**Consell
de Mallorca**



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS



GOVERN DE LES ILLES BALEARS

Conselleria de Medi Ambient

MONOGRAFIES DE LA SOCIETAT D'HISTÒRIA NATURAL
DE LES BALEARS, 9

© Text: Autors.

© Edició: Societat d'Història Natural de les Balears, carrer Sant Roc, 4 - 07001 Palma.

Fotografies de la portada: -El passat (adalt, esquerra): *Myotrogus balearicus*, fòssil endèmic a una galeria inundada de la cova d'en Bessó. Foto R. Landreth.

-El passat i el present (adalt, dreta): espeleotemes freàtics submergits (-15 m) a la cova des Drac de cala Santanyi. Foto R. Landreth.

-El passat i el present (abaix, esquerra): cala Pudent, fòssils junt a l'actual línia de costa. Foto. D. Vicens.

-El futur (abaix, dreta): predicció de l'increment de la temperatura mitjana anual al món (període 1961-90 fins al 2071-2100). Dades d'IPCC (2001).

Imprès a



Gràfiques Miramar, S.A.
Teixidors, 12 - naus 6 i 8
Polítion Can Rubiol
07141 Marratxí (Mallorca)

INDEX

- Pons, G.X. i Guijarro, J.A.** Presentació. El canvi climàtic: passat, present i futur. 7
- Mateu, G., Viñals, M.J., Moreiro, M. y Nadal, G.** La transgresión flandriense a través de los foraminíferos bentónicos del mar Balear. 13
The Flandrien transgression across the benthic foraminifera of the Balearic sea.
- Ginés, J., Fornós, J.J., Ginés, A., Gràcia, F., Delitala, C., Taddeucci, A., Tuccimei, P. i Vesica, P.L.** Els espeleotemes freàtics de les coves litorals de Mallorca: canvis del nivell de la Mediterrània i paleoclima en el Pleistocè Superior. 33
Phreatic speleothems from littoral caves of Mallorca: Mediterranean sea level history and palaeoclimatic changes during the upper Pleistocene.
- Grau, A.M. i Riera, F.** Observacions faunístiques i demogràfiques a la ictiofauna de les Illes Balears: un fenomen de meridionalització. 53
Faunistical and demographical observations in the Balearic ichthyofauna: a meridionalization phenomena.
- Pérez-Obiol, R., Yll, E.I., Pantaleón-Cano, J. i Roure, J.M.** Canvis en el paisatge vegetal de les Illes Balears durant el final del Quaternari. 69
Vegetational landscape changes of the Balearic Islands during the late Quaternary.
- Gràcia, F., Clamor, B., Landreth, R., Vicens, D. i Watkinson, P.** Evidències geomorfològiques dels canvis del nivell marí. 91
Geomorphological evidences of sea level changes.
- Vicens, D., Pons, G.X., Bover, P. i Gràcia, F.** Els tàxons amb valor biogeogràfic i cronoestratigràfic: bioindicadors climàtics del Quaternari de les Illes Balears. 121
Biogeographical and chronostratigraphical taxa: Quaternary climatic bioindicators from the Balearic Islands.
- Guijarro, J.A.** Problemàtica de la detecció del cambio climático en Baleares. 147
Problems in the detection of climatic change at the Balearics.

- Tintoré, J. y Duarte C.** Cambio climático y sus consecuencias para los ecosistemas costeros. 159
Climatic change and their impact on coastal ecosystems of the Balearic Islands.
- Guijarro, J.A.** Resumen del tercer informe científico del Panel Intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC). 173
Summary of the third IPCC scientific report.
- Grimalt, M.** Les catàstrofes climàtiques a les Illes Balears. Les inundacions. 191
Climatic catastrophes at the Balearic Islands. Floods.

Presentació

El canvi climàtic: passat, present i futur

Des de fa ja molt de temps, la Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB) es plantejà tractar de forma monogràfica una temàtica preocupant i tant d'actualitat com és el canvi climàtic. L'any 1998, el mes de maig, s'organitzaren un cicle de conferències damunt el canvi climàtic, amb el patrocini de l'Institut d'Estudis Baleàrics i "Sa Nostra". Era objectiu de la SHNB editar una nova monografia que recollís les conferències i alguns textos més, tal com es va fer amb l'anterior monografia de la SHNB, "L'Ecologia de les Illes", poc temps després de la seva celebració. El temps ha passat, les ocupacions d'alguns conferencians o l'empenta necessària per part dels editors cap als autors, tot plegat no ho havia permès, i fins enguany (2001) no hem acabat de completar aquesta tasca.

De les cinc conferències que sustentaren aquest cicle, dues --les de Jaume Bordonau (Universitat de Barcelona) i Luís Balairón (Instituto Nacional de Meteorología, Madrid)-- no han pogut ésser recollides en aquesta monografia. No obstant, l'índex s'ha pogut complementar amb aportacions d'altres autors experts en diferents aspectes de la matèria, amb temes d'actualitat científica i amb títols extraordinàriament suggerents que enfoquen el canvi climàtic des de distintes perspectives: uns, constatant el canvi climàtic des del passat, altres, amb l'observació del que està succeint al present i, per últim, amb un recull de les prediccions fetes fins ara i basades en els darrers avanços en modelització climàtica arreu del món. L'àmbit geogràfic dels articles que vénen a continuació també és prou ampli. La majoria es centren a les Balears, però també es poden trobar referències regionals (la Mediterrània) o planetàries (resum del tercer informe de l'IPCC -International Panel for Climatic Change-). És a dir, hem intentat oferir una monografia amb una perspectiva globalitzadora, tant pel que fa a l'àmbit geogràfic com a l'aspecte cronològic del canvi climàtic.

Les referències més conegudes (que no les úniques) respecte al canvi climàtic vénen donades per augment de temperatures, que a mig i llarg terme, tindria conseqüències directes sobre la línia de costa. A una comunitat, com la nostra, a on comptam amb uns 1238,9 km de costa la majoria dels processos relacionats amb el canvi climàtic deixen la seva empremta en aquest litoral. No cal parlar de l'actual pressió que sofreix i la importància econòmica d'aquesta franja de terra.

El programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient (PNUMA) ja ha posat a l'abast distints informes sobre el Canvi Climàtic. Aquesta és una matèria que ja no és patrimoni dels moviments ecologistes. Fins fa poc les administracions estatals no demostraven més que indiferència per aquests temes. Afortunadament, això ha canviat. Al darrer informe elaborat pel PNUMA, amb la participació de més de 900 científics de tot el món, es realitzen advertències sobre la pujada mínima del nivell de la mar a 8 cm degut a l'augment de la temperatura global d'1,4°C. També donen per segur un increment de 0,6°C durant el passat segle XX. Algunes de les conseqüències ja són apreciables en el comportament de determinats éssers vius: proliferació d'espècies tropicals (animals i vegetals) que amplien la seva àrea geogràfica cap a zones on abans hi havia un clima més fred, extinció o regressió d'altres, aucells migratoris que endarreixen el seu viatge o fins i tot no migren, disminució de fins un 15% del gel acumulat a l'oceà Àrtic, retrocés de les glaceres de tot el món,...

Una altra fita important per a la conscienciació global sobre canvi climàtic ve donada per la cimera de les Nacions Unides celebrada a Kioto l'any 1997. Aquí, tothom va coincidir en la necessitat de prendre mesures per evitar el canvi climàtic, encara que per a molta de gent el protocol que es va firmar, era totalment insuficient.

Tot i això, es va plantejar la necessitat de reduir les emissions de gasos d'hivernacle, desenvolupant energies renovables, millorant el transport públic i reduint la deforestació. Quan es parla de gasos d'hivernacle ens referim a diòxid de carboni (CO₂), metà (CH₄) i òxid nitrós (N₂O). Gran part d'aquests gasos es produeixen per la utilització de combustibles en la producció indústria, en el transport,...

El mes de juliol del 2001, representants de 180 governs de tot el món es reuniren a Bonn amb l'objectiu de salvar el Protocol de Kioto sobre el canvi climàtic (concretada a la Conferència de les Parts, a Marrakech -octubre-novembre 2001-). Aquesta reunió venia donada per la manca d'acord de la conferència de La Haia (novembre 2000) de l'any anterior (2000). Això tindrà continuïtat a la cimera de Rio + 10 que es celebrarà a Johannesburg (Sudàfrica) el setembre del 2002. Les contínues reunions donen idea de la preocupació que es té a nivell mundial, doncs és un problema que ens afecta a tots.

A l'estat espanyol més d'un 80% de l'energia primària consumida prové de la combustió de recursos fòssils (gas, petroli i carbó), quasi un 14% es produeix a centrals nuclears i només un 6'5% s'abasteix d'energies renovables (incloent-hi aquí les centrals hidroelèctriques).

A les Balears, actualment, un 99% de l'energia primària consumida prové de la combustió de recursos fòssils (3/4 de derivats de petroli i 1/4 per carbó) i un 1% d'energies renovables. El transport consumeix 2/3 de l'energia consumida. L'any 1997 les emissions de CO₂ a les Balears varen ésser de 5.186 milers de tones, la qual cosa suposa 6,9 tones /any per habitant.

La seriositat de les negatives repercussions que la contaminació derivada dels usos energètics està generant, ja està formalment acceptada a nivell internacional. El Protocol de Kioto de desembre de 1997 va significar el compromís europeu de reducció d'un 8% de les emissions dels sis gasos que provoquen l'efecte hivernacle (diòxid de carboni -CO₂-, metà -CH₄-, òxid nitrós -N₂O-, compostos perfluorocarbonats -PFC-, compostos hidrofluorocarbonats -HFC- i hexafluorur de sofre -SF₆-) respecte a les emissions de 1990 durant el període 2008-2012. D'aquests gasos, el més abundant, responsable de quasi tres quartes parts del problema, és el diòxid de carboni. A la seva vegada, aquest gas prové en un 90% del sector energètic.

En el context europeu, l'Estat espanyol, en lloc de sumarse a la reducció del 7-9% firmat per altres estats desenvolupats, podia augmentar les seves emissions fins un 15% entre 1990 i 2010. En la meitat del temps transcorregut (1990 a 1999), les emissions espanyoles han augmentat un 26,8%, gairebé el doble del permès per a tot el període. Pel que fa a Balears, el consum final energètic s'ha situat, en 1999, un 53,6% per damunt del consum corresponent a l'any 1990. El ritme de creixement anual és de l'ordre del 6-9% anual durant aquest darrer decenni. Just l'any 2001 l'energia elèctrica pujà a les Balears un 8,3%.

Es manté, una tendència extremadament allunyada de qualsevol índex de sostenibilitat. Aquest fet, reconegut pel propi Pla que s'exposa al públic, hauria de forçar una reflexió en profunditat respecte del futur que s'està dissenyant per aquest arxipèlag i de la contribució que les Illes han de fer als esforços internacionals per a reconduir la problemàtica ambiental derivada del tema energètic.

Dit això, anem a veure què podem trobar en aquesta monografia de la Societat d'Història Natural de les Balears.

Mirant ja el contingut de la monografia, comença amb un article d'un equip de micropaleontòlegs encapçalats per G. Mateu, junt amb M.J. Viñals, M. Moreiro, i G. Nadal. En el present estudi s'intenta demostrar la importància dels foraminífers bentònics com a indicadors de

l'evolució dels ecosistemes mixtes o marino-continental, com s'Albufera d'Alcúdia (Illes Balears). La seqüència holocènica del perfil transversal Gesa IV en el sondeig 39, ens ofereix l'Òptim Climàtic Flandrià, amb la implantació d'una biocenosi de foraminífers bentònics de característiques infralitorals. L'anàlisi sedimentològica i micropaleontològica, recolzada en datacions absolutes de ^{14}C , ens permeten visualitzar el procés transgressiu flandrià, des de 7385 ± 230 a. BP fins, aproximadament, els 6500 a. BP.

Un equip de geòlegs, biòlegs i geògrafs mallorquins (J. Ginés, J.J. Fornós, A. Ginés, i F. Gràcia) i italians (C. Delitala, A. Taddeucci, P. Tuccimei, i P.L. Vesica) estan treballant en un projecte comú de datació d'espeleotemes. Els espeleotemes freàtics de les coves costaneres de Mallorca són una excel·lent font d'informació per al millor coneixement de la història recent del nivell de la mar. Alineacions d'espeleotemes freàtics, penjats a diferents altures a coves litorals de Mallorca en són la prova. Episodis regressius de la Mediterrània apareixen també documentats a cotes inferiors al present nivell de la mar. S'han datat, utilitzant el mètode Th/U mostres d'espeleotemes freàtics, recol·lectats entre +40 m per damunt i -23 m per davall de l'actual nivell marí. Aquestes cristal·litzacions se relacionen amb estabilitzacions positives i negatives de la superfície de les aigües marines, relacionades amb les fluctuacions glacio-eustàtiques ocorregudes al llarg del Quaternari. Les edats obtingudes abasten des de 3,9 ka fins a més de 350 ka BP, registrant amb bastant de detall una complexa successió de canvis del nivell de la mar durant el Pleistocè Medi i Superior i l'Holocè. Les dades obtingudes permeten intentar la reconstrucció d'una corba eustàtica dels últims 300 ka, vàlida per a la Mediterrània Occidental.

En el següent article, A.M. Grau i F. Riera analitzen l'irregular augment de la ictiofauna de zones càlides a les Illes Balears degut a un procés de meridionalització. Durant el darrer quart de segle s'han observat canvis en la ictiofauna marina de les Illes Balears. Algunes espècies septentrionals s'han tornat rares o molt rares; però per altra banda, espècies termòfiles han aparegut o incrementat les seves poblacions. Alguns d'aquests canvis podrien ser un signe d'encalament de les aigües de la Mediterrània. No coneixem dades generals sobre el possible escalfament de les aigües a les Illes Balears. No obstant, sí que hi ha dades referents a àrees properes que indiquen: un increment de $0,12^{\circ}\text{C}$ de la temperatura mitjana a les aigües profundes de la Mediterrània occidental entre 1959 i 1989; un increment de $0,48^{\circ}\text{C}$ a 80 m de fondària en 21 anys, a l'Estartit (Catalunya); i altres autors parlen d'un increment de l'ordre de 2°C a la corrent atlàntica de talús a les costes del nord de la península Ibèrica entre 1972 i 1992. Alguns autors han posat de manifest que les modificacions en les poblacions de peixos poden reflectir variacions en les condicions oceanogràfiques i poden ser un primer indicador d'un canvi ambiental. Així mateix, d'acord amb aquest autor, la temperatura és la variable de gran escala amb més importància a l'hora d'afectar les poblacions de peixos. Així, els canvis detectats en les poblacions de peixos de les Balears han d'estar estretament relacionats amb l'escalfament de les aigües de la Mediterrània occidental, i en són un indicador biològic. Segons els autors, sembla que es tracta d'un procés que sembla imparable i que en els propers anys serem testimonis de canvis molt importants a la biota de la mar Mediterrània.

La palinologia i la paleobotànica també ens donen pistes sobre els canvis de la vegetació ocorreguts al passat. Un equip de paleobotànics de Barcelona, R. Pérez-Obiol, E.I. Yll, J. Pantaleón-Cano, i J.M. Roure, analitzen els canvis en el paisatge vegetal de les Illes Balears durant el final del Quaternari gràcies a anàlisis pol·líniques. L'última glaciació i l'actual període postglacial ha tingut un caràcter distintiu a les Balears en el que concerneix a l'evolució del paisatge vegetal, sobretot tenint en compte altres zones properes de l'Europa occidental. Durant el Würm han existit períodes interestadials amb expansió de les comunitats forestals de caducifolis i termòfils, i sens dubte han romàs a alguna part de les Balears refugiats. Durant l'Holocè inferior les illes Balears posseïen un paisatge vegetal amb *Corylus* (avellaners), *Buxus* (boixos)

(que tindria el màxim protagonisme en el paisatge), *Juniperus* (ginebrons i sevines), *Betula* (bedolls) i *Acer* (rotabocs). En canvi, l'Holocè superior és representat, a les Illes Balears, per un paisatge dominat per l'esclerofília en el qual *Olea* (ullastre) té una gran importància en el paisatge.

Un expert grup d'espeleobusseig encapçalat per F. Gràcia junt amb B. Clamor, R. Landreth i P. Watkinson, i amb el paleontòleg D. Vicens, estan donant a la llum les investigacions més sorprenents d'Europa pel que fa al descobriment i topografia de cavitats subaquàtiques a les Illes Balears. Els canvis climàtics succeïts al llarg del Quaternari han ocasionat variacions del nivell de la mar, amb la conseqüent modificació de la línia de costa. Les oscil·lacions del nivell de la mar ens han deixat diverses evidències geomorfològiques d'aquests episodis transgressius i regressius que han quedat enregistrades al litoral, tant per damunt com per davall de l'actual nivell marí. En aquest treball es passa revista a moltes d'aquestes proves dels canvis climàtics, que en sí mateixes formen part del nostre paisatge litoral, tant del que és visible a l'exterior, com del que roman amagat sota les aigües de la mar o a l'interior d'espectaculars cavitats càrstiques. Aquest article aprofita el seu coneixement exploratori per a elaborar un veritable atlas d'evidències geomorfològiques dels canvis del nivell marí: elements indicadors de paleonivells freàtics, regates de corrosió, morfologies de corrosió, fòssils quaternaris dins les cavitats inundades, sediments varrats, viseres, plataformes, coves d'abradió marina, bufadors, arcs, túnels, farallons, pedestals, marmites de gegant,... són part del contingut d'aquest article.

Un equip de paleontòlegs de la SHNB, D. Vicens, G.X. Pons, P. Bover i P. Gràcia, encoratjats pel primer firmant, fan una anàlisi gràcies al registre paleontològic de les espècies que ens subministren pistes sobre els bioindicadors climàtics del Quaternari de les Illes Balears. Aquest treball s'ha pogut realitzar en bona part gràcies a la tasca realitzada per D. Joan Cuerda, qui ha dedicat tota la seva vida a l'estudi de la fauna dels jaciments quaternaris. Durant el darrer interglacial del Quaternari (Pleistocè superior), el clima càlid va permetre que espècies marines intertropicals, principalment del litoral atlàntic penetressin per l'estret de Gibraltar dins la Mediterrània. A l'inici de la glaciació Würm, amb l'arribada d'un clima fred, la majoria d'aquestes espècies termòfiles es varen extingir de les aigües de les Illes Balears, restant, únicament, com a testimoni del passat en el registre fòssilífer. A Mallorca són nombrosos els jaciments del Pleistocè superior a on es troben dipòsits rics en fauna marina termòfila (pertanyent a l'Eutirrenià) i d'altres on és molt escassa (assignat al Neotirrenià). La fauna terrestre també es va veure afectada pels canvis climàtics. El gènere *Myotragus* és un exemple excepcional d'evolució insular que va sobreviure fins a l'arribada de l'home a les Illes Balears fa uns 4000-5000 anys. En aquest treball es relacionen les espècies de mol·luscs indicadores d'aquest canvi climàtic, la seva biogeografia i cronostratigrafia. Es fa una referència a l'evolució, relacionada amb el canvi climàtic, del gènere *Myotragus*.

J.A. Guijarro il·lustra la dificultat de la detecció del canvi climàtic regional amb l'estudi de les sèries més llargues de precipitació i temperatura de les Illes Balears. La variabilitat interanual d'aquestes variables (sobretot de la precipitació) y l'escàs nombre de estacions climatològiques amb llargs períodes de funcionament, fan difícil obtenir sèries d'observacions de qualitat per a l'anàlisi de les variacions climàtiques. Com a resultat d'aquest estudi s'observa un increment de la temperatura mitjana de 0,77°C cada 10 anys, en tant que la precipitació presenta tendències diferents, amb disminució al nord-est (-9 % a Maó) i augment al sud-oest (+13% a Eivissa), cosa que pot indicar una possible variació de les freqüències dels tipus de circulació atmosfèrica a la Mediterrània occidental.

C.M. Duarte i J. Tintoré examinen els conceptes de canvi climàtic i canvi global, revisen les conseqüències dels canvis que s'han produït durant el segle XX per als ecosistemes costaners i, finalment, avaluen els canvis addicionals que s'esperen sobre la base de les prediccions

d'escenaris possibles per al segle XXI, i les actuacions que se tindrien que emprendre per a minimitzar les conseqüències negatives del canvi climàtic.

En un segon article, J.A. Guijarro ens presenta un resum del tercer, i darrer, informe científic del Panel Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic (IPCC), que revisa els canvis observats al sistema climàtic (principalment l'augment de la temperatura mitjana de la superfície terrestre) i, basant-se en els darrers avanços de la modelització numèrica del clima, analitza les possibles variacions futures segons diferents hipòtesis de desenvolupament econòmic i emissions de gasos amb efecte hivernacle.

Per últim, i donat que les Illes Balears tenen una llarga història d'episodis de precipitacions intenses, M. Grimalt recull sistemàticament totes les catàstrofes climàtiques degudes a inundacions des de que es té constància documental. La torrencialitat de les precipitacions és notòria, amb un màxim registrat de 536,5 mm en 24 hores (Escorca, 22 d'octubre de 1959), i episodis històrics d'inundacions amb milers de víctimes com el de Palma, de 14 d'octubre de 1403. El nombre de víctimes d'aquesta data varia segons les fonts, entre les 3500 i les 5000, i més de 500 habitatges greument afectats !!.

Per part dels editors, només ens queda, agrair l'esforç dels conferencians i de tots els autors que han fet possible l'edició d'aquesta monografia, la confiança rebuda per part de la Societat d'Història Natural de les Balears per tirar endavant aquest projecte, i a les ajudes rebudes per part de la Conselleria de Medi Ambient (Dir. General de Biodiversitat), Consell de Mallorca i del Gremi d'Editors.

*Guillem X. Pons i José A. Guijarro
Palma de Mallorca, desembre de 2001*



*PER UN MUSEU DE LA
NATURALES A CIUTAT*

La Transgresión Flandriense a través de los foraminíferos bentónicos del Mar Balear

Guillem MATEU, María José VIÑALS, Manuela MOREIRO y Guillem NADAL

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Mateu, G., Viñals, M.J., Moreiro, M. y Nadal, G. 2001. La Transgresión Flandriense a través de los foraminíferos bentónicos del Mar Balear. *In*: Pons, G.X. i Guijarro, J.A. (Eds.): *El canvi climàtic: passat, present i futur*. Mon. Soc. Hist. Hist. Nat. Balears, 9: 13-31. ISBN: 84-87818-34-X. Palma de Mallorca.

El presente trabajo intenta demostrar la importancia de los foraminíferos bentónicos como indicadores de la evolución de los ecosistemas mixtos, marino continentales, como s'Albufera de Alcudia (Mallorca - España), cuya secuencia holocénica, del perfil transversal Gesa IV, ofrece el Óptimo Climático Flandriense, con la implantación de una biocenosis microfaunística, de características infralitorales. El análisis sedimentológico y micropaleontológico apoyado en dataciones absolutas por el método de C^{14} , permite visualizar el proceso transgresivo flandriense que desde los 7385 ± 230 a. BP hasta, aproximadamente, los 6500 a. BP sufre los siguientes estadios: 1) Disminución de un ecosistema parálico, oligoespecífico y dotado de un cierto indigenismo micropaleontológico; 2) Sustitución paulatina de tales especies de características parálicas y eurihalinas por otras estenohalinas y fitófilas (posidonias, algas, etc.) que van en aumento a medida que avanza la Transgresión Flandriense y 3) Alimentación biogénica de una litofacies flandriense, que va de calcarenitas a arenas más o menos finas, por ecosistemas infralitorales pluriespecíficos sobre niveles paleoholocénicos limosos y turbosos muy pobres en especies.

Palabras clave: *Transgresión Flandriense, Foraminíferos bentónicos, Óptimo Holoceno, Mar Balear.*

THE FLANDRIEN TRANSGRESSION ACROSS THE BENTHIC FORAMINIFERA OF THE BALEARIC SEA. In the present study we point out the benthic Foraminifera as indicators of the marine-continental ecosystem evolution, as in s'Albufera of Alcudia (Island of Majorca, Western Mediterranean). The holocene sequence shows a Flandriense optimum, coincident with the "Highstand System Tract" of Flandrien transgressive maximum 6500 y. BP, that locally allowed the implantation of an infralittoral character microfaunistic biocenosis. The sedimentological and micropaleontological analysis, backed by absolute C^{14} datations allows us to see the Flandrien transgressive process, that from 7385 ± 230 to near 6500 y. BP of the mesoholocene climatic optimum goes through the following stages: 1) Decrease of the oligospecific paralic ecosystem with a micropaleontologic indigenism. 2) Slow replacement of the euryhaline paralic species by more stenohaline and photophyllic ones (*Posidonia*, algae, etc.) that increases their diversity as the Flandrien Transgression advances and 3) biogenic formation of a litofacies that goes from calcarenites to more o less fine sand in

pluriespecific infralitoral ecosystems originated. Paleoholocene lagoon levels of organic and muddy characteristics are in the base of the transgression.

Keywords: *Flandrien Transgression, benthic Foraminifera, Holocene optimum, Balearic Sea.*

LA TRANSGRESSIÓ DEL FLANDRIÀ A TRAVÉS DELS FORAMINÍFERS BENTÒNICS DE LA MAR BALEAR. En el present estudi s'intenta demostrar la importància dels foraminífers bentònics com a indicadors de l'evolució dels ecosistemes mixtes o marino-continentals, com s'Albufera d'Alcúdia (Illes Balears). La seqüència holocènica del perfil transversal Gesa IV en el sondeig 39, ens ofereix l'Òptim Climàtic Flandrià, amb la implantació d'una biocenosi de foraminífers bentònics de característiques infralitorals. L'anàlisi sedimentològica i micropaleontològica, recolzada en datacions absolutes de ^{14}C , ens permeten visualitzar el procés transgressiu flandrià que, des 7385 \pm 230 a. BP fins aproximadament els 6500 a. BP, ofereix els següents estadis: 1) Disminució de l'ecosistema paràlic, oligoespecífic i amb un cert indigenisme micropaleontològic; 2) Suplantació de les espècies eurihalines i paràliques per altres estenohalines, fitòfiles i psàmiques que van augmentant a mesura que avança la transgressió flandriana fins el seu òptim d'uns 6500 a. BP; 3) Alimentació biogènica d'una litofàcies flandriana, que va de calcarenites a arenas més o menys fines, per l'ecosistema infralitoral pluriespecífic, damunt nivells paleoholocènics llimosos i turbosos, molt pobres en espècies, de l'antiga albufera.

Paraules clau: *Transgressió del Flandrià, foraminífers bentònics, òptim Holocè, Mar Balear.*

Guillem MATEU, Manuela MOREIRO y Guillem NADAL: *Laboratori de Micropaleontologia - Edifici Guillem Colom, Universitat Illes Balears; Maria José VIÑALS, Departamento de Ingeniería cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, Universidad Politécnica de Valencia*

Introducción

Como complemento a la publicación de Viñals y Mateu (2000) sobre la secuencia holocénica en 6 sondeos de la Albufera de Alcúdia ofrecemos esta nota, basados sobre todo en el sondeo 39-GESA IV (Figs. 1 y 2), de unos 15 m de longitud y que, de base a techo, nos permite superponer 10 niveles sedimentarios pleisto-holocénicos (Fig. 4), cuya micropaleontología de 5 de ellos ofrece notable información para interpretar como evolucionaron las biocenosis parállicas al ser reemplazadas por especies netamente marinas durante la Transgresión Flandriense (Figs. 5 y 6). Los depósitos sedimentarios, causados por ascenso del nivel marino, ofrecen secuencias verticales que implican una evolución hacia tierra de la playa, formando barreras y lagoons de carácter proximal, es decir, sin que haya

una separación drástica con el medio marino. Los factores climáticos son de suma importancia en las variaciones del nivel marino, de ahí la necesidad de estudiar el contenido microfaunístico (foraminíferos, ostrácodos, etc.) y polínico, así como hacer el análisis sistemático y ecofenotípico de las especies, subespecies y variedades, cuya plasticidad de formas, nivel de biomineralización, tamaño, etc. refleja, sobre todo, en foraminíferos y ostrácodos, el grado de incidencia marina sobre el ecosistema parálico, generalmente más oligoespecífico que el anterior.

Dentro de los cambios eustáticos y climáticos del Cuaternario (Zazo y Goy, 2000) el elemento micropaleontológico permite definir mejor como van integrándose los conceptos de sucesión ecológica y de evolución

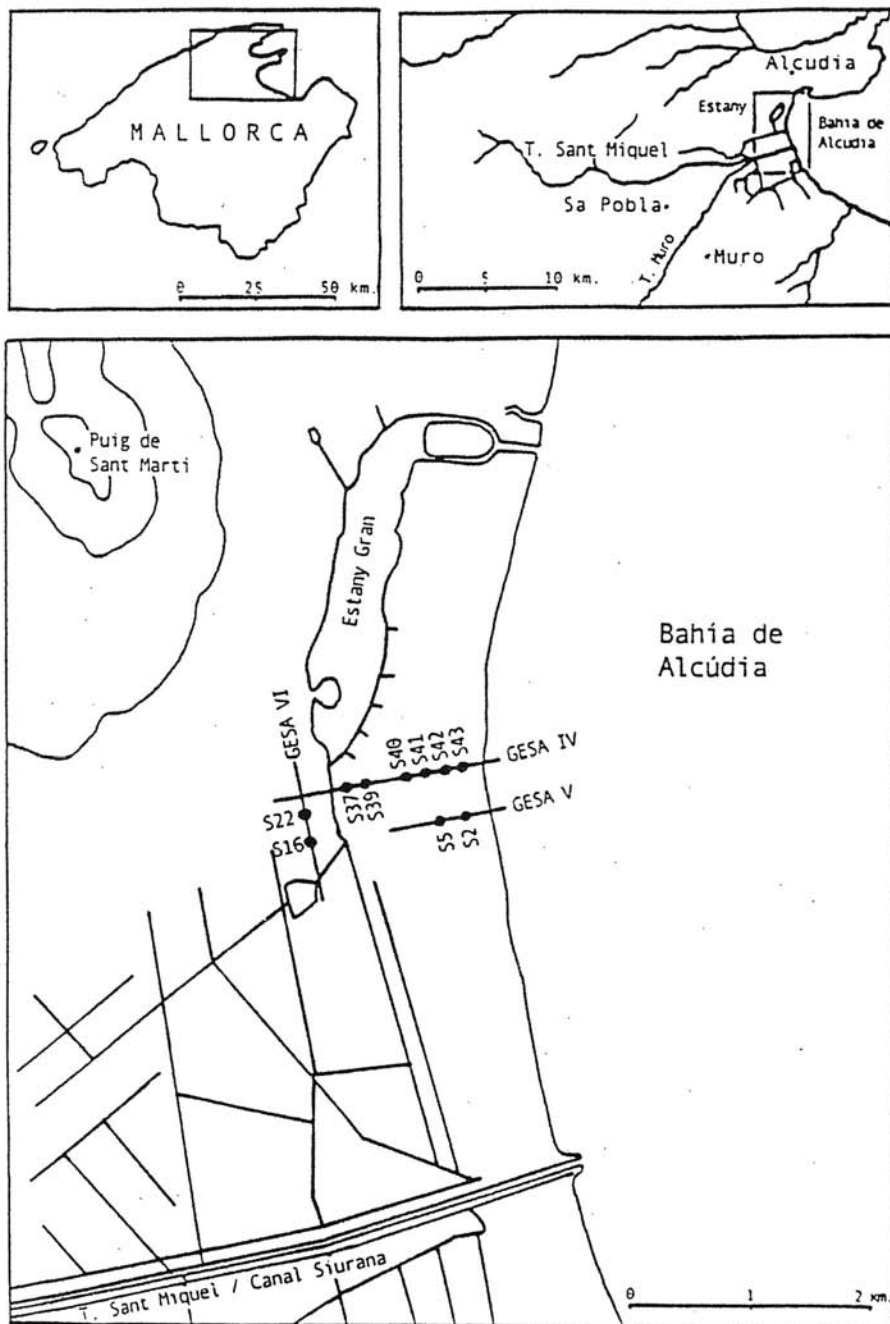


Fig. 1 Mapa de localización del Sondeo 39 dentro del perfil Gesa IV de la Albufera de Alcúdia.
Fig. 1. Map showing the location of Sounding 39 in the Gesa IV profile of the Albufera de Alcúdia.

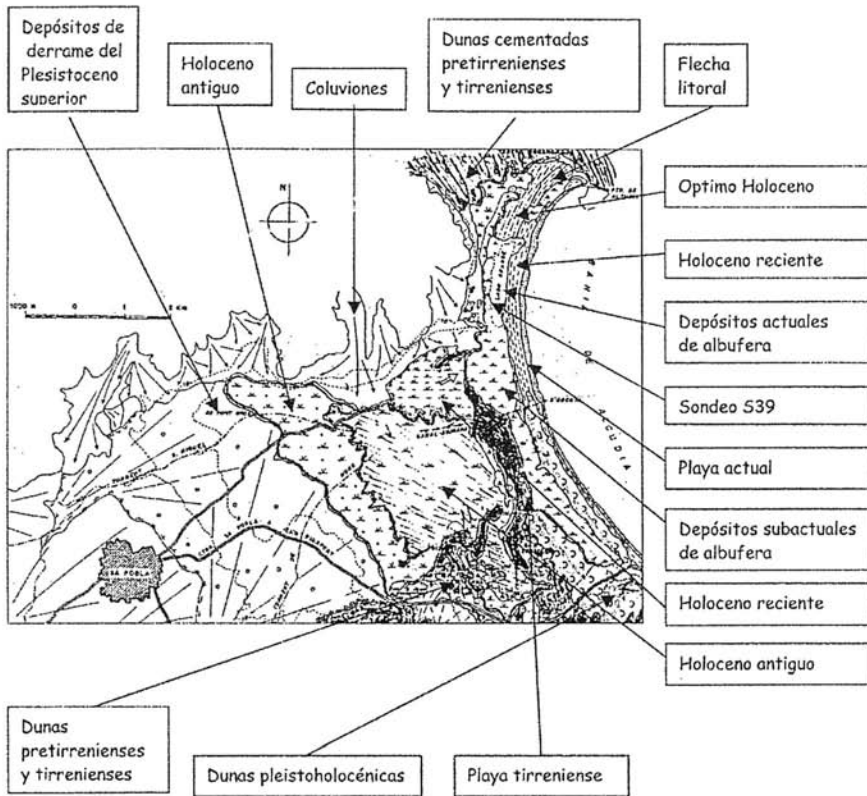


Fig. 2. Principales formaciones de playas, dunas, restingas, coluviones, etc. del Pleistoceno y Holoceno de la Albufera de Alcudia (tomado de Goy et al., 1994, modificado).

Fig. 2. Main formations of beaches, dunes, sandbars, colluvial deposits, etc., of the Pleistocene and Holocene of the Albufera de Alcudia (taken from Goy et al., 1994, modified).

biocenótica en un ecosistema local como el de la Albufera que desde humedal preflandriense de 7385 ± 230 a. BP, oligoespecífico y eurihalino pasa por una colonización marino-transgresiva, de origen infralitoral y de preponderancia estenohalina, propia de praderas de posidonia y de otros biotopos epífitos, sásmicos y nerítico-costeros (Figs. 5 y 6). Las secuencias verticales de facies de zonas litorales sujetas a procesos alternativos de alto (*highstands*) y bajo (*lowstands*) nivel marino, son de sumo interés para seguir la variación de la línea de costa de características eustáti-

cas, es decir, no "globales" sino "regionales". Lo que, en las Islas Baleares, dentro de la mitad occidental del Mediterráneo, que es caja de resonancia de la meteorología y oceanografía atlánticas, acusa directamente las glaciaciones y deglaciaciones polares y a la vez sirve de regulador eustático de nuestro mar continentalizado y supeditado también al glaciario alpino. De ahí que en el análisis microfauístico de foraminíferos bentónicos no podamos prescindir de otros elementos de información malacológica y palinológica que tanto ayudan a situar las facies sedimentarias

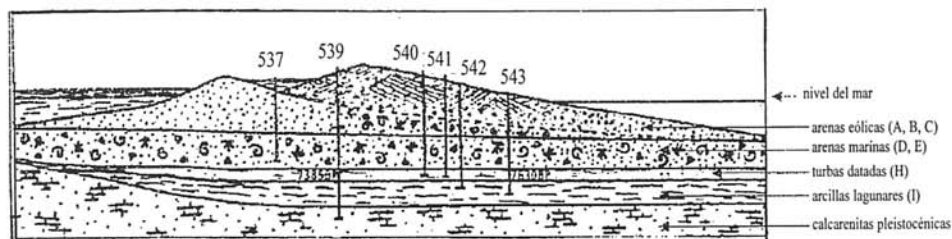


Fig. 3. Perfil transversal GESA-IV con el S39 que asciende desde las calcarenitas basales pleistocénicas con litófagos atravesando limos y turbas paleoholocenas de la albufera preflandriense siguiendo las calcarenitas y arenas finas biogénicas flandrienses y recubiertas por dunas eólicas del Holoceno reciente (según Viñals y Mateu, 1999).

Fig. 3. GESA-IV cross-profile with the S39 ascending from the basal pleistocenic calcarenites with lithophages across the paleo-holocenic slimes and rabbles of the large pre-Flandrien coastal lagoon, to the Flandrien calcarenites and thin layers of biogenic sands covered by wind dunes of recent Holocene age (according to Viñals and Mateu, 1999).

en el contexto climatológico, reflejado en los flujos orgánicos continentales y en los cuerpos deposicionales parálidos y marinos.

Algunos rasgos geomorfológicos y sedimentarios del área estudiada

La Albufera de Alcudia es la mayor zona húmeda de la Isla de Mallorca (Baleares), con una extensión actual de 2500 ha, situada en la más oriental de las tres cubetas (Palma, Inca y Muro-Sa Pobla) que, en forma de *grabens*, constituían aquel antiguo canal mio-pliocénico, enmarcado por la Serra de Tramuntana y la Serra de Llevant, cuyo conjunto de *horsts* definían un brazo de mar, hoy colmatado, que unía la antigua Bahía de Palma con las de Alcudia-Pollença. La naturaleza finimiocénica, pliocénica y cuaternaria del sondeo 31, de unos 400 m de potencia realizado en la cubeta de Muro-Sa Pobla (Colom, 1985; Mateu, 1982) y más concretamente en el área contigua al sondeo S-39-Gesa del presente estudio, nos da pie para destacar que la cuenca neógeno-cuaternaria de la Albufera ha ido desarrollando un proceso acrecionario dependiente del grado de subsidencia, de la tasa de sedimentación y del ascenso del nivel

marino (Viñals y Mateu, 1999) en consonancia con la secuencia de biofacies descritas con criterios micropaleontológicos y teniendo en cuenta el encuadramiento geológico y la evolución estructural de la zona a través de la orogénesis alpina (Fornós, 1995). Como laguna litoral situada a unos 1,5 m por encima del nivel marino, la Albufera ha ido creciendo en extensión (progradación) y en potencia o agradación de sedimentos, teniendo en cuenta que en estos últimos 5 millones de años la tasa de sedimentación o relleno del antiguo *graben* habría oscilado alrededor de los 3,7cm/1000 años, habida cuenta del nivel de la primera aparición origopliocénica de *Globorotalia margaritae* y demás especies planctónicas origoatlánticas y postevaporíticas que aparecen a nivel de los 187 m de profundidad, en el sondeo 31 (Mateu, 1982). Tal tasa de sedimentación, situada entre los 2,9 y los 10,5cm/1000 años, típicas del Mediterráneo (Cita *et al.*, 1978), a más de las posibles lagunas sedimentarias del registro micropaleontológico, no puede homologarse con las presentes tasas de sedimentación de la Transgresión Flandriense en base a la secuencia holocénica (S39), de calcarenitas, arcillas lagunares, turbas, arenas marinas y arenas eólicas (Figs. 3, 4 y 5). Superposición de materiales tan diversos y acumulados por causas tan distintas que van

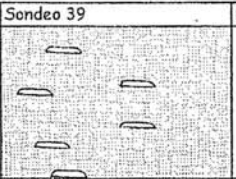



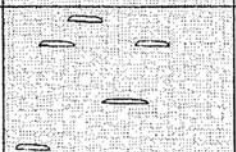

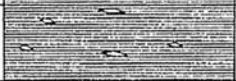

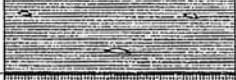
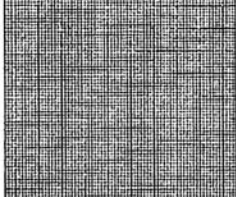
Nivel	Metros	Sondeo 39	Descripción
A	1		arenas blancas conchíferas lenticulares limosas terrígenas
	2		
B	3		arenas blancas conchíferas restos de posidonia
	4		
C	5		arenas blancas finas conchíferas con arenas gruesas rodadas de caliza negra
	6		
D	7		arenas finas biogénicas óptimo flandriense
	8		
E	9		calcarenitas alimentadas por tafonomía infralitoral
	10		
F	11		limos orgánicos grises
G	12		limos orgánicos grises
H	13		turba con malocofauna paleo-holocénica
I	14		sedimentos lagunares con limos orgánicos
J			calcarenitas pleistocénicas con litófagos

Fig. 4. Sondeo S 39 Gesa IV con niveles y descripción de materiales litológicos.
 Fig. 4. Sounding 39 Gesa IV with levels and descriptions of lithological materials.

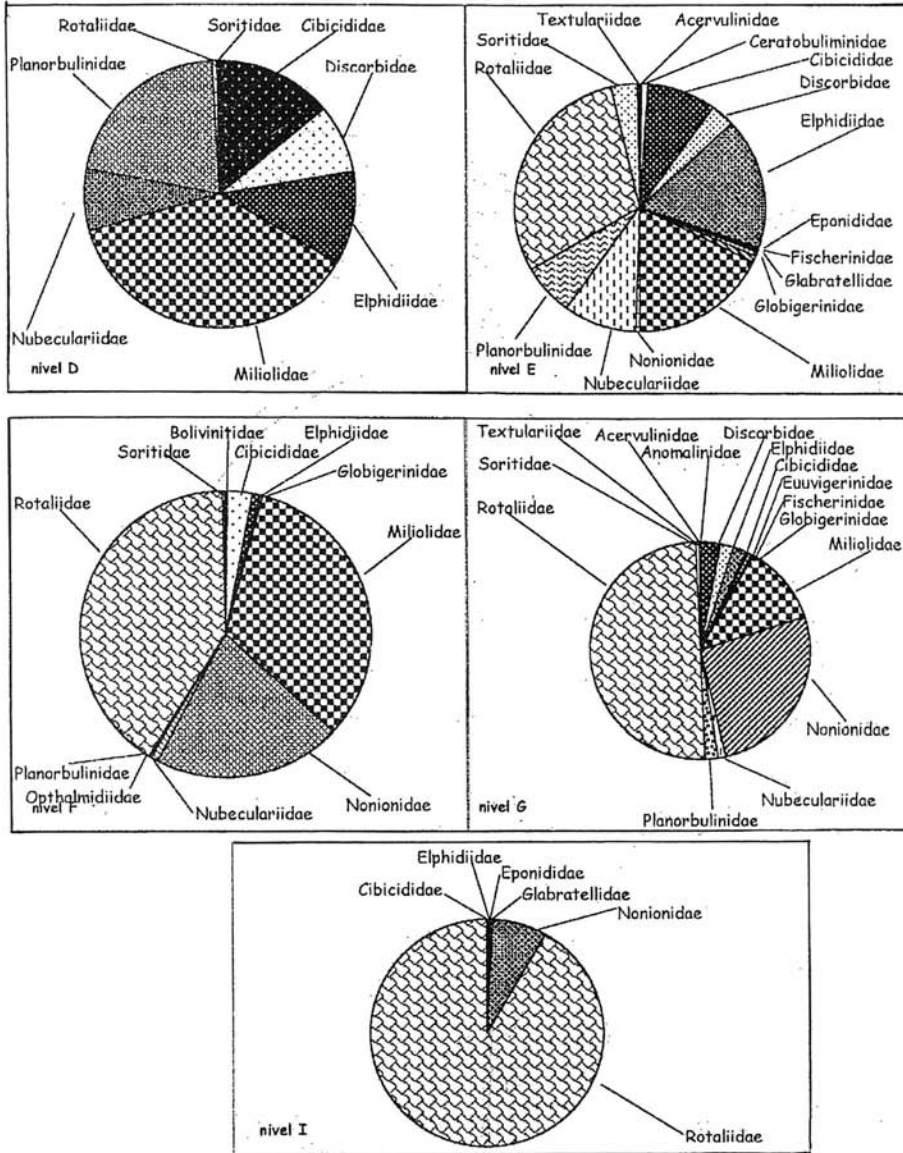


Fig. 5. Biofacies de foraminíferos bentónicos desde un ecosistema parásico (Nivel I) hasta infralitoral (Nivel D), exponente micropaleontológico de la Transgresión Flandriense.

Fig. 5. Biofacies of benthic foraminifers from a paralic ecosystem (level I) up to infralitoral (level D), micropaleontological exponent of the Flandrien transgression.

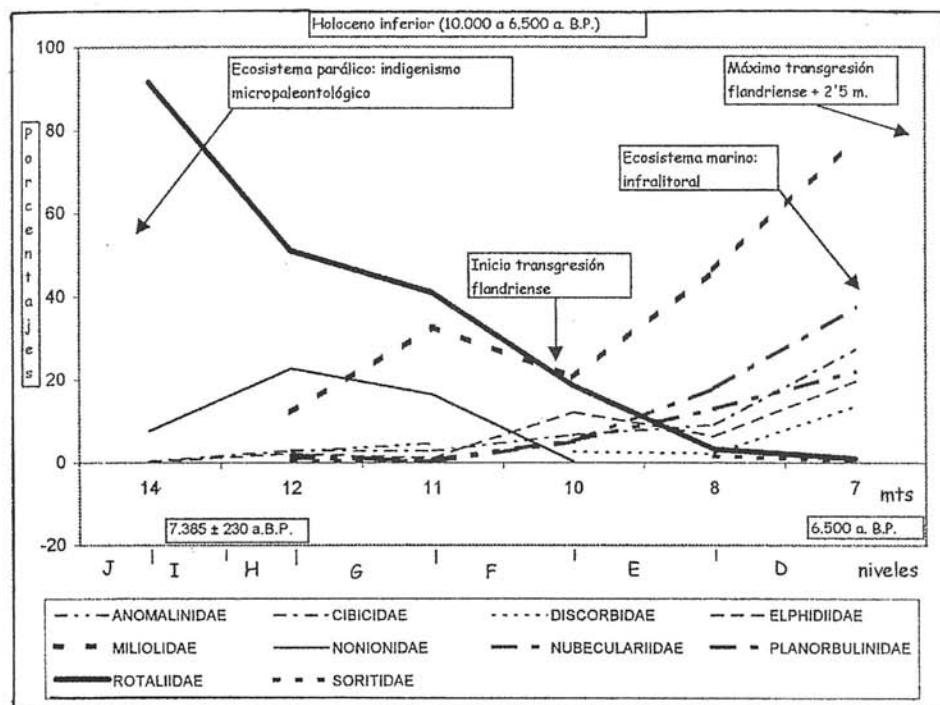


Fig. 6. Suplantación del ecosistema parálico supralitoral por el ecosistema marino infralitoral durante el máximo de la Transgresión Flandriense.

Fig. 6. Replacement of the supralittoral paralic ecosystem with the infralittoral marine ecosystem during the maximum of the Flandrian transgression.

de los abanicos aluviales continentales al abastecimiento de arenas biogénicas infralitorales, pasando por la deposición eólica dunar, más o menos azoica y que caracteriza la cobertura subaérea y supralitoral del área en estudio. Acción continuada de transporte y colmatación, con aportes tributarios de la cuenca nororiental de Mallorca, sobre todo de los torrentes de San Miquel y de Muro y de forma especial de las surgencias de aguas subterráneas que ascienden del acuífero de Sa Pobla (Custodio *et al.*, 1992) (Figs. 1 y 2).

Análisis micropaleontológico e interpretación biocenótica y paleoclimática del sondeo 39 GESA IV

De base a techo, el Sondeo 39 GESA IV ofrece los siguientes niveles (Figs. 3, 4 y 5):

NIVEL I (de -14 m a -13 m). Este nivel descansa sobre calcarenitas relativamente azoicas y algo alteradas por litófagos o excavadores de sedimentos (*individuals burrows*), propios del Pleistoceno superior, aunque ya empiezan a ofrecer características orígonocénicas propias de migración de playa sobre depósitos lagunares que contienen limos orgánicos grises con malacofauna bien con-

servada (*Cerastoderma glaucum*), abundantes ostrácodos (*Cyprideis torosa*), con cierta ornamentación, restos vegetales y sobre todo una notable representación microfaunística de foraminíferos bentónicos (Fig. 5), con una casi total ausencia de formas exóticas. Estas quedan suplantadas por el indigenismo, la oligoespecificidad y la hipohalinidad de este ecosistema parálico donde hay aproximadamente un 90% de Rotaliidae (*Ammonia beccarii beccarii*, *A. beccarii inflata*, *A. beccarii tepida*) junto con un 20% de Nonionidae (*Haynesina depressula*, *H. germanica*, *Melonis barleeanum*, etc.) y Elphidiidae (*E. complanatum*), además de unos pocos individuos exógenos (*Lobatula lobatula*, *C. refulgens*, etc.). Se trata de una biofacies propia de un ecosistema lagunar autóctono, con biocenosis afines a las rías y estuarios noribéricos (Cearreta, 1988a; 1988b; 1989; 1992), a medios parálidos del Levante peninsular (Usera y Mateu, 1995), a las biofacies tipo 5^o de Williams (1994) de los estuarios y marismas del Golfo de México, con su *Intertidal benthic foraminifera biofacies*. Sin que esta distribución biogeográfica suponga la extrapolación cosmopolita de tales comunidades eurihalinas de marismas y lagunas litorales, ya que en el Mediterráneo si la sincronía biotópica de *Ammonia* y *Haynesina* suele indicar incursiones marinas en marismas y marjales, en Nueva Zelanda, por ejemplo, son *Ammonia beccarii* y *Miliammina fusca* (*AM association*) las que indican tal característica parálica (Hayward y Hollis, 1994) y *Ammonia parkinsoniana* y *Ammotium salsum* los que realizan idéntica función en lagunas y ciénagas litorales del Caribe (Mateu, 1991) y de Brasil (Debenay, 2000).

Del nivel I (Figs. 3, 4 y 5) hemos estudiado 621 individuos pertenecientes a 6 familias, de las que una sola (Rotaliidae), con *Ammonia beccarii*, contiene casi el 90% de individuos, con un 60% de formas levógiras y un 40% de formas dextrógiras. Con tendencia a la oligoespecificidad, tan propia de medios supratidales, esporádicamente comunicados con el mar y que, en nuestro caso, sirve de

base a un proceso de deteriorización climática inferoholocénica, de carácter regresivo, con respuesta parálica en el Mediterráneo occidental, mientras en el oriental se expresa con ciertos *impulsos* de foraminíferos fríos (*Neogloboquadrina pachyderma*), indicadores planctónicos del enfriamiento de aguas profundas (De Rijk, Haynes y Rohling, 1999). Episodio difícil de compaginar con el nivel sapropélico S1. de 9000 a 6000 a. BP (Cacho *et al.*, 1999), que es el más moderno del Mediterráneo, datado por Stanley (1978) entre 9000 y 7000 a. BP en el Mar Jónico y que coincide con la "moderna" estabilización del régimen antiestuarino atlantomediterráneo de Gibraltar.

A nivel local, la biofacies bentónica, parálica y paleoholocénica del Nivel I, descansa sobre materiales finipleistocénicos supeditados a aquel flujo hacia el Mediterráneo de aguas atlánticas, superficiales y acrecentadas por disolución masiva de icebergs en el Atlántico Norte (Bond *et al.*, 1992; Baas *et al.*, 1997). Su registro sedimentario son los hoy tan estudiados *Heinrich layers* (H.L.), con sus *Ice-raft detritus* (IRD), cargados de formas planctónicas polares (*Neogloboquadrina pachyderma* f. *sinistrorsa*) (Grousset *et al.*, 1993), relacionados con el bloqueo septentrional de la hidrodinámica anticiclónica del Atlántico Norte (Andrews *et al.*, 1998; Kristensen *et al.*, 1998; Lezine y Denèfle, 1997, etc.) y de su actual circulación termohalina (Berger y Wefer, 1996) y cuya incidencia en el Mediterráneo se registra en las paleotemperaturas (SST) del mar de Alborán (Cacho *et al.*, 1999) y en las biofacies finipleistocénicas del mar provenzal catalano-balear (Mateu, 1998).

Los materiales paleoholocénicos, anteriores al nivel turboso H datado en 7385 ± 230 a. BP, coinciden con el nivel sapropélico S1 en que hubo una notable sedimentación orgánica de origen mesoepipelágico interglaciar, abundante en cocolitofóridos (*Hemiliania huxleyi*, *Gephyrocapsa oceanica*, *Syracosphaera pulchra*, etc.) (Flores *et al.*, 1997) y foraminíferos planctónicos templado-cálidos (*Globorotalia inflata* f. levógira, *G. truncatu-*

linoides f. *levógira*, *Globigerinoides ruber*, etc.)

Si en la Última Gran Glaciación (U.G.G.) (18000 a.-14500 a. BP) el clima fue frío y seco (Zazo et al., 1996; Myers et al., 1998, etc.) es a partir de los 9000 a. BP, iniciado ya el Holoceno en que se nos va tornando cada vez más cálido y húmedo. Sobre todo a nivel de los 6500 a. BP del Máximo Flandriense, con las descargas del Nilo y las deglaciaciones, polar y alpina, que aportaron nuevas aguas a un Mediterráneo inferoholocénico (Rossignol-Strick, 1999) cuya evolución climática óptima era más húmeda y cálida que la actual (Zazo et al., 1996; Mateu, 1998) y que, en nuestro sondeo, correspondería al máximo transgresivo flandriense de los 6500 a los 6000 a. BP, dentro del Estadio Isotópico 1 de Emiliani (1955) y de Shackleton y Opdyke (1973).

NIVEL H. Materiales turbosos, datados en 7385 ± 230 a. BP.

En pleno Holoceno inferior (10000 a 6500 a. BP) unos nuevos procesos parálidos y aluviales perimediterráneos (Hernández Molina et al., 1994) llevan a ecosistemas hídrico-continentales, con comunicación restringida con el mar y favorables a la formación de niveles turbosos como estos del Sondeo 39-GESA-IV de Alcudia (Figs. 3, 4 y 6). Micropaleontológicamente pobres en especies, pero con una malacofauna bien conservada. Elementos negruzcos, turbolimosos, de aguas de escasa salinidad y en un clima más húmedo que el actual (Zazo et al., 1996). Turbas de marisma o "peats-marsch", típicas del post-lagoon de los complejos parálido-marinos holocénicos (Demarest y Kraff, 1987; Seibold y Berger, 1993). Con más aportes aluviales que influencia marina, obedecería a episodios puntuales y locales donde la oligoespecificidad de foraminíferos bentónicos acusaría la depleción de oxígeno en áreas de gran productividad orgánica, propia de turberas y otras áreas como mudflats, marjales, manglares, etc. (Sen Gupta et al., 1993; Mateu, 1991). La hipoxia de tales aguas someras favorece la dominancia de *Ammonia*

beccarii, *Haynesina depressula*, y de otras formas indígenas de zonas deficientes en drenaje, cubiertas de cierta vegetación y rodeadas de arbustos con raíces más o menos subaéreas. Su microfauna bentónica de foraminíferos calcáreo-perforados de la familia Rotaliidae (*Ammonia*), y Nonionidae (*Haynesina*), etc., ofrece un extraordinario ecofenotipismo que analizado por secuencias DNA-ribosomales (Holzmann et al., 1998; Pawlowsky et al., 1994, etc.) no hace más que confirmar la taxonomía tradicional donde el abanico morfológico se extiende desde formas lobuladas y con menor número de cámaras como *Ammonia tepida* que indica aguas salobres, hasta las formas plano-convexas, más calcificadas y con suturas más salientes y radiales al botón umbilical, propias de estuarios y bahías como *Ammonia parkinsoniana* (d'Orb.), tan bien estudiada por Pòag (1978) en los estuarios del Golfo de Florida. Sin olvidar que Tufescu (1974) ya había descrito 14 especies y 19 variedades de *Ammonia beccarii* (L.) del área póntica (Mar Negro) y que los nuevos estudios etológicos y biogeográficos de Langer (1993) reconocen tendencias epífitas a *A. beccarii* y endo o epipélicas a *A. tepida*, siendo los primeros los más abundantes en nuestro ecosistema parálido balear de la Albufera de Alcudia.

NIVEL G. En el nivel preturboso (I), (Fig. 4) los foraminíferos solo alcanzaban 6 familias (Fig. 5). Aquí, en el posturboso (G) formado por limos orgánicos grises que recubren la turba del nivel H, ya se ha aumentado la biodiversidad hasta 15 familias y se ha reducido a un 75% el número de formas indígenas eurihalinas de Rotaliidae (*Ammonia*) y Nonionidae (*Haynesina*), suplantadas por Miliolidae o Hauerinidae y sobre todo por aquellas especies (*Melonis pompilioides*, *Miliolinella suborbicularis*, *Elphidium complanatum*, etc.) que se adaptan del medio infralitoral al ecosistema parálido de los costal marsh, siguiendo las estrategias litosomáticas, de los procesos transgresivos descritos por Demarest y Kraft (1987). Aquí, según las Figs. 5 y 6 se mantiene contacto directo de

comunidades eurihalinas y estenohalinas con un máximo preflandriense de Nonionidae, al que sigue la colonización de Miliolidae (Hauerinidae), de origen sobre todo rizomático-posidonícola, que avanza en el Máximo Transgresivo Holocénico hacia el "highstands" o "alto nivel marino" de unos 2 m sobre el nivel 0 del mar actual. Todo esto hace unos 6500 años cuando la biocenosis parálida de Rotalidae, Nonionidae y Elphidiidae, alcanzó su lenta suplantación por otra de características marino-infralitorales formada, de más a menos, por Miliolidae, Cibicidae, Nubeculariidae, Discorbidae y Planorbuliniidae. Es decir, que el antiguo ecosistema hipohalino preturboso y turboso de los niveles I y H, con elementos calcareníticos de playa, por rotura de restinga y avance del mar sobre la Isla, permitió una colonización paulatina de formas exóticas como *Massilina secans*, *Miliolinella suborbicularis*, *Elphidium crispum*, *Triloculina oblonga*, *Quinqueloculina berthelotiana*, *Lobatula lobatula*, etc. O sea que a través de este sondeo de 14 m vemos la evolución biocenótica y la sucesión ecológica de un ecosistema que de parálido-marino pasa a marino-parálido, sin solución de continuidad. Con la suplantación de especies y aumento progresivo de biodiversidad en aquel vaivén transgresivo-regresivo de la línea de costa avanzando hacia aquel "*Highstand System Tract*", detectado en las costas peninsulares (Fernández-Molina *et al.*, 1994), coetáneo del "*Holocene prograding body P4*" del máximo transgresivo flandriense (Zazo *et al.*, 1996) que en este sondeo 39 corresponde al Nivel D, como atestiguan sus foraminíferos bentónicos.

NIVEL F. (de -11 a -10 m). Formado por limos orgánicos grises y con una biodiversidad algo inferior a la anterior, pero con mayor presencia de Miliolidae (Hauerinidae), lo que demuestra un afianzamiento del ecosistema posidonícola.

NIVEL E. (de -10 m a -8 m). Litofacies de arenas grises y heterogéneas, procedentes de calcarenitas erosionadas, con bioclastos y

microfauna (foraminíferos, ostrácodos, etc.) más o menos retrabajados. Parecen originarios de antigua playa muy batida por el oleaje y alimentada por procesos tafonómicos infralitorales. La biodiversidad de foraminíferos alcanza unas 46 especies y 16 familias (Fig. 5), frente a las 13 especies y 6 familias del nivel I de sedimentología preturbosa. En este nivel E se aprecia el lento avance del ecosistema infralitoral sobre medio parálido, con el reemplazo de Rotaliidae (*Ammonia*) y Nonionidae (*Haynesina*) por Miliolidae, Planorbuliniidae y Cibicidae, además de otras familias que por su etología pertenecen a los morfotipos epífitos B y D de Langer (1993). O sea, formas móviles temporales (*Haynesina*) y móviles permanentes (Miliolidae) respectivamente, en biotopos de *Posidonia*, *Fucus*, *Halimeda*, *Pseudolithophilum*, *Halopteris* y otros vegetales infra-circalitorales que sirven de sustrato y área de reproducción de tales foraminíferos bentónicos. Además, la presencia escasa, aunque representativa, de Soritidae (*Peneroplis* y *Amphisorus*) nos indican biotopos cuya batimetría no suele sobrepasar los 50 m, afín a la nearshore sediment and flora de aguas claras y termófilas, con temperaturas entre 18 y 27° C y salinidades superiores a los 37‰ (Murray, 1973). El carácter endosimbionte de los Soritidae suele especializarse con determinado tipo de microalgas, como los *Amphisorus* con las Dinofíceas y los *Peneroplis* con las Rodofíceas y Clorofíceas (Hallock y Peebles, 1993; Reiss y Hottinger, 1984). Esto demuestra la gran analogía entre el desarrollo del coral hermatípico y el de los macroforaminíferos tropicales (Lee *et al.*, 1979) como estos Soritidae, conocidos en Mallorca desde el Oligoceno (Estampense) (Colom, 1935) y cuya presencia en las formaciones arrecifales del Mioceno terminal balear evoca los actuales ecosistemas caribeños (Mateu, 1991). El enfriamiento de las glaciaciones plioleostocénicas obligó a los Soritidae a una adaptación climática en biotopos superficiales de la mitad sur de la Isla y en el litoral meridional mediterráneo, siguiendo la repoblación biológica pliocénica y postevaporítica (Mateu y Gazá, 1986), hasta los actuales tiempos holocénicos. En la actuali-

dad perviven aquí, sobre todo, *Peneroplis*, *Spirolina*, *Amphisorus* y *Dendritina* que se reproducen sobre sustrato epifito (*Posidonia*, *Cimodocea* y *Halimeda*), como también sobre sustrato arenoso. Precisamente, la colonización neógeno-cuaternaria de *Posidonia oceanica* en el Mediterráneo y de *Thalassia testudinum* caribeño-atlántica, ambas fanerógamas marinas, no puede desligarse de la evolución geotectónica y paleogeográfica en general, pero sobre todo del carácter fótico-simbionte y origoarrecifal de estos macroforaminíferos marginolitorales, como los Soritidae. Su sistemática está en revisión (Gudmundsson, 1994) y su presencia en este Nivel E (Figs. 3, 4, 5 y 6) corresponde a litofacias de playa de tipo calcarenítico, alimentada por biotopos ricos en foraminíferos infralitorales y ostrácodos eurihalinos como *Cyprideis torosa*, propios de lagunas salobres, supralitorales y proximales (Guillaume et al., 1985), con comunicación periódica con el mar y aportes efímeros de agua dulce, por su ausencia de moluscos (Hajjajji et al., 1998). Lo que supone cambios en la composición química de la laguna ya que el aumento de *Cyprideis torosa* va ligada al incremento de ClNa, mientras el aumento de bicarbonatos propicia el desarrollo de otras especies como *Ilyocypris bradyi* (Sars), ligada a la alternancia de salinidades. Como también la tasa de sedimentación anual o flujo sedimentario, si es débil favorece la asociación P-Mn y si es fuerte la de Al-Si, en la composición mineralógica de valvas de *Cyprideis torosa*, que suelen ser lisas y menos ornamentadas en aguas relativamente salinas (Gliozzie et al., 1998). También la granulometría del sedimento, si es gruesa favorece la biosíntesis de Ba, Mn y Si, sobre todo en áreas de cierto detritismo donde escasea el Ni, Pb, Bo, Cu y Fe, elementos más ligados a sustratos limosos y arcillosos (Bodergat, In: Oertli, 1985).

Falta por hacer un análisis geoquímico de los flujos sedimentarios de la Albufera a lo largo de los tiempos holocénicos, lo que excusa aquí el exceso de citas bibliográficas. Nosostros basándonos en precedentes trabajos más interiores de la Albufera (Colom, 1979; Mateu, 1982), vimos que los ostráco-

dos, como *Cyprideis torosa*, aparecían bien conservados, lisos y en posición vital, es decir con abundancia de valvas unidas lo que nos indica que la relación del humedal con el mar fue continua y tranquila en el Cuaternario Superior, tanto en los tiempos preflandrienses como postflandrienses. Aunque su abastecimiento hídrico fue principalmente continental, como lo confirman los torrentes de Muro y San Miquel y las surgencias ascendentes o "ullals" del acuífero de Sa Pobra (Custodio et al., 1993). La litología calcarenítica y de grano heterométrico, con bioclastos y foraminíferos y ostrácodos troceados y retrabajados, nos hacen pensar que el nivel E de unos 2 m de potencia, corresponde a barra o restinga, que en los inicios de la Transgresión Flandriense, serviría de contención entre el humedal y el mar, con acúmulos bioclásticos originados en ambas vertientes y con roturas de barra y pasos más o menos permanentes que, en principio, habrían colonizado el humedal de especies eurihalinas que, con el paulatino ascenso del nivel del mar flandriense, habrían llegado a formar un auténtico ecosistema marino de foraminíferos infralitorales, sobre la antigua barra del nivel E.

NIVEL D. (de -8 m a -6 m). Arenas finas y grises, con lentejones limosos y material biogénico rico en conchuela, briozoos, ostrácodos y sobre todo foraminíferos, cuyo análisis más detallado nos permite destacar que el Óptimo Flandriense en Alcudia queda caracterizado por 8 familias de foraminíferos bentónicos que corresponden al periodo comprendido entre 6500 y 6000 a. BP, en consonancia con el *Eustatic Maximum* de Hernández-Molina et al. (1994), del *Holocene Climatic Optimum* de Goy et al. (1997), de la "máxima inundación litoral" de Rey et al. (1999), del mínimo de terrígenos y máximo de carbonatos de Ericson (1965), dentro del Holoceno Medio, cálido, húmedo y lluvioso, con temperaturas sólo 2° C superiores a las actuales y con niveles eustáticos positivos de 2 a 4 m, sobre todo entre los 7000 y los 5000 a. BP y los 4000 y los 2000 a. BP (Pirazzoli, 1991). Todo esto dentro de las múltiples

oscilaciones climáticas holocénicas (Peeters *et al.*, 1999; Fairbridge, 1972) y de un paisaje perimediterráneo del *Quercus robur*, caducifolio (Dupré, 1995), con la AP taxa de *Quercus-Pinus* que va prevaleciendo sobre *Pinus-Quercus*, en el litoral peninsular (Carrión y Dupré, 1996) y la lenta estabilización de *Quercus ilex* en los Alpes marítimo franceses (Nicol-Pichard *et al.*, 1996). Mientras a partir de los 6000 a. BP hasta los 4000 a. BP, el clareado de bosque de *Quercus* en el Levante peninsular habría favorecido el desarrollo de *Pinus halepensis* y *Olea europea*, a la vez que la expansión del matorral con *Rosmarinus*, *Erica*, *Cistus*, *Pistacea*, etc. no habría hecho imposible la expansión de actividades agrícolas meso-neolíticas de *Hordeum vulgare*, *Triticum dicocum*, *Vicia fava*, etc. (Carrión y Dupré, 1996). Y todo esto, a falta de información palinológica insular, acaso ciertos estudios impublicados de palinólogos catalanes (Dr. R. Julià y equipo) del Mediterráneo catalano-balear, puede servirnos de puente entre el Continente y las Islas para la trílogía anemófila y de clima lluvioso de *Alnus-Corilus-Quercus* (Aliso-avellano-roble), coetánea del Óptimo Atlántico climático y mesoholocénico, cuyo máximo transgresivo marino de los 6500 a. BP, favoreció sobre la antigua Albufera un desarrollo microfaunístico de origen infralitoral, drásticamente reducido a medio parálico y oligoespecífico hacia los 4000 a. BP, cuando quedó casi paralizada la subida del nivel del mar (Zazo y Goy, 2000) y reducida después al nivel 0, obligando a las especies estenohalinas a integrarse en el ecosistema infralitoral actual (Mateu, 1970).

El Sondeo 39-Gesa IV, en este Nivel D, es claro exponente de un proceso de incremento de biodiversidad a partir de un ecosistema parálico y oligoespecífico, regulado por las fases del *higstand* de la Transgresión Flandriense que lo convierten en ecosistema netamente marino, al menos por 2000 años (Pirazzoli, 1991). El análisis taxonómico y ecológico de los foraminíferos bentónicos, a través del sondeo nos permite integrar la sucesión ecológica y la evolución biocenótica, sin que

tan corto espacio de tiempo, a escala paleontológica, posibilite percibir el gradual desarrollo evolutivo de las especies. En todo este proceso marino-parálico-continental, tiene que tenerse muy en cuenta el modelado de la franja litoral que siempre es el resultado de la erosión marina sobre las formaciones continentales. Con paleodunas, barras y restingas que aquí en el litoral de Alcudía y áreas adyacentes, van del Paleotirreniente al Holoceno reciente (Fig. 2), separando depósitos actuales y subactuales de albufera, de dominio parálico proximal. La migración de playa hacia tierra ha sido más o menos erosional en el *avant cote* o *shoreface* o fachada costera, desgastada por la mayor o menor energía del oleaje (Demarest *et al.*, 1987).

El paso de 13 a 49 especies de foraminíferos fitales y psámmicos a lo largo del sondeo nos da fe del carácter transgresivo de esta biofacies mesoholocénica, alimentada con casi un 50% de especies posidonícolas, un 25% procedentes de biotopos algales (*Fucus*, *Halimeda*, *Dasycladus*, etc.) y la otra cuarta parte de origen diverso (Langer, 1993). La naturaleza mineralógica del sondeo ha ido pasando de los "*terrigenous muds*" y limos orgánicos y turbosos, ricos en malacofauna y pobres en foraminíferos a las áreas biogénicas, cuya máxima eclosión específica netamente infralitoral se alcanzó en este nivel D, coincidente con el máximo Transgresivo Flandriense, que estabilizó sobre la actual Albufera un ecosistema con 8 familias y 49 especies de foraminíferos, muy semejante al del infralitoral actual (Mateu, 1970; Mateu y Gazá, 1986; Abril, 1993; Moreira, 1993, etc.). Con exoesqueletos o caparzones que alimentan el *detrital sand* (*Quinqueloculina*, *Triloculina*, *Cibicides*, etc.) o los "*deep water muds*" (*Rosalina*, *Planorbulina*, *Massilina*, etc.) que suelen vivir en fondos que van de los 0 a los 40 m (Murray, 1973) y que indican que la sucesión ecológica flandriense ha desembocado en esta biocenosis infralitoral que alimenta "*post mortem*" las arenas finas, blancas y biogénicas de la Playa de Alcudía y en general del litoral sur de Mallorca.

Los niveles C, B y A (Figs. 3, 4 y 5) de los -6 a los 0 m del sondeo no ofrecen infor-

mación micropaleontológica suficiente, por la naturaleza retrabajada y relativamente azoica de las formaciones dunares. Arenas más o menos finas con restos de conchas, fragmentos de posidonia en cuyos niveles superiores se hacen presentes elementos terrígenos que cubren arenas eólicas dunares. Equivalen a los materiales ya descritos en los sondeos S37, S40, S41, S42 y S43 del mismo perfil Gesa IV (Viñals y Mateu, 1999).

Aquí hemos querido destacar la importancia del análisis micropaleontológico de los niveles I, H, G, F, E y D donde, a partir de la datación absoluta de los 7385 ± 230 a. BP se observa un paso gradual de una biocenosis parálida eurihalina y oligoespecífica de foraminíferos bentónicos de Albufera a otra más estenohalina, pluriespecífica e infralitoral que postula un "Highstand" equivalente al Óptimo Climático Flandriense, cuando el nivel del mar, por lo menos, subió 2 m por encima del nivel actual del Mediterráneo.

Importancia de los Foraminíferos bentónicos en el seguimiento de la Transgresión Flandriense

Acaso a lo largo de este trabajo se haya notado un exceso de bibliografía ajena al sondeo 39 pero que puede ayudar a correlacionar la evolución climática a través de la información palinológica del área perimediterránea, coetánea de la evolución biocenótica del Holoceno marino. El puritanismo de ciertos investigadores bien pudiera valorar más la maqueta reglamentaria de la publicación científica que el contenido interdisciplinar de la misma, subestimando la información taxonómica, paleoecológica y eustática que ofrecen los Foraminíferos bentónicos como indicadores de la fluctuación de la línea de costa y de la dinámica transgresivo-regresiva de los ecosistemas litorales en función de los grandes cambios climáticos. Basta comparar los datos de las Figs. 4, 5 y 6, basados sobre el análisis cualitativo y cuantitativo de unos 5000 individuos, distribuidos a lo largo de S39-Gesa IV, teniendo en cuenta la descrip-

ción litológica y paleoecológica de la secuencia de niveles con el correspondiente porcentaje de individuos de cada una de las familias de Foraminíferos que caracterizan los ecosistemas parálidos y litorales del Mar Balear.

Dando por buena la datación de 7385 ± 230 a. BP del nivel H, de turba con malacofauna paleoholocénica observamos lo siguiente a lo largo del sondeo 39-GESA-IV:

a) Los Rotaliidae (*Ammonia*) y Nonionidae (*Haynesina*) caracterizan la biofacies laguno-litoral de la albufera preflandriense y paleoholocénica correspondiente a los niveles I y H.

b) A medida que se asciende a través de los niveles G, F y E del sondeo aparece una paulatina suplantación de Rotaliidae y Nonionidae, típicos del medio parálido, continental-marino de la Albufera, por una biofacies cada vez más rica en especies más estenohalinas e infralitorales representadas por Miliolidae (hoy Hauerinidae), Planorbulinidae, Nubeculariidae, Elphidiidae y Cibicidae, propios de medios psámmicos y epifitos infralitorales.

c) Entre los niveles E y D se consolida la implantación de esta biocenosis microfaunística infralitoral y típica del Mediterráneo occidental, llegando al nivel D con la total desaparición de Rotaliidae (*Ammonia beccarii*) y Nonionidae (*Haynesina depressula*), grandes indicadores de ecosistemas parálidos, totalmente suplantados por foraminíferos posidonícolas, epialgales, psámmicos, etc. que viven generalmente entre la línea de costa y los 50 m de profundidad. También aparecen aquí los Soritidae (*Peneroplis*), familia típica de aguas someras, fóticas, templado-cálidas, entre la línea de costa y los niveles de posidonia y que indican unas condiciones marinas estabilizadas aquí por el Óptimo Flandriense que pudo durar unos 2000 años.

Este proceso no supone solo rotura de cordón litoral favoreciendo aportes marinos, sino ascenso de las aguas marinas que cubrieron por lo menos unos 2 m la actual Albufera.

d) La evolución biocenótica del ecosistema parálido y supralitoral hacia otros

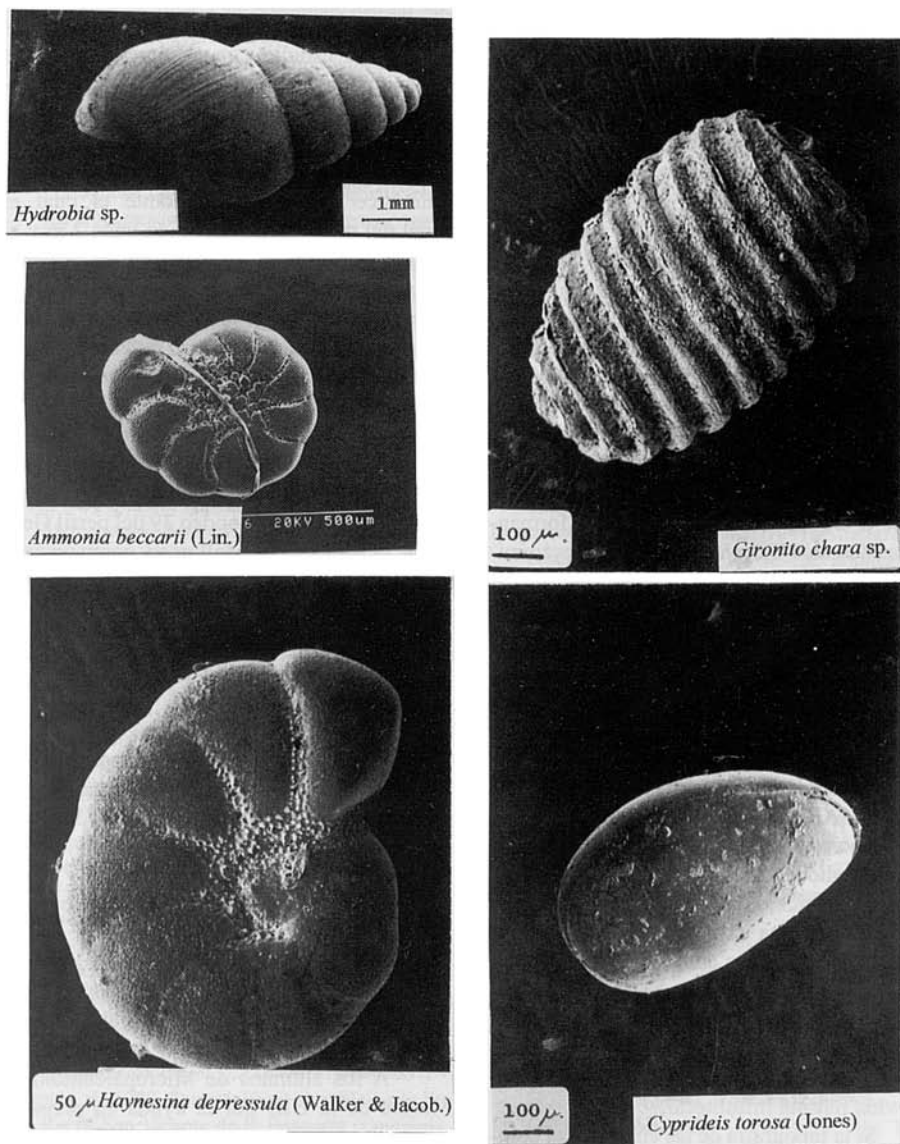


Fig. 7. Algunos de los microorganismos más representativos de ambientes parálicos, como s'Albufera de Alcudia.

Fig. 7. Some of the most representative micro-organisms of paralic environments such as s'Albufera de Alcudia.

superpuestos de características infralitorales se inicia en el nivel E del sondeo, entre el inicio y el máximo flandriense (Fig. 6) coincidiendo con el paso de una litofacies de limos orgánicos todavía ricos en Rotaliidae (*Ammonia beccari*) y sus diferentes ecofenotipos propios de medio continental-marino a unas biofacies típicamente marinas, cuya biodiversidad destaca en las 16 familias del nivel E, con una adaptación biotópica más polimorfa y todavía algo parásico-residual que a nivel D ya se ha reducido a 8 familias sobre todo propias de rizomas y arenas (Miliolidae o Haueirinidae), de rodofíceas, *Caulerpa* y *Posidonia* (Nubeculariidae), algales y epifoliales (Elphidiidae) y otras tan politópicas como los Cibicidae. Todo dentro del centenar de especies de foraminíferos del infralitoral balear que, desde el Óptimo Flandriense han ido formando las actuales biocenosis epifitas y psámicas que son fuente biogénica de playas y complementan la lista de 660 especies bentónicas actuales del mar Balear.

Discusión y conclusiones

El análisis micropaleontológico del sondeo 39 Gesa IV ha puesto de manifiesto la importancia de los foraminíferos bentónicos en el estudio e interpretación de la climatología holocénica, reflejada no sólo en la evolución biocenótica y sucesión ecológica de los ecosistemas parásicos como el de la Albufera de Alcudia, sino en el avance del nivel marino sobre Mallorca, con episodios de "highstands" que permitieron sobre la antigua formación lacustre la instauración temporal de una vida marina infralitoral.

Si la topografía de las cubetas y el comportamiento tectónico condicionan el origen y evolución de los humedales perimediterráneos, es la evolución biocenótica de su microfauna archivada en los sedimentos que colmatan dichas cubetas subsidentes, la que nos permite determinar el grado de incidencia de los cambios climáticos sobre la fluctuación del nivel marino. Dicho eustatismo de características glaciares y regresivas alterna durante el

Cuaternario con pulsaciones cálidas, interglaciares y transgresivas. La secuencia flandriense de este estudio con la superposición de depósitos lagunares, orgánico-limoso-turbosos y marino-biógeno-arenosos, a través de su contenido micropaleontológico y malacológico nos ha permitido establecer el "Óptimo Climático Holocénico" durante el cual el nivel del mar habría ascendido unos 2 m y el medio parásico de la Albufera de Alcudia habría alcanzado las características marinas infralitorales, cuya biodiversidad todavía sigue manteniéndose en el nivel fótico del actual Mar Balear. Sin olvidar que la historia del paisaje perimediterráneo y balear y su antropología y arqueología neolíticas no pueden desvincularse de la Transgresión Flandriense, analizada aquí mediante los foraminíferos bentónicos del sondeo 39 del perfil Gesa IV de la Albufera de Mallorca y como un caso más de la aplicación de la Micropaleontología a la climatología cuaternaria.

Agradecimientos

Al Instituto Español de Oceanografía - Centro de Baleares por el apoyo técnico prestado y a la Srta. M^ª Cruz Iglesias por la transcripción de este trabajo.

A Dr. Ing. Feliciano Fuster y a D. Andrés Muntaner por las muestras de los sondeos de Gesa.

A los Dres. R. Nydal y S. Gulliksen del *Radiological Dating Laboratory of Norwegian Institut of Technology* por la datación de ¹⁴C.

A los alumnos de Micropaleontología Marina de la UIB por la ayuda en preparar materiales e informatizar bibliografía.

Bibliografía

- Abril, A.M. 1993. *Los foraminíferos del litoral balear y su actividad biológica en el ecosistema posidonícola*. Tesis doctoral. Universitat de les Illes Balears (inédita) (Dir. G. Mateu).

- Andrews, J.T., Kirby, M.E., Aksu, A., Barber, D.C. y Meese, D. 1998. Late quaternary detrital carbonate (DC) Layers in Baffin bay marine sediments (67° - 74° N): correlation with Heinrich events in the north Atlantic. *Quaternary Science Reviews*, 17: 1125-1137.
- Bass, J.H., Meinert, J., Abrantes, F. y Prins, M.A. 1997. Late Quaternary sedimentation on the Portuguese continental margin: climatic-related processes and products. *Paleoceanography*, 130: 1-23.
- Berger, W.H. y Wefer, G. 1996. Expeditions into the Past: Paleoceanographic studies in the south Atlantic. In: Wefer G., Berger W.H., Siedler y G. Welb D.J. (eds) *The south Atlantic: Present and Past circulation*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 363-410.
- Bodergat, A.M. 1985. In: Oertli H.M. (edit). *Atlas des Ostracodes de France*. Paléozoïque Actuel: 396 pp.
- Bond, G., Heinrich, H., Broecker, W., Labeyrie, L., Mcmanus, J., Andrews, J., Huon, S., Jantschik, R., Clasen, S., Simet, Ch., Tedesco, K., Klas, M., Bonini, G. y Ivy, S. 1992. Evidence for massive discharges of icebergs into the north Atlantic ocean during the last glacial period. *Nature*, 360: 245-249.
- Cacho, I., Grimalt, J.O., Peléjero C., Canals, M., Sierro, F., Flores, J.A. y Shackleton, N. 1999. Dansgaard-Oescherg and Heinrich events imprints Alboran Sea paleotemperature. *Paleoceanography*, 14, (6): 171-191.
- Carrion, J.S. y Dupré, M. 1996. Late Quaternary vegetational history at Navarrés, Eastern, Spain. A two core approach. *New Phytol.*, 134: 171-191.
- Cearreta, A. 1988a. Distribution and ecology of benthic foraminifera in the Santoña estuary, Spain. *Revista Española de Micropaleontología*, 3: 23-38.
- Cearreta, A. 1988b. Population dynamics of benthic foraminifera in the Santoña estuary, Spain. *Revue de Paléobiologie*, 2: 721-724.
- Cearreta, A. 1989. Foraminiferal assemblages in the Ria of San Vicente de la Barquera (Cantabria, Spain). *Revista Española de Micropaleontología*, 21(1): 67-80.
- Cearreta, A. 1992. Ecostratigrafía (foraminíferos bentónicos) del relleno estuarino holoceno en el litoral vasco (Golfo de Bizkaia). *Riv. It. Paleont. Strat.*, 98, 2: 243-266.
- Cita, M.B., Ryan, W.B.F. y Kidd, R.B. 1978. Sedimentation rates in Neogene deep sea sediments from the Mediterranean and geodynamic implications of their changes. In: Worstell P.J. and Kidd R.B. (eds). *Init. Rep. DSDP XLII*, pp. 991-1002.
- Colom, G. 1935. Notes sobre foraminíferos. *Butll. Inst. Cat. Hist. Nat.*, 35: 1-12.
- Colom, G. 1979. Estudio ecológico y sistemático de una asociación de organismos pertenecientes a un yacimiento del Pleistoceno superior en la Albufera de Alcudia (Mallorca). *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 23: 25-33.
- Colom, G. 1985. Estratigrafía y paleontología del Andaluciense y del Plioceno de Mallorca (Baleares). *Bol. Geol. Min.*, 96(3): 235-302.
- Custodio, E., Barón, A., Rodríguez Morillo, H., Poncela, R. y Bayo, A. 1993. Saline water in s'Albufera Natural Park aquifer system, Mallorca Island (Spain): a preliminary study. Act. 12 Reunion de la CIHS: Saltwater Intrusion CIMME Barcelona. cf. pp. 661-686.
- Debenay, J.-P. 2000. Foraminifers of paralic tropical environments. *Micropaleontology*, 46 (1): 153-160.
- Demarest, J.M. y Kraft, J.C. 1987. Stratigraphic record of quaternary sea levels: implications for more ancient strata. In: Nummedal D., Pilkey D.H. y Howard J.D. (eds). *Sea-levels fluctuation and coastal evolution*. Tulsa, soc. Econ. Paleontol. and mineralog.: 223-240.
- De Rijk, S., Hayes, A. y Rohling, E.J. 1999. Eastern Mediterranean sapropel S1 interruption: an expression of the onset of climatic deterioration around 8 ky BP. *Marine Geology*, 153: 337-343.
- Dupré, M. 1995. Cambios paleoambientales en el territorio valenciano. La palinología. *El Cuaternario del País Valenciano*: 205-216.
- Emiliani, C. 1955. Pleistocene temperatures. *Jour. Geolog.*, 63: 538-578.
- Eriksson, K.G. 1965. The sediment core, N 120 from the Western Mediterranean Sea. Reports of the Swed. *Deep Sea Exp.*, 8(7): 406-419.
- Fairbridge, R.W. 1972. Quaternary Sedimentation in the Mediterranean Region controlled by Tectonic, Paleoclimates and the Sea Level. Stanley D.J. et al. (eds) *The Mediterranean Sea*. Columbia University, New York city, New York.
- Flores, J.A., Sierro, F.J., Francès, G., Vázquez, A. y Zamareño, I. 1997. The last 100.000 years in the Western Mediterranean: sea surface and the frontal dynamics as revealed by coccolithophores. *Marine Micropaleontology*, 29: 351-366.
- Fornós, J.J. 1995. Enquadrament geològic, evolució estructural i sedimentologia de S'Albufera de Mallorca. S'Albufera de Mallorca. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 4: 47-58.

- Gliozzie, E. y Mazzini, I. 1998. Palaeoenvironmental analysis of early Pleistocene brackish marshes in the Rieti and Tiberino intrapenninic basins (Latium and Umbria, Italy) using Ostracods (Crustacea). *Palaeoceanography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 140: 245-250.
- Goy, J.L., Zazo, C. y Cuerda, J. 1997. Evolución de las áreas margino-litorales de la costa de Mallorca (I. Baleares) durante el último y presente interglacial: del mar holoceno y clima. *Boletín geológico y minero*, 108: 31-38.
- Grousset, F.E., Labeyrie, L., Sinko, J.A., Cremer, M., Bond, G., Duprat, J., Cortijo, E. y Huon, S. 1993. Patterns of ice-rafted detritus in the glacial North Atlantic (40-55 N). *Paleoceanography*, 8 (2): 175-192.
- Gudmundsson, G., 1994. Phylogeny, Ontogeny and Systematics of Recent Soritacea Ehrenberg 1839 (Foraminifera). *Micropal.*, 40(2): 101-155.
- Guillaume, M.C., Peypouquet, J.-P. y Tetard, J. 1985. Quaternary et Actuel. In: Oertli H.M. (edit). *Atlas des Ostracodes de France*. Paléozoïque Actuel: 396 pp.
- Hajjaji, M., Bodergat, A.-M., Moissette, P., Prieur, A. y Rio, M. 1998. Ecological significance of ostracode assemblages in the Kritika section (upper pliocene, Rhodes, Greece). *Revue de Micropaléontologie*, 41, (3): 211-233.
- Hallock, P. y Peebles, M.W. 1993. Foraminifera with chlorophyte endosymbionts: habitat of six species in the Florida keys. *Marine Micropaleontology*, 20: 277-292.
- Hayward, B.W. y Hollis, Ch.J. 1994. Brackish Foraminifera in New Zealand: A taxonomic and ecologic review. *Micropaleontology*, 40(3): 185-222.
- Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Rey, J. y Pomar, L. 1994. Late Pleistocene-Holocene sediments on the Spanish continental shelves: model for very high resolution sequence stratigraphy. *Marine Geology*, 120: 129-174.
- Holzmann, M., Piler, W.E., Zaninetti, L., Fenner, R., Martini, R., Serandrei-Barbero y Pawlowsky, J. 1998. Molecular versus morphologic variability in *Ammonia* spp (foraminifera, protozoa) from the lagoon of Venice, Italy. *Revue de Micropaléontologie*, 41 (1): 59-69.
- Kristensen P., Knudsen K.L. y Sejrup J.P., 1998. A middle Pleistocene glacial-interglacial succession in the inner silver pit, southern North Sea: foraminiferal stratigraphy and amino-acid geochronology. *Quaternary Science Reviews*, 17: 901-911.
- Langer M.R., 1993. Epiphytic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, 20: 235-265.
- Lee, J.J., Mcenery, M.E. y Kahn, E.G. 1979. Symbiosis and the evolution of larger foraminifera. *Micropaleontology*, 25, (2): 118-140.
- Lézine, A.M. y Denéfle, M. 1979. Enhanced anticyclonic circulation in the eastern North Atlantic inferred from deep-sea pollen records". *Geology*, 25 (2): 119-122.
- Mateu, G. 1970. Estudio sistemático y bioecológico de los foraminíferos vivientes de Cataluña y Baleares. *Trab. Inst. Esp. Oceanogr.*, 38: 1-84.
- Mateu, G. 1982. El Neógeno-Pleistoceno de Mallorca: biocronoestratigrafía y paleoceanografía en base a los foraminíferos planctónicos. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 26: 75-133.
- Mateu, G. 1991. *Micropaleontología sedimentaria del Caribe*. Comissió de les Illes Balears per a la Commemoració del V Centenari del descobriment d'Amèrica: 1-125.
- Mateu, G. 1998. Clima y micropaleontología: termómetros biológicos y archivos sedimentarios. *Territoris* 1: 223-238.
- Mateu, G. y Gazá, M. 1986. Micropaleontología circalitoral y coralígena. Foraminíferos y coccolitofóridos asociados al *Corallium rubrum* (L.): sistemática, ecología y evolución paleoceanográfica. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 3 (4): 13-52.
- Moreiro, M. 1993. *Foraminíferos bentónicos y los ambientes deposicionales de la plataforma balear*. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona (inèdita) (Dir. G. Mateu).
- Murray, J.W. 1973. *Distribution and ecology of living benthic foraminiferids*. Heinemann Edd. - Books. London. 273 pp.
- Myers, P.G., Haines, K. y Rohling, E.J. 1998. Modeling the paleocirculation of Mediterranean during the last glacial maximum and the Holocene with emphasis on the formation of sapropel S1. *Paleoceanography*, 13 (6): 586-606.
- Nicol-Pichard, S. y Dubar, M. 1996. Analyse pollinique d'un sondage de 66 m de profondeur du tardiglaciaire et de l'Holocène dans la vallée de la Brague (Biot, Alpes-Maritime, France). *Mésogée*, 55: 59-64.
- Oertli, H.J. (edit). 1985. *Atlas des Ostracodes de France (Paléozoïque - Actuel)*. Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. ELF-Aquitaine Mem. 9, Pau. 391 pp.

- Pawlowsky, J., Bolívar, I., Fahrni, J. y Zaninetti, L. 1994. Taxonomic identification of foraminifera using ribosomal DNA sequences. *Micropaleontology*, 40 (4): 373-377.
- Peeters, F., Ivanova, E., Conan, S., Brummer, G.-J., Ganssen, G., Troelstra, S. y Van Hinte, J. 1999. A size analysis of planktic foraminifera from Arabian Sea. *Marine Micropaleontology*, 36: 31-63.
- Pirazzoli, P.A. 1991. *World atlas of Holocene sea-level changes*. Elsevier oceanography series, 58: 1-300.
- Poag, C.W. 1978. Paired foraminiferal ecophenotypes in gulf coast estuaries: ecological and paleoecological implications. *Transactions gulf coast Geol. Soc.*, 28: 395-421.
- Reiss, Z. y Hottinger, L. 1984. The gulf of Aqaba. Ecological micropaleontology In: Billings W.D. et al. (edits). *Ecological studies*, 50: 1-353.
- Rey, J., Fernández Salas, L.M. y Blázquez, A.M. 1999. Identificación de las unidades morfo-sedimentarias cuaternarias en la plataforma interna del litoral del País Valenciano: El rol de los factores morfoestructurales y eustáticos. *Georq. i Quaternari litoral*. Mem. Pilar Fumanal: 403-418.
- Rosignol-Strick, M. 1999. The holocene climatic optimum and pollen records of sapropel 1 in the eastern Mediterranean, 9000-6000 BP. *Quaternary Science Reviews*, 18: 515-530.
- Stanley, D.J. 1978. Ionian sea sapropel distribution and late Quaternary palaeoceanography in the eastern Mediterranean. *Nature*, 274: 149-151.
- Seibold, E. y Berger, W.H. 1993. *The Sea Floor. An introduction to marine geology*. Ed. Springer-Verlag. 2ª edic.: 1-339.
- Sen Gupta, K. y Machain-Castillo, M.L. 1993. Benthic foraminifera in oxygen-poor habitat. *Marine Micropaleontology*, 20: 183-201.
- Shackleton, N.J. y Opdyke, N.D. 1973. Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of Equatorial Pacific core V28-238: Oxygen isotope temperatures. *Quat. Research*, 3: 39-55.
- Tufescu, M. 1974. The dual origin of the black Sea foraminifera. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 59, (3): 353-365.
- Usera, J. y Mateu, G. 1995. Foraminíferos cuaternarios del País Valenciano. El Cuaternario del País Valenciano: 245-250. Universitat de València.
- Vinales, M.J. y Mateu, G. 1999. Reconstrucció ambiental de la seqüència holocena en s'Albufera d'Alcúdia (Mallorca, Espanya). *Gearqueologia i quaternari litoral*. Memorial a M.P. Fumanal: 447-456. Universitat de València.
- Williams, H.F.L. 1994. Intertidal benthic foraminiferal biofacies on the Central Gulf coast of Texas: modern distribution and application to sea level reconstruction. *Micropaleontology*, 40, (2): 169-183.
- Zazo, C., Goy, J.L., Lario, J. y Silva, P.G. 1996. Litoral zone and rapid climatic changes during the last 20.000 years. The iberian study case. *Z. Geomorph. N.F.*, 102: 119-134.
- Zazo, C. y Goy, J.L. 2000. Cambios eustáticos y climáticos durante el cuaternario. Una síntesis sobre su registro en los litorales del sur y suroeste peninsular, islas Canarias y Baleares. In: De Andrés J.R., García F.J. (edits) - *Geomorfología Litoral. Procesos activos*: 187-206. Soc. Española Geomorfología, Monografía 7.



*PER UN MUSEU DE LA
NATURALES A CIUTAT*

Els espeleotemes freàtics de les coves litorals de Mallorca: canvis del nivell de la Mediterrània i paleoclima en el Pleistocè Superior

Joaquín GINÉS, Joan J. FORNÓS, Àngel GINÉS, Francesc GRÀCIA,
Cristina DELITALA, Adriano TADDEUCCI, Paola TUCCIMEI i Pier Luigi VESICA

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Ginés, J., Fornós, J.J., Ginés, A., Gràcia, F., Delitala, C., Taddeucci, A., Tuccimeì, P. i Vesica, P.L. 2001. Els espeleotemes freàtics de les coves litorals de Mallorca: canvis del nivell de la Mediterrània i paleoclima en el Pleistocè superior. In: Pons, G.X. i Guijarro, J.A. (Eds.): *El canvi climàtic: passat, present i futur*. Mon. Soc. Hist. Hist. Nat. Balears, 9: 33-52. ISBN: 84-87818-34-X. Palma de Mallorca.

Els espeleotemes freàtics de les coves costaneres de Mallorca són una molt bona font d'informació per al millor coneixement de la història recent del nivell de la mar. Diversos paleonivells marins alts —corresponents a esdeveniments interglacials— es troben enregistrats mitjançant espectaculars alineacions d'espeleotemes freàtics, penjats a diferents altures a coves litorals de Mallorca. De la mateixa manera, alguns episodis regressius de la Mediterrània apareixen també documentats sota la forma de dipòsits d'aquestes característiques situats a cotes inferiors al present nivell de la mar. S'han datat, utilitzant el mètode Th/U, un total de 38 mostres d'espeleotemes freàtics, recol·lectats entre +40 metres per damunt i -23 metres per davall de l'actual nivell marí. Aquestes cristallitzacions es relacionen amb estabilitzacions positives i negatives de la superfície de les aigües marines, vinculades a les fluctuacions glacio-eustàtiques ocorregudes al llarg del Quaternari. Les edats obtingudes abracen des de 3,9 ka fins a més de 350 ka BP, registrant amb bastant detall una complexa successió de canvis del nivell de la mar durant el Pleistocè Mitjà i Superior i l'Holocè. Les estabilitzacions marines altes que apareixen enregistrades corresponen als estadis isotòpics càlids 1, 5 i 7; per altra banda, es troben documentades diverses estabilitzacions regressives associades als estadis freds 4, 6 i 8, així com alguns abruptes descensos del nivell de la mar intercalats dintre de l'últim interglacial (estadi isotòpic 5). Les dades obtingudes permeten intentar la reconstrucció d'una corba eustàtica dels últims 300 ka, vàlida per a la Mediterrània Occidental. Aquesta corba resulta especialment detallada entre els 60 ka i els 150 ka BP (estadis isotòpics 4 i 5), posant de manifest l'existència de fluctuacions marines de més de 18 metres d'amplitud ocorregudes en lapsos de temps inferiors als 10 ka. Aquest treball representa una contribució novedosa al coneixement de la variabilitat climàtica natural prèvia a les actuals influències antròpiques, resumint-se en ell els resultats principals d'investigacions ja publicades pels autors així com algunes noves dades sobre aquestes qüestions.

Paraules clau: Pleistocè, canvis del nivell de la mar, espeleotemes freàtics, coves litorals, Mediterrània occidental.

PHREATIC SPELEOTHEMS FROM LITTORAL CAVES OF MALLORCA: MEDITERRANEAN SEA LEVEL HISTORY AND PALAEOCLIMATIC CHANGES DURING THE UPPER PLEISTOCENE. Phreatic speleothems from coastal caves of Mallorca are a very good source of information for a better knowledge of recent sea-level history. Several high paleosea-levels—corresponding to interglacial events— are recorded as conspicuous alignments of phreatic speleothems, perched at different heights inside littoral caves of the island. In the same way, some regressive episodes of the Mediterranean Sea also appear documented as deposits of these characteristics located at various depths below present sea-level. Thirty eight samples of phreatic speleothems, collected between +40 metres above and -23 metres below present sea-level, have been dated by means of Th/U method. They record positive and negative sea-level stands related to Quaternary glacio-eustatic fluctuations. Ages obtained range from 3.9 ka to more than 350 ka BP, accurately reflecting a complex succession of shifts in the sea-level occurred during Middle and Upper Pleistocene and Holocene. Recorded high sea-stands clearly correspond to warm isotopic stages 1, 5 and 7; on the other hand, regressive stabilizations associated to cold stages 4, 6 and 8 have been recognized, together with several abrupts sea-lowerings intercalated within isotopic stage 5 (last interglacial). The data obtained allow us to attempt the reconstruction of an eustatic curve for the last 300 ka, valid for the Western Mediterranean basin. This curve shows a remarkable accuracy between 60 ka and 150 ka BP (isotopic stages 4 and 5) and reveals the existence of sea-level fluctuations greater than 18 metres in amplitude within time spans lower than 10 ka. This paper represents a new contribution to the knowledge of natural climatic variability, previous to the current anthropic influences, summarizing the main results of investigations already published by the authors together with some additional data on the subject.

Keywords: Pleistocene, sea-level changes, phreatic speleothems, littoral caves, Western Mediterranean.

Joaquín GINÉS i Joan J. FORNÓS: Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca; Àngel GINÉS: Museu Balear de Ciències Naturals, Sóller, Mallorca; Francesc GRÀCIA: Grup Nord de Mallorca, Pollença, Mallorca; Cristina DELITALA i Adriano TADDEUCCI: Dip. Scienze Geologiche, Università "Roma Tre", Roma, Italia; Paola TUCCIMEI: Dip. Scienze Geologiche, Università "Roma Tre", Roma, Italia i C.S. per il Quaternario e l'Evoluzione Ambientale C.N.R., Dip. Scienze della Terra, Università "La Sapienza", Roma, Italia; Pier Luigi VESICA: Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali, CNR, Roma, Italia.

Introducció

Mallorca és una illa, constituïda de forma majoritària per materials calcaris, que mostra fenòmens càrstico-costaners molt interessants en cadascuna de les seves regions naturals. Es localitzen nombroses coves litorals en tota l'illa, essent particularment abundants al llarg de la seva costa oriental, des del Cap de ses Salines (Santanyí) fins al Cap des

Freu (Capdepera). Aquestes cavitats càrstiques han sofert una complexa evolució morfològica, durant el Pleistocè, i presenten dipòsits variats que inclouen bretxes amb restes paleontològics així com tot tipus d'espeleotemes; en general els dipòsits de les coves costaneres resulten de gran interès cronològic i paleoclimàtic (Ginés i Ginés, 1986; 1995), a

causa del fet que la seva deposició va veure's afectada, amb freqüència, per les oscil·lacions del nivell de la mar ocorregudes al llarg del Quaternari.

Una de les peculiaritats morfològiques més rellevants —de les coves litorals del llevant de Mallorca— és l'existència d'espeleotemes d'origen subaquàtic, relacionats amb antigues cotes d'estabilització de la superfície de les aigües freàtiques, les quals han estat al seu torn controlades per les fluctuacions eustàtiques de la Mediterrània. Aquests *espeleotemes freàtics* suposen un excel·lent registre de la història del nivell marí en el Pleistocè i Holocè, tal com ja s'ha posat de manifest en nombrosos treballs que s'han anat publicant des de fa més de dues dècades (Ginés i Ginés, 1974; 1987; 1993a; Ginés *et al.*, 1981a; 1981b; 1999; Pomar *et al.*, 1987).

A partir del 1981 fou possible realitzar successives campanyes de datació isotòpica (mètode Th/U) dels espeleotemes freàtics de les coves de Mallorca, començant per l'anàlisi de les mostres situades a cotes iguals o superiors al present nivell marí (Hennig *et al.*, 1981; Ginés i Ginés, 1989, 1993b; Tuccimei *et al.*, 1997, 1998; Vesica *et al.*, 2000). Molt recentment ha estat possible la datació d'espeleotemes freàtics recol·lectats per sota de l'actual nivell de la mar (Ginés, 2000; Tuccimei *et al.*, 2000), gràcies a les metòdiques activitats desenvolupades pels espeleobusjadors Francesc Gràcia i Bernat Clamor (Gràcia *et al.*, 1998a; 1998b; 2000). Aquestes activitats han obert una prometedora línia d'investigació, que aporta informacions inèdites sobre les fluctuacions marines regressives associades a pulsacions climàtiques de caràcter fred.

Les presents pàgines exposen l'estat de la qüestió, pel que fa al coneixement dels paleonivells marins pleistocènics mitjançant la investigació dels espeleotemes freàtics de les coves litorals de Mallorca. En aquest sentit, els programes d'estudis isotòpics desenvolupats fins ara permeten aportar —a l'estudi del Quaternari marí de l'illa— una corba eustàtica bastant detallada corresponent al rang d'edat de 60 a 150 ka BP. Els resultats

obtinguts fan possible afirmar que la rellevància d'aquestes investigacions ultrapassa el camp merament espeleocronològic, per entrar de ple en l'àmbit del coneixement del paleoclima i la cronoestratigrafia del Pleistocè a la Mediterrània occidental. Les dades que se subministren ara, sobre la història del nivell marí durant el Pleistocè Superior, contribueixen clarament a una millor valoració de la variabilitat climàtica prèvia a les actuals influències antròpiques.

Els espeleotemes freàtics de les coves de Mallorca

Les àrees càrstiques de la nostra illa presenten moltes coves parcialment anegades per aigües salabroses (Ginés, 1995b), com a conseqüència de la pujada postglacial del nivell de la Mediterrània. La inundació parcial d'aquestes coves costaneres origina llacs subterranis, que de vegades assoleixen grans dimensions. Els esmentats llacs salabrosos suposen un medi freàtic litoral —controlat pel nivell marí— on tenen lloc oscil·lacions periòdiques de la superfície de les seves aigües, ajustades a fluctuacions marines menors (marees, oscil·lacions baromètriques).

Una gran varietat de tipologies d'espeleotemes freàtics estan associades amb aquest singular ambient geoquímic. Avui en dia, és freqüent la formació de làmines de calcita molt primes, que floten sobre la superfície dels llacs subterranis; al mateix temps, s'observen espectaculars sobrecreixements de carbonats a les voreres dels esmentats llacs (Pomar *et al.*, 1979), així com al voltant d'aquelles estalagmites —o d'altres espeleotemes aeris— situades dins del present rang de fluctuació del pla de les aigües freàtiques litorals (Fig. 1a). També és comú trobar cristallitzacions freàtiques similars, de calcita i/o d'aragonita, localitzades alguns metres per damunt dels actuals llacs salabrosos; mitjançant les bandes d'espeleotemes que formen aquestes cristallitzacions (Fig. 2), dins algunes cavitats costaneres de Mallorca es pot generar un detallat registre dels paleonivells

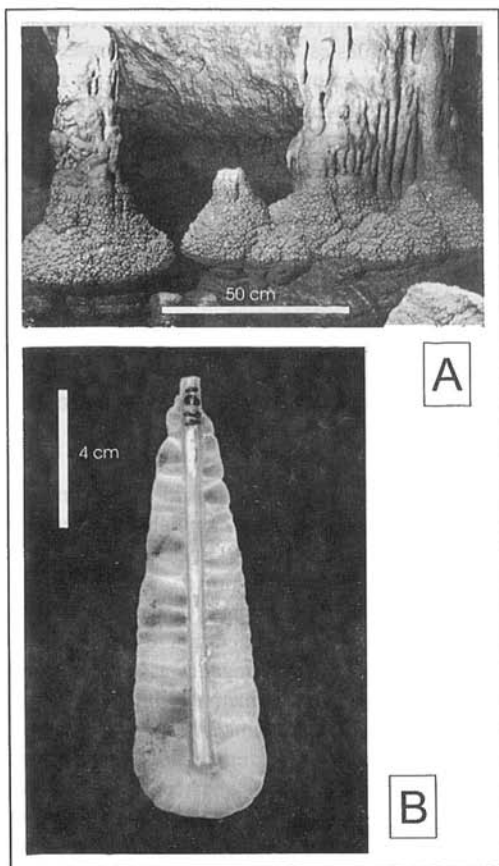


Fig. 1. A: espeleotemes freàtics subactuals observables en la superfície dels llacs salabrosos de la Cova de Cala Varques "A" (Manacor, Mallorca). B: secció longitudinal d'un espeleotema freàtic, procedent de la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca). Consisteix en una fina estalactita aèria que es troba revestida per un precipitat d'aragonita d'origen freàtic.

Fig. 1. A: subactual phreatic speleothems existing at the surface of the brackish pools in Cova de Cala Varques "A" (Manacor, Mallorca). B: longitudinal section of a phreatic speleothem from Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca). It consists in a delicate aerial stalactite, coated by an aragonitic precipitate of phreatic origin.

marins, corresponents a les fluctuacions d'origen glacioeustàtic ocorregudes durant el Quaternari.

Bona part de les cristal·litzacions freàtiques —tant les subactuals com les antigues— es desenvolupen sobre espeleotemes vadosos preexistents, adoptant morfologies generalment gruixades i globulars (Fig. 3). De vegades aquests sobrecreixements de carbonats formen prominents bandes horitzontals que envolten estalagmites i columnes; en bastants casos, en especial quan el revestiment freàtic afecta l'extrem inferior de fines estalactites, la morfologia original de l'espeleotema pot veure's molt modificada (Fig. 1b). Ocasionalment, làmines de calcita flotant poden quedar atrapades entre les capes de creixement d'aquests recobriments cristal·lins.

Els espeleotemes freàtics de les coves de Mallorca ofereixen una gran varietat morfològica, textural i mineralògica, tal com ja s'ha posat de relleu en diverses publicacions (Ginès, 1995a; 2000; Ginès *et al.*, 1981b; Pomar *et al.*, 1976). Aquests treballs apunten el possible significat paleoclimàtic de la seva mineralogia, relacionant la presència d'aragonita amb events càlids que, en els sediments de les platges pleistocèniques, coincideixen amb l'aparició de la fauna malacològica termòfila típica de l'Eutirrenià (Cuerda, 1975), pis que es correspon amb el darrer interglacial.

L'interès principal d'aquests processos de precipitació freàtica de carbonats és el següent: antigues fluctuacions positives del nivell marí han quedat enregistrades, dins

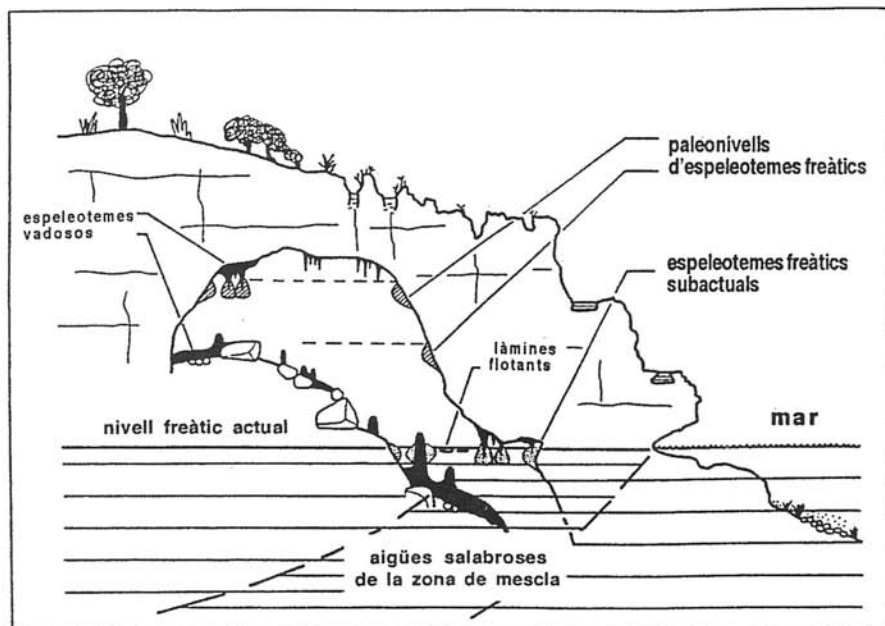


Fig. 2. Representació esquemàtica idealitzada del carst litoral en el llevant de Mallorca. Observi's la presència d'espeleotemes freàtics, relacionats amb el present nivell mari així com amb antics nivells de la Mediterrània; encara que no apareguin representades a la figura, s'han estudiat també abundants exemplars d'aquest tipus de cristallitzacions submergides avui en dia per sota la superfície dels llacs subterranis.

Fig. 2. Schematic representation of littoral karst in eastern Mallorca outlined in an ideal cross-section. Note the presence of phreatic speleothems related to past- and present Mediterranean sea-levels; although they are not represented in this figure, abundant samples of phreatic crystallizations submerged nowadays below the water-plane of cave ponds have also been investigated.

nombroses coves costaneres, mitjançant alineacions estrictament horitzontals d'espeleotemes freàtics, situades a altures diverses per damunt dels actuals llacs subterranis. La formació d'aquests dipòsits cristal·lins està relacionada amb paleonivells transgressius (períodes interglacials), assolits per la capa freàtica com a resultat de les oscil·lacions marines glacioeustàtiques (Ginés *et al.*, 1981a; Pomar *et al.*, 1987). De la mateixa manera, l'estudi dels espeleotemes freàtics situats per sota del present nivell de la mar representa una línia d'investigació prometedora, la qual ha aportat ja informacions valuoses sobre les pulsacions regressives de la Mediterrània (Ginés, 2000; Tuccimei *et al.*, 2000).

Fent referència en concret a les cavitats del llevant de Mallorca, s'han observat almenys 30 paleonivells de cristallitzacions freàtiques, distribuïts a altures que abracen des de la cota +46 metres fins -23 metres per davall del ± 0 actual (Fig. 4). Pel que fa a la qüestió de l'altimetria d'aquest tipus de dipòsits, en algunes publicacions (Ginés i Ginés, 1974; Pomar *et al.*, 1987) s'ha considerat la possibilitat de correlacionar l'altura de les alineacions d'espeleotemes freàtics amb les cotes d'antigues línies de costa corresponents al Pleistocè Mitjà i Superior. Les esmentades morfologies litorals han estat identificades mitjançant l'estudi estratigràfic i paleontològic de les platges fòssils pleistocèniques de l'illa, les quals són ben conegudes gràcies a



Fig. 3. Espectacular conjunt d'espeleotemes freàtics existents a la Cova de na Mitjana (Capdepera). Corresponen a una antiga estabilització de la Mediterrània observable uns 5 metres per sobre de l'actual nivell de la mar.

Fig. 3. Impressive assemblage of phreatic speleothems existing in Cova de na Mitjana (Capdepera). They are related to a Mediterranean paleosea-level about 5 metres higher than the present-day one.

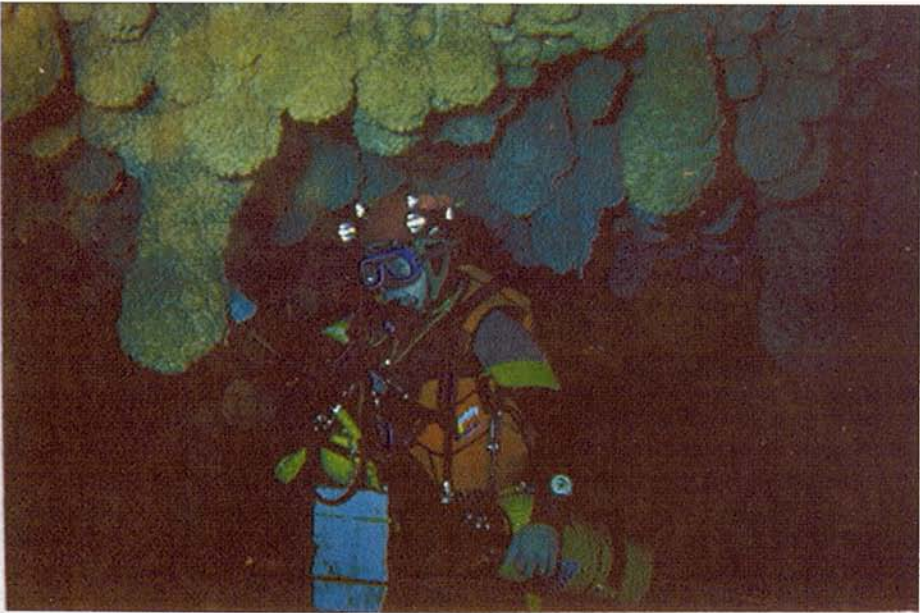


Fig. 4. Espeleotemes freàtics submergits a una profunditat de -15 metres per sota l'actual nivell mari, a la Cova des Drac de Cala Santanyi. Foto Robert Landreth.

Fig. 4. Submerged phreatic speleothems in Cova des Drac de Cala Santanyi, localized -15 metres below the current sea-level. Photo Robert Landreth.

les investigacions sobre el Quaternari portades a terme per diversos autors (Butzer i Cuerda, 1962; Butzer, 1975; Cuerda, 1975; Pomar i Cuerda, 1979). Basant-se en aquesta interpretació geomorfològica, Ginés i Ginés (1974) suggeriren ja fa temps que les cristal·litzacions freàtiques situades a més de 30 metres per sobre de l'actual nivell de la mar haurien de remuntar-se almanco al Paleotirrenià (interglacial Mindel-Riss), és a dir als estadis isotòpics 9 o 11 com a mínim.

Un primer programa de datacions isotòpiques, efectuades utilitzant el mètode de les sèries del Urani (Hennig *et al.*, 1981; Ginés i Ginés, 1989; 1993a; 1993b), va confirmar el model cronològic prèviament establert, basat en les correlacions altimètriques entre espeleotemes freàtics i dipòsits de platja pleistocènics. Les edats obtingudes apunten que les mostres recol·lectades a altures superiors als +30 metres s.n.m. han de ser assignades, com a mínim, als estadis 9 o 11 del registre marí d'isòtops d'oxigen establert per Shackleton i Opdyke (1973).

El 1994 vàrem tenir ocasió d'emprendre un nou programa de datacions isotòpiques d'espeleotemes freàtics de les coves de Mallorca, els resultats del qual han estat publicats en Ginés (2000), Tuccimei *et al.* (1997; 1998) i Vesica *et al.* (2000). La interpretació de les dades aconseguides els darrers anys —com a conseqüència d'aquestes campanyes de datacions radiomètriques— permet assolir una visió bastant detallada de les vicissituds experimentades pel nivell de la mar durant els últims 300 ka, tal com s'exposarà al llarg dels apartats següents.

Les datacions Th/U

Es varen seleccionar per a la seva datació 38 mostres d'espeleotemes freàtics, procedents de 14 coves costaneres del llevant de Mallorca, relacionats tots ells amb antigues estabilitzacions de la Mediterrània a cotes tant superiors com inferiors a l'actual nivell marí. La majoria de les cavitats investigades es desenvolupen en les calcarenites postorogèni-

ques del Miocè Superior que conformen la plataforma del Migjorn, la qual s'estén al llarg del sud i sud-est de l'illa. Tan sols tres de les cavernes visitades —Cova de na Barxa, Cova de na Mitjana i Coves Petites— es localitzen en les calcàries juràssiques plegades, que integren l'àrea muntanyenca de les Serres de Llevant (Fig. 5).

Les dades referents a les coves estudiades, les mostres obtingudes i les cotes dels paleonivells marins representats en cada localitat, apareixen reflectides a la Taula 1. Pel que fa als espeleotemes corresponents a episodis transgressius, han estat molt abundants les mostres recol·lectades a altures inferiors als +3 metres s.n.m.; per altra banda, i referint-nos a les pulsacions marines regressives, són nombrosos els paleonivells d'espeleotemes freàtics reconeguts i mostrejats en torn dels -15 metres per sota del present nivell marí. Una descripció morfològica detallada de la majoria de les mostres es pot consultar a Tuccimei *et al.* (1998; 2000), mentre que els aspectes mineralògics i cristal·logràfics estan disponibles a Ginés (2000).

Les datacions absolutes de les mostres s'han realitzat mitjançant el mètode de les sèries de l'Urani (Th/U), utilitzant tècniques tant d'espectrometria alfa com d'espectrometria de massa. Els resultats analítics obtinguts, i les edats que aquestes dades subministren, es troben també recopilats a la Taula 1. Les edats calculades van des de 3,9 ka BP, es tracta d'una cristal·lització clarament subactual, fins >350 ka BP, arribant ja als límits de resolució del mètode (estadi isotòpic 9, com a mínim).

Observant els resultats més en detall, podem constatar que estan ben representades, amb un total de 10 datacions, diverses estabilitzacions marines altes a edats de 83 ka, 107 ka i 117-130 ka BP, cronologies que es correlacionen molt bé amb les edats usualment assignades als subestadis càlids 5a, 5c i 5e del registre isotòpic marí (Shackleton i Opdyke, 1973). Aquestes dades documenten almanco tres estabilitzacions transgressives de la Mediterrània a altures compreses entre +1,4 i +2,5 metres s.n.m., integrades dins l'últim

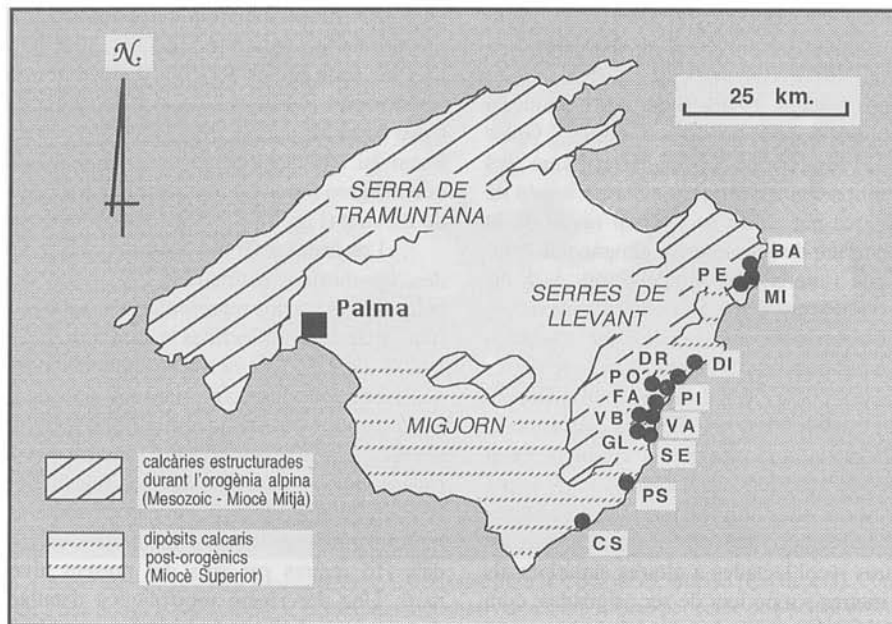


Fig. 5. Mapa de localització de les coves amb espeleotemes freàtics investigades. BA: Cova de na Barxa; MI: Cova de na Mitjana; PE: Coves Petites; DI: Cova del Dimoni; DR: Coves del Drac; PO: Cova des Pont; PI: Coves del Pirata; FA: Cova de Cala Falcó; VA: Cova de Cala Varques "A"; VB: Cova de Cala Varques "B"; GL: Cova de sa Gleda; SE: Cova des Serral; PS: Cova den Passol; CS: Cova des Drac de Cala Santanyi.

Fig. 5. Location map of the caves containing the investigated phreatic speleothems.

gran esdeveniment interglacial, de les quals ens ocuparem més endavant amb certa extensió.

La resta de mostres relacionades amb episodis climàtics de signe càlid aporten informacions bastant fragmentàries i no massa determinants, podent ser assignades als estadis isotòpics 7, 9 i fins i tot anteriors (Ginés i Ginés, 1993b). Cal ressenyar l'existència de 3 mostres de cronologia postglacial (estadi isotòpic 1), que donen edats sempre inferiors als 6,6 ka BP.

Tal com ja s'ha avançat, són abundants (17 mostres) les datacions portades a terme a partir d'espeleotemes freàtics relacionats amb pulsacions regressives del nivell marí, atribuïbles des del punt de vista cronològic als estadis 4, 6 i 8, de signe fred, del registre d'isòtops d'oxigen. En particular, estan ben repre-

sentats diversos paleonivells regressius associats a l'estadi isotòpic 4 (edats entre 63,7 i 79,6 ka), el qual suposaria ja la transició cap a unes condicions climàtiques que marcaran a la llarga l'inici de la darrera glaciació. També es constaten un bon nombre de datacions que documenten l'existència de pulsacions negatives corresponents a diversos subestadis, de caràcter més fred, que es distingeixen habitualment dins del darrer interglacial (estadi isotòpic 5); els principals esdeveniments regressius reconeguts restarien situats en torn a edats de 91,4-100 ka (subestadi 5b) i de 125 ka (en ple subestadi 5c).

En general els espeleotemes freàtics que han donat edats inferiors a 200 ka BP (Fig. 6) es concentren en dos grans grups altimètrics: el primer d'ells es localitza fins a un màxim de +2,5 metres per sobre de l'actual

Taula 1. Resultats analítics de les datacions, efectuades mitjançant el mètode Th/U, d'espeleotemes freàtics recol·lectats en coves de la costa oriental de Mallorca.

Table 1. Analytical results of Th/U datings corresponding to phreatic speleothems collected in coastal caves from eastern Mallorca.

localitat	mostra	altura s.n.m. (m)	U (ppb)	234U/238U	(234U/238U) ₀	230Th/232Th	230Th/234U	edat (ka)
Cova de na Barxa	BA-D3 *	+2,4	423±19	1,430±0,070	1,612±0,103	∞	0,715±0,045	124,7 ± 14 (2)
Cova de na Mitjana	MI-D2 *	+4,9	146±4	1,057±0,019	1,110±0,037	46,85±5,29	0,894±0,024	231,9 ± 28 (2)
	MI-D3 *	+5,6	169±1	0,972±0,026	0,937±0,035	51±2	0,972±0,035	> 300,7
	Mitj7a *	+3,9	48±1	1,065±0,026	—	8,54±1,89	0,946±0,057	> 275 ?
	Mitj7b *	+3,9	189±3	1,022±0,015	—	41,42±5,04	0,563±0,014	88,0 ± 4,0 (1)
Coves Pelites	Pel5 *	+40	46±3	1,208±0,107	—	4,45±0,60	0,993±0,083	> 205
	Pel6 *	+30	130±8	1,118±0,081	—	14,88±4,00	1,039±0,090	> 187
Cova del Dimoni	DI-D1-1 *	+2,5	2640±77	1,185±0,013	1,255±0,018	257,3±25,4	0,660±0,020	112,9 ± 5,8 (2)
	DI-D1-2 *	+2,5	1273±48	1,090±0,018	1,126±0,025	∞	0,676±0,032	119,7 ± 10 (2)
	DI-D3 *	+2,5	1887±45	1,108±0,015	1,147±0,020	∞	0,638±0,020	107,9 ± 5,7 (2)
Coves del Drac	DR-D4 *	+3,3	2889±84	1,039±0,016	—	∞	1,038±0,040	> 350
Coves del Pirata	PI-D1 *	+2,1	262±9	1,663±0,062	1,959±0,092	∞	0,745±0,035	130,4 ± 14 (2)
Cova des Pont	Pont9 *	+2,1	278±6	1,456±0,029	—	13,7±2,1	0,064±0,002	6,6 ± 0,3 (1)
Cv. de Cala Falcó	FA-D3-4 #	+1,9	542±5	1,378±0,003	1,528±0,037	112,3±0,2	0,554±0,023	83,9 ± 5,0 (2)
Cova de Cala Varques A	Varla *	±0	380±10	1,503±0,049	—	—	0,035±0,004	3,9 ± 0,5 (1)
	Varlb *	+0	460±10	1,689±0,051	—	—	0,048±0,004	5,4 ± 0,5 (1)
Cova de Cala Varques B	VB-D1-2#	+1,4	252±4	1,519±0,081	1,71±0,08	∞	0,632±0,020	111,9 ± 5,7 (2)
	VB-D2 #	+1,4	228±10	2,113±0,099	2,41±0,13	∞	0,567±0,025	83,4 ± 5,1 (2)
	VB-D3 *	-14	690±18	1,892±0,034	2,271±0,055	300±77	0,735±0,028	125 ± 8 (1)
	VB-D5 *	-16,5	743±12	1,613±0,022	1,875±0,032	854±211	0,727±0,014	125,6 ± 4,2 (1)
Cova des Serral	Serr10 *	+1,5	233±5	1,487±0,025	—	733,3±733,3	0,663±0,015	109,0 ± 4,0 (1)
	SE-D2 *	+1,5	200±4	1,453±0,032	1,639±0,046	240±45	0,705±0,019	121,3 ± 5,6 (2)
Cova de sa Gleda	GL-D1 *	-15	409±5	2,021±0,020	2,267±0,025	876±227	0,530±0,009	76,2 ± 1,8 (1)
	GL-D2 *	-14	342±10	1,586±0,040	1,890±0,067	250±80	0,793±0,035	147,4 ± 12 (1)
	GL-D3 *	-17,5	438±6	1,960±0,022	2,244±0,029	42±2	0,602±0,011	91,4 ± 2,4 (1)
	GL-D4 *	-1,5	80±2	1,154±0,038	> 1,554	∞	1,035±0,065	> 350
	GL-D5 *	-16	380±10	2,105±0,051	2,384±0,065	201±47	0,540±0,018	78 ± 3,6 (1)
Cova den Passol	PS-D1 *	-8	278±6	1,203±0,034	1,359±0,059	139±31	0,877±0,028	201,4 ± 16 (1)
	PS-D2 *	-10,5	210±7	1,630±0,064	1,835±0,085	29±4	0,632±0,028	100 ± 7 (1)
	PS-D3 *	-12	91±3	1,510±0,061	1,612±0,073	10±1	0,456±0,020	63,7 ± 3,7 (1)
	PS-D4 *	-13,5	354±8	1,173±0,023	> 1,1483	216±34	1,014±0,027	> 350
	PS-D5 *	-18	155±4	1,708±0,047	1,935±0,063	1948±2168	0,627±0,025	98 ± 6 (1)
	PS-D6 *	-23	278±7	1,594±0,035	2,342±0,170	156±23	1,035±0,030	288 ± 41 (1)
	PS-D7 *	-15,5	138±2	1,902±0,030	2,092±0,037	199±39	0,483±0,010	67,6 ± 1,8 (1)
Cova des Drac de Cala Santanyi	CS-D1 *	-13,5	234±7	1,128±0,044	1,267±0,110	22±3	0,938±0,044	260 ± 90 (1)
	CS-D2 *	-15	187±3	1,297±0,021	1,404±0,029	53±9	0,651±0,019	108,3 ± 5 (1)
	CS-D3 *	-17	292±6	1,337±0,028	1,422±0,035	62±7	0,534±0,014	79,6 ± 3 (1)
	CS-D4 *	-19	283±10	1,271±0,050	1,516±0,110	6,6±0,4	0,925±0,038	< 227

espectrometria de massa * espectrometria alfa
(1) ± 1 σ (2) ± 2 σ

nivell marí, mentre el segon agrupa mostres pertanyents a paleonivells situats a profunditats entre -13 i -17 metres per sota del nivell de la mar. Resulta ben patent, doncs, la complexitat de la història recent de les oscil·lacions glacioeustàtiques de la Mediterrània. La combinació de dades d'altimetria i edats absolutes —obtingudes a partir de les mostres d'espeleotemes freàtics— permet assajar la reconstrucció d'una corba eustàtica detallada per al període de 60 ka a 150 ka BP, que s'exposarà i discutirà tot seguit.

Aportacions a la construcció d'una corba eustàtica per a l'últim interglacial

Les datacions Th/U portades a terme recentment, a partir de paleonivells d'espeleotemes freàtics situats a cotes inferiors a l'actual superfície de les aigües marines, suposen una nova font d'informació sobre un aspecte molt poc conegut de la història del nivell de la mar a la Mediterrània Occidental. De fet el registre marí clàssic (platges fòssils, plataformes d'abrasió...) no és susceptible de subministrar, en les situacions més habituals, informacions a propòsit dels esdeveniments regressius, excepció feta de les costes sotmeses a una intensa elevació tectònica; en litorals tectònicament estables les restes d'aquestes antigues línies de costa, corresponents a pulsacions de caràcter fred, es troben submergides i, en conseqüència, resulten de molt difícil estudi. En el cas de les coves càrstiques litorals, persisteix la dificultat tècnica inherent a l'observació i recol·lecció dels espeleotemes freàtics submergits però, en canvi, aquestes cristal·litacions representen un excel·lent registre de les vicissituds sofertes pel nivell marí, aliè a l'emascament o a la interferència ocasionats per altres processos geodinàmics litorals posteriors. La disponibilitat d'abundants datacions radiomètriques d'aquesta classe d'espeleotemes —tant de les mostres recollides per damunt com per davall del present nivell de la mar— suposa un valuós bagatge, el qual permetrà tenir accés al

gran potencial cronoestratigràfic d'aquest peculiar registre paleoambiental.

És convenient deixar constància ara del següent fet: encara que està citada l'existència de deformacions tectòniques recents en àrees litorals de Mallorca (Del Olmo i Alvaro, 1984; Gelabert *et al.*, 1992), la seva escassa rellevància no resta vàlida a les informacions sobre la història del nivell marí que s'extrauran més endavant. Així, les evidències subministrades per l'estudi d'espeleotemes freàtics localitzats per damunt del present nivell de la mar (Tuccimei *et al.*, 1998), suggereixen basculaments neotectònics tan sols lleugerament superiors al metre de desnivell, pel que fa a bona part de la costa oriental de l'illa.

D'acord amb la línia de raonament que estem descabdellant, la integració de totes les informacions cronològiques aportades pels espeleotemes freàtics, que han estat datats fins el dia d'avui, fa possible assajar la construcció d'una corba eustàtica detallada vàlida per al Pleistocè Mitjà i Superior de Mallorca. Amb aquesta finalitat, i per tal de facilitar un primer apropament a la qüestió, s'ha confeccionat la Fig. 6; la citada gràfica aglutina les dades altimètriques i cronològiques subministrades per totes les mostres estudiades, dins dels diferents programes de datació que hem portat a terme en cavitats del litoral oriental de l'illa (Hennig *et al.*, 1981; Ginés i Ginés, 1993b; Tuccimei *et al.*, 1998, 2000; Ginés *et al.*, 1999; Ginés, 2000). Aquesta figura posa de manifest una complicada successió de paleonivells marins enregistrats a cotes negatives, en correspondència amb estadis isotòpics de caràcter fred (estadis 4, 6 i 8), alternant-se amb altres antics nivells de la mar, a cotes superiors a l'actual ± 0 , associats a esdeveniments climàtics de signe càlid (estadis 1, 5, 7 i 9). No obstant això, aquesta pauta general es veu interferida per la presència (a l'estadi isotòpic 5) de diverses pulsacions regressives, relacionades amb alguns dels subestadis que avui en dia es distingeixen al llarg de l'últim interglacial. Es descriuen a continuació els trets destacables de la corba eustàtica aportada (Fig. 6).

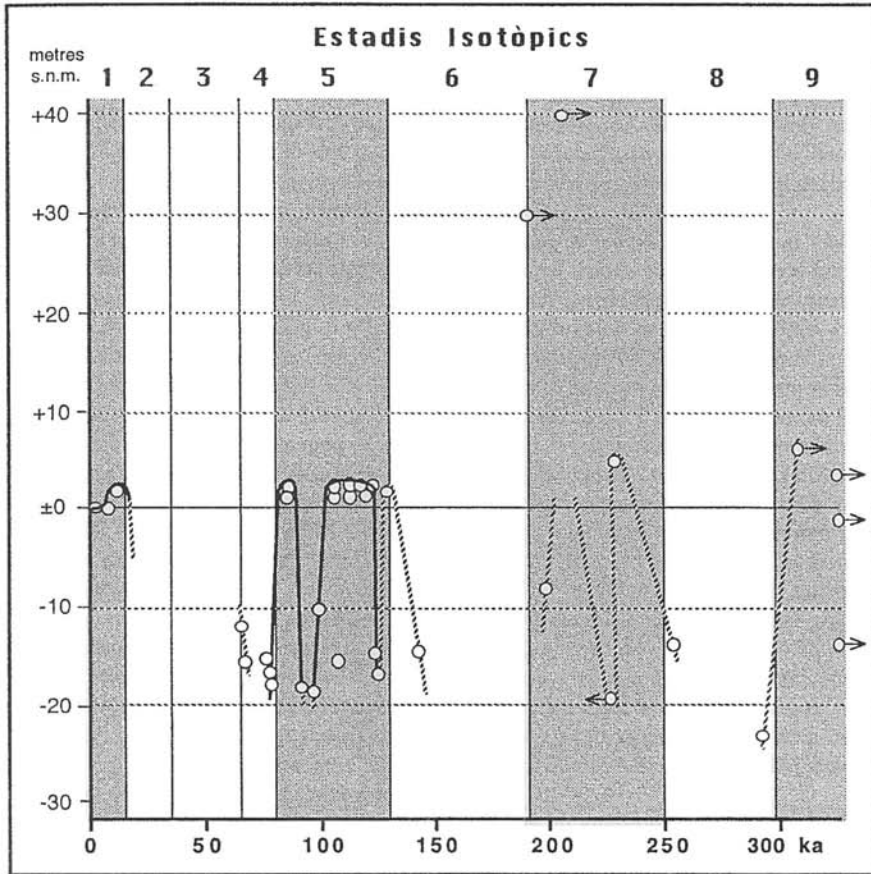


Fig. 6. Corba eustàtica simplificada de la Mediterrània occidental, corresponent als últims 300 ka, deduïda a partir de les datacions Th/U d'espeleotemes freàtics de la costa oriental de Mallorca. Es recullen les tendències generals del nivell marí, definint mitjançant traços continus els esdeveniments documentats per més d'una datació; una interpretació detallada de l'últim interglacial s'inclou en la Fig. 7. Consultar discussió pormenoritzada en el text. En ordenades es representa l'altitud a la qual es troben els diferents paleonivells mostrejats. Les fletxes a dreta o esquerra indiquen edats mínims o màxims respectivament. S'han grafiat ombrats aquells estadis isotòpics que impliquen esdeveniments climàtics de signe càlid.

Fig. 6. Simplified eustatic curve of western Mediterranean, corresponding to the last 300 ka, deduced from Th/U datings of phreatic speleothems collected on the eastern coast of Mallorca. The general sea-level trends are reflected, the events documented by means of more than one dating being defined with unbroken lines; a detailed interpretation of last interglacial is included in Fig. 7. See text for a detailed discussion. The y-axis represents the elevations at which the different paleolevel samples were collected. The right and left pointing arrows indicate minimum and maximum ages respectively. Dashed areas correspond to warm climate isotopic stages.

Tot seguint un ordre d'antiguitat creixent, tenim documentat un nivell de la Mediterrània similar a l'actual entre 3,9 i 5,4 ka, al qual seguiria un màxim postglacial a +2,1 metres en torn als 6,6 ka BP. Aquest màxim es correspondria amb la transgressió del Versilià, també conegut com a Flandrià (estadi isotòpic 1).

Dels moments àlgids de la glaciació més recent no es disposa de dades, ja que les pròximes mostres analitzades se situen a l'estadi 4 —amb edats compreses entre 63,7 i 79,6 ka— enregistrant fins a cinc estabilitzacions de la mar a diferents profunditats entre -12 i -17 metres (veure Fig. 7). S'arriba així al darrer i complex gran esdeveniment interglacial (estadi 5), en el qual és factible distingir almanco tres pics transgressius juntament amb un mínim de dues pulsacions regressives; aquest episodi s'associaria amb els pisos característics del Tirrenià, entès en un sentit ample que inclouria els dipòsits amb fauna termòfila de l'Eutirrenià i Neotirrenià (Cuerda, 1975). Donada la complexitat i l'interès d'aquest esdeveniment climàtic, ens ocuparem d'ell més endavant, procedint a una discussió detallada dels subestadis individualitzables.

A l'estadi 6, que representa un episodi de signe fred, es troba documentada una regressió d'un mínim de 14 metres amb una edat de 147,4 ka. Aquesta mostra es podria relacionar amb la fase final d'aquest esdeveniment fred, i la seva transició cap a les condicions climàtiques interglacials pròpies del subestadi 5e.

El següent episodi interglacial (estadi 7) està representat amb claredat tan sols per una mostra, localitzada a +4,9 metres, amb una edat de 231,9 ka; aquesta cronologia podria permetre adscriure-la a un màxim transgressiu corresponent al subestadi 7c (Zazo, 1999). Les altres dues mostres pertanyents a aquest estadi isotòpic estan situades a cotes inferiors al nivell marí present, donant informacions menys consistents amb el caràcter càlid d'aquest estadi climàtic. La datació de 201,4 ka segurament registra el final del subestadi 7a, assenyalant una tendència

regressiva que va deixar un paleonivell a -8 metres.

Del començament i del final de l'estadi 8 es disposa de dues datacions (260 i 288 ka BP) que denoten almenys un episodi regressiu de 23 metres de magnitud, el qual va tenir lloc durant l'esmentat estadi fred.

L'existència de set mostres amb relacions isotòpiques properes a la unitat, per a la majoria de les quals tan sols es pot indicar una edat mínima, impedeix extreure dades vàlides sobre les estabilitzacions marines que tingueren lloc amb anterioritat a l'estadi 8. L'altimetria de dos dels espeleotemes freàtics analitzats (superior als +30 metres s.n.m.) suggereix que poguessin estar lligats a paleonivells de la mar assolits durant els estadis 9 o 11, o fins i tot en temps encara més remots del Pleistocè Mitjà.

Convé ocupar-nos ara amb major deteniment de les vicissituds reflectides per la corba eustàtica en el que fa referència al complex estadi isotòpic 5, el qual representa l'últim gran esdeveniment interglacial. En la Fig. 7 queda molt ben individualitzat un pic transgressiu sobre els 83 ka BP, d'un màxim de +2 metres amb respecte a l'actual nivell marí, relacionable amb el subestadi 5a que equivaldria al pis conegut com a Neotirrenià o Tirrenià III (Butzer i Cuerda, 1962; Cuerda, 1975). A l'esmentat pic l'hauria precedit una regressió d'almanco 18 metres, ocorreguda entre 90 i 100 ka, atribuïble sense problemes al subestadi 5b. Entre els 107 i 124 ka nombroses mostres registren un nivell marí pròxim als +2 metres s.n.m., interromput per una possible regressió de 15 metres amb una cronologia de 108,3 ka, la qual es pot assignar tentativament al subestadi 5d, estant documentada per només una datació; d'aquesta manera, les dues mostres d'antiguitat menor que la citada pulsació regressiva podrien ésser atribuïdes al subestadi 5c, mentre que les datacions d'edats superiors als 110 ka entrarien ja en el subestadi 5e, que s'associa amb l'òptim climàtic del darrer interglacial.

Dins de l'últim episodi citat (subestadi 5e), al qual s'adscriuen mostres amb edats compreses entre 111 i 130 ka a altituds màxi-

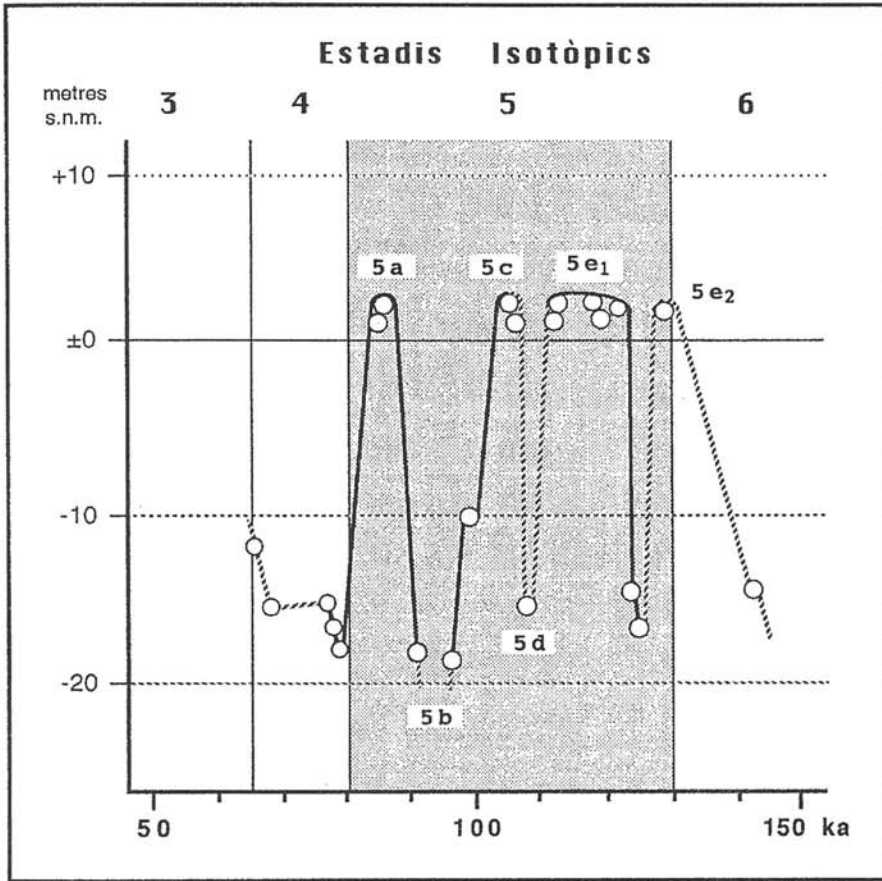


Fig. 7. Corba eustàtica per a l'últim interglacial, deduïda a partir de les datacions Th/U d'espeleotemes freàtics de coves costaneres mallorquines. Amb traç continu s'han representat aquelles vicissituds del nivell marí documentades per més d'una datació. Consultar discussió pormenoritzada en el text. En ordenades es representa l'altitud a la qual es troben els diferents paleonivells mostrats. S'ha grafiat ombrat l'estadi climàtic corresponent a l'últim esdeveniment interglacial.

Fig. 7. Eustatic curve of the last interglacial period, deduced from Th/U datings of phreatic speleothems from Mallorcan coastal caves. Unbroken lines represent sea-level fluctuations documented by means of more than one dating. See text for a detailed discussion. The y-axis represents the elevations at which the different paleolevel samples were collected. Dashed area corresponds to the last interglacial climatic event.

mes de +2,5 metres s.n.m., es constata una pulsació regressiva de 16,5 metres de magnitud esdevinguda en torn als 125 ka i documentada per dues mostres de la mateixa localitat. Es tractaria d'un descens brusc del nivell marí succeït en ple subestadi 5e, possibilitat que ja es constatava en el jaciment marí mallorquí del Camp de Tir (Hillaire-Marcel *et*

al., 1996) i en altres àrees geogràfiques (Neumann i Hearty, 1996; Hearty, 1998; Zazo, 1999); d'aquesta forma, el subestadi 5e romandria dividit en dos pics transgressius situats al voltant de 110-120 ka i 130 ka BP (que s'han assenyalat en la Fig. 7 amb les etiquetes 5e₁ i 5e₂) separats per un breu episodi regressiu. Al voltant dels 147 ka es troba

documentat un paleonivell marí, 14 metres inferior a l'actual, corresponent ja a l'acabament de l'episodi fred que antecedeix el darrer interglacial.

Les majors diferències entre les corbes eustàtiques construïdes ara i el registre clàssic del Quaternari marí de Mallorca (Cuerda, 1975; Pomar i Cuerda, 1979) radiquen en el gran detall obtingut, sobretot pel que fa a les vicissituds experimentades pel nivell de la mar entre 60 i 150 ka BP. Aquesta corba detallada (Fig. 7) ens ofereix una nova perspectiva de l'últim interglacial —considerat en un sentit ampli (estadi isotòpic 5)— amb els bruscos canvis paleoclimàtics que hi tingueren lloc i les molt abruptes fluctuacions eustàtiques associades a ells; així mateix, el registre estudiat no ha aportat evidències que sustentin la possibilitat d'un nivell marí superior als +2,5 metres durant l'últim interglacial. Per altra banda apareix ben documentada, amb paleonivells regressius localitzats fins a -17 metres, la transició cap a unes condicions climàtiques de caràcter bastant més fred (estadi 4), que marquen l'inici del darrer cicle glacial. Obviament la major precisió obtinguda en la reconstrucció de la història del nivell de la Mediterrània al llarg del Quaternari es concreta, de manera molt particular, en la novetat que suposa el coneixement dels paleonivells de la mar situats a altituds inferiors a la present cota d'estabilització de les aigües marines.

Implicacions paleoclimàtiques

Els resultats que s'han exposat més a dalt, en relació amb les fluctuacions eustàtiques ocorregudes al llarg del Pleistocè Superior a l'àmbit del mar balear, resulten ben concordants amb les dades de paleotemperature publicades per Rose *et al.* (1999) en ocupar-se del litoral nordoccidental de les muntanyes d'Artà. Aquests autors reconeixen, en la seva zona de treball, episodis càlids corresponents als subestadis 5a, 5c i 5e —amb nivells marins superiors o propers a l'actual—, separats per pulsacions regressives relacionables

amb els subestadis freds 5b i 5d, moments en els quals constaten un increment en l'activitat dels sistemes fluvials. Resulta molt il·lustratiu el fet que dos registres ben diferents dins la nostra àrea geogràfica —com són els espeleotemes freàtics de les coves costaneres i els sediments epigeus litorals— documentin de manera consistent la mateixa successió de canvis climàtics, amb posicions cronoestratigràfiques ben concordants dins el rang d'edat que ens interessa contrastar (60-150 ka BP).

Tota vegada que el registre constituït pels espeleotemes freàtics de les coves litorals del llevant de Mallorca posseeix una vàlida demostrada, com s'ha vist en el paràgraf anterior, no resulta aventurat intentar establir les implicacions paleoclimàtiques que es poden desprendre de l'estudi d'aquestes peculiars i valuoses cristallitzacions de carbonats.

En aquest sentit, unes primeres informacions interessants venen proporcionades per les taxes d'ascens o descens del nivell marí, que és possible calcular en base a les datacions dels pics transgressius i regressius recollits a la corba eustàtica detallada de la Fig. 7 (veure dades numèriques a la Taula 1). La quantificació del citat paràmetre dona xifres mínimes de variació del nivell marí de l'ordre de 1,5 m/ka, durant els episodis d'ascens i descens lligats a les brusques vicissituds climàtiques documentades en el nostre registre; aquesta xifra assoleix valors mitjans molt superiors, els quals se situen al voltant dels 4 m/ka. Els valors obtinguts signifiquen que importants fluctuacions del nivell de la Mediterrània, d'aproximadament 20 metres d'amplitud, han tingut lloc en lapsos de temps bastant inferiors als 10 ka. Aquestes magnituds estan en concordança amb les calculades per Harmon (1980; 1985) a les Bahames i les Bermudes, on s'han deduït valors de 3,5 a 6 m/ka, i fins i tot més alts, per a les variacions eustàtiques del Pleistocè Superior en aquells arxipèlags. Per altra banda, es poden avaluar taxes d'ascens marí postglacial de l'ordre de 7,8 m/ka (Douglas *et al.*, 2001), quantia semblant als valor màxims subministrats per les datacions realitzades en les nostres campanyes.

Malgrat la rapidesa de la tendència fluctuant representada pels valors exposats, els quals suposen taxes mitjanes d'ascens-descens en torn als 4 mm per any, la formació de paleonivells d'espeleotemes freàtics implica l'existència d'estabilitzacions del nivell de la mar, a una determinada cota, de durada suficient per a la deposició d'un sobrecreixement freàtic apreciable. La pauta postulada de fluctuacions-estabilitzacions ve recolzada per la presència continuada d'un nivell marí similar al present, des de 5,4 ka BP fins el moment actual (Hennig *et al.*, 1981; Ginés i Ginés, 1989; 1993b), que ha donat origen a un espectacular sobrecreixement de cristallitzacions freàtiques de escala decimètrica. Paleonivells semblants de morfologies boterudes —situats tant a cotes positives com negatives— requereixen doncs, per a la seva deposició, l'existència d'estabilitzacions del nivell marí que esglaonen la tendència general fluctuant descrita amb anterioritat; la durada d'aquests episodis d'estabilitat pensam que ha de ser, almanco, d'un o uns pocs milers d'anys (Tucicmei *et al.*, 2000).

Les dades disponibles sobre els estadis isotòpics 4 i 5 (recollides a la Fig. 7) il·lustren molt bé el fet que la corba eustàtica, deduïble per al Pleistocè Superior de Mallorca, enregistra un seguit de canvis paleoambientals radicals explicables en base a alternàncies climàtiques extraordinàriament abruptes. El bon ajustament que presenten els pics continguts en la corba eustàtica aportada, en relació amb els estadis isotòpics reconeguts en el registre marí profund (Shackleton i Opdyke, 1973), confirma el caràcter glacioeustàtic de les oscil·lacions detectades al nivell de la Mediterrània —entre els 60 i els 150 ka BP— mitjançant l'estudi dels espeleotemes freàtics mallorquins.

L'explicació causal de l'acusada variabilitat climàtica quàternària ha estat objecte de molta atenció, argumentant-se sobretot causes orbitals (Muller i Macdonald, 2000; Pirazzoli, 1996) les quals serien les principals responsables de la ciclicitat observable en l'alternança de màxims i mínims d'insolació en l'hemisferi nord terrestre. Dins les ciclici-

tats lligades a variacions en l'òrbita traslacional de la Terra, destaquen com a més importants les relacionades amb l'excentricitat i/o la inclinació de l'òrbita, que tenen un període aproximat de 100 ka i explicarien els màxims glacials i interglacials; a aquestes ciclicitats se superposen altres menors lligades a l'obliquïtat (41 ka) i la precessió (23 ka) de l'eix del planeta. Als esmentats factors astronòmics s'afegeixen altres, relacionats tant amb reorganitzacions del sistema atmosfera-oceà (Broecker i Denton, 1989), que afecten en particular a la circulació profunda de les aigües oceàniques, com amb l'existència de canvis periòdics de l'activitat solar que es tradueixen en fluctuacions del flux energètic que arriba al nostre planeta (Shopov *et al.*, 1999). Malgrat la participació de nombrosos factors explicatius, les causes orbitals justifiquen, per a alguns autors, aproximadament el 75 % de les variacions tèrmiques deduïbles dels registres marins d'isòtops d'oxigen (Imbrie *et al.*, 1984).

Encara que s'accepti un control orbital majoritari per a la ciclicitat climàtica pleistocena, la resposta del nivell marí no és necessàriament sincrònica amb aquest factor causal principal. Així, Fairbanks i Matthews (1978) reconeixen, a l'illa de Barbados, regressions d'algunes desenes de metres, prèvies a l'inici del descens local de la temperatura a les aigües superficials de les latituds baixes. Per altra banda, les variacions eustàtiques no estan condicionades tan sols pels canvis en el volum de les aigües oceàniques —la glacioeustàsia— sinó que participen també altres mecanismes com, per exemple, la eustàsia geoidal (Mörner, 1987) que actua mitjançant canvis en la distribució espacial de les aigües marines. Tot el que s'acaba d'exposar configura un complex entramat de factors, cíclics o no (causes astronòmiques, dinàmica del sistema atmosfera-oceà, moviments tectònics, eustàsia geoidal...), que es materialitzen en una molt complicada història de fluctuacions del nivell marí, per a la qual és extremadament difícil establir una correlació ben afinada —i vàlida a escala global— amb els diversos registres climàtics detallats disponibles per al Pleistocè.

Deixant de banda aquestes consideracions de caire general, que hem intercalat abans a manera d'incís, serà oportú ocupar-se ara amb deteniment de les informacions disponibles sobre les paleotemperatures en el nostre àmbit geogràfic, al llarg dels últims 150 ka. En les seves investigacions desenvolupades a l'illa de Mallorca, Rose *et al.* (1999) assenyalen una temperatura mitjana anual de 19,2° C per al màxim termomètric del darrer interglacial (subestadi 5e), la qual seria gairebé 2° C superior al valor mitjà actual. Quant als episodis freds, aquests autors aporten dades de l'ordre de 8,1° C de temperatures mitjanes anuals per als moments àlgids de l'última glaciació (estadi isotòpic 2); les xifres indicades són del tot concordants amb els valors usualment admesos, que atribueixen al darrer cicle glacial temperatures mitjanes anuals entre 8° i 12° C inferiors a les d'avui en dia (Muller i MacDonald, 2000).

Centrant-nos en el rang d'edat que es troba recollit a la corba eustàtica proposada (estadis 4 i 5) les temperatures es mourien així mateix —sempre segons Rose *et al.* (1999)— en un ordre de magnitud similar a l'esmentat abans: els valors serien semblants o lleugerament superiors a la mitjana anual present durant els pics càlids (subestadis 5a, 5c i 5e), mentre que descendrien almenys 8-10° C en determinades pulsacions de signe fred (estadis 4, 5b i 5d). Els episodis regressius grafats a la Fig. 7, enregistrats mitjançant els espeleotemes freàtics del llevant de Mallorca, són fortament consistents amb les informacions paleotermomètriques que acabem de comentar.

L'amplitud de les variacions tèrmiques al llarg del lapse de temps analitzat (60-150 ka BP), és sens dubte prou gran per a explicar de forma satisfactòria pulsacions regressives d'almanco una vintena de metres, com les detectades en les coves litorals de l'illa; tot i això, sense excloure que en alguns dels períodes freds —en particular els estadis 4 i 5b— puguin haver-se donat regressions encara més importants que les detectades en els nostres programes de datació. El fet que no s'hagin pogut efectuar anàlisis d'isòtops estables de

les mostres recol·lectades per sota del nivell mari present, impedeix donar més precisions sobre les condicions ambientals de deposició corresponents als episodis freds del Pleistocè Superior.

Fent referència ara als espeleotemes freàtics corresponents als pics transgressius, en aquest cas sí que ha estat possible realitzar anàlisis d'isòtops estables de l'Oxigen ($\delta^{18}\text{O}$) i del Carboni ($\delta^{13}\text{C}$). Les dades analítiques obtingudes, a partir de les bandes de creixement de mostres pertanyents a l'últim interglacial, posen de manifest una evolució cap a composicions isotòpiques pesades al llarg dels subestadis de signe càlid 5a i 5e. La citada tendència és interpretada (Vesica *et al.*, 2000) com el resultat d'una major intrusió marina en el sistema geoquímic, associada a condicions climàtiques d'aridesa creixent. Aquesta inferència paleoclimàtica qüestionaria l'assumpció habitual que relaciona —en el nostre entorn geogràfic— els moments interglacials amb esdeveniments de signe marcadament humit. Una situació paleoambiental, il·lustrativa en aquest sentit, ha estat estudiada per Durán i López (1999), en l'endocarst de la serra de Líbar (Màlaga); els citats autors posen de relleu l'existència d'una notable fase d'al·luvionament, que tingué lloc durant l'estadi isotòpic 4 (de signe fred), la qual va estar precedida i succeïda per sengles episodis de deposició d'espeleotemes, corresponents als estadis càlids 5 i 3 respectivament. En aquest cas, queda també documentat el caràcter de relativa aridesa de l'últim interglacial, en contraposició a la important activitat hídrica subterrània (amb potent al·luvionament, indicatiu de pluges intenses) ocorreguda a l'estadi isotòpic 4, de clar signe fred.

El que s'acaba d'exposar entra en conflicte amb una part de les observacions paleoambientals postulades per Rose *et al.* (1999). Per als citats investigadors els esdeveniments càlids es caracteritzarien per condicions relativament humides, però de escassa efectivitat geomòrfica per mor de l'estabilitat de la coberta vegetal i de l'edafogènesi activa; per contra, els episodis de signe fred serien de caràcter més àrid, però la degradació de la

coberta vegetal propiciaria una major taxa d'activitat dels processos geomorfològics. Com ja s'ha argumentat, les informacions procedents tant de coves del sud de la península Ibèrica (Duràn i López, 1999) com dels espeleotemes freàtics de Mallorca (Vesica *et al.*, 2000), apunten la possibilitat que almanco l'últim interglacial (estadi 5) es caracteritzés per una marcada aridesa, mentre que les pulsacions fredes podrien anar acompanyades d'un règim pluviomètric quantitativament més important.

Resta molta feina per fer encara, per tal d'interpretar de manera adequada el registre paleoclimàtic constituït pels espeleotemes freàtics de les cavitats litorals de la nostra illa. No obstant això, els resultats aconseguits fins al present permeten obtenir una perspectiva nova, i complementària, de l'acusada variabilitat climàtica prehumana que ha singularitzat els temps quaternaris.

Conclusions

Els resultats de les investigacions desenvolupades sobre els espeleotemes freàtics de la costa oriental de Mallorca, es poden sistematitzar de la següent manera:

-La datació radiomètrica, pel mètode Th/U, de mostres d'aquestes cristal·litzacions ha aportat edats que abracen des de 3,9 ka (mostra de cronologia postglacial) fins a >350 ka BP, ja en el límit de resolució del mètode (estadi isotòpic 9, com a mínim).

-Els espeleotemes recol·lectats per sobre del nivell marí actual, que presenten edats inferiors als 250 ka, es correlacionen molt bé amb els estadis 1, 5 i 7 del registre d'isòtops d'oxigen, els quals consisteixen períodes càlids amb un nivell associat de la mar similar o superior al present.

-Estan particularment ben documentats alguns esdeveniments transgressius menors dins l'estadi isotòpic 5, el darrer episodi interglacial; les edats aportades de 83 ka, 107 ka i 117-130 ka corresponen respectivament als subestadis 5a, 5c i 5e. En cap cas s'han trobat evidències d'un nivell marí superior als +2,5

metres, durant els pics transgressius de l'últim interglacial.

-Bona part de les mostres obtingudes per sota de la present cota ± 0 metres es correlacionen a la perfecció amb els estadis 4, 6 i 8, els quals representen esdeveniments climàtics de clar signe fred. També han estat datats paleonivells d'espeleotemes freàtics que enregistren diverses pulsacions regressives, ocoregudes al llarg de l'estadi isotòpic 5.

-En concret, la història del nivell de la Mediterrània durant l'últim període interglacial (estadi 5) es presenta en extrem complexa, evidenciant una possible successió de fins a set pics transgressiu-regressius, relacionables amb els subestadis habitualment distingits dins aquest gran esdeveniment climàtic. S'han constatat en aquest estadi fluctuacions glacioeustàtiques del nivell de la mar de fins a 20 metres de magnitud, les quals han tingut lloc en lapses de temps bastant inferiors als 10 ka; les taxes mitjanes de variació eustàtica deduïdes són de l'ordre de 4 m/ka.

-Les anàlisis d'isòtops estables de l'Oxigen i del Carboni, portades a terme sobre algunes de les mostres pertanyents a l'estadi 5, pareixen evidenciar durant l'últim interglacial una notable intrusió marina en el sistema geoquímic litoral, associada a condicions climàtiques de marcada aridesa. Aquest fet qüestionaria l'assumpció habitual que relaciona, en el nostre entorn geogràfic, els moments interglacials amb episodis climàtics de caràcter humíid.

-L'estudi dels espeleotemes freàtics es ratifica com una molt bona eina per a la investigació precisa de les variacions del nivell de la mar en el Quaternari. L'obtenció de dades sobre les cristal·litzacions d'aquest tipus que es troben avui en dia submergides en els llacs de les coves litorals, subministra evidències relatives a les pulsacions marines lligades a episodis climàtics de signe fred, el coneixement de les quals era fins el moment negligible a escala de Mallorca.

-La integració de les informacions aportades pels espeleotemes freàtics —datats en successives campanyes, i ubicats tant per sobre com per sota del present nivell de les

aigües marines— ha permès assajar la reconstrucció d'una corba eustàtica afinada, per al rang d'edat de 60 a 150 ka BP, de validesa plausible per a la conca de la Mediterrània occidental.

—Les informacions subministrades per les coves litorals del llevant de Mallorca aporten una nova perspectiva —complementària en relació als altres registres disponibles— al coneixement del paleoclima pleistocènic dins l'àmbit balear. L'aprofundiment en aquest tipus d'investigacions permetrà una millor interpretació de la variabilitat climàtica natural a l'àrea mediterrània.

Agraïments

Aquestes tasques s'han beneficiat de dues ajudes econòmiques del Museu Balear de Ciències Naturals (Sóller, Mallorca), concedides durant els anys 1994 i 1995. Per altra banda, la present línia d'investigació s'emmarca dins l'acord de col·laboració establert, a partir del curs 1998-99, entre la Universitat "Roma Tre" (Roma, Itàlia) i la Universitat de les Illes Balears (Palma de Mallorca, Espanya). Així mateix aquest treball forma part dels projectes d'investigació de la DGICYT nº PB94-1175 i de la DGESIC nº PB98-0132.

Bibliografia

- Broecker, W.S. i Denton, G.H. 1989. The role of Ocean-Atmosphere reorganizations in glacial cycles. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53 (10): 2465-2501.
- Butzer, K.W. 1975. Pleistocene littoral-sedimentary cycles of the Mediterranean basin: a Mallorquin view. In: Butzer, K.W. i Isaac, G.L. (Ed.): *After the Australopithecines: stratigraphy, ecology and culture change in the Middle Pleistocene*, 25-71. Chicago.
- 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 (4): 398-416. Chicago.
- Cuerda, J. 1975. *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Instituto de Estudios Baleáricos. 304 pp. Palma de Mallorca.
- Del Olmo, P. i Álvaro, M. 1984. Control estructural de la sedimentación neógena y cuaternaria de Mallorca. *I Congreso Español de Geología*, 3: 219-228.
- Douglas, B.C., Kearney, M.S. i Leatherman, S.P. (Eds.) 2001. *Sea level rise. History and consequences*. Academic Press. 228 pp.
- Durán, J.J. i López, J. 1999. Datación e interpretación paleoambiental de una secuencia endokárstica pleistocena del sur de la península Ibérica. In: Pallí, L. i Roqué, C. (Eds.): *Avances en el estudio del Cuaternario Español*. Universitat de Girona. 59-164. Girona.
- Fairbanks, R. G. i Matthews, R. K. 1978. The marine oxygen isotope record in pleistocene coral, Barbados, West Indies. *Quaternary Research*, 10: 181-196.
- Gelabert, B., Sàbat, F. i Rodríguez-Perea, A. 1992. An structural outline of the Serra de Tramuntana of Mallorca (Balearic Islands). *Tectonophysics*, 203: 167-183.
- Ginés, A. 1995a. Els espeleotemes de les coves de Mallorca / The speleothems of Majorcan caves. In: Ginés, A. i Ginés, J. (Ed.): *El carst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. Endins, 20 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 3: 87-97.
- Ginés, A. i Ginés, J. 1974. Consideraciones sobre los mecanismos de fosilización de la Cova de sa Bassa Blanca y su paralelismo con formaciones marinas del Cuaternario. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 19: 11-28.
- Ginés, A. i Ginés, J. 1986. On the interest of speleochronological studies in karstified islands. The case of Mallorca (Spain). *Com. 9ª Cong. Int. Espeleol.*, 1: 297-300. Barcelona.
- Ginés, A. i Ginés, J. 1989. Absolute dating of phreatic speleothems from coastal caves of Mallorca (Spain). *Proc. 10th Int. Congress Speleol.*, 1: 191-193. Budapest.
- Ginés, A., Ginés, J. i Pomar, L. 1981a. Phreatic speleothems in coastal caves of Majorca (Spain) as indicators of Mediterranean Pleistocene paleo-levels. *Proc. 8th Int. Congress Speleol.*, 2: 533-536. Bowling Green.
- Ginés, A., Ginés, J., Fornós, J.J. i Tuccimei, P. 1999. Dataciones isotópicas de espeleotemas procedentes de cuevas costeras de Mallorca. Estado actual de las investigaciones. In: Andreo, B., Carrasco, F. i Durán, J.J. (Ed.): *Contribución del estudio científico de las cavidades kársticas al conocimiento geológico*.

- Patronato de la Cueva de Nerja. 143-152. Nerja (Málaga).
- Ginés, J. 1995b. L'endocars de Mallorca: els mecanismes espeleogenètics / Mallorca's endokarst: the speleogenetic mechanisms. In: Ginés, A. i Ginés, J. (Ed.): *El carst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. Endins, 20 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 3: 71-86.
- Ginés, J. 2000. *El karst litoral en el levante de Mallorca: una aproximació al coneixement de su morfogènesis y cronologia*. Tesi Doctoral. Universitat de les Illes Balears. 595 pp. Palma de Mallorca.
- Ginés, J. i Ginés, A. 1987. Datos espeleocronológicos sobre el karst de la isla de Mallorca. *Revista de Ciència. Institut d'Estudis Balearics*. 1: 81-92.
- Ginés, J. i Ginés, A. 1993a. Speleochronological approach to some coastal caves from "Cap Vermell" area in Mallorca island (Spain). *Proc. XI Int. Congress Speleol.*, 56-59. Beijing.
- Ginés, J. i Ginés, A. 1993b. Dataciones isotópicas de espeleotemas freáticos recolectados en cuevas costeras de Mallorca (España). *Endins*, 19: 9-15.
- Ginés, J. i Ginés, A. 1995. Aspectes espeleocronològics del carst de Mallorca / Speleochronological aspects of karst in Mallorca. In: Ginés, A. i Ginés, J. (Ed.): *El carst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. Endins, 20 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 3: 99-112.
- Ginés, J., Ginés, A. i Pomar, L. 1981b. Morphological and mineralogical features of phreatic speleothems occurring in coastal caves of Majorca (Spain). *Proc. 8th Int. Congress Speleol.*, 2: 529-532. Bowling Green.
- Gràcia, F., Clamor, B. i Watkinson, P. 1998a. La Cova d'en Passol i altres cavitats litorals situades entre Cala sa Nau i Cala Mitjana (Felanitx, Mallorca). *Endins*, 22: 5-18.
- Gràcia, F., Clamor, B., Aguiló, C. i Watkinson, P. 1998b. La Cova des Drac de Cala Santanyi (Santanyi, Mallorca). *Endins*, 22: 55-66.
- Gràcia, F., Clamor, B. i Laverne, J.J. 2000. Les coves de Cala Varques (Manacor, Mallorca). *Endins*, 23: 41-57.
- Harmon, R. S. 1980. Paleoclimatic information from isotopic studies in speleothems: a review. In: Mahaney, W. C. (Ed.): *Quaternary Paleoclimate*. Geo Abstracts Ltd. 299-318. Norwich.
- Harmon, R.S. 1985. Late Pleistocene sea level history of Bermuda: a review. In: *Geomorfologia litoral y Cuaternario. Homenaje a Juan Cuerda*. Universidad de Valencia. 53-60. Valencia.
- Hearty, P. J. 1998. The geology of Eleuthera island, Bahamas: a Rosetta stone of Quaternary stratigraphy and sea-level history. *Quaternary Science Reviews*, 17: 333-355.
- Hennig, G.J., Ginés, A., Ginés, J. i Pomar, L. 1981. Avance de los resultados obtenidos mediante datación isotópica de algunos espeleotemas subacuáticos mallorquines. *Endins*, 8: 91-93.
- Hillaire-Marcel, C., Gariépy, C., Ghaleb, B., Goy, J.L., Zazo, C. i Cuerda, J. 1996. U-Series measurements in Tyrrhenian deposits from Mallorca. Further evidence for two last-interglacial high sea levels in the Balearic islands. *Quaternary Science Reviews*, 15: 53-62.
- Imbrie, J., Hays, J.D., Martinson, D.G., McIntyre, A., Mix, A.C., Morley, J.J., Pisias, N.G., Prell, W. L. i Shackleton, N.J. 1984. The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine ¹⁸O record. In: Berger, A. I. et al. (Eds.): *Milankovitch and Climate*. 1: 269-305.
- Mörner, N. A. 1987. Models of global sea-level changes. In: Tooley, M.J. i Shennan, I. (Eds.): *Sea-Level Changes*. Basil Blackwell Ltd. 332-355. Londres.
- Muller, R.A. i MacDonald, G.J. 2000. *Ice ages and astronomical causes. Data, spectral analysis and mechanisms*. Praxis Publishing, Springer Verlag. 318 pp. Chichester.
- Neumann, A.C. i Hearty, P.J. 1996. Rapid sea-level changes at the close of the last interglacial (substage 5e) recorded in Bahamian island geology. *Geology*, 24 (9): 775-778.
- Pirazzoli, P.A. 1996. *Sea-level changes. The last 20,000 years*. John Wiley i Sons Ltd. 211 pp.
- Pomar, L. i Cuerda, J. 1979. Los depósitos marinos pleistocénicos en Mallorca. *Acta Geológica Hispánica*. Homenatge a Lluís Solé i Sabaris. 14: 505-513. Barcelona.
- Pomar, L., Ginés, A. i Fontarnau, R. 1976. Las cristalizaciones freáticas. *Endins*, 3: 3-25.
- Pomar, L., Ginés, A. i Ginés, J. 1979. Morfología, estructura y origen de los espeleotemas epiaquáticos. *Endins*, 5-6: 3-17.
- Pomar, L., Rodríguez, A., Fornós, J.J., Ginés, A., Ginés, J., Font, A. i Mora, A. 1987. Phreatic speleothems in coastal caves: a new method to determine sea-level fluctuations. In: Zazo, C. (Ed.): *Late Quaternary sea-level changes in Spain*. Museo Nacional de Ciencias Naturales C.S.I.C. Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario, 10: 197-224. Madrid.
- Rose, J., Meng, X. i Watson, C. 1999. Palaeoclimate and palaeoenvironmental responses in the western Mediterranean over the last 140 ka:

- evidence from Mallorca, Spain. *Journal of the Geological Society*, 156 : 435-448.
- Shackleton, N.J. i Opdyke, N.D. 1973. Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of Equatorial Pacific core V28-238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10^5 year and 10^6 year scale. *Quaternary Research*, 3: 39-55.
- Shopov, Y.Y., Stoykova, D., Sanambria, M., Tsankov, L., Ford, D.C., Georgiev, L. i Georgieva, D. 1999. Significance of luminescent speleothem records for determination of orbital variations, glaciations and timing of Termination-II. In: Andreo, B., Carrasco, F. i Durán, J.J. (Eds.): *Contribución del estudio científico de las cavidades kársticas al conocimiento geológico*. Patronato de la Cueva de Nerja. 135-142. Nerja (Málaga).
- Tuccimei, P., Ginés, J., Ginés, A. i Fornós, J.J. 1997. Th/U dating of sea level-controlled phreatic speleothems from coastal caves in Mallorca (Western Mediterranean). *Proc. 12th Int. Congress Speleol.*, 1: 37-40. La Chaux-de-Fonds.
- Tuccimei, P., Ginés, J., Ginés, A., Fornós, J.J. i Vesica, P.L. 1998. Dataciones Th/U de espeleotemas freáticos controlados por el nivel marino, procedentes de cuevas costeras de Mallorca (España). *Endins*, 22: 99-107.
- Tuccimei, P., Ginés, J., Delitala, C., Pazzelli, L., Taddeucci, A., Clamor, B., Fornós, J.J., Ginés, A. i Gràcia, F. 2000. Dataciones Th/U de espeleotemas freáticos recolectados a cotas inferiores al actual nivel marino en cuevas costeras de Mallorca (España): aportaciones a la construcción de una curva eustática detallada de los últimos 300 ka para el Mediterráneo occidental. *Endins*, 23: 59-71.
- Vesica, P.L., Tuccimei, P., Turi, B., Fornós, J.J., Ginés, A. i Ginés, J. 2000. Late Pleistocene Paleoclimates and sea-level change in the Mediterranean as inferred from stable isotope and U-series studies of overgrowths on speleothems, Mallorca, Spain. *Quaternary Science Reviews*, 19: 865-879.
- Zazo, C. 1999. Interglacial sea levels. *Quaternary International*, 55: 101-113.

Observacions faunístiques i demogràfiques a la ictiofauna de les Illes Balears: un fenomen de meridionalització

Antoni M. GRAU i Francesc RIERA

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Grau, A.M. i Riera, F. 2001. Observacions faunístiques i demogràfiques a la ictiofauna de les Illes Balears: un fenomen de meridionalització. In: Pons, G.X. i Guijarro, J.A. (Eds.): *El canvi climàtic: passat, present i futur*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 9: 53-67. ISBN: 84-87818-34-X. Palma de Mallorca.

Durant els darrers 25 anys s'han observat canvis en la ictiofauna marina de les Illes Balears. Espècies septentrionals com *Squalus acanthias*, *Sprattus sprattus* i *Aphia minuta* s'han tornat rares o molt rares; per altra banda, espècies termòfiles com *Pteromylaeus bovinus*, *Tylosurus acus imperialis*, *Epinephelus aeneus*, *Epinephelus caninus*, *Epinephelus costae*, *Epinephelus marginatus*, *Caranx chrysos*, *Caranx rhonchus*, *Seriola fasciata*, *Lobotes surinamensis*, *Kiphusus sectator*, *Pomadasy incisus*, *Katsuwonus pelamis*, *Tetrapterus albidus*, *Tetrapterus belone*, *Parablennius pilicornis*, *Scartella cristata*, *Schedophilus medusophagus*, *Schedophilus ovalis*, *Psenes pellucidus*, *Balistes carolinensis* i *Sphoeroides pachygaster* han aparegut o incrementat les seves poblacions. Alguns d'aquests canvis podrien ser un signe d'encalentiment de les aigües de la Mediterrània.

Paraules clau: meridionalització, ictiofauna, Illes Balears.

FAUNISTICAL AND DEMOGRAPHICAL OBSERVATIONS IN THE BALEARIC ICHTHYOFAUNA: A MERIDIONALIZATION PHENOMENA. During the last 25 years changes in the Balearic ichthyofauna have been observed. Septentrional species as *Squalus acanthias*, *Sprattus sprattus* and *Aphia minuta* become rare or very rare; on the other hand, thermophile species such as *Pteromylaeus bovinus*, *Tylosurus acus imperialis*, *Epinephelus aeneus*, *Epinephelus caninus*, *Epinephelus costae*, *Epinephelus marginatus*, *Caranx chrysos*, *Caranx rhonchus*, *Seriola fasciata*, *Lobotes surinamensis*, *Kiphusus sectator*, *Pomadasy incisus*, *Katsuwonus pelamis*, *Tetrapterus albidus*, *Tetrapterus belone*, *Parablennius pilicornis*, *Scartella cristata*, *Schedophilus medusophagus*, *Schedophilus ovalis*, *Balistes carolinensis* and *Sphoeroides pachygaster* have occurred or increased their populations. Some of these changes could be a sign of Mediterranean water warming.

Keywords: meridionalization, ichthyofauna, Balearic Islands.

Antoni M. GRAU i Francesc RIERA, Direcció General de Pesca. C/Foners, 10. 07006 - Palma de Mallorca.

Introducció

És ben conegut que els fenòmens ambientals de curta durada, tals com episodis de pol·lució marina o desastres naturals, poden provocar canvis importants en la biota de àrees litorals havent-se pogut estudiar i descriure nombrosos casos arreu del món. Recentment, també hi ha autors que han posat de manifest la importància de les modificacions de les condicions oceanogràfiques a mitjà i llarg termini així com l'eficàcia de les aparicions inusuals d'organismes marins com a indicadors d'aquests canvis (Mearn, 1988; Francour *et al.*, 1994; Astraldi *et al.*, 1995).

Analitzant les observacions ictiològiques realitzades a les aigües que envolten les Illes Balears per diversos autors en els darrers anys, es posa de manifest que s'han detectat canvis significatius a la ictiofauna marina de les Illes Balears (Cardona i Elices, 2000; Massutí i Stefanescu, 1994; Mayol *et al.*, 2000; Riera *et al.*, 1993; Riera *et al.*, 1995), de forma semblant a altres costes de la Mediterrània (Andaloro *et al.*, 1998; Astraldi *et al.*, 1995; Dulcic *et al.*, 1999; Francour *et al.*, 1994; Quignard i Raibaut, 1993). Aquests canvis bàsicament es centren en tres aspectes: la desaparició o rarefacció d'algunes espècies, l'aparició d'espècies meridionals abans desconegudes i la proliferació d'espècies termòfiles ja conegudes. A continuació es presenten els canvis més significatius detectats.

Espècies en regressió

A les Illes Balears hi ha un nombre important d'espècies íctiques considerades en regressió (veure Mayol *et al.*, 2000), però en la majoria de casos la minva s'atribueix, en part o totalment, a la intervenció humana directa (explotació, contaminació o destrucció de l'hàbitat). No obstant, hi ha una sèrie d'espècies, la regressió de les quals no es pot relacionar directament amb aquests causes. Les més notòries d'elles es relacionen a con-

Squalidae

Squalus acanthias Linnaeus 1758

La Quissona és una espècie considerada pròxima a l'extinció a les Balears (Mayol *et al.*, 2000), de la qual no hi ha observacions ni captures documentades en els darrers deu anys, fet que contrasta amb la freqüència que la citen els autors antics i les captures documentades fins els anys 70. Es tracta d'una espècie cosmopolita d'aigües temperades i fredes i aquest fet en podria haver influït en la rarefacció. Tot i que el problema de la sobre-explotació és comú a tots els selacis de les Balears (Mayol *et al.*, 2000), *Squalus blainvilliei*, espècie més termòfila que convivia amb l'anterior, encara és comuna i habitual als mercats de les Illes Balears i no ha patit la rarefacció de la primera.

Clupeidae

Sprattus sprattus (Linnaeus, 1768).

L'Amploia és un peix boreal (Furnest, 1952), propi d'aigües fredes, que va ser relativament abundant en el passat a les Illes Balears. En el segle XX, es van registrar desembarcaments irregulars (0-2 t/any) fins la dècada dels 60. Des d'aleshores fins avui, les captures comercials han desaparegut per complet. No hi ha observacions fidedignes en els darrers 20 anys i el declivi de l'espècie no es pot relacionar amb l'explotació pesquera ni cap altre intervenció humana directa. La rarefacció de l'espècie també s'ha produït al golf de Lleó (Francour *et al.*, 1994), mentre que a l'Adriàtic (Dulcic *et al.*, 2000) n'ha reduït la migració que anualment realitza en aquelles aigües.

Gobiidae

Aphia minuta mediterranea (Risso, 1810)

El Jonquillo és una espècie nectònica pròpia d'aigües temperades i fredes que era molt freqüent i abundant a les Illes Balears, però des de principis de la dècada dels 90 les poblacions han sofert una dràstica reducció, desapareixent d'alguns indrets on era habitual. Les captures comercials declarades han sofert una minva del 95% des de 1996. La

seva reducció no sembla que tenguin relació amb la sobrepesca sinó amb factors ambientals desconeguts (Mayol *et al.*, 2000).

Noves citacions o espècies en progressió

Myliobatidae

Pteromylaeus bovinus (Geoffroy Saint-Hilaire, 1817)

El Bisbe és una espècie considerada com d'aigües càlides i tropicals (Kreff i Stehmann, 1973), coneguda arreu de la mar Mediterrània (Bauchot, 1987b) però principalment de les costes del nord d'Àfrica (Mc Eachran i Capapé, 1984). A les Illes Balears, la seva presència tan sols en basava en una única observació (Barceló, 1868), repetida en catàlegs d'autors posteriors (Lozano, 1928; De Buen, 1935; Lloris *et al.*, 1984, etc.), fins que Riera *et al.* (1995) n'esmentaren la presència regular en aigües de Mallorca a partir 1990. Recentment l'hem observada a Eivissa (1998) i a Formentera (2001).

Belonidae

Tylosurus acus imperialis (Rafinesque, 1810)

És una espècie politípica circumtropical, la qual en reparteix l'àrea de distribució entre 5 subespècies. Considerada com una espècie rara (Parin, 1973), la subespècie *Tylosurus acus imperialis* ha estat citada en àrees disperses de la mar Mediterrània. No havia estat citada a les Illes Balears fins que Riera *et al.* (1995) reportaren la captura d'un exemplar en 1990 i dos més en 1991. Coneixem captures posteriors en Andratx (Mallorca, 2 exemplars en 1996 i 2 en 1997), Portocolom (Mallorca, 1999) i Fornells (Menorca, 2000). També l'hem observada recentment als mercats de Palma de Mallorca. Encara que segons Dulcic *et al.* (2000), es troba en expansió a la mar Adriàtica, pel que fa a les Illes Balears no es pot descartar que la seva similitud amb l'agulla, *Belone belone*, pugui haver provocat que no se'n detectés la presència fins fa pocs anys.

Serranidae

Epinephelus aeneus (Geoffroy Saint-Hilaire, 1809)

Anfós present en tota l'àrea meridional de la Mediterrània, no va ésser observat a les Illes Balears fins setembre de 1992 (Riera *et al.*, 1995), quan es capturà un exemplar a la badia de Palma. Recentment, ha estat citat a la mar Adriàtica, on mai no hi havia estat present. (Dulcic *et al.*, 1999)

Epinephelus caninus (Valenciennes, 1843)

La Xerna (Fig. 1) és una espècie present a l'Atlàntic sudoriental i al sud de la Mediterrània (Tortonese, 1986) i que a les Illes Balears era ben coneguda dels fons rocosos de plataforma profunda, però tan sols com a exemplars adults. A partir dels anys 80 els reclutes d'aquesta espècie, fins aleshores desconeguts a les Balears, s'han fet comuns en els fons rocosos circalitorals i se n'observen captures regulars amb tot tipus d'ormeigs. La presència de juvenils ha tingut com a conseqüència posterior la captura d'exemplars de 4-5 kg a la zona superior del tàlus continental, hàbitat preferent dels adults, on fins fa 15 anys mai es capturaven exemplars de pes inferior als 12 kg (Mayol *et al.*, 2000). L'existència de poblacions abundants d'adults d'*E. caninus* a les Illes Balears i la inexistència de reclutaments, incontestable almenys fins els anys 70, recorda molt a la situació d'*E. marginatus* al golf de Lleó i al nord de Catalunya abans dels anys 90. Al nord d'Àfrica els reclutes d'*E. caninus* ja es conceixien en els anys 60, quan Maurin (1968) en descrigué, la qual cosa fa pensar en que els juvenils observats a les Balears provenen de la reproducció *in situ* de l'espècie i en la seva relació amb el fenomen de l'encalement.

Epinephelus costae (Steindachner, 1878)

L'anfós Llis és una espècie present a l'Atlàntic sudoriental i les costes meridionals de la Mediterrània (Tortonese, 1986), essent una espècie abundant i comú a les Illes Balears. Tot i que la reproducció de l'anfós Llis és un fet habitual a les Balears, a finals dels anys 80 i principis dels 90 es produïren episodis de

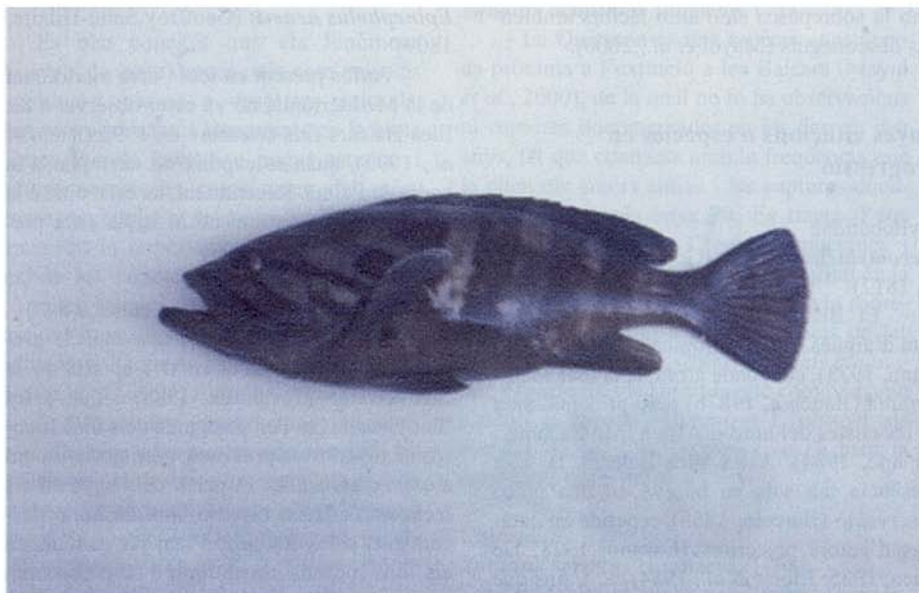


Fig. 1. *Epinephelus caninus* (Valenciennes, 1843).

reclutament d'abundància extraordinària, tant d'aquesta espècie com d'*Epinephelus marginatus* (Riera *et al.*, 1995). Encara que aquests episodis no han tingut una continuïtat manifesta ni se n'hagi, de moment, observat una periodicitat cíclica, l'extensió d'aquest fenomen a latituds septentrionals on no es reproduïen aquestes espècies (Chauvet i Francour, 1990) i ara sí ho fan (Francour i Finelli, 1991; Zabala *et al.*, 1997), indueix a pensar amb en una relació amb l'augment de la temperatura.

Epinephelus marginatus (Lowe, 1834)

L'Anfós és una espècie abundant i comú a les Illes Balears, que té una extensa àrea de distribució per la Mediterrània i l'Atlàntic subtropical i tropical (Tortonese, 1986). Tot i que la reproducció de l'Anfós és un fet habitual a les Balears, a finals dels anys 80 i principis dels 90 es produïren episodis de reclutament d'abundància extraordinària, tant d'aquesta espècie com d'*Epinephelus costae* (Riera *et al.*, 1995). Encara que aquests episodis no hagin tingut una continuïtat manifesta

ni se n'hagi, de moment, observat una periodicitat cíclica, l'extensió d'aquest fenomen a latituds septentrionals on no es reproduïen aquestes espècies (Chauvet i Francour, 1990) i ara sí ho fan (Francour i Finelli, 1991; Zabala *et al.*, 1997), indueix a pensar amb una relació amb l'augment de la temperatura.

Carangidae

Caranx chrysos (Mitchill, 1815)

La Sorella és una espècie subtropical amb tres cites antigues a les Illes Balears (Barceló, 1868; Borja, 1920; Ferrer, 1930) i en general rara a la Mediterrània. En 1993 es capturà un exemplar de 41 cm a les costes de Calvià (Riera *et al.*, 1995). En alguns indrets de la Mediterrània és una espècie en expansió i a Sicília actualment es captura amb freqüència associada a objectes flotants (D'Anna *et al.*, 1999), cosa que en el passat no es produïa (Andaloro i Potoschi, 1997).

Caranx rhonchus (Geoffroy Saint-Hilaire, 1817)

Espècie subtropical ben coneguda a les costes meridionals de la Mediterrània des de Síria fins la península Ibèrica. Observada per primera ocasió a les Balears en setembre de 1989 (Riera *et al.*, 1995) (Fig. 2), actualment és present en tot el litoral de l'illa de Mallorca, amb un important increment de les poblacions des de 1994. Avui en dia és una espècie habitual en les captures de la flota d'encerclament de la badia de Palma, i de presència regular en els mercats locals on es sol vendre com a sorell (*Trachurus* sp.). A l'àrea meridional de la mar Tirrena també n'ha augmentat la presència (Andaloro *et al.*, 1998).

Seriola fasciata (Bloch, 1793)

La Cirviola, de distribució atlàntica subtropical i tropical, fou capturada per primera ocasió a les Balears i a la Mediterrània en 1989 (Massutí i Stefanescu, 1993) i que posteriorment ha estat novament citada per Massutí i Stefanescu (1994) i Riera *et al.* (1995). A l'actualitat a Mallorca se'n capturen, amb certa regularitat, alevins associats a

objectes flotants, la qual cosa permet especular amb la presència a la Mediterrània occidental d'una població estable de reproductors. Així mateix coneixem captures de juvenils a l'estiu a la zona d'Andratx, la qual cosa ens indica que l'espècie és capaç de suportar la fredor hivernal de les nostres aigües i sustenta la hipòtesi d'un establiment definitiu de l'espècie a les Balears. A Sicília, on l'espècie també ha estat capturada associada amb objectes flotants (Andaloro i Potoschi, 1997), s'han capturat nombrosos juvenils (Andaloro *et al.*, 1998).

Lobotidae

Lobotes surinamensis (Bloch, 1790)

Espècie circumtropical present en totes les mars càlides (Tortonese, 1975). Rar en aigües mediterrànies, ha estat citat de Sicília, Calàbria, Rodes, Turquia i Líban (Tortonese, 1973). En l'última dècada s'han reportat diverses captures en aigües del mar Balear: un aleví de 68 mm capturat al Masnou en 1990 (Palom, 1991), dos adults capturats a Mallorca en 1988 i 1992 (Riera *et al.*, 1995) i una femella adulta en fase de maduració en

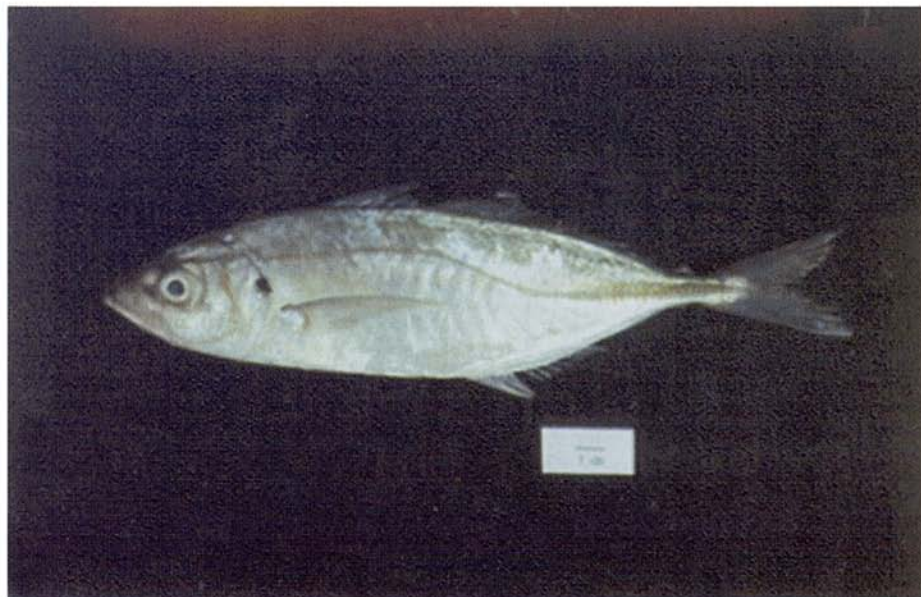


Fig. 2. *Caranx rhonchus* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1817).

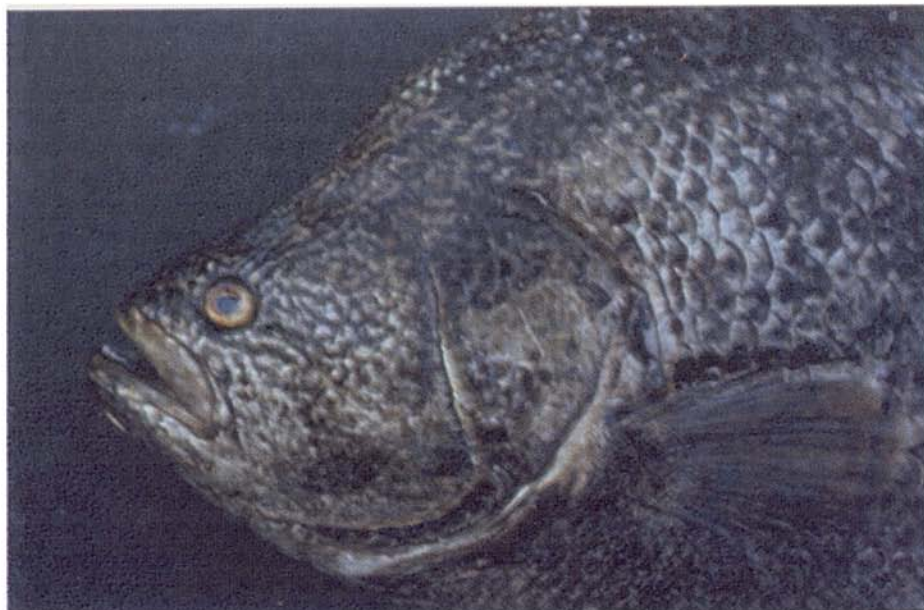


Fig. 3. *Lobotes surinamensis* (Bloch, 1790).

Andratx (Mallorca) en setembre de 1996 (Riera *et al.*, 1999) (Fig. 3). Per altra banda (J. Mas, IEO, com. pers.) es coneix la presència de juvenils a l'àrea del Mar Menor (Múrcia). Totes aquestes captures, i en especial l'observació d'alevins i juvenils, suggereixen l'existència de poblacions estables de *L. surinamensis* en àrees adjacents de la Mediterrània. El desplaçament de les àrees de distribució d'aquesta espècie cap a latituds més septentrionals ha estat descrita per a altres zones del món (Ivankov i Samujlov, 1987; Palom, 1991).

Lutjanidae

Pomadasys incisus (Bowdich, 1825)

El Roncador és una espècie de distribució subtropical i tropical a les costes africanes. Va ser citada per primera ocasió a les Illes Balears per Riera *et al.* (1993) tot i que la seva presència era coneguda des d'abril de 1980. Des d'aleshores, l'espècie ha experimentat una expansió manifesta (Riera *et al.*, 1995), però curiosament tan sols a les costes

del sud i sudoest de Mallorca, especialment entre el cap Blanc i sa Dragonera. N'és habitual la presència als mercats de Palma. També s'ha estès per altres zones de la Mediterrània, com el golf de Lleó, on malgrat fou citat fa dos segles, les captures s'han tornat més freqüents des del 1987 (Francour *et al.*, 1994).

Kyphosidae

Kyphosus sectator (Linnaeus, 1766)

Espècie pròpia de l'Atlàntic tropical (Tortonese, 1986), se'n coneixen algunes cites aïllades a la Mediterrània (Sicília, Ligúria, Adriàtic). Citat per primera ocasió a les Illes Balears per Pastor *et al.* (1996) a partir d'un exemplar capturat amb tremalls a Cala Rajada i del que no es coneix cap altra dada, la seva presència fou definitivament confirmada per Merella *et al.* (1998) a partir d'un juvenil (216 mm) capturat al sud-est de Mallorca en setembre de 1996. Coneixem la captura de dos exemplars més, associats a un objecte flotant, a la zona d'Andratx la tardor de 1996.

Scombridae

Katsuwonus pelamis (Linnaeus, 1758)

Túnid cosmopolita en aigües tropicals i subtropicals. teòricament present a les costes septentrionals de la conca mediterrània (Collette, 1986), es va citar per primera ocasió a les Illes Balears per Riera *et al.* (1995). Espècie inconfusible per la seva coloració, actualment es captura amb regularitat tant per la flota professional com per embarcacions d'esplai de curricà pelàgic. Aquesta darrera, en ser una activitat que ha anat cobrant força a les aigües de Balears d'uns anys ençà, està incrementant el nombre de captures i observacions de grans pelàgics.

Istiophoridae

Tetrapterus albidus Poey, 1861

Espècie pelàgica de distribució tropical i subtropical en aigües atlàntiques, la presència de la qual a les Illes Balears es documentà per primera ocasió per Massuti *et al.* (1997), quan citaren la captura de dos exemplars a Mallorca, el juny de 1995 i el juliol de 1996, respectivament. Actualment és una espècie

capturada en escàs nombre, però regularment, amb curricà pelàgic i palangre de superfície, i que es veu de forma irregular a la llotja del peix de Palma de Mallorca. A la bibliografia general (Nakamura, 1985; 1986) consta com una espècie capturada en comptades ocasions a la Mediterrània, tot i que, com assenyalen Massuti *et al.* (1997), la seva presència a la Mediterrània podria ser més important del que indica l'escassetat de captures, a causa molt probablement de l'errònia catalogació com a les espècies properes *T. belone* i *T. georgei* d'exemplars de *T. albidus*. Per altra banda, i sense descartar que l'increment de cites pugui ser un artefacte provocat per la puixança de la pesca de curricà de grans pelàgics, s'ha d'esmentar que l'opinió d'experimentats patrons de pesca de palangre de superfície és que es tracta d'un istiofòrid que abans era desconegut.

Tetrapterus belone Rafinesque, 1810.

L'Agulla de Paladar (Fig. 4) és una espècie citada des d'antic a les nostres aigües (Barceló, 1868) però que era poc coneguda



Fig. 4. *Tetrapterus belone* Rafinesque, 1810.

pels pescadors locals fins que, els anys 70, es desplegà per l'arxipèlag una flota forània dedicada al palangre de superfície que en començà a capturar molt esporàdicament. No obstant, les captures fóren molt escasses fins que, cap als anys 1994-1995, l'espècie es feu molt comuna, capturant-se centenars d'exemplars cada any, en especial a l'estiu. Encara que es podria especular que la sobtada abundància d'aquesta espècie es tracti d'un artefacte provocat per la puixança, a partir dels anys 90, de la pesca de curricà de grans pelàgics, les nostres observacions quasi diàries a la llotja del peix de Palma de Mallorca entre 1987 i 1997 ens inclinen a desmentir aquesta hipòtesi. Per altra banda, a la mar Tirrena s'han registrat recentment (Andaloro *et al.*, 1997) captures d'istiofòrids molt superiors a les habituals.

Blenniidae

Parablennius pilicornis (Cuvier, 1829)

Espècie de distribució subtropical considerada durant molt de temps com restringida, a la Mediterrània, a les costes del Marroc, Algèria i sud d'Espanya (Zander, 1986). Posteriorment experimentà una ràpida expansió cap al nord, essent citada a Eivissa per Patzner (1985) i a les costes del nord-est peninsular per Nieder (1988) i Mercader (1988). Riera *et al.* (1995) posen de manifest l'existència de poblacions persistents en tot l'arxipèlag balear i indiquen que la colonització és recent atès que l'espècie, molt conspicua, hi era absent a la dècada dels 70. També ha estat citada de Mallorca per Moranta *et al.* (1997). Recentment, ha estat recollida de nou per Cardona i Elices (2000) a Menorca, on continua essent una espècie escassa, tot i que coneixem una població establerta a Fornells des de 1989. A Mallorca, a l'igual que a Catalunya (Nieder i Zander, 1994), és un dels blènnids més abundants.

Scartella cristata (Linnaeus, 1758)

Espècie de distribució subtropical, coneguda a la Mediterrània d'algunes localitats disperses de les costes espanyoles, del nord d'Àfrica i d'Itàlia (Zander, 1986). A les

Illes Balears tan sols era coneguda d'un exemplar que Maluquer (1917) recollí per al Museu de Zoologia de Barcelona, fins que fou citada de nou per Patzner (1985) a Eivissa. Riera *et al.* (1995) la trobaren abundant a la badia de Palma, citant-la també a Andratx, Portocolom i Portopetro (Mallorca). No obstant, i al contrari del que ha succeït amb *Parablennius pilicornis*, les poblacions d'aquesta espècie han desaparegut o minvat dràsticament en alguns indrets (Andratx, Portocolom i Portopetro), després d'haver experimentat una indubtable expansió en la dècada dels 90.

Centrolophidae

Schedophilus medusophagus (Cocco, 1839)

Peix d'aigües temperades de l'Atlàntic, què es troba distribuït per la Mediterrània occidental (Haedrich, 1986a), tot i que és infreqüent (Tortonese, 1960). No havia estat citat a les Illes Balears fins que Riera *et al.* (1995) reportaren la captura d'un exemplar de 350 mm a Mallorca, l'octubre de 1985. Riera *et al.* (1999) la tornaren citar a Mallorca, i sembla que actualment aquesta espècie es capturada cada vegada amb més freqüència per les embarcacions d'arrossegament que treballen al talús continental. És present diàriament a la llotja del peix de Palma de Mallorca.

Schedophilus ovalis (Valenciennes, 1833)

Espècie mesopelàgica pròpia d'aigües càlides i temperades de l'Atlàntic i present arreu de la Mediterrània (Haedrich, 1986a; Bauchot, 1987a) tot i que la seva captura és molt ocasional. A les Illes Balears va ser citada per primera ocasió per Stefanescu i Massutí en 1994 com a juvenil, i posteriorment per Massutí i Stefanescu (1994, juvenil) i Riera *et al.* (1995, adult). Tot i que nosaltres ja coneixiem captures esporàdiques sota objectes flotants en els anys 80 i que per alguns autors (Stefanescu i Massutí, 1994) la manca de dades de captura d'aquesta espècie pot ésser deguda al seu comportament, sembla que ha experimentat una expansió en la dècada dels 90. Actualment se'n capturen regularment exemplars juvenils associats a

objectes flotants i adults de forma ocasional amb palangre de fons.

Nomeidae

Psenes pellucidus (Lütken, 1880)

Espècie pelàgica present en aigües càlides i temperades de l'Atlàntic, Pacífic nord-est i Índic (Haedrich, 1986b). Conegut a la Mediterrània d'Algèria (Bauchot, 1987a), aparegué per primera ocasió a les Illes Balears en novembre de 1993, quan un exemplar juvenil fou capturat a Andratx (Mallorca) dins una agregació del grumer *Pelagia noctiluca* (Riera *et al.*, 1995) (Fig. 5). Posteriorment, l'espècie ha estat citada a Sicília per Berdar *et al.* (1995).

Balistidae

Balistes carolinensis (Gmelin, 1788)

El Surer és una espècie àmpliament distribuïda en aigües subtropicals i tropicals, que ha experimentat una clara expansió a les Illes Balears des dels anys 80. En el passat, els juvenils d'aquesta espècie eren capturats habitualment sota els objectes flotants, tot i

que la captura d'adults no era tan habitual. A finals de la dècada dels 80 i principis de la dels 90 se'n manifestà una proliferació extraordinària que posteriorment no s'ha mantingut. Avui en dia, no obstant, és certament més abundant que fa 20 anys i freqüentment es capturen individus adults amb arts d'arrossegament, emmallament i curricà. Fenòmens similars de gran proliferació han estat observats al llarg de les costes de l'Àfrica occidental (Caverieve, 1991 in Andaloro *et al.*, 1997) i després a les costes franceses (Quignard i Raibaut, 1993), cantàbriques (Riera *et al.*, 1995) i tirrèniques meridionals (Andaloro *et al.*, 1997).

Tetraodontidae

Sphoeroides pachygaster (Günther, 1870)

El Peix Globus (Fig. 6) és una espècie de distribució tropical i subtropical, que es capturà per primera ocasió a les Illes Balears i a la Mediterrània en 1979 (Oliver, 1981) i posteriorment experimentà una ben documentada expansió dins tota la conca (Del Cerro i Portas, 1984; Vacchi, 1986; Bello, 1990; Bra-



Fig. 5. *Psenes pellucidus* (Lütken, 1880).



Fig. 6. *Sphoeroides pachygaster* (Günther, 1870).

dai *et al.*, 1993, entre d'altres). A mitjans de la dècada dels 90 es va fer prou freqüent a les aigües de Balears (Riera *et al.*, 1995, parlen de 200 espècimens i en documenten la reproducció) com perquè les autoritats dictessin normes prohibint-ne la comercialització atès que és una espècie tòxica (Decret 28/1997, de 18 de febrer). Actualment l'espècie es captura amb certa regularitat amb tot tipus d'ormeig. L'estiu del 2001 es capturà un aleví de 60 mm en aigües de Formentera.

Discussió

En aquest treball es presenta una relació de 25 espècies, les poblacions de les quals, en els 25 últims anys, han experimentat variacions que es podrien relacionar amb el clima.

S'ha de dir que, analitzant la situació particular de cadascuna de les espècies, ens trobem davant un grup molt heterogeni: hi ha espècies molt rares que segueixen essent-ho (*Epinephelus aeneus*, *Caranx chrysos*, *Kyphosus sectator*, *Lobotes surinamensis*, *Pse-*

nes pellucidus), d'altres podrien observar-se amb més freqüència per canvis en l'activitat pesquera (*Katsuwonus pelamis*) o perquè abans es confonien amb espècies similars (*Tylosurus acus imperialis*), d'altres no han consolidat les poblacions després d'experimentar notables increments (*Scartella cristata*, a Menorca *Parablennius pilicornis*) i altres eren espècies ja comunes que han manifestat increments notables les poblacions o del reclutament (*Epinephelus caninus*, *Epinephelus costae*, *Epinephelus marginatus*, *Balistes carolinensis*). No obstant, hi ha casos evidents d'espècies abans molt rares o mai citades que han esdevingut més freqüents (*Pteromylaeus bovinus*, *Seriola fasciata*, *Tetrapterus albidus*, *Schedophilus medusophagus*, *Schedophilus ovalis*, *Sphoeroides pachygaster*) o, fins i tot, molt abundants (*Caranx rhonchus*, *Pomadasys incisus*, *Parablennius pilicornis*, *Tetrapterus belone*). Pel que fa a les espècies que han minvat, ens trobaríem amb una situació semblant, tot i que el cas de l'amploia (*Sprattus sprattus*) és paradigmàtic.

La relació d'espècies presentada en

Taula 1. Espècies en progressió i en regressió a les aigües de les Illes Balears.
 Table 1. Species in progress and regression on the Balearic Islands sea.

Espècies en regressió	
Squalidae	
<i>Squalus acanthias</i> Linnaeus 1758	
Clupeidae	
<i>Sprattus sprattus</i> (Linnaeus, 1768)	
Gobiidae	
<i>Aphia minuta mediterranea</i> (Risso, 1810)	

Espècies en progressió	
Myliobatidae	Kyphosidae
<i>Pteromylaeus bovinus</i> (Geoffroy Saint-Hilaire, 1817)	<i>Kyphosus sectator</i> (Linnaeus, 1766)
Belonidae	Scombridae
<i>Tylosurus acus imperialis</i> (Rafinesque, 1810)	<i>Katsuwonus pelamis</i> (Linnaeus, 1758)
Serranidae	Istiophoridae
<i>Epinephelus aeneus</i> (Geoffroy Saint-Hilaire, 1809)	<i>Tetrapterus albidus</i> Poey, 1861
<i>Epinephelus caninus</i> (Valenciennes, 1843)	<i>Tetrapterus belone</i> Rafinesque, 1810
<i>Epinephelus costae</i> (Steindachner, 1878)	Blenniidae
<i>Epinephelus marginatus</i> (Lowe, 1834)	<i>Parablennius pilicornis</i> (Cuvier, 1829)
Carangidae	<i>Scartella cristata</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Caranx chrysos</i> (Mitchill, 1815)	Centrolophidae
<i>Caranx rhonchus</i> (Geoffroy Saint-Hilaire, 1817)	<i>Schedophilus medusophagus</i> (Cocco, 1839)
<i>Seriola fasciata</i> (Bloch, 1793)	<i>Schedophilus ovalis</i> (Valenciennes, 1833)
Lobotidae	Nomeidae
<i>Lobotes surinamensis</i> (Bloch, 1790)	<i>Psenes pellucidus</i> (Lütken, 1880)
Lutjanidae	Balistidae
<i>Pomadasys incisus</i> (Bowdich, 1825)	<i>Balistes carolinensis</i> (Gmelin, 1788)
	Tetraodontidae
	<i>Sphoeroides pechygaster</i> (Günther, 1870)

aquest treball és prou extensa (un 6% de les citades a les Balears) com perquè sigui fruit de la casualitat i té moltes similituds en el temps i en la seva composició amb canvis detectats en altres regions veïnes de la Mediterrània com són: el golf de Lleó (Quignard i Raibaut, 1993); les aigües de Còrsega (Francour i Finelli, 1991); la mar de Ligúria (Astraldi *et al.*, 1995); la mar Adriàtica (Kacic, 1995; Dulcic *et al.*, 1999) o de l'Atlàntic proper (Quéro *et al.*, 1997; 1998; Quéro, 1998), on la detecció d'espècies d'aigües càlides s'ha tornat més freqüent i gairebé constant en els darrers anys, fins al punt que hi ha autors que parlen obertament d'un fenomen de tropicalització a la Medi-

terrània (Andaloro *et al.*, 1998) produït per l'entrada d'espècies atlàntiques per Gibraltar i d'espècies índiques pel canal de Suez (espècies lessepsianes).

Així mateix, l'aparició d'espècies d'aigües càlides no es limita als peixos, tal com han posat de manifest Francour *et al.* (1994) o Ballesteros i Zabala (1999). Sense anar més enfora, a les Illes Balears tenim els casos recents del cranc *Percnon gibbesi* (Garcia i Reviriego, 2000) procedent de l'Atlàntic proper o de l'alga *Caulerpa racemosa* (Ballesteros *et al.*, 1999), immigrant lessepsiana, i probablement la manca de cites en altres grups s'ha d'atribuir a la pobresa en especialistes capaços de detectar-les.

No coneixem dades sobre el possible escalfament de les aigües a les Illes Balears. No obstant, sí que hi ha dades referents a àrees properes: Bethoux *et al.* (1990) han publicat un increment de 0,12°C de la temperatura mitjana a les aigües profundes de la Mediterrània occidental entre 1959 i 1989; Pascual *et al.* (1995) assenyalen un increment de 0,48°C a 80 m de fondària en 21 anys, a l'Estartit (Catalunya) i Quéro *et al.* (1998) parlen d'un increment de l'ordre de 2° C a la corrent atlàntica de talús a les costes del nord de la península Ibèrica entre 1972 i 1992.

Stephens *et al.* (1988) ha posat de manifest que les modificacions en les poblacions de peixos poden reflectir variacions en les condicions oceanogràfiques i poden ser un primer indicador d'un canvi ambiental. Així mateix, d'acord amb aquest autor, la temperatura és la variable de gran escala amb més importància a l'hora d'afectar les poblacions de peixos. Així, els canvis detectats en les poblacions de peixos de les Balears han d'estar estretament relacionats amb l'escalfament de les aigües de la Mediterrània occidental, i en són un indicador biològic.

No obstant, sorprèn que les petites variacions observades a les temperatures puguin produir canvis tan significatius a les poblacions de peixos, tot i que a la Mediterrània sempre s'han donat diferències significatives entre àrees properes (per exemple, entre les Balears i el golf de Lleó o la mar d'Alborà). Hi ha autors que opinen que la Mediterrània, a causa de la relativament recent colonització, mostra una receptivitat major a les espècies emigrants que altres mars amb escassos ninxols sense ocupar i alta competició (Luning, 1990). Hi ha qui opina (Andaloro *et al.*, 1998) que la meridionalització està afavorida per la forta antropització de la Mediterrània i la presència de poblacions autòctones dèbils, fràgils o depauperades. És possible que aquestes opinions també tinguin part de raó o que, fins i tot, hi hagi altres causes que encara ignorem i que la meridionalització actualment en marxa sigui conseqüència de l'acció sinèrgica de totes elles. El que és segur, com assenyalen Mayol *et al.* (2000)

és que es tracta d'un procés que sembla imparabile i que en els propers anys serem testimonis de canvis molt importants a la biota de la mar Mediterrània.

Agraïments

Volem fer palès el nostre agraïment als patrons de pesca Salvador Hernández, Josep Bassa i Sebastià Pou per la comunicació de les seves captures i observacions, així com a Antoni Quetglas i Enric Massutí per proporcionar-nos informació complementària sobre algunes espècies. Així mateix, Josep Coll i Guillem X. Pons ens han ajudat amb els seus valuosos comentaris. Moltes gràcies a tots.

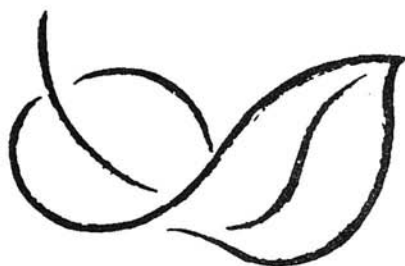
Bibliografia

- Aldebert, Y. 1997. Demersal resources of the Gulf of Lions (NW Mediterranean). Impact of exploitation on fish diversity. *Vie et Milieu*, 47(4): 275-284.
- Andaloro, F., Kallianotis, A., Camiñas, J.A., Titone, G. i Potoschi, A. 1998. *La biodiversità interespecifica della fauna ittica mediterranea e la sua variabilità quale bioindicatore del fenomeno di tropicalizzazione del mare Mediterraneo e di meridionalizzazione del bacino settentrionale*. 9th International Congress of European Ichthyologists "Fish Biodiversity".
- Andaloro, F. i Potoschi, A. 1997. Fish community associated with FAD's in southern Thyrrenian Sea. In: *Abstracts of the Workshop on the Biology and Fishery of Dolphin-fish and related species*, 20-23 October 1997, Palma de Mallorca (Spain): 1 pp.
- Astraldi, M., Bianchi, C.N., Gasparini, G.P. i Morri, C. 1995. Climatic fluctuations, current variability and marine species distribution: a case study in the Ligurian Sea (north-west Mediterranean). *Oceanologica Acta*, 18(2): 139-149.
- Ballesteros, E., Grau, A.M. i Riera, F. 1999. *Caulerpa racemosa* (Forsskal) J. Agardh (Caulerpaceles, Chlorophyta) a Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 42: 65-68.
- Barceló, F. 1868. Catálogo metódico de los peces que habitan o frecuentan las costas de las islas Baleares. *Rev. Prog. Cienc. Exact. Fis. Nat. Madrid*, 18(3): 46 pp.

- Bauchot, M.L. 1987a. Poissons osseux. *In*: Bauchot, M.L., W. Fischer i M. Schneider (eds.), *Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. Méditerranée et Mer Noire (Zone de Pêche 37)*. Vol. 2. Milà: 891-1422.
- Bauchot, M.L. 1987b. Raies et autres batoides. *In*: Bauchot, M.L., W. Fischer i M. Schneider (eds.), *Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. Méditerranée et Mer Noire (Zone de Pêche 37)*. Vol. 2. Milà: 845-886.
- Bello, G. 1990. Il pesce palla *Spherooides cutaneus* nel mare Adriatico. *Mem. Biol. Mar. Oceanogr.*, 18: 75-77.
- Berdar, A., Capecchi, D., Costa, F., Giordano, D., Mento, G. i Spalletta, B. 1995. Pesci parassiti dei mari italiani. *Riv. Parasit.*, 56(3): 453-466.
- Bethoux, J.P., Gentili, B., Raunet, J. i Tailliez, D. 1990. Warming trend in the western Mediterranean deep water. *Nature*, 347: 660-662.
- Blanc, M. i Hureau, J.C. 1973. Scorpaenidae. *In*: Hureau, J.C. i T. Monod (eds.), *Check List of the Fishes of North-Atlantic and the Mediterranean*. UNESCO, Paris: 579-585.
- Borja, J. 1920. Contribución al estudio de la fauna ictiológica de España. *Mem. R. Acad. Cienc. Art. Barcelona*, 16(3): 1-191.
- Bradai, M.N., Ghorbel, M. i Bouain, A. 1993. Premières observations dans le Golfe de Gabès (Tunisie) de *Spherooides cutaneus* (Tetraodontidae). *Cybius*, 17(1): 86.
- Cardona, L. i Elices, M. 2000. Datos sobre la presencia en el litoral de Menorca (Islas Baleares, Mediterráneo Occidental) de *Parablennius pilicornis* (Cuvier, 1829) y *Scorpaena maderensis* Valenciennes, 1883. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 43: 33-38.
- Collette, B.B. 1986. Scombridae. *In*: Whitehead, P.J.P., M.L. Bauchot, J.C. Hureau, J. Nielsen i E. Tortonese (eds.), *Fishes of the North-Eastern Atlantic and the Mediterranean*. Vol 2. UNESCO, Paris: 981-997.
- D'Anna, G., Badalamenti, F. i Riggio, S. 1999. Traditional and experimental fish aggregating devices in the Gulf of Castellmare (NW Sicily): results from catches and visual observations. *Scientia Marina*, 63(3-4): 209-218.
- De Buen, F. 1935. *Fauna ictiológica. Catálogo de los peces ibéricos: de la planicie continental, aguas dulces, pelágicas y de los abismos próximos*. 1ª part: *Notas y Resúmenes Inst. Esp. Oceanogr.*, s. II, 88: 1-89. 2ª Part: *Notas y Resúmenes Inst. Esp. Oceanogr.*, s. II, 89: 91-143.
- Del Cerro, L. i Portas, F. 1984. Addició a la ictiofauna de la comarca del Garraf (Catalunya). *Bull. Soc. Cat. Ictiol. Herpet.*, 9: 36-42.
- Dulcic, J., Grbec, B. i Lipej, L. 1999. Information on Adriatic ichthyofauna - effect of water warming? *Acta Adriatica*, 40(2): 33-43.
- Ferrer, F. 1930. *Catálogo de los peces de Menorca*. Tipografía Mahonesa, Maó. 2ª Edició. 39 pp.
- Francour, P., Boudouresque, C.F., Harmelin, J.G., Harmelin-Vivien, M.L. i Quignard, J.P. 1994. Are the Mediterranean waters becoming warmer? Information from biological indicators. *Marine Pollution Bulletin*, 28(9): 523-526.
- Francour, P. i Finelli, F. 1991. Complément a l'inventaire de poissons marins de la réserve de Scandola (Corse, Méditerranée nord-occidentale). *Trav. sci. Parc nat. rég. Corse*, 31: 35-53.
- Furnestin, J. 1952. Biologie des clupéidés méditerranéens. *Vie et Milieu*, suppl. 2: 96-116.
- García, L. i Reviriego, B. 2000. Presència del cranc subtropical *Percnon gibbesi* H. Milne Edwards, 1853 (Crustacea, Decapoda, Grapsidae) a les illes Balears. Primera cita a la Mediterrània occidental. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 43: 81-89.
- Grau, A.M. 1999. Inventari de la fauna ictiològica del freu de sa Dragonera (Mallorca, Mediterrània Occidental). *Bull. Cient. Parcs Nat. Balears* (2a època), 1: 67-72.
- Haedrich, R.L. 1986a. Centrolophidae. *In*: Whitehead, P.J.P., M.L. Bauchot, J.C. Hureau, J. Nielsen i E. Tortonese (eds.), *Fishes of the North-Eastern Atlantic and the Mediterranean*. Vol 3. UNESCO, Paris: 1177-1182.
- Haedrich, R.L. 1986b. Nomeidae. *In*: Whitehead, P.J.P., M.L. Bauchot, J.C. Hureau, J. Nielsen i E. Tortonese (eds.), *Fishes of the North-Eastern Atlantic and the Mediterranean*. Vol 3. UNESCO, Paris: 1183-1188.
- Ivankov, V.N. i Samujlov, A.E. 1987. Two fish species new to the USSR fauna and increasing abundance of thermophilia species in the Northern Sea of Japan. *Vopr. Iktiolog.*, 27(2): 336-338.
- Kacic, M.L. 1995. Some changes on environmental factors and their influence on fish population in the Adriatic sea. *In*: *Actes du colloque Scientifique "La Méditerranée: Variabilité climatiques, environnement et biodiversité"*, Montpellier, 5-7 abril 1995: 172-175.
- Kreffit, G. i Stehmann, M. 1973. Myliobatidae. *In*: Hureau, J.C. i T. Monod (eds.), *Check List of the Fishes of North-Atlantic and the Mediterranean*. UNESCO, Paris: 74-75.
- Lloris, D., Rucabado, J., Del Cerro, L., Portas, F., Demestre, M. i Roig, A. 1984. Tots els peixos

- del mar Català. I. Llistat de cites i referències. *Treb. Soc. Cat. Ictiol. Herpet.*, 1: 1-224.
- Lozano, L. 1928. *Ictiologia Ibèrica (Fauna Ibèrica). Peces. Generalidades, Ciclostomos y Elasmobranchios*. Mus. Nac. Cienc. Nat. Madrid, 1: 1-692.
- Maluquer, J. 1917. Organització i increment de la Secció Oceanogràfica. *Junta Ciènc. Nat.*, Anuari II, 1ª part: 203-238.
- Massuti, E. i Stefanescu, C. 1993. First record of *Seriola fasciata* (Bloch, 1793) (Osteichthyes: Carangidae) in the Mediterranean. *J. Fish Biol.*, 42: 143-144.
- Massuti, E. i Stefanescu, C. 1994. Sobre la presència de dues espècies de peixos pelàgics associats a objectes flotants en el mar Català (Mediterrània noroccidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 37: 117-123.
- Massuti, E., Martínez, M., Moranta, J., Lloris, D. i Morales-Nin, B. 1997. Dades sobre la captura de dues espècies del gènere *Tetrapturus* (Osteichthyes, Istiophoridae) al mar Balear (Mediterrània occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 40: 135-146.
- Maurin, C. 1968. Ecologie ichthyologique des fonds chalutables atlantiques (de la baie Ibéro-Marocaine à la Mauritanie) et de la Méditerranée occidentale. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 32(1): 1-147.
- Mayol, J., Grau, A.M., Riera, F. i Oliver, J. 2000. *Llista vermella dels peixos de les Balears*. Documents Tècnics de Conservació, 7 / Quadern de Pesca, 4. Govern de les Illes Balears, Palma: 126 pp.
- Mc Eachran, J.D. i Capapé, C. 1984. Myliobatidae. In: Whitehead, P.J.P., M.L. Bauchot, J.C. Hureau, J. Nielsen i E. Tortonese (eds.), *Fishes of the North-Eastern Atlantic and the Mediterranean*. Vol 1. UNESCO, Paris: 205-207.
- Mearns, A.J. 1988. The odd fish: unusual occurrences of marine life as indicators of changing ocean conditions. In: Soule, D.F. i G.S. Keppel (eds.) *Marine Organisms as Indicators*. Springer, Berlin: 137-173.
- Mercader, L. 1988. *Parablennius pilicornis* (Cuvier, 1829) (Pisces, Blenniidae), primera citació pel Mar Català (Mediterrània N.O.) *Misc. Zool.*, 12: 374-378.
- Merella, P., Massuti, E. i Deudero, S., 1998. On the occurrence of *Kipphosus seclator* (Osteichthyes: Kipphosidae) in the western Mediterranean. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 78: 687-690.
- Moranta, J., Reviriego, B. i Coll, J. 1997. Contribució al conocimiento de la estructura de la comunidad íctica asociada a los fondos rocosos litorales de las islas del Toro y d'Es Malgrat (suroeste de Mallorca, islas Baleares). *Publ. Espec. Inst. Oceanogr.*, 23: 143-152.
- Nakamura, I. 1985. Billfishes of the world. An annotated and illustrated catalogue on marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date. *FAO Fisheries Synopsis*, 125(5): 65 pp.
- Nakamura, I. 1986. Istiophoridae. In: Whitehead, P.J.P., M.L. Bauchot, J.C. Hureau, J. Nielsen i E. Tortonese (eds.), *Fishes of the North-Eastern Atlantic and the Mediterranean*. Vol 2. UNESCO, Paris: 1000-1005.
- Nieder, J. 1988. On the distribution of *Scartella cristata* and *Parablennius pilicornis* (Teleostei, Blenniidae) at the Mediterranean coast of northern Spain. *Zool. Anz.*, 20(3-4): 144-150.
- Nieder, J. i Zander, C.D. 1994. Nocturnal activity of a blenny *Lipophrys trigloides* (Pisces, Blenniidae) at the Spanish Mediterranean coast. *Misc. Zool.*, 17: 189-197.
- Oliver, P. 1981. Sobre la aparició de algunos peces raros en las islas Baleares. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 304: 60-64.
- Palom, O. 1991. Primera cita de *Lobotes surinamensis* (Bloch, 1790) (Pisces, Lobotidae) para la ictiofauna ibèrica. *Misc. Zool.*, 15: 240-243.
- Parin, V. 1973. Belonidae. In: Hureau, J.C. i T. Monod (eds.), *Check List of the Fishes of North-Atlantic and the Mediterranean*. UNESCO, Paris: 258-260.
- Pascual, M.J., Salat, J. i Palau, M. 1995. Evolució de la temperatura del mar entre 1973 y 1994, cerca de la costa catalana. In: *Actes du colloque Scientifique "La Méditerranée: Variabilité climatiques, environnement et biodiversité"*, Montpellier, 5-7 abril 1995: 23-28.
- Pastor, F., Ortega, R., Mediavilla, M., González, J.L. i Mas, J. 1996. *Proyecto para la construcción e instalación de un arrecife artificial en el levante mallorquín*. *Estudio Biológico*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaria General de Pesca Marítima, Madrid: 106 pp.
- Patzner, R.A. 1985. Die Blenniiden von Ibiza und ihre Verbreitung in West Mittelmeer. *Senckenbergiana biol.*, 63(3-6): 179-203.
- Quéro, J.C. 1998. Changes in the Euro-Atlantic fish species composition resulting from fishing and ocean warming. *Ital. J. Zool.*, 65, Suppl.: 493-499.
- Quéro, J.C., Du Buit, M.H. i Vayne, J.J. 1997. Les captures de poissons à affinités tropicales le long des côtes atlantiques européennes. *Ann. Soc. Sci. nat. Charente-Marit.*, 8(6): 651-673.
- Quéro, J.C., Du Buit, M.H. i Vayne, J.J. 1998. Les

- observations de poisson tropicaux et le réchauffement des eaux dans l'Atlantique européen. *Oceanologica Acta*, 21(2): 345-351.
- Quignard, J.P. i Raibaut, A. 1993. Ichthyofaune de la côte languedocienne (Golfe du Lion). Modifications faunistiques et démographiques. *Vie et Milieu*, 43(4): 191-195.
- Stephens, J.S., Hose, J.H. i Love, M.S. 1988. Fish assemblages as indicators of environmental change in nearshore environments. In: Soule, D.F. i G.S. Keppel (eds.) *Marine Organisms as Indicators*, Springer, New York: 91-103.
- Riera, F., Grau, A., Grau, A.M., Pastor, E., Quetglas, A. i Pou, S. 1999. Ichthyofauna associated with drifting floating objects in the Balearic Islands (western Mediterranean). *Scientia Marina*, 63(3-4): 229-235.
- Riera, F., Grau, A.M., Pastor, E. i Pou, S. 1993. La ictiofauna. In: Alcover, J.A., E. Ballesteros i J.J. Fornós (Eds.), *Història natural de l'arxipèlag de Cabrera*. CSIC-Ed. Moll, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 2: 623-644.
- Riera, F., Grau, A.M., Pastor, E. i Pou, S. 1995. Faunistic and demographical observations in Balearic ichthyofauna. Meridionalization or subtropicalization phenomena. In: *Actes du colloque Scientifique "La Méditerranée: Variabilité climatiques, environnement et biodiversité"*, Montpellier, 5-7 abril 1995: 213-220.
- Riera, F., Oliver, J. i Terrassa, J. 1995. *Peixos de les Balears*. Conselleria d'Obres Públiques i Ordenació del Territori. Palma de Mallorca, 261 pp.
- Tortonese, E. 1960. Revisione dei Centrolophidae (Pisces, Perciformes) del Mar Ligure (1). *Ann. Mus. civ. Stor. Nat. Giacomo Doria*, 71: 57-82.
- Tortonese, E. 1973. Lobotinae. In: Hureau, J.C. i T. Monod (eds.), *Check List of the Fishes of North-Atlantic and the Mediterranean*. UNESCO, Paris: 389.
- Tortonese, E. 1975. *Osteichthyes*. Parte seconda. Fauna d'Italia, 11, Calderini, Bologna: 1-636.
- Tortonese, E. 1986. Serranidae. In: Whitehead, P.J.P., M.L. Bauchot, J.C. Hureau, J. Nielsen i E. Tortonese (eds.), *Fishes of the North-Eastern Atlantic and the Mediterranean*. Vol 3. UNESCO, Paris: 780-792.
- Vacchi, M. 1986. The occurrence of *Sphoeroides cutaneus* (Günther, 1870) (Pisces, Tetraodontidae) in the Middle-West Mediterranean Sea. *Cybiurn*, 10(2): 199-203.
- Zabala, M., Gracia-Rubies, A., Louisy, P. i Sala, E. 1997. Spawning behaviour of the Mediterranean dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Pisces, Serranidae) in the Medes Islands Marine Reserve (NW Mediterranean, Spain). *Scientia Marina*, 61(1): 65-77.
- Zander, C.D. 1986. Blenniidae. In: Whitehead, P.J.P., M.L. Bauchot, J.C. Hureau, J. Nielsen i E. Tortonese (eds.), *Fishes of the North-Eastern Atlantic and the Mediterranean*. Vol 3. UNESCO, Paris: 1096-1112.



*PER UN MUSEU DE LA
NATURALES A CIUTAT*

Canvis en el paisatge vegetal de les Illes Balears durant el final del Quaternari

Ramon PÉREZ-OBIOL, Errikarta Imanol YLL, José PANTALEÓN-CANO i Joan Maria ROURE

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Pérez-Obiol, R., Yll, E.I., Pantaleón-Cano, J. i Roure, J.M. 2001. Canvis en el paisatge vegetal de les Illes Balears durant el final del Quaternari. In: Pons, G.X. i Guijarro, J.A. (Eds.): *El canvi climàtic: passat, present i futur*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 9: 69-89. ISBN: 84-87818-34-X. Palma de Mallorca.

A partir dels coneixements actuals es conclou que l'última glaciació i l'actual període postglacial ha tingut un caràcter distintiu a les Balears en el que concierneix a l'evolució del paisatge vegetal, sobretot tenint en compte altres zones properes de l'Europa occidental. Durant el Würm han existit períodes interestadials amb expansió de les comunitats forestals de caducifolis i termòfils, i, sens dubte han romàs a alguna part de les Balears refugiats. Durant l'Holocè inferior les illes Balears posseïen un paisatge vegetal amb *Corylus*, *Buxus* (que tindria el màxim protagonisme en el paisatge), *Juniperus*, *Betula* i *Acer*. L'Holocè superior és representat, a les Illes Balears, per un paisatge dominat per l'esclerofília en el qual *Olea* té una gran importància en el paisatge.

Paraules clau: *pol·len, Illes Balears, Holocè, Buxus.*

VEGETATIONAL LANDSCAPE CHANGES OF THE BALEARIC ISLANDS DURING THE LATE QUATERNARY. The present day knowledge allows to conclude that the landscape evolution during the last glacial period and the current postglacial period in the Balearic Islands have a distinctive character, in comparison with other zones from western Europe. During the Würm, abundant interstadial periods with important expansions of deciduous trees and thermophilous vegetation have been detected. These formations have remained in different refuge areas of the Balearic Islands. During the early Holocene, the Balearic Islands possessed a plant landscape made up by *Corylus*, *Buxus* (probably the most important taxon of the landscape), *Juniperus*, *Betula* and *Acer*. The latter Holocene in the Balearic Islands, is represented by a landscape dominated by the sclerophyllous plants, with a great importance of *Olea*.

Keywords: *Pollen, Balearic Islands, Holocene, Buxus.*

Ramon PÉREZ-OBIOL, Errikarta Imanol YLL, José PANTALEÓN-CANO i Joan Maria ROURE. Unitat de Botànica. Departament de Biologia Animal, de Biologia Vegetal i d'Ecologia. Facultat de Ciències. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra, Barcelona.

Introducció

Durant el Neogen, la vegetació del SW europeu estava constituïda per formacions vegetals de diferent caràcter. Acompanyant a les formacions tropicals n'hi havia de planocaducifòlies i d'esclerofil·les. La inestabilitat climàtica que va caracteritzar el trànsit Pliocè Medi-Pliocè Superior va comportar importants canvis florístics i de vegetació. Les glaciacions aportaren paisatges amb domini d'herbàcies, l'extensió de les formacions xèriques i la desaparició dels tàxons termòfils i mesòfils de la major part dels territoris. Malgrat tot, alguns d'ells varen sobreviure a les zones més meridionals. Les Illes Balears en són un exemple, segons Cardona (1979) es constataria poca severitat climàtica durant les glaciacions ja que són nombrosos els paleoendemismes de caràcter termòfil existents a les Illes Balears que, d'una forma o una altra, han suportat les grans oscil·lacions climàtiques quaternàries. Tanmateix, Vázquez *et al.* (1991), a partir de registres de $\delta^{18}\text{O}$ i de $\delta^{13}\text{C}$ en seqüències marines del sud-oest de les Balears suggereixen que ha pogut existir una ampliació dels canvis climàtics al Mediterrani en comparació amb l'oceà obert. Aquesta particularitat podria haver influït en una ràpida recuperació de les comunitats termòfiles durant els interestadis de l'última glaciació. A l'actualitat, la vegetació potencial de les Illes Balears té l'estructura pròpia dels boscos termomediterranis secs o subhúmils inferiors si bé cal tenir en compte que hi ha importants diferències entre les biotes de les Gimnèsies i les Pitiüses. La vegetació

potencial de les Balears no sembla estar d'acord amb el règim de precipitacions. A Menorca, més que a un ombroclima subhúmit, la vegetació sembla respondre a un ombroclima tipus sec (Peinado i Rivas, 1987). Les raons haurien de buscar-se en la limitada eficàcia de les grans pluges tardorenques, a causa del caràcter càrstic del substrat i a l'efecte dels forts vents de component nord. La palinologia ha revelat que, per citar un exemple, *Pinus* (actualment prou estès) ha tingut poca importància en les Gimnèsies al llarg de tota la història holocènica. D'altra banda, distints tàxons de caràcter més mesòfil, semblen haver estat en un precari equilibri amb el clima durant la segona meitat de l'Holocè (veure períodes climàtics de l'Holocè a la Taula 1) i, actualment, apareixen en poblacions més o menys petites en àrees de distribució realment reduïdes. Aquest seria el cas d'alguns tàxons caducifolis (*Acer*, *Corylus*,...) o tàxons perennifolis de caràcter mesòfil com *Buxus*. No hem d'oblidar que hi ha paral·lelismes importants entre espècies que han viscut llargs períodes de difícil adaptació climàtica en l'àmbit insular. Per exemple, a l'illa de Sicília, *Zelkova* hauria jugat aquest paper de tàxon relict durant gran part del Quaternari. D'altra banda, hauriem de prendre consciència que la prolongada i intensa intervenció humana en els últims mil·lenis a les Illes Balears és certament un element important en l'existència d'una vegetació que no reflecteix sempre el potencial real del clima i del substrat. Nombrosos treballs paleoecològics mostren com l'home ha determinat la fisiognomia de la vegetació actual a

Taula 1. Periodització climàtica de l'Holocè o Postglacial.
Table 1. Climatic periods of the Holocene or Post-glacial one.

	PERÍODE CLIMÀTIC	ANYS BP.
HOLOCÈ	Preboreal	10300 / 9000
	Boreal	9000 / 8000
	Atlàntic	8000 / 4700
	Subboreal	4700 / 2600
	Subatlàntic	2600 /

través d'una llarga successió de desforestacions i explotacions tant per a la regió mediterrània (Leveau *et al.*, 1998) com per al centre i nord d'Europa (Frenzel, 1979). En definitiva, a les Illes Balears hi ha nombrosos interrogants sobre l'origen del paisatge actual.

Material i mètodes. Les zones estudiades

S'han utilitzat nombrosos diagrames pol·línics de les Illes Balears (Fig. 1) i d'altres punts de la Mediterrània per a establir una primera aproximació a l'estudi del paleoambient. Els primers estudis pol·línics documentats de les illes van ser realitzats per Menéndez Amor i Florschütz (1961) a Palma Nova (Mallorca), aquests treballs suposen un primer intent de comparació entre l'evolució pol·línica del Llevant Peninsular i la de

Mallorca. En aquesta mateixa zona, l'estudi de sediments litorals de Santa Ponça (Parra *et al.*, 1992) va proporcionar dades sorprenents sobre les peculiars característiques climàtiques i paisatgístiques de les Balears durant l'Holocè inferior i mitjà. Més tard, Burjachs *et al.* (1994), a partir d'un sondeig realitzat a l'Albufera d'Alcúdia, van definir un millor coneixement de l'evolució holocena de la vegetació per a la zona nord de l'illa de Mallorca i Yll *et al.* (1994), amb un sondeig realitzat a Cala Galdana (Menorca), van contribuir també a conèixer la dinàmica postglacial del paisatge vegetal en el sud d'aquesta illa. Posteriorment, es van ampliar els estudis al litoral sud de Menorca i es van obtenir anàlisis pol·líniques de sediments litorals de distints punts del sud de l'illa (Yll *et al.*, 1997). Aquestes investigacions van conduir a un replantejament total de la història botànica postglacial a les Balears i d'elles van derivar

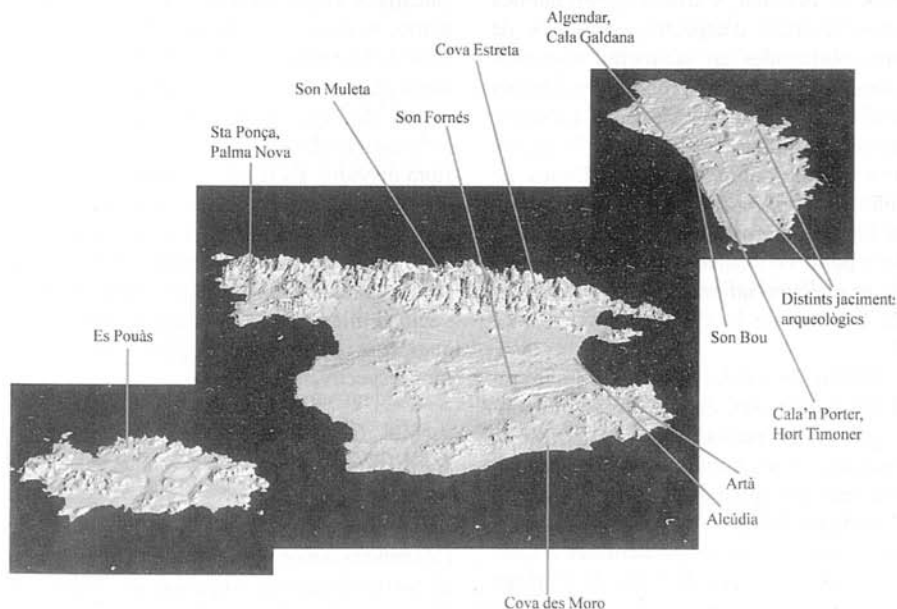


Fig. 1. Localització dels sondeigs i jaciments esmentats en aquest treball.
Fig. 1. Locations of the surveys and deposits named in this work.

diversos estudis interpretatius sobre la flora i la vegetació pretèrita de les Balears (Yll *et al.*, 1995; Pérez-Obiol *et al.*, 1996; Follieri *et al.*, 1998). Considerant que els estudis realitzats fins al present es centraven en àrees litorals, l'equip d'investigació palinològica de la Unitat de Botànica de la Facultat de Ciències de la Universitat Autònoma de Barcelona, va realitzar, durant la primavera de l'any 1998, una campanya de sondeigs a l'illa de Mallorca que incloïa la prospecció de dipòsits d'origen lacustre o palustre a la Serra de Llevant. Els resultats obtinguts fins al moment estan proporcionant un punt de vista interessant sobre l'evolució del paisatge vegetal en la part nord-est de l'illa. D'altra banda, hi ha diversos estudis pol·línics realitzats sobre sediments arqueològics de les Illes Balears. Waldren (1982) obté distints espectres pol·línics preholocens i Holocens en la Cova de Son Muleta de Mallorca i Yll (1984), també a l'illa de Mallorca, analitza sediments arqueològics de Son Fornés corresponents a l'Holocè superior. A Menorca, Mariscal (1996) publica diversos resultats d'espectres pol·línics de mostres obtingudes en jaciments arqueològics, de distinta atribució cronològica, ubicats al Nord i Est de l'illa de Menorca. La documentació pol·línica de les Balears inclou recents treballs sobre anàlisi pol·línica de copròlits de *Myotragus balearicus* trobats a la Cova Estreta (Alcover *et al.*, 1999), en els quals, a partir de la dieta d'aquest artiodàctil també es realitzen inferències sobre el paisatge de l'entorn de la cova durant l'Holocè mitjà.

Pel que fa a altres illes de la Mediterrània, l'illa de Còrsega, descrita com una muntanya a la Mediterrània, posseïx una història del paisatge vegetal indubtablement sorprenent la qual ens ajuda a interpretar el paleoambient de les Balears. Així mateix, es coneixen nombrosos jaciments preneolítics dispersos per distintes zones de l'illa de Còrsega que, probablement, tenen una atribució cronològica en el VII mil·lenni BC. La història de la vegetació de Còrsega i la seva relació amb l'impacte antròpic s'han descrit amb minuciositat a partir de l'estudi pol·línic nom-

brores localitats, 28 d'elles comprenen la representació pol·línica des del període Tardiglacial (Reille, 1975; 1984; 1992; Reille *et al.*, 1997). Per altra banda, Sadori (com. pers.) ha estudiat una seqüència pol·línica al Llac di Pergusa, en la part central de l'illa de Sicília, situat a 667 m d'altitud, prop de la ciutat d'Etna, la qual també té paral·lelismes importants amb les seqüències de les Balears.

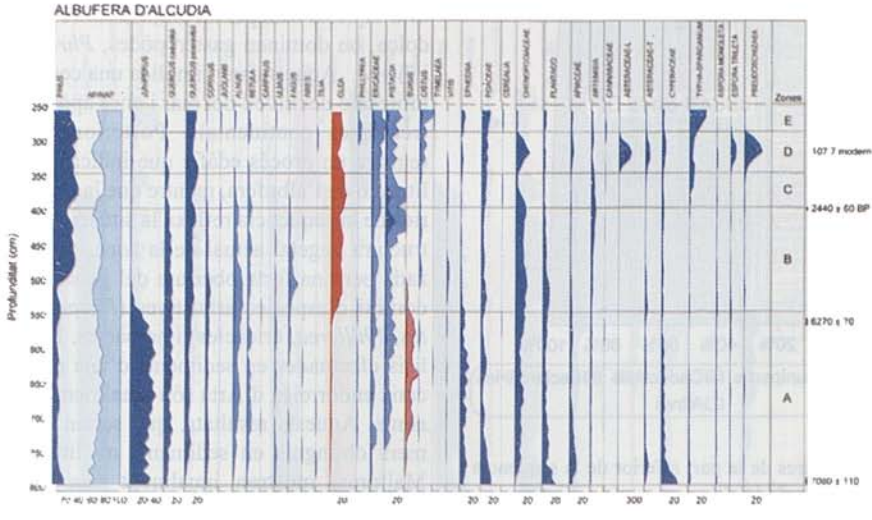
La metodologia emprada per a l'anàlisi palinològica dels sondatges estudiats pels autors ha seguit un protocol clàssic. Les mostres són assecades a 50°C durant un mínim de 48 hores. El tractament s'inicia amb el pesat en balança de precisió de les mostres. La quantitat de mostra utilitzada és variable depenent de la granulometria del sediment. El sediment es diposita sobre xarxes de 0,5 mm disposades a la part superior dels vasos de precipitat i és filtrat. El sediment restant a la xarxa és pesat i descomptat del pes inicial. Després de diversos rentats s'afegeix HCl al 50% controlant la reacció en sediments molt calcaris. S'afegeix NaOH al 10% i s'homogeneïtza, es renta i s'afegeixen al tub 35 cm³ de licor de Thoulet (2,1 g/cm³). Es filtra i es conigna el grau de rapidesa amb què s'ha efectuat el filtratge. S'afegeix HF al 70% per a l'eliminació de silicats i del mateix filtre de fibra de vidre. Es realitzen uns rentats finals i al residu final sec s'afegeix una quantitat coneguda de glicerina pura, extraient-se a continuació del recipient contenidor amb una pipeta graduable amb punta estèril. L'observació al microscopi es realitza a x400 o x600 augments i amplades de camp de 0,44 i 0,295 mm respectivament.

Resultats

En la seqüència de Palma Nova (Menéndez Amor i Florschütz, 1961) *Pinus* és el tàxon dominant, superant els valors de *Quercus* en tots els espectres menys en un. Els restants tàxons arboris presenten valors realment baixos cabent destacar una minúscula corba de *Corylus* present ja des de la base. Entre els pòl·lens no arboris, són de gran

Fig. 2. Diagrama pol·línic de l'Albufera d'Alcúdia a partir de Burjachs *et al.* (1994). Es destaca en vermell la dinàmica de *Buxus* i *Olea*.

Fig. 2. Pollen diagram of s'Albufera d'Alcúdia from Burjachs *et al.* (1994). Highlighted in red *Buxus* and *Olea* dynamics.



importància les gramínies i les quenopodiàcies. A falta de datacions absolutes, l'assignació cronològica d'aquesta seqüència és difícil; no obstant això, els autors la comparen amb una seqüència de Torreblanca (Castelló) i la situen en la segona meitat de l'Holocè deduïent que, durant tot el període de formació del sediment estudiat, existeix molt poca variació de les formacions boscoses. Parra *et al.* (1992), en un sondeig de 15,3 m a Santa Ponça, amb una datació de 6930 ± 80 anys BP a la base, observen, durant el període Atlàntic, uns espectres pol·línics que indiquen un clima de caràcter més humit que l'actual. Les variacions registrades estan relacionades amb les variacions del nivell eustàtic. Els autors assenyalen la presència d'una sèrie de tàxons durant l'Holocè inferior que els botànics han dubtat en considerar-los com a autòctons (Bolòs i Molinier, 1958; Folch, 1986); tàxons com *Quercus caducifolis*, *Tilia*, *Salix*, *Populus*, *Ahnus*, *Fagus*, *Ulmus*, estaven presents i les rouredes podrien ser les formacions dominants. D'altra banda, la presència de *Corylus*

des de la base del sondeig permet afirmar que existeixen similituds en l'evolució del paisatge de Mallorca amb altres indrets mediterranis (on s'hi han efectuat diversos sondeigs marins i continentals) en els quals també es registren uns valors elevats de *Corylus* entre els 9500 i els 7500 anys BP (Triat-Laval, 1979). L'anàlisi pol·línica dels primers 8 m d'un sondeig efectuat a l'albufera d'Alcúdia (Burjachs *et al.*, 1994) mostra l'evolució vegetal dels últims 7000 anys (Fig. 2). El sondeig va abastar 38 m de profunditat amb nivells llimosos-arenosos marcadament marins amb abundants globigerines alternant amb nivells de graves i edàfics. L'anàlisi pol·línica d'unes mostres aïllades a 19,5 m, amb una datació de ^{14}C d'entorn dels 30.840 anys BP (Pérez Obiol, treball en curs), contradu considerablement la idea de l'existència d'una vegetació estèpica a totes les contrades de les illes Balears, durant l'últim període glacial (Fig. 3). Després d'un gran hiatus, la part inferior de la seqüència analitzada de forma contínua reflexa l'òptim climàtic entre els

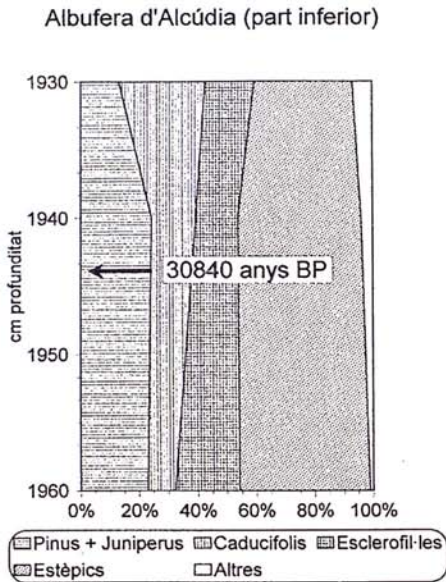


Fig. 3. Mostres de la part inferior de la seqüència de s'Albufera d'Alcúdia.

Fig. 3. Samples of the lower part of the sequence from the Albufera d'Alcúdia.

7000 i 6000 anys BP a l'illa de Mallorca, existint una important coberta arbòria en la que destaca un lleuger predomini de *Quercus caducifolis* sobre els perennifolis. Amb posterioritat als 6000 anys BP s'observa un canvi dràstic del paisatge vegetal, caracteritzat per una substitució d'espècies i per un canvi en la fisiognomia de la vegetació. A partir d'aquesta època les espècies de *Quercus* perennifolis passen a predominar sobre els caducifolis. Aquest canvi no es detecta litològicament en el contingut biòtic del sediment. La falta d'evidències en el registre sedimentari de canvis texturals fa pensar que és el factor climàtic el que hauria jugat un paper primordial en aquesta transformació. A partir dels 2440 anys BP es detecta una progressiva disminució d'espècies arbòries a favor d'*Olea*, *Pistacia* i ericàcies. Aquesta obertura del paisatge culmina en el trànsit cap al 2000 anys BP on l'acció antròpica és evident, tal com ho demostra l'augment de: *Vitis*, *Cerealia* i l'apa-

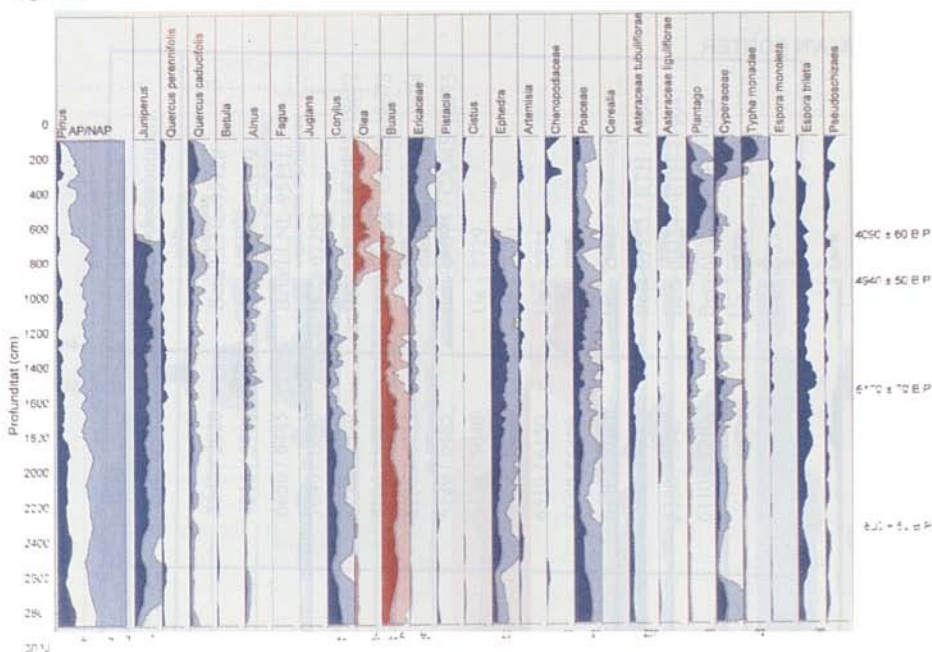
rició per primera vegada de *Juglans*. Aquest canvi de paisatge queda ben reflectit en les característiques sedimentològiques i biòtiques. La influència marina i salobre que caracteritzaven la seqüència inferior (*Cerastoderma*, hidròbids, etc), és substituïda a partir d'aquesta data per un mitjà lacustre d'aigua dolça, on dominen gasteròpodes, *Phragmites* i *Typha*. Aquest canvi implica una certa estabilització del nivell del mar i unes aportacions freàtiques continentals. Posteriorment, es registra un procés edàfic que indica l'estabilització de l'albufera, mentre que la part superior de la seqüència reflexa la situació de l'estructura vegetal actual de la zona, caracteritzada per una forta obertura del paisatge amb domini d'espècies arbustives (*Pistacia*, *Cistus*, *Phillyrea*, ericàcies) i herbàcies. Les anàlisis efectuades en sediments d'una paleollacuna endorreica d'Artà són igualment sorprenents. Aquests resultats, que serien els primers obtinguts en sediments no litorals de Mallorca, mostren igualment una elevada presència de *Buxus* que, posteriorment és substituït per altres comunitats més esclerofil·les. Tenint en compte la vegetació, climatologia i edafisme actuals de la zona, cal fer un cop més una reflexió sobre l'origen d'aquest canvi, ja que en aquest indret de l'illa és difícil pensar, dins les condicions actuals, en l'existència d'elements no adaptats a una certa xericitat. El canvi climàtic sembla ser un dels grans responsables d'aquesta substitució de formacions vegetals.

Les seqüències pol·líniques estudiades a Menorca que s'utilitzen com a base del treball de Yll et al. (1997) se situen al litoral meridional de l'illa de Menorca i són les seqüències de: Algendar (Fig. 4), Son Bou, Cala'n Porter (Fig. 5) i Hort Timoner (Taula 2). La part inferior de les columnes, de característiques molt semblants en tots els diagrames de Menorca i també comparable a la de la seqüència pol·línica d'Alcúdia (Mallorca) (Burjachs et al., 1994), s'inicia entorn dels 8000 anys BP i es caracteritza fonamentalment pel domini de *Buxus* i *Corylus* (gèneres inexistent en l'actualitat a l'illa) i importants presències de *Juniperus*. Posteriorment, entre

Fig. 4. Diagrama pol·línic d'Algendar a partir de Yll *et al.* (1997). Es destaca en vermell la dinàmica de *Buxus* i *Olea*.

Fig. 4. Pollen diagram of Algendar from Yll *et al.* (1997). Highlighted in red, *Buxus* and *Olea* dynamics.

Algendar

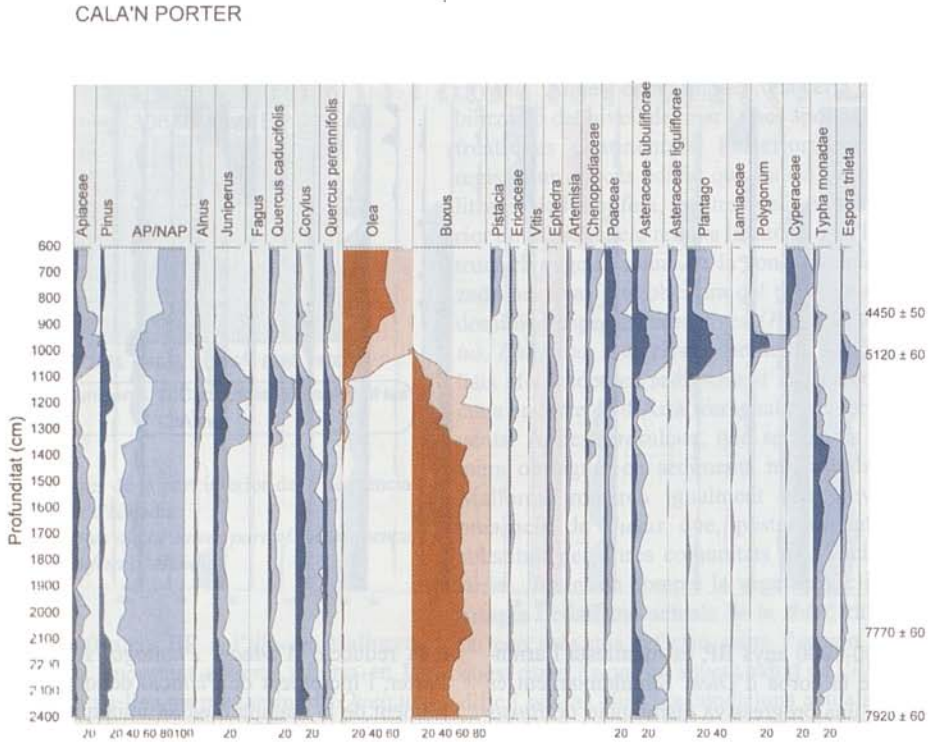


els 6000-5000 anys BP, es manifesta l'arrancada de la corba d'*Olea*. Simultàniament es detecta una progressiva disminució de *Buxus* i *Corylus* i, entre els 5000 i els 4000 anys BP, es registra el període durant el qual *Buxus* desapareix de l'illa i les poblacions de *Juniperus* abandonen la seva posició litoral. Els valors elevats de *Plantago*, *Polygonum* i *Asphodelus* reflecteixen l'existència de petites àrees obertes, probablement en relació amb activitats humanes. Paral·lelament, l'existència de percentatges importants d'ericàcies en dos dels diagrames sembla confirmar el progressiu establiment d'un ambient cada vegada més xèric i que presenta, presumiblement, una creixent influència humana. La zona superior dels diagrames, amb una atribució cronològica posterior als 4000 anys BP sembla reflectir unes diferents condicions locals. Al barranc d'Algendar, una vall tancada, *Quercus perennifolia* esdevé un element important en la recuperació forestal paral·lela

a la reducció d'*Olea* i *Plantago*. A Cala'n Porter, l'increment de *Pistacia* denota l'establiment de la màquia mediterrània que ocupa les parts baixes de l'illa. Així mateix, a Son Bou, els elevats valors de *Cerealia* són indicatius del desenvolupament d'activitats agrícoles a la zona. Un fet comú a totes les seqüències és l'increment en el seu segment superior dels valors de quenopodiàcies, probablement relacionat amb el desenvolupament de zones marismàtiques litorals a causa de canvis eustàtics. D'altra banda, a Menorca, s'ha tingut l'oportunitat d'estudiar (Pérez-Obiol, treball en curs) una seqüència marina (KF14) de sedimentació hemipelàgica, extreta de la Depressió Perifèrica de Menorca, a 2000 m de profunditat (Fig. 6). Les datacions absolutes per ^{14}C , han proporcionat uns resultats que indiquen una taxa de sedimentació baixa (9110 ± 60 anys BP a 45 cm i 23.410 ± 120 anys BP a 2 m). Aquestes datacions evidencien que la seqüència permet registrar els can-

Fig. 5. Diagrama pol·línic de Cala'n Porter a partir de Yll et al. (1997). Es destaca en vermell la dinàmica de *Buxus* i *Olea*.

Fig. 5. Pollen diagram of Cala'n Porter from Yll et al. (1997). Highlighted in red, *Buxus* and *Olea* dynamics.



vis de la vegetació dels últims 70.000 anys. La fase inferior del sondeig és una fase freda, representada per plantes estèpiques. No obstant, molt poc després, apareix un període interstadial caracteritzat per la presència de tàxons termòfils. Aquest fenomen ha estat registrat molt poques vegades en la conca Mediterrània i, potser, el punt de comparació més pròxim on es produeix aquest fenomen és en la seqüència de l'Abric Romani (Capellades, Barcelona) estudiada per Burjachs i Julià (1994). Ulteriorment, es registra una fase freda atribuïda a l'estadi isotòpic 4, seguida d'una recuperació imputable a l'estadi isotòpic 3 i de l'últim màxim glacial (estadi isotòpic 2). L'Holocè es registra com una colonització forestal amb una dinàmica totalment

comparable als sondeigs litorals estudiats a Menorca i Mallorca.

A mig Holocè, seria igualment visible, però en una resolució molt més baixa degut a la taxa de sedimentació, la substitució de les formacions mesòfiles i caducifòlies per altres de caràcter més termòfil.

Malgrat l'esbiaixament de la informació pol·línica de jaciments arqueològics i les abundants limitacions interpretatives, cal realitzar un esforç per a establir uns criteris de base tafonòmica per a la interpretació d'anàlisis palinològiques en cova (Sánchez, 1993). Existeixen unes anàlisis del jaciment de Son Muleta que corresponen a 3 columnes sedimentàries, dues d'elles corresponents, en teoria, a l'etapa de preassentaments humans i

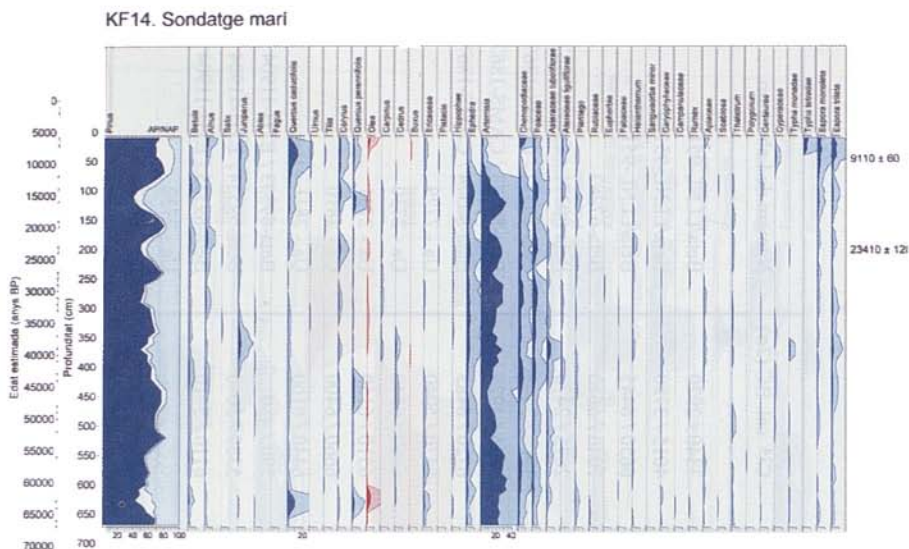
Taula 2. Datacions absolutes de les principals seqüències pol·líniques de Menorca i Mallorca estudiades per els autors. Evidències geomorfològiques dels canvis del nivell marí.

Table 2. Absolute dating of the principal pollen sequences of Minorca and Majorca studied by the authors. Geomorphologic evidences of the sea level changes.

Seqüència	Material datat	Profunditat (m)	C ¹⁴ AMS (anys B.P.)	C ¹⁴ cal. BC (2σ)	Número de Laboratori
Cala'n Porter	Sediment	8.60	4450 ± 50	3340 / 2920	Beta/LLNL-95128
	Sediment	10.2	5120 ± 60	4015 / 3780	Beta/LLNL-95129
	Fusta	20.8	7770 ± 60	6650 / 6445	Beta/LLNL-95131
	Fusta	24.0	7920 ± 60	7040 / 6640	Beta-67283
Algendar	Sediment	6.7	4090 ± 60	2875 / 2470	Beta-80371 / CAMS-18672
	Sediment	9.35	4940 ± 50	3800 / 3645	Beta-80372 / CAMS-18673
	Sediment	15.6	6170 ± 70	5255 / 4925	Beta-80373 / CAMS-18674
	Sediment	23.45	7830 ± 50	6720 / 6485	Beta-80374 / CAMS-18675
Cala Galdana	Curculles	9.35	6290 ± 80	5470 / 5040	Ua - 2729
	<i>Ostrea</i>	14.45	7655 ± 85	6660 / 6340	Ua - 2730
	Sediment	16.10	7505 ± 105	6510 / 6150	Ua - 2731
	Fusta	20.10	7685 ± 75	6660 / 6400	Ua - 2810
Alcúdia	<i>Ostrea</i>	20.40	7430 ± 75	6440 / 6160	Ua - 2811
	Sediment	3.15	107.7 ± 07 (modern)	790 / 480	Beta-69333 / ETH-11904
	Sediment	3.95	2440 ± 60	5380 / 5040	Beta-69334 / ETH-11904
	Sediment	5.60	6270 ± 70	6110 / 5710	Beta-69335 / ETH-11904
	Sediment	7.90	7060 ± 110		Ua - 2732
Sediment	19.45	30840 ± 880		Ua - 2733	

Fig. 6. Diagrama pol·linic del sondeig mari KF14, Menorca (Pérez-Obiol, en curs). Es destaca en vermell la dinàmica de *Buxus* i *Olea*

Fig. 6. Pollen diagram of the marine survey KF14, Menorca (Pérez-Obiol, in process). Highlighted in red, *Buxus* and *Olea* dynamics.



associades a restes de *Myotragus balearicus*. L'altra és associada a un assentament humà antic. Les anàlisis (Waldren, 1982) mostren una gran homogeneïtat entre les distintes columnes. Els espectres que es corresponen amb les datacions radiocarbòniques de 14.465 ± 315 anys BP i de 14.000 ± 350 anys BP estan dominats per les asteràcies i les graminies, amb una representació arbòria realment baixa. En els espectres que corresponen al període d'hipotètica ocupació humana (amb datacions de 7135 ± 80 anys BP i 8570 ± 350 anys BP) són les graminies les plantes dominants, trobant-se un 2% de cereals tipus *Triticum*. La mostra datada en 3910 ± 120 anys BP presenta valors també elevats de pol·len no arbòri continuant la presència de cereals. Cal dir que les grans discordàncies entre aquests resultats i els esmentats fins ara, inviten a pensar que aquestes anàlisis i les seves atribucions cronològiques caldrien ser revisades. Al jaciment de Son Fornés, a Montuïri, es pre-

senta una ocupació humana des del primer mil·lenni BC. Yll (1984) va realitzar les anàlisis pol·liniques de sediments procedents d'un got ceràmic. Els resultats mostren una dèbil representació pol·linica del pol·len arbòri i una elevada representació de tàxons indicadors d'activitat antròpica. Del mateix jaciment, Ros (1984) ha estudiat 81 fragments de carbó de nivells inferiors de les habitacions talaiòtiques i tots ells pertanyien a *Olea europaea*, sense poder determinar-se si es tractava de la varietat conreada o la silvestre. Per altra banda, de mostres extretes de la cova des Moro, només van presentar palinomorfs les dues mostres contemporànies a les etapes d'ocupació humana (Fig. 7). Les dues mostres presenten uns espectres pol·linics amb una composició florística semblant a l'actual de la zona que abonarien l'atribució cronològica d'aquestes ocupacions a èpoques pretalaiòtiques. Guerrero (com. personal), sobre carbons i un os humà, obté unes edats de 3961 ± 42

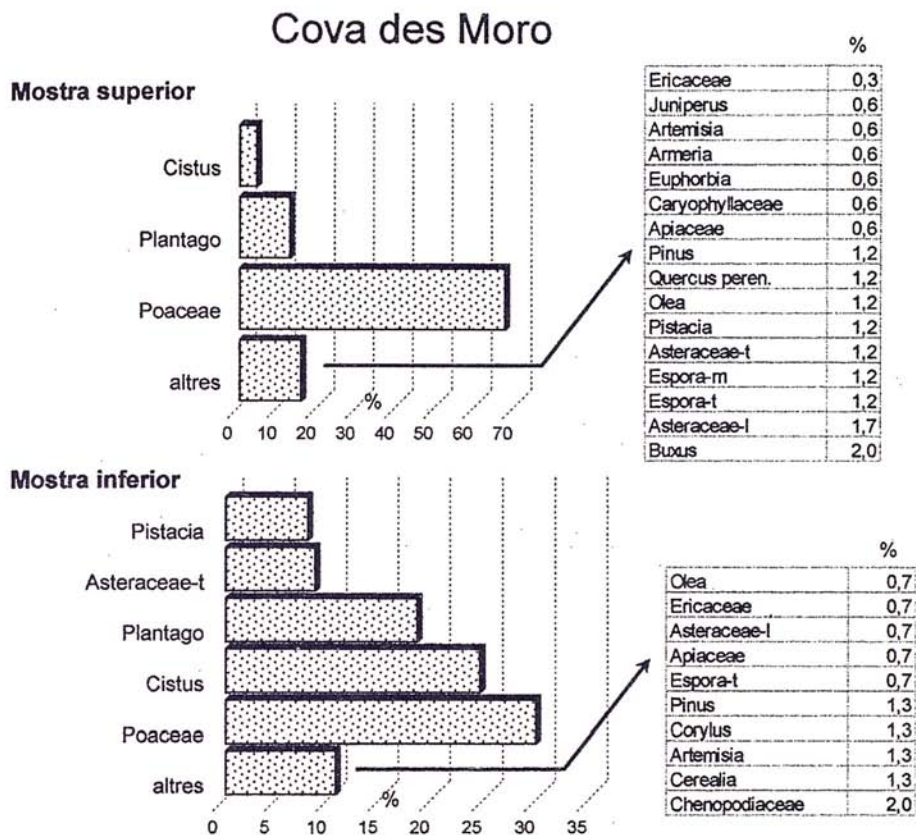


Fig. 7. Resultats de la mostra superior i de la inferior del nivell d'ocupació de la cova des Moro.
 Fig. 7. Results of the upper and lower sample of the Cova des Moro occupation level.

anys BP i de 3840 ± 60 anys BP. Tampoc s'hauria de descartar que s'hagin produït intrusions de material recent que distorsionin aquestes anàlisis pol·líniques. El fet que la mostra superior mostri una obertura de les formacions arbustives de *Cistus* a favor de les gramínies sembla indicar l'existència d'una clara acció antròpica sobre el paisatge de l'entorn de la cova. Igualment, la presència d'alguns pòl·lens de *Corylus* o *Buxus*, molt probablement aportats per remoció de sediments més antics, podria ser un indicatiu d'interès fitogeogràfic ja que indicaria la importància d'aquests tàxons en zones litorals molt poc propícies en l'actualitat, tal com succeïa a Artà.

A Menorca, Mariscal (1996) analitza 20 mostres extretes de jaciments arqueològics estudiats pel professor Fernández Miranda (1991). Alguns registres pol·línics obtinguts mostrarien la composició, diversitat i variació de la massa arbòria i la substitució de l'ullastre per l'olivera conreada. No obstant això, cal assenyalar que, d'acord amb Terral (1996), el problema de la distinció entre l'olivera i l'ullastre és pràcticament impossible a partir de la morfologia pol·línica. Per a realitzar una aproximació al tema de la diferenciació entre les dues varietats, són necessàries anàlisis químiques i anàlisis paleogenètiques.

A Eivissa, les anàlisis de 8 mostres pertanyents al jaciment d'Es Pouàs insinuen,

segons J.A. Rosselló (com. pers.), una dualitat d'hàbitats que podria indicar l'existència de discontinuïtats edàfiques. D'una banda hi ha elements forestals i arbustius de caràcter mesòfil i termòfil i, per una altra, elements herbacis indicadors de condicions més fredes i àrides. Les mostres procedeixen de diferents nivells que se situen entre fa uns 6000 anys i uns 30.000 anys (Alcover et al., 1994) per la qual cosa és difícil concloure res. Cal només ressaltar certes estranyeses des del punt de vista merament botànic, com per exemple l'absència de *Juniperus* (tàxon que està present durant tota la meitat de l'Holocè en les altres illes i que avui en dia defineix comunitats ben caracteritzades en Eivissa) i la presència de tàxons com *Betula* que no formen part en l'actualitat de la flora d'Eivissa. A falta de més anàlisis pol·líniques d'aquesta illa, seria prudent no incidir de forma conclouent en l'existència d'un caràcter distintiu en l'evolució del seu paisatge vegetal, no obstant

això, tenint en compte les dades faunístiques, seria sensat començar a introduir aquesta idea i poder realitzar en el futur anàlisis pol·líniques més convincents.

L'anàlisi pol·línica de copròlits de *Myotragus* (Alcover et al., 1999) corresponents a distints nivells de sediments de Cova Estreta ha generat resultats sorprenents ja que, independentment de la gran quantitat de pol·len trobat (que superava en algunes mostres els 3.500.000 grans/gram), el 98% dels grans identificats pertanyia a *Buxus* (Fig. 8). Això podria portar a pensar que la profunda transformació que implica la desaparició d'espècies vegetals de les illes estaria relacionada amb la colonització Pretalaiòtica i l'inici de l'extinció de diversos animals endèmics de l'arxipèlag com *Myotragus* i *Hypnomys*. Tanmateix, encara no resten clars els mecanismes d'extinció i migració d'espècies vegetals i animals a les Balears.

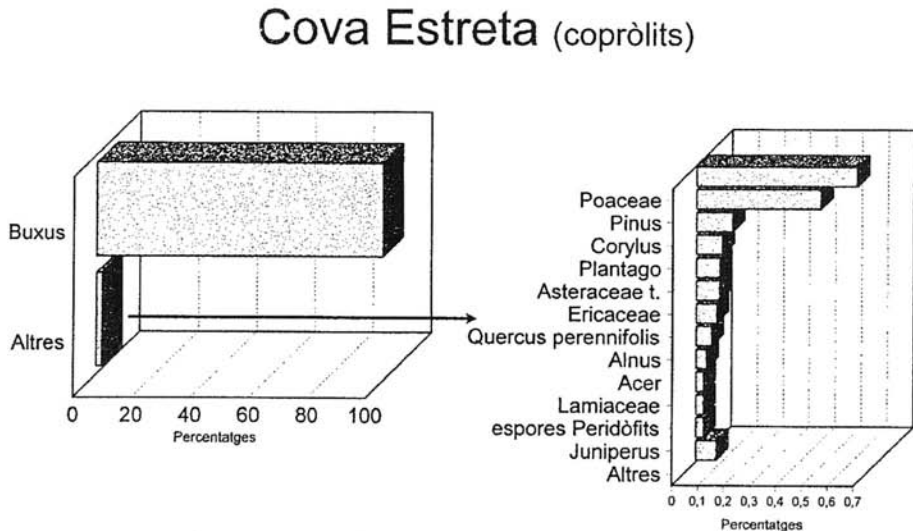


Fig. 8. Diagrama resum de distints espectres pol·línics de copròlits de *Myotragus* trobats a la cova Estreta, a partir d'Alcover et al. (1999).

Fig. 8. Summary diagram of diverse pollen spectre of *Myotragus* coprolites found in the Cova Estreta, from Alcover et al. (1999).

Colonitzacions, migracions i regressions: l'exemple de *Fagus*, *Buxus* i *Olea*

La detecció d'una corba contínua de pol·len de *Fagus* a Mallorca amb posterioritat als 6000 anys BP pot interpretar-se com la resposta a un increment de la temperatura de la superfície del mar que permetria la formació de boires i precipitacions per l'efecte Föhn en les parts altes de la Serra de Tramuntana, que són drenades cap a l'albufera d'Alcúdia. La presència de *Fagus* durant gran part de l'Holocè superior es mostra com un fet, en principi, sorprenent a les Balears. Segons Costa *et al.* (1990), el faig sembla haver arribat recentment en zones de la Península Ibèrica en les que apareix en mosaic en boscos mixts muntanyencs. La seva arribada es documenta a partir de refugis situats per davall dels 500 m, desplaçant-se cap al pis muntà on troba un hàbitat favorable en la part superior del mateix i ocupant-lo amb notable celeritat des de fa tres mil anys fins a l'actualitat en un moviment expansiu seguint una orientació predominant Est. Aquests mateixos autors especifiquen que la seva progressió no ha comptat amb temps material per a exercir la seva eficaç competència al pis muntà de certes àrees, abans que la influència humana dificultés la seva extensió. Aquest fenomen sembla tenir una interpretació distinta a la Serra de Tramuntana de Mallorca ja que apareix amb molta anterioritat i la seva desaparició sembla estar lligada, si observem les formacions boscoses actuals, a la falta d'unes condicions climàtiques requerides pel faig. Les dades dels distints palinogrames de les Balears i del continent semblen indicar, a falta de més dades pol·líniques o antracològiques, que *Fagus* haguera romàs refugiat en algunes fondalades del territori insular durant el Pleistocè superior i l'Holocè inferior. Igualment, Pott (2000), indica que hi ha suficients evidències per afirmar que *Fagus*, durant els darrers 9000 anys, s'ha anat estenent des de diversos refugis pleistocens mediterranis cap a localitats més septentrionals. La presència de petits boscos refugis de *Fagus* a Mallorca

molt abans que es produïssin les colonitzacions dels Pirineus per part d'aquesta espècie, és una afirmació agosarada però que va prenent cos i que només es podrà contradir o acabar d'afirmar amb estudis paleogenètics.

La substitució de les comunitats de *Buxus* per màquies termòfiles dominades per *Olea* és un fenomen exclusiu de les Illes Balears, representant la història de *Buxus* (Pérez-Obiol *et al.*, 1996) un fascinant exemple de la complexitat de la dinàmica vegetal Holocènica. Anàlisis isotòpiques realitzades sobre copròlits de cova Estreta han proporcionat uns valors de $\delta^{13}\text{C}$ molt homogenis, corresponent a plantes del tipus C3, entre les que es troba *Buxus*, la qual cosa reforça la idea d'una dieta uniforme en la que, com a mínim en cova Estreta, *Buxus balearica* era probablement l'aliment bàsic de *Myotragus* i, molt probablement l'element dominant del paisatge. Encara que la major part de les espècies eurasiàtiques de *Buxus* estan adaptades a climes estacionals, la seva anatomia interna representa una adaptació a condicions mesòfiles de forma que aquest tàxon no pot ser utilitzat com a indicador d'ambients xèrics. A l'actualitat les comunitats dominades per *Buxus balearica* únicament es troben en determinades zones de l'illa de Mallorca i de Cabrera i, d'acord amb Folch (1986), representen una formació transicional extramediterrània al paisatge balear. En aquest sentit, l'existència d'un període d'alta variabilitat estacional i de baixes precipitacions pot apuntar-se com l'element principal determinant de la desaparició de les comunitats de *Buxus*. A diferència de Mallorca, de major grandària i relleu destacable, l'illa de Menorca, amb inexistència d'un gradient altitudinal important i un substrat càrstic, no hauria permès la pervivència de comunitats submediterrànies.

Un dels trets pol·línics més característics de les seqüències estudiades a les Balears ve donat, com s'ha vist, per la gran importància percentual que assoleix la corba d'*Olea* durant la segona meitat de l'Holocè així com en alguns moments de millora climàtica durant el Würm Final. A l'actualitat, pràcticament a tota la conca mediterrània la distribu-

ció d'*Olea* restaria per sobre la isoterma de 3°C al mes de gener pel que fa als valors percentuals superiors a l'1% obtinguts en mostres de superfície (Bottema, 1991). Tanmateix, gràcies a la seva plasticitat adaptativa, l'olivera ha estat introduïda recentment a d'altres indrets climàticament diferenciats de l'estrictament mediterrani. En aquest sentit, encara que *Olea* és un gènere capaç d'adaptar-se a considerables variacions tèrmiques i pluviomètriques, la seva fonamental limitació la constituïrien les glaçades hivernals. Resulta evident que alguns territoris han actuat com a refugis d'*Olea* durant els períodes més freds de forma que constituïren els focus de la seva expansió amb l'arribada de condicions climàtiques més favorables als inicis del Postglacial. La península Ibèrica ha estat considerada com una d'aquestes zones refugi durant els moments més freds. Dins aquest context, *Olea* s'hauria situat als territoris de la franja mediterrània menys afectats pels rigors tèrmics glacials i que no restaren sotmesos a la major continentalitat característica de l'ambient mediterrani més interior. La seva distribució a Europa restaria limitada a les franges litorals de la Mediterrània així com a certes conques fluvials i sistemes lacustres importants. La cronologia de la colonització d'*Olea* és complexa.

A les diferents seqüències pol·líniques corresponents a les Illes Balears, l'inici de la corba d'*Olea* se situaria entre els 6000 i els 5000 anys BP (Yll et al., 1994; 1997; Burjachs et al., 1994) fet que permet considerar l'existència de canvis al sistema climàtic cap a una major xericitat. D'aquesta manera, s'afavoriria el desenvolupament d'un paisatge arbustiu de caràcter termòfil similar a l'actual amb una important presència de l'ullastre que substituiria progressivament les anteriors formacions compostes principalment per *Corylus*, per *Juniperus* i per *Buxus*. De la mateixa manera, s'hauria d'assenyalar que no es detecten evidències de cultiu de l'olivera a cap de les seqüències analitzades, fet que seria recolzat pel registre històric disponible. Com ja s'ha comentat, el nivell actual de coneixement en el que concerneix a la deter-

minació dels palinomorfs fa irrealitzable el reconeixement de la varietat conreada d'*Olea europaea*, no obstant, és important dir que els valors registrats d'aquest tàxon durant l'expansió talaiòtica no són més elevats que els trobats amb molta anterioritat el que, indubtablement, fa pensar que mai ha existit un cultiu intensiu que ocuparia grans àrees a les Balears.

A partir de les dades disponibles, s'hauria de considerar la possibilitat que, pel que fa als sectors central i meridional del vessant mediterrani de la península Ibèrica, ja des dels inicis de l'Holocè es desenvolupessin comunitats arbustives de caràcter climàtic amb una important presència de l'ullastre (Pantaleón-Cano et al., 1996; Yll et al., 1995). En aquests mateixos territoris, amb cronologies més recents, l'evolució dels valors d'*Olea* mostra un comportament diferenciatiu territorialment i, en certs casos, vinculat clarament amb un afavoriment d'origen antròpic sobretot pel que fa a moments subrecents. En aquest sentit, el cultiu de l'olivera només seria apreciable palinològicament a partir d'època medieval, fet que podria corroborar-se amb altres treballs realitzats al litoral català (Riera, 1994). Tots aquests aspectes, tan contrastants amb les Balears només es poden explicar per la singularitat climàtica i edàfica de les illes juntament amb aspectes de competència amb *Buxus*. En canvi, serien més semblants els fenòmens que es donen a certes seqüències recuperades als aiguamolls litorals de l'illa de Còrsega on es detecta una corba contínua d'*Olea* a partir de moments subatlàntics o subboreals mentre que a les zones muntanyoses aquesta presència únicament es detectaria des del Subboreal (Reille, 1975; 1984).

Cronologia de l'impacte antròpic

El problema de la interpretació dels canvis produïts al paisatge vegetal al llarg de l'Holocè ve determinat, en part, per la quantificació de la influència antròpica i de la climàtica. Lamentablement, no hi ha mètodes que

ens proporcionen una informació definitiva. Tanmateix, les tendències climàtiques d'aquest període proporcionades per dades isotòpiques, les quals són independents de l'antròpisme, mostren discordances amb les dades pol·líniques (Duplessy, 1996). Segons Vernet (1997), la història humana seria indissociable de la de l'alzinar mediterrani des del Neolític. En tretze localitats del Llenguadoc, l'estudi antracològic indicaria que el bosc caducifoli original se substitueix per un paisatge dominat per l'alzina i el boix a partir dels 6000 anys BP. L'home no provocaria la desaparició del bosc caducifoli però instal·laria nous elements afavorint altres que propiciarien una substitució asincrònica i reversible (Chabal, 1997). En sentit contrari, Jalut *et al.* (1997), basant-se en anàlisis pol·líniques de sediments i d'espectres pol·línics actuals de l'oest del mediterrani, conclouen que la instal·lació del clima mediterrani es realitza de manera progressiva segons un gradient longitudinal i que, entre 40° i 44° N, la instal·lació de l'aridesa estival característica del clima mediterrani se situa entre 3000 i 1000 anys BP. Pons i Quezel (1998) contradiuen aquesta idea ja que indiquen que la paleoclimatologia no pot reduir-se a la comparació de conjunts d'espècies entre el passat i el present ja que, en l'actualitat, la vegetació actual és el resultat evident de l'acció antròpica. A les regions del nord-oest mediterrani, l'acció antròpica s'exerciria bàsicament sobre les rouredes (Pérez-Obiol, 1988; Reille i Pons, 1992; Riera, 1993; Reille *et al.*, 1997) de forma que, cap a la meitat de l'Holocè, el bosc caducifoli, a les planes, en combinació amb formacions esclerofil·les a les vessants, conformaria el paisatge vegetal. A partir del V mil·lenni BP, l'impacte antròpic (incendis, pasturatge, etc.) s'estendria sobre els terrenys més accessibles afavorint l'extensió dels escleròfils fins a aconseguir un màxim durant l'època medieval (Planchais i Duzer, 1978; Pérez-Obiol, 1988; Planchais *et al.*, 1991; Riera, 1993). Amb posterioritat a l'Edat Mitjana, les modalitats tradicionals d'utilització d'aquestes formacions, hagueren pogut afavorir l'alzinar fins que, fa mig segle, ha sigut descrit per Braun-Blan-

quet, (1936) com la comunitat climàtica. Segons Pons i Quezel (1998), a partir d'espectres pol·línics datats radiocàrbònicament es podria determinar que un canvi del paisatge és d'origen antròpic quan s'observen una sèrie de canvis idèntics en una mateixa regió en dates variables, sense cap ordre natural. Al mateix temps, els canvis han d'estar marcats per testimonis de l'activitat humana (pol·len de plantes segetals, ruderals, nitròfiles, etc.). D'altra banda, en distints estudis realitzats últimament, entre els que hi hauria els estudis pol·línics a les Illes Balears, es podria dir que l'absència de formacions forestals en zones de baixa altitud de zones mediterrànies no tindria un caràcter antròpic. La idea que les formacions esclerofil·les de matolls van constituir les formacions climàtiques durant l'òptim Holocè en distintes zones de la mediterrània és fonamentada per distintes seqüències pol·líniques estudiades en els últims anys. En el sector nord de la Península Ibèrica, Riera (1994) indica que entre els 7000 i els 8000 anys BP, l'expansió de les comunitats arbustives no estaria relacionada ni amb les activitats antròpiques ni amb la seva posició litoral. Més al sud, l'establiment de les màquies dominades per *Olea europaea* var. *sylvestris*, *Quercus coccifera* i *Pistacia lentiscus* és observat ja des de l'Holocè inferior (Fumanal *et al.*, 1991; Viñals *et al.*, 1993). A Almeria, Pantaleón-Cano *et al.* (en premsa) registren l'existència de comunitats termòfiles durant el Pleistocè superior i l'expansió de les comunitats esclerofil·les arbustives durant l'òptim Holocènic. A partir de l'Holocè mitjà, els processos d'aridificació en el sud-est de la Península Ibèrica podrien tenir el seu origen en canvis climàtics igual que ocorreria d'una forma generalitzada en distintes àrees del Mediterrani (Riera, 1994; Fumanal i Dupré, 1986; Julià *et al.*, 1994; Ballouche, 1986; Brun, 1992; Ritchie, 1984; Horowitz, 1971; El-Moslimany, 1990; Butzer, 1997). En diverses zones la conca Mediterrània es registren també evidències d'aquestes comunitats arbustives de caràcter termòfil amb una cronologia semblant. El treball de Julià *et al.* (1994), a Salines (Alacant), demostra la inexistència de

comunitats arbòries des de l'últim període interglacial fins a l'actualitat en aquesta àrea a causa d'un dèficit hídric constant.

La vegetació de l'Holocè inferior a les Balears presenta, com ja s'ha esmentat, una composició florística difícilment comparable a qualsevol formació actual. La colonització humana preneolítica no queda reflectida de cap manera en els diagrames pol·línics. S'ha esmentat que grups caçadors recol·lectors haurien fet acte de presència a l'illa cap als 9000 anys BP (Kopper, 1984). Si partíssim de la base que l'acció antròpica preneolítica haguera degut tenir una resposta de la vegetació paral·lela o semblant a la de moltes altres illes mediterrànies, podem afirmar categòricament la inexistència d'aquesta acció. Amb posterioritat, l'acció de l'home no és tampoc evident. Segons documentació disponible, les formacions socials neolítiques a les illes centre-mediterrànies (Camps, 1988; Atzeni, 1987; 1994) comportarien una economia centrada en el pasturatge, l'agricultura de cereals i lleguminoses i la indústria ceràmica, existint en conseqüència canvis importants en l'estructura i composició de la vegetació. A les Balears no ha quedat demostrada ni una gran obertura de les comunitats vegetals ni la presència d'espècies conreades en els diagrames pol·línics durant temps neolítics. L'apogeu del període talaiòtic i les distintes colonitzacions humanes posteriors queden reflectides en distintes zones de les seqüències pol·líniques estudiades. En Alcúdia, per exemple, cap al 2440 BP es detecta una manifesta acció antròpica que comporta l'aparició de tàxons com cereals i *Juglans*. La crema i el retrocés del bosc i el matoll per aconseguir praderies on pogueren pasturar els animals domèstics s'expressa, des del punt de vista pol·línic, com un fenomen més recent del que s'espera a les Balears. Aquest tipus d'obertura del paisatge s'evidencia pol·línica-ment a partir dels 2000 anys BP.

Discussió

Comparació de resultats

D'entre els molts elements de comparació que es poden utilitzar, les seqüències de les altres illes mediterrànies constitueixen elements molt importants per a entendre l'evolució del paisatge vegetal a les Illes Balears. A Còrsega, segons Reille *et al.* (1998), el Llac de Creno, amb 23 edats calibrades de ^{14}C i 159 espectres pol·línics, és la seqüència clau per a la comprensió de l'evolució botànica de l'illa. Aquesta es troba repleta de particularitats florístiques com l'absència de *Pinus* durant el Tardiglacial, la intromissió tardana de *Quercus ilex*, d'*Abies* i de *Fagus*, o de grans canvis d'origen antròpic en la vegetació a partir de l'anomenat "esdeveniment major", que es produeix als 6800 anys BP i que sembla estar relacionat amb el foc. Cap aquesta època, acaba el domini absolut d'*Erica arborea* i *Pinus laricio* i *Betula* incrementen espectacularment la seva representació. Emergeixen les formacions de roures i, posteriorment, les d'alzines. Es postula que les formacions de *Quercus ilex* apareixen com resultat de la degradació d'una vegetació natural d'*Erica arborea* i no al revés, com s'haguera pogut pensar. Això indicaria que l'actual vegetació de Còrsega és conseqüència, tant en el seu vessant florístic com fisiognòmic, d'esdeveniments antròpics i que el paper de la influència climàtica és notablement menor. Reille *et al.* (1998) suggereixen que la vegetació actual de Còrsega no està en equilibri amb el clima, estenent fins i tot aquesta consideració a tota la zona del Mediterrani occidental. Aquesta proposta és un element que cal tenir en compte a l'hora de valorar els canvis en el paisatge a les Illes Balears. Dels estudis efectuats a Sicília es dedueix que les formacions arbòries s'expandeixen amb posterioritat als 9000 anys BP, fenomen que indica un cert retard respecte a la Itàlia central. El període més favorable a les formacions boscoses queda comprès entre els 9000 i els 4000 anys BP. A partir dels 4000 anys es redueix la coberta forestal sense observar-se indicadors de cultiu ni altres indicadors antròpics. Aquestes mar-

ques antròpiques apareixen, de forma molt dèbil, a partir dels 2000 anys BP. Segons Sadori, la qual considera també les dades hidrològiques i meteorològiques, sembla evident l'existència d'una tendència natural cap a l'aridesa.

L'evolució de la vegetació a les Balears

Prentice *et al.* (1998), a partir de comparacions entre reconstruccions pol·líniques i models espacials de canvi climàtic entre els 6000 anys BP i el present (models de simulació que tenen en compte el canvi en els paràmetres orbitals de Terra durant aquest període, obtinguts pel *National Center for Atmospheric Research, Community Climate Model*, pretenen establir uns patrons generals de comportament per a distintes parts d'Europa. El model proposat fracassa en el sud d'Europa, on simula unes temperatures d'hivern i unes precipitacions a l'estiu que permetrien l'existència d'una vegetació que no es correspon amb la percebuda pels espectres pol·línics. D'altra banda, l'establiment d'altres models basats en anàlisis pol·líniques de distintes zones del mediterrani ens mostra només els aspectes principals de la història de vegetació en zones muntanyoses del mediterrani. Durant el Tardiglacial, entorn dels 11.000 anys BP, les muntanyes Mediterrànies mostren una dinàmica forestal que involucren consecutivament a *Juniperus*, *Betula* i *Pinus*, i, més al sud i en menor altitud, a *Quercus ilex* i *Quercus caducifolis*. Entre els 11.000 i els 10.000 BP, el refredament corresponent al Drvas recent va ocasionar una desforestació i una expansió d'espècies estèpiques. L'últim millorament de clima condueix a l'òptim Holocè, entre 8000 i 7000 BP, i es caracteritza pel caràcter mesòfil de la vegetació. En l'etapa posterior del Postglacial, l'acció humana afavoriria una diversificació de la vegetació. A més, els canvis climàtics i el mateix efecte de l'acció humana intervindrien en la substitució del bosc caducifoli per una generalitzada difusió de les màquies, les garrigues i els matolls en general. Amb tot això, s'arriba a la conclusió que les Illes Balears mereixen una atenció especial ja que la dinàmica de la vege-

tació durant el Pleistocè superior i l'Holocè sembla no tenir rèplica en cap altra zona estudiada dins l'àmbit mediterrani. Com ja s'ha esmentat anteriorment, hi ha una certa coincidència d'opinions en què la vegetació actual d'illes mediterrànies com Còrsega (Reille *et al.*, 1998) o les Balears no està en equilibri amb el clima. L'actual disjuntiva és com valorar el pes que l'impacte antròpic ha pogut tenir en aquest desequilibri en illes com, per exemple, Menorca, on el substrat juga un paper primordial en l'establiment de les comunitats vegetals. Així mateix, a partir de l'estudi de l'evolució de la biomassa vegetal segons l'anàlisi de les dades proporcionades per les concentracions pol·líniques (nombre de pòl·lens per gram de sediment), s'observa que hi ha un canvi a les Balears, cap a la meitat de l'Holocè que no representa el que botànicament s'entén com una obertura important del paisatge. Existeix, en aquesta brusca transició, un canvi en l'estructura de la vegetació més que una disminució de la coberta vegetal. Cal recordar que, a Sicília, existeix igualment un canvi cap a unes comunitats més escleròfil·les cap als 4000 anys BP sense observar-se indicadors de cultiu ni altres indicadors antròpics (Sadori, comunicació personal).

A partir de l'estudi del sondeig marí KF14 i dels estudis de la flora paleoendèmica actual (Cardona, 1979) es conclou que l'última glaciació ha tingut un caràcter distintiu a les Balears en el que concerneix a la resposta de la vegetació en comparació amb altres zones de l'Europa occidental. *Corylus*, *Quercus*, ericàcies i *Olea europaea* var. *sylvestris* (espècie de naturalesa termòfila), presenten ràpides expansions poblacionals en cada una de les més o menys intenses millores climàtiques del Pleistocè final. Durant aquests períodes interestadials, es detecta també una expansió de les comunitats forestals de caducifolis que, molt probablement, recolonitzarien les vessants i fondalades més ombrívols de les muntanyes de les illes. Un altre exemple (Pérez-Obiol, treball en curs) ens el proporciona l'estudi de 3 mostres de s'Albufera d'Alcúdia, datades en 30840 ± 880 anys BP (Fig. 3) on hi trobem una considerable pro-

porció de caducifolis i de plantes llenyoses de caràcter mediterrani en plena època glacial que fa pensar que aquesta illa mai hauria hagut de suportar unes condicions climàtiques extremes durant el Pleistocè. Aquestes dades són extremadament noves i cal prendre-les amb precaució i esperar posteriors estudis. En cas de confirmar-se l'existència d'aquests paisatges a les Balears durant les glaciacions s'hauria descobert una de les zones de refugi durant el Quaternari més importants d'Europa.

Durant l'Holocè inferior les Illes Balears posseïen un paisatge vegetal compost per distintes formacions distribuïdes segons el relleu i el substrat, apareixent de forma abundant distints arbres i arbusts caducifolis entre els quals *Corylus*, *Betula* i *Acer* jugarien un paper important com a colonitzadors dels espais oberts, de la mateixa forma que ocorre al continent. *Buxus* tindria probablement el màxim protagonisme en el paisatge. Com ja s'ha esmentat, pel que fa a la incidència de les activitats humanes sobre l'entorn, des del punt de vista de pol·línic no es detectarien ocupacions estables. L'Holocè superior és representat, a les Illes Balears, per un paisatge dominat per l'esclerofília on les formacions mesòfiles i les caducifòlies presenten àrees de distribució molt reduïdes. No obstant això, el desequilibri clima-vegetació podria fer suposar que l'acció antròpica està afavorint quantitativament l'esclerofília en certes àrees, sobretot a les muntanyes de Mallorca. S'ha observat en nombroses localitats europees de caràcter mediterrani que, un canvi dràstic en la utilització de les formacions escleròfil·les ha provocat una evolució nova en els últims cinquanta anys, parlant-se d'una "remuntada biològica" la qual dona pas a formacions de boscs mixts amb caducifolis. Tanmateix, a l'espera de properes recerques, cal resumir aquest període com l'etapa de l'Holocè en la qual *Olea* té la importància més gran en el paisatge a les Illes Balears.

Bibliografia

- Alcover, J.A., McMinn, M. i Altaba, C.R. 1994. Eivissa: A Pleistocene Oceanic-like Island in the Mediterranean. *Nat. Geographic Research & Exploration*, 10(2): 236-248.
- Alcover, J.A.; Pérez-Obiol, R.; Yll, E.I. i Bover, P. 1999. The diet of *Myotragus balearicus* Bate 1909 (*Artiodactyla: Caprinae*), an extinct bovid from the Balearic Islands: evidence from coprolites. *Biol. J. of the Linn. Soc.*, 66: 57-74.
- Atzeni, E. 1987. Il Neolitico della Sardegna, *Atti della XYVI Riunione Scientifica dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protohistoria* (1985), Firenze, 381-399.
- Atzeni, E. 1994. Le sequenze culturali del Neolitico sardo, "Rapporti tra Sardegna e Tunisia dall'età antica all'età moderna", Incontro con Institut National du Patrimoine Tunis (1994), Cagliari, 5-27.
- Ballouche, A. 1986. *Paleoenvironnements de l'homme fossile au Maroc. Apports de la palynologie*. Unpublished PhD Dissertation, Université de Bordeaux I.
- Bolòs, O. i Moliner, R. 1958. Recherches phytosociologiques dans l'île de Majorque. *Collec. Botanica V* (III): 699-865. Barcelona
- Bottema, S. 1991. *Pollen proxy data from southeastern Europe and The Near East. Evaluation of climate proxy data in relation to the European holocene*. B. Frenzel Ed. G. Fischer Verlag. Pp: 63-79.
- Braun-Blanquet, 1936. La forêt d'yeuse languedocienne. *Soc. Sc. Nat. Nîmes*, 3, 147 pp.
- Brun, A. 1992. Pollens dans les séries marines du Golfe de Gabes et du Plateau des Kerkennah (Tunisie): signaux climatiques et anthropiques. *Quaternaire*. 3 (1): 31-39.
- Burjachs, F. i Julià, R. 1994. Abrupt Climatic Changes during the Last Glaciation Based on Pollen Analysis of the Abric Romani, Catalonia, Spain. *Quaternary Research*, 42: 308-315.
- Burjachs, F., Pérez-Obiol, R., Roure, J.M. i Julià, R. 1994. Dinàmica de la vegetació durante el Holoceno en la isla de Mallorca. En: I. Mateu, M. Dupré, J. Güemes y M. E. Burgaz (Eds.) *Trabajos de Palinología Básica y Aplicada*. Universitat de València, València: pp. 199-210.
- Butzer, K.W. 1997. Sociopolitical Discontinuity in the Near East C.2200 B.C.E.: Scenarios from Palestine and Egypt. In *"Third Millennium BC Climate Change and Old World Collapse"* (H. Nüzhet Dalfes, G. Kukla, and H. Weis, Eds.), NATO ASI Series, Vol I, 49: 245-296, Springer-Verlag.

- Camps, G. 1988. *Préhistoire d'une île. Les origines de la Corse*, Paris.
- Cardona, M.A. 1979. Consideracions sobre l'endemisme i l'origen de la flora de les Illes Balears. *Bull. Inst. Cat. Hist. Nat.*, 44 (Sec. Bot., 3): 7-15.
- Chabal, L. 1997. Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive). *Documents d'Archéologie Française*, 63.
- Costa, M., Garcia Anton, M., Morla, C. i Sainz, H. 1990. La evolución de los bosques de la Península Ibérica: una interpretación basada en datos paleobiogeográficos. *Ecología*, Fuera de Serie, 1: 31-58.
- Duplessy, J.C. 1996. *Quand l'Océan se fâche. Histoire naturelle du climat*, Odile-Jacob, Paris.
- El-Moslimany, A.P. 1990. Ecological significance of common nonarboreal pollen: examples from drylands of the Middle East. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 64: 343-350
- Fernández Miranda, M. 1991. La transición hacia la cultura Talayótica en Menorca. *Trabajos de Prehistoria*, 48: 37-50.
- Fernández-Miranda, M. i Waldren, W. 1979. Perioidificación cultural y cronología absoluta en la prehistoria de Mallorca. *Trabajos de Prehistoria*, 36: 349-377.
- Folch, R. 1986. *La vegetació dels Països Catalans*. Ketres, Barcelona.
- Follieri, M., Roure, J.M., Giardini, M., Magri, D., Narcisi, B., Pantaleón-Cano, J., Pérez-Obiol, R., Sadori, L. i Yll, E.I. 1998. Vegetation Changes in Italy and Spain during the Last Millenia. Proceedings of INTECOL. VII International Congress of Ecology. Florence, 19-25 July, 1998. In: A. Farina, J. Kennedy, & V. Bossù (Edit.) pp. 140.
- Frenzel, B. 1979. L'homme comme facteur écologique en Europe. *Bull. Ass. Fr. Études Quaternaire*, 4:191-199.
- Fumanal, M.P. i Dupré, M. 1986. Aportaciones de la sedimentología y de la palinología al conocimiento del paleoambiente valenciano durante el Holoceno. In: "*Quaternary Climate in Western Mediterranean*" (F. López-Vera, Ed.): 325-343. Universidad Autónoma de Madrid.
- Fumanal, M.P., Villaverde, V. i Bernabeu, J. 1991. Cuaternario litoral de la provincia de Alicante sector Pego-Moraira. In "*Guía de excursiones. Medios sedimentarios, cambios ambientales y hábitat humano*": 21-78. VIII Reunión Nacional sobre Cuaternario, València.
- Guerrero, V. 1997. *Cazadores y pastores en la Mallorca prehistórica. Desde los inicios al Bronce Final*. El Tall Editorial, col. "El Tall del Temps", 29.
- Horowitz, A. 1971. Climatic and vegetational developments in northeastern Israel during Upper Pleistocene-Holocene times. *Pollen et Spores*, 13(2): 255-278.
- Jalut, G., Esteban, A., Riera, S., Fontugne, M., Mook, R., Bonnet, L. i Gauquelin, T. 1997. Holocene Climatic Change in the Western Mediterranean: installation of the Mediterranean climate. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planetes*, 325: 327-334.
- Julià, R., Negendank, F.W., Seret, G., Brauer, A., Burjachs, F., Endres, Ch., Giralt, S., Parés, J.M. i Roca, J.R. 1994. Holocene climatic change and desertification in the Western Mediterranean region. In "*Terra Nostra. Climate dynamics recorded in long continental high resolution time series since the last interglacial*". Schriften der Alfred-Wegener-Stiftung, 1/94: 81-83
- Kopper, J.S. 1984. Canet Cave Esporlas, Mallorca, I Deya Conf. of Preh., BAR, Int. Series, Oxford. Pp. 61-67.
- Leveau, P., Walsh, K., Tremont, F. i Barker, G. (eds). 1998. *Environmental reconstruction in Mediterranean landscape archeology*. Mediterranean landscape Archeology 2, Oxbow Publ., Oxford.
- Mariscal, B. 1996. Variación de la vegetación de Menorca en los últimos 4000 años. *Rev. de Men.*, Y: 197-217.
- Menéndez Amor, J. i Florschütz, F. 1961. La concordancia entre la composición de la vegetación durante la segunda mitad del Holoceno en la costa de Levante (Castellón de la Plana) y en la costa W. de Mallorca. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.* (G), 59: 97-100.
- Pantaleón-Cano, J., Yll, E.I., Pérez-Obiol, R. i Roure, J.M. 1996. Las concentraciones polínicas en medios semiáridos. Su importancia en la interpretación de la evolución del paisaje. Biogeografía Pleistocena-Holocena de la Península Ibérica. Pp.215-226. P. Ramil-Rego, C. Fernández-Rodríguez i M. Rodríguez Guitián (Coordinadores). Xunta de Galicia.
- Pantaleón-Cano, J., Yll, E.I., Pérez-Obiol, R. i Roure, J.M. En prensa. Vegetational processes in semi-arid areas of the western Mediterranean (Almería, Spain) from 18,000 yr BP. to the present on the basis of pollen analysis. *The Holocene*.

- Parra, I., Pérez-Obiol, R., Fontugne, M., Roure, J.M. i Julià, R. 1992. A Holocene Pollen Analysis from Mallorca (core SPI). Abstracts of the 8th International Palynological Congress. Aix-en-Provence
- Peinado, M. i Rivas-Martínez, S. (eds.) 1987. *La vegetación de España*. Serv. Publ. Univ. Alcalá de Henares.
- Pérez-Obiol, R. 1988. Histoire Tardiglaciaire et Holocène de la végétation de la région volcanique d'Olot (NE Péninsule Ibérique). *Pollen et Spores*, 30(2): 189-202.
- Pérez-Obiol, R., Yll, E.I., Pantaleón-Cano, J. i Roure, J.M. 1996. Historia de *Buxus* y *Corylus* en las Islas Baleares durante el Holoceno. In: P. Ramil-Rego, C. Fernández Rodríguez i M. Gutián (eds.) *Paleoambiente Cuaternario en la Península Ibérica*. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela: 87-97
- Planchais, N. i Duzer, D. 1978. Les pollens indicateurs de l'action anthropique aux alentours de l'étang de Mauquoio (Hérault). *C.R. Acad. Sc. Paris*. T. 287, Série D: 913-933.
- Planchais, N., Duzer, D. i Fontugne, M. 1991. Palynologie de dépôts holocènes de Lattes (Hérault). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 313, série II: 1357-1360.
- Pons, A. i Quezel, 1998. À propos de la mise en place du climat méditerranéen. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes*. 327: 755-760.
- Pott, R. 2000. Paleoclimate and vegetation - long term vegetation dynamics in central Europe with particular reference to beech. *Phytocoenologia*, 30 (3-4): 285-333.
- Prentice, I.C., Harrison, S., Jolly, D. i Guiot, J. 1998. The climate and biomes of Europe at 6000 yr BP: comparison of model simulations and pollen-based reconstructions. *Q. Sc. Rev.*, 17: 659-668.
- Reille, M. 1975. *Contribution polleanalytique à l'histoire tardiglaciaire et Holocène de la végétation de la montagne Corse*. Thèse, Université de Marseille III.
- Reille, M. 1982. New pollen-analytical researches in Corsica: the problem of *Quercus ilex* and *Erica arborea*, the origin of *Pinus halepensis*. *New Phytologist*, 122: 359-378.
- Reille, M. 1984. Origine de la végétation actuelle de la Corse sud-orientale; analyse pollinique de cinq marais cotiers. *Pollen et Spores*, 26(1): 43-60.
- Reille, M. i Pons, A. 1992. The ecological significance of sclerophyllous oak forests in the western part of the Mediterranean Basin: a note on pollenanalytical data. *Vegetatio*, 99-100: 13-17.
- Reille M., Gamisans J., Beaulieu J.L. de, i Andrieu V. 1997. The lateglacial at the lac de Creno (Corsica, France): a key-site in the western Mediterranean basin. *The New Phytologist*, 153-3: 547-559
- Reille M., Gamisans J., Andrieu-Ponel, V. i Beaulieu J.L. de., 1998. Le Lac de Creno (Corse): un site clé pour l'histoire de la végétation corse. Colloque "La montagne méditerranéenne: paléoenvironnements, morphogenèse, aménagements. Aix-en-Provence.
- Riera, S. 1993. Changements de la composition forestière dans la plaine de Barcelone pendant l'Holocène (Littoral Méditerranéen de la Péninsule Iberique). *Palynosciences*, 2: 133-146.
- Riera, S. 1994. *Evolució del paisatge vegetal holocè al Pla de Barcelona a partir de les dades pol·líniques*. Tesi Doctoral. Universitat de Barcelona.
- Ritchie, J.C. 1984. Analyse pollinique de sédiments holocènes supérieurs des Hauts Plateaux du Maghreb oriental. *Pollen et Spores*, 26 (3-4): 489-496.
- Ros, M. T. 1984. Análisis antracológico del poblado talayótico de Son Fornés (Mallorca). Son Fornés I: La Fase Talayótica. *Ensayo de reconstrucción socio-económica de una comunidad prehistórica de la isla de Mallorca*. Pp. 136-137. P. Gasull, P., V. Lull i M.E. Sanahuja (Ed.) BAR International Series, 209. Oxford University Press.
- Sánchez, M. F. 1993. Criterios de base tafonómica para la interpretación de análisis palinológicos en cueva: el ejemplo de la región cantábrica. Estudios sobre cuaternario. *Medios sedimentarios. Cambios ambientales. Hábitat humano*. M.P. Fumanal i J. Bernabeu, (Ed.) Pp. 117-130. Universitat de València.
- Terral, J.F. 1996. Wild and cultivate olive (*Olea europaea* L.): a new approach to an old problem using inorganic analyses of modern wood and archaeological charcoal. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 91: 383-397.
- Triat-Laval, H. 1979. Histoire de la forêt provençale depuis 15000 ans d'après l'analyse pollinique. *Forêt méditerranéenne*, t1. 19-24.
- Vázquez, A., Zamarreño, I., Reyes, E. i Linares, J. 1991. Late Quaternary climatic changes on the southwestern Balearic slope (Western Mediterranean): isotopic, faunal, and mineralogical relationships. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoclimatology*, 81: 215-227.
- Vernet, J. L. 1997. *L'homme et la forêt médite-*

- ranéenne de la Préhistoire à nos jours. Editions Errance, Paris.
- Viñals, M. J., Belluomini, G., Fumanal, M. P., Dupré, M., Usera, J., Mestres, J., i Manfra, L. 1993. Rasgos paleoambientales en la Bahía de Xàbia (Alicante). In: *Estudios sobre el Cuaternario* (M.P. Fumanal, i J. Bernabeu, Eds.): 107-114. Universitat de València.
- Waldren, W. H. 1982. A preliminary palynological report from the Muleta Cave Deposit. *Balearic Prehistoric Ecology and Culture*. Part II: 539-545. BAR International Series, 149(II). Oxford.
- Yll, E.I. 1984. Anàlisi polínic del poblado talayòtic de Son Fornés (Mallorca). Son Fornés I: La Fase Talayòtica. *Ensayo de reconstrucción socio-económica de una comunidad prehistórica de la isla de Mallorca*. Pp. 133-135. P. Gasull, V. Lull i M. E. Sanahuja. BAR International Series, 209, Oxford.
- Yll, E.I., Pérez-Obiol, R. i Julià, R. 1994. Vegetational change in the Balearic Islands (Spain) during the Holocene. *Historical Biology*, 9: 83-89.
- Yll, E.I., Pérez-Obiol, R., Pantaleón-Cano, J. i Roure, J.M. 1995. Dinámica del paisaje vegetal en la vertiente mediterránea de la Península Ibérica e Islas Baleares desde el Tardiglaciario hasta el presente. In: T. Aleixandre i A. Pérez (Eds.) *Reconstrucción de paleoambientes y cambios climáticos durante el Cuaternario*. Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Madrid: pp. 319-328
- Yll, E.I., Pérez-Obiol, R., Pantaleón-Cano, J. i Roure, J.M. 1997. Palynological evidence for climatic change and human activity during the Holocene on Minorca (Balearic Islands). *Quaternary Research*, 48: 339-347.



*PER UN MUSEU DE LA
NATURALES A CIUTAT*

Evidències geomorfològiques dels canvis del nivell marí

Francesc GRÀCIA, Bernat CLAMOR, Robert LANDRETH, Damià VICENS i
Peter WATKINSON

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Gràcia, F., Clamor, B., Landreth, R., Vicens, D. i Watkinson, P. 2001. Evidències geomorfològiques dels canvis del nivell marí. In: Pons, G.X. i Guijarro, J.A. (Eds.): *El canvi climàtic: passat, present i futur*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 9: 91-119. ISBN: 84-87818-34-X. Palma de Mallorca.

Els canvis climàtics succeïts al llarg del Quaternari han ocasionat variacions del nivell de la mar, amb la conseqüent modificació de la línia de costa. La configuració i extensió de les terres emergides estan en funció d'aquestes oscil·lacions glacioeustàtiques que repercuteixen també en la dinàmica dels ecosistemes insulars. Diverses evidències geomorfològiques d'aquests episodis transgressius i regressius han quedat enregistrades al litoral, tant per damunt com per davall de l'actual nivell marí. En aquest treball es passa revista a moltes d'aquestes proves dels canvis climàtics, que en sí mateixes formen part del nostre paisatge litoral, tant del que és visible a l'exterior, com del que roman amagat sota les aigües de la mar o a l'interior d'espectaculars cavitats càrstiques.

Paraules clau: *Quaternari, paleogeografia, geomorfologies, canvis del nivell de la mar.*

GEOMORPHOLOGICAL EVIDENCES OF SEA LEVEL CHANGES. Climatic changes during the Quaternary have led to sea-level changes and consequently to changes in the coast line. The shape and size of emerged lands are directly related to glacio-eustatic oscillations which also effect the dynamics of insular ecosystems. Diverse geomorphological evidence of these transgressive and regressive episodes have been recorded along the coast, both above and below the current sea-level. In this paper, many of the proves for these climatic changes, which in themselves form part of the island's seascape, are looked at. These proves can be seen on the surface, under the sea, and inside spectacular karstic caves.

Keywords: *Quaternary, palaeogeography, geomorphology, sea-level changes.*

Francesc GRÀCIA: Grup Nord de Mallorca. Pollença i Societat d'Història Natural de les Balears. Estudi General Lul·lià. Sant Roc 4. E-07001 Palma de Mallorca; Bernat CLAMOR i Robert LANDRETH: Grup Nord de Mallorca. Pollença; Damià VICENS: Secció d'Espeleologia del Grup Excursionista de Mallorca. Palma de Mallorca i Societat d'Història Natural de les Balears. Estudi General Lul·lià. Sant Roc 4. E-07001 Palma de Mallorca i Peter WATKINSON: Grup Nord de Mallorca. Pollença.

Introducció

L'estudi del Quaternari marí de Mallorca des del punt de vista estratigràfic, morfològic i paleontològic porta ja una llarga trajectòria, gràcies a les nombroses publicacions de diversos investigadors (Butzer i Cuerda, 1962; Butzer, 1975; Cuerda, 1975; Cuerda i Sacarès, 1992; Pomar i Cuerda, 1979, entre d'altres).

Molt abundants són també els estudis d'interacció entre la dinàmica marina i les cavitats litorals. Són nombrosos els dipòsits d'eolianites plistocèniques descrits a l'interior de coves de la costa, que de vegades recobren o són recoberts per precipitats litoquímics (e.g., Ginés *et al.*, 1975; Gràcia *et al.*, 1997; 1998a). Aquest camp de recerca permet investigar les interferències entre endocarst i litoral i interpretar-les cronològicament i morfogènica (Ginés, 2000).

La investigació sobre datacions absolutes d'espeleotemes indicadors de paleonivells freàtics presents dins cavitats litorals va suposar un avanç qualitatiu de primer ordre per situar cronològicament diferents nivell marins (Henning *et al.*, 1981; Ginés, 2000; Ginés i Ginés, 1989; 1993a; 1993b; Pomar, 1987; Tuccimei *et al.*, 1997; 1998; 2000; Vesica *et al.*, 2000).

Hi ha hagut ja qualque assaig per recopilar les evidències geomorfològiques dels canvis del nivell marí, tant del punt de vista estrictament marí com càrstic (Cuerda, 1975; Gràcia i Vicens, 1998).

Les oscil·lacions del nivell marí

La costa és la frontera que separa el domini marí del terrestre i ha estat afectada al llarg dels temps geològics per diversos factors que han conduït a un canvi posicional d'aquest límit. Es tracta per tant d'una delimitació dinàmica, que determina importants implicacions geogràfiques i biològiques.

Una de les causes que provoquen la variació del nivell marí és el canvi climàtic. Al llarg de l'era Quaternària s'han produït

cinc períodes de fred anomenats glaciacions, separats per períodes interglacials de clima càlid o bé temperat. Tanmateix aquesta és una visió simplista de la realitat, ja que es té constància de l'existència de fluctuacions climàtiques menors que es superposen als períodes anteriors.

Les variacions climàtiques produeixen importants alteracions en l'extensió de les plaques de gel polars i de les glaceres, variant en gran quantitat el volum d'aigua gelada, que es tradueix en una major o menor disposició d'aigua líquida a la mar, i per tant en una diferència del nivell marí. Com a conseqüència d'aquest procés glacioeustàtic (a més d'altres factors) en els cicles freds el nivell de la mar va descendir fins uns 130 m per davall de l'actual nivell marí (durant les darreres glaciacions del Riss i del Würm que han estat les més intenses del Quaternari), mentre que en els períodes càlids la transgressió assolía uns +90 m i sembla que els nivells màxims de cada interglacial d'ençà del Plistocè inferior han disminuït progressivament fins a situar-se lleugerament per damunt de l'actual nivell marí durant el darrer interglacial Riss-Würm (Fig. 1).

Degut a altres causes que provoquen eustasia i que se superposen a les causes climàtiques (variacions en el geoide, moviments geològics verticals, variacions en la capacitat de les conques oceàniques, etc) no es poden generalitzar per tota la Terra els estudis locals de canvis del nivell marí, per la qual cosa no queda més solució que efectuar models vàlids a escala local o regional, que serveixen per estudiar les variacions glacioeustàtiques de zones determinades. Ni tan sols pel conjunt de la Mediterrània es poden efectuar generalitzacions, ja que a diferents llocs es dedueixen variacions altitudinals molt importants entre evidències coetànies, això és degut a reajustaments tectònics produïts al llarg del Quaternari.

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

el litoral que serveixen per tenir constància d'aquestes variacions en el nivell de la mar (Fig. 2). El fet de que Mallorca tectònicament ha restat relativament estable, sobre tot al Plistocè superior, remarca la importància de l'estudi d'aquestes empremtes.

Repercussions paleogeogràfiques

A partir de les dades d'alçada del nivell marí assolit durant les regressions i transgressions, és fàcil reconstruir mitjançant un mapa topogràfic la configuració geogràfica de les Balears en cada moment climàtic (Fig. 1).

Les més grans davallades de la mar feren que Mallorca, Menorca, subarxipèlag de Cabrera, Dragonera i altres illots s'unissin formant la Gran Gimnèsia que comprenia també les actuals extensions del canal de Menorca, les badies i part de les plataformes continentals. Aquesta illa tenia una extensió aproximada de devers 9.600 km², molt en comparació amb els 3.640 km² de la Mallorca actual o els 4.360 km² del conjunt de les Gimnèsies. Mentrestant Eivissa, Formentera i illots adjacents s'uniren formant la Gran Pitiüsa, de devers 2.000 km², respecte als 623 km² actuals de les dues illes sumades.

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

Repercussions biològiques

El fet de que les condicions climàtiques d'un àrea no restin invariables al llarg del temps condiciona i modifica les distribucions de les espècies, segons la capacitat adaptativa que presentin. A les Balears, les regressions de la fauna i flora terrestre no podien superar la superfície insular i moltes espècies s'extin-

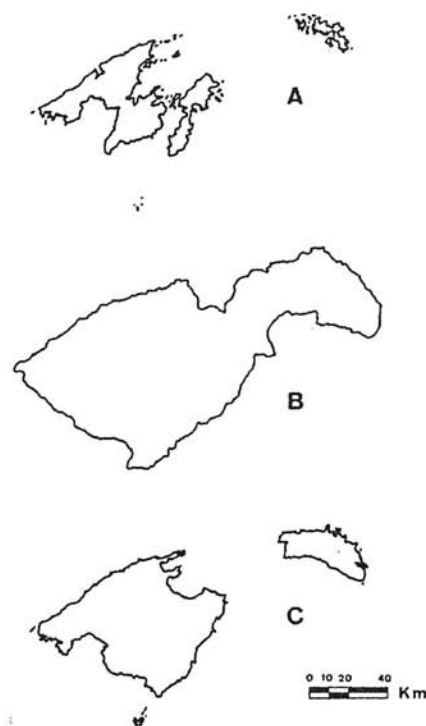


Fig. 1. Configuració geogràfica aproximada de les Gimnèsies al llarg del Quaternari: A) Màxima transgressió al Plistocè inferior; B) Màxima regressió al Plistocè superior i formació de la Gran Gimnèsia; C) Distribució actual de les terres emergides.

Fig. 1. Approximate geographic configuration of Mallorca and Minorca during the Quaternary: A) Maximum transgression during the Lower Pleistocene. B) Maximum regression during the Upper Pleistocene and the formation of the Gran Gimnèsia. C) Current distribution of the emerged lands.

giren. Van estar sotmeses a fortes variacions climàtiques, així segons Rose *et al.* (1999), estimen en 4,9°C la temperatura mitja anual a Mallorca durant la darrera glaciació, respecte dels 17°C actuals. Per altra banda suggereixen una temperatura mitja anual de 19,2°C pel període interglacial Riss-Würm (estadi isotòpic 5e).

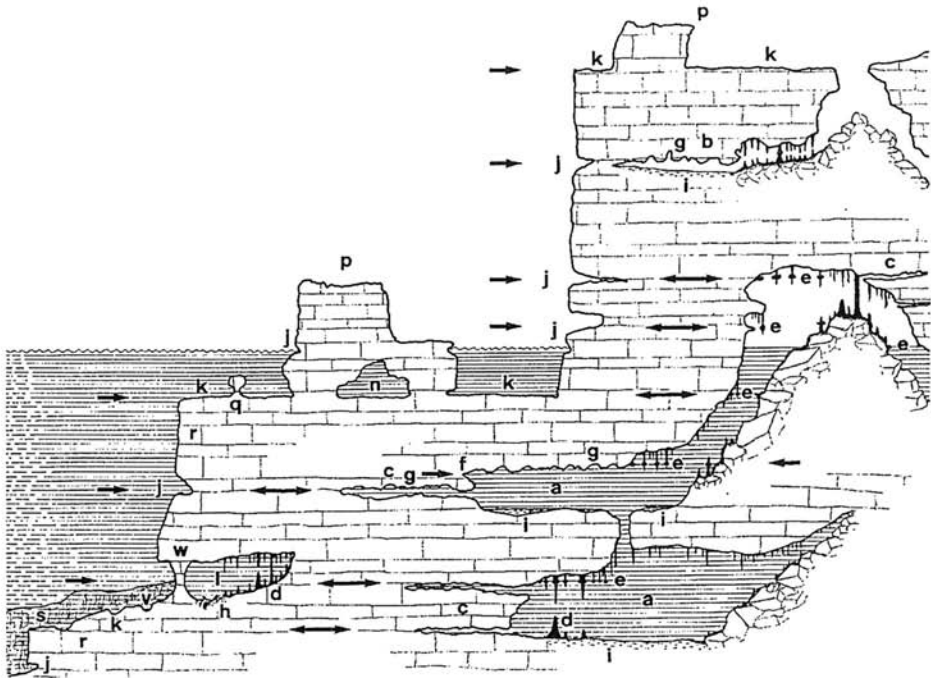
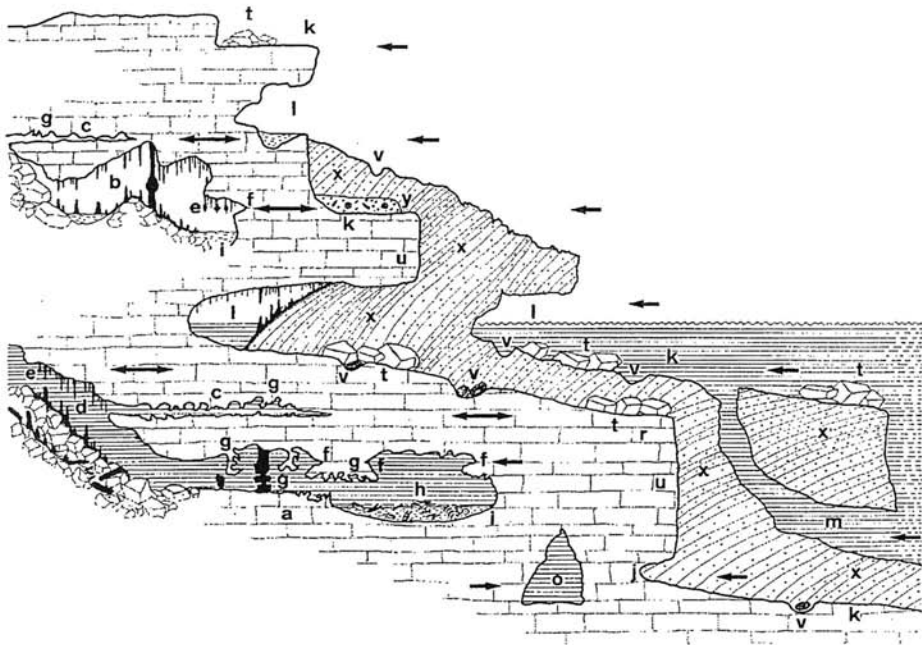


Fig. 2. Recopilació idealitzada de les principals evidències geomorfològiques dels nivells marins: a) Cavitats freàtiques inundades; b) Cavitats freàtiques fòssils; c) Galeries iniciadores; d) Espeleotemes submergits; e) Espeleotemes indicadors de paleonivells freàtics; f) Regates de corrosió; g) Morfologies de corrosió; h) Presència de fòssils quaternaris dins les cavitats inundades; i) Presència de varves; j) viseres; k) Plataformes; l) Coves d'abrasió marina; m) Bufadors; n) Arcs; o) Túnel; p) Farallons; q) Pedestals; r) Caps rocosos; s) Canyons submarins; t) Camps de blocs; u) Paleopenya-segats; v) Marmites de gegant; w) Columnes d'abrasió; x) Dunes fòssils adossades; y) Jaciments fòssilífers. Les fletxes indiquen antics nivells de la mar. *Fig. 2. Idealised collection of the main geomorphologic evidence for sea-level changes: a) Flooded phreatic caves. b) Fossil phreatic caves. c) Geomorphic stable galleries. d) Submerged speleothems. e) Phreatic paleolevel indicators on speleothems. f) Water-level notch marks. g) Corrosion morphologies. h) Presence of Quaternary fossils in non-inundated caves. i) Presence of varves. j) Notches. k) Platforms. l) Marine abrasion caves. m) Blowholes. n) Arches. o) Tunnels. p) Rocky peak. q) Pedestal. r) Headland. s) Submarine canyons. t) Fields of loose blocks. u) Paleocliffs. w) Potholes. w) Abrasion columns. x) Fossil dune ramps. y) Sites with fossils. The arrows show previous sea-levels.*

Molts dels vegetals i animals que en el present es troben restringits dins àrees molt confinades (torrents, cavitats, cims, etc.) ocupaven un àrea major en el passat i actualment són testimonis d'antérieurs condicions climàtiques més favorables per a aquestes espècies.

Durant els períodes de fred més intens, coincidint amb les màximes regressions marines (més de 100 m), la totalitat de les illes i illots actuals quedaren units (Fig. 1). Llavors totes les faunes i flores de la Gran

Gimnèsia es mesclaren i homogeneïtzaren; el mateix passà a la Gran Pitiüsa. Però entre la Gran Gimnèsia i la Gran Pitiüsa romanien un canal marí de més de 70 km, infranquejable per a la fauna terrestre, per la qual cosa les espècies de la Gran Gimnèsia i de la Gran Pitiüsa evolucionaren independentment les unes de les altres. Les faunes i les flores d'aquests dos grups d'illes eren ben distints, degut a que tenien una història paleogeogràfica diferent.



La posició altimètrica de la mar determina l'aïllament o la connexió de zones geogràfiques que poden esdevenir illots durant alguns milers d'anys; en aquestes condicions d'aïllament de poblacions separades de la resta es dona un procés de diferenciació i formació de races i subespècies i, si l'aïllament persisteix, d'espècies noves. Únicament afecta els éssers vius que tenen problemes de connexió genètica (com per exemple: rèptils, coleòpters àpters, mol·luscs terrestres, etc.).

Evidències geomorfològiques

Algunes morfologies geològiques constitueixen molt bones visualitzacions d'antics nivells de la mar, ja que s'han format per l'acció de les onades. Es poden complementar i reforçar mútuament diferents tipus d'evidències (Fig. 2). Algunes d'elles han pogut ésser situades cronològicament mitjançant mètodes de datació absoluta, d'altres es poden arribar a enquadrar dins un període

de temps determinat per datació relativa. Tanmateix en molts casos ni tan sols s'han generat durant un únic nivell de la mar, si no que s'han format al llarg de diferents períodes que han anat modificant la morfologia primigènia.

Es poden establir correlacions altimètriques, entre etapes concretes d'algunes cavitats càrstiques i paleolinies de la costa. En moltes de les cavitats litorals és possible observar qualche tipus d'interferència entre el modelat càrstic i la morfogènesi costera.

EVIDÈNCIES CÀRSTIQUES

Hi ha una forta dependència entre l'evolució de l'endocarst costaner i les oscil·lacions del nivell marí. Pel fet de que geològicament Mallorca és una illa constituïda majoritàriament per roques calcàries determina que el modelat càrstic sigui molt important. La dissolució i precipitació de la roca a

l'interior de les masses calcàries està molt afectada per la influència del nivell marí.

D'ESPELEOGÈNESI

El nivell de base al qual s'ajusta el nivell de les aigües subterrànies litorals és el nivell marí. A la zona freàtica de les zones càrstiques litorals tenen lloc processos de mescla d'aigües marines i continentals, els quals potencien l'actuació dels mecanismes espeleogenètics a causa de l'agressivitat resultant d'aquests processos geoquímics (Back *et al.*, 1984; Plummer, 1975). Per tant, es produeix l'excavació preferent de conductes i galeries endocàrstiques, que possibiliten en ocasions reconèixer horitzons espeleogenètics relacionats amb paleonivells marins plistocènics (Myroie i Carew, 1988; Proctor, 1988). El nivell de base marí controla també la posició tridimensional de la lent d'aigües subterrànies continentals i de les zones de drenatge d'aquestes aigües freàtiques (Grodzicki, 1985; Lowry i Jennings, 1974). A partir d'estudis realitzats a les Bahames, Myroie i Carew (1988; 2000) diferencien dues zones espeleogenèticament principals: la zona de l'haloclina (zona de contacte o interfase entre l'aigua dolça superior, menys densa i l'aigua marina, inferior per esser més densa) i la zona epifreàtica, on es barregen les aigües d'infiltració vadoses i les aigües freàtiques, dotades de diferents continguts de CO₂.

L'evolució vadosa que han sofert les cavitats càrstiques és la responsable de la transformació de molts dels conductes primigenis (galeries iniciadores), evidències morfològiques lligades a les primeres etapes de l'espeleogènesi (Ginés i Ginés, 1992; Ginés, 1995). Cal relacionar nivells preferents d'espeleogènesi amb antics nivells marins (Fig. 2).

Sembla que les fases més actives de corrosió degueren produir-se en el Plistocè inferior o bé al Pliocè.

a) Cavitats freàtiques inundades

Les mateixes cavitats freàtiques són una evidència d'antics nivells de la Medi-

terrània, ja que aquestes coves litorals es formen a la zona de barreja de les aigües dolça i salada i, per tant, és òbvia la seva relació amb els nivells de base responsables de la carstificació. L'evolució, especialment en condicions vadoses, fan que totalment o bé parcialment estiguin modificades pel creixement gravitacional; per tant és precís analitzar les galeries que no s'han vist molt modificades en alçària respecte al nivell inicial de formació (galeries iniciadores). La darrera pujada del nivell marí fa que una bona part de les cavitats estigui sota les aigües, inundant fragments de cavitats que havien evolucionat en condicions vadoses. (Fig. 2a)

Les cotes inferiors de les coves estudiades es troben a fondàries de fins a -30 m, respecte de l'actual nivell marí (Gràcia *et al.*, 2000). Teòricament a les cavitats freàtiques inundades, al menys localment, és possible que els processos de corrosió sota les aigües sigui actiu. Exemples d'aquestes coves són: les coves des Drac, les coves dets Hams, la cova des Pont, la cova des Pirata (Manacor), la cova dets Ases, la cova d'en Passol (Felanitx), la cova des Drac de Cala Santanyi (Santanyi).

b) Cavitats freàtiques fòssils

En moltes cavitats d'origen freàtic l'antic nivell responsable de la carstificació es veu alterat perquè la cova va ascendint verticalment per la caiguda dels materials que formen el sostre, provocant el creixement antigrauitacional i volumètric de la cova. D'aquesta manera l'antic sistema de conductes excavats en règim freàtic (galeries iniciadores) se situava per davall de les sales actuals. Aquest procés clàstic pot provocar que la cavitat estigui per complert en sec (cavitats freàtiques fòssils). També la davallada del nivell freàtic per causes climàtiques pot fer que cavitats poc alterades morfològicament i de cota respecte de les galeries iniciadores s'allunyin verticalment de l'aigua, i passin a estar en condicions vadoses, incrementant-se els processos clàstics i litoquímics de llavors ençà; ja no son cavitats actives, encara que una posterior fase climàtica podria tornar a reactivar els processos espeleogenètics de la gruta (Fig. 2b).

La cova des Pont i la cova des Pirata (Manacor) són exemples de cavitats freàtiques prou modificades respecte dels antics conductes que les crearen, però per la seva condició d'estar parcialment inundades no les considerem com a fòssils. La cova Tancada (Alcúdia), les coves d'Artà (Capdepera) i la cova des Moro (Manacor) serveixen d'exemples.

c) Galeries iniciadores

Aquí incloem totes les galeries de corrosió poc alterades per processos clàstics, tant si encara estan sota les aigües (figuren a un apartat anterior com cavitats freàtiques inundades), com si les oscil·lacions climàtiques han deixat les galeries en sec (cavitats freàtiques fòssils). En el primer cas tenim part de les galeries subaquàtiques de la cova des Coll (Portocolom, Felanitx) i de determinades zones de la cova de Cala Varques B (Manacor) i de la cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor). Galeries iniciadores que actualment estan en condicions vadoses són algunes de les galeries de la cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor) i una galeria fòssil de la cova des Drac des Rafal des Pores (Santanyí) en principi dins materials poc propicis del complex terminal; els conductes laberíntics de la cova Figuera (Manacor) també n'estarien inclosos.

Són formes endocàrstiques molt interessants com a evidències d'antics nivells freàtics, ja que determinen cotes d'espeleogènesi. (Fig. 2c)

DE PRECIPITACIÓ

L'estalagmitització aèria ofereix àmplies perspectives de datació radiomètrica, que permet documentar amb precisió les fases principals de precipitació vadosa de carbonats, permetent endemés determinar l'edat dels sediments i de diversos processos recoberts per les colades estalagmítiques datades (Ginés, 2000).

a) Presència d'espeleotemes a les cavitats subaquàtiques litorals

La major part dels espeleotemes (estalactites, estalagmites, columnes, colades, etc.)

no es poden formar sota l'aigua; és necessari tenir unes condicions aèries perquè es puguin formar. La presència d'aquests dipòsits de precipitació química a les cavitats submarines o a les cavitats litorals inundades, tant si són d'origen marí com formades per la mescla d'aigües en condicions freàtiques, ens demostren que es varen formar en condicions vadoses, durant períodes més freds que l'actual, amb el nivell de la mar, i per consegüent el nivell freàtic, per sota d'aquestes formacions (Fig. 2d). De llavors ençà un altre canvi climàtic els va donar la condició actual de subaquàtiques. Pertanyen per tant a episodis regressius del Mediterrani.

b) Espeleotemes indicadors de nivells freàtics

Els canvis altimètrics en la situació de la línia de costa queden de vegades enregistrats a l'interior de les coves càrstiques. A la superfície dels calmats llacs de les cavitats litorals es produeix la precipitació del carbonat càlcic sobre espeleotemes aeris o a les voreres dels llacs, i s'hi forma un engrossiment característic, de vegades espectacular, tant per les mides com per la bellesa i varietat de formes que poden assolir. Mitjançant programes de datació absoluta s'han pogut datar aquests revestiments (Henning *et al.*, 1981; Ginés i Ginés, 1993b; Tuccimei *et al.*, 1998; 2000). En el cas de Mallorca s'han constatat nombrosos espeleotemes amb paleonivells situats entre l'actual nivell de la mar i la cota de +40 m, i s'han correlacionat altimètricament i cronològicament amb les antigues línies de costa del Plistocè mitjà i superior reconegudes mitjançant la resta d'evidències (Fig. 2e).

Actualment s'estudia la troballa de paleonivells per sota del nivell de la mar fins als -23 m. Les cotes se situen entre -1,5 i -23 m; són especialment abundants les alineacions d'aquests espeleotemes a profunditats entre -13 i -17 m, provinents d'episodis freds, d'edats compreses entre 63,7 i més de 350 ka, relacionant-se amb els estadis isotòpics 4, 6, 7 i 8, així com als subestadis 5b, 5d i 5e. Algunes mostres aporten edats superiors als 350 ka, corresponent com a mínim a l'estadi isotòpic 9 (Fig. 3).

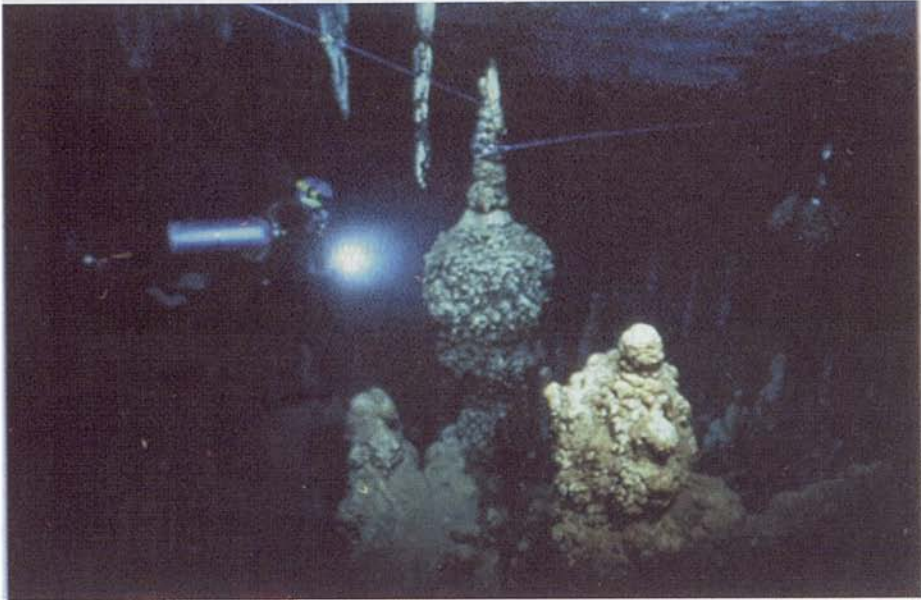


Fig. 3. Espeleotemes de la cova de sa Gleda (Manacor). Aquestes concrecions es varen formar en condicions vadoses. Es pot apreciar sobre algunes estalagmites un sobrecreixement freàtic espectacular (enfrent de l'espeleobussejador), es tracta d'un paleonivell regressiu localitzat a -15 m, indicador d'una pulsació climàtica de caràcter fred. Foto O. Espinasa.

Fig. 3. Speleothems in the Cova de sa Gleda (Manacor). These were formed under vadose conditions. On some stalagmites some impressive phreatic overgrowths (in front of the cave diver) can be seen, they belong to a regressive paleolevel at -15m, and indicate a cold pulsation. Photo O. Espinasa.

La tònica actual observable a les aigües superficials dels llacs de les cavitats litorals és la sobresaturació, responsable de la continuïtat en l'engrossiment característic i en la formació de làmines de calcita flotant.

DE CORROSIÓ

Les activitats d'espeleobusseig realitzades en nombroses coves de Mallorca (Gràcia et al., 1997, 1998a, 1998b, 2000) posen de relleu l'existència en profunditat, d'horitzons hídrics en els quals predomina la dissolució. Aquests estan relacionats preferentment amb les zones de mescla, les quals es diferencien amb facilitat per la terbolesa que aquests processos otorguen a la visibilitat subaquàtica. Els horitzons de dissolució, associats a l'interfase actual a la zona de mescla afecten tant als materials calcarenítics neògens i materials plegats mesozòics com a tot tipus d'espeleo-

temes submergits sota les aigües de les cavitats.

a) Regates de corrosió freàtica

Són solcs anivellats a les parets de roca, que s'han format per la corrosió a nivell de superfície de l'aigua, i per tant indiquen el nivell freàtic que les va generar; ja que el nivell dels llacs hipogeu es troba en relació amb el nivell de la mar (Fig. 2f).

La presència de regates de corrosió en cavitats litorals de Mallorca està poc documentat. Se n'han trobat a la cova des Coll aproximadament a uns -3 m respecte del nivell actual de la mar (Fig. 4), estan associats amb les morfologies anomenades "pentinades de roca" (Gràcia et al., 1997); també estan citats a la cova des Moro a +23,5 i +23,9 m (Trias, 2000).



Fig. 4. Regata de corrosió a una galeria de la cova des Coll (Felanitx). Aquesta menjada a la paret representa un nivell de dissolució epifreàtic antic, associat amb les morfologies de corrosió anomenades "pentinades de roca", que es desenvolupen per davall de la regata i sembla que poden haver-se format a conseqüència de cèl·lules de convecció generades per diferències locals de densitat. Foto O. Espinasa.

Fig. 4. Water-level notches in a gallery in the Cova des Coll (Felanitx). These represent a previous epiphreatic dissolution, and are associated with corrosion morphologies called "pentinades de roca", which develop above the notches and their formation is believed to be due to pockets of convection generated by local differences in density. Photo O. Espinasa.

Aquestes morfologies impliquen que a la superfície dels llacs hipogeu predominaria la dissolució per estar subsaturats.

b) Morfologies de corrosió

Encara que la seva presència a les parets i sòtils de les galeries i sales no determinen per si mateixes la superfície del nivell freàtic assolit (exceptuant les regates de corrosió), si que, en el cas de presentar-se, proven el fet d'haver estat exposades sota les aigües corrosives (Fig. 2g). La documentació que es disposa sobre elles és encara escassa (Gràcia *et al.*, 1997; 1998a; 1998b; 2000; Merino, 1993; 2000).

c) Corrosió d'espeleotemes sota les aigües

També els espeleotemes es veuen afectats per les aigües agressives (Gràcia *et al.*, 1997; 1998a; 1998b; 2000). Molts indrets de les cavitats inundades tenen les formacions litoquímiques amb un altíssim grau de corrosió, que gairebé ha esborrat tot vestigi del recobriment secundari que ha descomparat dissolt per l'aigua. Aquest fet proporciona la informació de certa activitat espeleogenètica a la cavitat, ja que com a mínim ha dissolt importants rebli-

ments de massissos estalagmítics degut a una nova transgressió marina.

d) Corrosió diferencial dels fòssils respecte de la roca mare

Conseqüència de la dissolució de la roca i el creixement volumètric per dissolució de la cova és el fet d'afllorar els fòssils respecte de la roca que els conté, en cas d'ésser més resistents a l'efecte corrosiu. Tenen el mateix valor informatiu que les dues evidències anteriors i es presenta associat a elles.

e) Franges horitzontals fosques

Es tracta de franges horitzontals, encara no investigades, normalment de colors foscos, que estan presents a les parets d'algunes cavitats (Gràcia *et al.*, 2000; 2001). Podrien haver-se format, tant a la zona epifreàtica, assenyalant un antic nivell del llac, com a la zona de mescla, indicant en aquest cas un nivell d'haloclines.

DE REOMPLIMENT

a) Presència de fòssils quaternaris terrestres dins les cavitats inundades

Les formes endèmiques dels vertebrats terrestres inclosos a les seqüències sedimentàries d'algunes coves, poden subministrar valuoses dades estratigràfiques que ens informen de vegades de l'evolució geomorfològica de la pròpia cavitat.

L'exploració de galeries subaquàtiques de diferents cavitats litorals ha permès realitzar la troballa d'exemplars de *Myotragus balearicus* dipositats en superfície a profunditats compreses entre els 8 i 14 m. Alguns d'aquests exemplars es troben a gran distància de la boca d'entrada i en posició anatòmica, el que implica que les restes òssies no han estat transportats per corrents o per gravetat (Fig. 2h i 5). Això ens indica que durant pulsacions fredes del Plistocè les galeries romanien seques, al menys parcialment, la qual cosa permetia l'accés terrestre del caprí endèmic a



Fig. 5. Troballa de fòssils de vertebrats endèmics terrestres (*Myotragus balearicus*) a les galeries inundades de la cova d'en Bessó. Aquests animals entraren i moriren dins la cavitat quan aquesta estava en sec, en un cicle climàtic més fred que l'actual. Foto R. Landreth.

*Fig. 5. Fossil find of terrestrial endemic vertebrates (*Myotragus balearicus*) in inundated galleries of the Cova d'en Bessó (Manacor). These animals entered and died inside the cave when it was dry, during a climatic cycle colder than the present. Photo R. Landreth.*

zones internes de les coves, actualment inundades. La seva presència és, per tant, un testimoni afegit d'un clima més gèlid que l'actual (Gràcia *et al.*, 2000; 2001a; 2001b)

b) Presència de fòssils marins de valor geocronològic

Espècies que han viscut en un període limitat de temps ens informen d'una datació relativa i serveixen per realitzar una interpretació geomorfològica. En el cas d'esser indicadors de temperatures determinades ens proporcionen informació del clima imperant en el moment de la sedimentació.

c) Presència de varves, generades sota les aigües

Ens informen de la diposició dels sediments sota l'aigua. Molts d'aquests dipòsits tenen un alt potencial d'estudi (Fig. 2i).

EVIDÈNCIES MARINES

Les línies de costa quaternàries situades per damunt del nivell marí han estat ben estudiades a Mallorca, principalment per part de D Joan Cuerda, excepcional científic i persona. L'illa posseeix gran quantitat de dipòsits marins, molts d'ells fossilífers i compta també amb moltes altres evidències dels antics nivells de la mar (Cuerda, 1975).

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

MORFOLOGIES D'EROSIÓ

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

calcàries i dolomies Mesozoiques plegades (serra de Tramuntana i cap de Menorca; també el litoral dels termes municipals d'Artà i Capdepera que pertanyen a les serres de Llevant).

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

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

Podem trobar un ampli ventall de morfologies d'erosió costanera, sovint associades entre moltes d'elles. El seu interès des del punt de vista climàtic és que permeten corroborar i reconèixer paleonivells marins, és a dir, antigues línies de costa.

Aquestes morfologies poden, emperò haver estat retreballades en diferents moments degut a les constants oscil·lacions positives i negatives de la mar, de forma que és difícil atribuir un únic episodi erosiu a una morfologia d'abradió.

Abundants morfologies d'erosió van esser reportades per Gràcia et al. (1997; 1998), que assenyalen la presència d'abundants coves i plataformes d'abradió marines a una fondària aproximada de -15 m, en el sector de costa proper a Portocolom. Aquestes dades concorden amb les alineacions d'espeleotemes freàtics més freqüents corresponents a estabilitzacions negatives del nivell marí. Durant els darrers 200 ka el nivell marí ha estat situat entre -14 i -16 m un mínim de sis ocasions (Tuccimei et al., 2000; Ginés, 2000). Aquest fet és de molta importància cronològica i interpretativa, ja que permet afirmar que durant aquest lapse temporal la mar ha pogut retraballar successives vegades antigues línies de costa disposades entorn de la mencionada cota de -15 m.

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

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

Per profunditzar sobre el tema cal fer un estudi topogràfic exhaustiu de diferents zones del litoral, on es detallin les cotes de les diferents morfologies d'abradió. En principi la major abundància de cotesistirà en funció de la quantitat de formes conservades i per tant de l'antiguitat, de la possibilitat d'accés (difí-

cil per les fondàries importants) i del temps en que la mar ha estat incidint a uns nivells determinats, així com les litologies que afloren i que són atacades pels fenòmens abrasius.

El que es ben cert és que constitueixen evidències de primer ordre dels canvis climàtics que han afectat la Terra, com a mínim generades d'ençà del Plistocè.

a) Viseres

S'anomenen internacionalment com a *notches*. Són menjades de la roca als penya-segats formats pel socavament de l'erosió marina que marquen la línia de costa al llarg del litoral al formar un petit replà horitzontal (Fig. 2j). La seva mida és centimètrica o mètrica i poden tenir molta extensió o bé únicament estar presents en indrets molt concrets. La part inferior s'acompanya sovint d'un ressalt biogènic generat per algues coral·lines que acumulen carbonat càlcic per algues del gènere *Lithophyllum*, anomenat tenassa (*trottoir*). La presència o absència, o bé la intensitat en què es produeixen està en funció de la fracturació, de la consolidació dels materials que formen el penya-segat i del règim de les onades que afecten al tram de la costa.

b) Plataformes

Són superfícies planes formades arran del nivell de la mar per efecte de l'abradió de les onades; amb un pendent que s'incrementa mar endins (Fig. 2k). La seva longitud és diversa i la plataforma s'amplia a mesura que el penya-segat retrocedeix. Una vegada que la plataforma és suficientment extensa i que les ones perden la major part de l'energia en travessar aquesta franja d'aigües poc profundes, comença a predominar la sedimentació.

c) Coves d'abradió marina

Estan molt sovint relacionades amb plataformes o rases d'abradió plisticèniques (Cuerda, 1975).

Es caracteritzen per tenir l'entrada situada al nivell de la mar, en ocasions de grandària considerable en relació a les dimensions de la resta de la gruta. La mida de la

cavitat sol disminuir progressivament a mesura que es profunditza i habitualment presenta un perfil ascendent cap a la part terminal (Gràcia i Vicens, 1998). A molts d'indrets, però en especial les zones més castigades per l'acció de les ones, presenten la roca arrodonida i pulimentada, juntament amb altres morfologies d'abrasió associades.

Són cavitats d'erosió marina on els processos erosius litorals actuen aprofitant els punts dèbils de la roca, és a dir, fractures, diàclasis, junts d'estratificació, i l'heterogeneïtat dels materials dels penya-segats (Fig. 6, 7 i 8). Generalment són de mides modestes, però n'hi pot haver de mides considerables. En el cas de les formes actives, les aigües marines inunden la meitat inferior del perfil de la cavitat (Fig. 21).

Processos que les afecten, com esbucaments de blocs del sostre, reompliments lito-genètics (formació d'espeleotemes), presència de dunes fòssils a l'interior de moltes de les caverne i el fet que l'abrasió marina aprofita les mateixes discontinuïtats de la roca, fan que en alguns casos sigui difícil esbrinar si es tracta de cavitats amb un origen purament d'erosió litoral, si és una captura càrstico-marina o bé la sortida a la mar d'importants cavitats freàtiques, de vegades separades de la resta del sistema càrstic per esbucaments clàstics.

Algunes d'aquestes grutes presenten històries geomorfològiques complicades, i s'hi alternen moments d'erosió litoral, períodes de sedimentació de materials terrestres com dunes, llims, bretxes, etc., formació d'espeleotemes i èpoques en què es troben sota l'aigua (Fig. 11, 13 i 14). Les zones atacades per l'erosió de la mar no solen tenir espeleotemes, però sí als sòtils alts, o bé a les cambres aèries internes, poc o gens afectades per l'acció de les ones.

Alguns exemples de localitats representatives són: la cova Gran (Felanitx) del litoral postorogènic del Miocè superior llewantí (Ginés, 2000; Gràcia *et al.*, 1997), la cova de s'Embarcador (Capdepera) de les calcàries mesozòiques de les serres de Llevant (Ginés, 2000) i la cova Negra (Pollença) de les roques

calcàries mesozòiques de la serra de Tramuntana (Gràcia *et al.*, 2001); aquesta darrera, gairebé subaquàtica per complert, supera en longitud a les grans i nombroses cavitats marines de la costa Brava de Girona (Badiella *et al.*, 1992) i a les del litoral de Pontevedra (Diz i Ríos, 2001). Més abundants que les cavitats actives i que les situades per damunt del present nivell del Mediterrani són les grutes submarines.

La incidència dels col·lapses paleocàrstics en la gènesi o resistència a la formació de formes d'abrasió es gran, especialment a les roques calcàries del Miocè postorogènic del Llevant de l'illa. Aquestes formacions relictos són buits de dissolució, i per tant de paleocàrstificació produïts a la Unitat d'escull, d'edat Tortoniana, els quals provoquen la deformació i bretxificació del Complex terminal suprajacent, d'edat Messiniana (Pomar *et al.*, 1983a; Fornós i Pomar, 1983). L'existència d'aquests col·lapses té repercussions en la formació de coves d'abrasió marina, segons la major o menor cohesió, principalment en funció del grau de cementació, dels materials bretxats del complex terminal que formen el col·lapse. En el cas de la cova Gran, la zona central és més dèbil i ha constituït lloc d'erosió preferent i ha format la cavitat (Fig. 7). En altres zones, per exemple entre Mondragó i s'Estret des Temps, a Santanyí els cossos centrals de les xemeneies centrals estan fortament cimentats de forma que el seu comportament front de l'erosió marina és del tot contraposta al cas anterior, és una zona de resistència i l'acció erosiva se concentra als costats de l'estructura, formant dues cavitats d'abrasió (Ginés, 2000). Les grans alçades que presenta el sostre fa que puguin haver estat actives durant estadis anteriors inclòs al 7.

Per esfondrament, el sostre de la caverna pot arribar a formar cales estretes i allargades, o entrades moderades i amples, en funció de les dimensions de l'antiga cavitat.

d) Bufadors

Aquesta espectacular morfologia és el resultat de l'acció conjunta de l'erosió

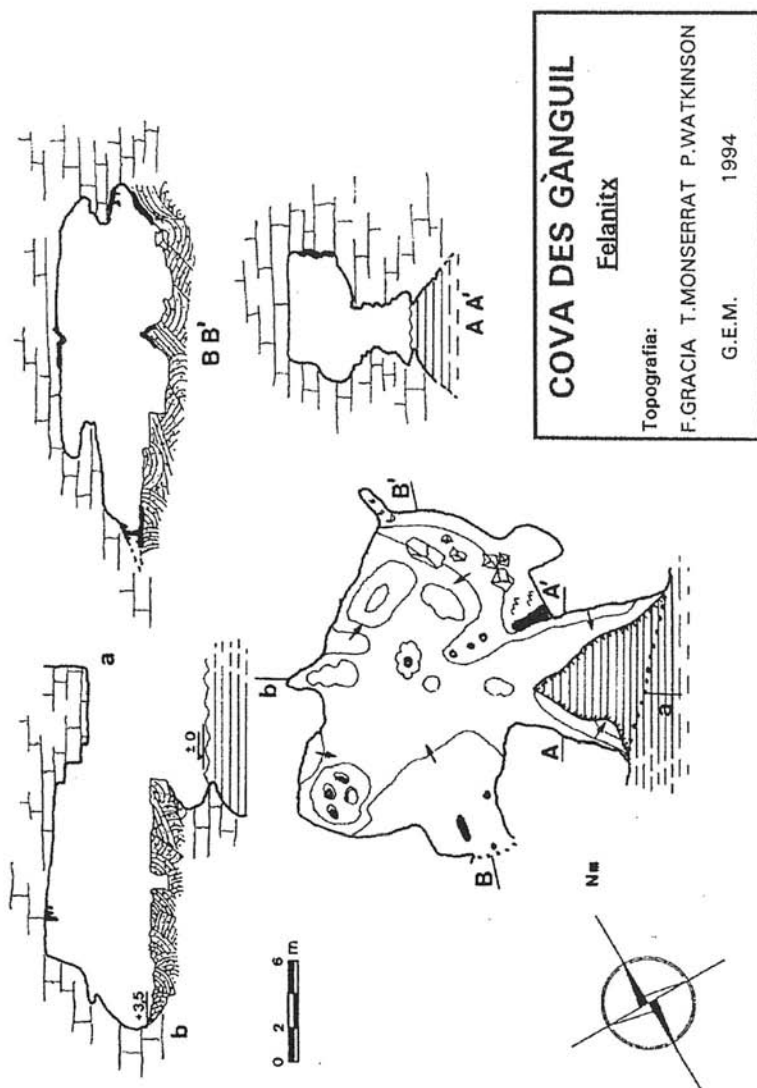


Fig. 6. Topografia de la cova des Gànguil (Portocolom, Felanitx). Cavitat d'abrasió marina de dimensions modestes. La mar hi entra parcialment i un resalt de 3 m ens porta a una antiga plataforma d'abrasió, feta sobre eolianites (secció ab). Sobre les dunes fòssils s'aprecien marmites de gegant que encara conserven algunes de les pedres arrodonides que les formaren. Diverses concrecions estalagmítiques recobreixen les eolianites parcialment (secció BB').

Fig. 6. Survey of the Cova des Gànguil (Portocolom, Felanitx). Marine abrasion cave of modest dimensions. The sea has partially entered into the cave and a 3-metre drop leads to a old abrasion platform, lying on eolianites (section ab). On the fossil dunes can be seen potholes, and some of these still retain the rounded boulder that formed them. Diverse speleothems have partially covered the eolianites (section BB').

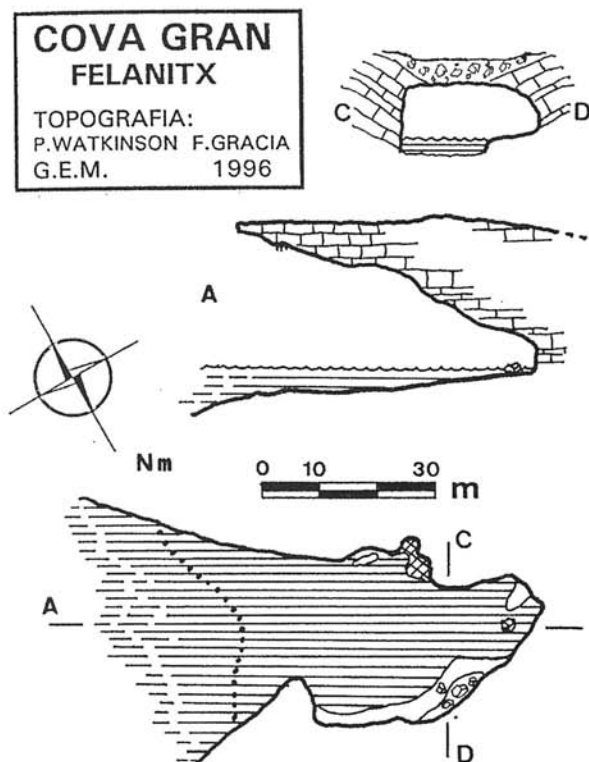


Fig. 7. Topografia de la cova Gran (Portocolom, Felanitx), cavitat d'abrasió marina activa, de típic perfil ascendent, relacionada amb el paleocarsst. És un excel·lent exemple d'erosió diferencial que aprofita un reompliment menys cementat que la roca que el conté.
 Fig. 7. Survey of Cova Gran (Portocolom, Felanitx), active marine abrasion cave, with a typical downward profile, it is related with paleokarst. It is an excellent example of differential erosion that takes advantage of a poorly cemented infilling.

mecànica de les onades i la compressió de l'aire dins les cavitats d'abrasió marina. L'acció erosiva es concentra a la part interna, juntament amb l'efecte pneumàtic dels temporals, que ocasiona un augment de la pressió de l'aire atrapat a l'interior de la cavitat i provoca l'obertura de la volta cap a l'exterior.

D'aquesta manera s'obtenen dues boques: una de marina, cronològicament anterior, generalment de mida major, i una altra de superior, d'accés vertical i de dimensions menors, que es presenta a la part superior dels

penya-segats (Fig. 2m). En ampliar-se la segona entrada o bufador, queda únicament un pont de roca que és el que resta del sòtil de la cavitat. Seria l'estadi previ al total desmantellament de l'antiga cova d'abrasió. Posteriorment es forma un petit entrant que determina un retrocés de la línia de costa i una interiorització de l'efecte erosiu de la mar cap a l'interior del penya-segat, de manera que augmenta la superfície d'atac de les ones. És als terrenys neògens de les plataformes del migjorn i del llevant on s'observen molt bé aquestes formacions. El nom de la morfologia prové de l'aigua que surt del bufador i es dispersa per l'aire els dies de temporal cada cop que una ona romp dins la gruta. Alguns bufadors estan situats per damunt de la mar actual, de forma que estan prou alts perquè surti aigua, però si dins la cova marina encara se comprimeix l'aire, aquest surt a pressió pel forat superior.

Tenim molts exemples de bufadors que han esdevinguts submarins, com és el cas de la cova de Cala Sant Vicenç, amb una entrada submarina a

-30 m i sortida a -11 m de fondària.

e) Arcs

Són el resultat de l'erosió diferencial en funció de la disposició estructural dels materials i de la litologia. De vegades es produeixen pel desmantellament dels materials fluïdors envoltats per roques més dures o compactes, però no és una condició del tot necessària. Normalment es poden formar a partir d'algunes fractures i junts d'estratificació, que aprofita l'erosió en llocs geogràfics especialment

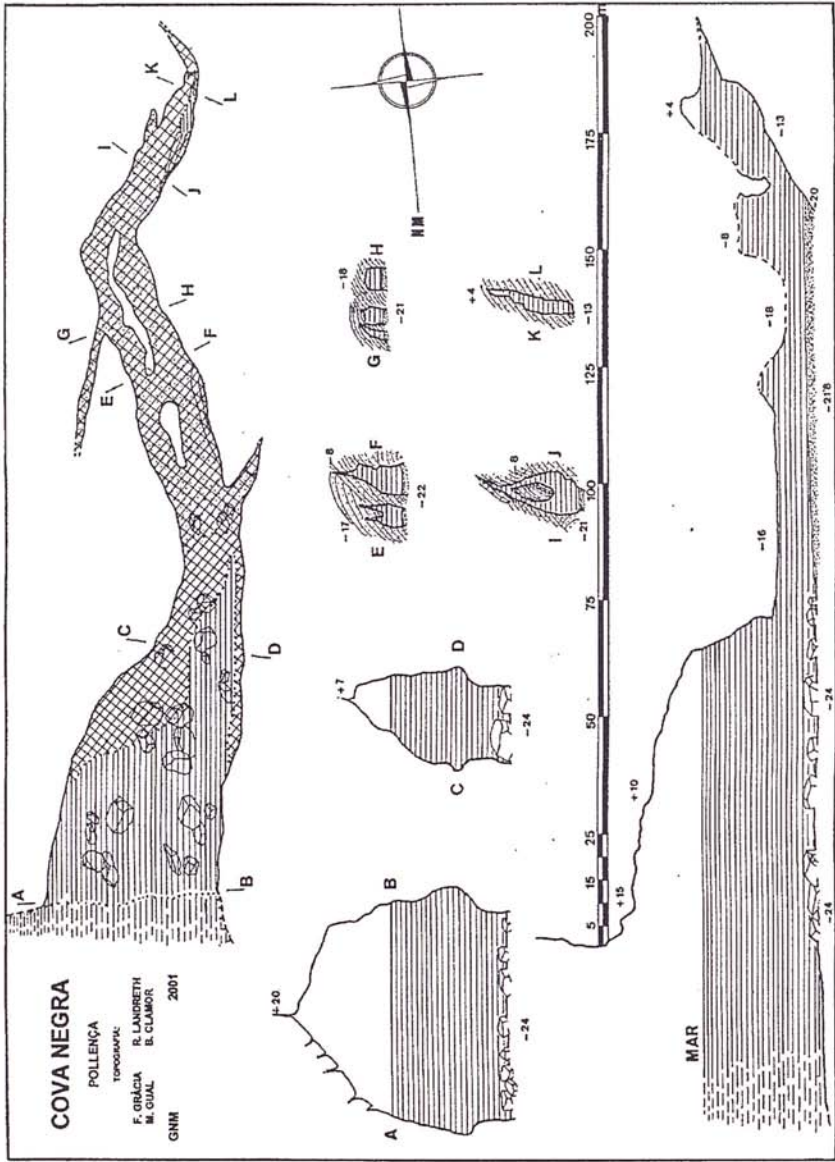


Fig. 8. La cova Negra (cap de Catalunya, Pollença). Cavitat d'abradió marina de 200 m de longitud (la de major distància lineal que tenim constància a Mallorca). Aquestes considerables dimensions es deuen a l'aprofitament de fractures verticals de la roca per engrandir-se. L'erosió ha generat dos caps o promontoris submarins que flanquegen la cova. Presenta eolianites al seu interior molt afectades per l'abradió marina.

Fig. 8. Cova Negra (Cap de Catalunya, Pollença). Marine abrasion cave over 200 m long (the longest known on Mallorca). This considerable dimension is due to vertical fractures. Erosion has produced two submarine promontories that flank the cave. Eolianites are present in its interior heavily affected by marine abrasion.

indicats. Estan localitzats als llocs on l'acció de les ones és, o va ser, més intensa (Fig. 2n). El perllongament d'una cova d'abració marina en una punta geogràfica o la connexió de dues coves d'abració poden formar arcs, de vegades d'una longitud considerable, que reben el nom de túnels (Fig. 2o). Alguns arcs s'han desenvolupat al llarg de diferents períodes de temps, és el cas de les coves de la Seu al litoral de Felanitx, a on dos nivells diferents de la mar creen plataformes d'abració i coves d'abració en principi independents fins que, aprofitant una mateixa fractura, s'arribaren a juntar. La seva evolució posterior pot arribar a convertir l'arc en un illot; aquest fet es demostra en alguns casos per l'observació directa dels blocs de l'antic sostre submergit al fons del freu. També poden acabar produint la fragmentació de l'illot. De fet, alguns illots tenen arcs actualment actius, com ara el famós Pontàs de Santanyí (Fig. 10), o d'altres que han esdevingut subaquàtics, com el Faralló d'en Fred a Felanitx, o el Colomer a Pollença, prova d'una transgressió que els va convertir en submarins (Fig. 9). Els arcs sota l'aigua, a una fondària suficient no se segueixen erosionant de forma tan activa, fora de la influència de l'onatge, fins que les condicions glacioeustàtiques tornen a canviar. També tenim arcs per damunt de l'aigua, no afectats per la influència tan directa de la mar actual - és el cas de la punta de sa Foradada de Deià; són evidències d'antigues transgressions marines seguides d'una regressió que els hi confereix l'aspecte actual.

Els arcs submarins de l'illa de na Corberana (a uns centenars de metres de la Colònia de Sant Jordi) constitueixen un exemple molt didàctic d'aquesta morfologia. Es tracta d'una successió de quatre arcs d'abració que se situen a fondàries progressives, en un cap rocós submergit (la continuació geogràfica submarina de sa Puntassa), entre els -12 i -22 m.

f) Túnels

Venen a ser arcs d'abració però de longitud considerable. També es localitzen molt sovint als caps rocósos, que travessen d'una

banda a l'altra, per tant posseeixen al menys dues entrades situades en extrems oposats (Fig. 2o).

g) Farallons i estaques o agulles

Per evolució d'un arc i si l'arc o pont cau, la porció de promontori separada del terra s'anomena faralló (Fig. 2p). En el cas d'arcs separats de la costa, per esbucament donarien lloc a dos farallons més petits o agulles en cas d'esser més alts que amples. Són

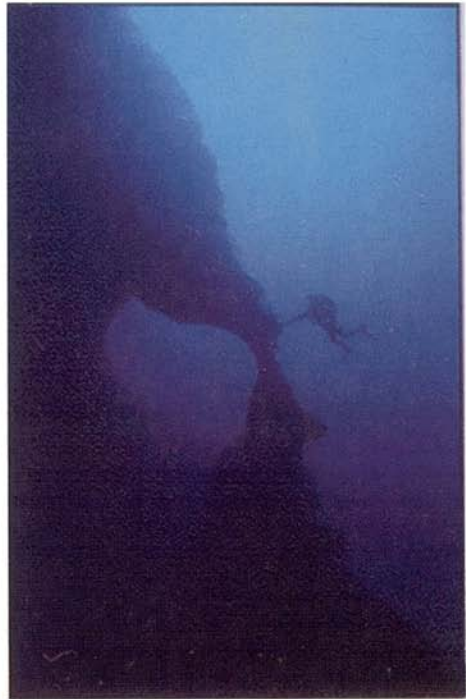


Fig. 9. Arc d'abració inactiu de 9 m de diàmetre a la desembocadura del torrent Fondo, que assenyalat juntament amb altres morfologies una zona d'erosió preferent entre -14 i -20 m. Es localitza al final d'un petit cap rocós i està sostingut per un costat per una columna d'abració. Foto R. Landreth.

Fig. 9. Inactive abrasion arch having a diameter of 9 m at the outlet of the Torrent Fondo, which shows among other morphologies a preferential zone of erosion between -14 and -20 m. It is located at the end of a small headland and is supported on one side by an abrasion column. Photo R. Landreth.



Fig. 10. Faralló que forma un gran arc d'abrasió actiu (Es Pontàs, Santanyi), que per evolució i esfondrament del pont es pot fragmentar en dues agulles. Foto R. Landreth.

Fig. 10. Rocky peak that forms a large and active abrasion arch (Es Pontàs, Santanyi), that because of evolution and collapse of the bridge may become two needles. Photo R. Landreth.

roques de dimensions variables, que sobresurten del nivell de la mar (Fig. 10). Com a geomorfologia submarina es troben molt sovint farallons totalment submergits, no atacats actualment per les onades. També n'hi ha d'inactius com a vestigis d'antics nivells més als del nivell de la mar actual.

h) Pedestals

Són indicadors de paleonivells marins els que presenten forma de bolet, per tenir la base soscavada per l'erosió marina (per vise-

res que els envolten), en moltes d'ocasions s'anomenen familiarment "xampinyons" (Fig. 2q).

i) Caps o Promontoris

Són alçàries de roca, més o menys importants que avancen dins la mar (Fig. 2r). En el cas de tractar-se de caps rocosos baixos s'anomenen llengües rocoses, sovint recobertes per sediments i vegetació. En molts de casos la part superior del promontori pot tractar-se d'una plataforma d'abrasió marina i també la seva base, el que té una important vinculació amb estadis de nivell marí, causants d'aquestes morfologies.

Aquests promontoris submarins es troben molt sovint a les sortides de cales i cavitats, formant perllongacions generades en períodes més freds que els actuals, durant cotes més baixes de la mar. Els propis caps poden tenir marques de nivells diferents, tal com colls que separen un petit faralló submarí de la resta, indicant un antic nivell d'abrasió. Un exemple d'aquesta tipologia es troba al Morro d'en Tià a Cabrera, a on el cap rocós continua fins fondàries de -42 m i a la part superior presenta un coll a -10 m que ens delimita un antic faralló.

j) Canyons o canals submarins

Vall submarina encaixada, de morfologia bastant abrupta, estreta i sovint sinuosa, de vessants molts rostos i de dimensions molt diverses. Moltes vegades parteix com a continuació d'un torrent, una cala o una cavitat marina o submarina. En ocasions s'aprecia que en la seva gènesi hi té relació amb fractures. Aquests canals tenen relació amb l'antiga línia de costa, i actualment són evidències fossilitzades de paleolitorals (Fig. 2s). El seu fons està cobert molt sovint de sediments. En ocasions estan flanquejats per promontoris.

En el Davallador des Carros (cap Enderrocat, Lluçmajor) s'han desenvolupat sobre dunes fòssils, i constitueixen una atractiva combinació de canals submarins de petita mida, perpendiculars a la línia de costa i encaixats entre llengües rocoses, amb una plataforma d'abrasió superior als -6 m.

k) Camps de blocs

Únicament tenen interès com a evidència en els casos de que els blocs no es trobin just al peu de penya-segats, ja que en aquest cas provenen per caiguda gravitacional directa d'ells i no ens informen de zones preferencials d'erosió; així i tot poden subministrar informació si estan dipositats sobre una plataforma d'abrasió que els hagi retriballat en qualche període de temps. Es poden definir com a formació de blocs desordenats de roca trencada de grans dimensions, acumulats desordenadament en un pla horitzontal, a llocs que no corresponen al peu d'un penya-segat, i que s'han dipositat allà per l'acció de les onades (Fig. 2t). A la península de Na Foradada de Deià es troben entre -34 i -38 m (Llamas, 2000), marcant, aproximadament, un nivell d'erosió.

l) Paleopenya-segats

Quasi sempre es presenten associats a plataformes, que limiten inferiorment o superior els penya-segats, però en ocasions les plataformes estan molt desdibuixades i no en canvi un escaló o paret de roca, d'extensió molt diversa, segons si estan enterrats sota una capa de sediments (blocs, col·luvions, al·luvions, dunes o plages fòssils, arenas, etc.), que de vegades formen un pendent suau i fossilitzen totalment o parcial els graons (Fig. 2u).

Se n'han detectats diversos escalons en les proximitats de cala Tuent entre -32 i -36 m i entre -36 i -41 m. També entre -40 i -45 m en el Morro de sa Vaca. En el Munt de cala Castell baixen de -35 a -50 m. Al litoral situat al nord de la Calobra, en els Cingles davallen fins a -54 m. A la Torre d'en Lluc davallen de -24 a -40 m. A la punta Beca dels -25 davalla a -50 m (Llamas, 2000).

m) Marmites de gegant o cocons d'abrasió

Generades per l'excavació que es produeix a la roca subjacent per efecte de la presència d'una a vàries pedres o grans blocs, a les zones on impacten les ones els dies de maror (Fig. 2v). Aquests cocons són de mides molt diverses i es formen al fons rocós en forma de cavitats circulars que poden atènyer alguns metres, tant de fondària com de diàmetre. Es formen pel moviment arremolinat de les pedres arrossegades per l'aigua. El moviment rotatori de desgast produeix unes parets molt suavitzades. Perquè les pedres originals quedin atrapades i comencin a excavar la superfície on es troben, cal que tinguin, o bé un pes suficient o una petita disposició topogràfica favorable que faci de trampa, ja que, en cas de que no hi hagués una d'aquestes condicions, les ones desplaçarien les pedres fora de la marmita. Una vegada començat el procés, aquest s'accelera, i el moviment rotatori o de basculació provoca un enfonsament de la pedra a la vegada que se suavitzava la roca que l'envolta, és a dir, es va formant la marmita. La pedra de cada vegada gira millor (es va arrodonint) i la marmita es va fent semiesfèrica. Si una ona s'emportà la pedra, s'aturaria el procés, exceptuant que caigui dins la marmita un altra pedra llançada per les ones o caiguda del penya-segat o del sòtil si es tracta d'una cova. Una vegada que la pedra s'endinsa molt, el procés es va frenant, perquè les ones no la poden fer girar.

Les marmites de gegant que són actives actualment es troben a pocs metres per damunt o per sota del nivell de la mar, ja que fora de la influència directa de les ones no es mourien les pedres, i si l'impacte de les ones és molt directe, generalment les pedres fugen de l'interior. Cal parlar, doncs, de marmites fòssils, tant per damunt com per sota de la mar actual, i de marmites actives.

n) Columnes d'abrasió

Es formen a les entrades o a l'interior de les coves d'abrasió i poden tenir mides molt considerables (Fig. 2w i 9). No tenen res a veure amb les columnes de precipitació química, ja que s'han format per l'efecte abrasió

de les ones. De vegades separen o fan de pilars de diferents arcs successius. També poden constituir el pilar central que sustenta i separa dues entrades de la mateixa gruta.

MORFOLOGIES DE SEDIMENTACIÓ

Algunes tenen interès del punt de vista paleoclimàtic (dunes fòssils i jaciments fossilífers), però d'altres recobreixen amb més o menys intensitat l'antic litoral i les morfologies erosives que presentaven (col·luvions, al·luvions, acumulació d'enderrocs al peu de penya-segats), amagant les evidències de presents o antics nivells marins.

a) Dunes fòssils adossades

Un altre dels elements que permeten dur a terme reconstruccions parcials de les condicions climàtiques i geomorfològiques del litoral mediterrani durant els temps pliocènic són els sistemes dunars fossilitzats o paleodunes. Es reconeixen fàcilment pel color i la disposició inclinada i molt irregular dels nivells d'arena com a conseqüència de l'origen eòlic. Són abundants dins les eolianites els motlles d'arrels de la vegetació i gasteròpodes pulmonats.

Les transgressions i regressions del nivell marí van donar lloc a les formacions dunars, algunes de bastant d'espessor, estretament relacionades amb la línia de costa (Cuerda, 1975). Amb freqüència durant les regressions glaciàries la coberta de les dunes s'estenia per davall de l'actual nivell marí variis centenars de metres o quilòmetres, com en el cas de la badia de Palma. Per tant només mostren una petita part del que recobrien aquests extensos sistemes.

Aquests cordons dunars, si troben penya-segats al seu davant s'acumulen a la base, van creixent en alçària i s'hi adossen. La costa, en molts d'indrets es troba recoberta per dunes fòssils pliocèniques. Molts d'aquests dipòsits eòlics i marins es troben actualment per sota de la mar, des de poca fondària fins a devers cent metres, segons la intensitat de la regressió a la qual pertanyen (Fig. 2x). En alguns llocs de poca fondària sobresurten per damunt les aigües formant

illots, com és el cas d'algunes illetes del litoral del sud-oest. Aquests cas és espectacular al nord de Formentera, on antics illots de materials dunars fòssils es troben connectats per tòmbols actuals i formen l'allargada punta de Trucadors.

Moltes cavernes, tant d'abració com càrstiques, presenten dipòsits d'aquests materials al·loctons d'origen dunar que es varen introduir per les boques i varen donar lloc a importants reblliments. Aquesta colmatació pot ésser parcial o total, fins a impedir l'accés a la cavitat o possibles continuacions que resten incomunicades pels dipòsits eòlico-marins (Fig. 2x, 11, 12, 13 i 14). En alguns casos encara tenen la forma cònica o en resten evidències; serveixen d'exemple la cova des Secret des Moix (Ginés *et al.*, 1975), la cova des Sòtil (Ginés, 2000, Gràcia *et al.*, 1998) i la cova de ses Pedreres (Vicens *et al.*, 2001) situades a Manacor, i la cova del Dimoni a Felanitx (Gràcia *et al.*, 1997). Posteriors accions de la mar durant els períodes més càlids tornaren a erosionar aquests dipòsits reobrint les cavitats i crearen plataformes i marmites de gegant. Cal remarcar que aquests materials són més fàcilment erosionables que no la roca sobre la qual estan situats.

Molt sovint aquests dipòsits es troben recoberts per colades estalagmítiques, la seva datació possibilitarà el poder enquadrar-les dins un temps geològic.

Molts de trams de costa (especialment a la marina de Lluçmajor, però també per molts de sectors del Llevant) estan recoberts per eolianites pliocèniques que en molts de casos recobreixen, colmaten i oculten les roques i morfologies anteriors formades sobre ells. En algunes franges de la costa representen una majoria dels afloraments. Aquests dipòsits són especialment atacats per l'abració de les ones, formant abundants morfologies, però amb menor consistència que els materials subjacents.

b) Jaciments fossilífers

La presència de jaciments ens proporciona informació de les modificacions experimentades pel nivell de la mar i dels canvis climàtics, no només per les altituds on es tro-

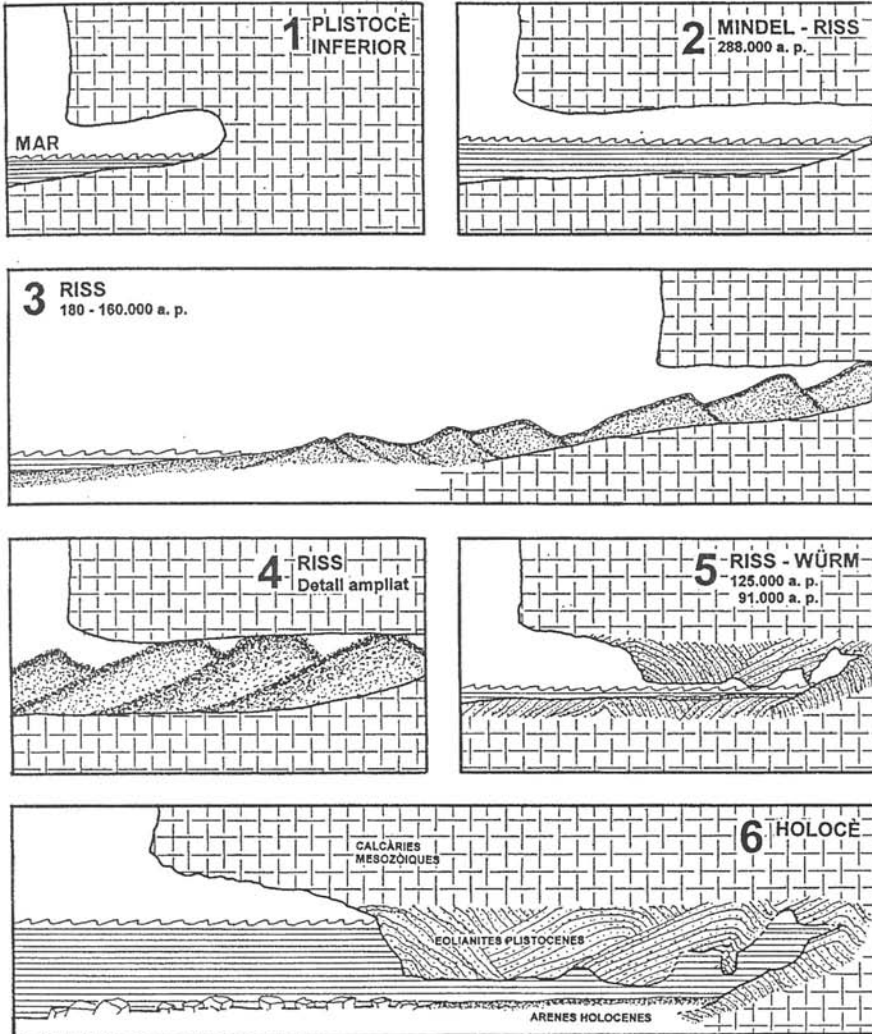


Fig. 11. Evolució geomorfològica de la cova Negra (cap de Catalunya, Pollença): 1) Cova d'abrasió marina de petites dimensions; 2) Cova d'abrasió de gran llargària, aprofitant fractures de la roca, formada tal vegada al llarg de diverses fases d'erosió del Quaternari; 3) Regressió marina i formació d'extenses platges, amb formacions dunars terminals que s'introdueixen dins l'àmplia cavitat; 4) Rebliment quasi total de la cova per les eolianites plistocèniques; 5) Nova transgressió marina i reactivació de l'erosió. La major debilitat de les eolianites fa que la cavitat s'obri seguint preferentment aquests materials; 6) Segueix pujant el nivell marí, adquirint la configuració actual.

Fig. 11. Geomorphological evolution of the Cova Negra (Cap de Catalunya, Pollença): Small marine abrasion cave. 2) Very long abrasion cave, taking advantages of rock fractures, possibly formed in various phases during the Quaternary: 3) Marine regression and formation of extensive beaches, and formation of terminal dunes that have penetrated into a large cave. 4) Almost complete infilling of a cave by Pleistocene eolianites. 5) New marine transgression and re-activation of the erosion. The greater weakness of the eolianites means that the cave has enlarged generally in this material. 6) Following sea-level rise, this is the current layout of the cave.



Fig. 12. Dunes fòssils (eolianites) de la cova Negra (cap de Catalunya, Pollença), formen part de les parets i sostre de la cova. Estan situades actualment per davall del nivell de la mar. Són abundants les cavitats submarines que presenten eolianites que les rebleixen parcialment i que solen estar molt erosionades per antics nivells regressius de la mar. Foto R. Landreth.
Fig. 12. Fossil dunes (eolianites) in the Cova Negra (Cap de Catalunya, Pollença), forming part of the cave's walls and roof. They currently lie below sea-level. There are many submarine caves that contain eolianites which partially fill them in and are normally heavily eroded by previous regressive sea-levels. Photo R. Landreth.

ben els jaciments, sinó també per les característiques de la fauna trobada (Cuerda, 1987). Així la fauna termòfila recollida de mol·luscs marins a cotes superiors a l'actual,

evidencia períodes càlids i transgressions (Fig. 2y). El contrari passa amb dipòsits on aquestes espècies de valor estratigràfic no hi són, o en què fins i tot trobam espècies que avui en dia viuen en mars fredes; aquestes es localitzen en efectuar dragats o cales dels fons marins (veure Vicens *et al.*, en aquest mateix volum)

EVIDÈNCIES CÀRSTICO-MARINES

Captures de cavitats càrstiques per part de l'erosió litoral. Les cavitats d'abrasió marina poden connectar amb buits d'origen càrstic, donant lloc a cavitats de gènesi mixta, s'anomenen captures càrstico-marines (Montoriol-Pous, 1971a).

La seva presència és freqüent ja que, llevat de les entrades per esbucament del sostre, són una via d'obertura de les cavitats a l'exterior, ja que d'altra manera serien inaccessibles. El moment de connexió amb la mar du implícit la incorporació de morfologies d'erosió marina a les zones properes a la boca i també de dipòsits sedimentaris d'origen marí, que poden ser arenes, graves, còdols i restes d'organismes (Fig. 15).

En molts de casos és difícil desotriar l'origen càrstic de la cavitat, podent-se tractar simplement de grutes marines les quals en ocasions poden contenir importants rebliments litoquímics, si les condicions d'infiltració i de precipitació són favorables.

La presència d'espeleotemes freàtics en llocs concrets de les cavitats, que no es podrien formar actualment en ambients geoquímics de

connexió directa amb la mar, confirmen alguns casos de captures càrstico-marines i a més a més proporcionen un límit temporal de la captura (Ginés, 2000).

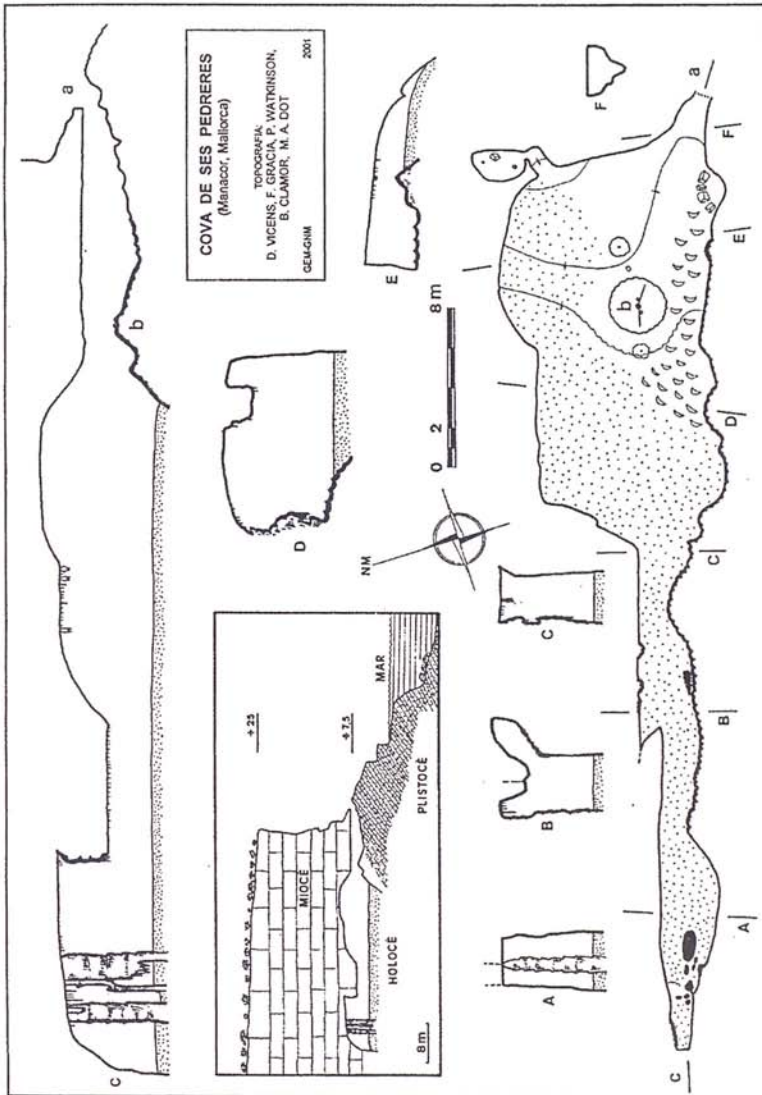


Fig. 13. Topografia de la cova de ses Pedreres (Frontó des Molar, Manacor). Es tracta d'una cavitat d'abrasió marina que presenta una duna plistocènica adossada al penya-segat i que ocupa part de la gruta. Al llarg d'un període més fred que l'actual el nivell mari havia sofert una regressió, amb el conseqüent avanç de la línia de costa mar endins i la formació d'extenses platges i dunes adossades als penya-segats. Els dipòsits eòlico-marins van tancar l'entrada de la gruta fins que un posterior canvi climàtic va fer pujar el nivell mari i l'acció erosiva acabà obrint la boca.

Fig. 13. Survey for the Cova de ses Pedreres (Frontó des Molar, Manacor). It is a marine abrasion cave that has a Pleistocene dune banked up against the cliff and occupies part of the cave. During periods colder than the present the sea-level would have regressed with the shore line further out to sea and with the formation of extensive beaches and dunes banked up against the cliffs. The eolian-marine deposits covered the cave's entrance until a later climatic change led to a rise in sea-level and erosion opened the cave's mouth.

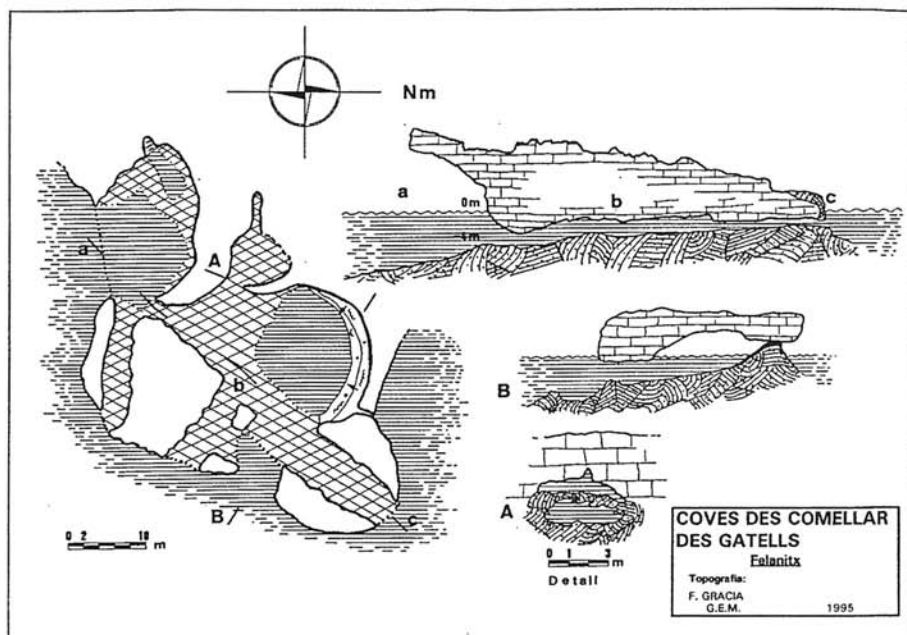


Fig. 14. Topografia de la cova des Comellar des Gatells (Portocolom, Felanitx). Es tracta d'una cavitat d'abrasió marina amb sis entrades, de les quals només una és marina. Exceptuant l'entrada situada al sud i la cambra d'aire tot el recorregut és subaquàtic. La cavitat primigènia es troba totalment modificada després de la sedimentació, fossilització i posterior erosió de les dunes fòssils que cobreixen tot el pis.

Fig. 14. Survey for the Cova des Comellar des Gatells (Portocolom, Felanitx). It is a marine abrasion cave with six entrances, only one of which is marine. Apart from the southmost entrance and an air-chamber, the cave is submarine. The earliest evolution of the cave has been completely modified following sedimentation, fossilisation and posterior erosion of the fossil dunes that totally cover the floor.

Exemples molt clars d'aquestes cavitats són: la cova des Coloms (Trias, 1992), cavitat que posseeix una gran entrada marina produïda de l'erosió litoral que encara li afecta; la cova de Cala Falcó, connectada amb l'exterior per l'abrasió marina d'un antic nivell situat a +2 m respecte a l'actual nivell marí (Trias i Mir, 1977; Ginés, 2000); la cova des Dimoni (Ginés, 2000) i la cova des Ases (Gràcia et al., 1997), ambdues amb entrades terrestres superiors i accessos submarins formats en un període més fred que l'actual; la cova des Drac de Cala Santanyi (Gràcia et al., 1998), també és una bona mostra de captura per la dinàmica erosiva litoral.

Aquests processos tenen un alt interès espeleocronològic, ja que poden permetre individualitzar i datar etapes evolutives de les coves (i dels sediments associats a les etapes), fent-ho a partir de criteris temporals d'anterioritat o posterioritat en relació amb el moment concret en què es produeix el fet de la captura marina (Ginés, 2000).

EVIDÈNCIES TORRENCIALS

MORFOLOGIES D'EROSIÓ

a) Perllongació dels torrents sota les aigües

El jaç dels torrents, amb els salts, marmites i altres morfologies que presenten poden perllongar-se per sota de la mar, amb la

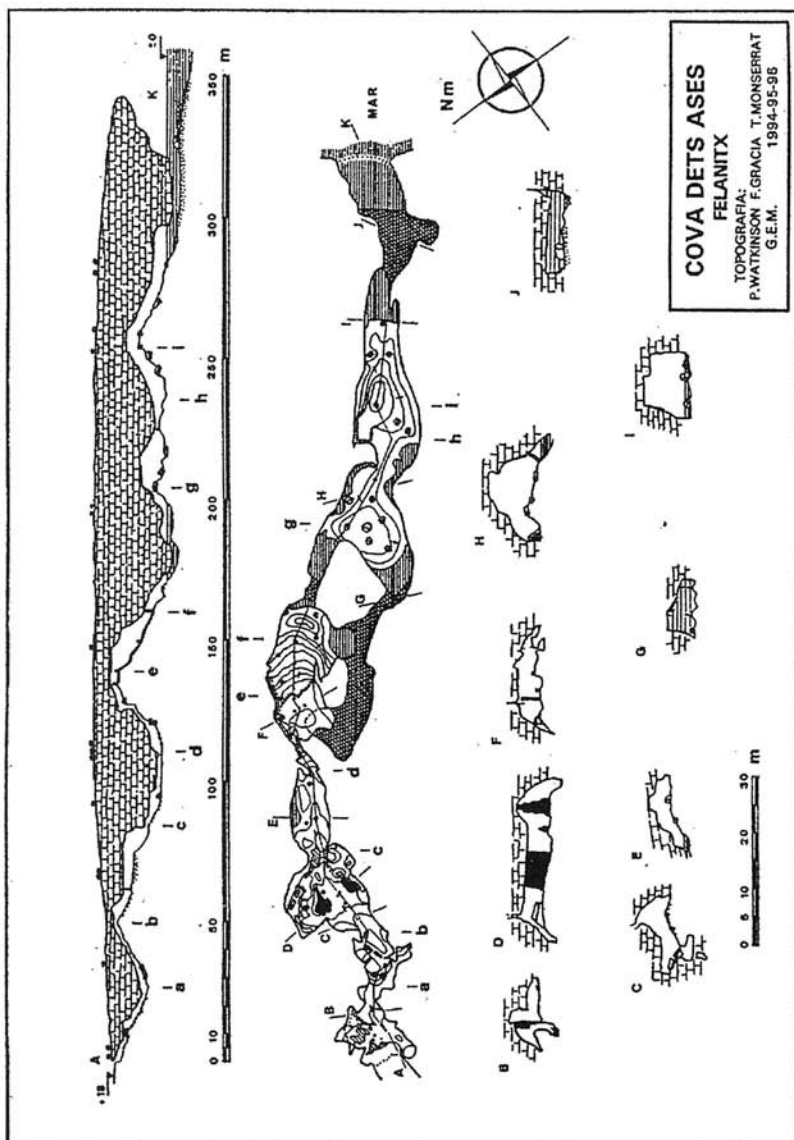
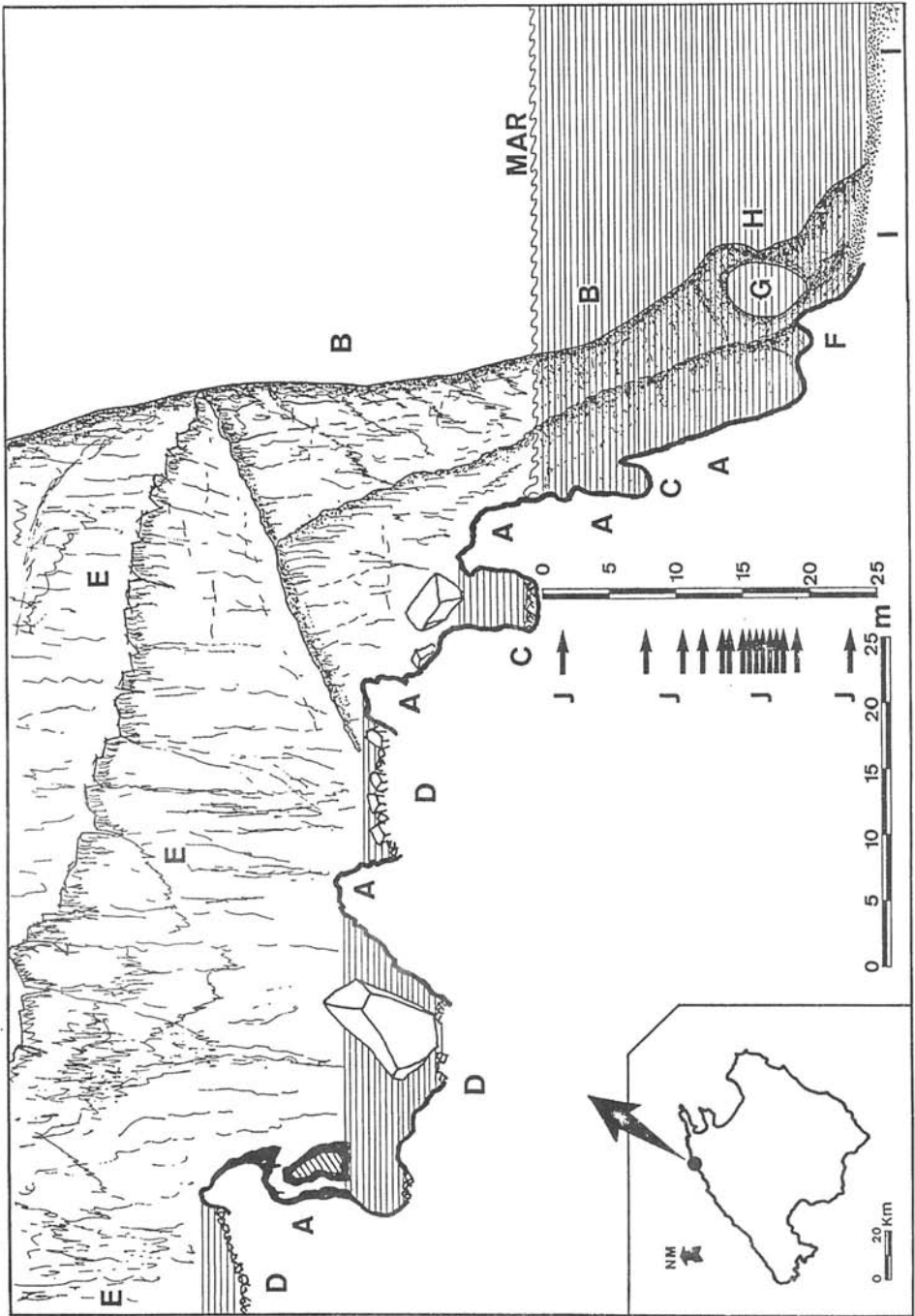


Fig. 15. Topografia de la cova dels Ases, exemple de captura càrstico-marina causada per l'erosió litoral. És una cavitat molt modificada respecte del sistema de conductes iniciadors, excavats en règim freàtic, situats originalment per davall de les sales actuals. Els processos clàstics han provocat creixement antigravitacional i el desenvolupament volumètric de la cova, essent els responsables de l'obertura de les dues entrades terrestres.

Fig. 15. Survey of the Cova dels Ases, example of karstic-marine capture caused by coastal erosion. It is a heavily modified cave with respect to the initial system of conduits, being excavated in a phreatic environment lying below the level of the present chambers. The breakdown processes have led to the cave progression upward and to an increase in its volume, which are responsible for the opening of its two terrestrial entrances.



conseqüent informació que subministren (Fig. 9 i 16). El torrent de na Móra (Sóller) és un bon exemple d'invasió del tram final d'un torrent per les aigües de la mar i la formació d'una caleta. La continuació submarina del torrent Fondo fins als -25 m, amb algunes morfologies associades n'és un altre exemple; així en moments climàtics més freds el Gran Salt (20 m de desnivell) es veia superat pel darrer salt que pega a la mar (actualment quasi totalment submergit) d'uns 25 m, que després de 5 m més, resta ocult sota una capa de sediments.

MORFOLOGIES DE SEDIMENTACIÓ

a) Estudi dels rebliments dels torrents situats per sota del nivell marí

A l'actual plataforma continental submarina de la badia de Palma s'ha ecografiat per perfils sísmics d'alta resolució la xarxa hidrogràfica de paleollits a on s'aprecia la desembocadura d'una gran conca hidrogràfica, actualment submergida que correspondria als al·luvions de quasi 200 m de potència que es troben a distints indrets del pla de Palma (Muntaner, 1954; Verd, 1972). Les anàlisis micropaleontològiques semblen indicar un origen rissà i una reestructuració würmiana (Mateu, 1985). L'àrea de dispersió, la longitud i l'amplada i el punt de confluència

d'aquests paleollits comprenen el ventall que va des de cap Enderrocat a Illetes amb una àrea de confluència central més enllà de la recta que uneix cap de Regana i cala Figuera. Formen un llit dur de calcoarenites i eolianites amb microfauna i nanoplancton coetani, recobertes de sedimentació no consolidada i holocènica que assoleix en alguns punts els 25 m de potència i es detecta un canal principal torrencial que arriba als -80 m de fondària. Aquests han estat datats en funció de la microfauna sedimentària que contenen, analitzant els foraminífers i coccolitofòrids del substrat consolidat solcat per la xarxa hidrogràfica.

Agraïments

Volem manifestar la nostra gratitud als amics i companys espeleòlegs Miquel Gual, Kiko Cabrera, Miquel Alexandre Dot, Tòfol Monserrat i M^a del Pilar Roig per la col·laboració prestada en la realització d'algunes de les topografies i fotografies del treball. Hem d'agrair també a Oscar Espinasa del C.A.S. Tritón per fotografiar part de les evidències geomorfològiques.

Fig. 16. Perfil de la desembocadura del torrent Fondo que evidencia antics episodis freds del Mediterrani. Es pot apreciar la perllongació del darrer salt per sota del nivell de la mar, fins als 25 m de fondària, on els sediments amaguen altres possibles morfologies. També es troben entre els -6 i -8 m, marmites de gegant d'erosió torrencial. Al promontori que flanqueja la desembocadura del torrent, sota les aigües hi ha un arc d'abració de 9 m de diàmetre màxim, amb una columna de la mateixa gènesi de poc més d'1 m de diàmetre. Morfologies observables: A) Salts del torrent; B) Promontori; C) Marmites de gegant torrencials; D) Gorgs; E) Pareds rocoses del torrent; F) Marmites de gegant d'abració marina; G) Arc d'abració marina; H) Columna d'abració; I) Sediments; J) Antics nivells de la mar. Part aèria modificada de Trias i Ramón (1999); part subaquàtica topografiada per F. Gràcia i M. Gual.

Fig. 16. Profile for the outlet of the Torrent Fondo which shows evidence for previous cold pulsations in the Mediterranean. A lengthening by at least 25 m of the last jump above the sea can be appreciated. The sediments have covered over other possible morphologies. Potholes, caused by the erosive action of the torrent, can also be found between -6 and -8 m. There is an abrasion arch with a maximum diameter of 9 m which is situated above sea-level on the promontory that flanks the torrent's mouth. The arch also has a column, a little over one metre in diameter, sharing the same origins. Observable morphologies: A) Jumps on the torrent. B) Promontory. C) Torrential potholes. D) Deep hole. E) Rocky stream walls. F) Marine abrasion pothole. G) Marine abrasion arch. H) Abrasion column. I) Sediments. J) Previous sea-levels. Aerial part modified from Trias and Ramón (1999); Topography of submerged part by F. Gràcia and M. Gual.

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. *In: Groundwater as a Geomorphic Agent*. La Fleur Allen i Unwin 281-293. Boston.
- Badiella, E., Badiella, X. i Badiella, E. 1992. Les cavitats litorals del Baix Empordà (I), de Palamós a Aiguablava. *Butll. SIS*, 12: 26-51.
- Butzer, K.W. 1975. Pleistocene littoral-sedimentary cycles of the Mediterranean basin: a Mallorquin view. *In: Butzer, K.W. i Isaac, G.L. (Eds.): After the Australopithecine: stratigraphy, ecology and culture change in the Middle Pleistocene*. 25-71.
- 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 (4): 398-416.
- Cuerda, J. 1975. *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Instituto de Estudios Baleáricos 304 pp. Palma de Mallorca.
- Cuerda, J. 1987. *Moluscos marinos y salobres del Pleistoceno Balear*. Caja de Baleares "Sa Nostra". Palma de Mallorca.
- Cuerda, J. i Sacarès, J. 1992. *El Quaternari al Migjorn de Mallorca*. Conselleria de Cultura, Educació i Esports del Govern Balear, 130 pp. Palma de Mallorca.
- Diz, J.H. i Ríos, R. 2001. Catálogo de formas do litoral pontevedrés. *Furada*, 10: 4-49.
- Fornós, J.J. i Pomar, L. 1983. Mioceno superior de Mallorca: unidad Calizas de Santanyi (complejo Terminal). *In: Pomar, L., Obrador, A., Fornós, J.J. i Rodríguez-Perea, A. (Eds.): El terciario de las Baleares. Guía de las Excursiones del X Congreso Nacional de Sedimentología. Menorca*, 1983: 139-175. Palma de Mallorca.
- Ginés, A. i Ginés, J. 1989. Absolute dating of phreatic speleothems from coastal caves of Mallorca (Spain). *Proc. 10th Int. Congress Speleol.* 1: 191-193. Budapest.
- Ginés, A. i Ginés, J. 1992. Las coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes históricos y espeleogenéticos. *Endins*, 17-18: 5-20.
- Ginés, A., Ginés, J. i Pons, J. 1975. Nuevas aportaciones al conocimiento morfológico y cronológico de las cavernas costeras mallorquinas. *Speleon*, 49-56.
- Ginés, J. 1995. L'endocarst de Mallorca: Els mecanismes espeleogenètics. *Endins*, 20/*Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 3: 71-86.
- Ginés, J. 2000. *El karst litoral en el levante de Mallorca: una aproximación al conocimiento de su morfogénesis y cronología*. Tesi Doctoral. Universitat de les Illes Balears. 595 pp. Palma de Mallorca.
- Ginés, J. i Ginés, A. 1993a. Speleochronological approach to some coastal caves from "Cap Vermell" area in Mallorca island (Spain). *Proc. XI Int. Congress Speleol.* 56-59. Beijing.
- Ginés, J. i Ginés, A. 1993b. Dataciones isotópicas de espeleotemas freáticos recolectados en cuevas de Mallorca. *Endins*, 19: 9-15.
- Gràcia, F., Clamor, B., Aguiló, C. i Watkinson, P. 1998b. La cova des Drac de cala Santanyi (Santanyi, Mallorca). *Endins*, 22: 55-66.
- Gràcia, F., Clamor, B., Gracia, P., Merino, A., Vega, P. i Mulet, G. 2001a. Notícia preliminar del jaciment arqueològic de la font de ses Aigüdes (Alcúdia, Mallorca). *Endins*, 24: 59-73.
- Gràcia, F., Clamor, B. i Laverigne, J.J. 2000. Les coves de cala Varques (Manacor, Mallorca). *Endins*, 23: 41-57.
- Gràcia, F., Clamor, B. i Watkinson, P. 1998a. La cova d'en Passol i altres cavitats litorals situades entre cala sa Nau i cala Mitjana (Felanitx, Mallorca). *Endins*, 22: 5-18.
- Gràcia, F., Clamor, B., Watkinson, P. i Landreth, R. 2001b. Impacte ambiental de l'abocament d'aigües fecals a la cova d'en Bessó (Manacor). Estudi espeleològic i mesures d'actuació per la salvaguarda d'una important cavitat subaquàtica del llevant de Mallorca. *In: Pons, G.X. (ed.) III Jornades del Medi Ambient de les Illes Balears*. Soc. Hist. Nat. Balears. 102-103.
- Gràcia, F., Landreth, R., Gual, M. i Clamor, B. 2001. La cova Negra (Pollença, Mallorca): Presència de dunes fòssils dins una cavitat submarina. *Endins*, 24: 137-142.
- Gràcia, F. i Vicens, D. 1998. Aspectes geomorfològics quaternaris del litoral de Mallorca. *In: Fornós J. J. (ED.) Aspectes Geològics de les Balears*. Universitat de les illes Balears: 307-329.
- Gràcia, F., Watkinson, P., Monserrat, T., Clarke, O. i Landreth, R. 1997. Les coves de la zona de ses Partions-Portocolom (Felanitx, Mallorca). *Endins*, 21: 5-36.
- Grodzicki, J. 1985. Genesis of the Nullabor Plain caves in southern Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 29 (1): 37-49.
- Henning, G. J., Ginés, A., Ginés, J. i Pomar, L. 1981. Avance de los resultados obtenidos mediante datación isotópica de algunos espeleotemas subacuáticos mallorquines. *Endins*, 8: 91-93.

- Lowry, D. C. i Jennings, J.N. 1974. The Nullarbor karst Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 18 (1): 35-81. Berlin.
- Llamas, A. 2000. *Islas Baleares. Las 300 mejores inmersiones, recogidas en 282 itinerarios*. Edit. Geoplaneta, 368 pp.
- Mateu, G. 1985. Nuevos datos micropaleontológicos para interpretar el glacioteconoeustatismo del Pliopleistoceno de Baleares (Mediterráneo occidental). In: *Pleistoceno y geomorfología litoral*. Universidad de Valencia.
- Merino, A. 1993. La cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca). *Endins*, 19: 17-23.
- Merino, A. 2000. Nuevas extensiones de la cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca). *Endins*, 23:
- Montoriol-Pous, J. 1971a. Estudio de una captura kárstico-marina en la isla de Cabrera (Baleares). *Acta Geológica Hispánica*, 6 (4): 89-91.
- Muntaner, A. 1954. Nota sobre los aluviones de Palma de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 1: 36-48.
- Mylroie, J.E. i Carew, J.L. 1988. Solution conduits as indicators of late Quaternary sea level position. *Quaternary Science Reviews*, 7: 55-64.
- Mylroie, J.E. i Carew, J.L. 2000. Speleogenesis in coastal and oceanic settings. In: Klimchouk, A.B., Ford, D. C., Palmer, A.N. i Dreybrodt, W. (Eds.): *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society, 226-233. Huntsville.
- Plummer, L.N. 1975. Mixing of sea water with calcium carbonate ground water. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 142: 219-236.
- Pomar, L. i Cuerda, J. 1979. Los depósitos marinos pleistocénicos en Mallorca. *Acta Geológica Hispánica. Homenatge a Lluís Solé i Sabarís*. 14: 505-513. Barcelona.
- Pomar, L., Esteban, M., Calvet, F. i Barón, A. 1983a. La Unidad Arrecifal del Mioceno superior de Mallorca. In: Pomar, L., Obrador, A., Fornós, J.J. i Rodríguez-Perea, A. (Eds.): *El terciario de las Baleares. Guía de las Excursiones del X Congreso Nacional de Sedimentología. Menorca*, 1983: 139-175. Palma de Mallorca.
- Proctor, C. J. 1988. Sea-level related caves on Berry Head, South Devon. *Cave Science*, 15 (2): 39-49.
- Rose, J., Meng, X. i Watson, C. 1999. Palaeoclimate and palaeoenvironmental responses in the western Mediterranean over the last 140 ka: evidence from Mallorca, Spain. *Journal of the Geological Society*, 156: 435-448.
- Trias, M. 1992. Noves dades sobre la cova des Coloms I (Manacor, Mallorca). *Endins*, 17-18: 21-23.
- Trias, M. 2000. La cova des Moro (Manacor, Mallorca). Alguns destacats aspectes de la seva morfologia. *Endins*, 24: 73-77.
- Trias, M. i Ramón, F. 1999. *Els torrents clàssics de la serra de Tramuntana*. 149 pp. Palma de Mallorca.
- Trias, M. i Mir, F. 1977. Les coves de la zona de Can Frasquet - cala Varques. *Endins*, 4: 21-42.
- Tuccimei, P., Ginés, J., Ginés, A., Fornós, J.J. i Vesica, P. 1998. Dataciones Th/U de espeleotemas freáticos controlados por el nivel marino, procedentes de cuevas costeras de Mallorca (España). *Endins*, 22: 99-107.
- Tuccimei, P., Ginés, J., Delitala, C., Pazzelli, L., Taddeucci, A., Clamor, B., Fornós, J.J., Ginés, A. i Gràcia, F. 2000. Dataciones Th/U de espeleotemas freáticos recolectados a cotas inferiores al actual nivel marino en cuevas costeras de Mallorca (España): aportaciones a la construcción de una curva eustática detallada de los últimos 300 ka para el Mediterráneo occidental. *Endins*, 23.
- Verd, J. M. 1972. Introducción al estudio sedimentológico del Cuaternario continental del Llano de Palma. *Boll. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 17: 79-126.
- Vesica, P. L., Tuccimei, P., Turi, B., Fornós, J.J., Ginés, A. i Ginés, J. 2000. Late Pleistocene Paleoclimates and sea-level change in the Mediterranean as inferred from stable isotope and U-series studies of overgrowths on speleothems, Mallorca, Spain. *Quaternary Science Reviews*, 19: 865-879.
- Vicens, D., Gràcia, F., Watkinson, P., Landreth, R., Clamor, B. i Dot, M.A. 2001. La cova de ses Pedreres (Manacor, Mallorca). *Endins*, 24: 107-111.



*PER UN MUSEU DE LA
NATURALES A CIUTAT*

Els tàxons amb valor biogeogràfic i cronoestratigràfic: bioindicadors climàtics del Quaternari de les Illes Balears

Damià VICENS, Guillem X. PONS, Pere BOVER i Francesc GRÀCIA

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Vicens, D., Pons, G.X., Bover, P. i Gràcia, F. 2001. Els tàxons amb valor biogeogràfic i cronoestratigràfic: bioindicadors climàtics del Quaternari de les Illes Balears. In: Pons, G.X. i Guijarro, J.A. (Eds.). *El canvi climàtic: passat, present i futur*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 9: 121-146. ISBN: 84-87818-34-X. Palma de Mallorca.

Durant el darrer interglacial del Quaternari (Plistocè superior), el clima càlid va permetre que espècies marines intertropicals, principalment del litoral atlàntic penetrassin per l'estret de Gibraltar dins la Mediterrània. A l'inici de la glaciació Würm, amb l'arribada d'un clima fred, la majoria d'aquestes espècies termòfiles es varen extingir de les aigües de les Illes Balears, restant únicament com a testimonis del passat en el registre fòssilífer. A Mallorca són nombrosos els jaciments del Plistocè superior a on es troben dipòsits rics en fauna marina termòfila (pertanyent a l'Eutirrenià) i d'altres on és molt escassa (assignat al Neotirrenià). La fauna terrestre també es va veure afectada pels canvis climàtics. El gènere *Myotragus* és un exemple excepcional d'evolució insular que va sobreviure fins a l'arribada de l'home a les Illes Balears fa uns 4000-5000 anys. En aquest treball es relacionen les espècies de mol·luscs indicadores d'aquest canvi climàtic, la seva biogeografia i cronostratigrafia. Es fa una referència a l'evolució, relacionada amb el canvi climàtic, del gènere *Myotragus*. També es cita per primera vegada per al Quaternari de Mallorca *Neptunea contraria*, una de les poques espècies d'aigües fredes que es coneixen de les Illes Balears.

Paraules clau: *Quaternari, mol·luscs termòfils litorals, mol·luscs d'aigües fredes, Myotragus, dipòsits litorals de l'estadi 5, Illes Balears.*

BIOGEOGRAPHICAL AND CHRONOSTRATIGRAPHICAL TAXA: QUATERNARY CLIMATIC BIOINDICATORS FROM THE BALEARIC ISLANDS. During the last Quaternary interglacial (Upper Pleistocene) the warm climate allowed some intertropical marine species, mainly those from the atlantic coasts, to cross to the Mediterranean through the Gibraltar strait. As the Würm glaciation began and climate turned cold, most of these thermophil species became extinguished in the Balearic Islands. They remained only as fossil records. In Majorca, many deposits from the Upper Pleistocene can be found, some being rich in thermophile marine fauna (from the Eutirrenian) and others poor (from the Neotirrenian). The terrestrial fauna also suffered the climate changes. The genus *Myotragus* is a remarkable example of insular evolution who would survive till man arrived to the Balearic Islands, 4,000-5,000 years ago.

This paper presents the molluscs species that indicate such climate change, its biogeography and chronostratigraphy. The evolution of the genus *Myotragus* related to that change is also exposed. Also, *Neptunea contraria* is quoted for the first time for the Majorcan Quaternary, one of the few cold-water species known from the Balearic Islands.

Keywords: Quaternary, thermophil coastal molluscs, cold-water molluscs, *Myotragus*, 5th Stage coastal deposits, Balearic Islands.

Damià VICENS i Francesc GRÀCIA; Societat d'Història Natural de les Balears, Carrer Sant Roc 4, 07001 Palma de Mallorca; Guillem X. PONS; Departament de Ciències de la Terra (UIB), Crtra. Valldemossa km 7,5; 07071 Palma de Mallorca; Pere BOVER Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (IMEDEA), Crtra. Valldemossa km 7,5; 07071 Palma de Mallorca.

Introducció

A les Illes Balears està representat un registre estratigràfic i registre fòssil molt interessant. Així ho demostra el fet que investigadors nacionals i estrangers hagin tengut com a tema d'estudi el Quaternari de les Illes. De fet és un dels primers llocs de la costa mediterrània espanyola on es va començar a estudiar el Quaternari marí (Porta, 1956). El Quaternari continental no ha estat tan estudiat (Cuerda, 1975) si bé a partir de la fundació de la Societat d'Història Natural de les Balears, a principis dels anys 50, s'incrementen notòriament el nombre dels jaciments i el coneixement de la fauna vertebrada terrestre del Pliocè i Plislocè de les Balears (Alcover *et al.*, 1981).

El Quaternari de les Balears es caracteritza per comptar amb múltiples exemples d'extincions d'espècies, ja que aquestes no es varen adaptar a les noves condicions climàtiques. Totes aquestes espècies han donat fòssils característics molt útils a l'hora d'establir una cronologia relativa. Tot això, junt amb les pujades i davallades del nivell de la mar han estat decisives per modelar el litoral de les Illes Balears i per la composició de la seva biota.

D'altra banda, a les Balears, es troba un dels casos més interessants del món d'evolució insular d'un vertebrat. Es tracta de la línia filètica que va originar *Myotragus balearicus*, espècie de caprí altament especialitzada que es va extingir poc després de l'arribada de l'home a les Gimnèsies.

Els jaciments quaternaris de les Balears

Els dipòsits quaternaris són nombrosos a les Balears, la qual cosa fa que existeixin jaciments fòssilífers molt importants. Molts dels jaciments d'origen marí estan associats amb dipòsits d'origen litoral i continental, fet que fa augmentar el valor del registre estratigràfic i paleontològic d'aquests cossos sedimentaris.

No hem d'oblidar que les Balears majoritàriament estan constituïdes per roques calcàries (exceptuant la zona de tramuntana de Menorca) i els fenòmens càrstics hi són presents amb una amplitud extraordinària. Moltes de les coves i avencs han actuat durant el Pliocè i el Quaternari com autèntiques trampes de sediment, on a més ha quedat un registre paleontològic molt abundant.

Jaciments del Quaternari amb fauna marina o salobre

La major part dels jaciments del Quaternari marí de les Balears són dipòsits de platges i els fòssils que més abunden són els mol·luscs (Cuerda, 1975; 1987). S'han citat més tàxons d'invertebrats no mol·luscs fòssils (Cuerda, 1975; Cuerda *et al.*, 1989-90a) però aquests són una minoria. Les restes procedents de vertebrats són molt escasses en el Quaternari marí, si bé cal destacar la presència d'algunes dents de peixos a uns pocs jaciments de les Balears (Vicens i Gràcia, 1999) i



Fig. 1. Vista general d'es Carnatge (Palma).

Fig. 1. Overview of Es Carnatge (Palma).

la presència de restes d'ossos de dues aus (*Puffinus mauretanicus* i *Columba* sp.) a un jaciment litoral d'origen no càrstic a Mallorca (Vicens *et al.*, 1998).

Els fòssils reelaborats són freqüents en els dipòsits litorals. A Mallorca és freqüent trobar fragments o fòssils rodats de l'Eutirrenià a dipòsits del Neotirrenià (Cuerda, 1987). Inclús s'han trobat fòssils d'edat miocena a dipòsits quaternaris (Vicens i Gràcia, 1999).

Així com el Plistocè marí inferior i mitjà no són molt coneguts a les Balears, no passa el mateix amb el Plistocè superior representat per un bon nombre de jaciments que es troben la majoria en el litoral (Cuerda, 1975). L'illa de Mallorca és la que té més jaciments del Quaternari marí amb a prop d'uns 70 jaciments (Cuerda, 1975; Pomar i Cuerda, 1979). Els jaciments de Menorca no són tan nombrosos (uns 20 jaciments) com el que passa a Mallorca, amb un contingut més bé escàs d'espècies característiques (Cuerda, 1987). A les Pitiüses es coneixen uns 13 jaciments. L'illa d'Eivissa és la menys coneguda

en quant als jaciments del Plistocè marí (Cuerda, 1984).

A part dels jaciments citats per Cuerda (1975; 1987), cal afegir els següents: dos jaciments de sa Font Cel·lada (Vicens i Gràcia, 1988), el jaciment ST I i ST II de Portocolom (Cuerda *et al.*, 1989-90a), Son Real (Cuerda *et al.*, 1991) i Frontó des Molar (Vicens *et al.*, 1998), tots a Mallorca. El torrent Fondo (Vicens *et al.*, 1992), els Arenals, Racó de ses Ampolles, Cavall d'en Borràs (Gässer i Ferrer, 1997) i es Copinyar (Gässer i Ferrer, 1997; Gässer, 1998) a Formentera.

Segons l'ambient litoral on es va formar el dipòsit, a les Balears hi ha bàsicament dipòsits de platja i dipòsits llacunars litorals.

- Dipòsits de platja. La majoria del jaciments del Quaternari marí de les Balears citats per Cuerda (1975) són dipòsits de platja. El dipòsits estan formats per arenes de platja, clastes arrodonits que van de la mida mil·limètrica fins a la decimètrica segons el dipòsit i fòssils d'invertebrats marins. Les arenes són majoritàriament d'origen bioclàs-

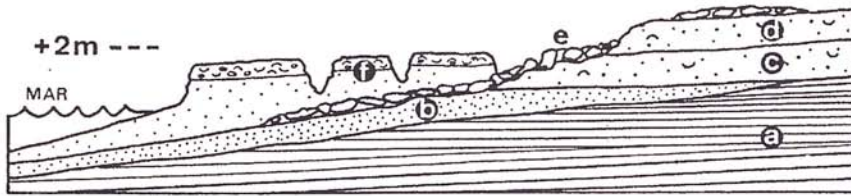


Fig. 2. Tall estratigràfic d'es Carnatge (Palma, Mallorca): a - Duna Riss. b - Llims de l'Eutirrenià (Subestadi 5e). c - Platja fòssil (Unitat 1) de l'Eutirrenià (Subestadi 5e). d - Platja fòssil (Unitat 2) de l'Eutirrenià (Subestadi 5e). e - Blocs i còdols provinents de les formacions anteriors (Unitat 3) d'edat neotirreniana (probablement Subestadi 5c). f - Platja fòssil (Unitat 4) del Neotirrenià (probablement Subestadi 5c). Modificat de Cuerda (1975).

Fig. 2. Geological survey of the Carnatge (Palma Mallorca): a - Duna Riss. b - Eutirrenian silts (Isotopic Substage 5e). c - Fossil beach (Unit 1) from the Eutirrenian. d - Fossil beach (Unit 2) from the Eutirrenian (Isotopic Substage 5e). e - Stones and pebbles coming from older structures (Unit 3) of Neotirrenian age (probably Isotopic Substage 5c). f - Fossil beach (Unit 4) from the Neotirrenian (probably Isotopic Substage 5c). Modified from Cuerda (1975).

tic com passa a l'actualitat (Jaume i Fornós, 1992).

- Dipòsits llacunars litorals. Cuerda (1975) distingeix tres tipus d'aquest dipòsits segons la comunicació amb la mar i la seva salinitat.

Aquests dipòsits poden presentar materials molt diversos i així per exemple a la sèrie estratigràfica de l'Albufera d'Alcúdia (Mallorca) obtinguda a partir d'un sondeig hi ha tot tipus de materials: llims, argiles, arenes, conglomrats, graves, lumaquel·les, etc. (Fornós *et al.*, 1996).

Hi ha uns altres tipus de dipòsits que deriven dels sediments litorals com són els següents:

- Dipòsits d'arenes i graves litorals que no formen part d'una platja. Són de petita extensió i els materials que els formen varen ser llançats per la mar sobre una plataforma o zona on la mar després no s'els va poder emportar. Com exemple, es coneix el jaciment ST II de Portocolom (Felanitx) (Cuerda *et al.*, 1989-90a).

- Reompliment de crulls. No són molt nombrosos aquests tipus de dipòsits. Cal des-

tacar amb aquesta tipologia el jaciment Eutirrenià a + 11,5 m del cap Orenol (Llucmajor) (Cuerda i Muntaner, 1960) i el jaciment Neotirrenià de sa Font Cel·lada (Artà) (Vicens i Gràcia, 1988).

- Reompliment de coves litorals. És molt freqüent trobar dipòsits d'arenes holocenes a cavitats amb comunicació amb la mar i inclús a coves que no tenen una comunicació directa com la cova de sa Pedrera (Manacor) on els temporals han introduït el sediments litorals dins la cova (Ginés, 2000). A algunes coves litorals d'Alcúdia hi ha evidències d'ompliment de part de les cavitats per sediments litorals durant el Plistocè superior i un posterior buidament (Vicens i Crespi, en prep.).

- Concrecionament litoquímic de restes d'origen marí. A la cova de sa Pedrera (Manacor) hi ha restes de *Posidonia oceanica* i mol·luscs marins que han sofert un procés de concrecionament litoquímic, possiblement d'edat holocena (Vicens *et al.*, 2001). Aquest fenomen també s'ha observat a una cova litoral d'Alcúdia (D. Vicens i D. Crespi, dades inèdites).

Jaciments del Quaternari amb fauna terrestre

A les Balears els dipòsits continentals quaternaris són freqüents. Els al·luvions, les bretxes de pendent, els ventalls al·luvials, els llims, els paleosòls i les eolianites fòssils, en són els exemples més clars.

Un altre tipus de dipòsits continentals es poden trobar en els reompliments càrstics. La importància d'aquests dipòsits a les Balears és màxima ja que la majoria de jaciments de vertebrats es troben dins cavitats o el que resten d'elles (Alcover *et al.*, 1981; Quintana, 1998b; Seguí, 1996; Sondaar *et al.*, 1995).

Gómez-Pujol (1999) comenta que les referències del Quaternari continental de Mallorca són escasses si les comparem amb les del Quaternari marí.

Paul i Altaba (1992) sintetitzen d'una forma molt clarificadora on es poden trobar mol·luscs terrestres fòssils a les Pitiüses.

Seguidament, es dona una breu relació dels dipòsits continentals que han lliurat fauna terrestre a les Balears:

- Al·luvions. Les referències de fòssils dins aquests materials són escasses i cal assenyalar la cita de Muntaner (1956) d'un fèmur de *Myotragus* trobat als al·luvions de Sencelles (Mallorca). Muntaner i Palmer (1956), troben ossos de *Myotragus*, procedents dels al·luvions de Búger, però no és gaire clar que sigui d'al·luvions i no d'una cova travessada pel sondatge.

La diversa fauna de mol·luscs terrestres de Cala Salada (Eivissa) prové quasi exclusivament de dipòsits al·luvials (Paul, 1982).

- Llims continentals / Paleosòls. És troben majoritàriament associats a altres dipòsits litorals com les eolianites o platges fòssils (Cuerda, 1975). Aquests tipus de dipòsits també són molt abundants a l'interior de les Balears.

A l'extensa bibliografia del Quaternari moltes de vegades no es fa una distinció clara entre el dos.

La majoria d'aquest dipòsits són fòsilífers, havent-hi mol·luscs terrestres.



Fig. 3. Vista general de Cala Pudent (Palma) (a la majoria del texts apareix denominat com a Campo de Tiro).
Fig. 3. Overview of Cala Pudent (Palma) (in most texts called camp de Tir - Campo de Tiro).

- Eolianites fòssils. Estan presents a totes les illes tant per sobre com per davall del nivell actual de la mar i són dipòsits d'origen eòlic constituïts majoritàriament per grans d'arena d'origen biogènic que han sofert un procés de cimentació. Les cites de mol·luscs terrestres fòssils són freqüents en aquest tipus de dipòsits (Cuerda, 1975; Cuerda *et al.*, 1982; Paul i Altaba, 1992). Es coneixen traces o galeries, possiblement d'algun insecte, d'algunes poques localitats (Servera *et al.*, 2001; Fornós *et al.*, en premsa). Les icnites o traces de *Myotragus* s'han citat a Mallorca (Fornós i Pons-Moyà, 1982; Servera *et al.*, 2001; Fornós *et al.*, en premsa) i a Menorca (Quintana, 1993). També s'han citat icnites d'*Hypnomys* a Menorca (Quintana, 1993). Les restes òssies són rares dins aquest tipus de sediments, si bé es varen trobar restes de *Myotragus balearicus* a una duna fòssil de Son Jaumell (Capdepera) (Muntaner i Cuerda, 1956). A Formentera es va trobar una posta d'ous de tortuga (Filella *et al.*, 1996).

- Ventalls al·luvials. Són cossos sedimentaris que responen a la superposició, imbricació i acumulació de diferents dipòsits sedimentaris. Al ventall al·luvial del Caló (Artà) hi ha colades rocalloses, corrents laminars, eolianites i en menor importància hi apareixen alguns nivells de paleosòls i dipòsits col·luvials (Gómez-Pujol, 1999). Per la diversitat dels dipòsits hi ha fòssils de mol·luscs terrestres a alguns d'ells (obs. pers.) i de fet Cuerda i Galiana (1976) citen mol·luscs terrestres als llims del ventall al·luvial del caló des Cans (Artà).

- Reompliments càrstics. L'abundància de coves existents tant a les Gimnèsies com a les Pitiüses, i la gran freqüència amb que contenen dipòsits fòssilífers de vertebrats i de mol·luscs fa que el registre paleontològic lliurat a les coves sigui ric (Sondaar *et al.*, 1995).

L'acumulació de fòssils que es dona a les coves és deguda a diferents processos tafonòmics. Així, a la cova Estreta (Pollença, Mallorca), on hi ha un dels millors jaciments de *Myotragus balearicus* de les Gimnèsies,

s'ha interpretat que l'aigua ha estat el principal agent acumulador de sediments a la cova, els quals han estat en determinats moments transportats massivament producte d'un flux lent d'una massa humida de sediments (Encinas i Alcover, 1997) (Fig. 5).

La disposició dels materials de la cova C-2 (Ciutadella, Menorca) es indicativa que es tracta d'un dipòsit totalment secundari, resultat de l'arrossegament dels ossos, juntament amb sediment (Seguí *et al.*, 1998).

Hi ha una sèrie de jaciments mallorquins i menorquins de *M. balearicus* que es troben a llocs inaccessibles per a un caprí. Les restes trobades procedeixen del transport realitzats per ocells de presa de talla gran. El candidat més versemblant d'haver estat l'agent bioacumulador d'aquests dipòsits és *Aquila chrysaetos* (Arnau *et al.*, 2000).

L'exploració de galeries subaquàtiques de diferents cavitats litorals ha permès realitzar la troballa de restes òssies de *Myotragus balearicus* dipositats en superfície a profunditats compreses entre els 8 i 14 metres. Els ossos no han estat transportats per corrents o per gravetat. Això ens indica que durant pulsacions fredes del Plistocè les galeries romanien seques, almenys parcialment, la qual cosa permetia l'accés terrestre del caprí endèmic a zones internes de les coves, actualment inundades (Gràcia *et al.*, 2000; Gràcia, inèdit).

Cap a una aproximació d'on provenen els fòssils

A la biosfera actual la proporció d'organismes de cos blan és superior al que tenen esquelet. En el registre fòssil tenim una marcada desviació cap als organismes marins amb esquelet, però la seva representativitat permet que amb el seu estudi s'ampliïn els coneixements dels processos paleobiològics i paleoambientals (López i Truyols, 1994).

A continuació es dona una aproximació d'on provenen els fòssils quaternaris de les Balears, ampliant la donada per Vicens i Gràcia (1998) :

a- Estructures esquelètiques de microfòssils marins (Mateu, 1985), de mol·luscs marins o terrestres (Cuerda, 1975; 1987), de vertebrats (Cuerda, 1975; Alcover, 1981; Sondar *et al.*, 1995). També es troben altres tàxons, però estan menys representats al registre fòssil Quaternari, com són la classe Anthozoa, Bryozoa, Echinoidea, Crustacea, altres Arthropoda, etc. (Cuerda *et al.*, 1989-90a). Per exemple, entre els crustacis es coneix el cranc *Ocypoda cursor* que a l'actualitat no viu a la Mediterrània occidental, però sí a la Mediterrània oriental i de les costes intertropicals de l'Àfrica atlàntica. A les Balears només s'ha trobat a un jaciment de l'eutirrenià de Magalluf (Mallorca) (Via, 1966).

b- Pistes fòssils, com és el cas de les pistes d'arrels, denominades rizocrecions (Calvet *et al.*, 1975) o les icnites de *Myotragus* (Fornós *et al.*, en premsa). Ambdues són productes de bioturbacions, és a dir, una acció d'organismes damunt substrats blans, que han quedat fossilitzades. També en el litoral es poden observar els efectes de la bioerosió damunt un substrat dur i com a exemple tenim les perforacions fòssils produïdes pel bivalve *Lithophaga lithophaga* (Cuerda, 1975).

c- Excrecions d'animals, com és el cas dels copròlits de *Myotragus* del Plistocè inferior del racó des Matar (Santanyi) (Servera *et*

al., 2001) o bé subfòssils, de l'Holocè, trobats a la cova Estreta (Pollença) (Encinas i Alcover, 1997).

d- Ous fòssils. Filella *et al.* (1996) descriuen la troballa d'un niu amb ous de tortuga terrestre al Pujol des Fum (Formentera). Filella *et al.* (1999) situen cronològicament al jaciment com a Eutirrenià basant-se en mètodes radiocronològics.

e- Estructures vegetals com les que se poden observar en els dipòsits travertínics d'origen llacustre-fluvial de Canyamel i Cala Sant Vicenç a Mallorca. En aquests dipòsits, hi ha pistes i buits dels vegetals inductors de la fixació del CO₂ per formar el carbonat càlcic. Inclòs hi ha uns buits més grossos que són de branques i de troncs d'arbres o arbusts que varen quedar atrapats en aquests cossos sedimentaris (Vicens i Gràcia, inèdit). A Menorca s'ha trobat un dipòsit travertínic d'origen llacustre a l'interior de l'illa (Obrador i Mercadal, 1969).

f- Pol·len. Les anàlisis pol·líniques de distints sondejors de les Balears ens han ajudat a aproximar-nos a la composició florística a cada moment del sondeig en base a la proporció de pol·len present a cada una de les mostres avaluades. En aquest volum (veure Pérez-Obiol *et al.*) es realitza un interessant assaig sobre la paleovegetació del passat i els canvis

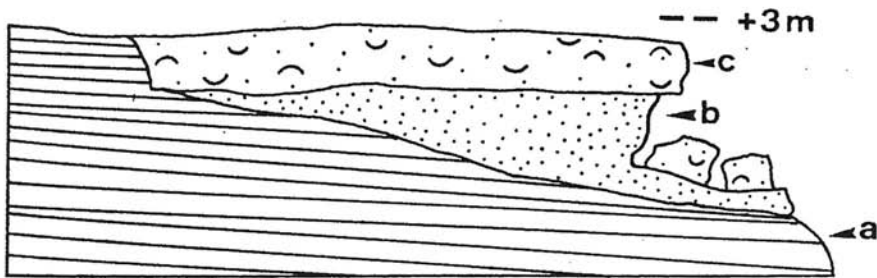


Fig. 4. Tall estratigràfic de Cala Pudent (camp de Tir), modificat de Cuerda (1975). (a) - Duna Riss. (b) - Llims de color vermell groguenc del subestadi 5e. (c) - Dipòsit de platja eutirreniana (subestadi 5e) amb fauna marina termòfila.

Fig. 4. Geological survey of Cala Pudent (camp de Tir), modified from Cuerda (1975). (a) - Duna Riss. (b) - red-yellowish silts (Isotopic Substage 5e). (c) - Eutirrenian beach deposit (Isotopic Substage 5e) with thermophil marine fauna.

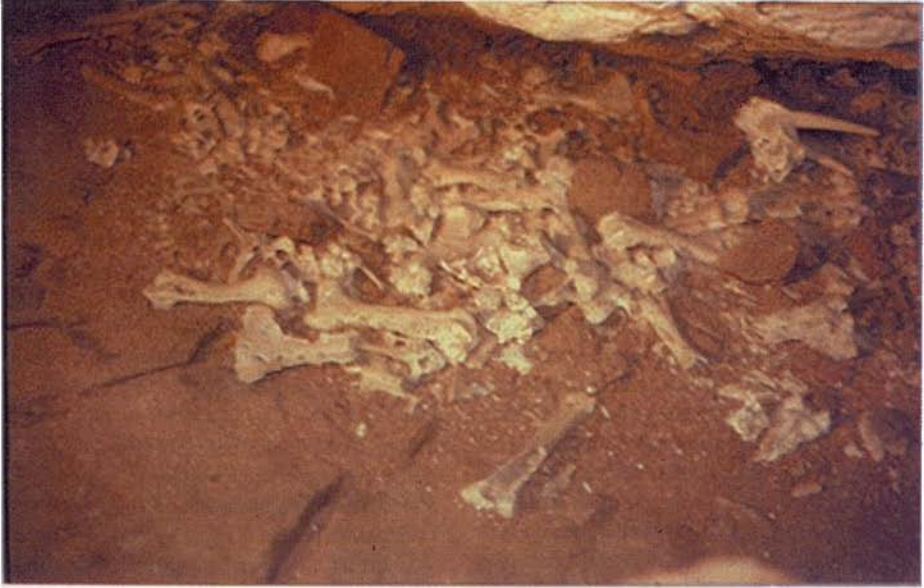


Fig. 5. Restes òssies de *Myotragus balearicus* a la cova Estreta (Pollença).
Fig. 5. Fossils bones of Myotragus balearicus from the Cova Estreta (Pollença).



Fig. 6. Crull a dipòsits de platja fòssil a Son Real (Santa Margalida) reomplerts amb llims vermellosos amb fauna marina. Ambdós del Plistocè superior. (subestadi 5e).
Fig. 6. Crack in deposits of a fossil beach at Son Real (Santa Margalida) refilled with reddish silts and marine fauna, both from the Upper Pleistocene. (Isotopic Substage 5e).

ocorreguts al llarg d'aquests darrers 10.000 anys a les Balears.

Canvi climàtic i mamífers fòssils de les Balears: el cas de *Myotragus* a les Gimnèsies

Del Messinià al límit Plio-Quaternari

Des de l'arribada d'una nova biota a les Balears aprofitant la dessecació de la Mediterrània degut al tancament de la connexió d'aquest amb l'Atlàntic (l'anomenada crisi messiniana fa uns 5,35 milions d'anys) molts han estat els canvis climàtics que han hagut de sofrir aquestes espècies, que quedaren aïllades a les Illes Balears després de que l'Estret de Gibraltar quedàs format a finals del Miocè (Alcover *et al.*, 2000).

L'estudi de nous materials excavats a diferents coves de les Balears, i en concret a Mallorca i Menorca, ha permès l'estudi de diferents paràmetres del gènere *Myotragus* que ens han servit per a focalitzar els efectes dels diferents canvis climàtics sobre la fauna vertebrada del Plio-quaternari de les Gimnèsies.

Així, per exemple, un estudi recent ha permès una nova interpretació de la morfologia dentària de *Myotragus balearicus*, l'espècie terminal del gènere (Bover i Alcover, 1999). En aquest treball es posa de manifest una pauta evolutiva important i fins a la data mai observada a un bòvid. Es tracta de l'adquisició de la monofiodòncia (presència d'una única dentició al llarg de la vida de l'animal, que es tractaria de la primària o de llet, sense que hagi una substitució per una dentició definitiva o permanent) a les dents incisiformes de les tres darreres espècies *M. kopperi*, *M. bateae* i *M. balearicus*. Per altra banda, les dues espècies inicialment assignades al gènere, compten amb una dentició difiodonta, és a dir, amb una substitució de les dents primàries per unes de secundàries. Per aquest motiu s'ha proposat recentment la creació d'un nou gènere (Bover i Alcover, en

premsa) en el qual s'inclourien les espècies més antigues (*M. peponellai* i *M. antiquus*).

Si s'analitza la cronologia de cada espècie (Alcover *et al.*, 1981) es pot inferir que la monofiodòncia apareix entre fa 2,36 milions d'anys i un moment indeterminat durant els inicis del Pliocè superior. Durant aquest interval de temps, es té constància de l'esdeveniment d'un important canvi climàtic (Keigwin i Thunell, 1979; Thunell, 1979; Emiliani, 1992) i un important canvi vegetacional (Julia i Suc, 1980; Bertoldi *et al.*, 1989; Comborieu-Nebout, 1993) a les Illes Balears i en general a tota la conca mediterrània. D'un clima humit i càlid, amb oscil·lacions anuals petites d'un caràcter subtropical es va passar a un clima més fred i sec i de major caràcter mediterrani, amb unes oscil·lacions més marcades. És també en aquest moment quan s'inicien les glaciacions quaternàries. La vegetació també canvia, i es passa d'una vegetació de caràcter subtropical a una vegetació de caràcter mediterrani, amb plantes més abrasives (Julia i Suc, 1980; Bertoldi *et al.*, 1989; Comborieu-Nebout, 1993). L'abrassivitat de la vegetació ha estat relacionada amb l'increment de la hipsodòncia observat al gènere *Myotragus* (Alcover *et al.*, 1981; Marcus, 1998), i que és una de les principals característiques anatòmiques, sobre tot a l'espècie terminal, *Myotragus balearicus*.

Actualment, establir una relació causa-efecte entre aquest gran canvi climàtic del final del Pliocè mitjà i l'important canvi en la dentició esdevingut a la línia filètica de *Myotragus* no és possible, però la cronologia així ho sembla indicar. A més, també és un moment de canvis importants a l'anatomia i evolució de la línia filètica que du fins a la nostra espècie (Alcover *et al.*, 2000), essent el moment d'evolució del gènere *Australopithecus* cap al gènere *Homo*.

La funcionalitat de l'adquisició d'una dentició monofiodòncia per aquest gènere és, encara, en estudi.

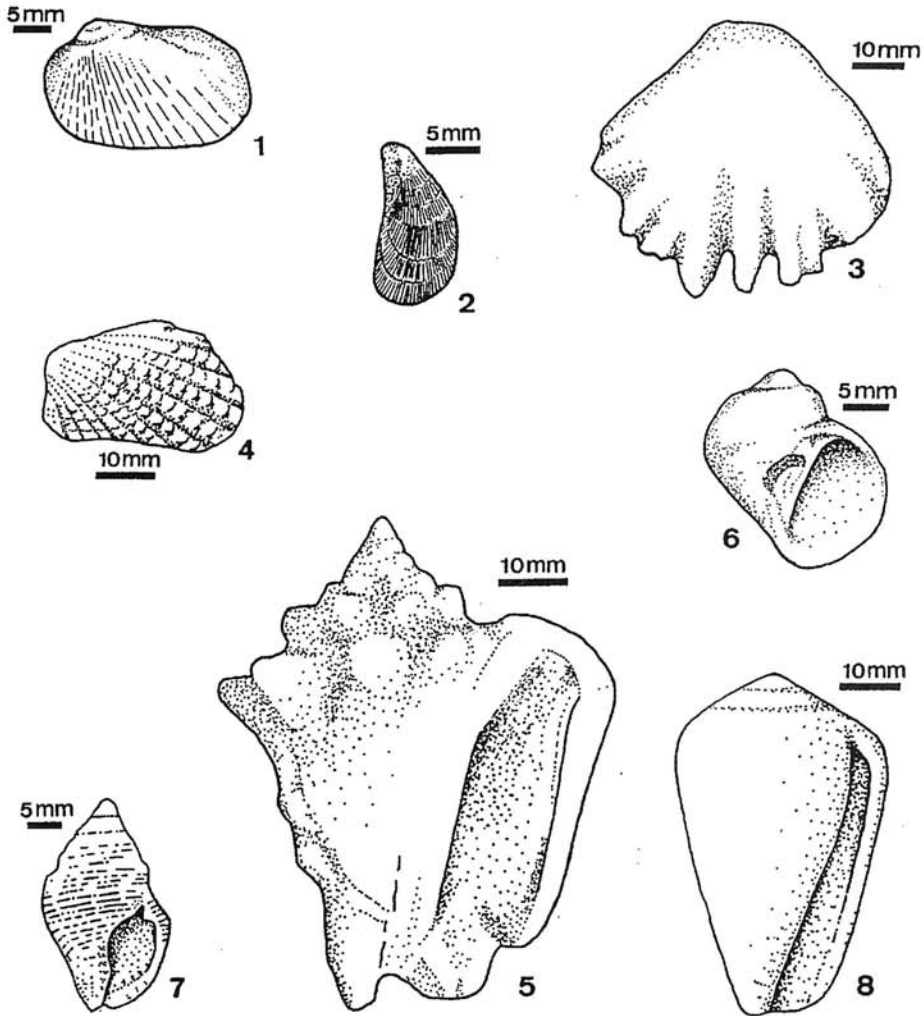


Fig. 7. Mol·luscs termòfils litorals del Plistocè superior de les Balears. 1. *Anadara geissei*. 2. *Brachidontes senegalensis*. 3. *Hyotissa hyotis*. 4. *Cardita senegalensis*. 5. *Strombus bubonius*. 6. *Naticarius turtoni*. 7. *Cantharus viverratus*. 8. *Conus testudinarius*.

Fig. 7. Coastal thermophil mollusca from the Balearic Upper Pleistocene. 1. *Anadara geissei*. 2. *Brachidontes senegalensis*. 3. *Hyotissa hyotis*. 4. *Cardita senegalensis*. 5. *Strombus bubonius*. 6. *Naticarius turtoni*. 7. *Cantharus viverratus*. 8. *Conus testudinarius*.

Efecte de les glaciacions quaternàries sobre els vertebrats de les Illes Balears

La primera glaciació a l'hemisferi nord es produeix fa uns 2,36 milions d'anys (Shackleton i Opdike, 1977). Les glaciacions ten-

gueren un paper molt important per a la paleozoogeografia de les Gimnèsies, com a producteur d'un efecte homogeneitzador de les mastofaunes d'aquestes illes. Segons Alcover *et al.* (1999), la crisi messiniana hauria permès una colonització per espècies dife-

rents a Mallorca i a Menorca. Mentre a Mallorca els vertebrats terrestres del Pliocè inferior estaven formats per membres de la línia filètica de *Myotragus*, per la rata cellarda fòssil *Hypnomys*, per la mussaranya Nesiotites, per la sargantana *Podarcis*, i possiblement per un amfibi (*Alytes*) (Alcover *et al.*, 1999), a Menorca aquesta fauna estava representada per una espècie de lepòrid de gran mida encara en estudi (Quintana, com. pers.), per una tortuga gegant del gènere *Cheirogaster* i per un liró del gènere *Muscardinus* (Alcover *et al.*, 1999) i per altres amfibis i rèptils. Durant un determinat moment del Pliocè mitjà/superior, i degut a la connexió entre les illes de Mallorca i Menorca durant un període glaciari, totes les espècies de Mallorca colonitzen Menorca. Aquest fet provoca la desaparició de les espècies messinianes de vertebrats terrestres de Menorca en el que s'anomena *turnover* o canvi en la composició d'una determinada fauna per una altra (MacArthur i Wilson, 1967). La recent adjudicació de l'espècie de *Myotragus* del Pliocè-Plistocè mitjà exclusiva de Menorca, *M. binigausensis* (Moyà-Solà i Pons-Moyà, 1980), a l'espècie de Mallorca *M. bateae* per

Bover i Alcover (2000) corrobora aquest fet. A més, altres autors, suggereixen la revisió taxonòmica d'altres espècies de vertebrats terrestres del Pleistocè mitjà de Menorca degut a que es poden també adjudicar a espècies de l'illa de Mallorca (Reumer, 1982).

Mol·luscs marins quaternaris amb valor estratigràfic

Introducció històrica

A l'excursió del V Congrés Internacional per a l'Estudi del Quaternari (INQUA) del setembre del 1957, Joan Cuerda i Andreu Muntaner mostren als congressistes que les platges tirrenianes de Mallorca contenen diferents conjunts de fòssils a diferents contextos litoestratigràfics. El treball de camp i l'inventari de mol·luscs fòssils, es va fonamentar en dos criteris diferents (Butzer, 1985):

-La identificació de les associacions de fòssils va demostrar que hi havia espècies d'aigües càlides [anomenades per Cuerda (1957; 1987) i autors posteriors com a sene-

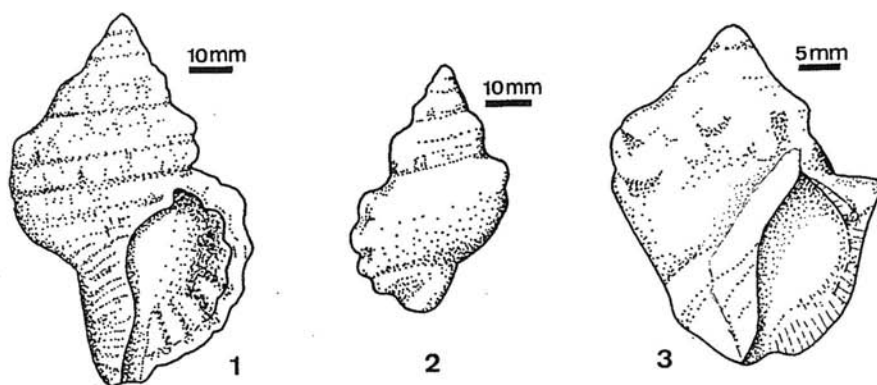


Fig. 8. Mol·luscs litorals del subestadi 5e que actualment viuen a més profunditat a les aigües de les Illes Balears. 1. *Cymatium costatum*. 2. *Bursa scrobiculator*. 3. *Thais haemastoma* ssp. *consul*.

Fig. 8. Coastal mollusca of the substage 5e currently living deeper in the Balearic waters. 1. *Cymatium costatum*. 2. *Bursa scrobiculator*. 3. *Thais haemastoma* ssp. *consul*.

galeses] a algunes platges tirrenianes de Mallorca i que aquestes variaven en presència/absència a associacions temporalment diferents (Cuerda, 1957).

-Les associacions de fòssils també varien segons les fàcies sedimentàries, reflectint diferents paleoambients costaners (Cuerda, 1957; Muntaner 1957).

J. Cuerda des dels inicis de la seva recerca, devers l'any 1947 fins al 1957, va dur un treball d'inventari, recollint molts de fòssils a les platges quaternàries de la Badia de Palma, amb una estreta col·laboració amb Andreu Muntaner. Els coneixements assolits, les publicacions que realitzà al Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears i la magnífica col·lecció paleontològica que J. Cuerda anava formant determinaren, en certa manera, que quan se celebrà a Espanya el V Congrés de l'INQUA, es planificà una visita a Mallorca. Amb motiu d'aquest congrés, J. Cuerda va publicar una primera síntesi dels resultats dels seus treballs i, el que va ser més important per a ell, va iniciar una sèrie de contactes amb altres investigadors del Quaternari. Cal destacar les relacions que va mantenir amb el Professor Karl W. Butzer, de la Universitat de Chicago, amb el que realitzà una sèrie de treballs que publicaren entre 1960 i 1962 (Barceló, 1985). Butzer, prestigiós quaternarista, sempre ha tingut en compte els jaciments de Mallorca estudiats conjuntament amb en J. Cuerda a treballs que parlen del Quaternari a escala mediterrània o mundial.

Cuerda (1975) va publicar una obra d'especial rellevància ja que sintetitza els coneixements i aportacions dels autors que havien estudiat a les Balears el Quaternari. Posteriorment, Cuerda (1987) publicà un excel·lent catàleg, obra de consulta obligada, a on es descriuen i figuren tots els mol·luscs trobats a les Balears fins aquest període.

Mol·luscs litorals

La majoria del dipòsits del Quaternari marí provenen de platges, per la qual cosa els fòssils que hi ha són de paleoambients molt litorals. Cuerda (1987) cita uns 300 tàxons de mol·luscs d'aigües marines i salobres (entre espècies i varietats) trobats a les Balears. Les noves cites posteriors són escasses i s'han citat les següents espècies trobades a jaciments del Plistocè superior: *Chlamys bruei*, *Chama bicornis*, *Alvania carinata* var. *ecarinata*, *Alvania cimex* var. *varicosa*, *Alvania hirta*, *Bittium reticulatum* var. *exigua*, *Bela laevigata* i *Smithiella smithi* a Cuerda et al. (1989-90b); *Alvania cancellata* var. *varicosa*, *Rissoa decorata*, *Cerithiopsis tubercularis* var. *subulata*, *Cantharus pictus*, *Bellaspira septangularis*, *Raphitoma echinata* i *Raphitoma bicolor* a Cuerda et al. (1993) del jaciment ST II de Portocolom; i *Rissoa auriscalpium*, *Alvania geryonia*, *Erosaria spurca* i *Muricopsis diadema* a Vicens et al. (1998) del jaciment del Frontó des Molar (Manacor).

Els jaciments marins del Plistocè inferior i mitjà són escassos per la qual cosa hi ha pocs fòssils citats. Cal destacar un jaciment atribuït al límit Plio-Quaternari a Vallgornera (Llucmajor) on s'han citat dues espècies termòfiles com són *Saccostrea virleti* i *Purpura gallica*, avui extintes. També s'han citat dues espècies de significació càlida del Plistocè inferior com són: *Acanthina plessisi* i *Saccostrea cucullata* en el jaciment del Pas del Verro (Llucmajor) (Cuerda, 1987; Cuerda i Sacarés, 1970).

Dels mol·luscs litorals citats en el Plistocè superior balear, hi ha espècies termòfiles que no viuen a la Mediterrània, varies que viuen a les zones més càlides d'aquesta mar i una és extinta.

Entre el mol·luscs fòssils marins tenim les espècies anomenades, per Cuerda (1987), senegaleses o de fauna càlida, actualment extintes a les Balears i que avui viuen a les costes del Senegal i costes africanes veïnes, que afavorides per un clima càlid al Mediterrani envaïren la nostra mar a l'Eutirrenià, i es varen extingir als inicis de la glaciació Würm

(Cuerda, 1987). Són les següents: *Anadara geissei*, *Brachidontes senegalensis*, *Hyotissa hyotis*, *Cardita senegalensis*, *Strombus bubonius*, *Naticarius turtoni*, *Cantharus viverratus* i *Conus testudinarius* (Fig. 7).

Acompanyant a les espècies de fauna càlida podem trobar *Cymatium costatum* i *Bursa scrobiculator*, que durant l'Eutirrenià vivien en aigües litorals, i que a l'inici del Würm realitzaren un desplaçament batimètric cap a zones més profundes on la temperatura és més constant (Fig. 8). També és freqüent *Barbatia plicata*, bivalve actualment extint a la Mediterrània i *Mathilda granosa*, espècie extinta, trobada només a un jaciment eutirrenià de Mallorca.

Altres mol·luscs d'interès cronoestratigràfic són: *Ungulina rubra*, *Eastonia rugosa*, *Patella ferruginea*, *Monodonta lineata*, *Theridium minutum*, *Polinices lacteus*, *Arcularia gibbosula* i *Mitra fusca*, espècies extintes a les Balears, però vivents a les àrees més

meridionals i càlides de la Mediterrània occidental. També és d'interès la subespècie *Thais haemastoma* ssp. *consul* que ha sofert un desplaçament batimètric a partir dels inicis del Würm.

Al Neotirrenià de les Balears es troba una fauna "termòfila empobrida", constituïda bàsicament per *Cantharus viverratus* (fragments), *Brachinodontes senegalensis* i *Barbatia plicata*. La major part de les espècies termòfiles no varen resistir als inicis de la glaciació Würm (Cuerda, 1975; 1987), que traduït als estadis isotòpics es correspondria amb el subestadi 5b.

Els autors que han estudiat el Quaternari de les Balears, quan parlen de "fauna banal" es refereixen a la resta d'espècies trobades fòssils al Plistocè que actualment viuen a les aigües de les Balears i que en aquest article s'ha utilitzat amb el mateix significat.



Fig. 9. Dipòsit a +0,5 m amb fòssils de bivalves del Plistocè superior a Son Real (Santa Margalida).
Fig. 9. Deposit at +0.5 m with fossil bivalves from the Upper Pleistocene at Son Real (Santa Margalida).

Mol·luscs termòfils del Plistocè inferior***Acanthina plessisi* (Lecointre, 1952)**

Gasteròpode extint que es pot considerar com espècie característica del Plistocè inferior (Cuerda, 1987). S'ha trobat un exemplar en el jaciment del Pas des Verro (Llucmajor) a +72 m sobre el nivell de la mar (Cuerda i Sacarés, 1970).

***Saccostrea cucullata* Rafinesque, 1815**

Bivalve extint en el Mediterrani. Actualment viu a la Mar Roja i a les costes càlides africanes de l'Atlàntic (Cuerda, 1987). S'ha trobat al jaciment del Pas des Verro (Llucmajor) (Cuerda i Sacarés, 1970).

Mol·luscs termòfils del Plistocè superior**Bivalvia*****Anadara geissei* (Dunker, 1891)**

Es tracta d'una espècie molt característica de l'Eutirrenià mediterrani (Cuerda, 1987), però a les Balears només s'ha trobat una valva al jaciment mallorquí de Cala Pudent (Cuerda, 1981).

***Hyotissa hyotis* (Linnaeus, 1758)**

Té una àmplia dispersió estratigràfica a la Mediterrània, ja que hi ha cites en el Miocè, Pliocè i Quaternari (Cuerda, 1987). A les Balears s'ha trobat a l'Eutirrenià de Cala Pudent, els Bancals i Torre de s'Estalella de Mallorca.

El seu hàbitat és a fons rocosos fins a 60 m de profunditat.

***Ungulina rubra* Roisy, 1870**

Trobada al jaciment Neotirrenià de Cala Gamba, i en el jaciments de l'Eutirrenià de ses Fontanelles i Can Vanrell de Mallorca (Cuerda, 1987). A Menorca es cita *Ungulina* aff. *rubra* (Mercadal, 1962).

***Barbatia plicata* Chemnitz, 1870**

Aquesta espècie es troba en els dipòsits eutirrenians i neotirrenians de les Balears. En

els dipòsits eutirrenians es troba associada a les denominades senegaleses, però no es pot considerar com a tal, no només perquè avui no viu al Senegal, sinó que a més es troba fòssil en el Miocè superior i en el Plistocè inferior. Actualment, es troba a la mar Roja i viu a la Mediterrània a la zona propera al canal de Suez. Ha estat usada com a espècie amb valor estratigràfic (Cuerda, 1987). A més dels jaciments mallorquins i menorquins citats per Cuerda (1987), que són molt nombrosos, també s'ha trobat *Barbatia plicata* als jaciments eutirrenians de sa Font Cel·lada (Vicens i Gràcia, 1988), i de Son Real (Cuerda et al., 1991) i al jaciment Neotirrenià de Portocolom ST II (Cuerda et al., 1989-90). Poppe i Goto (1993) la donen, erròniament, com a sinònima d'*Asperarca nodulosa*. Aquesta és una espècie present a les Illes Balears citada per Bonnin i Rodríguez-Babio (1990) i Pons-Moyà et al. (2001).

***Brachidontes senegalensis* (Lamarck, 1819)**

Aquest bivalve mitilid juntament amb *Barbatia plicata* és l'espècie més tolerant als canvis climàtics, doncs la trobam fòssil a l'Eutirrenià i al Neotirrenià. Va resistir la primera fase freda del Würm, cosa que no varen resistir la major part de les espècies termòfiles (Cuerda, 1975). A més dels jaciments citats per Cuerda (1987), s'ha d'afegir el jaciment Eutirrenià de sa Font Cel·lada (Vicens i Gràcia, 1988). La cita de Cuerda et al. (1989-90) al jaciment ST II de Portocolom d'aquest bivalve s'ha de rebutjar, ja que es tracta d'un altre mitilid.

***Cardita senegalensis* Reeve, 1843**

Nordsieck (1969) la considera una varietat de *Cardita calyculata*, una espècie comuna a les Illes Balears. L'única diferència entre ambdues espècies és que *Cardita senegalensis* és de dimensions majors. A les Balears només s'ha trobam fòssil a jaciments eutirrenians de Mallorca (Cuerda, 1987).

***Eastonia rugosa* (Chemnitz, 1782)**

S'ha trobat un exemplar a can Menut (Mallorca) (Antich i Soler, 1986; Cuerda,

1987). El dipòsit on es va trobar és una antiga albufera d'edat eutirreniana (Cuerda, 1968).

Gastropoda

Patella ferruginea Gmelin, 1790

És una pegellida de grans dimensions, pot arribar als 85 mm de llargària. Hi ha exemplars que presenten les costelles ben marcades, mentre d'altres tenen la closca quasi llisa. A Mallorca la trobam a diferents pisos del Quaternari. Al Plistocè inferior els exemplars presenten unes dimensions més reduïdes que en el Plistocè mitjà i superior. A l'Eutirrenià de Mallorca la trobam a jaciments que determinen paleoambients mesolitorals i rocosos. En el Neotirrenià s'ha trobat un únic exemplar (Cuerda, 1987). Segons Cuerda (1975), excepcionalment la trobam viva a les nostres costes i il·lustra un exemplar, presumptament actual, de Cabrera (Col. R. Galiana), si bé, posteriorment, es va fer un estudi a 31 estacions de mostreig a Mallorca i no es va trobar (Bosch i Moreno, 1986). Altaba (1993) no la cita de Cabrera, però en canvi a Altaba (1999) considera que *P. ferruginea* no és rara a Mallorca i fotografia *P. ulysiponensis* indicada al peu de foto com a *P. ferruginea*. No obstant, J. Templado (in: <http://www.mma.es>) considera que *Patella ferruginea* va comptar amb una distribució molt més àmplia, fins a dates molt recents, des de la zona de l'Estret de Gibraltar fins al cap de Gata, si bé les seves poblacions s'han anat fragmentant, minvant i extingint progressivament en pocs anys. Les citacions actuals més recents a la península Ibèrica corresponen a García-Gómez (1983), que cita alguns exemplars vius de dues localitats de l'interior de la badia d'Algeciras, a Aartsen *et al.* (1984), que esmenta únicament closques buides a la badia d'Algeciras i a Grandfils (1982), Grandfils i Vega (1982) i Luque (1986), que l'esmenten a alguns punts de les costes de Màlaga i Granada. L'última referència escrita de l'espècie a les costes peninsulars és la de Moreno (1992), que cita dos exemplars vius al cap de Gata. Més al nord d'aquest accident geogràfic no existeixen citacions recents de l'espècie.

Hidalgo (1917), a la seva obra sobre els mol·luscs marins d'Espanya i Portugal, cita l'espècie de Màlaga, Cadaqués, Fornells i Maó. Templado (in: <http://www.mma.es>) considera dubtoses les cites de la Costa Brava i de Balears o basades en exemplars subfòssils, doncs en aquesta obra hi ha nombrosos errors en l'assignació de les localitats per a moltes espècies. Tampoc no s'han trobat exemplars entre les restes arqueològiques de les Balears (D. Ramis com. pers.), això fa pensar en una extinció antiga. Les úniques poblacions viables de l'estat a l'actualitat de *Patella ferruginea* són les de Melilla i illes Chafarinas.

Strombus bubonius Lamarck, 1822

És freqüent en els jaciments de fàcies arenosa-fangosa. A Mallorca és abundant en els jaciments d'Andratx, Calvià i la Badia de Palma; és escàs a la zona de Llevant i molt rar a les costes septentrionals. A les Illes Pitiüses és escàs i a Menorca no s'ha trobat (Cuerda, 1987). S'han d'afegir els següents jaciments on s'ha trobat aquest mol·lusc: cala de sa Font Cel·lada (Vicens i Gràcia, 1988) i Son Real (Cuerda *et al.*, 1991), a Mallorca; es Copinyar a Formentera (Gässer, 1998).

Polinices lacteus (Guilding, 1831)

Viu a la zona infralitoral amb arena. Es nodreix d'altres mol·luscs després de perforar la seva closca (Nicklès, 1950). A Mallorca només s'ha trobat a l'Eutirrenià (Cuerda, 1987).

Naticarius turtoni (E.A. Smith, 1890)

És una espècie poc citada del Plistocè mediterrani. A Mallorca s'ha trobat en els jaciments eutirrenians de cala Vella i es Carnatge (Cuerda, 1987).

Theridium minutum (De Serres, 1822)

Al Plistocè balear s'ha trobat a l'Eutirrenià de Torre d'en Pau, Son Moson i ses Fontanelles a Mallorca (Cuerda, 1987).

Arcularia gibbosula (Linnaeus, 1780)

S'ha trobat en el jaciment de l'Eutirrenià final de ses Fontanelles i en el jaciment

Neotirrenià de cala Gamba a Mallorca. També s'ha trobat al Plistocè superior de Cabrera (Cuerda, 1987).

Cymatium costatum (Born, 1780)

Aquesta espècie viu actualment a les costes africanes intertropicals damunt les roques litorals; en el Mediterrani viu a major profunditat damunt fons fangós. A Mallorca la trobam fòssil associada a les espècies termòfiles de l'Eutirrenià a dipòsits que indiquen un paleoambient litoral (Cuerda, 1959; 1987). *Cymatium costatum* és molt sensible als canvis de temperatura de les aigües on habita, per això, a partir de l'inici de la darre-ra glaciació, la Würm, es va desplaçar a zones més profundes on la temperatura es més constant (Cuerda, 1987). A Mallorca són nombrosos els jaciments on s'ha trobat (Cuerda, 1987), però cal afegir el següents: Son Real (Santa Margalida) (Cuerda *et al.*, 1991) i s'Arenalet (Artà) (Vicens, inèdit). A Menorca s'ha trobat en el jaciment eutirrenià de sa cova de ses Haches (Mercadal, 1966). A les Pitiüses no tenim constància de que s'hagui trobat a pesar de que s'han trobat espècies d'aigües càlides a Formentera (Cuerda, 1984; Gässer 1998; Henningsen *et al.*, 1981).

Bursa scrobiculator (Linnaeus, 1758)

A Mallorca i a Menorca s'ha trobat fòssil en dipòsits de fàcies litoral de l'Eutirrenià. Actualment és una espècie que viu a més profunditat. És un cas semblant a *Cymatium costatum* (Cuerda 1975; 1987).

Cantharus viverratus (Kiener, 1834)

És un fòssil freqüent a l'Eutirrenià de Mallorca, si bé se n'han trobat alguns exemplars i petits fragments rodats al Neotirrenià. És una espècie indicadora d'un paleoambient litoral i rocós (Cuerda, 1987).

Conus testudinarius Martini, 1773

Molt característic de l'Eutirrenià mallorquí. Al Neotirrenià se n'han trobat alguns exemplars però hi és molt escàs. Les closques dels exemplars més antics són més gruixades que les més modernes (Cuerda,

1987). Els jaciments on s'han trobat exemplars són nombrosos i als citats per Cuerda (1987) s'han d'afegir els següents: Son Real (Cuerda *et al.*, 1991) i cala s'Almunia (Vicens, inèdit) a Mallorca; es Copinyar, a Formentera, (Gässer *et al.*, 1997) de cronologia eutirreniana (Gässer, 1998).

Cuerda (1987) suggereix que alguns dels fòssils d'aquesta espècie trobats al Neotirrenià de Mallorca poden tractar-se de fòssils retraballats procedents de l'Eutirrenià.

Mitra fusca Swainson, 1833

Al Plistocè balear únicament s'han trobat dos exemplars a jaciments eutirrenians de Mallorca: un a sa Torre de s'Estalella i l'altre a cala Agulla (Cuerda, 1987).

Melania tuberculata Müller, 1773

És una espècie d'aigües càlides que viu normalment a llacunes costeres. S'ha trobat a Mallorca, Menorca i Eivissa a jaciments eutirrenians i neotirrenians (Cuerda, 1987). A cala Sant Vicenç (Pollença) s'ha trobat a dipòsits travertínics coberta d'una pàtina (cf. *Melania tuberculata*) (Vicens, inèdit).

Pirenella conica (Blainville, 1826)

Només s'ha trobat al jaciment neotirrenià de Magalluf (Mallorca) en un dipòsit representatiu d'una fàcies costera-llacunar (Cuerda, 1987).

Thais haemastoma* ssp. *consul (Chemnitz, 1788)

Segons Cuerda (1987) aquest mol·lusc s'ha trobat viu a la badia de Palma entre 20 i 40 m de profunditat i fins fa poc era una espècie d'interès comercial. S'ha trobat fòssil a jaciments del Plistocè superior de Mallorca de fàcies litoral, per la qual cosa Cuerda (1987) suggereix que possiblement ha sofert un desplaçament batimètric a partir dels inicis de la glaciació Würm cercant una temperatura més constant de les aigües.

Mathilda granosa (Borson, 1821)

El jaciment eutirrenià del cap Orenol a Mallorca (Cuerda i Muntaner, 1960; Cuerda,

1975) va lliurar un exemplar de l'espècie, juntament amb espècies de fauna càlida (Cuerda, 1981). Per ser una espècie extinta recentment, no es coneixen detalls de la seva biologia, si bé es pot considerar, per la fauna present al jaciment mallorquí, com a litoral (Cuerda, 1981; 1987).

Mol·luscs de profunditat

Pel que fa a la fauna marina quaternària de profunditat és molt menys coneguda que la litoral. Durant aquests darrers anys s'han publicat articles referents a la fauna de mol·luscs de profunditat (actuals, fòssils i subfòssils) de la mar Balear de la badia de Palma. La primera nota fa referència a mol·luscs d'entre 150-200 m (Pons-Moyà i Pons, 1997), la segona a profunditats d'entre 100-300 m (Pons-Moyà *et al.*, 1998), la tercera entre 300-400 m (Pons-Moyà i Pons, 1999) i per últim de fons batials (uns 700 m) (Pons-Moyà i Pons, 2000).

A l'actualitat només es coneixen dues espècies genuines de fons batials recollides a uns 700 m de profunditat: *Torellia vestita* i *Seguenzia monocingulata*, ambdues darreres citades recentment d'aigües d'entre Mallorca i Eivissa (Pons-Moyà i Pons, 2000).

Es coneixen quatre gèneres de mol·luscs de profunditat típics d'aigües fredes atlàntiques com: *Arctica islandica*, *Neptunea contraria*, *Seguenzia monocingulata* i *Torellia vestita* caracteritzen el nivell de la darrera fase glacial. Aquestes associacions amb elements wurmians són semblants a altres descrites durant aquests darrers anys a la Mediterrània. Tanatocenosís compreses entre 300 i 700 m, constituïdes per esquelets de coralls blancs (*Lophelia prolifera*, *Madrepora oculata* i *Desmophyllum cristagalli*) són característiques per la seva associació amb *Lima excavata* i *Coralliophilla richardi* (= *lactuca*). Algunes de les espècies de mol·luscs que apareixen són també conegudes d'aigües de l'estret de Sicília i de Balears (Taviani i Colantoni, 1979). Aquestes formacions coral·lines han estat datades i corresponen cronològicament

amb l'últim període glacial (veure Delibrias i Taviani, 1985).

Bouchet i Taviani (1989) citen diferents espècies subfòssils absents de la fauna actual de la Mediterrània i pròpies d'aigües fredes atlàntiques, d'entre aquestes recullen un exemplar de *Claviscala richardi* per a fons de la conca de les Balears (B-74/3, 37°39'N, 00°01'W, 940-260 m), encara que en la realitat corresponen a mostres del SE d'Alacant datades a més de 33.000 anys a.P. (Delibrias i Taviani, 1985). Recentment, tanatocenosís semblants a les mostres han estat descrites per Bonfitto *et al.* (1994) procedents de múltiples dragats en el SE de Sardenya.

Bivalvia

Arctica islandica (Linnaeus, 1767)

Aquesta espècie d'aigües fredes, s'ha dragat a 100 m de profunditat entre Cabrera i Eivissa a sediments dels Würm (Paulus, 1950). *Arctica islandica* va viure a la Mediterrània durant el màxim de la regressió wurmiana (Paulus, 1950). No obstant, també s'ha de dir que a l'actualitat aquesta espècie també pot viure des de la zona intermareal fins als 500 m de profunditat. El fet de provenir d'un dragat ha conduït a que s'hagi inclosa amb les espècies de profunditat (d'aigües fredes).

Gastropoda

Seguenzia monocingulata (Seguenza, 1879)

Únicament ha estat citada de dipòsits del Pleistocè inferior (Micali i Villari, 1986), essent la primera i única citació wurmiana d'aquesta espècie de fons batials recollides a uns 700 m de profunditat per a les Balears (Pons-Moyà i Pons, 2000).

Torellia vestita (Jefferys, 1867)

És coneguda a la Mediterrània gràcies a dragats efectuats al canal de Sicília (Bouchet i Taviani, 1989). Viu a les zones abissals superiors i batials, entre 100 i 2000 m, del nord de l'Atlàntic (Noruega, Islàndia i nord de les illes Britàniques i aigües profundes més

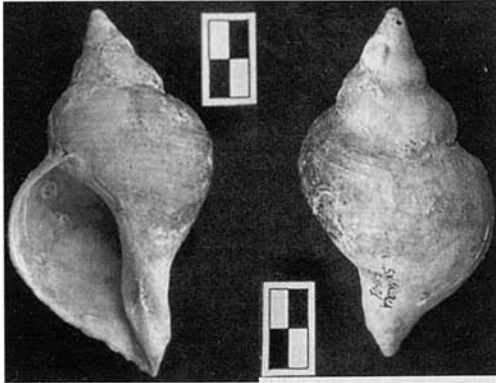


Fig. 10. *Neptunea contraria* (Linnaeus, 1771). Escala 2 cm.

al sud) (Poppe i Goto, 1991). A l'est té el seu límit de distribució al golf de Biscaia (Bouchet i Warén, 1979). Segons Bouchet i Tavian (1989), amb aquesta distribució boreal, suggereixen que l'espècie penetrà a la Mediterrània durant un període climàtic fred. Actualment és considerada una espècie extinta de la Mediterrània.

Neptunea contraria (Linnaeus, 1771)

Una espècie nova per al Quaternari de Mallorca és *Neptunea contraria*, provinent del SO de Mallorca i recol·lectada amb entre les restes de xarxes d'una barca de bou a uns 700 metres de profunditat (Pons-Moyà i Pons, 2001) (Fig. 10).

A l'Atlàntic occidental es coneixen tres espècies del gènere *Neptunea*: *N. antiqua* (Linnaeus, 1758), *N. contraria* (Linnaeus, 1771) i *N. despecta* (Linnaeus, 1758), mentre que a la Mediterrània només ha estat citada *N. contraria* únicament com a fòssil en comptades ocasions (Poppe i Goto, 1991). Nordsieck (1982) la cita d'Eivissa i del Golf de Lleó, caldria revisar les seves citacions ja que segurament es tracten d'exemplars fòssils de vegades ocupats per crustacis (Decapoda).

N. contraria és una espècie de mida gran, té uns 80 a 120 mm de llargària i viu a l'actualitat entre els 100 i 1000 m de profunditat a la costa atlàntica de la península Ibèrica i del Marroc. Com dona a entendre el seu nom és una espècie levògira.

Mol·luscs terrestres

Els fòssils de mol·luscs terrestres del Plistocè són molt interessants. A cada illa en particular hi trobam diferències i les més grans es troben entre la fauna de les Gimnèsies i de les Pitiüses (Cuerda, 1975). A ambdós grups d'illes sembla que hi ha extincions en massa, possiblement durant o abans de la darrera glaciació; els supervivents d'aquests esdeveniments serien els elements nadius de la fauna malacològica actual. Els mol·luscs terrestres són més sensibles als canvis climàtics que els mol·luscs marins perquè les variacions tèrmiques de l'atmosfera són molt més grans que a la mar, on la temperatura es manté més constant i el canvis són més graduals. També són molt més sensibles als canvis d'humitat. La combinació d'ambdues característiques fa que els mol·luscs terrestres siguin excel·lents indicadors dels ambients i climes del passat (Paul i Altaba, 1992).

Entre els mol·luscs de significació càlida hi ha *Rumina decollata*, només present als nivells del Plistocè inferior de les Balears (Cuerda, 1975) i d'indubtable valor biogeogràfic (Vicente i Bech, 1999) i *Mastus pupa*, que actualment viu al sud d'Itàlia i nord d'Àfrica, i que es va extingir pel canvi climàtic esdevingut amb l'inici de la darrera glaciació pleistocènica (Würm) (Cuerda, 1975). Altres extincions es donen paral·lelament a l'arribada del l'home a les Balears (extincions paral·leles a les faunes vertebrades). Trobam exemples com *Trochoidea cuerdaei* i *T. frater extintes* a Menorca molt recentment segurament degut al canvi de les condicions ambientals després de l'arribada de l'home (Quintana, 1998a).

Consideracions cronològiques dels dipòsits marins del Plistocè superior de les Balears

A Mallorca durant el Plistocè mitjà i superior hi ha estabilitat tectònica la qual cosa

facilita estudiar els jaciments d'aquestes edats (Cuerda, 1975). Així, els jaciments del Plistocè superior, tant a Mallorca com a la resta d'illes de l'arxipèlag, majoritàriament es troben entre 0 i +2 m sobre el nivell actual de la mar.

Les dades obtingudes recentment a partir de datacions de Th/U d'espeleotemes freàtics procedents de coves costaneres de Mallorca (Ginés, 2000; Tuccimei *et al.*, 2000) fan que canviïn el model glaciostàtic proposat per autors que han estudiat el Quaternari mallorquí (Butzer, 1975; Cuerda 1975; Rose, 1978) que utilitzaren les datacions Th/U obtingudes a partir de mol·luscs fòssils provinents de dipòsits del Plistocè (Stearns i Thurber, 1965; 1967), si bé fa una sèrie d'anys Stearns (1985) ja remarcava que s'havien de revisar les edats dels mol·luscs mallorquins datats i rebutjar les que se tenien. A més a més, es poden fer noves interpretacions dels dipòsits marins del Plistocè superior de les Balears, i pot ser expliquin el perquè hi ha jaciments amb fauna termòfila, amb fauna termòfila empobrida i amb fauna banal en el Plistocè superior de les Balears.

A les Balears, fins a treballs molt recents s'ha utilitzat la terminologia marina mediterrània i les glaciacions alpines utilitzada per Butzer i Cuerda (1960; 1962), però hores d'ara és més adient utilitzar la terminologia de Shackelton i Opdyke (1973) en base al registre marí d'isòtopes d'oxigen, per diferenciar els episodis del Quaternari.

Els jaciments amb fauna termòfila amb *Strombus bubonius* s'han considerat sempre de l'Eutirrenià, i els que contenen fauna termòfila empobrida o fauna banal de l'Eutirrenià o del Neotirrenià, depenent bàsicament de la posició estratigràfica i de les característiques litològiques del dipòsit, comparant-los implícitament amb els dipòsits clàssics de la badia de Palma, motiu més que justificat ja que són dels millors de les Balears (Cuerda, 1975).

Segons Ginés (2000) l'Eutirrenià de Mallorca és una unitat complexa que engloba els estadis 5 i 7 del registre marí. Si bé la concordància cronològica de les distintes unitats

de l'Eutirrenià de Mallorca és acceptablement bona en relació a les dades aportades pel registre marí profund, les informacions subministrades per l'alçària dels dipòsits són molt menys clarificadores.

Així per exemple, en el torrent de cala Blava hi ha unes arenas llimoses a uns +1,5 m s.n.m. amb 36 espècies de mol·luscs, entre les quals es va trobar *Barbatia plicata*. Es va correlacionar estratigràficament amb el nivell Neotirrenià del torrent de son Granada (Llucmajor) que no havia lliurat cap espècie termòfila (Cuerda *et al.*, 1984). També en el torrent de cala Blava es va trobar un nivell a + 1,65 m s.n.m. sensiblement distint a l'anterior, tant per la litologia com per la fauna, que es va situar cronològicament a l'Eutirrenià a pesar de no haver-hi trobat cap espècie termòfila (Cuerda *et al.*, 1985).

Cuerda (1979), en el jaciment del Carnatge (Mallorca), descriu tres nivells fòssilífers: l'inferior el correlaciona amb el de Camp de Tir (Cala Pudent) i el situa a l'Eutirrenià per haver-hi fauna d'aigües càlides. Per sobre hi ha un altre nivell amb fauna d'aigües càlides per la qual cosa també el situa cronològicament a un Eutirrenià més modern. El nivell superior es caracteritza per haver-hi una fauna termòfila empobrida constituïda per: *Conus testudinarius* (trobat a la base d'aquest nivell), *Cantarus viverratus* (fragments), *Barbatia plicata* i *Thais haemastoma ssp. consul* i el situa cronològicament al Neotirrenià. A altres ocasions, el nivell superior s'ha separat en dos nivells diferents, resultant quatre nivells (Cuerda, 1975; Cuerda i Osmaston, 1978).

Cuerda (1987) suggereix que *Conus testudinarius* s'ha trobat poc al Neotirrenià de Mallorca i que alguns d'ells poden ser fòssils retreballats procedents de l'Eutirrenià de base.

Pel que fa a *Cantharus viverratus* la presència en el Neotirrenià de Mallorca és molt escassa. Curiosament coincideix en alguns jaciments neotirrenians on s'han trobat *Conus testudinarius* com al jaciment de la Pineda descrit per Cuerda (1975).

Recentment, els quatre nivells marins fossilífers del Carnatge (unitat 1 i 2 amb fauna eutirreniana i la unitat 3 i 4 amb fauna neotirreniana) s'han datat amb tècniques radiomètriques de Th/U i han donat edats de 135 ka (unitat 1), 117 ka (unitats 2 i 3) i 100 ka (unitat 4) (Hillaire-Marcel *et al.*, 1996) que quadren amb tres nivells alts de la curva eustàtica pel darrer interglacial realitzada a partir de datacions Th/U d'espeleotemes freàtics de coves costaneres de Mallorca per Ginés (2000) i Tuccimei *et al.* (2000) i es corresponen amb els subestadis 5e₁, 5e₂ i 5c.

Al caló des Cans hi ha un nivell que a pesar de ser bastant fossilífer, no s'ha trobat *Barbatia plicata* ni cap fragment de *Cantharus viverratus*, mol·luscs freqüents a altres jaciments ja sigui amb fauna termòfila o termòfila empobrida. Aquest nivell està constituït per llims vermellosos i està per sobre d'un altre que sí conté fauna termòfila. A les hores es va considerar que el nivell inferior era de l'Eutirrenià i el que contenia fauna banal era de l'eutirrenià final. També es va trobar l'ènid *Mastus pupa* en una posició estratigràfica superior (Cuerda i Galiana, 1976), espècie d'alt valor estratigràfic ja que a les Gimnèsies s'estingueix als inicis de la glaciació Würm (Cuerda, 1958; 1975). Rose *et al.* (1999), desconeixent el treball de Cuerda i Galiana (1976), realitzaren datacions absolutes d'aquest jaciment i han situat al nivell amb fauna eutirreniana al 5e; el nivell de l'Eutirrenià final al 5e, a pesar de que l'edat obtinguda és més propera al 5a que al 5e i datacions del mateix nivell a una seqüència estratigràfica molt propera dona una edat que es podria situar clarament al 5a. Una nova interpretació és que el dipòsit amb fauna banal del caló des Cans és del 5a. Referent al mol·lusc terrestre *Mastus pupa* ha estat trobat tan a un nivell llimós de color ocre situat just per damunt d'una banda de Fe com just per davall a un nivell llimós de color vermellós situats per datacions absolutes a l'estadi 3 i al subestadi 5a respectivament (veure *waterfront section* de Rose *et al.*, 1999). La possibilitat de que aquest mol·lusc de clima més bé càlid hagués viscut fins a l'estadi 3 és més que dub-

tosa. Interpretar que el nivell més superior on es troba *Mastus pupa* és de finals del 5a o del 4 no és cap idea descabellada. A més, aquestes noves interpretacions no contradueixen les datacions obtingudes pels autors abans esmentats. La interpretació de Rose *et al.* (1999) basada quasi exclusivament en datacions absolutes, possiblement hagués estat un altre si hagués conegut la fauna de cada nivell i el que això implica.

Cap mètode de datació és "absolut", si bé aquesta paraula apareix contínuament a les publicacions, en particular quan es refereixen a mètodes isotòpics. El reciclatge de les faunes, els sistemes geoquímics oberts, les condicions de temperatura i salinitat locals de la superfície del mar, les condicions climàtiques atmosfèriques, l'absència del registre sedimentari continu, i altres factors fan que l'obtenció d'una xifra lògica sigui de vegades impossible (Zazo i Goy, 2000).

Hi ha una sèrie de jaciments com són s'Estanyol-Punta de Son Bieló (Butzer i Cuerda, 1962), la localització 2 de sa Font Cel·lada (Vicens i Gràcia, 1988), de cronologia neotirreniana, que presenten una estratigrafia molt senzilla i contenen una fauna banal a pesar de ser bastant fossilífers i el més lògic és que pertanyin al subestadi 5a com el nivell que hi ha fauna banal del caló des Cans.

Al jaciment STII de Portocolom es varen trobar 332 exemplars de la classe Bivalvia, entre els quals es varen trobar 3 valves de *Barbatia plicata*, representant el 0,9% dels bivalves. La classe Gastropoda va ser més nombrosa amb 610 exemplars i només es varen trobar 2 fragments de *Cantharus viverratus*, representant el 0,3% dels gastròpodes. En total, els mol·luscs recol·lectats varen ser 952 (Bivalvia, Scaphopoda i Gastropoda). Per la fauna termòfila empobrida i per l'alçària d'uns +3,5 m s.n.m. aquest dipòsit va ser atribuït al Neotirrenià (Cuerda *et al.*, 1989-90a). Possiblement, aquest dipòsit amb fauna termòfila empobrida es pot correlacionar cronològicament amb el Neotirrenià del Carnatge i en conseqüència es correspon amb el subestadi 5c.

Hi ha jaciments amb fauna d'aigües càlides que es troben situats a més altitud que la majoria de jaciments on es troba aquesta fauna. A sa Torre de s'Estalella, el jaciment eutirrenià amb fauna càlida es troba situat a +10,5 m. Stearns i Thurber (1965; 1967) daten aquest dipòsit resultant una edat de 135.000 ± 10.000 , cronologia que apunta al subestadi 5e. Ginés (2000) suggereix la possibilitat que aquesta zona, a l'igual que altres localitats de la costa del Llevant de Mallorca s'hagi vist afectada per deformacions tectòniques recents. De fet, Servera (1997) descriu tot una sèrie d'aspectes que es poden relacionar amb una tectònica molt recent a la zona de sa Torre de s'Estalella.

El jaciment eutirrenià a +11,5 m del cap Orenol va lliurar fauna càlida (Cuerda i Muntaner, 1960). A Menorca hi ha un jaciment situat a +9 m a la cova des Pont, que va ser situat cronològicament a l'Eutirrenià a pesar de no haver-hi fauna termòfila (Mercadal i Petrus, 1980). Els dos jaciments anteriors tenen en comú que es troben situats prop de la mar i situats pràcticament a la vora de penyassegats. També hi ha molt prop jaciments del Plistocè superior situats a +2 m. Aquestes zones actualment són molt batudes per la mar i en especial durant els temporals. No és d'estranyar que durant els episodis del darrer interglaciari, quant la mar estava entre 2 i 3 m més alta que a l'actualitat, l'onatge llançàs els sediments litorals més amunt.

Vist el que fins aquí s'ha exposat referent a alguns jaciments del Plistocè superior de les Balears i les datacions absolutes d'alguns d'ells podem realitzar les següents consideracions referent a les faunes de mol·luscs litorals i la seva cronologia:

- Els dipòsits situats entre 0 i +4 m s.n.m. (o inclús un poc per sota) amb fauna termòfila són del subestadi 5e. Els dipòsits situats més amunt (fins a +14 m) amb fauna càlida poden ser del subestadi 5e i l'explicació ve donada per què els sediments i els fòssils que varen formar el dipòsit foren llançats més amunt per l'acció dels temporals o hi ha hagut un moviment tectònic recent de la zona.

- El no trobar fauna termòfila a un dipòsit del Plistocè superior no exclou que aquest sigui del subestadi 5e, ja que no en poques ocasions els jaciments contenen pocs fòssils.

- Si es troba un únic dipòsit amb fauna termòfila no es pot distingir ara per ara si és del subestadi 5e₁ o del 5e₂ ja que possiblement la fauna és semblant i és necessari realitzar datacions absolutes per averiguar-ho.

- El trobar un jaciment amb fauna termòfila empobrida ens du a pensar que pertany a subestadi 5c, si bé en algunes ocasions la

mostra tal vegada no és suficientment significativa com per poder excloure que pertany al 5e.

- Els dipòsits situats entre 0 i +2 m s.n.m. amb fauna banal i amb una mostra suficientment significativa són del subestadi 5a.

- Les datacions cronològiques de dipòsits molt significatius i l'existència de tres tipus de fauna trobades als jaciments de les Balears ens fa pensar en la possibilitat de la següent successió faunística durant el darrer interglaciari (estadi 5):

-Subestadi 5e (5e₁ i 5e₂): fauna d'aigües càlides.

-Subestadi 5c: fauna termòfila empobrida.

-Subestadi 5a: fauna banal.

- Els dipòsits que figuren a la bibliografia del Quaternari de les Balears com "iníicis de Würm" es corresponen amb el subestadi 5b.

Agraïments

Volem agrair l'ajuda, comentaris i suggerències de Josep A. Alcover (IMEDEA) i de Ll. Gómez-Pujol (UIB) que han fet millorar substancialment el primer esborrany d'aquest article. Un dels autors (P.B.) té una beca predoctoral de la Direcció General d'R+D+I de la Conselleria d'Innovació i Energia.

Bibliografia

- Aartsen, J.J. van, Menkhorst, H.P.M.G. i Gittenberger, E. 1984. The marine Mollusca of the Bay of Algeciras, Spain, with general notes on *Mitrella*, and *Turridae*. *Basteria*, suppl. 2: 1-135.
- Alcover, J.A., Bover, P. i Seguí, B. 1999. *Una aproximació a la paleoecologia de les illes*. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 6/ *Mon. Inst. Est. Balearics*, 66: 169-204.
- Alcover, J.A., Moyà Solà, S. i Pons Moyà, J. 1981. *Les Quimeres del Passat. Els Vertebrats fòssils del Plio-Quaternari de les Balears i Pitiüses*. Ed. Moll. Monografies Científiques, 1: 260 pp. Palma de Mallorca.
- Alcover, J.A., Llabrés, M. i Moragues, Ll. (coord.) 2000. *Les Balears abans dels humans*. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 8: 78 pp. Palma de Mallorca.
- Altaba, C.R. 1993. Els mol·luscs marins: catàleg preliminar. In: Alcover, J.A., Ballesteros, E. i Fornós, J.J. (eds.). *Història Natural de l'arxipèlag de Cabrera*. Ed. Moll.-CSIC, *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 2: 589-596.
- Altaba, C.R. 1999. *La diversitat biològica. Una perspectiva des de Mallorca*. Ed. Moll. Manuals d'Introducció a la Naturalesa 12: 111 pp. Palma de Mallorca.
- Antich, S. i Soler, A. 1986. Hallazgo de *Eastonia rugosa* (Chemnitz) en el Pleistoceno de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 30: 141-144.
- Arnau, P., Bover, P., Seguí, B. i Alcover, J. A. 2000. Sobre alguns jaciments de *Myotragus balearicus* Bate 1890 (Artiodactyla, Caprinae) de tafonomia infreqüent. *Endins*, 23: 89-100.
- Barceló, B. 1985. Semblança biogràfica de Joan Cuerda i Barceló. In: *Pleistoceno y Geomorfología litoral*. 7-15. Universitat de València.
- Bertoldi, R., Rio, D. i Thunell, R. 1989. Pliocene-Pleistocene vegetational and climatic evolution of the South-Central Mediterranean. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 72: 263-275.
- Bonfitto, A., Oliverio, M., Sabelli, B. i Taviani, M. 1994. A quaternary deep-sea mollusca assemblage from East Sardinia (Western Tyrrhenian Sea). *Bollettino Malacologico, Milano*, 30 (5-9): 141-157.
- Bonnin, J. i Rodríguez-Babio, C. 1990. Catálogo provisional de los moluscos bivalvos marinos de la plataforma continental de las costas mediterráneas de la península Ibérica y de las islas Baleares. *Iberus*, 9(1-2): 97-110.
- Bosch, M. i Moreno, I. 1986. Contribución al conocimiento del género *Patella* Linné 1758, en la isla de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 30: 127-135.
- Bouchet, Ph. i Taviani, M. 1989. Atlantic deep sea gastropods in the Mediterranean: new findings. *Boll. Malacologico*, 25(5-8): 137-148.
- Bouchet Ph. i Warén, A. 1979. The abyssal molluscan fauna of the Norwegian sea and its relation to other faunas. *Sarsia*, 64: 211-243.
- Bover, P. i Alcover, J.A. 1999. The evolution and ontogeny of the dentition of *Myotragus balearicus* Bate, 1909 (Artiodactyla, Caprinae): evidence from new fossil data. *Biol. J. Linnean Society*, 68: 401-428.
- Bover, P. i Alcover, J.A. 2000. La identitat taxonòmica de *Myotragus binigausensis* Moyà-Solà i Pons.Moyà, 1980. *Endins*, 23: 83-88.
- Bover, P. i Alcover, J.A. en premsa. A taxonomic approach to the insular Caprines from Gymnesic Islands (Western Mediterranean sea). *Quaternaire*.
- Butzer, K.W. 1975. Pleistocene littoral-sedimentary cycles of the Mediterranean basin: a Mallorquin view. In: Butzer, K.W. i Isaad, G.L. (eds). *After the Australopithecines: stratigraphy, ecology and culture change in the Middle Pleistocene*. 25-71. Chicago.
- Butzer, K.W. 1985. La estratigrafia del nivel marino de Mallorca en una perspectiva mundial. In: *El Pleistoceno. Geomorfología litoral*: 17-33. Universitat de València.
- Butzer, W.K. i Cuerda, J. 1960. Nota preliminar sobre la estratigrafia y la paleontologia del Cuaternario marino del Sur y S.E. de la isla de Mallorca. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 6: 9-29.
- 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 Geol.*, 70(4): 398-416.
- Calvet, F., Pomar, L. i Esteban, M. 1975. Las rizocreciones del Pleistoceno de Mallorca. *Inst. Inv. Geol. Universidad de Barcelona*, 30: 35-60.
- Comborieu-Nebout, N. 1993. Vegetation response to Upper Pliocene glacial interglacial ciclicity in the central Mediterranean. *Quaternary Research*, 40: 228-236.
- Cuerda, J. 1957. Fauna marina del Tirreniense de la Bahía de Palma (Mallorca). *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 3: 3-76.
- Cuerda, J. 1959. Tritónidos fósiles del Cuaternario de Mallorca. *Estudios Geológicos*, 15: 119-130.

- Cuerda, J. 1968. Nuevos yacimientos marinos en el término de Palma de Mallorca y su paleogeografía. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 14: 145-170.
- Cuerda, J. 1975. *Los tiempos Cuaternarios en Baleares*. Institut d'Estudis Balearics. 304 pp. Palma de Mallorca.
- Cuerda, J. 1979. *Formaciones cuaternarias de la Bahía de Palma*. Guía a la excursión nº 4 del VI Coloquio de Geografía. Palma.
- Cuerda, J. 1981. Dos especies de interés paleontológico halladas en el Eutyrrheniense de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 25: 169-174.
- Cuerda, J. 1984. A contribution to the Knowledge of Pleistocene coastal Profiles in the Pityusic Islands. In: Kubier, H., Alcover, J.A., i Guerau d'Arellano, C. (eds.). *Biogeography and Ecology of the Pityusic Islands*. Monographiae Biologicae nº 52. La Hague.
- Cuerda, J. 1987. *Moluscos marinos y salobres del Pleistoceno balear*. Caja de Baleares "Sa Nostra". 420 pp. Palma de Mallorca.
- Cuerda, J., Antich, S. i Soler, A. 1984. El Pleistoceno del Torrente de Son Granada (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 28: 67-80.
- Cuerda, J., Antich, S. i Soler, A. 1982. La secuència pleistocènica dunar de Son Moson (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 26: 13-35.
- Cuerda, J., Antich, S. i Soler, A. 1985. Las formaciones cuaternarias del Torrente de Cala Blava en la Bahía de Palma (Baleares). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 29: 75-86.
- Cuerda, J. i Galiana, R. 1976. Nuevo yacimiento del Pleistoceno superior marino en la costa Norte de Mallorca. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 21: 115-124.
- Cuerda, J., Gràcia, F. i Vicens, D. 1989-90a. Dos nuevos yacimientos del Pleistoceno superior marino en Portocolom (Felanitx, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 33: 49-66.
- Cuerda, J., Gràcia, F. i Vicens, D. 1989-90b. Nuevas citas malacológicas (Bivalvia y Gastropoda) del Pleistoceno marino balear. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 33: 67-79.
- Cuerda, J. i Muntaner, A. 1960. Nota sobre diversos niveles tirrenienses localizados en las cercanías de Cap Orenol (Mallorca). *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 6: 37-46.
- Cuerda, J. i Osmaston H.A. 1978. Shoreline Stratigraphy at El Arenal and the South-East coast of Mallorca. In: Rose, J. (Ed.) *The Quaternary of Mallorca*. Quaternary Research Association-Field Meeting Guide: 73-87.
- Cuerda, J. i Sacarés, J. 1970. Formaciones marinas correspondientes al límite pliocuaternario y al Pleistoceno inferior de la costa de Lluchmayor (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 16: 105-134.
- Cuerda, J., Vicens, D. i Gràcia, F. 1991. Malacofauna y estratigrafía de Pleistoceno superior marino de Son Real (Santa Margalida, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 34: 99-108.
- Cuerda, J., Vicens, D. i Gràcia, F. 1993. Mollusca (Gastropoda) del Pleistoceno marino balear. Nuevas citas. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 36: 31-40.
- Delibrias, G. i Taviani, M. 1985. Dating the death of Mediterranean deep-sea Scleractinian corals. *Marine Geology*, 62: 175-180.
- Emiliani, C. 1992. *Planet Earth. Cosmology, geology, and the evolution of life and environment*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Encinas, J.A. i Alcover, J.A. 1997. El jaciment fòssilífer de la cova Estreta (Pollença). *Endins*, 21: 83-92.
- Filella, E., Gässer, Z., Garcia-Porta, J. i Ferrer, J.A. 1996. Sobre el hallazgo en el Pleistoceno de Formentera (Islas Pitiusas, Archipiélago balear) de una puesta fósil de tortuga terrestre. Datos preliminares. Herpetologia, IV Congreso Luso Espanhol, pàg. 89. Porto.
- Filella, E., Gässer, Z., Garcia-Porta, J. i Ferrer, J.A. 1999. Una puesta fósil de tortuga terrestre en el Pleistoceno de Formentera (Islas Pitiusas, archipiélago Balear). *Treb. Mus. Geol. Barcelona*, 8: 67-84.
- Fornós, J.J. i Pons Moyà, J. 1982. Icnitas de *Myotragus* del yacimiento de Ses Piquetes de Santanyi (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 26: 135-144.
- Fornós, J.J., Barón, A. i Pons, G.X. 1996. Evolució neògena de la zona de s'Albufera d'Alcúdia (Mallorca, Illes Balears). I. Descripció de la sèrie estratigràfica (sondatge 1) i facies sedimentàries. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 39: 139-154.
- Fornós, J.J., Bromley, R.G., Clemmensen, L.B. i Rodríguez-Perea, A. en premsa. Tracks and trackways of *Myotragus balearicus* Bate (Artiodactyla, Caprinae) in Pleistocene aeolianites from Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean). *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*.
- García Gómez, J.C. 1983. Estudio comparado de las tanatocenosis y biocenosis malacológicas del estrecho de Gibraltar y áreas próximas. *Iberus*, 3: 75-90.
- Gässer, Z. 1998. Nota paleontològica sobre el jaciment quaternari marí d'Es Copinar (Formente-

- ra, Illes Pitiüses, Mediterrània occidental. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 41: 153-157.
- Gàsser, Z. i Ferrer, J. A. 1997. Nous jaciments paleontològics del Miocè i Quaternari de Formentera (Illes Pitiüses, Mediterrània Occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 40: 91-101.
- Ginés, J. 2000. *El karts litoral en el levante de Mallorca: una aproximació al coneixement de su morfogènesis y cronologia*. Tesi doctoral. Inèdit. Universitat de les Illes Balears. 595 pp.
- Gómez-Pujol, L. 1999. Sedimentologia i evolució geomorfològica quaternària del ventall al·luvial des Caló (Betlem, Artà, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 42: 107-124.
- Grandfils, R. 1982. Contribució al coneixement de *Patella ferruginea* (Gmelin, 1789). *Iberus*, 2:57-69.
- Grandfils, R. i Vega, R. 1982. Il genere *Patella* lungo la costa di Malaga (Spagna). *La Conchiglia*, 14 (158-159): 6-9.
- Gracia, F., Clamor, B. i Lavergne, J.J. 2000. Les coves de cala Varques (Manacor, Mallorca). *Endins*, 23: 41-57.
- 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 u. Gegenwart*, 31: 109-133.
- Hidalgo, J.G. 1917. *Fauna malacològica de España, Portugal y las Baleares*. Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales, Serie Zoología, nº 30, 751 p.
- Hillaire-Marcel, Cl., Garipey, C., Ghaleb, B., Goy, J. L., Zazo, C. i Cuerda, J. 1996. U-Series measurements in tyrrhenian deposits from Mallorca further evidence for two last-Interglacial high sea levels in the Balearic Islands. *Quaternary Sc. Reviews*, 15: 53-62.
- Jaume, C. i Fornós J.J. 1992. Composició i textura dels sediments de platja del litoral mallorquí. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 35: 93-110.
- Julia, R. i Suc, J.P. 1980. Analyse pollinique des depots lacustres du pleistocene inferieur de Banyoles (Banyolas, Site de la Bobila Ordis-Espagne): un element nouveau dans la reconstitution de l'histoire paleoclimatique des regions mediterraneennes d'Europe Occidentale. *Geobios*, 13: 5-19.
- Keigwin Jr, L.D. i Thunell, R.C. 1979. Middle Pliocene climatic change in the Western Mediterranean from faunal and oxygen isotopic trends. *Nature*, 282: 294-296.
- López, N. i Truyols, J. 1994. *Paleontologia. Conceptos y métodos*. Ed. Síntesis. 334 pp. Madrid.
- Luque, A.A. 1986. Contribució al coneixement de los gasterópodos marinos de las costas de Málaga y Granada. II. Prosobranquios. *Iberus*, 6(1): 79-94.
- MacArthur, R.H. i Wilson, E.O. 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton University Press, Princeton.
- Marcus, L. 1998. Variation in selected skeletal elements of the fossil remains of *Myotragus balearicus*, a Pleistocene bovid from Mallorca. *Acta Zool. Acad. Scient. Hungaricae*, 44: 113-137.
- Mateu, G. 1985. Nuevos datos micropaleontológicos para interpretar el glacioteconoeustatismo del Pliopleistoceno de Baleares (Mediterráneo Occidental). In: *Pleistoceno y Geomorfología Litoral*. Universitat de València: 61-76.
- Mercadal, B. 1962. El *Strombus bubonius* y los restos de las terrazas tyrrhenienses de Menorca. *Revista de Menorca*, 412-419.
- Mercadal, B. 1966. Nueva aportación al conocimiento del Cuaternario de Menorca. *Revista de Menorca*, III-4: 148-161.
- Mercadal, B. i Petrus, J. L. 1980. Nuevo yacimiento de *Testudo gymnesicus* Bate 1914 en la Isla de Menorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 24: 15-21.
- Micali, P. i Villari, A. 1986. Riscoperta di *Calliostoma sayanus* (G. Seguenza, 1873) e considerazioni sul Pleistocene di Archi (RC). *Boll. Malacologico*, 22 (9-12): 267-272.
- Moreno, D. 1992. Presencia de *Patella ferruginea* Gmelin, 1791 en el Cabo de Gata (Almería, SE España). *Cuadernos de Investigación Biológica, Bilbao*, 17: 71.
- Moyà-Solà, S. i Pons-Moyà, J. 1980. Una nueva especie del género *Myotragus* Bate, 1909 (Mammalia, Bovidae) en la isla de Menorca: *Myotragus binigausensis* nov. sp. Implicaciones paleozoogeográficas. *Endins*, 7: 37-47.
- Muntaner, A. 1956. Nota sobre un fémur de *Myotragus balearicus*, hallado en los aluviones de Sancellas. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 2: 115-117.
- Muntaner, A. 1957. Las formaciones cuaternarias de la Bahía de Palma. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 3: 77-126.
- Muntaner, A. i Cuerda, J. 1956. Hallazgo de un esqueleto de *Myotragus balearicus* en una duna cuaternaria de Capdepera. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 2: 114.
- Muntaner, A. i Palmer, E. 1956. Nota sobre el hallazgo de *Myotragus balearicus*, Bate en los aluviones de Búger (Mallorca). *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 2: 95-98.
- Nickles, M. 1950. *Mollusques testacés marins de*

- la Côte Occidentale d'Afrique. 269 pp. Paris.
- Nordsieck, F. 1969. *Die europäischen Meeresschnecken (Bivalvia)*. Ed. G. Fischer. Stuttgart. 256 pp.
- Nordsieck, F. 1982. *Die europäischen Meeres-Gehäuseschnecken (Prosobranchia)*. Ed. G. Fischer. Stuttgart - New York. 539 pp.
- Obrador, A. i Mercadal, B. 1969. Presència de dipòsits travertínics lacustres de edat Cuaternària en la isla de Menorca (Balears). *Revista de Menorca*, 7: 3-8.
- Paul, C.R.C. 1982. Pleistocene non-marine molluscs from Cala Salada, Ibiza. *Geol. J.*, 17: 161-184.
- Paul, C.R.C. i Altaba, C.R. 1992. Els mol·luscs terrestres fòssils de les Illes Pitiüses. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 34: 141-170.
- Paulus, M. 1950. Note sur la presence de *Cyprina islandica* Linné au large des Balears. *Vie et Milieu*, 1: 302-304.
- Pomar, L. i Cuerda, J. 1979. Los dipòsits marins pleistocènics en Mallorca. *Acta Geol. Hisp.*, 14: 505-514.
- Pons-Moyà, J. i Pons, G.X. 1997. Mol·luscs epibionts de *Charonia lampas* (Linnaeus, 1758) (Mollusca, Gastropoda) de la badia de Palma. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 40: 157-162.
- Pons-Moyà, J. i Pons, G.X. 1999. Noves dades de mol·luscs de profunditat del SW de Mallorca (Illes Balears, Mediterrània Occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 42: 39-46.
- Pons-Moyà, J. i Pons, G.X. 2000. Mol·luscs de profunditat de fons fangosos batials del Coll de Mallorca (SW de Mallorca, Illes Balears, Mediterrània Occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 43: 105-110.
- Pons-Moyà, J. i Pons, G.X. 2001. *Neptunea contraria* (Linnaeus, 1771) (Mollusca: Gastropoda) nou fòssil per al catàleg de la fauna malacològica del Quaternari de Mallorca. In: Pons, G.X. (ed.). *III Jornades del Medi Ambient de les Illes Balears*. 57. Soc. Hist. Nat. Balears. Palma de Mallorca.
- Pons-Moyà, J., Pons, G.X., Collado, M. i Cifre, M. 2001. Els àrcids de les Balears: *Asperarca secreta* La Perna, 1998 (Mollusca: Bivalvia: Arcidae) nou per a la fauna de la Mediterrània occidental. In: Pons, G.X. (ed.). *III Jornades del Medi Ambient de les Illes Balears*. Soc. Hist. Nat. Balears. 124-125. Palma de Mallorca.
- Pons-Moyà, J., Pons, G.X., Garcia, Ll. i Grau, A.M. 1998. Mol·luscs i decàpodes presents en el contingut gàstric del rafel, *Trigla lyra* (Linnaeus, 1758) (Osteichthyes, Triglidae) del SW de Mallorca (Mediterrània occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 41: 87-100.
- Poppe, G.T. i Goto, Y. 1991. *European Seashells I (Polyplacophora, Caudofoveata, Solenogastrea, Gastropoda)*. Verlag Christa Hemmen Ed. Wiesbaden. 352 pp.
- Poppe, G.T. i Goto, Y. 1993. *European Seashells II (Scaphopoda, Bivalvia, Cephalopoda)*. Verlag Christa Hemmen Ed. Wiesbaden. 221 pp.
- Porta, J. 1956. Bibliografia sobre el Cuaternari marino de las costas Mediterràneas de España. *Estudios Geológicos*, 31-32: 301-325.
- Quintana, J. 1993. Descripción de un rastro de *Myotragus* e icnitas de *Hypnomys* del yacimiento cuaternario de Ses Penyes d'es Perico (Ciudadella de Menorca, Balears). *Paleontologia i Evolució*, 26-27: 271-279.
- Quintana, J. 1998a. Presencia de *Trochoidea frater* (Dohrn y Heynemann, 1862) (Gastropoda: Helicidae) en los dipòsits càrstics de Menorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 41: 49-56.
- Quintana, J. 1998b. Aproximación a los yacimientos de vertebrados del Mio-Pleistoceno de la isla de Menorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 41: 101-117.
- Reumer, J.W.F. 1982. Some remarks on the fossil vertebrates from Menorca, Spain. *Proc. Konink. Ned. Akad. Wetenschappen, ser. B*, 85: 77-87.
- Rose, J. (ed.). 1978. *The Quaternary of Mallorca*. Quaternary Research Association-Field Meeting Guide. 113 pp. Bristol.
- Rose, J., Meng, X. i Watson, C. 1999. Paleoclimatic and paleoenvironmental responses in the western Mediterranean over the last 140 ka: evidence from Mallorca, Spain. *Jour. Geol. Soc. London.*, 156: 435-448.
- Seguí, B. 1996. Les avifaunes fòssils dels jaciments càrstics del Pliocè, Plistocè i Holocè de les Gimnèsies. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 39: 25-42.
- Seguí, B., Bover, P., Trias, M. i Alcover, J.A. 1998. El jaciment fòssilífer de la cova C-2 (Ciudadella, Menorca). *Endins*, 22: 81-97.
- 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 pàg. + Atlas 138 pàg.
- Servera, J., Mayol, M. i Pons, G.X. 2001. Un nou jaciment d'icnites de *Myotragus* al racó des Matar (Santanyi, Mallorca). In: Pons, G.X. (ed.). *III Jornades del Medi Ambient de les Illes Balears*. Soc. Hist. Nat. Balears. 58-59. Palma de Mallorca.
- Shackleton, N.J. i Opdyke N.D. 1973. Oxigen iso-

- tope and palaeomagnetic stratigraphy of Equatorial Pacific core V28-238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 106 year and 106 year scale. *Quaternary Research*, 3: 39-55.
- Shackleton, N.J. i Opdike, N.D. 1977. Oxygen isotope and paleomagnetic evidence of early Northern Hemisphere glaciation. *Nature*, 270: 216-219.
- Sondaar, P.Y., McMinn, M., Seguí, B. i Alcover, J. A. 1995. Interès paleontològic dels jaciments càrtics de les Gimnèsies i les Pitiüses. *Endins*, 20: 155-170.
- Stearns, Ch.E. 1985. Los Ratios 230 Th. 234 U. de los moluscos mallorquines revisitados. In: *El Cuaternario. Geomorfología litoral*: 189-195. Universitat de València.
- Stearns, Ch.E. i Thurber, D.L. 1965. Th 230-U 234 dates of late Pleistocene marine fossils from the Mediterranean littorals. *Quaternaria*, 7: 29-42.
- Stearns, Ch.E. i Thurber, D.L. 1967. Th 230-U 234 dates of late Pleistocene marine fossils from the Mediterranean and Moroccan littorals. *Prog. Oceanography*, 4: 293-305.
- Taviani, M. i Colantoni, P. 1979. Thanatocoenoses wurmiennes associées aux coraux blancs. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 25/26: 141-142.
- Thunell, C.R. 1979. Pliocene-Pleistocene paleotemperatures and paleosalinity history of the Mediterranean Sea: results from DSDP Sites 125 and 132. *Marine Micropaleontology*, 4: 173-187.
- Tuccimei, P., Ginés, J., Delitala, C., Pazzelli, L., Taddeucci, A., Clamor, B., Fornós, J.J., Ginés, A. i Gràcia, F. 2000. Dataciones Th/U de espeleotemas freáticos recolectados a cotas inferiores al actual nivel marino, en cuevas costeras de Mallorca (España): aportaciones a la construcción de una curva eustática detallada de los últimos 300 ka para el Mediterráneo occidental. *Endins*, 23: 59-71.
- Via, L. 1966. Abundantes restos de *Ocypoda cursor* (Crustáceo decápodo) en el Cuaternario de Mallorca. *Acta Geológica Hispana*, 1: 22-24.
- Vicens, D. i Gràcia, F. 1988. Nuevo yacimiento del Pleistoceno superior marino en la playa de "Sa Font Salada" (Balears). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 32: 33-46.
- Vicens, D. i Gràcia, F. 1998. Aspectes paleontològics i estratigràfics del Plistocè superior de Mallorca. In: Fornós J.J. (ed.) *Aspectes geològics de les Balears*: 191-220. UIB. Palma.
- Vicens, D. i Gràcia, F. 1999. Carcharodon carcharias (Linnaeus, 1758) en el Plistocè superior de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 42: 167-170.
- Vicens, D., Gràcia, F. i Cuerda, J. 1992. El Cuaternari marí del Torrent Fondo (Formentera, Illes Pitiüses). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 35: 61-66.
- Vicens, D., Gràcia, F., McMinn, M. i Cuerda, J. 1998. El Plistocè superior del Frontó des Molar (Manacor, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 41: 125-137.
- Vicens, D., Gràcia, F., Watkinson, P., Landreth, R., Clamor, B. i Dot, M.A. 2001. La cova de ses Pedreres (Manacor, Mallorca). *Endins*, 24.
- Vicente, J. i Bech, M. 1999. Variabilitat dimensional de *Rumina decollata* L. segons les àrees geogràfiques en el pas del temps. *Bull. Centre d'Est. Natura B-N*, 4(3): 291-298.
- Zazo, C. i Goy, J.L. 2000. Cambios eustáticos y climáticos durante el Cuaternario. Una síntesis sobre su registro en los litorales del Sur y Sureste peninsular, islas Canarias y Baleares. In: Andrés, J.R. i Gracia, F.J. (eds.) *Geomorfología litoral. Procesos activos*. Mon. Soc. Esp. de Geomorfología, 7: 187-206.

Problemática de la detección del cambio climático en Baleares

José A. GUIJARRO

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Guijarro, J.A. 2001. Problemática de la detección del cambio climático en Baleares. In: Pons, G.X. i Guijarro, J.A. (Eds.): *El canvi climàtic: passat, present i futur*. Mon. Soc. Hist. Hist. Nat. Balears, 9: 147-158. ISBN: 84-87818-34-X. Palma de Mallorca.

El estudio de las series más largas de Baleares (4 de temperatura y 7 de precipitación) ilustra la problemática de la detección del cambio climático. Tras analizar la influencia de los cambios de emplazamiento de los observatorios en estas series, enmascarado en las pluviométricas por su elevada variabilidad interanual, se ha observado en los últimos años un aumento de la temperatura media a un ritmo de 0,77°C por decenio. Las tendencias observadas en la precipitación desde 1941 son de disminución en el noreste de Baleares (-9% en Mahón) y aumento en el sudoeste (+13% en Ibiza), indicando un posible cambio en las frecuencias de los tipos de circulación atmosférica en el Mediterráneo Occidental.

Palabras clave: series climatológicas, temperatura, precipitación, homogeneización, cambio climático, Baleares.

PROBLEMS IN THE DETECTION OF CLIMATIC CHANGE AT THE BALEARICS. The study of the longest series of the Balearic Islands (4 of temperature and 7 of precipitation) illustrates the problems in the detection of climatic change. After analyzing the influence of the observatory site moves in these series, masked in the pluviometric ones by their high inter-annual variability, an increase in the mean temperature at a rate of 0,77°C per ten years has been observed. The observed tendencies in the precipitation from 1941 show a decrease in the northeast of the Balearics (-9% at Maó) and an increase in the southwest (+13% at Eivissa), pointing at a possible change in the frequencies of the atmospheric circulation types in the Western Mediterranean.

Keywords: Climatological series, temperature, precipitation, homogenization, climatic change, Balearics.

PROBLEMÀTICA DE LA DETECCIÓ DEL CANVI CLIMÀTIC A LES BALEARS. L'estudi de les sèries més llargues de Balears (4 de temperatura i 7 de precipitació) il·lustra la problemàtica de la detecció del canvi climàtic. Després d'anàlitzar la influència dels canvis d'emplaçament dels observatoris en aquestes sèries, enmascarat en les pluviomètriques per la seva elevada variabilitat interanual, s'ha observat als darrers anys un augment de la temperatura mitjana a un ritme de 0,77°C per decenni. Les tendències observades a la precipitació des de 1941 són de disminució al nord-est de Balears (-9% a Maó) i augment al sudoest (+13% a Eivissa), indicant un possible canvi a les freqüències dels tipus de circulació atmosfèrica a la Mediterrània Occidental.

Paraules clau: sèries climatològiques, temperatura, precipitació, homogeneïtzació, canvi climàtic, Balears.

José A. GUIJARRO: Instituto Nacional de Meteorología, C.M.T. en Illes Balears. (pmd@inm.es).

Introducción

El clima de la Tierra ha sufrido grandes variaciones a lo largo de su historia geológica, que abarca unos 4500 millones de años. En los últimos 2 millones de años, la era Cuaternaria en que vivimos, se ha caracterizado por una alternancia de periodos fríos (glaciaciones) y cálidos, de duraciones de decenas a centenares de miles de años, atribuidas a cambios en los parámetros orbitales de nuestro planeta y a posibles cambios en la actividad volcánica y en la radiación emitida por el Sol (Lamb, 1982; Schneider, 1983).

Si centramos nuestra atención en el último milenio, el clima ha sido relativamente estable, si bien entre los siglos XVI y XIX hubo un cierto enfriamiento conocido como la pequeña edad glacial, más o menos coincidente con los mínimos de manchas solares del S. XV y segunda mitad del XVII. Pero, desde la consolidación de la Revolución Industrial en el siglo XIX, el desarrollo económico de una parte de la Humanidad ha ido de la mano de un consumo de energía que se ha ido incrementando de forma exponencial a lo largo del tiempo. La mayor parte de esta energía se obtiene mediante la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas, ...), lo que tiene como consecuencia la liberación de grandes cantidades de CO_2 a la atmósfera y un paulatino pero inexorable aumento en su concentración.

Dado que el CO_2 es un gas transparente para la radiación solar, pero bastante opaco para parte de la radiación infrarroja con que nuestro planeta disipa la energía recibida del Sol, un aumento en su concentración elevará la proporción de energía atrapada en la superficie terrestre, y por tanto su temperatura media. Además, otros gases con un efecto similar también aumentan su concentración

en la atmósfera como consecuencia de las actividades humanas (caso del metano, cloro-fluoro-carbonos, etc).

Predecir las consecuencias de este aumento de la cantidad de energía atrapada en la superficie terrestre se ha revelado como una tarea sumamente ardua, puesto que el sistema climático tiene componentes no sólo atmosféricos, sino también oceánicos, geoquímicos y biológicos, cuyas múltiples interacciones alcanzan grados de complejidad muy difíciles de discernir, y están siendo objeto de un gran esfuerzo investigador en todo el mundo, coordinado por el IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático) (Guijarro, en este volumen). Desde un principio las simulaciones con modelos climáticos indicaron que este aumento de temperatura no iba a ser uniforme, sino que en las zonas polares se manifestaría con bastante mayor intensidad que en las ecuatoriales. Pero los cambios en la circulación atmosférica pueden hacer que el clima de regiones concretas pueda cambiar de forma dispar, al variar la frecuencia con que se vean afectadas por las distintas perturbaciones atmosféricas y sus fenómenos asociados, de modo que los cambios afectarán no sólo a la temperatura, sino al resto de las variables que definen el clima de un lugar: nubosidad, precipitación, humedad, viento, etc. Lamentablemente, si demandamos este grado de precisión, los modelos climáticos ofrecen resultados diferentes, según como estén construidos (número de interacciones contempladas entre los diferentes subsistemas, y formulaciones y parámetros empleados en las mismas).

En el caso de las Islas Baleares, la pregunta que se formula el ciudadano es: ¿Está cambiando el clima de nuestras islas? Y, en caso afirmativo, ¿de qué forma? Muchas personas tienen la impresión de que sí, de que el clima está cambiando. Nuestros mayores

recuerdan los charcos helados en invierno, la necesidad de llevar prendas de abrigo, etc. En la festividad de Todos los Santos, el 1 de noviembre, era costumbre estrenar las ropas recién compradas para la temporada invernal, cosa que en los últimos años está resultando bastante incómoda, dadas las todavía elevadas temperaturas que se están dando por esa fecha. En cuanto a las precipitaciones, también se dice que ahora llueve menos, puesto que antes solía correr el agua por los torrentes con mayor asiduidad. En este caso el argumento es claramente incorrecto, porque la actual explotación abusiva de las aguas subterráneas ha hecho descender mucho el nivel de las capas freáticas, y esto basta para explicar la casi permanente sequedad de los torrentes. Si las precipitaciones han cambiado, deberán decirlo las medidas efectuadas con los pluviómetros, de igual modo que los termómetros y demás instrumental meteorológico nos proporcionarán datos más objetivos en que basar análogos afirmaciones.

Sin embargo, el estudio de las series de datos tropieza con serios obstáculos debido al escaso número de observatorios que han funcionado durante un largo periodo de tiempo, y a la falta de homogeneidad de sus registros, por cambios de emplazamiento, de instrumentación, de las condiciones de instalación (en una terraza o en el suelo, con o sin garita termométrica, etc., Parker, 1994), e incluso por cambios en el entorno del observatorio, como los debidos al crecimiento de las ciudades, talas de bosques, cambio de secano a regadío en los cultivos circundantes, etc. (Karl *et al.*, 1995). Más modernamente, los satélites han comenzado a proporcionar valiosos datos que pueden usarse para interpolar lagunas, pero sus errores hacen que sea imprescindible

comparar sus medidas con otras convencionales (Folland *et al.*, 2000).

En los siguientes apartados estudiaremos la problemática particular de las series más largas de temperatura y precipitación de las Islas Baleares, y trataremos de diferenciar la evolución natural de estos elementos climáticos de las perturbaciones que hayan sufrido los observatorios a lo largo de su historia.

Temperaturas

El banco de datos del Centro Meteorológico Territorial en Illes Balears, dependiente del Instituto Nacional de Meteorología, dispone de datos de temperatura de un total de 83 estaciones, pero únicamente un 10 % de las mismas tiene 30 o más años de observación, y no necesariamente consecutivos. La serie más larga es la más antigua de Mahón, que funcionó durante 67 años (1865-1932). El observatorio de Palma inició sus observaciones todavía antes (1862), en el antiguo colegio de Montesión, pero se trasladó al Instituto de Enseñanza Media al terminar el año 1916, por lo que sólo permaneció activo 55 años. La siguiente estación en antigüedad, exceptuando los nuevos emplazamientos de Palma y Mahón, es la de Son Servera, que inició sus observaciones en 1915, pero dejó de funcionar en 1930, y hasta los años cuarenta no encontramos ninguna otra estación termométrica. Para poder estudiar la evolución de la temperatura en Baleares desde una perspectiva temporal amplia, hemos de proceder entonces a construir series largas para Palma y Mahón, combinando las series de sus diferentes emplazamientos.

Tabla 1. Número de estaciones termométricas, según la longitud de sus registros.
Table 1. Number of thermometric stations, following their record length.

Nº. de años	<10	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	Total
Nº. de estaciones	28	28	18	4	3	1	1	83

En la Fig. 1 se representa la serie de temperaturas medias anuales de Palma. Se observa una cierta irregularidad que hace que de unos años a otros haya variaciones de alrededor de 1°C. Para suavizar estas variaciones se representan en la misma gráfica las medias móviles de 10 y 30 años (excepto en los extremos, en que el cómputo se ha efectuado con la mitad de dichos años). Lo más notable de la Fig. 1 es un descenso termométrico hasta 1930, seguido de un aumento hasta nuestros días. Sin embargo, si analizamos la gráfica con más detalle, pueden distinguirse periodos con temperaturas relativamente estacionarias, separados por saltos térmicos más bruscos. El primero de estos periodos podría durar hasta 1882, con un promedio de 17,9°C que, tras un descenso de 0,5°C, daría paso a otro periodo que se prolongaría hasta 1916. Después podría considerarse como bastante estacionario otro periodo que abarcaría desde 1917 hasta 1942, al que seguiría otro con una ligera tendencia ascendente de la temperatura hasta 1986, en que el ascenso se acentúa hasta la actualidad.

Estas discontinuidades pueden ser reales o inducidas por cambios en la instrumentación, condiciones de instalación, o entorno del observatorio. En el caso de un observatorio urbano como éste, hay que tener en cuenta la influencia del efecto isla de calor, cuyo impacto sobre las series de temperatura ha sido estudiado tanto a nivel mundial (Jones *et al.*, 1989) como en el ámbito mediterráneo (Quereda y Montón, 1994; Montón y Quereda, 1997), y en Baleares se ha podido detectar tanto en la ciudad de Palma como en poblaciones menores (Guijarro, 1986; 1998). No disponemos de información sobre la historia del observatorio para explicar la presunta discontinuidad de 1882, pero las otras coinciden (o están próximas) con los cambios de ubicación que sufrió el observatorio, señalados mediante líneas verticales en la Fig. 1.

Pero las inhomogeneidades de las series, por causas ajenas a la variabilidad natural del elemento estudiado, se detectan mucho mejor por comparación con las de otras estaciones de referencia, teniendo en cuenta que éstas también pueden haber sufri-

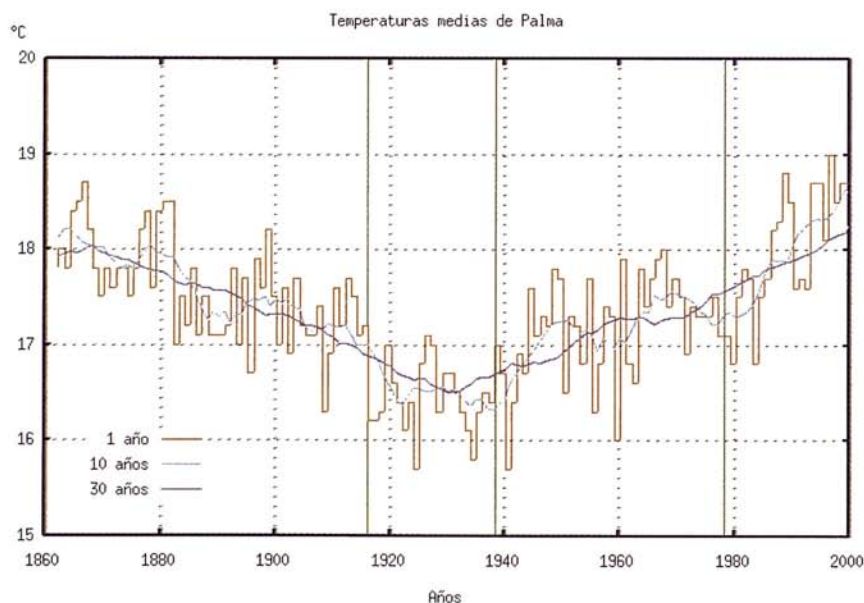


Fig. 1. Temperaturas medias anuales de Palma (varias ubicaciones), y medias móviles de 10 y 30 años.
Fig. 1. Annual temperature averages for Palma (several sites), plus 10 and 30 year running means.

do discontinuidades (más probables cuanto mayor sea su longitud). En la Fig. 2 se puede observar la evolución anual de las temperaturas medias de las dos series largas (Palma y Mahón), junto con otras de menor duración (aeropuerto de Ibiza y Lluc). Los cambios de emplazamiento de Palma y Mahón se reflejan mediante trazos verticales del mismo color que sus gráficas respectivas.

Las series presentan un elevado grado de concordancia. Los datos más antiguos de Palma (estación situada en la calle Montesión), son casi siempre superiores a los de Mahón, y en ambas se produce un enfriamiento hacia 1882 (aunque el destacado mínimo de Mahón en 1887 no queda reflejado en la serie de Palma) pero, al trasladarse la estación de Palma al nuevo Instituto en 1917, situado en lo que entonces eran las afueras de la ciudad, pasa a tener temperaturas ligeramente más bajas que las de Mahón. En 1932 deja de funcionar la estación de la calle *Prieto* y *Caules* de Mahón, por lo que hasta 1939, año en que comienza a operar la de la plaza de la *Explanada* (muy próxima a la anterior), los

datos corresponden a la Base Naval. En este corto periodo no se observa un cambio claro en las diferencias termométricas entre Palma y Mahón. Muy poco antes de comenzar Mahón *Explanada*, la estación de Palma se traslada a la *Jefatura del Sector Aéreo*, en la calle *Antonio Planas* (nuevamente en pleno casco urbano), y sus temperaturas vuelven a superar a las de Mahón, aunque sólo ligeramente. De 1940 a 1968 se aprecia un ligero incremento en las temperaturas medias que, tratándose de dos observatorios urbanos, podría atribuirse, al menos en parte, al crecimiento urbanístico. Desde 1961 se incorporan a la gráfica los datos del aeropuerto de Ibiza, que resultan ser bastante similares a los de Palma, y a partir de 1968 también los de Lluc, con valores más bajos debido a su ubicación a 490 m de altitud, en plena sierra de Tramuntana.

A finales de 1970 el observatorio de Mahón deja la ciudad, a 43 m de altitud, para trasladarse al aeropuerto, 4 km hacia el sudoeste y a 85 m sobre el nivel del mar. El estudio aislado de la serie de Mahón nos llevaría

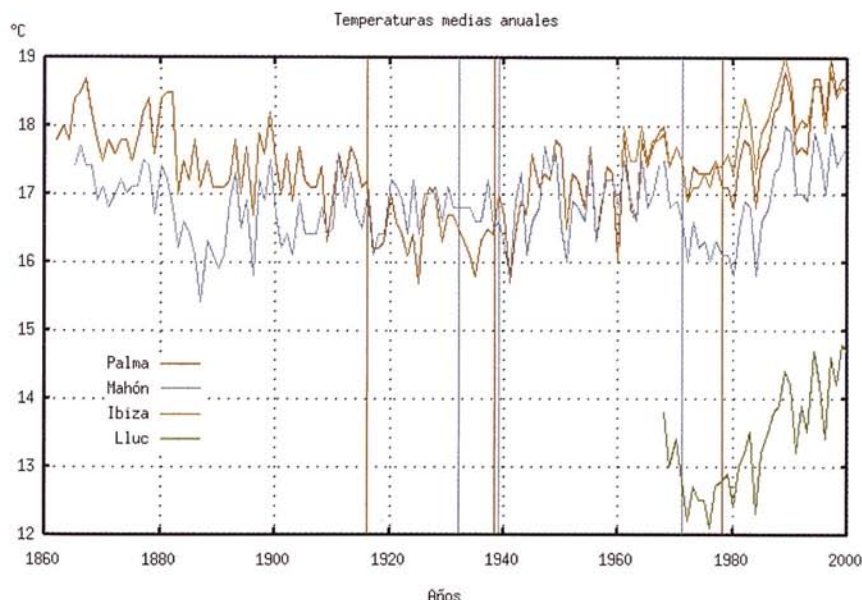


Fig. 2. Temperaturas medias anuales de Palma, Mahón, Ibiza (aeropuerto) y Lluc.
 Fig. 2. Annual temperature averages for Palma, Maó, Eivissa (airport) and Lluc.

Tabla 2. Temperaturas medias (°C) de diferentes septenios (tres consecutivos, y el más reciente) en Mahón, Lluc, Palma e Ibiza.

Table 2. Mean temperatures (°C) of different seven-year periods (three consecutive, plus the most recent one) in Maó, Lluc, Palma and Eivissa.

Periodo	Ibiza	Palma	Lluc	Mahón
1964-70	17,7	17,7	-	17,1
1971-77	17,2	17,3	12,5	16,3
1978-84	17,7	17,3	12,9	16,3
1994-00	18,5	18,6	14,4	17,6

a atribuir a este cambio el notable descenso de temperatura que se observa entre 1968 y 1972. Sin embargo, viendo el paralelismo entre las cuatro series, se deduce que dicho descenso se produjo realmente, si bien un análisis más detallado nos indica que fue 4 décimas de grado más acusado en Mahón (1,0°C) que en Palma (0,6°C). Éste es el resultado de comparar los promedios de temperatura de los 7 años posteriores al traslado de Mahón al aeropuerto (no se pueden tomar más porque después es la estación de Palma la que cambia de emplazamiento) con los 7 años anteriores (primeras filas de la tabla 2).

En febrero de 1978 tiene lugar el último de los cambios, al dejar el observatorio de Palma su ubicación en el casco urbano para ir a situarse en el *Muelle de Poniente* (Portopí), entre el mar y una zona bastante urbanizada, pero lejos del centro de la ciudad. En los años anteriores y posteriores las gráficas de Palma e Ibiza discurren muy próximas, pero mientras que las temperaturas de Palma-Jefatura eran iguales o superiores a las del aeropuerto de Ibiza, las de Palma-Portopí son inferiores. En la tabla 2 vemos como la temperatura media de los septenios anterior y posterior al traslado permanece invariable en Palma, mientras que en Ibiza se produce un aumento de 0,5°C. En Lluc se observa un aumento de 0,4°C, mientras que en Mahón no cambia el promedio. Al estar Palma situada entre Lluc e Ibiza, parece lógico pensar que la temperatu-

ra en Palma-Jefatura debía de ser 4 o 5 décimas de grado mayor que en Portopí.

Desde 1978 parece no haber ya más cambios de emplazamiento, aunque pueden haberse producido algunos cambios menores, pobremente documentados (como sustituciones de instrumental o abrigo termométrico, o incluso pequeños cambios de emplazamiento, como el traslado del instrumental de los aeropuertos de la vecindad de la terminal de pasajeros a una de las cabeceras de pista), pero potencialmente perturbadores de las medidas termométricas. Desde ese año se observa un notable aumento en las temperaturas, que entre los septenios 1978-84 y 1994-00 suponen incrementos de 0,8°C en Ibiza, 1,3°C en Palma y Mahón, y 1,5°C en Lluc (un promedio de 0,77°C por decenio). La mayor parte de este incremento tiene lugar en el periodo 1984-89, de tal forma que, en el caso concreto del aeropuerto de Menorca, hasta 1986 ninguna temperatura media anual supera los 16,9°C, mientras que desde 1987 hasta la actualidad, ninguna ha estado por debajo de ese valor.

Por tanto el aumento de temperatura de los últimos años resulta incontrovertible (los aeropuertos de Menorca e Ibiza no están sometidos a crecimiento de isla de calor urbana), y únicamente cabe preguntarse qué parte del mismo es debido a las actividades humanas, y qué parte a la variabilidad natural del clima.

Hasta aquí únicamente se han estudiado las variaciones de la temperatura media, y aumento observado de alrededor de 1,25°C en 16 años podría parecer poco importante. Sin embargo, aparte de los probables aumentos adicionales en las temperaturas de las próximas décadas, este pequeño calentamiento se traduce en importantes variaciones en las frecuencias de las heladas, acumulaciones de grados-día de calor y horas-frío de vernalización que afectan al desarrollo de los cultivos, necesidades de climatización de los edificios, etc. Estos cambios tienen aspectos positivos y negativos; así, los edificios precisarán menor calefacción en invierno pero mayor uso del aire acondicionado en verano, y los cultivos se desarrollarán más rápidamente y sufrirán menos heladas, pero la falta de frío invernal impedirá la correcta floración de muchas especies de frutales y favorecerá el desarrollo de plagas agrícolas (Monteith, 1981).

Precipitaciones

La problemática de las series de datos pluviométricos es la misma que la de los termométricos, con el serio agravante de que la mayor irregularidad de la precipitación demanda series de datos más largas y de un mayor número de estaciones. Las Islas Baleares poseen una red de estaciones pluviométricas bastante densa; entre las que funcionaron en el pasado y las que lo hacen actualmente totalizan 360 pluviómetros, pero únicamente un 35 % tienen 30 o más años de observación, y sólo un 11 % supera los 50 (tabla 3). Además, es bastante frecuente que hayan sufrido interrupciones en su funcionamiento,

lo que hace necesario recurrir a comparaciones con otras estaciones para rellenar sus lagunas de datos. Por ello, y al igual que sucedía con las temperaturas, para obtener series centenarias de Baleares hemos de recurrir a combinar las de los distintos emplazamientos de los observatorios de Palma y Mahón.

Si representamos la serie de Palma (Fig. 3), observamos que la variabilidad interanual de la precipitación es mucho mayor que la de las temperaturas, con mínimos de unos 200 mm y máximos de alrededor de 700. De los tres cambios de ubicación del observatorio, únicamente el de 1938 parece coincidir con un cambio apreciable en la precipitación, concretamente con una disminución de un 15% (si comparamos los promedios de los 30 años anteriores y posteriores a 1938, que pasan de 491 a 419 mm). Si hacemos el mismo cálculo para Mahón, la media de 30 años cambia de 591 a 639 mm, lo que, lejos de una disminución, supone un incremento de un 8 %. Esta disparidad nos lleva a suponer que la disminución de Palma es atribuible al traslado del *Instituto* a *Jefatura*.

Pero vamos a comparar las series de varias estaciones, representándolas en una misma gráfica. Dado el mayor número de estaciones pluviométricas, se han podido seleccionar 7 estaciones con series más o menos largas y completas. La elevada irregularidad de la precipitación hace que la representación conjunta de las precipitaciones anuales de las estaciones resulte muy confusa (Fig. 4), por lo que procederemos a realizar un suavizado de los datos mediante medias móviles de 10 años. En la gráfica resultante (Fig. 5) se observa así un acusado paralelismo

Tabla 3. Número de estaciones pluviométricas, según la longitud de sus registros.
Table 3. Number of pluviometric stations, following their record length.

Nº. de años	<10	10-19	20-29	39 40	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	Total
Nº. de estaciones	71	100	62	53	32	30	9	1	2	360

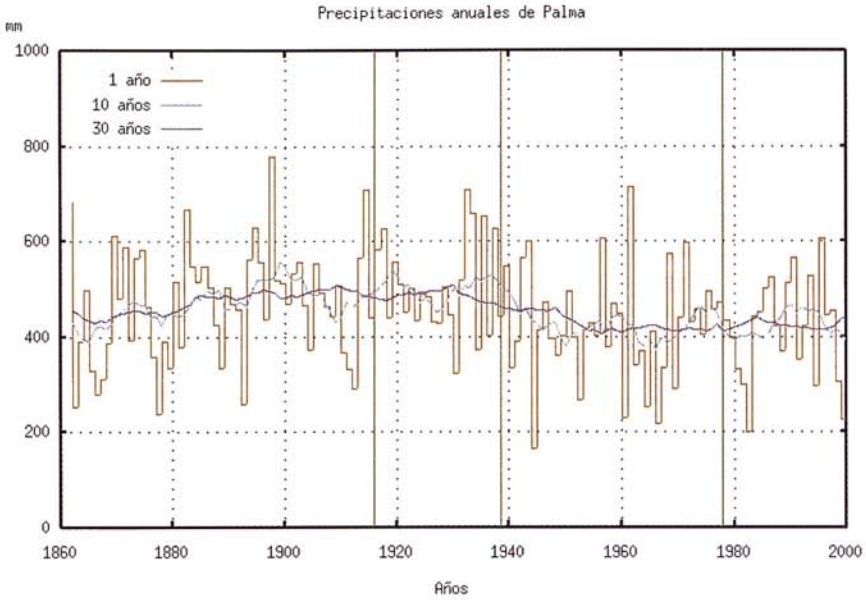


Fig. 3. Precipitaciones anuales de Palma (varias ubicaciones), y medias móviles de 10 y 30 años.
Fig. 3. Annual precipitations from Palma (several sites), plus 10 and 30 year running means.

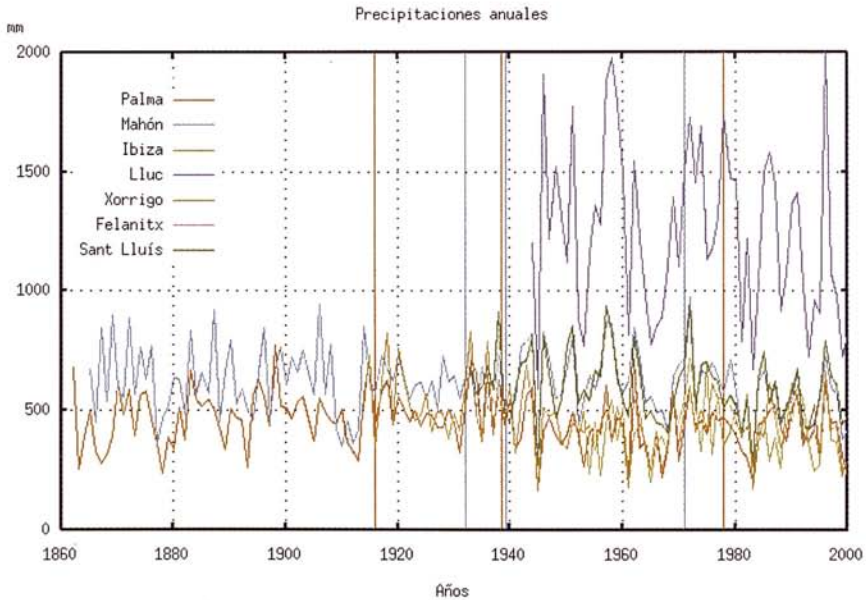


Fig. 4. Precipitaciones anuales de las siete series más completas de Baleares.
Fig. 4. Annual precipitation from the seven most complete series of the Balearics.

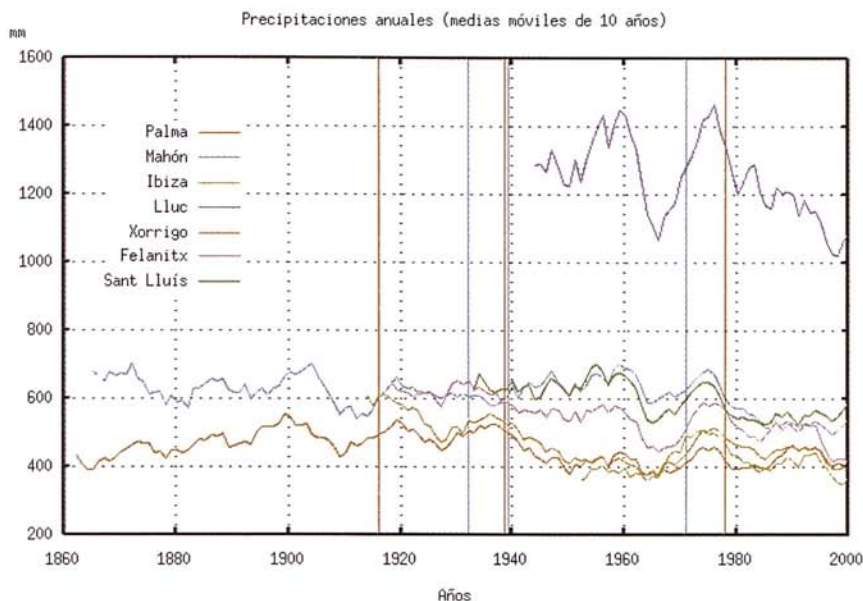


Fig. 5. Medias móviles de 10 años de las precipitaciones anuales de las siete series más completas de Baleares.

Fig. 5. 10 year running means of annual precipitations from the seven most complete series of the Balearics.

entre las 7 series, particularmente notable entre Palma y Xorriego (en el mismo municipio) en los años anteriores y posteriores a 1938. Por tanto hemos de considerar ahora que el traslado de la estación en dicho año no es responsable de la disminución de la precipitación registrada, y que realmente las tendencias de la precipitación de Palma y Mahón eran diferentes en esa época. Los cambios sufridos por estos observatorios, señalados mediante trazos verticales en la gráfica, parecen no influir sensiblemente en los registros; la suavización realizada en la Fig. 5 tiende a disimular esta influencia, pero los datos originales de la Fig. 4 son tan ruidosos que también enmascaran los cambios, por lo que serán necesarios análisis estadísticos más elaborados para dilucidar el efecto real de los mismos. Lo que sí ha quedado ilustrado es la necesidad de contar con una red de estaciones pluviométricas suficientemente densa, pues de lo contrario se puede llegar a conclusiones erróneas.

En cuanto a la evolución general de las series, tras las fluctuaciones iniciales de Palma y Mahón, que tienen lugar en una banda relativamente estable, hacia 1940 se observa una disminución de las precipitaciones en el municipio de Palma (Palma y Xorriego) de alrededor de un 15%, que es mucho menor en Felanitx (también en la isla de Mallorca), pero que en la isla de Menorca (Mahón y Sant Lluís) se convierte en un ligero aumento. Después finalizan las gráficas con una sucesión de descensos y recuperaciones, pero con tendencia general descendente excepto en Ibiza y el municipio de Palma, donde las fluctuaciones son menos acusadas y la tendencia parece ligeramente ascendente. La serie de Lluc, con un nivel de precipitaciones mucho mayor, presenta unas oscilaciones similares a las demás, aunque muy amplificadas.

Si calculamos los promedios de los últimos 30 años y los comparamos con los del treintenio inmediatamente anterior (tabla 4),

Tabla 4. Precipitaciones medias (mm) de los dos últimos treintenios en las series más largas de Baleares. (* = periodo incompleto)*Table 4.* Mean precipitations (mm) of the two last 30-year periods from the longer Balearic series.

Periodo	Ibiza	Xorriego	Palma	Lluc	Felanitx	S. Lluís	Mahón
1941-70	387*	426	414	1254*	532	611	632
1971-00	437	457	430	1238	516	578	573
Variación (%)	+13	+7	+4	-1	-3	-5	-9

observamos también un comportamiento desigual en la evolución de la precipitación en el medio plazo reciente, con disminución en el nordeste del archipiélago (-9 % en Mahón) y aumento en el sudoeste (+13% en Ibiza). Este desigual comportamiento podría deberse a algún cambio en las frecuencias de las diferentes situaciones meteorológicas productoras de precipitación. De hecho Laita (1995), en su análisis de los campos de presión en el Mediterráneo Occidental durante 1961-90, detecta ligeras tendencias de aumento de los valores medios mensuales de las componentes zonal y meridiana del viento, que apuntan a una gradual disminución de la frecuencia de situaciones con flujo del nordeste y aumento de las del sudoeste, concordante con las variaciones observadas en la precipitación. No obstante, habría que extender dicho trabajo a un periodo de tiempo mayor, analizando las frecuencias de las distintas situaciones, para poder confirmar esta relación. Otro fenómeno concordante con este incremento de las situaciones con flujo de componente sur sería el aumento de la frecuencia de lluvias de barro observado tanto en el sudeste de la Península Ibérica (Quereda *et al.*, 1996) como en Baleares (Fiol *et al.*, 2001).

Además de la evolución de la precipitación anual, básica para la evaluación de los recursos hídricos, otras variables pluviométricas que podrían verse afectadas por el cambio climático serían las frecuencias de días de lluvia por encima de diferentes umbrales, periodos de retorno de las precipitaciones más

intensas, frecuencia y duración de las sequías, etc. Todas ellas necesitarán estudios particularizados, pero siempre habrán de basarse en una adecuada cobertura de estaciones pluviométricas con series largas y fiables.

Otras variables

La precipitación y la temperatura son las variables que primero se analizan en un estudio climatológico regional, por afectar a gran número de actividades humanas; también son las que poseen redes más densas de observación. Sin embargo hay otras variables importantes como las horas de sol, humedad relativa, viento, que habría que estudiar, pero para las que las series de datos son bastante escasas y generalmente más cortas.

Como ejemplo presentamos en la Fig. 6 las medias anuales de las humedades e insolaciones relativas de Palma, Mahón e Ibiza, desde 1961. La insolación relativa es el porcentaje de horas de sol respecto a las máximas teóricamente posibles y varía de forma inversa a la nubosidad. Las tendencias a medio plazo no son muy aparentes, dado que se mueven aproximadamente en la misma banda de oscilación de las variaciones interanuales. No obstante, las humedades parecen descender ligeramente en los primeros años, para luego quedar bastante estabilizadas.

Las insolaciones, por su parte, también parecen descender algo al principio (excepto en Mahón), para aumentar claramente desde

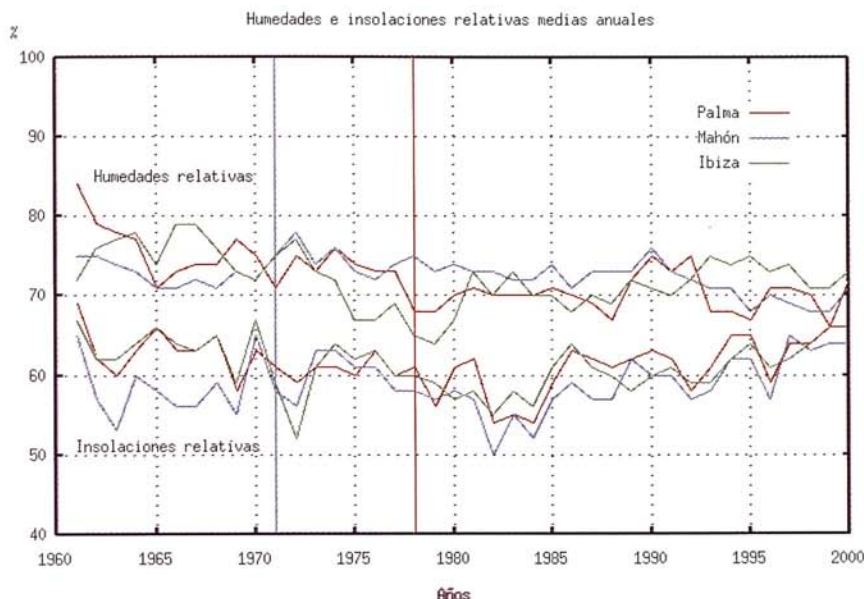


Fig. 6. Humedades e insolaciones relativas medias anuales de Palma, Mahón e Ibiza.
 Fig. 6. Annual averages of relative humidity and sunshine hours from Palma, Maó and Eivissa.

1982, pasando de un 55 a un 65%. Sin embargo, este aumento podría formar parte de un ciclo de periodo largo, puesto que los valores de los últimos términos de la serie son similares a los primeros.

Estas variables muestran así un grado similar de dificultad a la hora de estudiar sus series y tratar de atribuir alguna tendencia al cambio climático antropogénico.

Conclusiones

El análisis de las series más largas de Baleares de precipitación y temperatura ha permitido ilustrar la dificultad de este tipo de estudios, ya que los cambios de emplazamiento, condiciones de instalación e interrupciones de funcionamiento de las estaciones climatológicas, junto con las variaciones en el entorno que modifican su microclima, hace que las buenas series de datos sean muy esca-

sas. La influencia de estos cambios sobre las series se detecta por comparación con otras estaciones próximas, pero la gran variabilidad de la precipitación añade mayor dificultad al estudio de este elemento. Otras variables, tales como la humedad relativa, el viento, la nubosidad, etc., presentan una problemática similar, agravada por el hecho de contar con un número de observatorios mucho más reducido.

En nuestras islas se ha observado un claro aumento de la temperatura media en los últimos años (0,77°C por decenio), especialmente notable entre 1984 y 1989, y también de la insolación relativa (disminución de la nubosidad media). La precipitación media anual descendió en el sudoeste de Baleares alrededor de un 15% durante los años 40, para iniciar posteriormente una ligera recuperación, mientras que en Menorca y nordeste de Mallorca el descenso comenzó más tarde y todavía sigue su curso. Estas diferencias de

tendencia de la pluviometría en el archipiélago apunta a posibles cambios de largo periodo en las frecuencias de las distintas situaciones atmosféricas productoras de precipitación.

Es necesario un mayor esfuerzo investigador para confirmar estas tendencias, y mejorar las técnicas de depuración de datos climatológicos. Asimismo resulta indispensable procurar mantener la calidad de las redes de observación, que en Baleares tienen una densidad superior a la media, y poner especial cuidado en registrar documentalmente cualquier tipo de incidencia que se produzca en los observatorios (*metadatos*), ya que podrían producir discontinuidades en las series.

Aunque el clima ha cambiado mucho a lo largo de la historia geológica de nuestro planeta, el cambio que parece estar produciéndose como consecuencia de las actividades humanas es mucho más rápido que en el pasado, y nos afecta directamente a nosotros, aquí y ahora. A los esfuerzos internacionales por diseñar y poner en práctica políticas tendientes a mitigar las proporciones de este cambio habrá que añadir, a escala regional y local, los encaminados a evaluar sus consecuencias y a estudiar estrategias de adaptación al mismo.

Bibliografía

- Fiol, L., Guijarro, J.A. y Fornós, J.J. 2001. Las lluvias de barro en el Mediterráneo Occidental: El caso de Mallorca. *Rev. climatol.*, 1: 7-20.
- Folland, C., Frich, P., Basnett, T., Rayner N., Parker D. y Horton B. 2000. Incertidumbres de las series de datos climáticos: un reto para la OMM. *Boletín de la OMM*, 49(1): 66-76.
- Guijarro, J.A. 1986. *Contribución a la bioclimatología de Baleares*. Tesis Doctoral, Univ. I. Bal., 282+301 pp. (Inédita).
- Guijarro, J.A. 1998. Influencia de la urbanización en las series termométricas de Baleares. IV Reunión de Climatología (Madrid, 27-28 Feb. 1998), *El clima y el factor urbano*: 305-314.
- Jones, P.D., Kelly, P.M., Goodess, C.M. y Karl, T. 1989. The effect of urban warming on the northern hemisphere temperature average. *Jour. Clim.*, 2: 285-290.
- Karl, T.R., Derr, V.E., Easterling, D.R., Folland, C.K., Hofmann, D.J., Levitus, S., Nicholls, N., Parker, D.E. y Withee, G.W. 1995. Critical issues for long term climate monitoring. *Climatic Change*, 31: 185-221
- Laita, M. 1995. El fenómeno del Niño y su influencia climática en el Mediterráneo occidental. Tesis Doctoral, Univ. de les Illes Balears, 184 pp + Anexos. (Inédita)
- Lamb, H.H. 1982. *Climate history and the modern world*. Methuen&Co. Ltd., Londres. 16: 93-100.
- Monteith, J.L. 1981. Climatic variation and the growth of crops. *Quart. Jour. Roy. Met. Soc.*, 107: 749-774.
- Montón, E. y Quereda, J. 1997. *¿Hacia un cambio climático? La evolución del clima mediterráneo desde el siglo XIX*. Fundación Dávalos-Fletcher, Castellón, 520 pp.
- Parker, D.E. 1994. Effects of changing exposures of thermometers at land stations. *Int. J. Climatol.*, 14: 102-113.
- Quereda, J. y Montón, E. 1994. Calentamiento significativo en el mediterráneo español (1870-1993). In: *Cambios y variaciones climáticas en España* (Actas Iª Reunión del Grupo de Climatología de la AGE), Univ. de Sevilla/Fundación El Monte, pp. 347-360.
- Quereda, J., Olcina, J. y Montón, E. 1996. Red dust rain within the spanish mediterranean area. *Climatic Change*, 32: 215-228.
- Schneider, S.H. 1983. Volcanic dust veils and climate: How clear is the connection?. *Climatic Change*, 5: 111-113.

El cambio climático y sus consecuencias para los ecosistemas costeros de las Islas Baleares

Carlos M. DUARTE y Joaquín TINTORÉ

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Duarte, C.M. y Tintoré, J. 2001. El cambio climático y sus consecuencias para los ecosistemas costeros de las Islas Baleares. In: Pons, G.X. i Guijarro, J.A. (Eds.): *El canvi climàtic: passat, present i futur*. Mon. Soc. Hist. Hist. Nat. Balears, 9: 159-172. ISBN: 84-87818-34-X. Palma de Mallorca.

El cambio climático es el problema medioambiental más importante del siglo XXI, afectando a todas las actividades humanas, incluidas la provisión de agua y alimento para la humanidad. Este cambio afectará de manera particularmente importante a las áreas insulares, ya que tienen una mayor dependencia de las zonas costeras, las cuáles se verán fuertemente afectadas por el cambio climático. Esta dependencia se materializa, en el caso de las Islas Baleares, en una dependencia económica, derivada del papel clave de la industria turística. Esta industria es especialmente sensible al cambio climático, por lo que las consecuencias para los ecosistemas costeros que se discuten en este capítulo tendrán también importantes repercusiones sobre la economía y sociedad balears. En este capítulo examinamos primero los conceptos de cambio climático y cambio global, revisamos las consecuencias de los cambios que se han producido durante el siglo XX para los ecosistemas costeros y finalmente evaluamos los cambios adicionales que se esperan sobre la base de las predicciones de escenarios posibles para el siglo XXI, y las actuaciones que debieran emprenderse para minimizar las consecuencias negativas del cambio climático. Todo este ejercicio se lleva a cabo bajo una notable carencia de datos específicos para las Islas Baleares, lo que revela de inmediato la necesidad de contar con una base observacional, sujeta a un control de calidad riguroso, capaz de permitir, a través de su integración en un sistema interdisciplinar de análisis, la detección de cambios en los ecosistemas costeros de las Islas Baleares.

Palabras clave: *ecosistemas costeros, cambio climático, transformación de ecosistemas, Posidonia oceánica, monitorización, Islas Baleares.*

EL CANVI CLIMÀTIC I LES SEVES CONSEQÜÈNCIES PER ALS ECOSISTEMES COSTANERS DE LES ILLES BALEARS. El canvi climàtic és el problema mediambiental més important del segle XXI, afectant a totes les activitats humanes, incloses la provisió d'aigua i aliment per a la humanitat. Aquest canvi afectarà de forma particularment important a les àrees insulars, ja que tenen una major dependència de les zones costeres, que es veuran intensament afectades pel canvi climàtic. Aquesta dependència es materialitza, en el cas de les Illes Balears, en una dependència econòmica, derivada del paper clau de la indústria turística. Aquesta indústria és especialment sensible al canvi climàtic, pel que les conseqüències per als ecosistemes costaners que se discuteixen en aquest capítol ten-

dran també importants repercussions sobre l'economia i la societat de les Balears. En aquest capítol s'examinen primer els conceptes de canvi climàtic i canvi global, revisam les conseqüències dels canvis que s'han produït durant el segle XX per als ecosistemes costaners i finalment avaluam els canvis addicionals que s'esperen sobre la base de les prediccions d'escenaris possibles per al segle XXI, i les actuacions que es tendrien que emprendre per a minimitzar les conseqüències negatives del canvi climàtic. Tot aquest exercici es du a terme sota una notable carència de dades específiques per a les Illes Balears, el que revela la necessitat de comptar amb una base observacional, subjecta a un control de qualitat rigorós, capaç de permetre, a través de la seva integració en un sistema interdisciplinari d'anàlisi, la detecció de canvis en els ecosistemes costaners de les Illes Balears.

Paraules clau: *ecosistemes costaners, canvi climàtic, transformació d'ecosistemes, Posidonia oceanica, monitorització, Illes Balears.*

CLIMATIC CHANGE AND THEIR IMPACT ON COASTAL ECOSYSTEMS OF THE BALEARIC ISLANDS. The climatic change is the most relevant environmental problem of the XXI century, affecting all human activities, including water and food supplies to mankind. This change will dramatically affect insular areas, since they have a greater dependence on coastal areas that will be strongly affected by the climatic change. In the case of the Balearic Islands, this dependence will be mainly economical, derived from its key role on the tourist industry. This industry is specially sensitive to the climatic change, and therefore aftermath for coastal ecosystems discussed in this chapter will also have important effects on the Balearic economy and society. In this chapter the concepts of climatic and global change will be examined first, consequences of changes suffered by coastal ecosystems through the XX century will be revised, and finally we will evaluate the added changes that can be expected based on the different scenarios predicted for the XXI century, and the actions to undertake to minimize the negative consequences of the climatic change. All this exercise is done under a remarkable lack of specific data for the Balearic Islands, thereby revealing the need to count with an observational basis, subject to a thorough quality control, able to permit, through its integration in an interdisciplinary analysis system, the detection of changes in the coastal ecosystems of the Balearic Islands.

Keywords: *coastal ecosystems, climatic change, ecosystem transformation, Posidonia oceanica, monitoring, Balearic Islands.*

Carlos M. DUARTE y Joaquín TINTORÉ; Grupo de Oceanografía Interdisciplinar; Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados IMEDEA (CSIC - UIB); C/ Miquel Marqués, 21; 07190 Esporles

Cambio climático y cambio global: variabilidad natural y antropogénica

El concepto de cambio climático encierra, en sí mismo, una paradoja, pues su antónimo, la constancia climática no ha existido a lo largo de la existencia del planeta Tierra. El clima es un sistema dinámico y cambiante,

sobre la base de reacciones a procesos de distinta índole, incluidos procesos biológicos, que afectan la composición de la atmósfera y el albedo del planeta Tierra, procesos astronómicos, como cambios en la actividad solar o el impacto de meteoritos, procesos físicos como las corrientes oceánicas que modifican y redistribuyen la energía recibida sobre la superficie del mar, y procesos internos, como

la actividad volcánica, que afecta la concentración de aerosoles en la atmósfera.

Debido a la participación de múltiples factores e interacciones entre ellos, el clima es uno de los sistemas ambientales más complejos del planeta. El estudio del sistema climático implica la comprensión de los procesos interdisciplinarios que tienen lugar en el sistema 'atmósfera-tierra-océanos' y de sus interacciones. Desvelar esta complejidad intrínseca es uno de los mayores retos para la ciencia, siendo importante notar que esta complejidad no es un pretexto del científico para justificar la dificultad de formular predicciones fiables, sino que es una realidad característica de los sistemas naturales que no podemos soslayar.

La variabilidad del clima depende de las escalas temporales en que nos fijemos y puede ser natural o inducida por las actividades humanas. La identificación del cambio climático como problema global se refiere a la creciente evidencia de que la actividad humana está interfiriendo con los sistemas de control del clima en el planeta Tierra a través de una serie de cambios locales que conducen a cambios en procesos esenciales a escala pla-

netaria. Estos cambios conforman, colectivamente, lo que se ha dado en llamar cambio global, los cuales conducen al cambio climático que, a su vez, incide sobre los procesos de cambio global.

La capacidad de la humanidad para incidir sobre los procesos esenciales sobre los que se apoya la biosfera, o cambio global, ha llegado a tal punto, que la humanidad domina muchos de estos procesos en la actualidad, por lo que el siglo XXI se ha proclamado como el comienzo de una nueva era geológica, el Antropoceno, en el cuál una sola especie, *Homo sapiens*, afecta los procesos básicos del planeta, entre ellos el cambio climático. Sin embargo, es importante ser conscientes de que nuestra capacidad de modificación del planeta no ha avanzado en paralelo a la comprensión de los procesos que se ven modificados. A esta situación se ha llegado a través del crecimiento de la población humana y el aumento del uso de energía per cápita. El examen del desarrollo de la población humana durante su existencia muestra un crecimiento exponencial sostenido durante cerca de un millón de años (Fig. 1), lo que repre-

Población humana (millones)

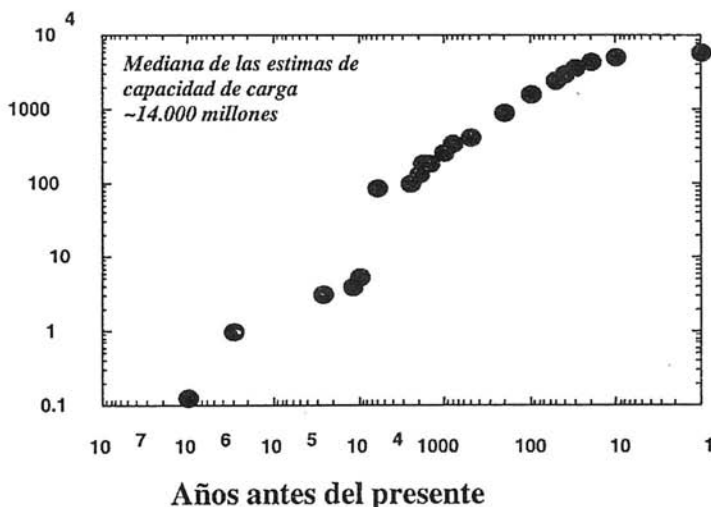


Fig. 1. Evolución de la población humana en el tiempo. Modificado de Cohen (1995).

Fig. 1. Evolution of the human population over time. Modified from Cohen (1995).

senta - hasta donde sabemos - el crecimiento sostenido de una sola especie más espectacular en la historia de la vida en el planeta, sólo comparable al desarrollo de algunas especies, como especies domesticadas (e.g. vacas, gallinas) y parásitas (e.g. ratas, algunos microorganismos patógenos), asociadas al hombre. Así, el crecimiento de la población humana esperado en la próxima década es comparable al crecimiento de la población humana durante el 99 % de la historia de nuestra especie (Fig. 1).

La utilización de recursos del planeta: la transformación de la Tierra

Durante los últimos 130 años, asociado a la revolución industrial, el hombre ha aumentado notablemente la capacidad de modificar su entorno para mantener el crecimiento de la población a través del uso de la

energía. Así, el uso de la energía per cápita de la humanidad se ha disparado por 6 veces durante el siglo XXI (Fig. 2). Este uso de energía supone un aumento del consumo de recursos per cápita que, unido al aumento exponencial de la población, explica la enorme demanda de recursos por la humanidad y su capacidad para alterar su entorno.

La capacidad de la humanidad para controlar procesos claves en el funcionamiento del planeta se puede resumir en algunas cifras (Fig. 3): la humanidad controla el 55% del ciclo hidrológico, un 20% del CO₂ presente en la atmósfera ha sido liberado por el hombre, que acapara un 40% de toda la producción primaria terrestre, y aproximadamente un 50% del territorio del planeta ha sido domesticado, convertido en pastizales, campos de cultivo o áreas urbanas (1-2% del territorio). Este uso de territorio se ha llevado a cabo, en gran medida, de forma no sostenible, por lo que la proporción del territorio que

Uso de energía per cápita (MW-h/año)

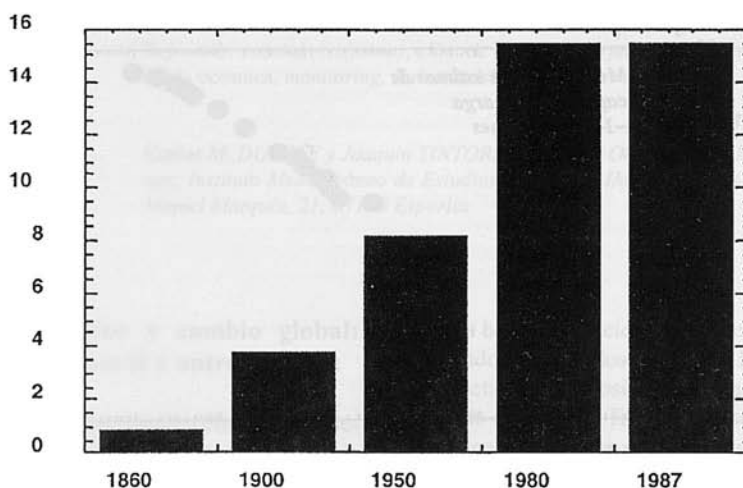


Fig. 2. Evolución del consumo de energía promedio per cápita. Modificado de Cohen (1995).
Fig. 2. Evolution of average per capita energy consumption. Modified from Cohen (1995).

Impacto global de la actividad humana (% de cambio)

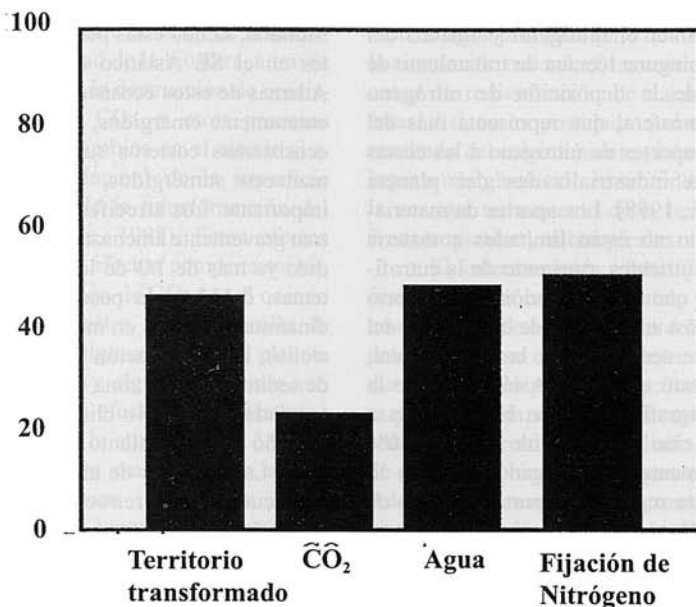


Fig. 3. Indicadores del impacto global del hombre cuantificado a través del porcentaje de territorio transformado, el porcentaje de CO₂ en la atmósfera de origen antropogénico, el porcentaje del flujo de agua anual accesible utilizado, y el porcentaje de la fijación total de nitrógeno debido a actividades humanas. Modificado de Vitousek *et al.* (1998).

Fig. 3. Indicators of Man's global impact quantified by means of the percentage land area transformed, the percentage of CO₂ of human origin in the atmosphere, the percentage of annual accessible water flow used, and the percentage of total nitrogen fixing due to human activities. Modified from Vitousek *et al.* (1998).

sufre procesos de desertización supone el 17% de toda la superficie del planeta. De hecho, el crecimiento de la superficie agrícola ha sido de un 0.15% anual, mucho menor que la tasa de crecimiento de la población. La producción de alimento ha sido, por tanto, posible, a partir de un aumento importante del rendimiento de los cultivos, a partir del uso de fertilizantes, que ha venido aumentando en un 2% anual. El uso de fertilizantes se generaliza a partir de la segunda mitad del siglo XX, cuando se implementa a nivel industrial la reacción responsable de la fijación de nitrógeno atmosférico en forma reactiva, proceso que es responsable, en la actualidad, de más del 50% de toda la fijación de nitrógeno que ocurre en el planeta (Schuur y Matson, 2000). De

hecho la humanidad, a través de procesos industriales y agrícolas, capta nitrógeno inerte (gas) de la atmósfera y devuelve nitrógeno reactivo a la misma, de forma que aproximadamente la mitad de todo el nitrógeno reactivo presente en la atmósfera es antropogénico.

La humanidad moviliza, por tanto, cantidades importantes de nitrógeno y fósforo, que eventualmente fluyen a la zona costera, donde se está constatando un aumento de la frecuencia de procesos de eutrofización, que comprenden el deterioro de la calidad del agua en respuesta al aporte excesivo de nutrientes y materia orgánica. La implementación de tratamiento de aguas no consigue paliar este efecto, puesto que (1) el tratamiento de aguas de cualquier tipo solamente alcan-

za al 30% de la población en los países más desarrollados (OECD), (2) solamente el tratamiento terciario, que representa una proporción mínima del volumen de aguas tratadas, consigue extraer el nitrógeno y fósforo del agua, y (3) ninguna técnica de tratamiento de aguas impide la deposición de nitrógeno desde la atmósfera, que representa más del 30% de los aportes de nitrógeno a las costas de regiones industrializadas del planeta (Nixon *et al.*, 1998). Los aportes de materiales al océano no están limitados a materia orgánica y nutrientes, causantes de la eutrofización, sino que la degradación del territorio ha conducido a un aumento de la erosión y del transporte de sedimentos a la zona costera, particularmente en el SE Asiático donde la abrupta topografía junto con la elevada tasa de deforestación ha conducido a que el 30% de los sedimentos que llegan al océano lo hagan en esta región. El aporte excesivo de sedimentos causa, en esta y otras regiones, un deterioro importante de los ecosistemas costeros (e.g. Fortes, 1988).

La transformación de la superficie del planeta no es sólo un proceso terrestre, sino que alcanza a los cauces de agua dulce y a la zona costera. Aproximadamente un 13% de todo el flujo de agua por cauces fluviales está regulado por presas (Mackenzie, 1998), cuyo número se sitúa en torno a las 40.000 globalmente, y que, además de retener un volumen de agua que supondría, de ser liberado, un aumento del nivel del mar de 7 cm (Carter 1988), retienen importantes cantidades de sedimentos que han alterado el balance sedimentario de la zona costera. Los efectos de la construcción de embalses sobre los flujos de materiales a la zona costera y el funcionamiento de sus ecosistemas se hicieron patentes tras la construcción de la presa de Asuán, en el Nilo, que ha alterado notablemente el funcionamiento del Delta del Nilo y llevó a la caída de las capturas de boquerón asociadas a las crecidas del Nilo (Carter, 1988). La zona costera ha sufrido una importante transformación, con la destrucción sistemática de ecosistemas dunares, marismas y bosques de manglares en el mundo. Estos últimos se han visto

particularmente afectados, de forma que la superficie de bosques de manglar existente en la actualidad equivale a sólo el 50% de la superficie existente al finalizar la II Guerra Mundial, siendo estas pérdidas más importantes en el SE Asiático (Aksornkoae, 1993). Además de estos ecosistemas intermareales o enteramente emergidos, la destrucción de los ecosistemas costeros submareales, que permanecen sumergidos, ha sido igualmente importante. Los arrecifes de coral se encuentran gravemente amenazados, habiéndose perdido ya más de 1/3 de los 600.000 km² existentes, debido a la pesca incontrolada (con dinamita y cianuro en muchas zonas en desarrollo), la eutrofización y el aporte excesivo de sedimentos a la zona costera, y fenómenos asociados al cambio climático (episodios de El Niño y calentamiento anómalo del agua de mar). Las praderas de angiospermas marinas se encuentran en retroceso a escala global, debiéndose este retroceso a un conjunto de causas, desde causas locales, como la eutrofización, la perturbación física y las actuaciones en la costa que afectan al flujo de sedimentos, y causas globales, como la tendencia erosiva asociada al aumento del nivel del mar (Hemminga y Duarte, 2000). Aunque la superficie de praderas submarinas perdidas se desconoce, los registros de pérdidas se han multiplicado por 10 en las últimas décadas, y han desaparecido casi por completo de las costas de algunos países, como Holanda, donde la zona costera se ha transformado completamente a raíz de actuaciones de ingeniería. Estos datos hacen pensar que la transformación de la zona costera por la actividad humana ha sido también intensa, probablemente de una magnitud comparable o incluso superior a la transformación del territorio.

La transformación del planeta derivada de la acción humana constituye el cambio global, y el cambio climático es, en parte, una consecuencia de esta transformación, cuyas causas últimas (desarrollo de la población humana y el consumo energético per cápita) comparte. El cambio climático resulta, básicamente, de la variación en el balance de radiación terrestre derivado de las emisiones

de gases invernadero, tales como el CO₂ (responsable del 55% del efecto invernadero) y otros gases (metano, óxido nitroso y fluorocarbonos clorados, entre otros), y de la disminución de la capacidad de la biosfera, a través de la deforestación y la destrucción de ecosistemas, para retener CO₂, y otros procesos importantes como cambios en el albedo (i.e. reflexión de la radiación) de la superficie terrestre derivados de la transformación del territorio (Mackenzie, 1998). Estos efectos están sopesados por efectos compensatorios, tales como la captación de CO₂ por el océano y la vegetación terrestre, y el desarrollo de masas forestales en algunas zonas del planeta (e.g. Norteamérica), y algunos procesos aún por identificar. Estos efectos compensatorios consiguen retirar de la atmósfera un 53% de los gases invernadero emitidos. Aún así, la acumulación de gases invernadero en la atmósfera está dando lugar a un calentamiento global ya cuantificable a pesar de la importante variabilidad natural en el clima, que tiende a enmascarar estas tendencias.

Cambio climático en el siglo XX: consecuencias para los ecosistemas costeros

El calentamiento global de la atmósfera durante el siglo XX se ha estimado en 0.6 °C sobre la temperatura media global (Mackenzie, 1998). En la Península Ibérica, la temperatura media anual se ha incrementado en cerca de 1.6°C y la década de los 90 ha sido la más cálida del siglo, lo que también se extiende a las aguas costeras. El calentamiento global tiene consecuencias sobre otros componentes importantes de la regulación del clima y de los procesos globales. Así, este calentamiento está dando lugar a una fusión más rápida de los casquetes polares en la Antártida y el Ártico (IPPC, 1996, Mackenzie, 1998). Se ha postulado, sobre la base de modelos de circulación oceánica y la constatación de cambios bruscos en ésta en tiempos geológicos, que el aumento en la humedad y el flujo de agua dulce a altas latitudes deriva-

do de la fusión de los casquetes polares y glaciares, alterará, a través de su efecto sobre la estabilidad de la columna de agua y la formación de agua profunda (uno de los motores de la circulación oceánica), las corrientes oceánicas y la redistribución de calor asociada a éstas. Así, se ha postulado que este proceso, resultado del calentamiento global, podría dar lugar a una glaciación en latitudes elevadas, a la vez que un aumento de la temperatura en áreas tropicales y subtropicales.

El calentamiento global junto con la fusión del agua retenida en hielo polar y alpino está llevando a un aumento del nivel medio del mar, que se cuantifica entre 12 y 30 cm durante el siglo pasado (<http://www.ipcc.ch>), y que se habría visto incrementada en 7 cm adicionales de no haber mediado la retención de grandes volúmenes de agua en embalses. Además, el aumento de la temperatura del agua de mar durante el siglo XX, conduce también a un aumento del nivel del mar por expansión térmica, aunque este efecto es una fracción pequeña del aumento registrado.

El aumento en el nivel medio del mar conduce a una remodelación o en algunos casos regresión de la línea de costa que es muy variable dependiendo de la morfología del litoral. Sin embargo, esta modificación de la línea de costa, modificación que todos hemos observado en uno u otro lugar, se produce asociada a una modificación menos evidente pero igualmente importante del perfil sumergido de nuestro litoral. En otras palabras, la erosión del litoral tanto en su parte seca como sumergida está dando lugar en muchos casos a situaciones del mismo alejadas del equilibrio natural, situaciones inestables por las que ahora debemos pagar un precio.

La tendencia generalizada a la erosión submarina derivada del aumento del nivel del mar se ve en muchos casos acentuada por los efectos de las construcciones sobre la línea de costa. La erosión submarina se verá acentuada por el aumento del oleaje en la zona costera esperado como consecuencia del aumento del viento y temporales asociados al proceso de cambio climático. Además de la erosión

submarina y la regresión de las playas, el aumento del nivel del mar causa inundaciones, que se ven acrecentadas por el aumento de los fenómenos extremos como tormentas violentas e inundaciones (<http://www.cru.uea.ac.uk>). Los problemas asociados al aumento del nivel del mar son particularmente severos en zonas bajas, como el área de Bangladesh, donde la mortalidad por inundaciones durante los últimos 30 años alcanza casi el millón de personas (Ernst, 2000), y en islas, que pueden perder una fracción importante de su superficie o incluso desaparecer por completo como parece ser el destino de algunos atolones habitados del Pacífico.

El aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera y por tanto en la superficie del océano, con la que está en equilibrio, puede tener efectos positivos para algunas comunidades marinas, tales como las praderas submarinas y los campos de algas, cuya tasa de fotosíntesis se encuentra actualmente limitada por la baja disponibilidad de CO₂ en el agua. Sin embargo el aumento de la temperatura del mar posiblemente compense este aumento de la fotosíntesis, al estimular los procesos respiratorios, que suponen la liberación como CO₂ de carbono orgánico producido fotosintéticamente. El aumento de la concentración de CO₂ en el agua de mar conduce a una disminución del pH, que se estima en unidades de 0.1 unidades de pH a lo largo del siglo XX, y que eventualmente puede impedir la formación de carbonato en el océano y, eventualmente, redissolver el carbonato almacenado en el océano. Una disminución del pH de la superficie marina en 0.5 - 1.0 unidades, lo que podría ocurrir dentro del siglo XXI, pondría en peligro los organismos que producen un esqueleto carbonatado, desde arrecifes de coral a bivalvos, lo que generaría una pérdida de biodiversidad y de hábitat importante. La pérdida de organismos calcificantes junto con la redisolución del carbonato en el océano tendrían un impacto importante sobre el balance de sedimentos biogénicos, que representan el sustrato dominante de las playas en áreas tropicales y en las Islas Baleares.

Cambio climático y cambio global en el área Mediterránea

La zona Mediterránea es una zona de transición climática y se verá, por tanto, particularmente afectada por el cambio climático. De hecho el cambio global es un fenómeno temprano en la región Mediterránea, ya que el ciclo hidrológico y el régimen de lluvias se modificaron notablemente por la deforestación de la región, que comenzó hace varios siglos (Duarte *et al.*, 2000). La construcción de embalses en toda la región Mediterránea ha generado también un cambio en la hidrología de toda la cuenca Mediterránea, con una disminución de más del 30% en la descarga de agua y una disminución del 70% en la descarga de sedimentos al mar, con consecuencias para la circulación del Mar Mediterráneo (Martin y Milliman, 1997). Así, los cambios en nivel del mar, en dinámica sedimentaria, y en flujos biogeoquímicos en el área Mediterránea han sido más notables que los cambios en el resto del océano. El cambio climático en el Mediterráneo ha quedado registrado incluso en cambios en sus aguas profundas, cuya temperatura ha aumentado 0.13 °C y cuya salinidad ha aumentado por 0.04 psu durante los últimos 40 años (Bethoux *et al.*, 1990).

El crecimiento de la población en el área Mediterránea es importante, con una duplicación de la población residente cada 30 años y un aumento espectacular de la población transeúnte - a través del turismo del que comprende una tercera parte (EEA, 1999) - que se duplica cada 15 años (EEA, 1999), y que han generado importantes presiones sobre los ecosistemas costeros dado que una tercera parte de la población residente y casi el 100 % de la población transeúnte se concentra en la zona costera. Este crecimiento de población se concentra en zonas urbanas, dado que la población rural está disminuyendo en toda la cuenca mediterránea. El desarrollo de zonas urbanas y puertos ha representado también una destrucción importante de la zona costera, de forma que, en la costa mediterránea de

los países miembros de la Unión Europea existen ya alrededor de 1500 km de costa artificial (EEA 1999). Estas construcciones generan una alteración de la dinámica sedimentaria costera y generan contaminación a través de su uso y de los accidentes del creciente tráfico marítimo - cuantificadas en 60 accidentes anuales implicando buques de gran tonelaje (EEA, 1999) - soportado por el aumento de instalaciones portuarias. El aumento de la flota del Mediterráneo no se registra solamente en el sector comercial, pues el número de embarcaciones de recreo excede ya el millón de unidades. El incremento del tráfico marino, donde el Mediterráneo acoge el 30% del tráfico marino, y la apertura de nuevas rutas y comunicaciones como el canal de Suez han incrementado además la introducción de especies invasoras en el Mediterráneo, que se calculan ya en un par de centenares de especies (EEA, 1999).

La erosión costera es uno de los problemas más importantes de la región Mediterránea. Entre un 7 y un 25 % de la costa Mediterránea, dependiendo de las zonas, sufren problemas de erosión, que afectan a un 20% de la costa de las Islas Baleares (EEA, 1999). Las causas de esta erosión generalizada son múltiples, e implican el aumento del nivel del mar (aproximadamente 20-30 cm durante el siglo XX), como consecuencia del cambio climático, la reducción de los aportes de sedimentos por la construcción de embalses, el impacto de las construcciones costeras sobre la dinámica sedimentaria en la costa, y la subsidencia del terreno derivada de la explotación excesiva de los acuíferos.

La explotación de los recursos vivos en el Mediterráneo es importante y la explotación de stocks pesqueros, que se encuentran explotados al límite desde hace ya décadas, ha aumentado en torno a un 17% durante los últimos 15 años, mientras que la acuicultura marina se ha triplicado durante el mismo período (EEA, 1999), con un aumento de 400 veces en el cultivo de dorada y lubina en jaulas de engorde. Estas jaulas están causando un deterioro importante de las zonas costeras donde se han establecido, en particular un

deterioro de la calidad de los sedimentos por aporte excesivo de materia orgánica, y la pérdida de ecosistemas sensibles a estos cambios, como praderas submarinas de *Posidonia oceanica* (e.g. Delgado *et al.*, 1997). La acuicultura es ya una fuente importante de nitrógeno y fósforo a la zona costera mediterránea.

El deterioro de la calidad de aguas se ha traducido en un aumento de episodios de eutrofización en el Mediterráneo (EEA, 1999, Vidal *et al.*, 1999), con pérdida de transparencia del agua y proliferaciones de algas tóxicas que llevan a un deterioro de los ecosistemas. La eutrofización se deriva del incremento de aportes de nutrientes y materia orgánica, tanto a través del uso de fertilizantes en agricultura como derivados de aportes urbanos e industriales, de los que aproximadamente un 60% no recibe ningún tipo de tratamiento (EEA 1999). El aumento de la concentración de nutrientes en el Mediterráneo no es solamente un fenómeno costero, sino que se ha registrado incluso en las aguas profundas mediterráneas, cuya concentración de fosfato y nitrato ha aumentado notablemente (Bethoux *et al.*, 1992).

Como consecuencia de estos cambios, los ecosistemas mediterráneos están sufriendo un notable deterioro. En particular, las praderas de *Posidonia oceanica*, que forma los ecosistemas más representativos y productivos del litoral Mediterráneo, se están viendo afectadas por los procesos de cambio global y cambio climático. Las praderas de *Posidonia oceanica* se encuentran en regresión en el Mediterráneo, que alcanza a más de la mitad de las praderas situadas en la costa mediterránea de la Península Ibérica (Marbá *et al.*, 1996). Esta tendencia a la pérdida de praderas que tiene causas múltiples (e.g. daños físicos por dragados, construcciones, artes de pesca y anclas; deterioro de la calidad del agua y los sedimentos submarinos por la eutrofización y la acuicultura; erosión de costas), que incluyen efectos antropogénicos y también efectos climáticos, como la tendencia a la erosión submarina derivada del aumento del nivel del mar (Marbá y Duarte, 1997). Esta pérdida conlleva un deterioro importante de funciones

importantes, como la estabilización de los sedimentos submarinos, aporte de sedimentos biogénicos a las playas, atenuación del oleaje y provisión de alimento y habitat, aportados por estos importantes ecosistemas.

Cambio climático en el siglo XXI y el futuro de los ecosistemas costeros de las Islas Baleares

El aumento de la población constatado durante el siglo XX continuará a lo largo del siglo XXI, alcanzando previsiblemente los 11.000 millones de habitantes hacia el año 2050 (Lutz 1994), de los que un 60 % vivirá en ciudades (Mackenzie, 1998). Sin embargo, este aumento no puede continuar de forma indefinida, y distintas estimas de la capacidad máxima de carga del planeta convergen en torno a los 14.000 millones de habitantes, cifra máxima impuesta por la disponibilidad de agua, y que podríamos alcanzar dentro del siglo XXI. De hecho, una tercera parte de la humanidad no tiene ya garantizado el acceso a agua minimamente segura, y el control del agua se perfila como una fuente de inestabilidad y conflictos armados para el siglo XXI.

El aumento de la población residente en la región mediterránea se estima en 600 millones hacia el 2050, de los que más de 450 millones residirán en ciudades, comparada con una población actual de 450 millones, con 200 millones residentes en ciudades, en la actualidad (EEA, 1999). Durante el mismo intervalo de tiempo el número de turistas en la zona costera se triplicará desde los 135 millones computados en 1990 (EEA, 1999).

El rápido crecimiento de la población, tanto residente como turistas, en las islas Baleares es una de las mayores preocupaciones de las autoridades insulares y autonómicas, que lo están intentando moderar a través de medidas de regulación de la ocupación del territorio. El nivel de población actual de las islas Baleares supera ya los límites impuestos por la disponibilidad del agua, teniendo en cuenta que la demanda de agua ha aumentado

tanto por el aumento de la población como por un aumento continuado del consumo per capita. Además, los modelos de cambio climático prevén una disminución de la lluvia en las Islas Baleares (Mackenzie, 1998), lo que supondría que los recursos de agua dulce podrían disminuir en las Islas Baleares. Sin embargo, el crecimiento se ha mantenido a partir de la desalinización del agua marina, que representa la fuente más importante de suministro de agua para usos domésticos en las islas Baleares. El desarrollo de plantas desaladoras ha eliminado, al menos en teoría, el límite a la población impuesto por la disponibilidad de agua. Sin embargo, el aumento progresivo de la población a través de un aumento de la capacidad de desalinización no es sostenible, dado que este es un proceso energéticamente caro, incompatible con los objetivos de emisiones de CO₂ asumidos en el protocolo de Kyoto, y que genera, además, salmueras que contienen altas concentraciones de nutrientes que pueden agravar los procesos de eutrofización.

El 85% del consumo de agua dulce a nivel global se debe a actividades agrícolas (Postel, 1996), que entran ya en conflicto con las crecientes necesidades de agua de una población urbana. En este contexto, el desarrollo de la acuicultura marina se explica no sólo por su capacidad de producir alimento, sino que lo hace prácticamente sin consumo de agua dulce. Por ello, la acuicultura, como la industria del sector primario que está creciendo más rápidamente, se perfila como una actividad con un peso creciente en la producción de alimento, que generará importantes presiones sobre los ecosistemas costeros. Aunque la acuicultura se encuentra aún pobremente desarrollada en la actualidad en las Islas Baleares, es previsible que el desarrollo de la acuicultura marina en toda la región mediterránea alcanzará las islas, que cuentan además, con una extensa línea de costa, como atestiguan el aumento de las solicitudes de concesiones para el establecimiento de jaulas de engorde en el litoral balear. Este desarrollo sólo será sostenible si las

prácticas actuales se modifican para mejorar el rendimiento en relación a la provisión de alimento, usando, por ejemplo, técnicas de policultivos que combinen cultivos de peces, bivalvos filtradores y algas, además de seleccionar cuidadosamente las áreas adecuadas para soportar estas actividades (con un buen intercambio de agua) para minimizar su impacto.

Además de los aportes de nutrientes y materia orgánica derivados de la acuicultura, los vertidos de aguas residuales al mar continuarán agravando los problemas de eutrofización ya patentes en algunas zonas del litoral Balear, particularmente en bahías con un intercambio limitado de agua con las aguas costeras exteriores. Aunque en las islas se persigue un objetivo de pérdidas 0 de agua, a través del reciclado y bombeo al interior de todas las aguas residuales, lo cierto es que aún existe un número importante de emisarios de aguas residuales, muchos de ellos ilegales, que continuarán contribuyendo al desarrollo de problemas de eutrofización en las islas hasta su total desaparición. Las embarcaciones de recreo representan otra fuente importante de aportes de nutrientes y materia orgánica a las aguas litorales. Las islas Baleares acogen, permanentemente o de forma transitoria, a casi una tercera parte de la flota de embarcaciones deportivas presente en aguas españolas. La inmensa mayoría de estas embarcaciones, que albergan más de una decena de miles de personas durante el verano, no cuenta con tanques de contención de aguas residuales, que se vierten directamente al mar, representando una fuente de nutrientes y aguas fecales importante en puertos deportivos y zonas de fondeo, que contribuyen tanto a la eutrofización de las aguas litorales como a su deterioro desde el punto de vista sanitario.

Se predice que a lo largo del siglo XXI, la temperatura global aumentará en 2°C rango de las predicciones entre 0.9 y 3.5°C, IPPC, 1996, Mackenzie, 1998), lo que supone una tasa de calentamiento más rápida que cualquier evento a lo largo de las últimas decenas de miles de años en la historia del planeta. El

nivel del mar aumentará globalmente en torno a 0.5 m durante el siglo XXI (IPPC, 1996), mientras que se predice que en la región mediterránea aumentará en cerca de 30 cm durante el siglo XXI (EEA, 1999). Las consecuencias de este aumento serán catastróficas, a través de los múltiples mecanismos asociados al aumento en el nivel del mar, y pondrá en peligro las vidas y propiedades del 20% de la población humana, que habitan zonas inundables tras un aumento del nivel del mar de 1 m (Mackenzie, 1998). Las consecuencias de este aumento en el nivel del mar son la regresión de la línea de costa, empeoramiento de los problemas de erosión costera, el aumento del impacto del oleaje, y un aumento de la frecuencia de inundaciones. En las Islas Baleares las áreas más afectadas serán las playas, particularmente aquellas en las que los cordones dunares se han perdido o han sido inmovilizados, que sufrirán una importante regresión, las instalaciones portuarias, y los humedales costeros, incluyendo las albuferas, salinas y lagunas costeras. Estas últimas tienen un importante valor ecológico, como demuestra el hecho de que casi todas estén protegidas en las Islas Baleares, que se verá sin duda afectado por el aumento en el nivel del mar y sus efectos asociados. Además de las consecuencias negativas para las costas y los ecosistemas litorales, el aumento en el nivel del mar aumentará también las intrusiones marinas en los acuíferos costeros, aumentando el déficit de agua dulce de las islas Baleares.

El Mediterráneo alberga una importante diversidad marina, conteniendo aproximadamente el 8 - 9 % de la fauna y un 18 % de la flora de los océanos, que están concentradas en la zona costera (EEA, 1999). Es, por tanto, un ecosistema vulnerable tanto a las perturbaciones de los flujos biogeoquímicos que mantienen los ecosistemas, como los que se derivan de la eutrofización, como a los cambios en biodiversidad generados por las introducciones de especies o la pérdida de especies clave. En particular, las especies invasoras *Caulerpa taxifolia* y *Caulerpa racemosa* se han detectado en las Islas Baleares, la primera en las calas del SE de Mallor-

ca, y la segunda en la Bahía de Palma y en la Bahía de Ibiza, donde están sujetas a medidas de control y erradicación. La pérdida de praderas de *Posidonia oceanica* ofrece oportunidades para el establecimiento de especies oportunistas, incluidas las especies invasoras indicadas, que conduce a una pérdida de funciones del ecosistema, incluido el importante papel de las praderas de *Posidonia oceanica* sobre la retención y la estabilización de los sedimentos costeros, y una reducción de la biodiversidad.

Las praderas de *Posidonia oceanica* conforman los ecosistemas más representativos del litoral Balear, donde ocupan alrededor de 1.000 km² entre la línea de costa y los 45 m de profundidad que alcanza en aguas de Cabrera (Marbá *et al.*, en revisión), el récord de profundidad alcanzado por esta especie en el Mediterráneo. No existe ninguna cartografía fiable de las praderas de *Posidonia oceanica* en Baleares, por lo que su extensión no se conoce con exactitud. Más aún, la información sobre su estado es fragmentaria e insuficiente para formular un diagnóstico. Los datos de que se disponen indican una tasa de mortalidad menor que la que sufren las praderas de la costa peninsular, aunque muchas muestran una tendencia a la regresión, incluso algunas en zonas protegidas (Duarte *et al.*, datos inéditos).

La falta de datos fiables sobre el estado de los ecosistemas costeros impiden contar con una línea de base así como la detección de tendencias necesarias para informar una gestión eficiente de la costa Balear. El desarrollo de estos sistemas, junto con sistemas de control de calidad adecuados, debe ser, por tanto, una de las prioridades en I+D+I en las Islas Baleares, a la que debieran contribuir todos los agentes receptores de esta información, como las distintas administraciones y sectores (turístico, pesquero, navegación) implicados en el uso de la zona costera.

A pesar de la falta de una línea de base y sistemas de monitorización, está claro que existen evidencias de deterioro de los ecosistemas costeros, debido a procesos de desarrollo no sostenible en la costa, así como proble-

mas derivados directamente del cambio climático. Esta percepción no existe solamente dentro de círculos académicos, sino que los síntomas de deterioro se desprenden del importante aumento de informes en la prensa balear sobre problemas ambientales en la zona costera. Así, por ejemplo, el Diario de Mallorca publicó un centenar largo de noticias relacionadas con el deterioro de la zona costera a lo largo de 1999, indicando que este fenómeno no escapa a la opinión pública y genera una preocupación creciente. Esta preocupación se fundamenta por un lado en el elevado grado de inquietud social por la preservación del medio ambiente Balear y, particularmente, por la incidencia que el deterioro de la zona costera tiene sobre el turismo y, por tanto, sobre el conjunto de la economía balear. De hecho, la industria turística está comenzando a realizar estudios de prospectiva encaminados a introducir criterios e indicadores de sostenibilidad, entre los que se encuentra el mantenimiento y mejora de la calidad de aguas y de las playas, en su planificación. La concienciación del sector turístico, seriamente perjudicado por un deterioro de la zona costera a la vez que beneficiario de una mejora de la misma, podría, así, actuar como un incentivo para la mejora del medio ambiente costero balear.

Conclusión y prospectiva

El mensaje principal de la exposición precedente ha de ser que el cambio climático es consecuencia y a la vez parte de un cambio global derivado de la dominación de los recursos y procesos de la biosfera por la humanidad. Este cambio global no es más que la suma de los efectos locales, junto con las interacciones entre ellas. Una vez aceptado este hecho, es evidente que la sociedad balear tiene responsabilidades a todas las escalas implicadas en este proceso, desde locales a globales. Así, las actuaciones para resolver problemas locales - que contribuyen al proceso de cambio global y al deterioro asociado de los ecosistemas costeros - no debieran detraer

de las responsabilidades que afectan a nuestra contribución al cambio climático. Por ello, la reducción de las emisiones de gases invernadero y la reducción del consumo energético asociado debe ser un objetivo primordial de la sociedad balear, que - por su condición insular - sufrirá particularmente las consecuencias del cambio climático (aumento del nivel del mar, aumento de la temperatura, disminución de las lluvias, etc.). Esto supondría revertir la tendencia actual al aumento del consumo energético, mediante el recurso a energías renovables (solar, eólica, etc.), el desarrollo de diseños arquitectónicos que permitan reducir la energía necesaria para climatizar las construcciones, y la extensión de sistemas que permitan el ahorro de agua.

Estos cambios en hábitos de consumo, aunque necesarios, serán insuficientes ya para prevenir el cambio climático y sus consecuencias. La sociedad balear debe pues prepararse para minimizar los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas costeros, particularmente la erosión de playas, efectos de los temporales, y el deterioro de los ecosistemas costeros. Esta preparación se debe basar en predicciones fiables, en sistemas de monitorización rigurosos, e indicadores de calidad que integren los cambios en los ecosistemas con los factores socioeconómicos que intervienen en el uso de la zona costera.

En este sentido, se debe progresar desde una gestión reactiva frente a crisis puntuales a un planteamiento nuevo, más científico, global e interdisciplinario de la gestión de la zona costera que se apoye en sistemas independientes de evaluación de calidad. La integración de estos datos requiere, además, de un planteamiento interdisciplinario de la investigación en medio ambiente. Del éxito en esta modificación de la investigación y la gestión actual de la zona costera, con una importancia estratégica en una comunidad insular, para aumentar la capacidad de atenuar los efectos del cambio climático sobre ésta dependen no sólo la conservación de los ecosistemas costeros, sino el bienestar de la población presente y de las generaciones futuras.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la *Societat d'Història Natural de les Balears* la invitación a contribuir a esta obra.

Referencias

- Aksornkoae, S. 1993. *Ecology and management of mangrove*. IUCN, Bangkok.
- Carter, R.W.G. 1988. *Coastal Environments*. London: Academic Press.
- Cohen, J.E. 1995. *How many people can the Earth support?* W.W. Norton & co., New York.
- Ernst, W.G. 2000. Natural hazards: Prediction and risk. pp. 402-445. In: Ernst, W.G. (ed.), *Earth Systems: processes and issues*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, Reino Unido.
- Schuur, E.A.G., y P.A. Matson. 2000. Land use: global effects of local changes. pp. 446-461. In: Ernst, W.G. (ed.). *Earth Systems: processes and issues*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, Reino Unido.
- Fortes, M.D. 1988. Mangrove and seagrass beds of SE Asia: habitats under stress. *Ambio*, 17: 217-213.
- European Environment Agency. 1999. *State and pressures of the marine and coastal Mediterranean environment*. European environment agency, Bélgica.
- Lutz, W. 1994. *The future population of the world, what can we assume today?*. International Institute for Applied Systems Analysis, Earthscan Publications, London.
- Mackenzie, F.T. 1998. *Our changing planet*. Second Edition. Prentice-Hall, USA.
- Delgado, O., Grau, A., Pou, S., Riera, F., Massutí, C., Zabala, M. y Ballesteros, E. 1997. Seagrass regression caused by fish cultures in Fornells Bay, Menorca, western Mediterranean. *Oceanologica Acta*, 20: 557-63.
- Hemminga, M. y Duarte, C.M. 2000. *Seagrass Ecology*. Cambridge, Cambridge Univ. Press.
- Marbá, N., Duarte, C.M., Cebrián, J., Enriquez, S., Gallegos, M.E., Olesen, B. y Sand-Jensen, K. 1996. Growth and population dynamics of *Posidonia oceanica* on the Spanish Mediterranean coast: elucidating seagrass decline. *Marine Ecology Progress Series*, 137: 203-213.
- Marbá, N. y Duarte, C.M. 1997. Interannual changes in seagrass (*Posidonia oceanica*) growth and environmental change in the Spanish

- Mediterranean littoral. *Limnology and Oceanography*, 42: 800-810.
- Martin, J.-M. y Milliman, J.D. 1997. EROS 2000 (European River Ocean System). The Western Mediterranean an introduction. *Deep-Sea Research II* 44: 3-4.
- Postel, S. 1996. *Dividing the waters: Food security, ecosystem health, and the new politics of scarcity*. Worldwatch Paper 132, Worldwatch Institute, Washington, D.C.
- Vidal, M., Duarte, C.M. y Sánchez, M.C. 1999. Coastal eutrophication research in Europe: Progress and imbalances. *Marine Pollution Bulletin*, 38: 851-854.

Resumen del tercer informe científico del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC)

José A. GUIJARRO

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Guijarro, J.A. 2001. Resumen del tercer informe científico del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). In: Pons, G.X. i Guijarro, J.A. (Eds.): *El canvi climàtic: passat, present i futur*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 9: 173-189. ISBN: 84-87818-34-X. Palma de Mallorca.

Se presenta una síntesis del Resumen Técnico del tercer informe científico del IPCC, como primera aproximación al mismo y animando a los lectores a consultar la fuente original. Primeramente, se pasa revista a los cambios observados en el sistema climático, cuyo aspecto más evidente es un aumento progresivo de la temperatura media del aire en la superficie terrestre. Después se discuten las capacidades de los modelos numéricos para simular la evolución del sistema climático, así como para discriminar qué parte del cambio es debido a las actividades humanas. Y por último, se realizan predicciones del clima de los próximos siglos en base a diversas hipótesis de desarrollo económico y emisiones de gases con efecto invernadero, en las que la temperatura media global continuará ascendiendo, con distinto ritmo según los supuestos considerados.

Palabras clave: cambio climático, tercer informe IPCC, forzamientos radiativos, efecto invernadero.

SUMMARY OF THE THIRD IPCC SCIENTIFIC REPORT. An abstract of the Technical Summary of the IPCC third scientific report is presented as a first approximation to it, thereby willing to push readers to consult the original work. Changes observed in the climatic system are first reviewed, their most outstanding feature been the progressive rising of the global mean surface air temperature. Then the abilities of numerical models to simulate the evolution of the climatic system and to attribute part of the changes to human activities are discussed. Last, climate projections for forthcoming centuries are made, based on several scenarios of economic development and greenhouse gases emissions, in which the global mean temperature will keep on rising, but at different rates according to the considered scenarios.

Keywords: climatic change, IPCC Third Report, radiative forcing, greenhouse effect.

RESUM DEL TERCER INFORME CIENTÍFIC DEL PANEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC (IPCC). Es presenta una síntesi del resum tècnic del tercer informe científic del IPCC, com una primera aproximació al mateix i animant als lectors a consultar la font original. Primerament es revisen els canvis observats al sistema climàtic, l'aspecte més evident dels quals és un augment progressiu de la temperatura mitjana de l'aire de la superfície terrestre. Després es discuteixen les capacitats dels models numèrics per a simular l'evolució del sistema climàtic, així com per a discriminar quina part del canvi és degut a les activitats humanes. Finalment es fan prediccions del clima dels pròxims segles basades en diverses hipòtesis de desenvolupament econòmic i emis-

sions de gasos amb efecte hivernacle, als quals la temperatura mitjana global continuarà pujant, amb diferent ritme segons els supòsits considerats.

Paraules clau: canvi climàtic, tercer informe IPCC, forçaments radiatius, efecte hivernacle.

Jose A. GUIJARRO (*pmd@inm.es*). Instituto Nacional de Meteorologia; Centro Meteorologico en Illes Balears (<http://www.inm.es/cmt/palm/>) Seccion de Estudios y Desarrollos.

Introducción

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC en sus siglas inglesas) fue fundado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), con objeto de asesorar sobre todos los aspectos del cambio climático, y en particular sobre cómo las actividades humanas pueden inducir dichos cambios y sufrir su impacto.

El IPCC está organizado en tres grupos de trabajo. El grupo I trabaja sobre los aspectos científicos, el II sobre los impactos y adaptaciones al cambio climático, y el III sobre las posibles opciones para mitigar este cambio. Hasta la fecha han publicado tres informes generales, en 1990, 1996 y 2001. Estos informes constituyen recopilaciones puestas al día del conocimiento sobre el sistema climático y factores relacionados, basados en los trabajos y publicaciones de la comunidad científica internacional. Por tanto estos informes son una herramienta indispensable para la toma de decisiones políticas sobre el tema, decisiones que el IPCC deja totalmente en manos de las instituciones competentes.

En el primer informe, el grupo I describió el estado de la comprensión del sistema climático y del cambio climático (cualquiera que sea su origen: natural, o inducido por el hombre) conseguido tras las investigaciones desarrolladas en las décadas anteriores. Los principales puntos fueron:

1. El efecto invernadero es un fenómeno natural en nuestro planeta, y se conoce lo fundamental de sus procesos físicos.

2. Las concentraciones atmosféricas de los gases que producen este efecto invernadero están aumentando, en gran parte debido a las actividades humanas.

3. Se puede predecir que un continuado aumento de estos gases en el futuro conducirá a aumentos significativos en la temperatura media superficial del planeta, aumentos que sobrepasarán a los que se han dado de modo natural en los últimos milenios, y que sólo podrían corregirse muy lentamente.

4. En ese momento se había observado un calentamiento superficial de casi 0,5°C, *grosso modo* consistente con las predicciones de los modelos climáticos, pero también comparable con las variaciones naturales conocidas.

5. Finalmente, se señaló que el nivel de conocimientos y las capacidades de los modelos climáticos en ese momento limitaban la validez de las predicciones de cambios en el clima de regiones concretas.

Tras la actividad científica desarrollada en los años siguientes, el grupo I del IPCC publicó su segundo informe en 1996. En él se subrayó que las concentraciones de gases invernadero continuaban aumentando en la atmósfera, y que harían falta recortes muy substanciales en sus emisiones para estabilizar dichas concentraciones. Es más, el aumento de la temperatura global continuaba, siendo los años recientes los más cálidos desde 1860. La capacidad de los modelos climáticos para simular los efectos observados y sus tendencias había mejorado, pero de la comparación de los pronósticos con los cambios de temperatura observados a escala regional se dedujo que la capacidad para

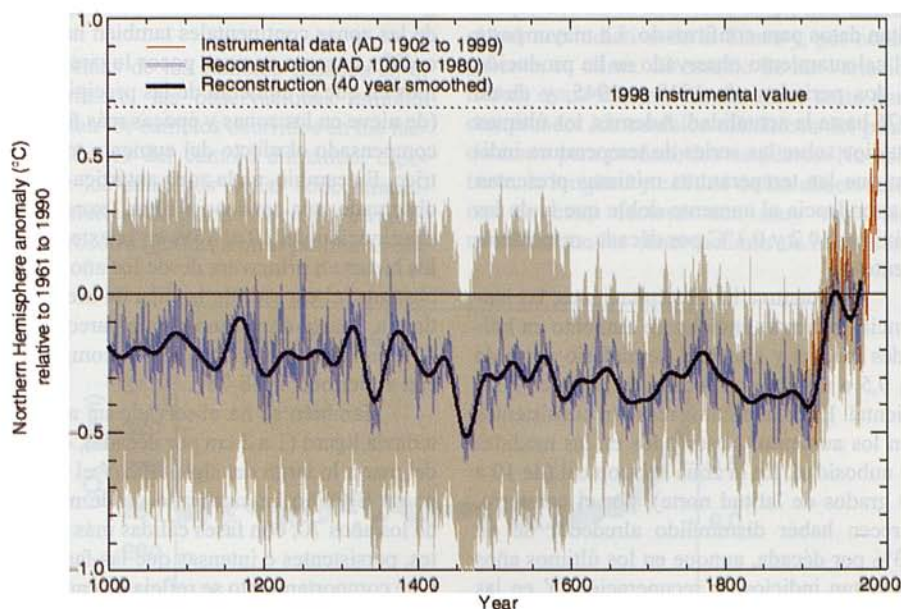


Fig. 1. Reconstrucción de las temperaturas medias del hemisferio norte durante el último milenio (en azul; en negro, versión suavizada; en gris, intervalo de confianza del 95%; y en rojo, datos instrumentales del último siglo). (Según IPCC, 2001).

Fig. 1. Millennial Northern Hemisphere temperature reconstruction (blue; smoother version in black; 95% confidence interval in gray; and instrumental data from the last century in red). (After IPCC, 2001).

cuantificar la influencia humana en el clima global era limitada. Estas limitaciones se debían a que la señal esperada todavía no despegaba claramente de la variabilidad natural, y por incertidumbres en otros factores clave. Sin embargo, el informe concluyó también que el conjunto de las evidencias insinuaba una clara influencia humana sobre el clima global. Por último, y basándose en una serie de supuestos sobre futuras concentraciones de gases de efecto invernadero, se simuló un conjunto de posibles respuestas del sistema climático.

El tercer informe del grupo I del IPCC (2001) se basa en las afirmaciones anteriores e incorpora los resultados de los cinco últimos años de investigación climática, que se resumen en los siguientes apartados.

Cambios observados en el sistema climático

Es innegable que el clima ha cambiado en el pasado, pues así lo indican tanto las series de medidas climatológicas, iniciadas a mediados del siglo XIX, como los registros obtenidos de los árboles, corales, sedimentos, y capas de hielo, que nos aportan datos sobre el clima de siglos y milenios pasados (Fig. 1).

Los registros termométricos nos indican que la temperatura media de la superficie ha aumentado $0,6^{\circ}\text{C}$ desde finales del siglo XIX (con un intervalo de confianza del 95% de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$). La década de los años 90 ha sido la más cálida, y el año 1998 el más cálido, desde que se iniciaron las medidas y, muy probablemente, de todo el último milenio (Fig. 1), al menos en el hemisferio norte. Esto

también puede ser cierto para el hemisferio sur e incluso para milenios anteriores, pero faltan datos para confirmarlo. La mayor parte del calentamiento observado se ha producido en dos periodos: de 1910 a 1945, y desde 1976 hasta la actualidad. Además, los últimos estudios sobre las series de temperatura indican que las temperaturas mínimas presentan una tendencia al aumento doble que la de las máximas (0,2 y 0,1°C por década, respectivamente).

En cuanto a las precipitaciones, las tendencias recientes indican un aumento en latitudes medias y altas del hemisferio norte de un 0,5 a un 1% por década, excepto en Asia oriental. Estos aumentos resultan consistentes con los aumentos observados en las medidas de nubosidad. En la zona subtropical (de 10 a 30 grados de latitud norte), por el contrario, parecen haber disminuido alrededor de un 0,3% por década, aunque en los últimos años presentan indicios de recuperación. Y en las zonas tropicales (± 10 grados de latitud), las medidas de los observatorios terrestres presentan un aumento de 0,2 a 0,3% por década a lo largo del siglo XX, si bien en las últimas décadas el aumento ya no resulta tan evidente. En el hemisferio sur no se ha encontrado evidencia de cambios en la precipitación similares a los del hemisferio norte.

También se ha observado un aumento de la cantidad de vapor de agua en muchas regiones del hemisferio norte. Dicho aumento se puede cifrar en alrededor de un 10% por década desde que se iniciaron las observaciones en 1980. La nubosidad, por su parte, parece haber aumentado alrededor de un 2% durante el siglo XX, presentando una correlación positiva con la disminución de la oscilación diaria de temperatura. Estas variaciones se han observado en las regiones continentales de latitudes medias y altas del hemisferio norte y en Australia, mientras que en las zonas oceánicas y en las terrestres tropicales y subtropicales los estudios realizados hasta ahora presentan resultados inciertos.

La elevación de temperaturas ha llevado a una disminución de las áreas cubiertas de hielo de un 10% en el hemisferio norte desde

finales de los años 60, según revelan las imágenes tomadas desde satélites. Los glaciares de las zonas continentales también han retrocedido, excepto en unos pocos lugares marítimos en que el aumento de las precipitaciones (de nieve en las zonas y épocas más frías) han compensado el efecto del aumento termométrico. En cambio, en la zona antártica no se ha observado una tendencia clara, excepto una disminución del 10 al 15% en la extensión de los hielos en primavera desde los años 50. No obstante, el espesor de la capa de hielo marítima a finales de verano sí que parece ser un 40% inferior en los años 90 en comparación con el periodo 1958-76.

También se ha observado un aumento, todavía ligero (1 a 2 cm por década), del nivel del mar a lo largo del siglo XX. Y el fenómeno de El Niño ha cambiado desde mediados de los años 70, con fases cálidas más frecuentes, persistentes e intensas que las fases frías. Este comportamiento se refleja en cambios de precipitación y temperatura en gran parte de las zonas tropicales y subtropicales.

Aparte de los cambios en los valores medios de la precipitación, se ha detectado un aumento en la frecuencia de episodios de precipitaciones abundantes (de un 2 a un 4% más), generalmente en zonas en las que los promedios han aumentado, pero también en otras en las que han disminuido o no han variado apreciablemente. En cuanto a la falta de precipitaciones, a nivel global el aumento de zonas que experimentan sequías fuertes ha aumentado relativamente poco, aunque en algunas áreas de Asia y África sí que se ha observado una mayor frecuencia e intensidad de las sequías en las últimas décadas.

Otros fenómenos de tiempo adverso, como tormentas tropicales, ciclones extratropicales, tormentas, granizo, tornados, etc, resultan difíciles de estudiar por su escasa frecuencia y elevada variabilidad espacial. Algunos trabajos apuntan a una mayor frecuencia en el Pacífico septentrional y zonas de Norteamérica y Europa en las últimas décadas, pero no son concluyentes en cuanto a señalar tendencias estables de variación a largo plazo.

Factores causantes del cambio climático

Además de los cambios pasados en el clima terrestre, las observaciones también documentan los cambios ocurridos en los factores causantes del cambio climático, especialmente los aumentos en las concentraciones atmosféricas de gases con efecto invernadero y aerosoles (gotitas u otras partículas que

se mantienen en suspensión en el aire) y las variaciones en la actividad solar, que alteran el balance radiativo de la Tierra y, por consiguiente, su clima. El estudio de las variaciones de estos factores resulta clave tanto para comprender los cambios climáticos del pasado como para predecir los venideros. No obstante, la longitud y calidad de las observaciones de estos factores son muy variables: mientras que las observaciones de la concen-

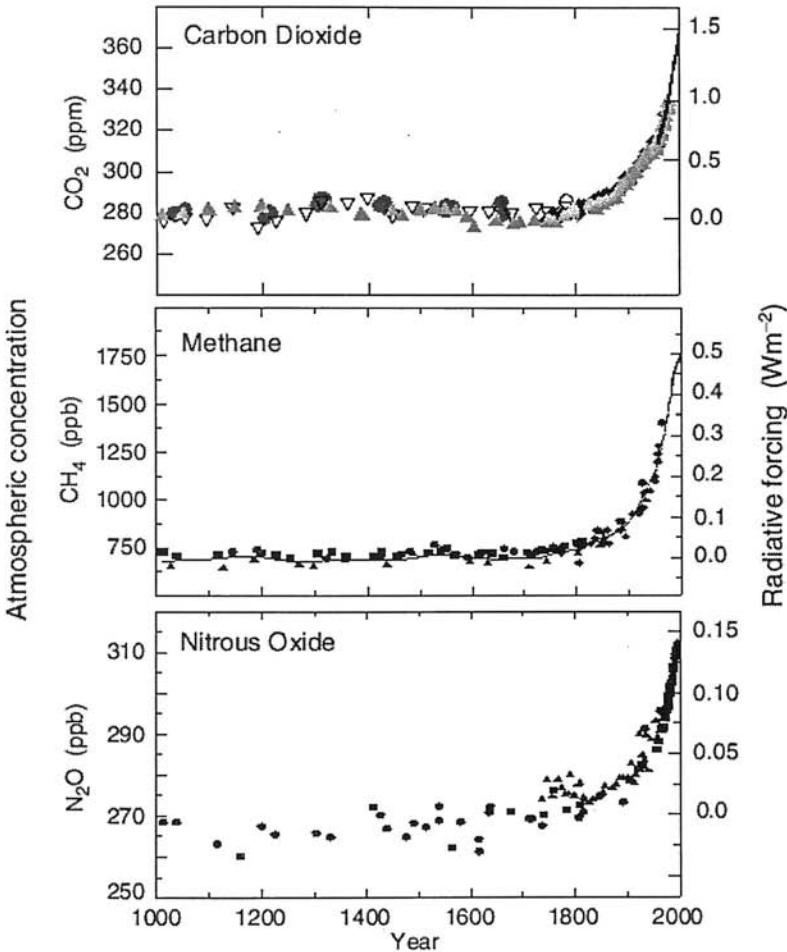


Fig. 2. Concentraciones atmosféricas de CO₂, CH₄ y N₂O durante el último milenio. La escala de la derecha muestra los forzamientos radiativos estimados para estos gases. (Según IPCC, 2001).

Fig. 2. Atmospheric concentrations of CO₂, CH₄ and N₂O over the past 1000 years. The estimated radiative forcing from these gases is indicated on the right-hand scale. (After IPCC, 2001).

tración de dióxido de carbono (CO_2) empezaron hacia mediados del siglo XX, las de otros gases (como el metano) o los aerosoles se iniciaron más recientemente. Y, por otra parte, en profundos sondeos efectuados en el hielo se pueden estudiar los cambios de algunos gases con efecto invernadero a lo largo de varios milenios.

Las variaciones en la energía disponible para el sistema global Tierra-atmósfera debidos a cambios en estos factores se denominan forzamientos radiativos del sistema climático, y se cuantifican en W/m^2 . En la Fig. 2 se observa cómo se han incrementado estos forzamientos desde el inicio de la Era Industrial.

El CO_2 se ha incrementado desde las 280 ppm (partes por millón) del año 1750 hasta 367 ppm en 1999 (un 31%). La actual concentración de este gas nunca había sido superada en los últimos 420000 años, y probablemente tampoco en los últimos 20 millones de años. La composición isotópica del CO_2 y la disminución del oxígeno demuestran que este aumento es debido en su mayor parte a la oxidación de carbono orgánico por la quema de combustibles fósiles y la deforestación.

Las concentraciones de metano atmosférico han aumentado alrededor de un 150% desde 1750, y sus concentraciones actuales tampoco se habían superado en los 420000 años anteriores. Aunque su concentración sigue subiendo actualmente (1,610 ppm en 1983 y 1,775 en 1998), el ritmo de aumento se ha reducido en los últimos años. Este gas se produce de forma natural y también debido a las actividades humanas, responsables de algo más de la mitad de las cantidades liberadas a la atmósfera. Aunque su concentración actual es bastante inferior a la del CO_2 , su forzamiento radiativo supone un 20% del total de los gases con efecto invernadero. Sin embargo, la predicción de las futuras concentraciones de metano resulta muy problemática, por depender de procesos que pueden verse afectados por el propio cambio climático.

El óxido nitroso (N_2O) también ha ido aumentando de forma constante a lo largo de la Era Industrial, de modo que su concentración actual, 0,046 ppm, es un 16% mayor que la de 1750, y tampoco había sido superada en los últimos millares de años. Este gas también se origina tanto por la actividad del hombre como por procesos naturales y, al igual que el metano, se degrada en la atmósfera mediante reacciones químicas. Actualmente contribuye con un 6% al forzamiento radiativo, y su evolución futura también es difícil de predecir.

Las concentraciones atmosféricas de los halocarbonos y compuestos relacionados, gases formados por carbono y halógenos (flúor, cloro, bromo y yodo) que contribuyen al efecto invernadero además de destruir la capa de ozono, están decreciendo actualmente gracias a la reducción de emisiones acordada en el Protocolo de Montreal y sus modificaciones. La única excepción la constituye el CFC-12, que sigue aumentando, aunque más lentamente que antes. Su contribución actual al forzamiento radiativo de todos los gases con efecto invernadero es de un 14%. Los sustitutos de estos compuestos (hidroclorocarbonos y hidroclorofluorocarbonos) están aumentando, y algunos de ellos también presentan efecto invernadero, pero su concentración es todavía muy baja y su contribución al forzamiento radiativo relativamente pequeña. Además, su liberación a la atmósfera también está limitada por el Protocolo de Montreal.

Otros gases de origen antropogénico, como los perfluorocarbonos y el hexafluoruro de azufre, permanecen en la atmósfera durante periodos extremadamente largos, y pueden influir en el clima del futuro incluso con emisiones relativamente pequeñas.

El ozono, por su parte, juega un papel diferente según la altitud a la que se halle, pues está presente tanto en la estratosfera como en la troposfera. Así, la disminución de la capa de ozono estratosférica ha causado un forzamiento radiativo negativo (un enfriamiento de la troposfera) de unos $0,5 \text{ W/m}^2$, que contrarresta parte del efecto invernadero de los demás gases y, particularmente, del metano, cuya velocidad de destrucción debe

de ser mayor de la normal por la mayor cantidad de radiación ultravioleta que llega a la troposfera con una capa de ozono debilitada. En cambio, el aumento del ozono troposférico desde la época preindustrial ha producido un incremento del efecto invernadero estimado en unos $0,35 \text{ W/m}^2$, lo que convierte al ozono de las capas bajas en el tercer gas en importancia por su contribución a este efecto, tras el CO_2 y el CH_4 . El ozono no se emite directamente, sino que se forma por reacciones fotoquímicas, cuya evolución futura vendrá determinada por las emisiones de metano y otros gases, entre otros factores.

Algunos otros gases ejercen una influencia indirecta sobre el forzamiento radiativo. Tal es el caso de algunos óxidos de nitrógeno reactivos (NO_x), del monóxido de carbono (CO) y de los compuestos orgánicos volátiles, que controlan en parte la capacidad oxidante de la troposfera, así como la abundancia de ozono.

En cuanto a los aerosoles, se sabe que tienen una gran influencia en el balance energético de la Tierra, tanto directamente, por absorber y dispersar las radiaciones visibles e infrarrojas, como de modo indirecto, al modificar la cantidad y propiedades radiativas de las nubes. Se producen por procesos naturales y por actividades humanas (principalmente la quema de combustibles fósiles y biomasa), y su distribución es muy heterogénea, con tiempos de permanencia en la atmósfera de alrededor de una semana (son lavados por la precipitación). Sus efectos dependen mucho de su composición y del tamaño de sus partículas, por lo que son difíciles de evaluar, pero se estima que los sulfatos producen un forzamiento radiativo de unos $-0,4 \text{ W/m}^2$, las partículas procedentes de la quema de biomasa unos $-0,2 \text{ W/m}^2$, y de $-0,1$ a $+0,2 \text{ W/m}^2$ las de los combustibles fósiles (según el tipo de éstos).

Aparte de los efectos debidos a los gases de efecto invernadero y aerosoles, otros factores a considerar son las variaciones en el albedo de la Tierra (fracción de la energía solar que es reflejada de nuevo hacia el espacio), la irradiancia solar y la actividad volcá-

nica. Así, los cambios en el uso del suelo (principalmente la deforestación) parecen haber producido un forzamiento radiativo de unos $-0,2 \text{ W/m}^2$. La radiación solar que llega a nuestro planeta se estima que ha aumentado ligeramente desde 1750, principalmente en la primera mitad del siglo XX, produciendo un forzamiento de $0,1$ a $0,5 \text{ W/m}^2$, pero las cenizas inyectadas en la estratosfera por las erupciones volcánicas explosivas de 1880-1920 y 1960-1991 compensaron este forzamiento con una contribución negativa.

Simulación del sistema climático y sus cambios

Para simular la evolución del sistema climático se emplean modelos numéricos, pues la complejidad de los procesos implicados hace que no sean válidas técnicas puramente estadísticas que extrapolen al futuro las tendencias observadas hasta ahora. Hay modelos sencillos que permiten estimar valores medios globales de algunas variables, pero para evaluar mejor los procesos de retroalimentación y los detalles a nivel regional se necesitan modelos mucho más elaborados, basados en un conocimiento lo más completo posible de los procesos físicos, geofísicos, químicos y biológicos que gobiernan el sistema climático.

Los procesos de retroalimentación son muy importantes para estimar la evolución del clima bajo diferentes supuestos de concentraciones de gases con efecto invernadero. El paradigma lo constituye el vapor de agua, pues un aumento en la temperatura media de la troposfera aumenta la capacidad de la misma para contener vapor de agua en su seno, y el vapor de agua es también un gas con efecto invernadero, con lo que un aumento en su concentración contribuirá a un incremento adicional de la temperatura (retroalimentación positiva). Las últimas valoraciones realizadas por los modelos indican que este efecto de retroalimentación del vapor de agua duplica el incremento de temperatura que se obtendría si no se tuviera en cuenta.

Sin embargo los cambios en la cantidad y distribución vertical del vapor de agua inducirán también cambios en la nubosidad, y las nubes son, como ya puso de manifiesto el IPCC en su primer informe en 1990, el factor que más incertidumbre introduce en las previsiones del clima del futuro. Esto es debido a que las nubes absorben y reflejan la radiación solar incidente (forzamiento radiativo negativo), pero también absorben y emiten radiación infrarroja (forzamiento positivo). Y que predomine uno u otro efecto depende del tipo de nubosidad, su espesor, su altura, y otras propiedades físicas (distribución y tamaños de las gotitas y cristales de hielo, presencia de aerosoles, etc).

La estratosfera está ganando importancia en la simulación de los procesos radiativos y dinámicos de la atmósfera, por lo que habrá que mejorar su representación en los modelos.

La modelización de los procesos oceánicos han mejorado mucho, sobre todo en lo que respecta al transporte de calor que, junto con un aumento en la resolución, han permitido una simulación más realista de las circulaciones a gran escala y del fenómeno de El Niño. Su importancia en la modelización del sistema climático es muy grande, ya que las enormes masas oceánicas actúan ralentizando las variaciones climáticas por su gran capacidad para almacenar e intercambiar calor, vapor de agua y CO₂ con la atmósfera.

La representación de los procesos del hielo marino continua mejorando, de forma que varios modelos climáticos incorporan ya una dinámica del hielo con base física. Su importancia radica en que el hielo aumenta la reflectividad (albedo) de la superficie marina al tiempo que la aísla, disminuyendo la pérdida de calor en invierno. Además, cuando se forma el hielo aumenta la salinidad (y densidad) del agua subyacente, lo que induce el intercambio de agua con capas más profundas y afecta a la circulación oceánica. En comparación con la del hielo marino, la simulación de los procesos que involucran al hielo continental todavía es algo rudimentaria, por lo que se trabaja en su mejora.

Las investigaciones con modelos que incorporan los últimos avances en la simulación de los procesos de la superficie terrestre indican que un aumento en la concentración del CO₂ produce un cambio en la fisiología de las plantas que conduce a una reducción en la evapotranspiración en las zonas tropicales continentales, con el consiguiente calentamiento y mayor sequedad en comparación con las predicciones de modelos anteriores. Los cambios que puede sufrir la superficie terrestre (no acuática) debido a cambios en la temperatura, precipitación, balance energético y efectos directos del CO₂ suponen todo un abanico de posibles efectos de retroalimentación, al influir en propiedades clave como la humedad del suelo, su albedo, rugosidad y vegetación que puede soportar.

En cuanto a la simulación del ciclo del carbono, sus últimas mejoras aumentan la confianza en las estimas de las concentraciones que puede alcanzar el CO₂ en el futuro. De hecho, el CO₂ sufre un proceso de reciclaje natural bastante rápido, pero el aumento de las emisiones a la atmósfera por las actividades humanas no puede ser absorbido por los océanos y la superficie terrestre con suficiente rapidez. El CO₂ es bastante soluble en agua, pero la velocidad de su absorción por los océanos está limitada por los procesos verticales de mezcla. Y en tierra, los ecosistemas absorben el CO₂ mediante la fotosíntesis de las plantas, que aumenta su eficiencia al aumentar la propia concentración de este gas, pero sólo una fracción relativamente pequeña de los hidratos de carbono sintetizados puede quedar almacenado en forma de madera o humus en lugar de volver a la atmósfera por otros procesos (respiración vegetal, descomposición de la hojarasca y demás materia orgánica en el suelo, ingestión por herbívoros, etc). La complejidad de todas estas interacciones hace que todavía haya diferencias apreciables entre los diferentes modelos, pero en lo que coinciden todos es en que, debido a los efectos del cambio climático, la proporción de CO₂ que tierras y océanos podrán absorber en el futuro será cada vez menor.

Los modelos que tratan los distintos subsistemas (atmósfera, océanos, etc.) del sistema climático de modo acoplado ponen de manifiesto nuevas retroalimentaciones importantes para la predicción de respuestas a largo plazo. Así, cada vez es más evidente que los patrones naturales de circulación, como ENSO y NAO, juegan un papel fundamental en el clima global y sus variabilidades interanuales y de plazos más largos, mientras que la circulación termohalina (corrientes oceánicas de diferente densidad, ligadas a variaciones de temperatura y salinidad) son responsables de la mayor parte del intercambio meridiano de calor en el agua del mar.

La complejidad de todas estas interacciones, no lineales la mayoría de ellas, supone la posibilidad de que, forzando suficientemente el sistema climático, se pueda llegar a cruzar algún tipo de umbral que haga que el sistema cambie rápida e irreversiblemente (en unas pocas décadas) a un nuevo estado de equilibrio relativo, distinto del actual. (Se supone que la rápida aparición del Sáhara hace unos 5500 años pudo deberse a una de estas transiciones).

También se ha mejorado en la apreciación del cambio climático a escala regional, mediante modelos de resolución variable (mayor en la región a estudiar), modelos regionales anidados (reciben las condiciones de contorno de un modelo global), o métodos estadísticos (empíricos o dinámicos). Cada una de estas técnicas presenta sus ventajas e inconvenientes, y deben aplicarse en función de las necesidades concretas de cada caso. Sin embargo, a pesar de estas mejoras, los márgenes de error a escala regional todavía son demasiado grandes, con desviaciones de unos modelos a otros de 2 a 4°C en temperaturas y del orden del 50% en precipitaciones.

Todo esto nos indica que queda todavía mucho por hacer en el campo de la simulación numérica del sistema climático, pero que con los avances logrados hasta ahora ya se pueden obtener valoraciones bastante fiables, sobre todo a nivel global. Esto se pone de manifiesto en los proyectos de intercomparación de modelos, en los que se han obtenido simula-

ciones del clima del pasado (del Holoceno medio, hace unos 6000 años, y del último máximo glacial, 21000 años atrás) bastante concordantes con los datos disponibles de esas épocas.

Identificación de la influencia humana en el cambio climático

Tras haber caracterizado los cambios del clima del pasado y los agentes causantes de los mismos, así como las capacidades actuales de los modelos en simular dichos cambios, cabe preguntarse hasta qué punto puede discriminarse la influencia humana en el cambio climático. Llegados a este punto es conveniente distinguir entre la detección del cambio climático, consistente en demostrar que un cambio observado es significativamente (en sentido estadístico) diferente de lo que podría explicarse por la variabilidad natural, y su atribución, que trata de establecer la conexión causa-efecto de dicho cambio, con determinado nivel de confianza, e incluyendo posibles alternativas.

Debido a la variabilidad natural del clima, la detección del cambio climático se convierte en un típico problema estadístico de relación señal-ruido. Los estudios de detección tratan de establecer si un cambio observado es muy inusual en términos estadísticos, pero eso no implica necesariamente que se comprendan sus causas. La atribución de ese cambio a causas antropogénicas precisa tanto de análisis estadísticos como de cuidadosas valoraciones, contemplando diversas hipótesis, que demuestren, con un determinado margen de error, que es improbable que el cambio sea debido solamente a la variabilidad interna, que es consistente con las respuestas esperables debidas a los forzamientos naturales y antropogénicos, y que en cambio no es consistente con otras explicaciones alternativas, físicamente posibles.

En este sentido, el calentamiento observado en los últimos 100 años es muy improbable que pueda ser debido únicamente a la variabilidad climática, tanto si observamos las

reconstrucciones del clima del pasado (incluso con sus márgenes de error) como si realizamos comparaciones con pasadas de control de los modelos climáticos. Y cada vez hay mejores concordancias entre los cambios observados y las respuestas de los modelos a forzamientos antropogénicos (Fig. 3), y se pone de manifiesto que esta influencia humana es necesaria para explicar las tendencias observadas durante al menos los últimos 30 años.

Hay que señalar que todavía quedan por resolver discrepancias de los modelos con las observaciones, principalmente en lo que respecta al perfil vertical de temperatura en la troposfera y a la variabilidad interna del clima. Otro tipo de incertidumbres son las debidas a la dificultad de obtener datos fiables del pasado, como en el caso de los forzamientos debidos a la actividad solar o las erupciones volcánicas, o la simulación del efecto de los aerosoles antropogénicos. Pero a pesar de estas incertidumbres, la mayor parte del calentamiento observado en los últimos 50 años se debe probablemente al aumento en las concentraciones de los gases con efecto invernadero.

El clima de la Tierra en el futuro

En 1996, el IPCC comenzó a desarrollar un nuevo conjunto de hipótesis de emisiones futuras de gases, para poner al día y substituir las que se usaban anteriormente (IS92), basadas en posibles evoluciones mundiales de variables demográficas, económicas y tecnológicas, que se aprobaron en un informe especial (*IPCC Special Report on Emission Scenarios*, o SRES) en marzo de 2000. Se formularon 40 hipótesis diferentes, agrupadas en 4 familias, que se describen brevemente a continuación.

A1. Se supone un crecimiento económico muy rápido, con una población mundial que alcanza un máximo a mediados de siglo para descender posteriormente, y una rápida disponibilidad de tecnologías más eficientes.

También se supone una creciente convergencia entre las distintas regiones del mundo, con intensas interacciones culturales y sociales, y reducción substancial de diferencias en la renta per cápita.

A2. Aquí se supone un mundo muy heterogéneo, con autosuficiencia y preservación de las identidades locales, y una población en continuo crecimiento. El desarrollo económico y el cambio tecnológico es más lento y menos generalizado que en los otros grupos de hipótesis.

B1. Hipótesis similares a las de A1, pero con un cambio muy rápido hacia una economía de servicios e información, con menor consumo de materias primas e introducción de tecnologías limpias y eficientes. Se enfatiza la sostenibilidad económica, social y ambiental, incluyendo una mayor equidad.

B2. Se describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a los problemas de sostenibilidad. La población mundial aumenta de modo continuo, pero a un ritmo inferior al de A2, con niveles intermedios de desarrollo económico y un cambio tecnológico más lento y diversificado que en A1 y B1.

Los modelos indican que las diferentes hipótesis consideradas conducen a concentraciones de CO₂ muy diferentes en el futuro (de 540 a 970 ppm en el año 2100, es decir, un 90 a 250% más que las 280 ppm de 1750). Se podrían tomar medidas para aumentar la retención de CO₂ atmosférico en ecosistemas terrestres, pero como máximo (regenerando todos los bosques destruidos por el hombre) se podría reducir su concentración entre 40 y 70 ppm. Por tanto, las emisiones de CO₂ debidas a la quema de combustibles fósiles serán el factor que condicionará las concentraciones de este gas en el presente siglo.

Las concentraciones de otros gases invernadero distintos al CO₂ también varían mucho de unas hipótesis a otras, y otro tanto sucede con gases con efecto invernadero indirecto. Bajo algunas hipótesis, el resultado es un ambiente degradado con consecuencias

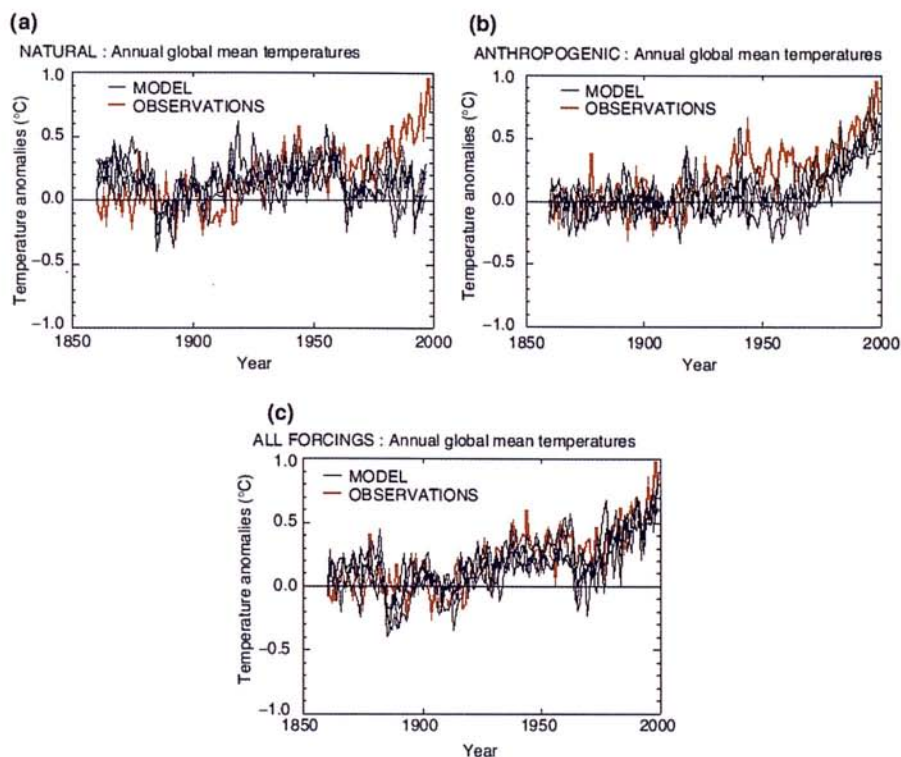


Fig. 3. Anomalías de la temperatura superficial media global, relativas al promedio de 1880-1920, de los registros instrumentales, comparadas con conjuntos de cuatro simulaciones realizadas con un modelo acoplado océano-atmósfera con: (a) forzamientos solar y volcánico solamente; (b) forzamientos antropogénicos, incluyendo gases invernadero, ozono estratosférico y troposférico, y efectos indirectos de aerosoles sulfato; y (c) todos los forzamientos, tanto naturales como antropogénicos (según IPCC, 2001).

Fig. 3. Global mean surface temperature anomalies relative to the 1880 to 1920 mean from the instrumental record compared with ensembles of four simulations with a coupled ocean-atmosphere climate model forced (a) with solar and volcanic forcing only, (b) with anthropogenic forcing including well mixed greenhouse gases, changes in stratospheric and tropospheric ozone and the direct and indirect effects of sulphate aerosols, and (c) with all forcings, both natural and anthropogenic (after IPCC, 2001).

negativas que no se limitan al cambio climático (aumento de la polución atmosférica por ozono, por ejemplo). Y la abundancia de aerosoles, con excepción de los sulfatos y hollines, muestran una relación aproximadamente lineal con los niveles de emisión. (Los aerosoles naturales pueden aumentar como resultado de los cambios en el clima y la química atmosférica).

En la Fig. 4 se representan los forzamientos radiativos previstos por los modelos

para las diferentes hipótesis consideradas. Hay tres supuestos del grupo A1, que se diferencian por emplear preferentemente combustibles fósiles (A1FI) o energías renovables (A1T), o bien una mezcla de ambos (A1B). (Entre algo más de la mitad y tres cuartas partes del forzamiento radiativo de las diferentes hipótesis es debido al CO_2). Se incluyen también, como comparación, tres de las anteriores hipótesis de emisiones (IS92a, c y e), que daban previsiones más bajas principalmente

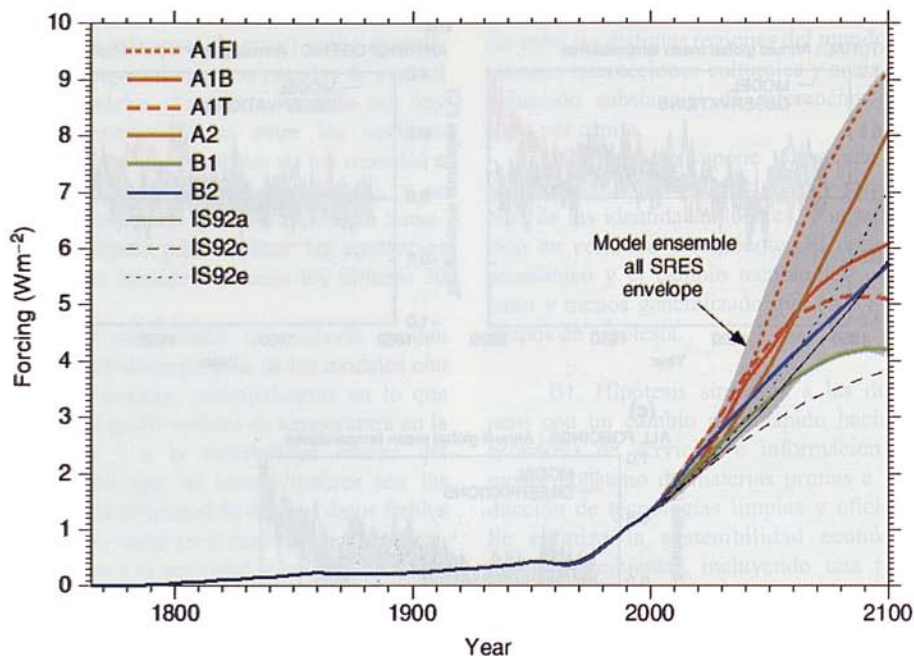


Fig. 4. Forzamientos radiativos antropogénicos históricos y sus estimas futuras bajo distintas hipótesis de emisiones. (Según IPCC, 2001).

Fig. 4. Historical anthropogenic radiative forcing and its future projection for different emission scenarios. (After IPCC, 2001).

porque no contemplaban la reducción de emisiones de SO_2 resultado de las políticas de mejora de la calidad del aire.

Como resultado de estos forzamientos, los modelos prevén un aumento de la temperatura del aire mayor sobre tierra firme que sobre los océanos, sobre todo en latitudes altas del hemisferio norte, y también más notable en invierno que en verano. La oscilación termométrica diaria tenderá a disminuir en muchas zonas, de forma que los ascensos de temperatura serán más acusados en las mínimas nocturnas que en las máximas diurnas. Las previsiones para finales de siglo (2071-2100) indican que, con el conjunto de hipótesis A2 sobre emisiones de gases, la temperatura media global del aire superficial será 3°C mayor que la del periodo 1961-90, como aumento más probable, aunque podría tener algún valor comprendido entre 1,3 y

$4,5^\circ\text{C}$. Para las hipótesis B2, con menor aumento de la concentración de CO_2 , la temperatura aumentaría unos $2,2^\circ\text{C}$ (de $0,9$ a $3,4^\circ\text{C}$). En la Fig. 5 se muestran los calentamientos previstos a nivel mundial para el supuesto A2, mostrados en una escala de colores. (Los rangos de las estimas también varían de unas zonas a otras, y se representan mediante isolinéas).

Los modelos acoplados Océano-Atmósfera necesitan de enormes recursos de potencia y tiempo de cálculo informático, y por eso no se han podido hacer simulaciones sobre todas y cada una de las hipótesis sobre emisiones futuras. Sin embargo, sí se han podido hacer ajustes a modelos más sencillos para que den resultados globales similares a los de los modelos más complejos, y con ellos se han realizado simulaciones para todas las posibilidades contempladas en los distintos

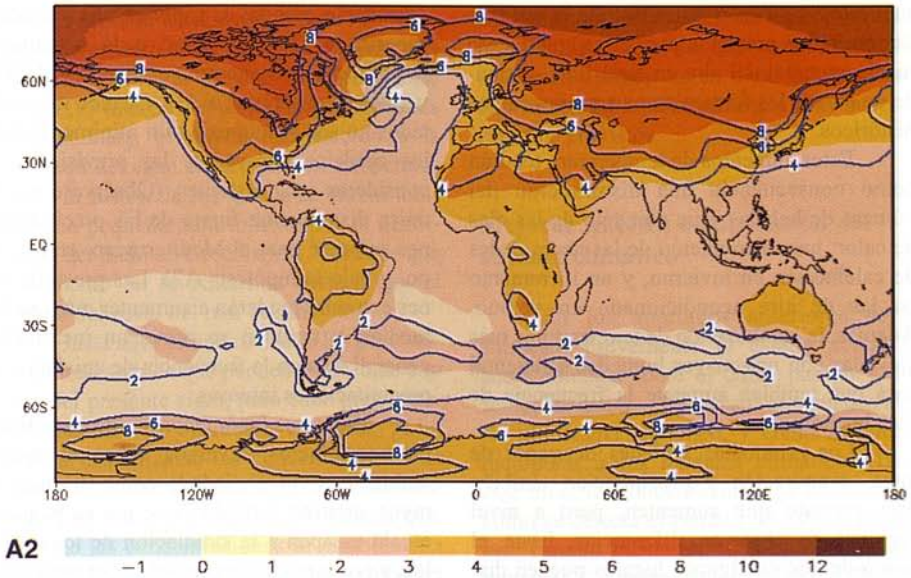


Fig. 5. Incremento de la temperatura media anual (escala de colores) del periodo 1961-90 al 2071-2100 y su rango (isolinias), para el supuesto A2 del SRES. (Unidades: °C. Según IPCC, 2001).
Fig. 5. Increment of the mean annual temperature (color shading) from 1961-90 to 2071-2100 and its range (isolines) for the SRES scenario A2. (Unit: °C. After IPCC, 2001).

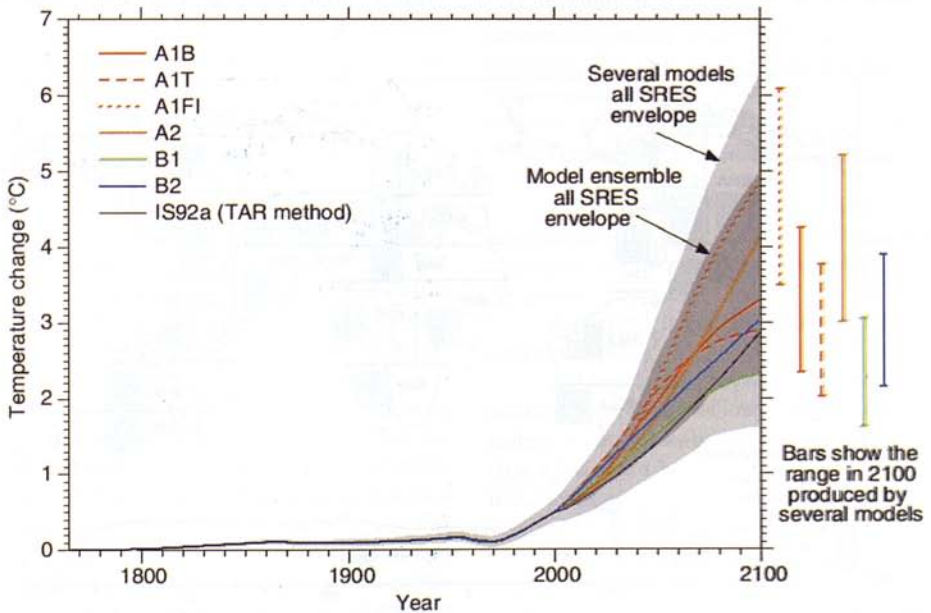


Fig. 6. Incrementos históricos y estimas futuras de la temperatura media global para distintos supuestos de emisiones. (Según IPCC, 2001).
Fig. 6. Historical and future projections of the global mean temperature for different emission scenarios. (After IPCC, 2001).

supuestos. La Fig. 6 muestra todo el abanico de resultados previstos para el calentamiento medio mundial del aire en superficie, teniendo en cuenta los forzamientos antropogénicos históricos.

Estos aumentos de temperatura tendrán como consecuencia una disminución del número de heladas y un aumento de las olas de calor; una disminución de las necesidades de calefacción en invierno, y un incremento en las de aire acondicionado en verano. Además, la combinación de temperaturas más elevadas con una mayor humedad ambiental hará que también aumente la frecuencia de días bochornosos.

Los promedios globales de vapor de agua, evaporación y precipitación también está previsto que aumenten, pero a nivel regional se observan diferencias, hasta el punto de que en algunos lugares pueden disminuir. En la Fig. 7 se ofrecen las previsiones que resultan de la intercomparación de 9 modelos diferentes, para los grupos de hipótesis A2 y B2, y para los meses de invierno y verano. Los aumentos o disminuciones se

consideran grandes si suponen una variación superior al 20% respecto a la actualidad, pequeños si se encuentran entre el 5 y el 20%, y nulos si no superan el 5%. Cuando los resultados no son similares en un mínimo de 7 de los modelos ensayados, las previsiones se consideran inconsistentes. (Obsérvese que la única disminución fuerte de las precipitaciones se prevé para el Mediterráneo, en invierno, y bajo la hipótesis A2). Las precipitaciones extremas tenderán a aumentar más que las medias, y también se prevé un incremento generalizado en la frecuencia de episodios de precipitaciones intensas.

Hay otros fenómenos de muy mal tiempo con efectos adversos sobre el medio ambiente y la sociedad, como tormentas, rayos, granizo, tornados, que por su pequeña escala escapan a la simulación de los modelos, y por tanto no se pueden hacer predicciones fundadas sobre si aumentarán o disminuirán sus frecuencias en el futuro.

Casquete polar, hielo marino, cobertura nival y glaciares continuarán en retirada en el hemisferio norte. En cambio la capa de hielo

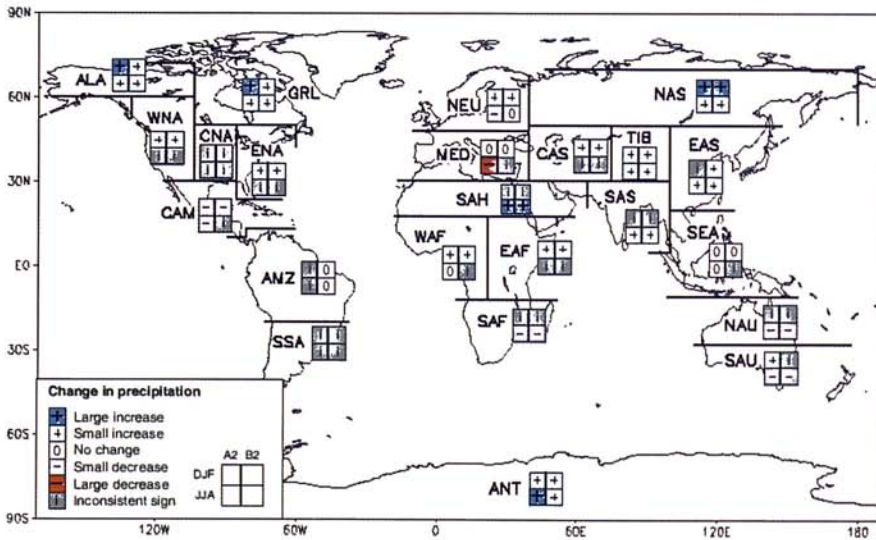


Fig. 7. Análisis de consistencia entre modelos de las previsiones de cambios regionales en la precipitación. (Según IPCC, 2001).

Fig. 7. Analysis of inter-model consistency in regional precipitation change. (After IPCC, 2001).

antártica tenderá a aumentar, como resultado de un incremento de la precipitación en aquel continente. El nivel del mar ascenderá entre 0,11 y 0,77 metros (según modelos e hipótesis de emisiones), principalmente debido a la dilatación del agua al aumentar su temperatura, y a la fusión de los glaciares. Habrá también una pequeña contribución por la disminución del hielo en Groenlandia, mientras que su aumento en la Antártida evitará que el ascenso del nivel del mar sea mayor.

Hasta aquí se han revisado las previsiones de los cambios que pueden tener lugar a lo largo del presente siglo, pero cabe preguntarse cómo será la evolución posterior. ¿Llegarán a estabilizarse las concentraciones de CO₂, o seguirán aumentando indefinidamente? Distintos estudios realizados indican que, para que las concentraciones se establezcan a 450, 650 o incluso 1000 ppm, deberemos ser capaces de, al menos dentro de unas cuantas decenas de años, disminuir las emisiones antropogénicas a cantidades inferiores a las de 1990, mantenerlas así durante uno o dos siglos, y disminuirlas todavía más en el futuro. Y ello es debido a que, si bien los océanos tienen suficiente capacidad para absorber un 70 o 80% de las emisiones previstas, no lo pueden hacer con la velocidad suficiente, pues los procesos de mezcla y difusión a las aguas profundas son muy lentos y necesitan siglos para resultar efectivos. Por tanto, para que las concentraciones atmosféricas de CO₂ se mantengan constantes a partir del año 2300 es necesario que las emisiones descendan hasta equilibrarse con la velocidad de absorción por los sumideros del ciclo del carbono.

Por su parte, la temperatura media global continuará aumentando durante cientos de años a razón de unas décimas de grado cada siglo, incluso después de que las concentraciones de CO₂ se hayan estabilizado, debido a la inercia térmica de los océanos (Fig. 8). Por el mismo motivo, el nivel del mar continuará elevándose paulatinamente durante siglos sucesivos, hasta alcanzar de 0,5 a 2 m sobre el nivel actual si la concentración de CO₂ se estabiliza en el doble de la preindustrial, o de 1 a 4 m si se cuadruplica. La Antártida y Gro-

enlandia contienen suficiente hielo como para hacer subir el nivel del mar casi 70 metros si se llegara a fundir en su totalidad, pero para ello harían falta calentamientos muy superiores a los previstos.

Mejorar nuestra comprensión del sistema climático

En los apartados anteriores se ha expuesto brevemente el estado actual de conocimientos sobre el clima pasado y presente, los factores y procesos que pueden alterar el sistema climático, y cómo se pueden incorporar a los modelos climáticos. Dado este nivel de conocimientos, se ha mostrado cómo se detecta el cambio climático, y cómo este cambio puede atribuirse a la influencia humana. Y, con las mejores herramientas disponibles hoy día, se han hecho previsiones de cómo puede cambiar el clima en el futuro para diferentes hipótesis de emisiones de gases con efecto invernadero.

Sin embargo, todavía quedan muchas lagunas en nuestra comprensión del cambio climático, que dan lugar a notables incertidumbres. Para mejorar el conocimiento de los procesos implicados y su posible evolución, es necesario avanzar en nueve grandes áreas:

1. Mejorar la cobertura de las redes de observación. De lo contrario no se podrá detectar el cambio climático en amplias áreas del globo.
2. Mejorar la calidad y longitud de las series climáticas.
3. Mejorar las proyecciones futuras de emisiones y concentraciones de gases invernadero y aerosoles, prestando especial atención a los ciclos biogeoquímicos y a las distribuciones espacio-temporales de las fuentes y sumideros de CO₂.
4. Caracterizar mejor los procesos dominantes (mezcla oceánica, etc.) y las retroalimentaciones (de las nubes, del hielo marino, etc) en la atmósfera, biosfera, superficies terrestre y marina, y océanos profundos.

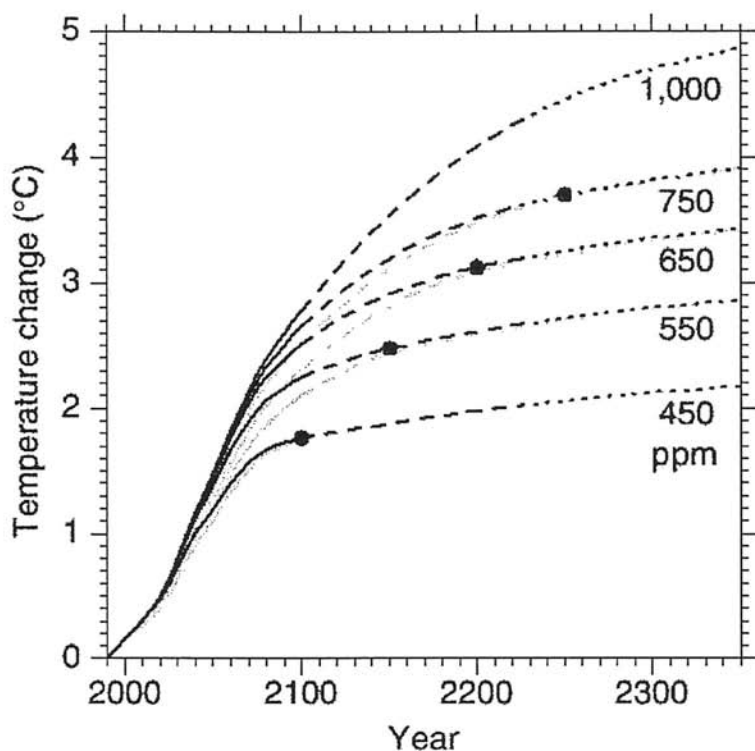


Fig. 8. Aumentos previstos de la temperatura media global a largo plazo para distintos niveles de estabilización de las concentraciones de CO₂. (Según IPCC, 2001).

Fig. 8. Projected global mean temperature increments for different stabilized CO₂ concentration levels. (After IPCC, 2001).

5. Estudiar más ampliamente los patrones de variabilidad climática a largo plazo.

6. Explorar más a fondo el carácter probabilístico de los estados climáticos futuros mediante múltiples conjuntos de simulaciones numéricas.

7. Mejorar la integración de modelos regionales y globales para conseguir mejores previsiones de impactos regionales y episodios de tiempo extremado.

8. Acoplar de modo más formal los modelos del sistema climático con modelos del sistema humano, para poder contar así con una base para una más amplia exploración de

posibles patrones causa-efecto-origen que relacionen los componentes humanos y no humanos del sistema global.

9. Acelerar el progreso internacional en la comprensión del sistema climático mediante el fortalecimiento de las relaciones internacionales necesarias para coordinar esfuerzos nacionales e institucionales, de modo que los recursos de investigación, computacionales y observacionales puedan ser usados lo mejor posible para el interés general.

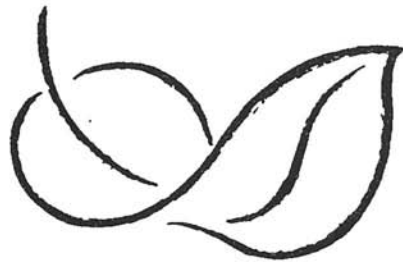
Agradecimientos

Hasta aquí la síntesis del resumen técnico del Tercer Informe del Grupo de Trabajo I del IPCC, del que se han tomado todos los datos y figuras mostrados, así como casi todo el texto (traducido libremente). Con este resumen se ha pretendido ofrecer una primera aproximación a dicho trabajo, con la intención de animar a los lectores a ampliar estos datos mediante la consulta del trabajo original, o incluso de los informes completos de

este y de los demás grupos de trabajo del IPCC.

Bibliografía

IPCC, 2001. *Technical Summary of the Third Assessment Report*. IPCC Working Group I, 63 pp. (Actualmente disponible en: <http://www.ipcc.ch/pub/wg1TARtechsum.pdf>).



*PER UN MUSEU DE LA
NATURALES A CIUTAT*

Les catàstrofes climàtiques a les Illes Balears. Les inundacions

Miquel GRIMALT

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Grimalt, M. 2001. Les catàstrofes climàtiques a les Illes Balears. Les inundacions. In: Pons, G.X. i Guijarro, J.A. (Eds.): *El canvi climàtic: passat, present i futur*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 9: 191-203. ISBN: 84-87818-34-X. Palma de Mallorca.

Les Illes Balears tenen una llarga història de episodis de precipitacions intenses, que produeixen inundacions de tant en tant. Les condicions litològiques i geomorfològiques, juntament amb la intervenció humana, fan que els sistemes de drenatge tinguin un funcionament tan sols esporàdic. D'altra banda, la torrencialitat de les precipitacions és notòria, amb un màxim registrat de 536,5 mm en 24 hores (Escorca, 22 d'octubre de 1959), i episodis històrics d'inundacions amb milers de víctimes (Palma, 14 d'octubre de 1403). Actualment, els riscos d'inundacions han augmentat degut a actuacions urbanístiques negligents, induïdes per la pressió de la indústria turística, i el canvi climàtic obre una incerta perspectiva de possible increment de la intensitat de les precipitacions.

Paraules clau: precipitacions intenses, inundacions, Illes Balears.

CLIMATIC CATASTROPHES AT THE BALEARIC ISLANDS. FLOODS. The Balearic Islands have a long history of heavy precipitation events, causing floods from time to time. Natural drainage systems have a sporadic functionality, due to lithological and geomorphological conditions, and human intervention. On the other side, the torrentiality of the precipitations is notorious, with a registered maximum in 24 hours of 536.5 mm (Escorca, October the 22nd, 1959), and historical flood events with thousands of victims (Palma, October the 14th, 1403). Nowadays, flood hazard has raised due to negligent building procedures, induced by the pressure of the tourism industry, and climatic change opens an uncertain future of possible increased precipitation intensity.

Keywords: Heavy precipitations, floods, Balearic Islands.

Miquel GRIMALT; Universitat de les Illes Balears. Departament Ciències de la Terra. Cra Valldemossa km 7,5. 07071 Palma. Illes Balears. E-mail: dctmgg0@ps.uib.es

Introducció

Les Illes Balears constitueixen una àrea geogràfica que ha rebut amb notòria intensitat

les conseqüències de fenòmens meteorològics amb conseqüències catastròfiques, la incidència dels quals ha estat constant al llarg de les èpoques històriques de les que se'n té docu-

mentació. Per a períodes holocens no documentats han hagut de tenir igualment notòria incidència si es tenen en compte els testimonis que ofereixen determinades característiques geomorfològiques del territori insular.

La relació dels elements atmosfèrics adversos que han afectat l'àrea d'estudi inclou una ample ventall de fenòmens, des d'aquells derivats més directament d'un episodi singular de breu durada (fiblons, grans pedregades, rissagues, ventades momentànies de gran intensitat, aiguades violentes,...), a aquells altres que corresponen a esdeveniments de caràcter menys instantani (onades de fred, onades de calor, períodes de precipitacions excessives,...) o, finalment, alguns amb una incidència que abasta períodes particularment extensos, com la sequera (Grimalt, 1992).

Igualment, s'ha d'establir una diferenciació entre aquells episodis que han afectat tot el territori insular (circumstància que es pot fer extensiva a les anomalies tèrmiques o a l'absència de precipitacions) front a aquelles d'abast territorial molt reduït (ho són per pròpia definició les pedregades i els fiblons). Un altre sedàs contribueix a distinguir els esdeveniments que han ocasionat les destruccions directament per l'efecte de la incidència dels factors meteorològics d'aquells en què hi intervenen de manera gens menyspreable

altres factors com és el cas de les inundacions (subsidiàries també de factors geomorfològics, de conca i d'utilització del sòl) o de les sequeres (que constitueixen un fenomen la incidència del qual ve determinat per la societat).

Es para esment a continuació sobre les inundacions, que juntament amb les sequeres són els esdeveniments catastròfics amb origen climàtic que més han marcat el territori insular.

1. Un fenomen mixt relacionat amb una particular xarxa de drenatge

El sistema de drenatge de les Illes Balears es basa en cursos de funcionament esporàdic, torrents, de conques de dimensions reduïdes. La manca de funcionalitat d'aquests corrents d'aigua es relaciona, a més dels problemes derivats de l'escala, amb la irregularitat de les precipitacions, amb el predomini de litologies permeables, especialment calcàries, i amb la progressiva desconnexió amb els nivells de les aigües subterrànies a causa de l'explotació dels recursos hídrics del subsòl.

Mallorca és l'illa amb una xarxa torrencial més desenvolupada, i tot i això tan sols compta amb cinc cursos amb una conca superior als 100 km².

Taula 1. Torrents de Mallorca amb major superfície de conca.
Table 1. Majorca streams with greater basins.

Curs	Superfície de conca (km ²)
Torrent de Muro	456
Torrent de Son Catlar	398,5 (*)
Torrent de Na Borges	327,4
Torrent Gros	215
Torrent de Sant Miquel	153,8
Torrent de Son Real o de Binicaubell	153,9
Síquia de Sant Jordi	141,9 (*)

(*) Tant al Torrent de Son Catlar com a la Síquia de Sant Jordi no és una conca única, sinó de la suma de diferents cursos que convergeixen a sengles zones humides (Salobrar de Campos i Prat de Sant Jordi), les conques individuals dels quals no superen els 100 km².

Es tracta d'una xarxa molt afectada per l'acció antròpica des de fa segles. Els llits dels torrents estan canalitzats a la major part del seu recorregut i existeix un complex sistema basat en l'enginyeria tradicional de pedra en sec, dissenyat a fi de reduir l'operativitat dels cursos. A les zones de menor pluviometria anual s'intenta evitar que els torrents puguin córrer amb la utilització d'enginyers que impedeixen que l'aigua discorri en superfície, aquests sistemes arriben en casos extrems a desviar els torrents cap a avencs artificials, a fi de forçar la infiltració de les seves aportacions, encara que el sistema més utilitzat és el d'interferir el curs amb murs transversals (parats) dissenyats específicament per a reduir l'escorrentia (Grimalt i Rodríguez Gomila, 1997). Un altre factor lligat a l'acció humana que interfereix a la circulació hídrica són els sistemes artificials de drenatge subterrani, que presenten les zones margoses i argiloses de les àrees planes de Mallorca.

Les cotes mitjanes dels vessants muntanyosos estan majoritàriament regularitzats mitjançant marjades, sistema que afecta també amplis sectors de peu de munt. Els camps aterrats dificulten la formació de l'escorrentia i eviten l'eventual erosió del terreny a causa dels temporals de gran intensitat de precipitació. Els bancals estan complementats amb complexos sistemes de drenatge i derivació d'aigües superficials (Colomar *et al.*, 1995; Grimalt *et al.*, 1998).

Els murs de delimitació de les propietats, tot i que no són estructures construïdes per a una regulació hídrica, solen estar construïts en pedra en sec i signifiquen un obstacle més per a la generació del flux superficial d'aigua, ja que retenen les eventuais inundacions a les seves fases inicials, i determinats autors (Rosselló, 1985) han atribuït una influència notable en l'escassa funcionalitat de gran part dels torrents. La complexa xarxa de murs de parcel·lari és omnipresent en el paisatge del sud i sud-est de Mallorca, així com a determinats sectors del Migjorn de Menorca.

Finalment, s'ha de consignar la influència que sobre la circulació hídrica superficial

ha suposat l'extracció de recursos subterranis i la progressiva desconexió dels llits dels torrents dels nivells dels aqüífers. Il·lustra perfectament aquest procés el cas de l'illa d'Eivissa, on l'estructura geològica, amb nombrosos aqüífers penjats, afavoria la presència temps enrera de nombroses fonts i sorgències que alimentaven diversos torrents permanents i que la sobreexplotació dels recursos subterranis ha secat definitivament a partir de la dècada de 1980.

A causa d'aquestes condicions físiques i intervencions humanes, a l'actualitat la xarxa de drenatge il·lenca únicament funciona en períodes de precipitacions fortes, a excepció dels cursos de la Serra de Tramuntana de Mallorca, alimentats per sorgències, així com uns pocs barrancs del Migjorn de Menorca o de la Marineta de Petra en què la incisió de la vall és prou fonda per a permetre l'efluència de cabal per connexió del llit amb el nivell saturat de l'aqüífer. També el corrent és molt constant a determinats col·lectors del pla de Mallorca que reben aportacions de fonts o d'abellons i drenatges de terres. No existeixen cursos permanents a les illes, a excepció de breus trams del Torrent de na Borges en Mallorca i del Barranc de Cala Galdana en Menorca que aporten continuament un cabal exigü.

2. Una àrea amb notòria incidència de les precipitacions molt intenses

El segon factor que contribueix a la proliferació dels episodis d'inundació és l'elevada torrencialitat de les precipitacions, ja que els episodis amb totals pluviomètrics superiors als 100 mm en 24 hores són especialment abundosos, així cabussar-se en els registres dels nombrosos i bens nodrits arxius de dades pluviomètriques de les illes destaca la presència de registres de quantitats enormes en 24 hores, que tenen el seu màxim exponent en els més de 536 mm que es registraren a l'estació de Son Torrella (Escorca) el 22 d'octubre de 1959 i que si es considera l'episodi plujós en la seva totalitat (del 21 al 23

Taula 2. Valors màxims de precipitació registrats en 24 hores a cadascuna de les illes Balears (mm).
Table 2. Maximum 24 hour precipitation values recorded in every Balearic Islands (mm).

Territori	Data	Quantitat en 24 hores (mm)	Estació
Mallorca (Serra de Tramuntana)	22 octubre 1959	536,5	Son Torrella (Escorca)
Mallorca (Pla)	4 octubre 1957	400	Santanyi
Menorca	8 octubre 1958	207	Far Punta Nati (Ciutadella)
Eivissa	15 novembre 1985	281	Santa Eulàlia
Formentera	26 octubre 1975	202	Far de la Mola

d'octubre) suma l'abrumadora quantitat de 727,9 mm a Son Torrella i 598,8 al proper observatori de Monnàber (Fornalutx), aquestes quantitats no estan gaire allunyades dels màxims històrics recollits a àrees mediterrànies de la Península Ibèrica caracteritzades per la seva extremada torrencialitat.

Aquestes precipitacions intenses no responen a fenòmens d'ocurrència rara o excepcional, ja que -almenys pel que fa a Mallorca i en menor grau a les Illes Pitiüses- els episodis de pluges més enllà de l'indar molt grans és relativament nombrós. Palesa aquest fet que en la recerca als arxius pluviomètrics s'han identificat fins a 35 episodis en què almenys un observatori illenc ha superat els 200 mm en 24 hores. La recerca s'ha duit a terme des de 1930 i s'han depurat els possibles errors de duplicitat.

No necessàriament en tots aquests temporals amb quantitats molt elevades s'han produït les torrentades més destructives. Efectivament, alguns dels episodis de majors inundacions han estat determinats per registres pluviomètrics totals molt importants (setembre de 1989 al Llevant i Mígjorn, març de 1974 a Sóller,...) però en d'altres avinenteses les destruccions per excés de cabal s'han produït rera temporals de pluja amb registres finals no molt exagerats, sinó bàsicament per intensitats horàries molt elevades. Així, les catastròfiques revingudes de la conca de

Palma el 25 de setembre de 1962 foren el resultat d'una aiguada amb poc més de 100 mm a la part occidental de la Serra de Tramuntana. En contrast alguns dels temporals amb una quantitat global de pluja més notable (per exemple el de l'1 al 2 d'octubre de 1973) no han provocat revingudes esmentables.

El què sí s'ha pogut constatar és que molts pocs episodis importants d'inundacions s'han produït amb registres globals inferiors als 100 mm, l'indar que pot servir de base. Una anàlisi exhaustiva de les precipitacions intenses al Llevant de Mallorca (Grimalt *et al.*, 2001) mostra com en el període 1930-1995 tan sols en dos episodis de revingudes considerables no hi ha cap observatori oficial que hagi superat els 100 mm, però amb valors que s'hi apropen, 90,5 mm a s'Alqueria Blanca el 7 de novembre de 1952 i 82 a es Rafal Roig el 12 d'octubre de 1973.

En tot cas s'ha de tenir present que no sempre hi ha estacions pluviomètriques situades a l'àrea que ha sofert les precipitacions més intenses, per la qual cosa les dades poden anar referides a localitzacions marginals en relació al nucli pluviomètric principal.

A nivell il·lustratiu s'ha duit a terme la recerca del nombre d'episodis més enllà dels 100 mm durant una dècada, el que mostra la quotidianietat amb què s'assoleix o supera aquest l'indar a la nostra àrea geogràfica.

Taula 3. Precipitacions totals superiors a 200 mm en 24 hores registrats a observatoris oficials de les Illes Balears (1930-2000).

Table 3. Total precipitations greater than 200 mm in 24 hours recorded at official Balearic Islands observatories (1930-2000).

Territori	Data	Quantitat en 24 hores (mm)	Estació
1 Serra de Tramuntana	7 novembre 1933	295	Son Pacs (Valldemossa)
2 Part central Serra de Tramuntana	6 novembre 1939	201,2	Gorg Blau (Escorca)
3 Part central Serra de Tramuntana	28 setembre 1940	460	Gorg Blau (Escorca)
4 Serra de Tramuntana	16 abril 1942	270	Son Pacs (Valldemossa)
5 Serra de Tramuntana	26 novembre 1942	202	Alqueria d'Avall (Bunyola)
6 Serra de Tramuntana	20 novembre 1943	224,8	Orient (Bunyola)
7 Area d'Artà	19 novembre 1945	224,3	Artà
8 Serra de Tramuntana	11 octubre 1946	203,3	Orient (Bunyola)
9 Part oriental Serra de Tramuntana	24 gener 1948	200,0	Can Serra (Pollença)
10 Serra de Tramuntana	21 novembre 1951	210	Son Mas (Valldemossa)
11 Part oriental Serra de Tramuntana	14 març 1955	222,3	Can Serra (Pollença)
12 Llevant i Migjorn	4 octubre 1957	400	Santanyi
13 Serra de Tramuntana	6 octubre 1958	220,4	Can Serra (Pollença)
	7 octubre 1958	214	Mortitx (Escorca)
	8 octubre 1958	243,4	Bàltx d'Amunt (Sóller)
13b Menorca	7 octubre 1958	207	Punta Nati (Ciutadella)
14 Serra de Tramuntana	17 octubre 1958	225,4	Son Torrella (Escorca)
15 Part oriental Serra de Tramuntana	8 juny 1959	228	Mortitx (Escorca)
16 Serra de Tramuntana	21 octubre 1959	329	Sóller
	22 octubre 1959	536,5	Son Torrella (Escorca)
17 Serra de Tramuntana	7 desembre 1960	209	Míner (Escorca)
	8 desembre 1960	224	Comasema (Bunyola)
18 Part central Serra de Tramuntana	30 novembre 1967	211,1	Bàltx d'Avall (Fornalutx)
19 Serra de Tramuntana	31 desembre 1972	222,5	Son Torrella (Escorca)
20 Serra de Tramuntana	1 octubre 1973	283	Mortitx (Escorca)
	2 octubre 1973	286	ses Tosses (Escorca)
21 Serra de Tramuntana	17 febrer 1974	200	Turixant d'Abaix (Escorca)
22 Serra de Tramuntana	29 març 1974	275,4	Son Torrella (Escorca)
	30 març 1974	205	Turixant d'Abaix (Escorca)
23 Formentera	26 octubre 1975	202	La Mola (Formentera)
24 Badia d'Alcúdia	4 novembre 1975	220	ses Pastores (Artà)
25 Eivissa	18 setembre 1977	211,5	Can Palerm (Santa Eulàlia)
26 Part occidental Serra de Tramuntana	14 gener 1978	230	Esporles
27 Serra de Tramuntana	18 octubre 1978	275	Son Torrella (Escorca)
	19 octubre 1978	259,8	Lluc (Escorca)
28 Serra de Tramuntana	1 març 1979	263	Binirossí (Sóller)
29 Serra de Tramuntana	21 desembre 1979	304	Binirossí (Sóller)
30 Serra de Tramuntana	27 desembre 1980	215	Biniaraix (Sóller)
31 Serra de Tramuntana	22 abril 1981	210	Son Fuster (Alaró)
32a Eivissa	15 novembre 1985	281	Santa Eulàlia
32b Formentera	15 novembre 1985	201	La Mola (Formentera)
33 Serra de Tramuntana	29 setembre 1986	212,4	Bàltx d'Avall (Fornalutx)
34 Llevant i Migjorn	6 setembre 1989	250	Es Picot (Manacor)
35 Part oriental Serra de Tramuntana/Badia d'Alcúdia	8 octubre 1990	250	Torre d'Ariant (Pollença)
	9 octubre 1990	230	sa Casa Nova (Escorca)

Així, a la dècada de 1981 a 1990 a les estacions de la Serra de Tramuntana de Mallorca s'hi han observat fins a 50 episodis en què a qualque observatori s'han superat els 100 mm, sense que en cap d'aquests anys (tot i que inclouen alguns dels especialment secs com el 1983) arribin a mancar episodis d'aquesta mena.

El sector muntanyós oriental de Mallorca resulta també particularment proclivi a veure's afectat per aquest tipus d'episodis.

Un altre aspecte a considerar és l'abast molt diferent de les àrees afectades per la precipitació importat durant aquests episodis d'elevada intensitat, així pot quedar il·lustrat amb els mapes de les Figs. 1 i 2 amb la distribució dels totals de precipitació en diferents temporals que provocaren inundacions importants.

3. Un tipus de risc natural amb una llarga tradició

Tot i la coincidència de dos elements proclivis a les revingudes com són l'elevada torrencialitat de la precipitació i la complexa xarxa de drenatge, històricament les àrees densament habitades que s'han vist afectades per les inundacions han estat poques, encara que amb pèrdues que puntualment han estat molt notòries. Aquest extrem es pot atribuir a la relativa efectivitat de les adaptacions de les activitats humanes tradicionals a les característiques del medi.

En concret s'han centrat a l'àrea de Mallorca i d'Eivissa, en el cas mallorquí han quedat força afectats tres nuclis urbans importants: Palma, Sóller i Manacor, a més de tres planes litorals amb notòria potencialitat agrària (pla de sa Pobla, pla de Campos i pla de Sant Jordi).

L'exemple més conegut és el de Palma, creuada des d'antic per sa Riera, que transcorria seguint l'eix viari constituït pels actuals passeigs de la Rambla, Carrer de la Unió i es Born, a la desembocadura de la qual es va establir el primitiu port de la ciutat. Aquest torrent va ser el protagonista de la revinguda

que ha causat un major nombre de víctimes mortals entre totes les registrades als territoris actualment inclosos dins l'Estat espanyol: el 14 d'octubre de 1403, una torrentada d'intensitat desmesurada, agreujada per les dificultats que va trobar l'al·luvió per a poder desembocar a la mar, va destruir bona part de la ciutat baixa, amb un nombre de víctimes que varia entre les 3500 i les 5000, i més de 500 habitatges greument afectats. Malgrat els esforços per desviar el curs del torrent fora del nucli urbà (projecte que no es va materialitzar fins a la segona dècada del segle XVII), concretament el 1613, les rierades seguiren recuperant l'antic camí dins la ciutat repetides vegades (1618, 1620, 1635, 1734, 1750 i 1850). Des de la segona meitat del segle XIX aquest torrent no ha tornat sobreixir de manera important fora del seu nou llit. Malgrat tot l'expansió urbana de la capital de Mallorca ha fet que altres torrents hagin quedat englobats dins el continu urbà (torrent de s'Aigua Dolça, torrent de Sant Magí, torrent des Mal Pas, torrent de na Bàrbara i torrent Gros). Palma continua sent un indret marcadament perillós com ha quedat de manifest amb les revingudes de novembre de 1933, setembre de 1934, abril de 1942 i, sobretot, setembre de 1962.

Sóller, localitzada al fons de la vall del mateix nom, amb una intensa ocupació del terreny per horts i habitatges, ha estat, des del segle XVII un indret repetidament afectat per les malifetes de les aigües desbordades, provinents d'afluents del torrent Major, que convergeixen pràcticament dins el clos urbà. Destaquen per la seva intensitat les aiguades de 1640, 1718, 1734, 1736, 1759, 1832, 1856, 1885, 1959 i 1974.

Manacor, segon nucli urbà de l'illa va tenir una notòria expansió demogràfica al segle XIX, que va dur com a conseqüència l'ocupació de les voreres del torrent de sa Cabana, el jaç del qual va passar a coincidir amb una de les principals vies urbanes. Els desbordaments del torrent han causat pèrdues materials i humanes repetides vegades, sobretot el 1850, 1932 i 1989, a més de diversos casos de menor intensitat (el darrer el 1994).

Taula 4. Nombre d'episodis amb més de 100 mm en 24 hores al llarg de la dècada de 1981 a 1990.
Table 4. Number of episodes with more than 100 mm in 24 hours along the 1981-1990 decade.

Any	Serra de Tramuntana	Llevant i Migjorn	Altres Mallorca	Menorca	Eivissa i Formentera
1981	3	1	-	-	2
1982	4	2	1	-	1
1983	4	1	-	-	-
1984	2	-	-	-	-
1985	13	2	-	-	2
1986	9	-	1	-	-
1987	6	1	-	-	-
1988	3	-	-	-	-
1989	3	2	-	-	1
1990	3	5	-	-	-
Total	50	14	2	0	6

Les planes sedimentàries, que constitueixen el fons de les principals badies mallorquines i eivissenques estan constituïdes per una combinació de ventalls al·luvials i glacis, que condicionen que durant els desbordaments les aigües dels torrents afectin extensions molt notòries de terreny, ja que eventualment poden avançar amb fronts de revinguda de centenars de metres d'amplària, subdividir-se en nombrosos canals de desbordament alternativament confluents i difluents, i fins i tot mostrar transvasament de cabals des d'una conca a una altra. Tots aquests processos s'han pogut apreciar històricament, amb revingudes que han afectat sensiblement aquestes comarques, algunes d'aquestes inundacions s'han fet famoses, com la Plena den Gelat (1852) -que feu malbé gran part de l'horta de sa Pobla-, la de setembre de 1850 amb grans pèrdues a Campos, o la de 1814 amb destruccions a la part oriental del Pla de Palma. A Eivissa alguns indrets planers s'han vist igualment afectats com ses Salines (1679) i el Pla de Vila (1977).

L'anàlisi de les sèries històriques de grans inundacions a les illes Balears permet apreciar com la seva incidència ha estat condicionada en gran manera per l'actitud humana. La societat, tot seguint el sistema tradicional d'adaptació al medi ha intentat defugir els

indrets perillosos, però els interessos econòmics i socials han provocat que es mantinguessin inalterables les localitzacions dels centres urbans principals, així com les de les àrees d'elevada rendibilitat agrícola, la qual cosa explica que les destruccions hagin quedat relegades tradicionalment a les localitzacions esmentades.

El respecte cap al medi natural i les seves manifestacions ha canviat per una notòria indiferència agreujada a partir del segle XX, tot i que havia tengut manifestacions prèvies a la segona meitat del segle XIX.

Ja des de les primeres dècades del XX es troben els primers indicis de la conflictivitat entre l'expansió urbana i la inundabilitat. Així s'explica l'inici de noves sèries de revingudes amb destruccions a nuclis urbans que creixeren en aquesta època fins al punt d'apropar-se excessivament a indrets perillosos, aquest són els casos de Sant Llorenç des Cardassar (amb revingudes el 1943, 1973, 1982 i 1989), Esporles (greument afectada el 1962) i s'Arracó (1962 i 1971).

Això no obstant, el gran increment del risc d'inundacions ha partit del ràpid desenvolupament urbà arran del turisme de masses, que ha suposat la ràpida expansió o creació de gran nombre de nuclis de població, bàsicament establerts a indrets litorals, moltes de

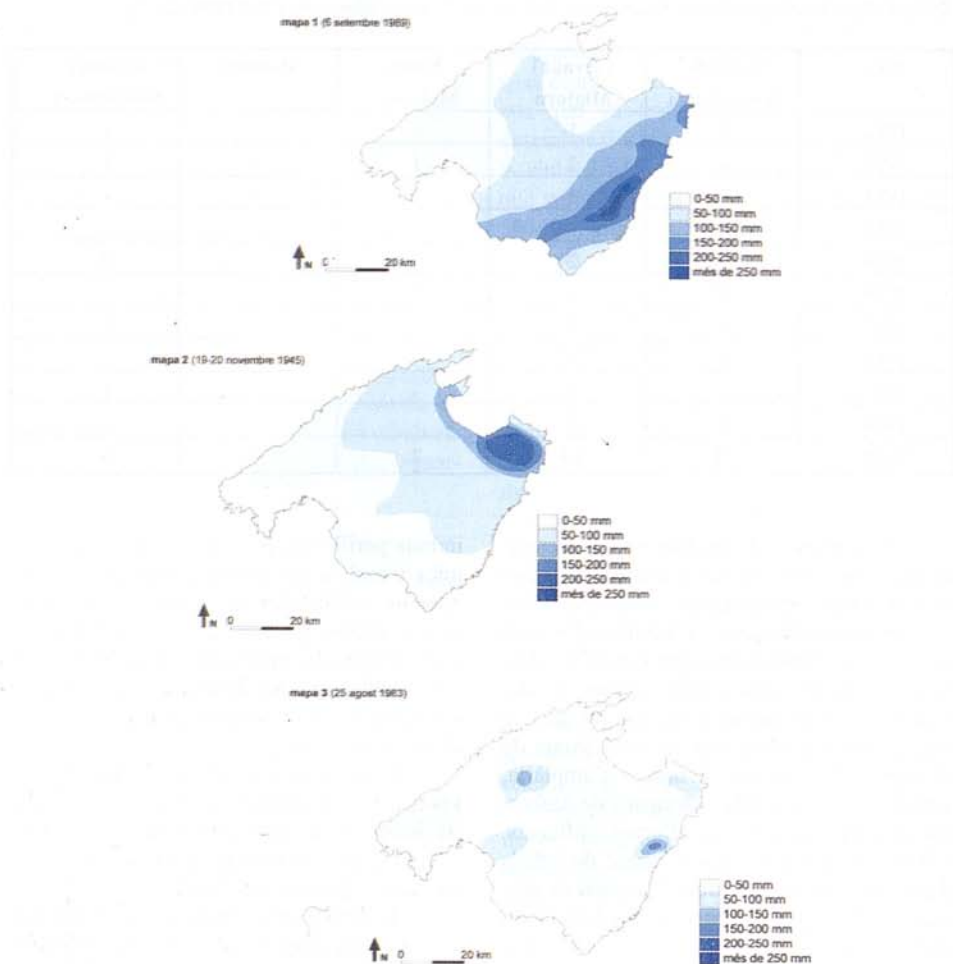


Fig. 1. Repartiment territorial de la precipitació a diferents exemples d'episodis amb inundacions a Mallorca.

Fig. 1. Rainfall territorial allotment with different examples of flood episodes in Mallorca.

vegades construïts sense tenir en compte que s'establien sobre morfologies inundables. A causa del mateix procés, els antics nuclis urbans han sofert expansions molt notòries, especialment pel que fa a les capitals insulars i cap a indrets molt perillosos, tant Palma com Eivissa. També hi ha hagut un procés paral·lel de creixement de les infraestructures (viàries i

de tota mena) susceptibles de patir o augmentar els efectes de les revingudes.

El resultat ha estat un increment de la diversitat i la intensitat de les inundacions, que es pot comprovar amb la nova sèrie de torrentades, la cronologia de les quals s'inicia a la dècada de 1960 i el nombre i varietat de les quals s'ha incrementat des d'aleshores,

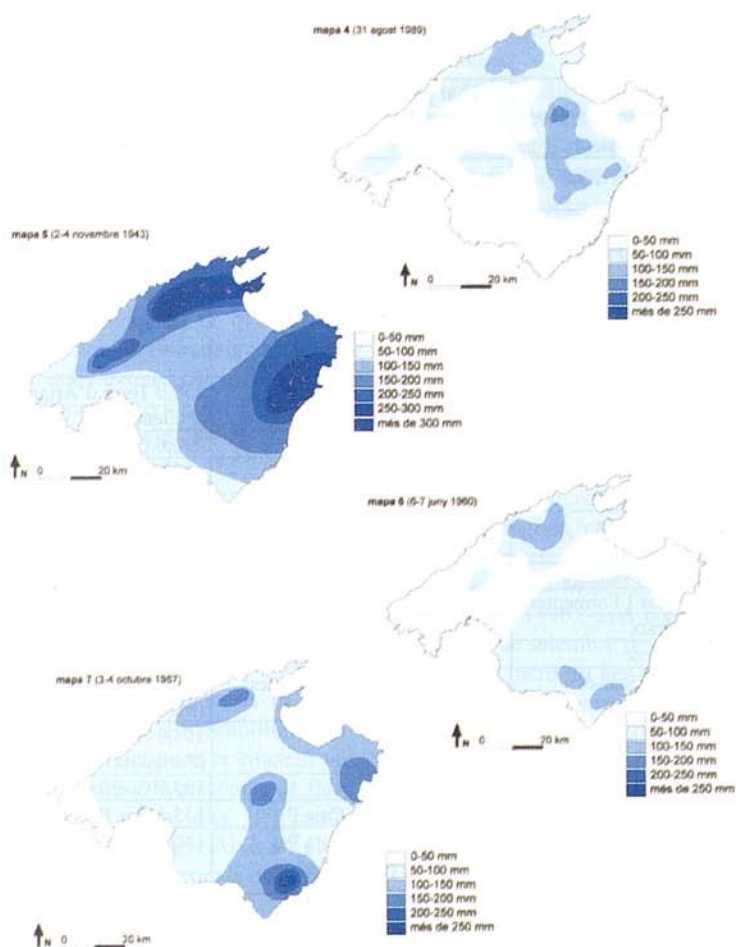


Fig. 2. Repartiment territorial de la precipitació a diferents exemples d'episodis amb inundacions a Mallorca.

Fig. 2. Rainfall territorial allotment with different examples of flood episodes in Mallorca.

amb un augment del risc global de destruccions per aiguades a les Illes, encara mal quantificat, però que segurament la relació de pèrdues materials i humanes en les properes dècades confirmarà.

4. Els episodis d'inundacions des de 1980 a 2000. Exemple de diversificació dels àmbits afectats.

Al llarg d'aquest període a les Illes Balears han succeït un seguit d'episodis d'inundació les informacions principals dels quals es poden resumir a la Taula 5.

Taula 5. Episodis d'inundacions des de 1980 a 2000

Table 5. Flood episodes from 1980 to 2000.

Data	Localització	Cabal punta de revinguda (1)	Precipitació màxima (mm)
21 04 1981	Lloseta/Alaró		175,5 S'Hort Nou (Alaró)
25 08 1983	Port de Manacor		163,5 Ses Talaioteles (Manacor)
16 09 1988	Peguera		194,0 S'Alqueria (Andratx)
06 09 1989	Vessant de Campos, vessant litoral SE i vessant de Alcúdia	1612 m ³ /s (t. de Son Xorc, vessant de Campos), 900 m ³ /s (t. de Portopetra, vessant SE), 500 m ³ /s (t. de na Borges, vessant de Alcúdia)	250,0 Es Picot (Manacor)
08 10 1990	Pollença	207 m ³ /s (t. de Ternelles)	250,0 Torre d'Ariant (Pollença)
09 10 1990	Vessant d' Alcúdia	426 m ³ /s (t. de Son Bauló)	230,0 Casa Nova (Escorca)
08 11 1990	Peguera/ Santa Ponça	315 m ³ /s (torrent de Santa Ponça)	150,0 Son Vic (Calvià)
10 11 1990	Son Servera		141,7 Son Sard (Son Servera)
25 01 1991	Pla de Mallorca		127,1 Pina (Algaida)
08 10 1992	Eivissa i Formentera		133,0 Far Formentera
11 08 1991	Andratx		175,0 S'Arracó (Andratx)
28 09 1994	Manacor	112,8 m ³ /s (t. de sa Cabana)	171,0 Manacor
13 10 1994	Litoral Sud-est	366 m ³ /s (t. de ses Talaioles)	171,0 S'Hospitalet Vell (Manacor)
17 10 1994	Sóller/ sa Calobra		194,0 Bàlità d'Avall (Fornalutx)
18 10 1994	Pla de Mallorca		133,7 Costitx
15 09 1996	Cala Pi	133,3 m ³ /s (t. de Cala Pi)	155,5 Cas Busso (Llucmajor)
17 11 1998	Cala Pi	131,8 m ³ /s (t. de Cala Pi) 120,9 m ³ /s (t. de Garonda)	140 Cas Busso (Llucmajor)

(1) Cabals-punta estimats a partir de reconstrucció de seccions i càlcul de velocitat per diàmetre de materials arrossegats i/o pendent, vegeu-ne les diferents fonts a la bibliografia.

Es tracta d'episodis d'inundacions amb grans diferències entre sí, tant pel que fa referència als factors purament hidrològics com pel que es refereix a les condicions meteorològiques i a l'impacte econòmic i social que han suposat.

Les pautes de distribució espacial de la precipitació durant els temporals són molt contrastades, tant pel que fa referència a la quantitat de precipitació final que ha provocat

cada un dels episodis crítics i a l'amplitud de la zona afectada per precipitacions intenses. En general, l'àrea de precipitació màxima és molt reduïda, tal com va succeir als episodis de 25 d'agost de 1983, el 16 de setembre de 1988, l'11 de novembre de 1990, l'11 d'agost de 1991, el 28 de setembre de 1994, el 13 i el 16 d'octubre de 1994, i el 15 de setembre de 1996 i el 18 de novembre de 1998. A tots aquests casos el sector que ha rebut precipita-

cions superiors als 100 mm no supera l'ordre de magnitud dels 10 km². S'associen a tempestes de gran virulència i d'abast territorial limitats i queden temporalment restringits a la segona meitat de l'any, concretament al període d'agost a novembre.

En canvi, determinats temporals de pluja són provocats per complexos convectius mesoscalars, com els de 6 de setembre de 1989, que va afectar una àrea d'uns 1000 km² o el 8 i 9 d'octubre de 1990, que s'estengueren sobre uns pocs centenars de quilòmetres quadrats respectivament. El mateix es pot dir, amb la salvetat que l'extensió de les illes afectades és sensiblement inferior, per a l'aiguada d'octubre de 1992 a Eivissa i Formentera.

Tan sols les torrentades de 25 de gener de 1991 i de 21 d'abril de 1981 es varen gestar rera un episodi de pluges generalitzades pràcticament a sobre tota Mallorca, amb revingudes de baixa intensitat a la major part de la xarxa de drenatge, encara que amb conseqüències catastròfiques a les àrees consignades a la Taula 5.

Dinàmicament, els temporals es produeixen en circumstàncies d'instabilitat molt remarcada, i a escala sinòptica la situació ve marcada generalment per la presència de flux de component est, situacions de pantà baromètric o baixes centrades. Això no obstant, determinades aiguades, com la de setembre de 1988 al sud-oest de l'illa es varen produir amb una circulació de component nord. A determinats moments el mateix temporal que va provocar les inundacions duia associats altres fenòmens naturals adversos com els fiblons que s'han descrit el 5 de setembre de 1989 i el de gran virulència de 8 d'octubre de 1992.

La manca d'una xarxa de pluviògrafs suficientment densa ha impedit poder tenir dades sobre les intensitats horàries de precipitació a les dates de les inundacions. S'apunten valors propers o superiors als 100 mm/hora per als temporals amb conseqüències més extremes, com el 6 de setembre de 1989. Les dades instrumentals fefaents són escasses, i s'assenyala que durant el temporal de 8 d'octubre de 1990 a Pollença, l'observatori de la

Base Militar situada al Port de Pollença va registrar una punta de precipitació de 80 mm en una hora.

Els registres totals de precipitació durant els temporals de les dècades de 1980 i 1990 no superen els màxims històrics registrats, tret de l'aiguada del 8 i del 9 d'octubre de 1990 a determinades estacions del vessant d'Alcúdia i els del 6 de setembre de 1989 a determinats -no tots- els observatoris del sud-est illenc.

Les planes al·luvials presenten formes complexes d'inundació, de fet els principals col·lectors en minvar el seu pendent s'obre en un ample sistema de canals de desbordament a favor de ventalls al·luvials d'escàs pendent, i són relativament freqüents els episodis de transvasament de cabals en el moment de màxima revinguda, com s'ha pogut constatar durant les darreres dècades del segle XX a la plana de sa Pobla/Muro (21 d'abril de 1981, 9 d'octubre de 1990), així com a la plana de Campos (6 de setembre de 1989). Més enrera en el temps, però no per això manco significatiu hi ha testimonis gràfics i documentals d'episodis de grans torrentades a la plana de Palma en què la part final de les diverses rieres funcionava en règim de nombrosos canals de desbordament entrellaçats (novembre de 1933, abril de 1942 i 25 de setembre de 1962).

Els treballs d'avaluació dels cabals-punta de les revingudes, duits a terme des del Departament de Ciències de la Terra de la UIB (Grimalt i Rodríguez-Perea, 1989; 1991a; 1991b; 1992; 1996; 1998; Grimalt *et al.*, 2001) amb el suport de les diferents Conselleries de les que ha depès el tema dels recursos hídrics, han posat de manifest una altra característica prou important de les torrentades a Mallorca com és el dels valors molt elevats que assoleixen els cabals en moments d'inundació. Aquesta constatació es lliga amb el model de revinguda llampec en conques breus i com a resposta a precipitacions d'intensitats momentànies elevadíssimes, i per tant aboquen cap a la necessitat d'obtenir dades pluviogràfiques precises que expliquin aquesta resposta hidrològica inusualment contundent. En canvi, l'anàlisi de

les conques de drenatge des d'un punt morfològic no ha aportat arguments geomorfològics que expliquin aquest comportament (Grimalt *et al.*, 1990; Servera, 1992), per la qual cosa els factors antròpics i d'usos semblen esser, juntament amb els pluviomètrics, les claus per entendre el funcionament dels processos.

Apareixen dos factors bàsics per suposar la possible evolució del problema de les inundacions a les illes Balears.

En primer lloc es significa l'increment de la presència humana sobre tot el territori, però especialment a dos tipus de localització de màxim risc.

- La urbanització motivada pel turisme litoral ha determinat la construcció d'estructures i habitatges a àrees extremadament propícies a rebre els efectes de les revingudes com són els fons de cales i les restingues que separen aiguamolls de la mar. Paral·lelament el creixement de la població resident ha suposat una densificació de la construcció a les planes al·luvials sense tenir en compte la complexa morfologia d'aquests àrees i la presència de canals episòdics de desbordament, a més de l'efecte d'interferència sobre el desguàs que poden exercir determinades estructures com autopistes, altres vies de comunicació, barreres sòniques i defenses litorals.

- El segon repte passa pel necessari manteniment de la densa i intrincada xarxa d'estructures tradicionals de regulació de l'esorrentia i de l'erosió. L'abandonament dels bastiments de pedra en sec pot abocar cap al fracàs de la seva funció primària de contenir la torrencialitat hídrica, i un temporal que les superi pot mobilitzar de cop l'immens volum de sediments que han anat retenint aquests sistemes tradicionals durant els segles que duen exercint la seva funció.

S'obre una incerta perspectiva d'increment de la freqüència i conseqüències destructives dels episodis d'inundació sense que per això sigui necessari que les característiques climàtiques actuals pateixin un canvi cap a condicions d'una torrencialitat major.

Agraïments

Aquest treball ha estat finançat pel projecte CICYT CLI-97-0419. Les dades estadístiques pluviomètriques han estat elaborades a partir de dades de l'INM.

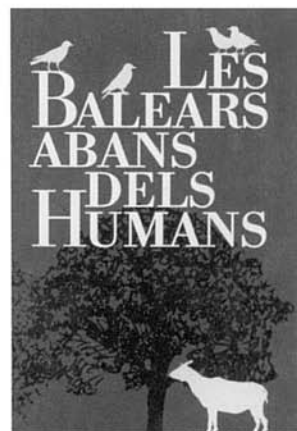
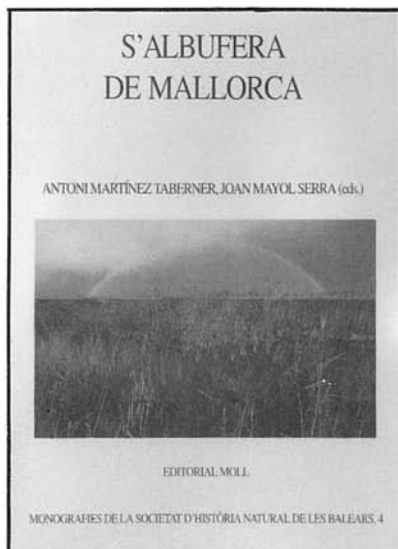
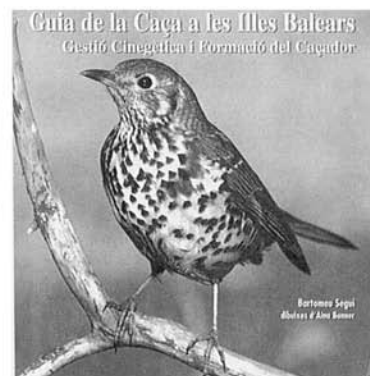
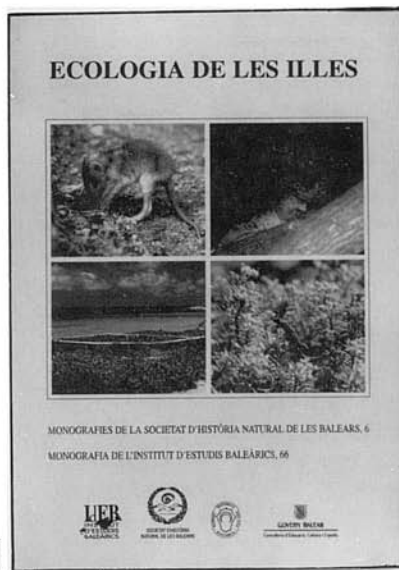
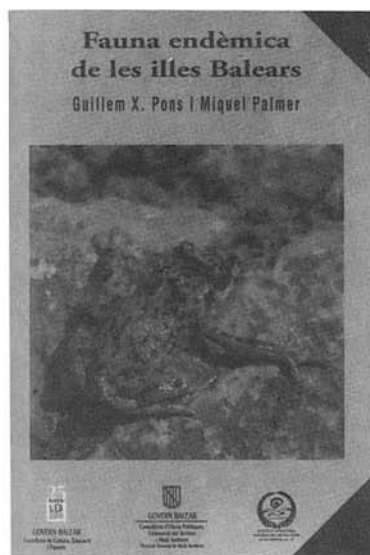
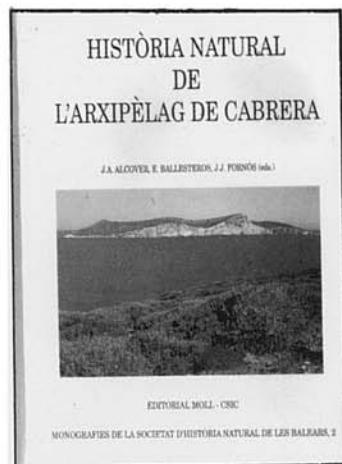
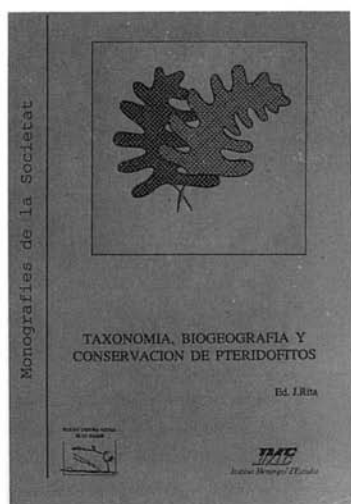
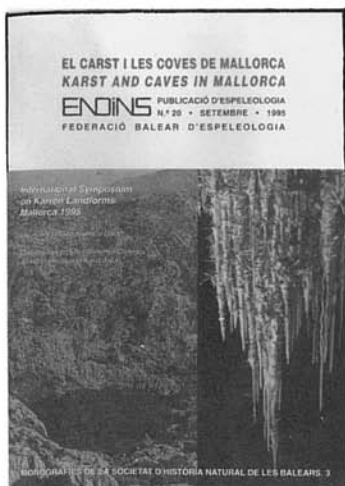
Bibliografia

- Colomar, A. *et al.* 1995. Sistemas tradicionales de lucha antierosiva mediante obras de piedra en seco en Mallorca. *In: Desertificación y degradación de suelos en España*. Barcelona: Asociación Meteorológica Española/ Generalitat de Catalunya. 59-63.
- Corbí, A.M. i Servera, J. 1990. Les torrentades de Peguera al setembre de 1988. *In: Martínez, A. (coord). II Jornades de Medi Ambient de les Balears*. Palma: Universitat de les Illes Balears. Societat d'Història Natural de les Balears. 42-43.
- Ferrer, I. i Rodríguez Gomila, R. 1998. *Aigües i geomorfologia*. Ciències Socials a les Illes Balears. Bibliografia bàsica 4. Palma. Conselleria de Cultura, Educació i Esports.
- Grimalt, M. 1989a. *Aproximació a una geografia del risc a Mallorca. Les inundacions*. Tesi doctoral. Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. 4 vols.
- Grimalt, M. 1989b. Repartiment de les precipitacions màximes a Mallorca. *Treballs de Geografia*, 41: 7-18.
- Grimalt, M. 1990. Els torrents de Manacor. Manacor: Ajuntament de Manacor.
- Grimalt, M. 1992. *Aproximació a una geografia del risc a Mallorca. Les Inundacions*. Palma: Institut d'Estudis Balearics.
- Grimalt, M. (dir.) 2001. *Anàlisi de les inundacions de 1996 i 1998 al torrent de Cala Pi i a altres cursos del vessant marítim de Llucmajor*. Direcció General de Règim Hidràulic. Conselleria de Medi Ambient, Ordenació del Territori i Litoral.
- Grimalt, M., Blázquez, M. i Rodríguez-Gomila, R. 1992. Physical factors, distribution and present land-use of terraces in the Tramuntana Mountain range. *Pirineos*, 139: 14-25.
- Grimalt, M.; Equip FODESMA 1998. L'home com a factor geomorfològic a Mallorca. L'enginyeria popular amb finalitat antierosiva. *In: Fornós, J.J. (ed.). Aspectes geològics de les Balears (Mallorca, Menorca i Cabrera)*.

- Palma: Universitat de les Illes Balears. 423-434.
- Grimalt, M., Laita, M. i Ruiz, M. 2001. Pautes espacials i temporals de distribució d'aiguades intenses al Llevant de Mallorca (1930-1995). Manacor, cultura i territori. Ajuntament de Manacor. 29/40.
- Grimalt, M. i Rodríguez Gomila, R. 1997. Caracterització dels murs de pedra transversals als cursos d'aigua del terme de Manacor (Mallorca). In: FODESMA. La pedra en sec. Obra, paisatge i patrimoni. Palma: Consell Insular de Mallorca. FODESMA. 285-293.
- Grimalt, M. i Rodríguez-Perea, A. 1990. Cabals màxims al Llevant i Migjorn de Mallorca durant les revingudes de setembre de 1989. *Treballs de Geografia*, 42: 7-18.
- Grimalt, M. i Rodríguez-Perea, A. 1991a. *Anàlisi de les inundacions de 1989 a la Conca de Campos*. Departament Hidràulic. Conselleria d'Obres Públiques i Ordenació del Territori. Govern Balear.
- Grimalt, M. i Rodríguez-Perea, A. 1991b. *Anàlisi de les inundacions de 1990 al Vessant d'Alcúdia*. Departament Hidràulic. Conselleria d'Obres Públiques i Ordenació del Territori. Govern Balear.
- Grimalt, M. i Rodríguez-Perea, A. 1992. *Anàlisi de les inundacions de 1989 al vessant de Pollença*. Junta d'Aigües de Balears.
- Grimalt, M. i Rodríguez-Perea, A. 1996. *Anàlisi de les inundacions de 1994 al vessant de Llevant*. Junta d'Aigües de Balears.
- Grimalt, M., Rodríguez-Perea, A. 1998. *Anàlisi de les inundacions de 1994 al torrent de sa Cabana*. Direcció General de Règim Hidràulic. Conselleria de Medi Ambient, Ordenació del Territori i Litoral.
- Grimalt, M., Rodríguez-Perea, A. i Rodríguez Gomila, R. 1990. Morfometria de cuencas en la vertiente sudoriental de Mallorca. In: Rullan, O. i Seguí, J.M. (eds.). *IV Coloquio de Geografía Cuantitativa. Los sistemas de información geográficos y la toma de decisiones territoriales*. Palma: Universitat de les Illes Balears. AGE. 355-374.
- Servera, J. 1992. Anàlisi morfològica i quantitativa de la xarxa fluvio-torrencial del municipi de Calvià. *Treballs de Geografia*, 44: 119-129.



*PER UN MUSEU DE LA
NATURALES A CIUTAT*





SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS
—ESTUDI GENERAL LUL·LIÀ—

edicions
Emiramar

ISBN 84-87818-34-X



9 788487 818349