

# Los foraminíferos del mar Balear como componentes biogénicos de los sedimentos de playa

Guillem MATEU, Guillem MATEU-VICENS, Guillem NADAL, Beatriz RODRÍGUEZ, Maria del Mar GIL y Laura CELIÀ

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Mateu, G., Mateu-Vicens, G., Nadal, G., Rodríguez, B., Gil, M<sup>a</sup> M. y Celià, L. 2003. Los foraminíferos del mar Balear como componentes biogénicos de los sedimentos de playa. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 46: 95-115. ISSN 0212-260X. Palma de Mallorca.

El contenido biogénico de las playas de Mallorca no puede desvincularse de los ecosistemas infralitorales, principales productores de la microfauna algal, posidonícola y psàmica que incide en la regeneración natural de las mismas. Refiriéndonos a los foraminíferos de las playas naturales, como la d'Es Trenc, observamos lo siguiente: a) preponderancia de especies de ciclo largo y caparazón calcáreo-porcelanoide (Hauerinidae o Miliolidae, Peneroplidae-Soritidae y Nubeculariidae); b) presencia menor de especies epifoliales y de praderas de poca profundidad próximas a la costa (Cibicididae, Elphidiidae, Rosalinidae, Planorbulinidae y Rotaliidae), que son de ciclo corto y de caparazón calcáreo-perforado más frágiles y menos resistentes a la hidrodinámica litoral; c) ausencia, en general, de especies planctónicas propias de ecosistemas mesoepipelágicos, acumulados *post mortem* en sedimentos de plataforma externa y talud. Respecto a las playas regeneradas, como la de Palma-s'Arenal: reducción de foraminíferos posidonícolas de ciclo largo (Hauerinidae); permanencia de Cibicididae y reducción de Discorbidae (Rosalinidae); presencia atípica de Eponidae, Planulinidae, Uvigerinidae y Vaginulinidae, todos ajenos al infralitoral que, junto con la presencia anómala (30%) de planctónicos indican que las biofacies son ajenas a la alimentación natural de estos depósitos litorales.

**Palabras clave:** *foraminíferos, Mar Balear, playa, componente biogénico, sedimentos.*

ELS FORAMINÍFERS DE LA MAR BALEAR COM A COMPONENTS BIOGÈNICS DELS SEDIMENTS DE PLATJA. El contingut biogènic de les platges de Mallorca no es pot desvincular dels ecosistemes infralitorals, principals productors de la microfauna algal, posidonícola i psàmica que incideix en la regeneració natural d'aquestes. Referint-se als foraminífers de les platges naturals, com la d'Es Trenc, hom observa el següent: a) preponderància d'espècies de cicle llarg i closca calcària-porcel·lanoide (Hauerinidae o Miliolidae, Peneroplidae-Soritidae i Nubeculariidae); b) presència menor d'espècies epifolials i restes de praderies de poca profunditat properes a la costa (Cibicididae, Elphidiidae, Rosalinidae, Planorbulinidae i Rotaliidae), que són de cicle curt i de closca calcària-perforada, més fràgils i menys resistentes a la hidrodinàmica litoral; c) absència, en general, d'espècies planctòniques pròpies d'ecosistemes mesoepipelàgics, acumulats *post mortem* en sediments de plataforma externa i talús. Respecte a les platges regenerades, com la de Palma-s'Arenal: reducció de foraminífers posidonícoles de cicle llarg (Hauerinidae); permanència de Cibicididae i reducció de Discorbidae (Rosalinidae); presència atípica d'Eponidae, de Pla-

nulinidae, d'Uvigerinidae i de Vaginulinidae, tots aliens a l'infralitoral que, junt amb la presència anòmala (30%) de planctònics indiquen que les biofacies són alienes a l'alimentació natural d'aquests dipòsits litorals.

**Paraules clau:** *foraminífers, Mar Balear, platja, component biogènic, sediments.*

THE QUATERNARIAN FORAMINIFERA IN THE BALEARIC SEA AS BIOGENIC COMPONENTS OF BEACH SEDIMENTS. The biogenic content of the Majorca beaches cannot be separated from the infralittoral ecosystem. They are the main producers of algae, posidonicola and psammica microfauna, falling upon themselves natural regeneration. As for the foraminifers of natural beaches, such as Es Trenc, we observed: 1) Preponderance of species with large cycle and calcareous-porcelain shells (Hauerinidae or Miliolidae, Peneroplidae-Soritidae, and Nubeculariidae); 2) Minor presence of epiphytic, short cycle and calcareous-perforated species (Cibicididae, Elphidiidae, Rosalinidae, Planorbulinidae and Rotaliidae). They are more fragile and less resistant to coastal hydrodynamics. 3) Absence of plankton species (Globigerinidae and Globorotaliidae), strongly influenced by mesoepipelagic ecosystem and *post mortem*, off-shore and in continental slope accumulated. In relation to anthropogenic regenerated beaches, as Palma-El Arenal, we observed: 1) A decrease of epiphytic foraminifers of large cycles (Peneroplidae and Hauerinidae). 2) Permanence of Cibicididae and decrease of Rosalinidae (Discorbidae) and 3) Irregular presence of Eponidae, Palanulinidae, Uvigerinidae and Vaginulinidae, other's infralitoral together with anomalous plankton presence. They indicated that the biofacies are outside of natural food from these coastal sedimentation.

**Keywords:** *Foraminifera, Balearic Sea, beach, biogenic components, sediments.*

Guillem MATEU, Guillem MATEU-VICENS, Guillem NADAL, Beatriz RODRÍGUEZ, Maria del Mar GIL y Laura CELIÀ; *Laboratori de Micropaleontologia. Departament Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Ctra Valldemossa, km 7,5. 07071. Palma de Mallorca. e-mail: guillem.mateu@terra.es y Guillem MATEU-VICENS y Laura CELIÀ Museu Balear de Ciències Naturals. Ctra Palma-Port de Sóller, Km 30. 07100. Sóller.*

*Recepció del manuscrit: 18-novembre-03; revisió acceptada: 30-desembre-03*

## Introducción

El estudio sistemático y ecológico de los foraminíferos de los sedimentos litorales del Mar Balear se inició principalmente con el trabajo de Colom (1942) en la Bahía de Palma, ampliándose más tarde al litoral mallorquín y catalán (Mateu, 1970).

La aplicación al medio coralígeno (Mateu *et al.*, 1986), posidónica (Abril, 1993) y psámmico (Moreiro, 1993), y el desarrollo de tales estudios en el litoral ibérico levantino (García Forner, 1997; Alberola, 1997; Blázquez, 2001), bético (Sánchez Ariza, 1979; Villanueva, 1994), galaico (Planells, 1996) y vasco (Cearreta, 1986;

Pascual, 1984) hicieron que la aplicación de los foraminíferos que iniciara Colom (1942; 1952) fuera más interdisciplinaria abarcando los campos de la geología, la biología y la oceanografía.

Trabajos en curso sobre los foraminíferos planctónicos y bentónicos de los flujos orgánicos en la plataforma continental balear, con sus registros geosísmicos y eventos glacioeustáticos (Mateu *et al.*, 2001a) han permitido engrosar la lista de especies cuaternarias del Mar Balear, pasando de 368 (Mateu *et al.*, 1984) a 531 especies (Mateu *et al.*, en prensa).

El elemento biogénico de las playas abarca múltiples taxones animales y vegetales con endo o exoesqueletos micropaleontológicos o frag-



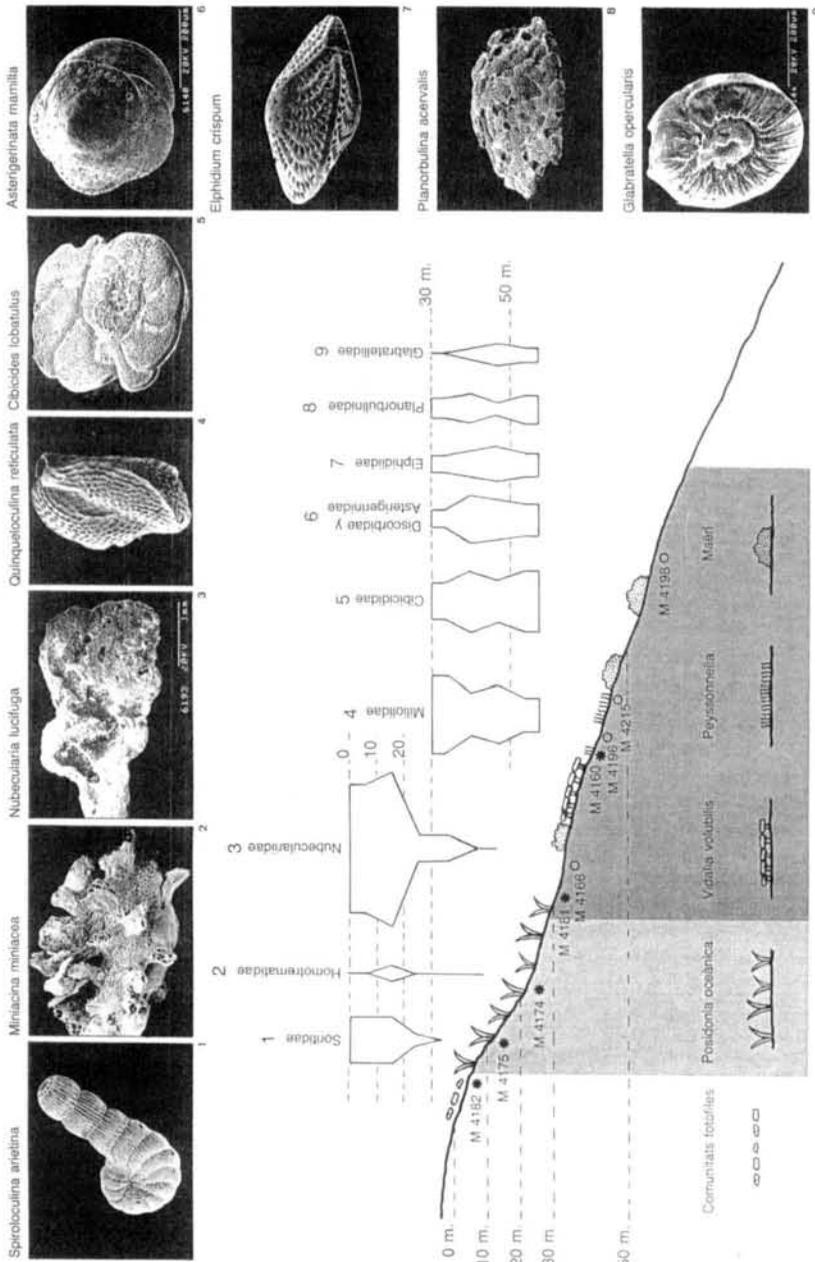
Fig. 1. Esquema morfoestructural de la isla de Mallorca, con las principales cuencas sedimentarias, las fallas más importantes y la localización de las playas objeto de este estudio (según González-Hernández et al., 2001).

Fig. 1. Morpho-structural scheme of the island of Majorca, with the main sedimentary basin, the main faults and the location of the beaches under study (by González-Hernández et al. 2001).

mentos más o menos mineralizados de organismos de mayor tamaño como los moluscos. Entre los organismos de menor tamaño figuran briozos, ostrácodos, microalgas calcáreas, escleritos, púas y sobre todo foraminíferos, cuya importancia por su biodiversidad, óptima indicación ecológica y su amplia aplicación en bioestratigrafía y paleoclimatología, ha hecho de estos protozoos marinos un tema de máxima actualidad en la oceanografía.

En geomorfología marina se da el nombre de playa a toda orilla más o menos plana, cubierta de arena o grava, de perfil cóncavo y pendiente suave, que se extiende más allá de la bajamar y hasta la cimatopausa o nivel alcanzado por la acción del oleaje de tempestad. Grandes depósitos de arena se acumulan en la playa y su contenido mineral (lilotácies), sobre todo en Mallorca, no suele superar a la parte biológica (biofacies). Esta es generalmente la aportación de los ecosis-

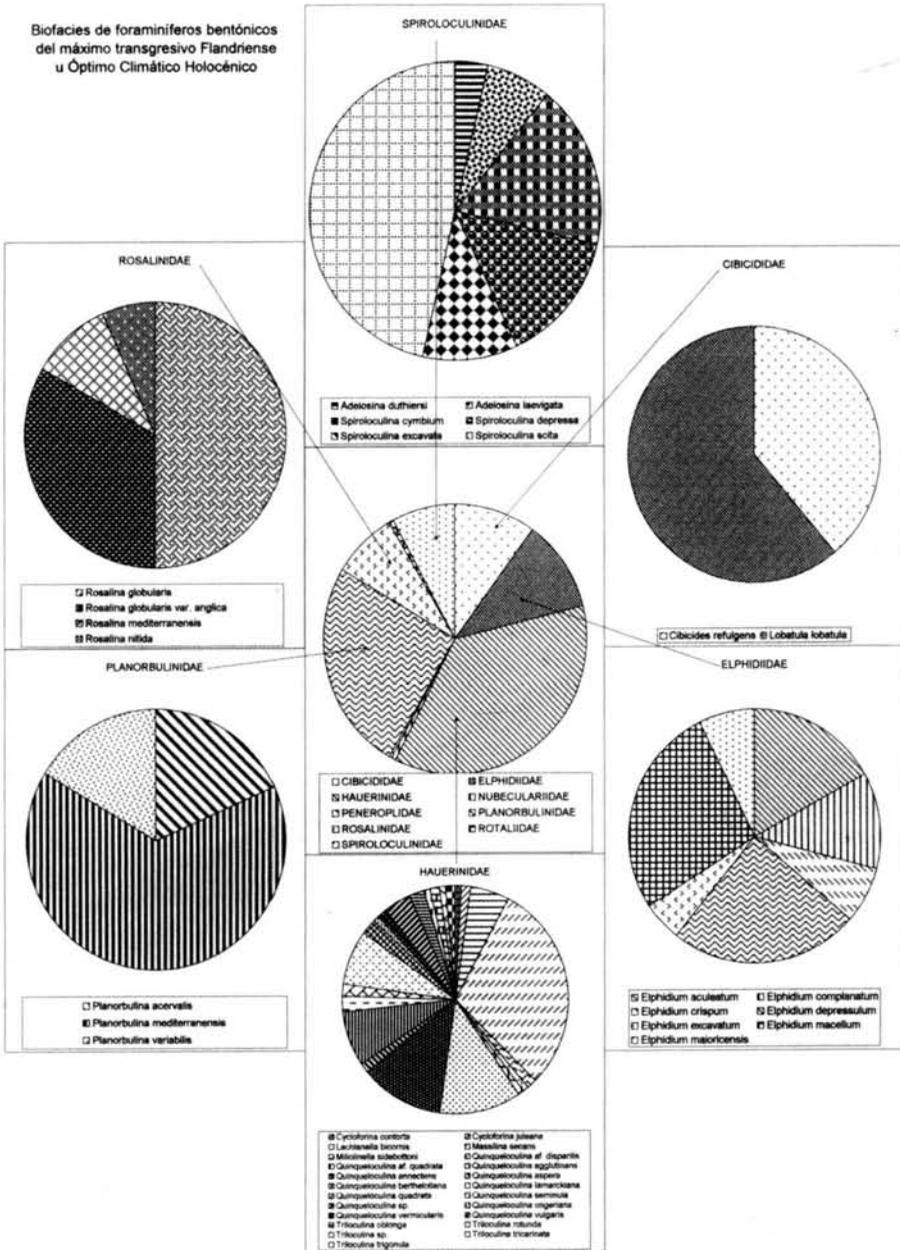
temas infralitorales, cuya producción referida a los foraminíferos, y aplicándose los morfotipos de Langer (1993) nos permite relacionar la áreas de producción (alga, *Posidonia*, arena, sustrato duro, etc.) con los depósitos sedimentarios de la playa. Y a la vez seguir el vehículo hidrodinámico de las corrientes marinas litorales, entre áreas de producción y zonas de acumulación de foraminíferos en un modelo natural de equilibrio de playa, que queda notablemente alterado sobre todo después de los devastadores temporales que suelen desplazar los sedimentos playeros a cubetas infra-circalitorales contiguas y hasta a zonas más profundas, sin olvidar que la sustitución humana de las habituales arenas del infralitoral próximo por sedimentos algales del coralígeno y del mairl del infralitoral distal no sólo destruye las biocenosis autóctonas sino que, como demostraremos en este trabajo, rompe el natural equilibrio biogénico de las playas.



**Fig. 2.** Esquema de la distribución batimétrica de los principales ecosistemas infralitorales productores de foraminíferos bentónicos de las playas de Baleares (según Mateu *et al.*, 1993).

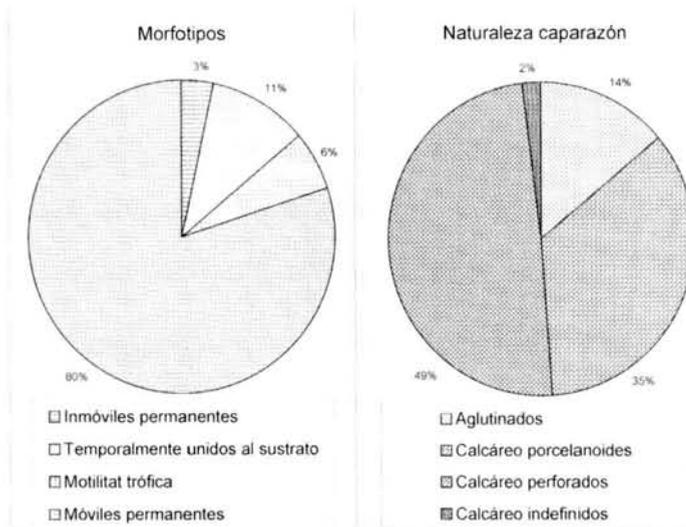
**Fig. 2.** Scheme of the bathymetric distribution of the main infralittoral ecosystems producing benthonic foraminifera in Balearic island beach (by Mateu *et al.*, 1993).

Reproducción de la revista "Boll. Soc. Hist. Nat. Balears", número 46, año 2003, páginas 97-100.



**Fig. 3.** Biofacies de foraminíferos bentónicos de las playas del Óptimo Climático Holoceno de hace unos 6.500 años (según de Mateu et al., 2001).

**Fig. 3.** Benthonic foraminifera biofacies of the Holocene Climatic Optimum beaches dating back 6,500 years (Mateu et al., 2001).



**Fig. 4.** Distribución de los foraminíferos bentónicos del Mar Balear, según morfotipos y naturaleza de caparazones.

**Fig. 4.** *Distribution of benthonic foraminifera in the Balearic Sea, according to morpho-types and the nature of shells.*

## Área de estudio

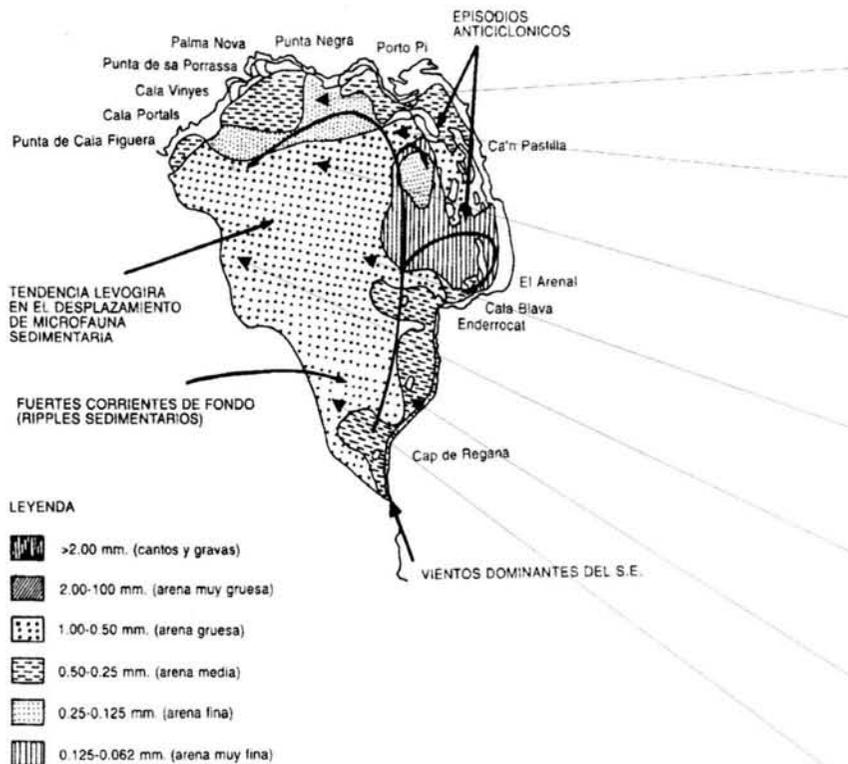
En Mallorca hay tres playas (Palma-s'Arenal, Es Trenc y Pollença-Alcúdia) situadas respectivamente en los bordes de las cuencas suroccidentales y nororientales de la Isla (Fig. 1). Los complejos arrecifales finimioecénicos (Pomar *et al.*, 1983) separan, formando una costa acantilada, la Playa de Palma-S'Arenal de la de Es Trenc, dentro de la disposición estructural de fallas normales de Palma, Enderrocat y Felanitx-Sant Jordi (Del Olmo y Alvaro, 1984; Díaz del Río *et al.*, 1987). Tales fracturas distensivas han ido controlando la evolución morfológica del litoral meridional de Mallorca (González-Hernández *et al.*, 2001), mientras las playas nororientales (Alcúdia y Pollença) ocuparían el último de los grabens o fosas tectónicas que, de forma más o menos escalonada, constituían el brazo de mar mio-pliocénico que atravesaba la Isla y que ahora permanece colmatado por materiales aluviales, generalmente, cuaternarios.

Según González-Hernández *et al.* (2001) las cuencas aluviales de Palma, Campos y Sa Pobla-

Alcúdia-Pollença presentan unas características más o menos semejantes ya que: a) las barreras geográficas de origen tectónico han favorecido un apilamiento de sistemas dunares, etc., b) el endorreísmo continental y las surgencias locales han favorecido, en su nivel supradidual la existencia de albuferas y marismas; y c) la orientación NW-SE de sus playas, respecto de los vientos dominantes, ha condicionado unos procesos hidrodinámicos y de deriva litoral.

Este último aspecto ha sido ampliamente estudiado, comparando las áreas de producción de foraminíferos y sus respectivos acúmulos *post mortem* de los mismos. Así los trabajos sobre la bahía de Palma (Mateu, 1989; Díaz del Río *et al.*, 1993), Es Trenc o bahía de Campos (Moreiro, 1993) y la bahía de Pollença (Mateu *et al.*, 1993), ponen de manifiesto que las corrientes de deriva litoral de tendencia levógira condicionan la distribución sedimentológica de las playas. Dicha tendencia, es motivada en Pollença y Alcúdia por los vientos de Tramuntana, y en Palma y s'Arenal y Es Trenc por los vientos meridionales dominantes (Werner *et al.*, 1993; Mateu, 1998).

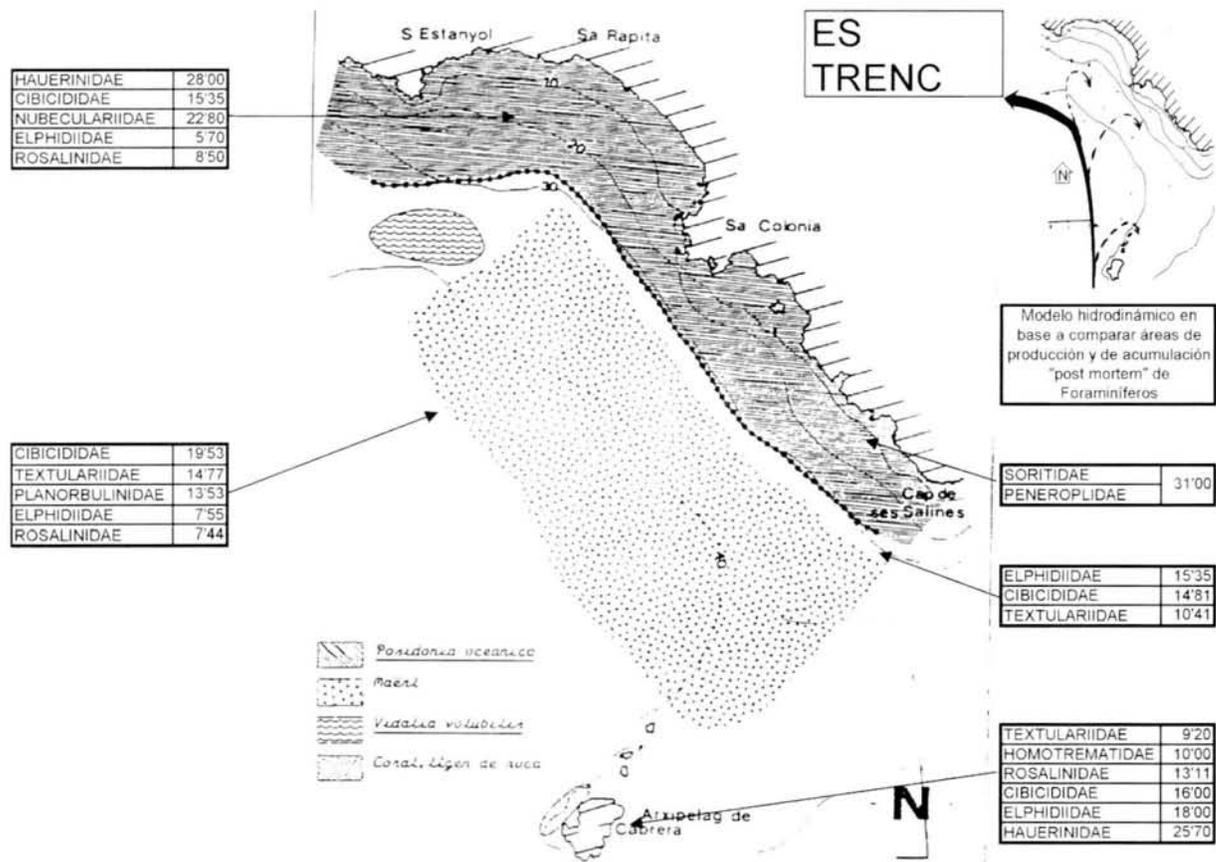
En base a múltiples análisis micropaleontol-



<p><b>T10 – Profundidad 22 mts. – Potencia 40 cm.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Constancia Textulariidae</li> <li>2.- Constancia Elphidiidae</li> <li>3.- Eclósión Hauerinidae (Miliolidae)</li> <li>4.- Inputs Nubeculariidae</li> <li>5.- Escasos Planorbulinidae</li> <li>6.- Suplantación de Nubecularidae por Hauerinidae (Miliolidae)</li> </ol>
<p><b>T2 – Profundidad 20 mts. – Potencia 12 cm.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Constancia Planorbulinidae</li> <li>2.- Inputs Nubeculariidae</li> <li>3.- Inputs Elphidiidae</li> <li>4.- Abundancia y constancia Rosalinidae (Discorbidae)</li> <li>5.- Inputs Cibicididae</li> </ol>
<p><b>ST2 – Profundidad 40 mts. – Potencia 75 cm.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Constancia Glabratellidae</li> <li>2.- Constancia Elphidiidae</li> <li>3.- Disminución Textulariidae</li> <li>4.- Inputs Rosalinidae (Discorbidae)</li> <li>5.- Aumenta Hauerinidae (miliolidae)</li> </ol>
<p><b>ST7B – Profundidad 35 mts. – Potencia 30 cm.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Disminución Glabratellidae</li> <li>2.- Eclósión Rosalinidae (Discorbidae)</li> <li>3.- Inputs Cibicididae</li> <li>4.- Disminución Elphidiidae</li> <li>5.- Desaparición Textulariidae</li> </ol>
<p><b>T6 – Profundidad 55 mts. – Potencia 10 cm.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Aumenta Nubeculariidae</li> <li>2.- Disminuye Textulariidae</li> <li>3.- Suplantación de Cibicididae por Hauerinidae (Miliolidae)</li> <li>4.- Aparición final de Rosalinidae (Discorbidae)</li> <li>5.- Constancia Elphidiidae</li> </ol>
<p><b>ST14 – Profundidad 20 mts. – Potencia 27 cm.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Constancia Textulariidae</li> <li>2.- Inputs Peneroplidae y Soritidae</li> <li>3.- Constancia Hauerinidae (Miliolidae)</li> </ol>

**Fig. 5.** Bahía de Palma - s'Arenal con su modelo hidrodinámico en base a la granulometría de sedimentos y origen y evolución de sus biofacies de foraminíferos infralitorales regeneradores naturales de la playa (según de Mateu, 1998, más datos inéditos).

**Fig. 5.** Bay of Palma - S'Arenal with its hydro-dynamic model based on the granularity of sediments, and the origin and evolution of natural regenerating infralittoral foraminifera biofacies on the beach (Mateu 1998, most recent data).



**Fig. 6.** Ecosistemas infracircularales de Es Trenc con su producción de foraminíferos de playa y la corriente de deriva litoral levógira con epidódios anticiclónicos dextrógiros (engolidors) deducidos de los acúmulos "post mortem" de foraminíferos (Fornós, 1987; Moreiro, 1993 y datos propios).

**Fig. 6.** Infracircularlittoral ecosystem of Es Trenc with production of beach foraminifera and the levogira littoral drift current with dextral anticyclone episodes deduced from foraminifera post-mortem accumulations. (Fornós 1987, Moreiro 1993 and own data)

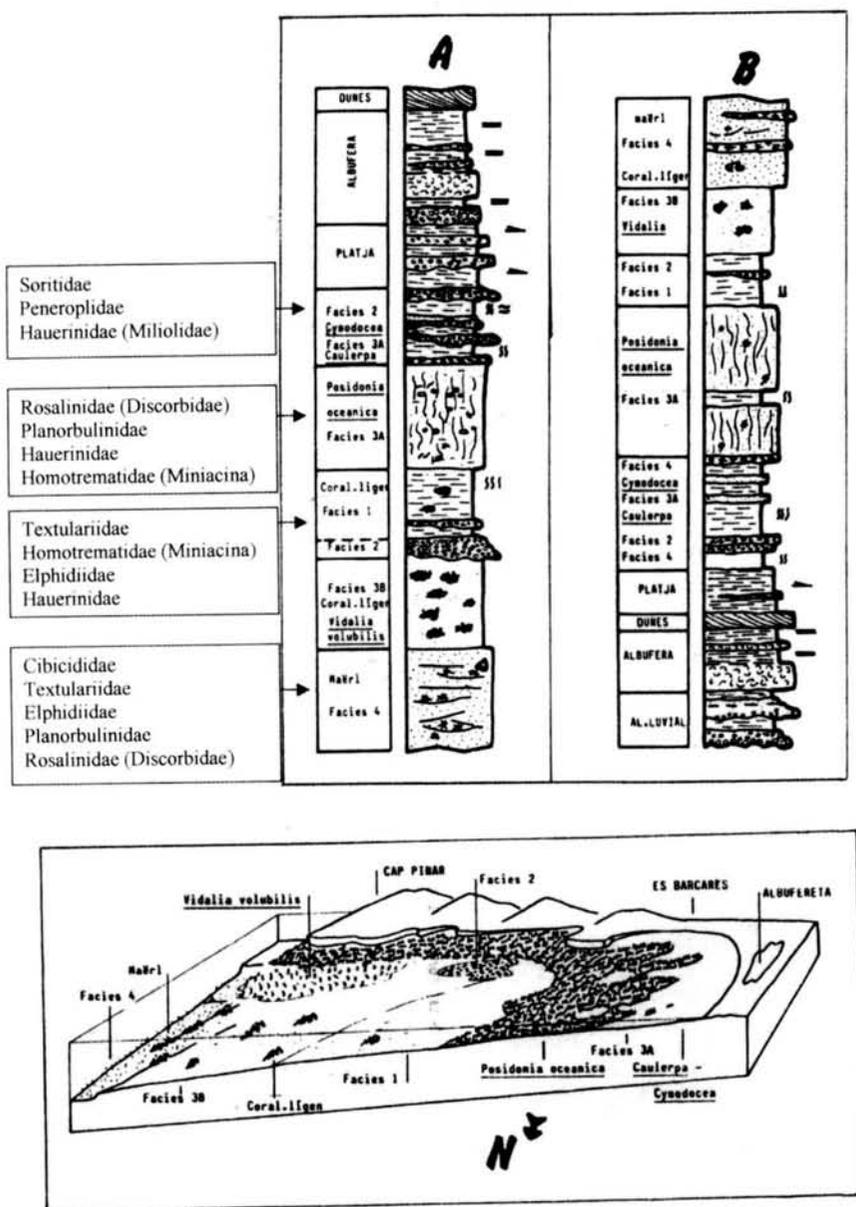


Fig. 7. Secuencias deposicionales de colmatación (A) y transgresión (B) de los sedimentos de la bahía de Pollença con los diversos ecosistemas productores de foraminíferos bentónicos de playa (según Fornós, 1987 y datos micropaleontológicos propios).

Fig. 7. Silting and transgression deposit sequences of sediments in the bay of Pollença with the range of ecosystems producing beach benthic foraminifera (Fornós 1987 and own micropaleontology data).

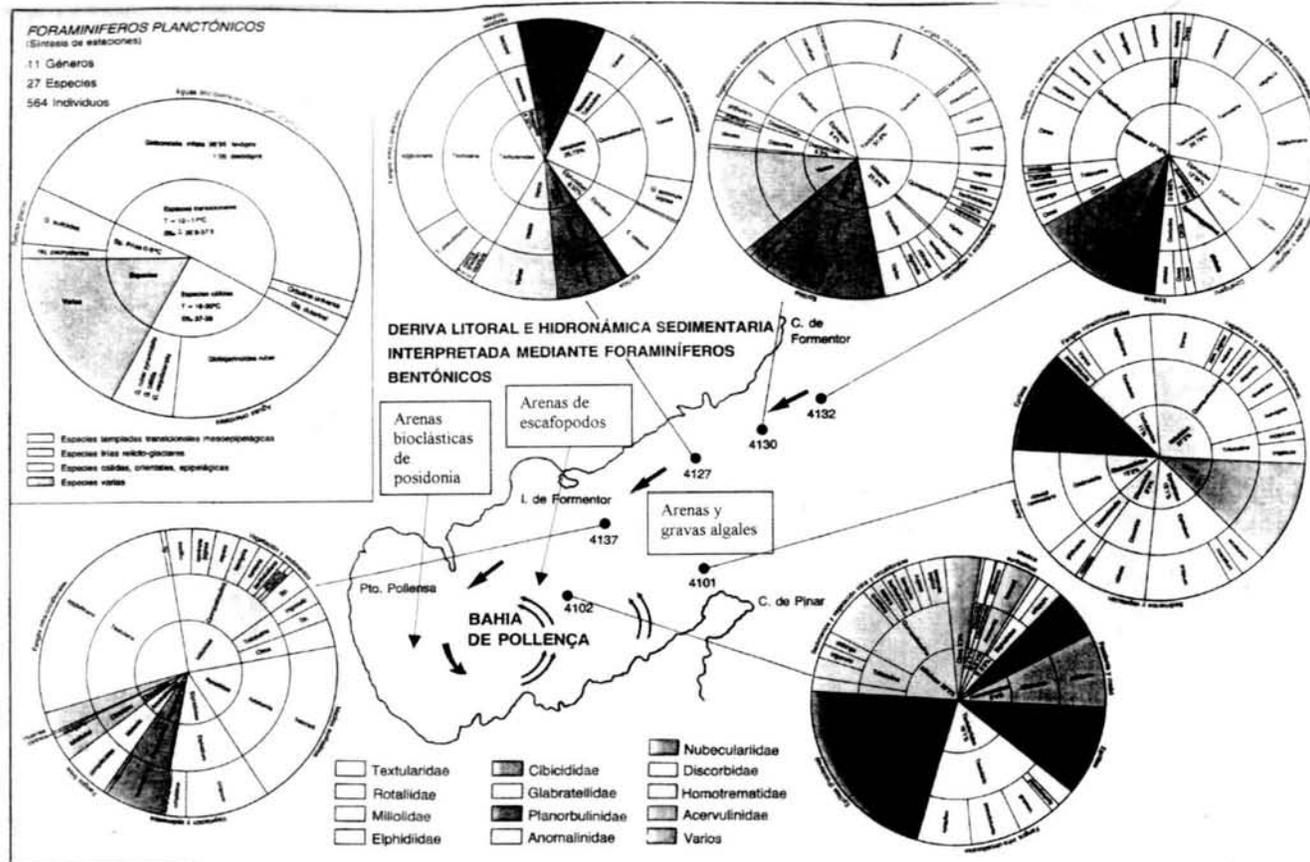


Fig. 8. Bahía de Pollença: biofacies de la microfauna del coralígeno a profundidades de 40 y 90 m (Mateu y Gazá, 1986).  
Fig. 8. Bay of Pollença: Biofacies of microfauna of the coral at depths of 40 and 90 metres (Mateu and Gazá 1986).

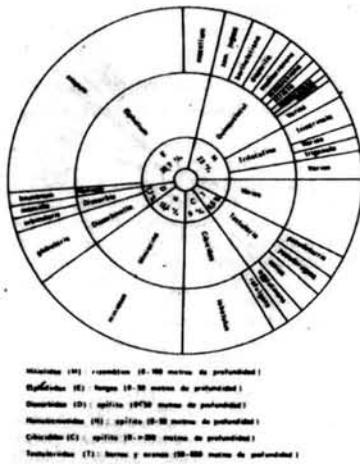


Fig. 9A Foraminíferos de Punta del Vent (PV), con los biotopos y profundidades en que suelen vivir dichos protozoos.

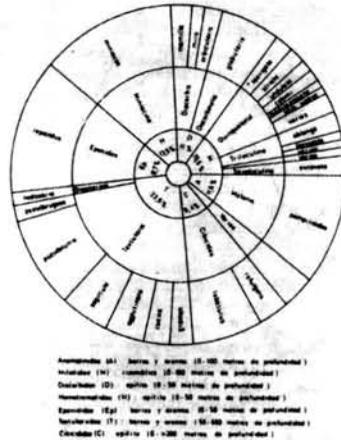


Fig. 9B Foraminíferos del Canal de Menorca, CM1, con los biotopos y profundidades en que suelen vivir dichos protozoos.

Fig. 9. Biofacies de s'Arenal con playa regenerada artificialmente (A) versus Es Trenc con playas no alteradas por el hombre.  
 Fig. 9. Biofacies de S'Arenal with artificially regenerated beach (A) versus Es Trenc with beaches not altered by man.

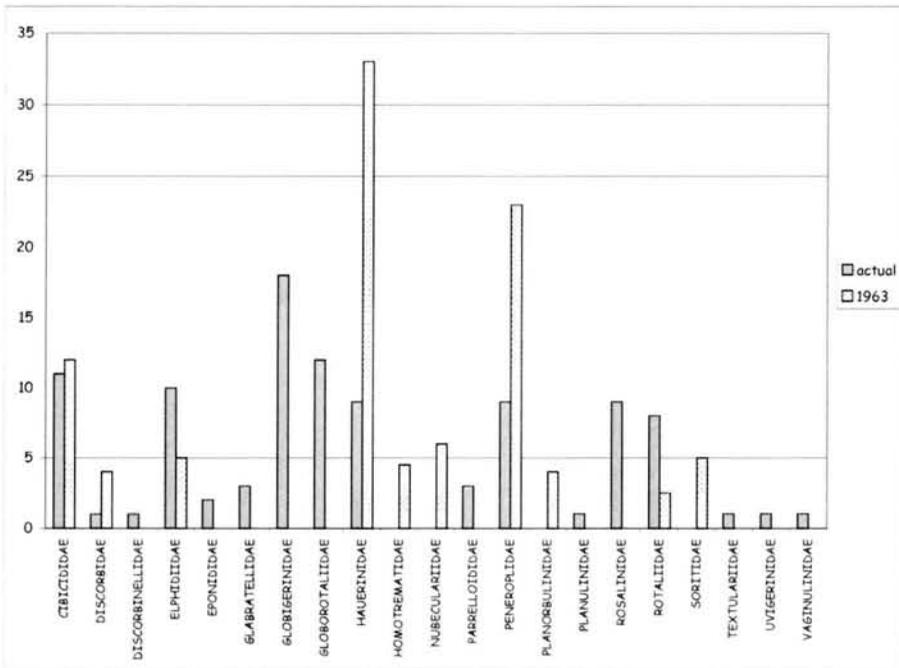
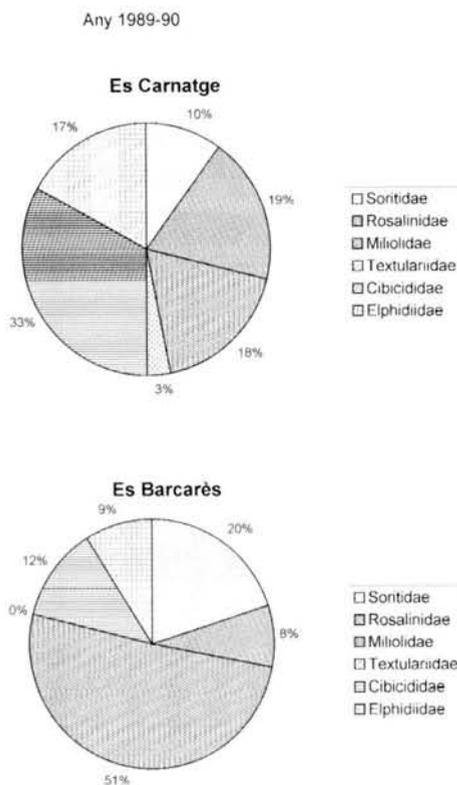


Fig. 10. Diagrama micropaleontológico con las familias de foraminíferos de la playa de Palma - s'Arenal, en su estado natural (1963) y en su situación actual, después de haber sufrido dos regeneraciones.  
 Fig. 10. Micropaleontology diagram of foraminifera families in the beach of Palma S'Arenal in their natural state (1963) and in their current situation, after two regenerations.



**Fig. II.** Dos biofacies afines, Es Carnatge y El Barcarès, de características locales, pradera mixta y posidonia, que ya se detectan respectivamente en las playas fósiles y contiguas del Cuaternario (Eutirreniense) y del máximo Flandriense u Óptimo Climático Holocénico.

**Fig. II.** Two similar biofacies in Es Carnatge and El Barcarès, with local characteristics, mixed posidonia meadow. Fossils have been detected in beaches from the Quaternary in the former and from the maximum Flandriense or Holocene Climatic Optimum.

lógicos, parecen darse episodios locales de carácter anticiclónico que acumulan sedimentos heterométricos y de origen diverso que, en Palma-s'Arenal, coinciden con áreas de colmatación de bocanas y espigones artificiales y en Es Trenc parecen coincidir con los llamados "engolidors" o sumideros. Aquí la hidrodinámica acumula especies procedentes de los diversos biotopos infralitorales.

## Características mineralógicas y morfológicas de los Foraminíferos del Mar Balear

### *Naturaleza de caparazones*

Los foraminíferos, como protozoos plasmódromos carecen de cilios y flagelos y su protoplasma interno se relaciona con el medio marino mediante prolongaciones temporales o pseudópodos y filópodos que, entran y salen respectivamente por ósculos y forámenes de sus caparazones. Estas envolturas o exoesqueletos son típicos de cada género y especie y su plasticidad morfológica es indicadora de secuencias bioestratigráficas y eventos paleoceanográficos. La naturaleza mineralógica de dichos caparazones y su microestructura nos permiten relacionar los ecosistemas productores de foraminíferos con la distribución post mortem de los mismos a través de los procesos tafocénóticos (Blanc-Vernet, 1969) y diagenéticos propios de la formación de rocas orgánicas, en cuyo origen deposicional hay que distinguir bien entre las áreas de producción y las de acumulación biogénicas (Davaud y Septfontaine, 1995).

Haq y Boersma (1978) dividen los foraminíferos en aglutinados, calcáreos y microgranulares, siendo estos últimos exclusivos del Paleozoico. Boltowskoy (1965) los divide en quitinosos, aglutinados, calcáreos y silíceos y Colom (1946a) en quitinosos, aglutinados o arenáceos y calizos. Posteriores estudios ultraestructurales mediante microsonda y microscopía electrónica nos permiten conocer mejor la naturaleza de los foraminíferos que Bignot (1988) propone distinguir entre: 1) Aglutinados, formados por granos minerales, bioclastos y otros organismos, cementados por quitina integrada por tectina con proteínas y polisacáridos; 2) Calcáreos, calcíticos o aragoníticos que, según el tamaño y grado de ordenación de sus estructuras cristalinas, pueden dividirse en porcelanoides que tienen los microcristales desordenados y hialinos o perforados que, a la vez podrán ser fibroso-radiales si los microcristales son ordenados y granulares si los microcristales están desordenados.

En este trabajo se conserva la división tradicional en foraminíferos aglutinados (A), calcá-

reo-perforados (Cpf) y calcáreo-porcelanoides (Cpo), dado que la clasificación, en general, se ha hecho con microscopía óptica y que esta triple división de caparazones es muy útil y suficiente para diferenciar biofacies típicas de plataformas carbonatadas.

De las 531 especies conocidas hasta hoy, del Mar Balear, el 49% son foraminíferos calcáreo-perforados (Cpf), 35% calcáreo-porcelanoides (Cpo), de color lechoso, lisos e imperforados, 14% aglutinados (A) y un 2% de naturaleza calcárea indefinida (C) (Fig. 4). En 1984 cuando publicamos la lista de foraminíferos actuales del mar Balear (Mateu et al., 1984) los presentamos como indicadores de contaminación litoral y de alteración del ecosistema posidonícola. Casi 20 años después, su aplicación al glacioeustatismo y paleoclimatología mediterráneos, nos ha permitido estudiarlos en los flujos orgánicos de la plataforma-talud sur balear, con un 16,52% de formas planctónicas y un 83,96% de individuos bentónicos, bastantes de ellos infralitorales que indican que *post mortem* los foraminíferos quedan sujetos a procesos deslizantes y gravitacionales.

#### *Morfotipos de Langer (1993) aplicados a los foraminíferos del mar Balear*

Teniendo en cuenta microhábitats, morfología y etología, con sus estrategias para subsistir, pueden agruparse los foraminíferos en los siguientes morfotipos (Fig. 4):

A. *Inmóviles permanentes*, que presentan formas, incrustantes, planispiraladas, con abertura marginal o intermarginal, asociados a una gran actividad algal y bacteriana. Entre ellos abundan Planorbulinidae, Nubecularidae y Homotrematidae, cuyas áreas de producción suelen ser praderas de *Posidonia*, sobre todo en su nivel epifoliar, como también los ecosistemas mixtos de *Cymodocea*, *Caulerpa*, *Pseudolithophyllum*, etc. De las 531 especies conocidas del Mar Balear un 3,24% pertenecen al morfotipo A.

B. *Temporalmente unidos al sustrato*. Predominan las formas trocospiraladas y que se mueven por red pseudopodial, alimentándose sobre todo de diatomeas. De más a menos abundantes figuran Cibicididae, Rotaliidae (*Ammonia*), Rosalini-

dae, Discorbidae, Glabratellidae y Acervulinidae. Sus fuentes biogénicas o áreas de producción son: *Peyssonnelia*, *Ectocarpus*, *Cutleria*, *Posidonia*, etc. Corresponden a este morfotipo B el 10,73% de los foraminíferos del Mar Balear.

C. *Permanentemente móviles con motilidad trófica*. Emiten pseudópodos que captan alimentos en suspensión. De forma más o menos planispiralada se mantienen entre hojas algales (*Fucus*, *Dictyocteria*, *Cutleria*, *Pseudolithophyllum*, etc.) formando mallas filopodiales típicas de Elphidiidae y Eponidae. El morfotipo C agrupa el 6,07% de los foraminíferos del Mar Balear.

D. *Permanentemente móviles*. Suelen ser foraminíferos calcáreo-porcelanoides o aglutinados, con aberturas terminales y morfología más o menos fusiforme. Son omnívoros y suelen reproducirse también en sedimentos. Las familias más importantes de más a menos, son Hauerinidae o Miliolidae, Textulariidae, Spiroloculinidae, Cassidulinidae, Uvigerinidae y Nonionidae. Son abundantes en ecosistemas algales de *Dasycladus*, *Caulerpa*, *Halopteris*, *Pseudolithophyllum*, *Ectocarpus* y *Padina*. Además, los Hauerinidae abundan entre rizomas y arenas posidonícolas. De las 531 especies cuaternarias del Mar Balear, 424 pertenecen a este morfotipo D o sea que un 79,96% de foraminíferos bentónicos son permanentemente móviles.

## Material y métodos

Para este estudio se ha servido de datos inéditos y publicados (Mateu, 1970; Mateu y Gazá, 1986, etc.) que se han comparado con los datos obtenidos en los recientes análisis de los sedimentos de las playas de Mallorca, teniendo en cuenta las regeneradas y alteradas por el hombre (s'Arenal y Pollença) y las que han seguido manteniendo su equilibrio mediante los procesos de mantenimiento dictados por el propio ecosistema, como ocurre con la conocida Platja d'Es Trenc.

Las muestras de comparación han sido recogidas directamente en las diferentes playas estudiadas, y tamizadas en el laboratorio, obteniendo diferentes fracciones en función del diámetro de poro del tamiz (500, 250 y 125 micrómetros).

Las fracciones de 500 y 250 micrómetros han sido analizadas, separando el contenido litogénico del biogénico, y montando los Foraminíferos en placas que han sido almacenadas en la colección del Laboratorio de Micropaleontología de la UIB.

Los resultados obtenidos del análisis de dichas muestras han sido comparados con los datos almacenados durante los últimos 40 años, provenientes de diferentes campañas oceanográficas realizadas en el Canal de Menorca, en la Bahía de Palma y en el litoral sur de Mallorca (Colònia de Sant Jordi-Cabrera).

### **Biofacies de las playas de Palma-S'Arenal, Es Trenc (Campos) y Pollença-El Barcarès**

Bajo el punto de vista micropaleontológico hay una biofacies ancestral del Mioceno arrecifal (Mateu, 1991) y posidonícola (Colom, 1946b) de la que procederían, a grandes rasgos, los Foraminíferos actuales de las playas de Baleares. Siempre teniendo en cuenta que la evolución climática y geográfica del Mediterráneo ha condicionado la pervivencia de determinadas especies de foraminíferos más cosmopolitas mientras ciertas familias arrecifales (*Amphisteginidae*) habrían desaparecido, al menos del Mediterráneo occidental, durante el Plioceno superior. A medida que se fue continentalizando el Mediterráneo los macroforaminíferos arrecifales (*Heterosteginidae*, *Amphisteginidae*), excepto determinados soritáceos (*Peneroplis*, *Amphisorus*), desaparecieron de las playas, cuyos foraminíferos hay que relacionar con las biofacies pliocuaternarias, sobre todo del óptimo Flandriense (Fig. 3), que son claro exponente de las biocenosis infra-circalitorales actuales.

#### **Platja de Palma - S'Arenal** (Figs. 1 y 5)

Objeto de estudios sedimentarios desde principios del siglo pasado (De Buen y Lozano, 1916) y micropaleontológicos (Colom, 1942) basados en las mismas muestras, fue en la década de los 80, cuando se realizó un amplio estudio

geosísmico, sedimentológico y micropaleontológico de dicha zona del litoral, con el interesante hallazgo de aquellos paleocauces de la "Gran Balear" de la última Gran Glaciación würmiense (Mateu, 1989; Díaz del Río et al., 1993; Gazá, 1988; Mateu *et al.*, 1985, etc.), factor condicionante de la evolución de los ecosistemas infracalitorales del Mar Balear y de sus depósitos sedimentarios litorales.

Para comprender los ecosistemas infralitorales, regeneradores naturales de la Playa de Palma - S'Arenal y la incidencia humana sobre los mismos podríamos hacerlo teniendo en cuenta todos los grupos animales o vegetales que dejan rastro micropaleontológico en sus arenas. Así briozoos, ostrácodos, micromoluscos, fragmentos algales, etc. pero aquí nos fijamos sólo en los foraminíferos, tanto a nivel de familias, como de género, especie, subespecie, morfotipo, naturaleza de caparazones, ecosistemas de producción y áreas naturales de deposición *post mortem*, siguiendo la hidrodinámica sedimentaria y los procesos tafocenóticos (Fig. 5).

Cuando comparamos los datos de 1963 con los obtenidos en 2002, después de la regeneración artificial de la Playa de Palma - s'Arenal se observa lo siguiente (Fig. 10):

a) Que las especies de ciclo biológico largo, o sea de 1 a 2 años, como son *Hauerinidae* (*Miliolidae*) y *Peneroplidae-Soritidae*, en los últimos 30 años, o sea desde 1963 al 2003, se han visto reducidas, casi a una cuarta parte los primeros y a más de la mitad los segundos, mientras las familias de ciclo biológico corto, o sea *Cibicididae* y *Discorbidae*, las primeras apenas han variado y las segundas han sufrido una drástica reducción. *Elphidiidae* y *Rotaliidae* (*Ammonia*) han aumentado notablemente.

b) De forma anormal y en cantidad excesiva en la playa regenerada aparecen foraminíferos planctónicos (*Globigerinidae* y *Globorotaliidae*) ocupando un 30% del total de foraminíferos de la Playa del Arenal (Fig. 10), cosa que no aparece en la playa natural de Es Trenc (Fig. 9). La paulatina reducción de foraminíferos porcelanoides (*Hauerinidae*, *Peneroplidae*, *Nuberculariidae*)

propios del infralitoral proximal, con comunidades mixtas y praderas de posidonia (Fig. 11), habrían sido suplantados de forma artificial por especies más propias del infralitoral más distal con especies propias del mäerl, donde los Textulariidae y hasta formas más filobatiales como los Uvigerinidae, Vaginulinidae, Eponidae, Planulinidae, etc., aparecen ahora en la playa regenerada artificialmente cuando en la década de los 60 eran ausentes.

c) Comparando las biofacies de foraminíferos, cuyo estudio empezamos a inicios de 1960 en el litoral catalano-balear, vemos que entonces la playa en su contenido biológico, a veces, alcanzaba el 70% del total de los sedimentos, procedentes del nivel batimétrico de entre los 0-40 m de profundidad. Aquí viven *Dasycladus*, *Ectocarpus*, *Posidonia*, etc. que forman ecosistemas ricos en carbonato, abundantes en especies estenotermas de macroforaminíferos simbioses con microalgas biofotosintéticas que favorecen la calcificación de los mismos caparzones (Hallock, 2000) de Peneroplidae y Soritidae. Estos *Soritacea*, con la filogénesis de Gudmundsson (1994), la distribución cenocénica de Hohenger (2000) y la filogénesis molecular de Holzmann et al. (2001) son macroforaminíferos abundantes en las playas y, a veces, acantonados en zonas como Es Carnatge des Coll d'en Rebas, en el litoral de Palma o en El Barcarès de Pollença (Fig. 11), pero, en general, una vez destruido el equilibrio natural por regeneración artificial, parecen tener cierta dificultad de reimplantación tales macroforaminíferos de ciclo largo frente a otras formas calcáreo-perforadas y de ciclo corto como Rosalinidae, Planorbuliniidae y Cibicididae. Estas son formas cuyo ciclo es de menos de 6 meses, de desarrollo generalmente epifoliar, sobre todo las dos primeras, adaptadas en su reproducción a la caída y regeneración de las hojas de *Posidonia* cuyos aportes anuales suelen tener sus máximos foliares en primavera y otoño (Caye et al., 1983; Ribes, 1998).

#### **Platja d'es Trenc** (Figs. 1, 6 y 9)

Existe una cierta afinidad morfológica, des-

crita por Rosselló-Verger (1964), entre la Playa de Palma - s'Arenal y el tramo de costa comprendida entre Sa Ràpita y la Colonia de Sant Jordi, conocida como Sa Platja des Trenc. La identidad de sus escasos gradientes, la ausencia de cantiles y postpais alto y la presencia de dunas condicionan estas playas enmarcadas entre dunas fósiles, generalmente rissiensis mientras las dunas móviles y submóviles, avanzan, más o menos, hacia el interior donde se encuentra el Salobrar de Campos.

Posteriormente a los estudios de Rosselló-Verger (1964), las playas de Palma-s'Arenal y la d'Es Trenc han sufrido procesos de regeneración diferentes. La primera de forma artificial con gravas y arenas procedentes del infralitoral distal, y la segunda, sin alteración antrópica, ha seguido el proceso de regeneración natural de playa-duna, recientemente estudiado por Servera Nicolau (1998).

Teniendo a la vista las biofacies de foraminíferos presentes en el actual cordón litoral d'Es Trenc y relacionando las áreas de producción que van del infralitoral proximal al infralitoral distal observamos lo siguiente (Fig. 6):

a) Los primeros niveles fotófilos están ocupados por la pradera mixta de *Cymodocea* y *Caulerpa*, fuente biogénica de los foraminíferos calcáreo porcelanoides Soritidae y Peneroplidae que forman aquí el 31% del total de la microfauna de la playa y que por su abundancia le dan con los Nubecularidae y Hauerinidae (Miliolidae) aquel color blanquecino a sus arenas.

b) De los 5 a los 30-35 m de profundidad sigue la pradera de *Posidonia*, formando un ancho cinturón de unos 25 m, más o menos paralelo a la costa. Esta fanerógama marina, tanto en su nivel epifoliar como rizomático y subposidonícola, es objeto de estudio no sólo como estructura retentiva y fijadora de los sedimentos litorales sino como notable foco de producción biogénica de la misma playa. De ahí proceden los foraminíferos rizomáticos y calcáreo-porcelanoides (Miliolidae-Haurinidae, 28% y Nubeculariidae, 22,85%) como los calcáreo-perforados epifoliales (Cibicididae 15,35% y Discorbidae-Rosalini-

dae 8,55%) y psámnicos y con motilidad trófica como Elphidiidae (5,74%).

c) Entre los 30 y los 35 m de profundidad suele aparecer una franja sedimentaria que separa la pradera de *Posidonia* y el mäerl, con tafocenosis mixta procedente de ambos ecosistemas en donde abundan Elphidiidae (15,36%), Cibicididae (14,80%) y Textulariidae (10,40%).

d) Entre los 35 y los 50 y 55 m de profundidad se extiende el mäerl, con litofacies de arena gruesa, pobre en aporte terrígeno y ricos en biofacies de macroforaminíferos entre detritus biogénico de *Melobesia*, *Lithothamnium* y otras coralínáceas y rodofíceas, formando robustos ecosistemas, ante corrientes vivas y constantes (Perès 1961). Las principales familias de foraminíferos del mäerl de Es Trenc son: Cibicididae (19,53%), Textulariidae (14,47%), Planorbulínidae (13,53%), Elphidiidae (7,55%), y Discorbidae (7,44%) (Moreiro 1993). Generalmente, el mäerl puede alcanzar en el litoral balear zonas esciáfilas más profundas (Mateu y Gazá, 1986) con gran abundancia de Textulariidae y Homotrematidae, con morfotipo D de Langer (1993) o sea móviles permanentes las primeras y sésiles o inmóviles permanentes (morfotipo A) las segundas. Refiriéndose a la bahía de Palma Colom (1942) contraponen el *Textularietum agglutinans-candeianae*, típico de fondos detriticos y de arena gruesa del infralitoral distal como el mäerl al *Planorbulinatum mediterraneae* propio de las praderas de *Posidonia* del infralitoral proximal.

e) El coralígeno, ampliamente estudiado en su estructura y ecología por Gili y Ros (1984) y en su micropaleontología balear por Mateu y Gazá (1986) (Fig. 8), está formado por concreciones orgánicas de materiales biodetríticos que contienen restos de *Peysommellia squamosa*, *Pseudolithophillum*, poliquetos, esponjas y más de 86 especies de foraminíferos y unas 16 formas de coccolitofóridos. No sólo suelen formar ecosistemas muy aptos para el desarrollo del *Corallium rubrum*, sino que los recientes estudios de Sartoretto *et al.* (1996) sobre la distribución del coralígeno en cantiles, repisas y oquedades esciáfilas del infra-circalitoral nos permiten seguir la evolución glacio-eustática del Mediterráneo holocénico.

Frente a la Platja de Es Trenc, según Fornós (1987), el coralígeno ocupa áreas del N y NW del Archipiélago de Cabrera, con una biofacies de foraminíferos integrada, aproximadamente por: Miliolidae (25,7%), Elphidiidae (18%), Cibicididae (16%), Rosalinidae (19%), Textulariidae (9,2%) y Homotrematidae (10%) (Moreiro, 1993) (Fig. 6).

Tal ecosistema del coralígeno, productor del *C. rubrum* y de otras muchas especies estudiadas por Gili y Ros (1984) y Templado *et al.* (1986) se extiende en el Mediterráneo occidental entre los 15 y los 80 y hasta 90 m de profundidad, habiendo alcanzado los 120 m en aguas más cálidas y transparentes del Mediterráneo oriental, donde todavía viven especies relictas de foraminíferos (*Amphistegina*, *Sorites*), arrecifales en su origen y fitotropicales, que se refugiaron en la zona infralitoral, desde Creta a las costas turcas (Blanc-Vernet, 1969).

Hay una cierta afinidad micropaleontológica entre el mäerl y el coralígeno (Fig. 8). Por lo menos en ambos destaca el *Textularietum* de Colom (1942) integrado por foraminíferos aglutinados, móviles permanentes, que apenas alcanzan el medio posidonícola como podemos observar en la biofacies de la Platja des Trenc (Fig. 6) donde dominan las formas calcáreo-porcelanoides (Peneroplidae 31% y Hauerinidae o Miliolidae 28%), acompañados de los calcáreo-perforados (Cibicididae 18%, Elphidiidae 16%, Rotaliidae (*Ammonia*) 4% y Rosalinidae 2,5%), mientras las diversas especies de Textulariidae (*pseudoturris*, *gramen*, *agglutinans*, etc.) suelen no sólo abundar en el mäerl detrítico y rodofíceo, y en el coralígeno más concrecionado y esciáfilo, sino que dicho *Textularietum* también forma parte de las especies relictas y resedimentadas de la plataforma-talud balear (Colom 1964) y hasta alcanza los casi 2000 m de profundidad entre los flujos orgánicos y megaturbiditas del Émile Baudot y de la Cuenca Algero Balear (Mateu *et al.*, en prep.).

#### **Playa de Pollença y El Barcarès (Figs. 1, 7 y 9)**

La biofacies micropaleontológica de El Barcarès tiene un alto grado de afinidad con la de Es Trenc. Peneroplidae, Hauerinidae-Miliolidae y

Nubeculariidae, dominan las arenas de ambas playas. Son foraminíferos de caparazón porcelanoide, robustos y muy calcificados que dan color blanquecino a las arenas biogénicas, originadas, sobre todo, en praderas mixtas de *Cymodocea* y *Caulerpa* y en los ecosistemas posidonícolas del infralitoral proximal (Figs. 6 y 7). Sobre la playa, y dibujado por el vaivén de las olas, se forman aquellas blancas, finas y largas franjas espumosas de caparazones calcáreo-porcelanoides, mientras los calcáreo-perforados, sobre todo los epifoliales y más frágiles, aunque más abundantes en el Mar Balear, por ser más fácilmente fragmentados por el oleaje, aparecen en la playa menos abundantes que los calcáreo-porcelanoides.

Los diversos ecosistemas y facies sedimentarias de la bahía de Pollença y de El Barcarès fueron estudiados por Fornós (1987), estableciendo un modelo de secuencia deposicional que, de base a techo (Fig. 7), está integrado por mäerl, coralígeno con *Vidalia volubilis*, coralígeno, *Posidonia oceanica*, *Cymodocea* + *Caulerpa*, playa, albufera y dunas. En cada uno de estos ecosistemas hay sus foraminíferos característicos, menos en las dunas, generalmente azoicas, y en la zonas parálidas supralitorales (las albuferas) pobres en especies pero que pueden albergar individuos menos calcificados y que gozan de mayor eurihalinidad.

A nivel de familia vemos que, de más a menos, el mäerl contiene Cibicidae, Textulariidae, Elphidiidae, Planorbulinidae y Discorbidae. El coralígeno queda caracterizado por Textulariidae, Homotrematidae (*Miniacina*), Elphidiidae y Hauerinidae o Miliolidae. La pradera de *Posidonia* produce sobre todo Discorbidae, Planorbulinidae, Hauerinidae o Miliolidae y Homotrematidae y el ecosistema mixto de *Cymodocea* y *Caulerpa* es rico en Soritidae y Peneroplidae, Miliolidae o Hauerinidae y Nubeculariidae. A primera vista parece que todas estas áreas de producción protistológica tendrían que influir por igual en la sedimentación biogénica de la playa, pero el análisis de años en el litoral balear (Colom, 1942; Mateu, 1970; Mateu y Gazá, 1986; Mateu et al., 1993; Moreiro, 1993; Abril, 1993) nos permiten cuantificar el grado de incidencia de cada

uno de los ecosistemas litorales en la regeneración natural de la playa.

Así en el caso de Pollença-El Barcarès si comparamos las biofacies del coralígeno de la Punta del Vent (-40 m) y del Canal de Menorca (-90 m) (Fig. 8A y B) con las distintas biofacies obtenidas a lo largo de toda la bahía y los datos obtenidos los superponemos a los de la biofacies actual de la misma playa, observamos lo siguiente:

- a) Que la microfauna típica del coralígeno y del mäerl (*Textularietum*) no se halla representada en la franja sumergida ni en su parte subaérea de la playa de Pollença.
- b) Que a lo largo de toda la bahía, desde Cap Formentor a Cap Pinar y bordeando por el exterior la franja posidonícola tanto las arenas bioclásticas de *Posidonia*, como las que contienen escafépodos, como las gruesas y ricas en fragmentos algales del mäerl quedan tipificados por Textulariidae, Miliolidae, Homotrematidae, Elphidiidae y Glabratellidae, sobre todo hacia fuera de la bahía.
- c) Que los *Peneroplidae*, que representan más de una cuarta parte del total de foraminíferos de la misma playa, son producidos casi exclusivamente por la pradera mixta de *Cymodocea* y *Caulerpa* que no supera los 25 m de profundidad, mientras los Hauerinidae o Miliolidae que en la playa representan más de un 40%, proceden, junto con Cibicidae, Nubeculariidae, Rosalinidae, Elphidiidae y otros, de los ecosistemas de fotófilos a esciáfilos, que van sobre todo de los 30 a los 50 m de profundidad.

## Discusión y conclusiones

Las playas holocénicas de Mallorca en su contenido biológico (biofacies) reflejan los ecosistemas infralitorales psámnicos, algales y posidonícolas, propios de niveles fóticos y de sustratos blandos y duros, mientras que su contenido litológico (litofacies) responde a la litología proporcionada por la erosión de las formaciones geológicas litorales y las de aquellas áreas que,

en grado menor, aportan los sedimentos fluviales de las cuencas hidrográficas respectivas. La variación del nivel marino y las repercusiones neotectónicas postorogénicas han incidido en la forma de nuestras playas que generalmente quedan enmarcadas, tanto en s'Arenal como en Es Trenc, entre promontorios formados por calcoarenitas dunares rissiensis.

Como también los cortes transversales tanto de s'Arenal como de Es Trenc y de Pollença-Alcúdia nos ofrecen los tres tipos de morfología litoral de playa de cordón arenoso, playa de restinga-albufera y costa acantilada de erosión. Con depósitos de arenas aflorantes en las dos primeras y sumergidas en la base del acantilado litoral en el tercer tipo. Con la diferencia de que en la costa de restinga-albufera los cordones dunares eolianfíticos, de carácter regresivo separan el lagoon o albufera, de los depósitos holocénicos de playa. De ahí que al interpretar la micropaleontología de los sondeos litorales la secuencia deposicional de foraminíferos de base a techo, nos indica las características eustáticas del nivel marino y la evolución ecológica de las áreas de producción de los mismos foraminíferos presentes en la playas.

Los foraminíferos, por su morfotipo (incrustante, inmóvil, móvil-trófico y móvil permanente), por su ciclo biológico (corto de 1 a 5 meses o largo 1 a 2 años), por la naturaleza de sus caparazones (algotinado, calcáreo-porcelanoide, calcáreo-perforado), por su carácter simbiote, por el sustrato donde viven (alga, arena, *Posidonia*, coralígeno, etc.) y por la profundidad donde se reproducen las especies, suelen ser buenos indicadores del grado de regeneración natural de las playas, cuya parte biogénica a veces, alcanza más del 75% del total de sus sedimentos.

A través de estos últimos 40 años uno de los autores (G. Mateu) ha ido analizando como han ido evolucionando las poblaciones de foraminíferos de las playas de las Islas Baleares, comparando su antiguo estado natural y su posterior estado regenerado, con arenas procedentes de áreas que nada tenían que ver con la realimentación biológica de la playa. Ni por la granulometría de las arenas (Mateu, 1998) ni por las especies y número de individuos de cada una de ellas se puede aceptar la intromisión antropológica en

un proceso natural que siempre ha seguido su camino, al menos desde el óptimo climático holocénico (6500 a B.P.) (Fig. 3).

En las playas naturales se observa lo siguiente:

a) Preponderancia de especies de ciclo largo y caparazón calcáreo-porcelanoide (Hauerinidae o Miliolidae, Peneroplidae-Soritidae y Nuberculariidae), por ser más resistentes, carbonatados y con estrategias simbiotes de los niveles fóticos del infralitoral proximal, asociados a ecosistemas algales y posidonícolas.

b) Acompañamiento de especies epifoliales y de restos foliaries de las praderas situadas a poca profundidad próximas a la costa (Murray, 1973) (Cibicididae, Elphidiidae, Discorbidae o Rosalinidae, Planorbulinidae y Rotaliidae). Su presencia es menor por ser generalmente de ciclo corto y más ligados a los inputs estacionales, pero sus caparazones calcáreo-perforados son más frágiles y menos resistentes a la hidrodinámica litoral. Por ello desaparecen más fácilmente sus caparazones de la playa.

c) Ausencia de especies planctónicas, originadas en ecosistemas mesoepipelágicos y más propios de sedimentos de plataforma externa-talud. Raramente se observan en los sedimentos de playa.

d) La fuente biogénica de las playas suele ser el ecosistema algal y posidonícola del infralitoral proximal, mientras que la notable ausencia del *Textularietum* propio del mäerl o "grapissar" nos indica que toda regeneración con arena procedente de tales ecosistemas algales es antinatural y carente de base científica. Además la abundancia de rodolitos y rodoclastos propios de ecosistemas algales calcáreos proporcionan a la playa regenerada no solo una "arena" arista y de mala calidad para la comodidad de bañistas y caminantes, sino que su extracción del infralitoral distal altera la riqueza biológica y diversidad específica del mäerl o grapissar y tan importante como las praderas de *Posidonia*.

Para concluir, creemos de gran utilidad el aplicar la Micropaleontología a la evolución lito-

lógica y biogénica de las playas, sobre todo teniendo en cuenta el grado de autoctonía de sus Foraminíferos, los inputs biogénicos de los ecosistemas litorales y la naturaleza mineralógica de caparzones y los ciclos, largos o cortos, de sus respectivas ontogénesis. Las series de datos, anuales y periódicos, comparando playas "vírgenes" y playas regeneradas por el hombre, puede ayudarnos a valorar los criterios geobiológicos en la conservación y realimentación natural de nuestras playas frente a los débiles argumentos de quienes pretenden dominar la Naturaleza, intentando regenerarlas artificialmente y con materiales ajenos a sus áreas de alimentación biogénica y litológica.

## Agradecimientos

A la Srta. M<sup>a</sup> Cruz Iglesias del Centro Oceanográfico de Baleares por la transcripción del texto y el apoyo informático. A los antiguos colegas del Departamento de Geología Marina del I.E.O. (Carlos Palomo, Juan Acosta, Jorge Rey, Víctor Díaz del Río, Pedro Herrainz, José Alonso y Pedro Batle) por tantas singladuras en el Mediterráneo occidental, aplicando geosísmica, sedimentología y micropaleontología que permitieron a uno de nosotros (G. Mateu) ver la importancia de tales disciplinas en las nuevas tecnologías oceanográficas.

## Bibliografía

- Abril, A. 1993. *Los Foraminíferos bentónicos del litoral balear y su actividad biológica en el ecosistema posidonícola*. Tesis Doctoral. Universitat Illes Balears. 700 pp.
- Alberola, C. 1997. *Los Foraminíferos de las Islas Columbretes (Castellón)*. Tesis Doctoral. Universitat de València. 187 pp.
- Bignot, G. 1988. *Los microfósiles: Los diferentes grupos. Aplicaciones Paleobiológicas y geológicas*. Paraninfo. Madrid. 283 pp.
- Blanc-Vernet, L. 1969. Contribution a l'etude des Foraminifères de Méditerranée. These de Doctorat d'Etat. *Extr. Rec. Trav. Stat. Mar. d'Endoume*, 64(68): 1-279.
- Blázquez, A.M. 2001. *L'Albufera d'Elx: Evolución cuaternaria y reconstrucción paleoambiental a partir del estudio de los Foraminíferos fósiles*. Tesis Doctoral. Universitat de València. 576 pp.
- Boltowskoy, E. 1965. *Los Foraminíferos recientes: Biología, métodos de estudio, aplicación oceanográfica*. Eudeba. Editorial Universitaria de Buenos Aires. 510 pp.
- Buen, R. de 1916. Estudio batilitológico de la Bahía de Palma de Mallorca. *Trabajos de Oceanografía y Biología Marina. Inst. Español Oceanogr.*, 132 pp. + mapa.
- Caye, G. y Rossignol, M. 1983. Étude des variations saisonnières de la croissance des feuilles et des racines de *Posidonia oceanica*. *Marine Biology*, 75: 79-88.
- Cearreta, A. 1986. *Distribution and Ecology of Benthic Foraminifera in the Rias of Santoña and San Vicente de la Barquera (Spain)*. PhD Tesis. University of Exeter. 307 pp.
- Colom, G. 1941. Foraminíferos de las costas vascas y de la Ría de Marín. Notas y Resúmenes del Instituto Español de Oceanografía II (96): 1-35.
- Colom, G. 1942. Una contribución del conocimiento de los Foraminíferos de la bahía de Palma de Mallorca. *Notas y Resúmenes del Instituto Español de Oceanografía Ser. II*, 108: 1-53.
- Colom, G. 1946a. *Introducción al estudio de los Microforaminíferos fósiles*. Instituto "Lucas Mallada" (C.S.I.C.), 376 pp.
- Colom, G. 1946b. Los foraminíferos de las margas vindoboniticas de Mallorca. *Estudios Geológicos*, 3: 113-180.
- Colom, G. 1952. Foraminíferos de las costas de Galicia (Campañas del "Xauen" en 1949 y 1950). *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 51: 1-58.
- Colom, G. 1964. *Estudios sobre la sedimentación costera balear (Mallorca y Menorca)*. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona 3ª época* N° 698 XXXIV (15): 495-550.
- Colom, G. 1985. Estratigrafía y Paleontología del Andalucense y del Plioceno de Mallorca (Baleares). *Boletín Geológico y Minero*, XCVI-III: 235-302.
- Davaud, E. y Septfontaine, M. 1995. Post mortem onshore transportation of epiphytic Foraminifera: Recent example from the Tunisian coastline. *Journal of sedimentary Research* A65(1): 136-142.
- Del Olmo, P. y Alvaro, M. 1984. Control estructural de la sedimentación neógena de Mallorca. *I Congreso Esp. Geol.*, T. III: 219-228.
- Díaz del Río, V., Mateu, G. y Rey, J. 1987. Inner continental shelf of Murcia (Mar Menor), Alicante Bay, Gulf Valencia, and Palma Bay (Baleares

- Islands). I.G.C.P. Unesco project 200 Late Quaternary sea-level changes. In: Zazo, C. (edit). *Trabajos sobre Neogeno-Cuaternario* C.S.I.C. - pp. 177-196, 7 figs. y mapa.
- Díaz del Río, V., Somoza, L. Goy, J., Zazo, C., Rey, J., Hernández Molina, F.J. y Mateu, G. 1993. *Mapa Fisiográfico de la Bahía de Palma y memoria explicativa*. Instituto Español de Oceanografía, Public. Esp. nº 16, 39 pp.
- Fornós, J.J. 1987. *Les plataformes carbonatades de les Balears*. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. XVI + 954 pp.
- García Forner, A.M. 1997. *Foraminíferos Cuaternarios de las marjales de Oliva-Pego y Xabia (Valencia-Alicante)*. Tesis Doctoral. Universitat de València. 201 pp.
- Gazá, M. 1988. *Contribución al estudio de los Foraminíferos bentónicos: Su biología y sedimentología en la Bahía de Palma de Mallorca (Islas Baleares) y su relación con otros ecosistemas del Mediterráneo occidental*. Tesis Doctoral. Universitat Illes Balears, 395 pp. + 95 figs. + 5 láms.
- Gili, G.M. y Ros, J.D. 1984. L'Estatge Circalitoral de les Illes Medes: El coralligen. In: Ros, J.D., Olivella, J.M. y Gili, J.M., (edits.). *Els Sistemes naturals de les Illes Medes*. Institut d'Estudis Catalans, 38: 677-705.
- González-Hernández, F.M., Goy, J.L., Zazo, C. y Silva, P.G. 2001. Actividad eólica - cambios del nivel del mar durante los últimos 170.000 años (litoral de Mallorca - Islas Baleares). *Rev. C. & G.*, 15(3-4): 67-75.
- Gudmundson, G. 1994. Phylogeny, ontogeny and systematics of Recent Soritacea Ehrenberg 1839 (Foraminifera). *Micropaleontology*, 40(2): 101-155.
- Haq, B.U. y Boersma, A. 1978. *Introduction to Marine Micropaleontology*. Elsevier. New York. 376 pp.
- Hallock, P. 2000. Symbiont-bearing foraminifera: harbingers of global change? *Micropaleontology*, 46(1): 95-104.
- Hohenegger, J. 2000. Caenoclines of larger Foraminifera. *Micropaleontology*, 46(1): 127-151, text. figs. 1-16.
- Holzmann, M., Hohenegger, J., Hallock, P., Piller, W.E. y Pawlowski, J. 2001. Molecular phylogeny of large miliolid foraminifera (Soritacea Ehrenberg 1839). *Marine Micropaleontology*, 43: 57-74.
- Langer, M.R. 1993. Epiphytic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, 20: 235-265.
- Loeblich A.R. Jr. and Tappan H. 1988. *Foraminiferal genera and their classification*. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 970 pp.
- Mateu G. 1970. Estudio sistemático y bioecológico de los Foraminíferos vivientes de los litorales de Cataluña y Baleares. *Trabajo, Instituto Español de Oceanografía*, 38: 1-84 + 28 Láms.
- Mateu G. 1989. La Bahía de Palma de Mallorca (Baleares-España) y los recientes estudios geosísmicos, bionómico-sedimentarios y micropaleontológicos en un litoral de difícil regeneración antrópica. *Rev. Cièn. (I.E.B.)*, 4:65-81.
- Mateu, G. 1991. Micropaleontología sedimentaria del Caribe: Sus afinidades con las formaciones arrecifales del Mioceno Terminal de Mallorca. 125 p., 15 figs. y 21 láms. Palma de Mallorca.
- Mateu, G. 1998. Clima y micropaleontología: Termómetros biológicos y archivos sedimentarios. *Territoris* (Univ. Illes Balears), 1: 225-238.
- Mateu, G., Ramón, G., Moyá, G., García, C. y Ramis, C. 1982. Estudio ecológico del Salobrar de Campos (Mallorca), Cala Tirant-Salines Velles (Menorca), Ses Salines (Ibiza) y s'Estany Pudent (Formentera). 1ª fase. Consell Gral. Interinsular. Baleares.
- Mateu, G., Florit, L. y Gazá, M. 1984. Los Foraminíferos bentónicos del Mar Balear y su papel indicador de contaminación litoral y de alteración del medio posidonícola. *Estudis Balearics*, 15: 9-36.
- Mateu, G., Rey, J. y Díaz del Río, V. 1985. Les paleolits de la Baie de Palma de Majorque: Interpretation sismique et datation biochronologique. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 29, 2: 39-45 + 2 pl. + 2 figs.
- Mateu, G. y Gazá, M. 1986. Micropaleontología circalitoral y coralígena. Foraminíferos y coccolitoforidos asociados al Corallium rubrum (L.): Sistemática, ecología y evolución paleoceanográfica. *Boletín, Instituto Español de Oceanografía*, 3(4): 13-52.
- Mateu, G., Fornós, J.J. y Moreiro, M. 1993. *Biosedimentología de la plataforma balear y su interpretación micropaleontológica y paleoambiental*. Public. Instituto Español Oceanografía (Centro Oceanográfico de Baleares) (Poster).
- Mateu, G., Acosta, J., Viñals, M.J., Moreiro, M. y Nadal, G. 2001a. The last Glacial maximum (18.000-14.000 y.B.P.) and its micropaleontological paleogeographic and paleoceanographic register in the Balearic Sea. In: Pons G.X. (Ed.): *Ponències i resums, III Jornades del Medi Ambient de les Illes Balears*, Soc. Hist. Nat. Balears. 68-69.
- Mateu, G., Viñals, M.J., Moreiro, M. y Nadal, G. 2001b. La transgresión Flandriense a través de los Foraminíferos del Mar Balear. In: Pons G.X. i Guisjarro J.A. (Eds.): *El canvi climàtic: passat, present i futur*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 9: 13-31.
- Moreiro, M. 1993. *Foraminíferos bentónicos y los*

- ambientes deposicionales en la Plataforma Balear. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. 743 pp.
- Murray, J.W. 1973. *Distribution and Ecology of living Benthonic Foraminiferids*. Heinemann, London, 274 pp.
- Pascual, A. 1984. Los Foraminíferos actuales del litoral vizcaino. *Kobie*, 14: 341-350.
- Perès, J.M. 1961. *Océanographie Biologique et Biologie Marine*. Press. Univ. París 2 vols 541 y 511 pp.
- Planells, P. 1996. *Foraminíferos bentónicos actuales de sustratos blandos intermareales de la Ría de Ferrol (Galicia)*: Estudio faunístico y autoecológico. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago. 683 pp.
- Pomar, L., Esteban, M., Calvet, F. y Barón, A. 1983. La unidad arrecifal del Mioceno superior de Mallorca. In: *El Terciario de las Baleares (Mallorca-Menorca)*. Institut d'Estudis Baleàrics, Universitat de les Illes Balears: 139-175.
- Ribes, T. 1998. *Estudio de los Foraminíferos posidónicolas de las costas catalanas*. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. 293 pp.
- Rosselló Verger, V.M. 1964. *Mallorca. El Sur y el Sureste*. Palma de Mallorca. Gráficas Miramar. 553 pp.
- Sánchez Ariza, M.C. 1979. *Estudio sistemático-ecológico de los Foraminíferos recientes de la zona litoral Motril-Nerja*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 213 pp.
- Sartoretto, S., Verlaque, M. y Laborel, J. 1996. Age of settlement and accumulation rate of submarine "coralligène" (-10 to -60 m) of the NW Mediterranean Sea; relation to Holocene rise in sea level. *Marine Geology*, 130: 317-331.
- Servera Nicolau, J. 1998. Els sistemes dunars litorals holocènics: Les dunes de Sa Ràpita-Es Trenc (Mallorca). In: Fornós, J.J. (edit.): *Aspectes Geològics de les Balears*. Universitat Illes Balears. pp. 251-306.
- Templado, J., García-Carrascosa, M., Baratech, L., Capaccioni, R., Juan, A., López-Ibor, A., Silvestre, R. y Massó, C. 1986. Estudio preliminar de la fauna asociada a los fondos coralíferos del Mar de Alborán (SE España). *Bol. Inst. Español Oceanogr.*, 3(4): 93-104.
- Villanueva Guimerans, P. 1994. *Implicaciones oceanográficas de los Foraminíferos bentónicos recientes en la Bahía y plataforma continental gaditana: Taxonomía y asociaciones*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz. 395 pp.
- Werner, F.E., Viúdez, A. y Tintoré, J. 1993. An exploratory numerical study of the current of the southern coast of Mallorca including the Cabrera Island complex. *Journ. Mar. Systems*, 4: 45-66.