

Los depósitos marinos pleistocénicos en Mallorca

por L. POMAR GOMÁ* y J. CUERDA BARCELÓ**

* Dpto. de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Palma de Mallorca.
** Sociedad de Historia Natural de Baleares, Palma de Mallorca.

ABSTRACT

A synthesis of the most important Pleistocene marine deposits of Mallorca is presented, with some of their significant features being emphasized: altimetric position, climatic and bathymetric record of its fossils. Also the parallelism between sea level and insolation oscillations calculated by Milankovitch is underlined.

RESUMEN

En este trabajo presentamos una síntesis de los principales registros sedimentarios del Pleistoceno marino en Mallorca, destacando y enjuiciando sus principales características: posición altimétrica, significación climática y batimétrica de sus faunas. Se destaca el paralelismo existente entre las oscilaciones del nivel del mar y las fluctuaciones de la insolación calculadas por Milankovitch y se analizan los movimientos epirogénicos recientes que han afectado a Mallorca.

INTRODUCCIÓN

Entre los primeros trabajos realizados sobre el Cuaternario marino de Mallorca, destacan ya en el siglo pasado los efectuados por Haime (1855) y Hermite (1879), citando yacimientos marinos con fauna característica del Pleistoceno superior en Cueva de la Ermita y Bahía de Palma, entre las localidades más importantes.

En 1913 Gignoux analiza en su tesis doctoral las formaciones marinas del Plioceno y Cuaternario del sur de Italia y al compararlas con otras coetáneas del Mediterráneo occidental, hace mención de los yacimientos marinos y de los depósitos eólicos de Mallorca. Este autor destaca las analogías faunísticas existentes entre los depósitos de playa con *Strombus* de Mallorca y de Italia, basándose en datos y muestras facilitados por el Prof. Fallot.

En 1951 Cuerda y Muntaner inician investigaciones sistemáticas de los yacimientos pleistocénicos de la Bahía de Palma, que culminan con la visita de los congresistas del I.N.Q.U.A. en 1957. La gran cantidad de material paleontológico estudiado, permitió diferenciar por primera vez la existencia de tres niveles marinos distintos correspondientes al Pleistoceno superior. En 1955 Muntaner amplía sus trabajos hacia la región de Camp de Mar y Paguera y describe yacimientos tirrenienses coetáneos a los descritos en la Bahía de Palma.

Entre 1959 y 1962, Butzer lleva a cabo en Baleares tres intensas campañas que dan a conocer un gran número de nuevos yacimientos del Pleistoceno medio y superior, demostrando la pluralidad —hasta entonces insospechada— de los niveles marinos, a partir de la observación de las rasas de abrasión y del estudio de la fauna de los depósitos litorales (Butzer y Cuerda, 1960-62, a, b, c).

En 1961 Solé Sabaris publica un trabajo sobre las fluctuaciones climáticas en las costas catalanas y baleáricas, y en 1962 un resumen del Cuaternario marino de Baleares y sus relaciones con las costas de la Península Ibérica.

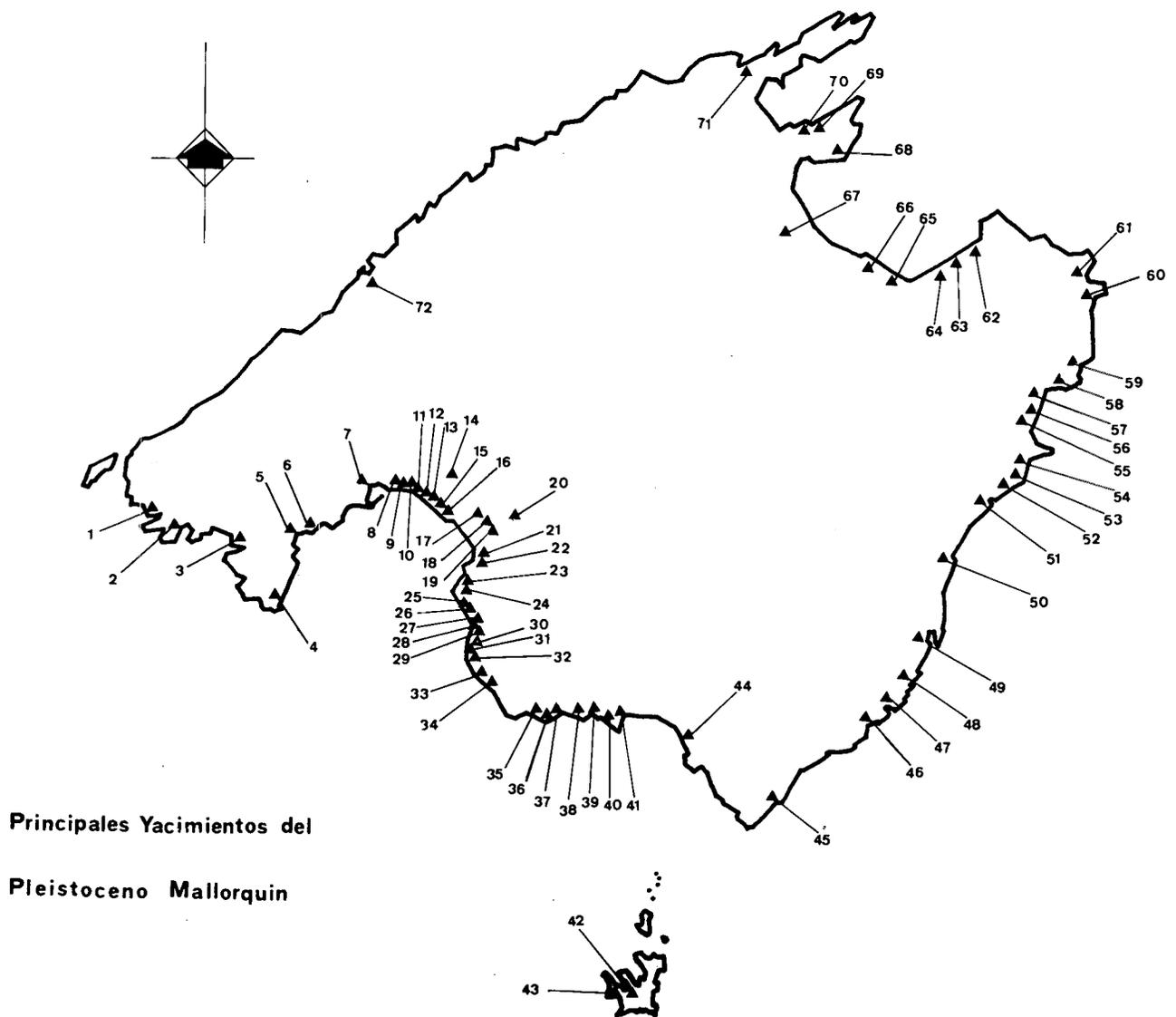
Cuerda y Sacares inician en 1962 un estudio sobre los yacimientos marinos del Pleistoceno en la costa de Lluchmajor; estos autores describen nuevos depósitos correspondientes al Pleistoceno superior, y más tarde al Pleistoceno inferior y al límite Plio-Cuaternario (Cuerda y Sacares, 1962- al 1971).

Una aportación importante para la datación de los yacimientos del Pleistoceno superior marino de Mallorca es realizada por Stearns y Thurber (1965-67) mediante la aplicación del método Th. 230/U. 234 sobre muestras de conchas de moluscos procedentes de varios yacimientos mallorquines.

En 1968 Mateu estudia los foraminíferos procedentes de un yacimiento del Tirreniense III de la Bahía de Palma, confirmando para dicha época la existencia de un clima parecido al actual.

En 1974 Ginés, A. y Ginés, J. describen unos engrosamientos horizontales debidos a cristalizaciones cársticas en el interior de una cueva próxima a la costa en la Bahía de Alcudia; estos autores relacionan su génesis con los distintos niveles alcanzados por las aguas freáticas durante el Pleistoceno medio y superior. Las altitudes de estas cristalizaciones coinciden sorprendentemente con las señaladas por Butzer y Cuerda (1962, c) para las rasas y muescas de abrasión marina del SW de Mallorca. En 1976, Pomar, Ginés y Fontarnau describen las características mineralógicas, geoquímicas y texturales de dichas cristalizaciones.

También en 1974 Calvet realiza un trabajo sobre la evolución diagenética de los depósitos de playa pleistocenos en Mallorca.



**Principales Yacimientos del
Pleistoceno Mallorquin**

Fig. 1. Principales yacimientos marinos del Pleistoceno mallorquin.

1. Camp de Mar; 2. Paguera; 3. Santa Ponça; 4. Portals Vells; 5. Magalluf; 6. Palma Nova; 7. Palma; 8. Molinar; 9. Les Roques; 10. Torre d'en Pau; 11. Cala Gamba; 12. Camp de Tir; 13. Son Mosson; 14. Can Xarxa; 15. La Pineda; 16. Can Pastilla (Cala Estancia); 17. Can Siriquet; 18. Ses Fontanelles; 19. Can Canals; 20. Can Menut; 21. Torrent de son Veri; 22. Can Vanrell; 23. Cap Orenol; 24. Cala Blava; 25. Punta Negra; 26. Cala Vella; 27. Sa Fossa; 28. Devallador de ses Olles; 29. Pas d'es Verro; 30. Racó de s'Almadraba; 31. Na Llarga; 32. Na Rosegada; 33. Na Segura; 34. Pas de sa Senyora; 35. Cala Carril; 36. Els Bancals; 37. Cala Beltran; 38. Cala Pi; 39. Vallgornera; 40. Torre de s'Estalella; 41. S'Estanyol; 42. Port de Cabrera; 43. Avenç d'es Freres; 44. Playa d'es Trench; 45. Torrent de sa Socarrada; 46. Cala S'Amonia; 47. Cala Llombars; 48. Caló d'es Macs; 49. Porto Colom; 50. Cala Murada; 51. Porto Cristo; 52. Cala Morlanda (Es Bufador); 53. S'Illot; 54. Cala Moreia; 55. Cala Nao; 56. Ses Rotes de sa Cova; 57. Es Port Roig; 58. Playa de Canyonel; 59. Cuevas de Artá; 60. Cala Ratjada; 61. Cala Agulla; 62. Caló d'es Cans; 63. Cala Estre; 64. Colonia San Pedro; 65. Colonia Son Serra; 66. Can Picafort; 67. S'Albufera; 68. Cueva Sa Bassa Blanca; 69. Mal Pas; 70. Es Morer Vermell; 71. Cala San Vicenç; 72. Port de Sóller (Racó de s'Argentera).

En 1975 Cuerda publica un amplio y documentado trabajo sobre el Pleistoceno balear, que recoge una completa síntesis bibliográfica de los yacimientos cuaternarios de Mallorca y realiza un detallado estudio de la fauna característica de dichos depósitos.

EL PLEISTOCENO INFERIOR

Es difícil de establecer los inicios del Cuaternario, pues

son muchos los autores que le asignan una edad próxima a los tres millones de años mientras que otros sitúan los albores del Pleistoceno alrededor de los dos millones de años, en los comienzos del Calabriense, piso marino antes considerado como integrante del Plioceno superior que quedó incorporado al Pleistoceno por acuerdo del Congreso Geológico celebrado en Londres en 1948.

Estas discrepancias cronológicas vienen a ser consecuencia del descubrimiento de yacimientos que, situados en la base del Villafranchense, ofrecen unas características fau-

nísticas que obligan a considerarlos como límite Plio-Cuaternario, pues contienen especies pliocenas y pleistocenas características.

Entendemos que estos depósitos deben situarse, por su edad, en el Villafranchense inferior, con fauna terrestre de interpretación cálida y procedencia oriental, íntimamente relacionada con formaciones marinas precalabrienses con fauna también cálida y equivalentes al Mogrhebiense marroquí, piso considerado por Lecomte (1952, 1963) como correspondiente al Plioceno superior y por Biberson (1970) como atribuible al límite Plio-Cuaternario.

Un depósito marino con fauna indicadora de esta época, ha sido localizado en Mallorca, en la Urbanización de Vallgornera (Lluchmajor) situado al sur de la isla (Cuerda y Sacares, 1970). En este yacimiento fueron recogidas especies características halladas en el Mogrhebiense de Marruecos, tales como *Balanus concavus* Bronn, *Ostrea (Gryphaea) virleti* Deshayes, *Chlamys cf. inaequicostalis* (Lamarck) y *Purpura (Acanthina) cf. gallicea* (Gervais), todas ellas extintas actualmente en el Mediterráneo y que indican un clima más cálido que el actual. Acompañan a estas especies abundantes ejemplares del género *Patella* que indican el acentuado carácter litoral de este depósito que se halla a sólo 12 metros sobre el nivel del mar, cuando los depósitos mogrhebienses de Rabat alcanzan hasta los 120 m. de altitud, si bien en otras regiones marroquíes la altitud de estos depósitos varía mucho.

Siguen a estos depósitos los correspondientes al Calabriense I con fauna fría, de características nórdicas, en lo que a moluscos marinos se refiere. Con este piso se inicia pues el Cuaternario propiamente dicho y es de advertir que yacimientos fosilíferos de esta época no han sido, hasta ahora, localizados en Mallorca. Sin embargo, si han sido hallados en la isla depósitos atribuibles al Calabriense II (=Emiliense) con fauna indicadora de un clima más cálido que el actual mediterráneo. Así como el Calabriense I debe ser relacionado con la primera glaciación cuaternaria Donau, opinamos que el Calabriense II corresponde ya al interglacial Donau-Gunz y su edad se aproxima a 1.3 millones de años.

El yacimiento más representativo con fauna característica de esta época es el de Es Pas d'es Verro, en la costa de Lluchmajor (S de Mallorca) (Cuerda y Sacares, 1970). Se trata de un depósito marino con abundantes ejemplares de *Ostrea (Gryphaea) cucullata* Born, acompañada de otras especies de moluscos muy litorales, entre ellos *Purpura (Acanthina) plessisi* Lecomte. Estas dos especies, hoy desaparecidas del Mediterráneo, han sido recogidas también en el Messaudiense marroquí (Lecomte, 1952), piso considerado como equivalente del Emiliense de Selli (Biberson, 1970) (Selli, 1962).

El yacimiento de Pas d'es Verro se halla, por otra parte, a la altitud de unos 70-75 metros, la cual concuerda perfectamente con la del banco de ostras con *Ostrea virleti* y *Ostrea cucullata* citado por Iaworsky (1963) en la región de Niza a + 74 m. y también atribuido por dicho autor al Calabriense cálido.

Hay que advertir que tanto en Marruecos como en la región de Niza la altitud de estos yacimientos calabrienses con *Ostrea cucullata*, varía entre los 108 m. y 70 m., siendo los más altos los más antiguos.

Consideramos también pertenecientes al Calabriense II las arenas eólicas sedimentadas en el fondo de S'Avenc d'es Frare, sima situada al SW de la isla de Cabrera, y cuya boca se encuentra a unos 85 m. sobre el nivel del mar (Montoriol,

1954). Las especies de foraminíferos contenidos en muestras de dichas arenas, facilitadas por J. A. Alcover, parecen confirmar dicha edad (G. Mateu, comunicación verbal). Por otra parte las características litológicas de dichas arenas, así como su color pardo claro coinciden perfectamente con los que ofrece la duna que recubre los sedimentos marinos de Pas d'es Verro.

En el yacimiento de Pas d'es Verro esta duna presenta, a unos 90 m. sobre el nivel del mar, una serie de cuevas, que deben relacionarse con el nivel marino del Siciliense I, cuyas terrazas en la región mediterránea se presenta normalmente entre los 80 m. y 90 m., conteniendo fauna de significación fría, con *Arctica islandica* (Linné) y *Buccinum undatum* (Linné) como especies más características, hoy, desaparecidas en el Mediterráneo (Gignoux, 1913).

La posición cronológica del Siciliense con fauna fría es muy discutida, pues actualmente dicho piso se relaciona con la glaciación Günz, situado en sus comienzos y no posterior a ella como se venía suponiendo. Su edad oscila alrededor de los 800.000 años.

Depósitos marinos sicilienses fosilíferos con estas características no han sido hallados todavía en Mallorca, aunque pueden relacionarse con ellos, además del horizonte de cuevas de abrasión marinas de Pas d'es Verro, unas dunas que, depositadas a unos 100 m. de altitud sobre la plataforma costera de Lluchmajor, entre Cap Enderrocat y Cap de Regana, contienen pequeños fragmentos interterminables de conchas marinas (Cuerda y Sacares, 1964).

Los depósitos marinos y rasas de abrasión correspondientes al Siciliense II con fauna indicadora de un clima parecido al actual si han sido hallados en Mallorca. Todos ellos se encuentran a cotas que oscilan entre los 50 m. y los 60 m. sobre el nivel del mar, siendo los más antiguos los de mayor altitud, al igual que en el resto del área mediterránea.

El Siciliense II, también denominado por muchos autores como Milazziense, dentro de la secuencia pleistocénica, queda comprendido en el interglacial Günz-Mindel y su antigüedad oscila entre los 600.000 y 500.000 años.

Podemos considerar como pertenecientes a este piso una amplia entalladura y cueva marina situada a unos 60 m. de altitud en el ya citado Pas d'es Verro (Cuerda y Sacares, 1971) y extensas rasas de abrasión marina descubiertas por Butzer en la región de Campos a unos + 50 m. sobre el nivel del mar (Butzer y Cuerda, 1962).

Otro yacimiento fosilífero hallado en Mallorca y atribuible al Siciliense II es el localizado en Can Xarpa, en las proximidades del km. 6 de la carretera de Palma a Sipeu. Hace años, Darder Pericás recogió en dicho lugar unos fósiles pleistocénicos que más tarde pasaron a poder de Muntaner Darder. En 1962, Butzer, Muntaner y Cuerda visitaron aquella zona con la esperanza de localizar el nivel marino a que pudieran corresponder dichos fósiles, siendo hallados sedimentos marinos litorales, sobre una plataforma de abrasión a unos 50 m. de altitud, conteniendo numerosos ejemplares de *Glycymeris violacescens* (Lamarck) (Butzer y Cuerda, 1962, b).

Hay que advertir que la abundancia de esta especie, constituye igualmente una característica de los depósitos atribuidos al Milazziense de la región alicantina, según ha podido comprobar Cuerda.

El hecho de haber sido hallado otro depósito atribuible al Siciliense II en la isla de Formentera (Butzer y Cuerda, 1962, b) a una altitud de unos + 50 m. y con fauna de idéntica significación que la de Can Xarpa, hace pensar que la zona

meridional balearica no ha sido afectada por movimientos geológicos, por lo menos a partir del citado piso, después del cual se produce la glaciación Mindel con la que termina el Pleistoceno inferior.

EL PLEISTOCENO MEDIO

Este piso abarca desde el final de la glaciación Mindel hasta el máximo del Riss, quedando comprendido en él el gran interglacial denominado Tirreniense I (Paleotirreniense), cuya duración se estima no inferior a los 250.000 años.

En la región mediterránea los yacimientos del Pleistoceno medio quedan representados por restos de terrazas marinas, cuyas altitudes normalmente oscilan entre los 35 m. y los 15 m., conteniendo una fauna banal en la mayoría de los casos, viviente todavía en el Mediterráneo. Constituye una particularidad la extraordinaria abundancia en algunos yacimientos de una gran lapa: *Patella ferruginea* Gmelin, hoy muy rara en nuestras latitudes y que se ha acantonado hacia las costas septentrionales africanas, de clima más cálido.

Las condiciones climáticas del Tirreniense I difieren poco, por lo tanto, de las actuales reinantes en nuestras costas.

En Mallorca son muy escasos los yacimientos fosilíferos correspondientes a este piso; sin embargo, han sido halladas plataformas de abrasión marina y entalladuras en las inmediaciones de Punta Sa Plana, al SE de la isla, cuyas alturas van decreciendo con su edad, hallándose comprendidas entre los + 34 m. y los + 16 m. (Butzer y Cuerda, 1962, c). También se atribuye al Tirreniense I un nivel situado a tan solo + 5 m. en Torre de s'Estalella (Costa de Lluçmajor), y una entalladura de abrasión marina a + 23 m. en lo alto del acantilado del Banco de Ibiza (SW de Mallorca) (Muntaner, inédito). En esta última fueron recogidos restos de *Patella ferruginea*.

El yacimiento fosilífero más característico del Tirreniense I de Mallorca fue localizado en Els Bancals, al S de Mallorca; en él se observan dos plataformas de abrasión a + 22 m., y a + 16 m., conteniendo la primera pocos fósiles pero abundando extraordinariamente en la segunda *Patella ferruginea*. La frecuencia de esta especie en nuestras latitudes caracteriza los depósitos del penúltimo interglacial (Cuerda y Sacares, 1966).

El hecho de que las plataformas de abrasión localizadas por Butzer en las inmediaciones de Punta Sa Plana no contuvieran fósiles marinos que permitiesen sacar conclusiones batimétricas dificultaba, sin duda, el precisar concretamente los niveles máximos alcanzados, en cada caso, por las aguas marinas. No obstante, años después, tras los estudios realizados sobre los engrosamientos observados en los espeleotemas y paredes de la cueva Sa Bassa Blanca, situada al N de Mallorca (Ginés, A. y Ginés, J., 1974) (Pomar, et al., 1976) se llegó a la conclusión de que dichos engrosamientos eran debidos a cristalizaciones de Aragonito, Calcita romboidal y Calcita fibrosa, genéticamente ligados a los distintos niveles alcanzados por las aguas freáticas durante el Pleistoceno Medio y Superior, en cuevas próximas a la línea de costa.

Dichos engrosamientos, en perfecta horizontalidad, se presentan a unas altitudes que, sorprendentemente, coinciden con las señaladas por Butzer y Cuerda para los distintos niveles máximos alcanzados por el mar, según se aprecia en el Cuadro 1. Ello permite determinar con gran exactitud las

Sa Bassa Blanca		Rasas de Abrasion	
Ginés, A. y Ginés, J. (1974)		Butzer y Cuerda (1962)	
15		16	19
18			
23	Tirreniense I	23	25
29		29	30
35		33	34
<hr/>			
3			
3,6			
3,9		2	4
4,2	Tirreniense II		
5,8			
7		6	7
		8	9
		10	12
<hr/>			
2,4	Tirreniense III	2	3

Cuadro 1. Comparación entre las cotas de los niveles paleofreáticos de la cueva de Sa Bassa Blanca y las correspondientes rasas de abrasión marina, según Ginés y Ginés (1974).

altitudes absolutas correspondientes a los yacimientos del Tirreniense I. Por otra parte, esta identidad de niveles permite deducir una estabilidad tectónica desde dicho piso —al menos—, para toda la mitad oriental de Mallorca.

Finalmente cabe destacar la decreciente altitud a que se encuentran los yacimientos del Tirreniense I en Mallorca, así como en el resto del área mediterránea, que juntamente con la idéntica significación climática de sus faunas, hace suponer que ya desde el Siciliense, donde se observa el mismo fenómeno, viene produciéndose un paulatino descenso del nivel marino, que no se halla inducido por modificaciones climáticas; a este respecto han sido sugeridas por diversos autores causas de tipo más general, a escala del Globo.

EL PLEISTOCENO SUPERIOR

Siguiendo el criterio de Zeuner (1956), consideramos que el Pleistoceno superior se inicia inmediatamente después de la penúltima glaciación (Riss), abarcando hasta el final del Paleolítico (11.000 años B. P.), en que se inicia el Holoceno, según criterio adoptado en el Symposium de París de 1969.

El Pleistoceno superior comprende el Tirreniense II (Eutyrrheniense) y la glaciación Würm, incluyendo un corto período denominado Tirreniense II (Neotyrrheniense) entre las dos primeras fases de dicha glaciación.

En la región mediterránea el Tirreniense III se caracteriza por contener en sus yacimientos marinos una serie de especies representativas de un clima más cálido que el actual, la mayoría de las cuales viven hoy día en la región intertropical de las costas atlánticas africanas e islas adyacentes (Senegal, Cabo Verde,...). Ninguna de estas especies vive actualmente en el Mediterráneo, habiéndose extinguido con el descenso de temperaturas de la glaciación wurmiense.

Los depósitos marinos de este piso se encuentran normalmente entre los + 15 m. y + 2 m., mientras que los del Tirreniense III se presentan siempre a alturas menores, generalmente inferiores a los 3 m.

Los yacimientos del Tirreniense III registran una notable regresión de las llamadas especies senegalesas, que tanto abundan en el Tirreniense II, debido a la oscilación fría ocurrida durante la primera fase del Würm.

Los numerosos yacimientos marinos localizados en Mallorca, correspondientes al Pleistoceno superior, nos permiten deducir conclusiones bastante exactas respecto a su situación estratigráfica, cronológica y altimétrica (Cuerda, 1975).

Una gran aportación para el conocimiento de la edad absoluta de estos depósitos marinos fueron las dataciones cronológicas conseguidas por el método Th. 230/U. 234, por Stearns y Thurber (1965-1967). (Ver Cuadro 2).

	YACIMIENTOS	COTAS	EDAD ABSOLUTA
T.II	• Campo de Tiro (Palma)	+ 3	200.000 ± 20.000
	• Es Bufador (S'Illet)	+ 7'5	190.000 ± 20.000
	• Torre S'Estalella	+10'5	135.000 ± 10.000
	• Cap Orenol	+11'5	125.000 ± 10.000
	• Ses Rotes de sa Cova	+1'6	115.000 ± 15.000
T.III	• La Pineda	+1'6	105.000 ± 15.000
	• Magalluf	+2	88.000 ± 5.000
	• Campo de tiro (Palma)	+2	75.000 ± 5.000

Cuadro 2. Dataciones absolutas por Th 230/U 234 de algunos yacimientos marinos pleistocenos de Mallorca.

Todos estos yacimientos marinos contienen una fauna de carácter extremadamente litoral, y por consiguiente sus altitudes son muy aproximadas al nivel máximo alcanzado por las aguas marinas. Siendo así, la primera conclusión que sacamos respecto a la sucesión cronológica de dichos depósitos cuaternarios litorales es que su decreciente altitud no guarda relación directa con su mayor o menor antigüedad, como sucedía en el caso de los depósitos marinos del Tirreniense I.

Por otra parte las altitudes a que se encuentran los sedimentos marinos del Pleistoceno superior de nuestra isla, se relacionan aceptablemente con la presentada por los engrosamientos horizontales observados en el interior de la Cueva de Sa Bassa Blanca (Ginés y Ginés, 1974), si bien en ella no han sido localizados los niveles más altos del Tirreniense II, y cabe la posibilidad de superposiciones en los engrosamientos del Tirreniense II y III por lo que respecta a los niveles observados a + 2 m.

Con relación a la significación climática de los yacimientos marinos del Pleistoceno superior de Mallorca, ya desde un principio se pudieron entresacar conclusiones y diferenciar hasta tres niveles marinos (Cuerda y Muntaner, 1952) debido a la gran cantidad de material paleontológico recogido.

El Tirreniense II presenta en sus yacimientos especies termófilas hoy extintas en el Mediterráneo, pero vivientes actualmente en las costas atlánticas intertropicales africanas e islas adyacentes. Por esta razón a estas especies se les ha denominado «senegalesas» siendo las siguientes:

Brachyodontes senegalensis (Reeve)

Hyotisa hyotis (Linné)

Cardita senegalensis (Reeve)

Strombus bubonius Lamarck

Natica turtoni (E. A. Smith)

Polynices lacteus (Guilding)

Cantharus viverratus (Kiener)

Conus testudinarius Martini

Todas ellas, a excepción de *Natica turtoni* que es rara, abundan en los depósitos marinos del Tirreniense II de nuestra isla, especialmente en sus costas meridionales.

Además de estas especies de alto valor estratigráfico, ya que su alto índice de frecuencia es muy característico de

aquel piso, han sido recogidas en estos depósitos del Tirreniense II otras especies como *Acar plicata* (Chemnitz), hoy desaparecida del Mediterráneo y viviente en el Mar Rojo, así como también otras que están en vías de marcada regresión en nuestras costas, como el crustáceo *Ocypoda cursor* (Linné) y los moluscos *Ungulina oblonga* Daudin, *Monodonta lineata* (Da Costa), *Theridium minutum* (De Serres), *Cymatium costatum* (Born), *Bursa scrobiculata* (Linné), *Thais haemastoma sp. consul* (Chemnitz), *Arcularia gibbosa* (Linné) y *Mitra fusca* Swainson, todas ellas con tendencia a acantonarse, hoy día, hacia las costas meridionales, más cálidas del Mediterráneo.

Entre los yacimientos correspondientes a los inicios del Tirreniense II de Mallorca, donde abundan todas estas especies termófilas, podemos señalar como más característicos y mejor datados los siguientes:

- Camp de Tir a) (Coll d'en Rebassa) (Palma) + 3 m.
- Fortin Torre d'en Pau (Coll d'en Rebassa) + 3,5 m.
- Can Canals (Palma) + 3 m.

De todos ellos el más fosilífero es el primero, al que Stearns y Thurber atribuyeron una edad de 200.000 años, aproximadamente.

Son representativos de un grupo de yacimientos que siguen en antigüedad a los anteriores los siguientes:

- Torrent de Son Verí (Arenal-Llucmajor) + 7,5 m.
- Es Bufador (S'Illet, Manacor) + 7,5 m.

Los yacimientos de esa altitud, ofrecen no sólo una menor potencia de sedimentos, sino que además son pobres en fauna. No obstante en el último de ellos han sido recogidas varias especies de las denominadas senegalesas. Para este depósito fue calculada por Stearns y Thurber una edad de 190.000 años con un límite de error de ± 20.000.

Otro grupo de depósitos litorales del Tirreniense II, lo constituyen los yacimientos localizados a altitudes comprendidas entre los 10 y 13 metros, siendo los más representativos los siguientes:

- Cap Orenol (Costa de Llucmajor) + 12 m.
- Torre de S'Estalella (Llucmajor) + 11 m.
- Els Bancals (Costa de Llucmajor) + 13 m.

Para estos depósitos, que también contienen especies termófilas el método Th. 230/ U. 234, les asignó una edad media de unos 130.000 años de antigüedad, siendo el más fosilífero el de Torre de S'Estalella (Proximidades de S'Estanyol-Llucmajor).

Por último el Tirreniense II final viene representado por un gran número de yacimientos de marcado carácter litoral, ubicados a lo largo de las costas septentrionales, meridionales y orientales de Mallorca, siguiendo un perfil de costa muy parecido al actual, lo que nos indica que estas no han sido recientemente afectadas por movimientos geológicos. La altitud de todos estos depósitos no supera en general los 2 m. sobre el nivel del mar. En ellos, cuando presentan una facies litoral arenoso-fangosa, abunda extraordinariamente el característico *Strombus bubonius*, muy especialmente en las costas meridionales de Mallorca más resguardadas de los vientos fríos del Norte, debido a la protección de la Cordillera principal de la Isla.

Como yacimientos más característicos y fosilíferos de este grupo podemos señalar los siguientes:

- Camp de Mar (Andraitx) + 2 m.
- Paguera (Andraitx) + 2,5 m.
- Palma Nova (Calviá) + 2,5 m.
- Molinar de Levante (Palma) + 1,5 m.
- Les Roques (Palma) + 1,8 m.

- Carnatge (Coll d'en Rebassa-Palma) + 2 m.
- Cala Blava (Llucmajor-Arenal) + 2 m.
- Ca'n Vanrell (Llucmajor-Arenal) + 2 m.
- Ses Rotes de Sa Cova (Son Servera) + 1,6 m.

Para este último yacimiento las dataciones efectuadas por Stearns y Thurber le atribuyeron una antigüedad de 115.000 años aproximadamente.

Todos estos depósitos son ricos en las especies senegalesas y también en las que se encuentran en regresión en el área mediterránea. En ocasiones sobre ellos se observa una débil capa de sedimentos marinos de arrastre que contienen fauna banal, en la que abundan las especies pequeñas que pueden ser transportadas por el viento. Estos últimos sedimentos acusan un rápido enfriamiento del clima, y podrían ser atribuidos al Tirreniense III si no fuera porque, en muchas localidades, vienen recubiertos por las dunas solidificadas correspondientes al Würm 1.

Esta disposición estratigráfica puede observarse en las siguientes localidades: Les Roques (Palma), Cala Vella, Sa Fossa, Devallador de Sa Cisterna, Devallador de Ses Olles (Levante de la Bahía de Palma), Caló des Cans (Artá) y en el Puerto de Cabrera.

Después de producirse la regresión marina correspondiente a la primera fase del Würm, tiene lugar un calentamiento climático que es causa de una nueva transgresión, la correspondiente al Tirreniense III (=Neotyrrheniense), a raíz de la cual el mar llega a alcanzar un nivel ligeramente superior al actual (+ 2 m. aproximadamente).

Los depósitos del Tirreniense III de Mallorca se caracterizan no sólo por contener en sus estratos inferiores, bloques rodados de playa del Tirreniense II, sino que además porque en ellos se puede decir que han desaparecido las llamadas especies senegalesas, aunque todavía se observa en sus sedimentos cierta abundancia de *Acar plicata* (Chemnitz) y *Brachyodontes senegalensis* (Reeve). Esta diferencia paleontológica observada entre la fauna marina del Tirreniense II y III fue debida sin duda, a que medió entre ambos pisos el período de clima frío correspondiente a la primera fase del Würm (Cuerda, 1957).

A partir del Würm II desaparecen de nuestras costas mediterráneas las dos citadas especies y todas las demás termofilas del grupo de las denominadas senegalesas.

El yacimiento más representativo del Tirreniense III de Mallorca es el localizado junto a las Cases del Canatge—Camps de Tir—b (Coll d'en Rebassa, Palma). Este depósito, muy fosilífero, permitió establecer ya desde un principio una diferenciación litológica y climática con respecto a los vecinos yacimientos, del Tirreniense II, de Campo de Tiro a) y Carnatge.

Análisis efectuados por Stearns, por el método Th. 230/U. 234, dieron por resultado la signación a este yacimiento de unos 75.000 años antigüedad \pm 5.000.

El depósito en cuestión se halla a unos + 2 m. sobre el nivel del mar, lo mismo que otros atribuibles a esta edad: Magalluf (Formación lagunar), Cala Gamba, La Pineda (Palma), todos ellos en la costa Sur de Mallorca. No obstante existen en la isla dos yacimientos atribuibles por su fauna y característica litológicas al Tirreniense III, situados en su parte N.O., al pie de la Sierra Norte. Puerto de Sóller y Cala Sant Vicenç, que se encuentran respectivamente a unos +7 y +5 metros de altitud, lo cual parece indicar que aquella región ha sido afectada por ligeros movimientos de elevación (Cuerda y Galiana, 1967).

Respecto al clima reinante durante el Tirreniense III

parece ser que fue parecido al actual Mediterráneo o un poco más cálido, a juzgar por la fauna de moluscos contenida en el yacimiento de Campo de Tiro b), así como por los Foraminíferos contenidos en sus sedimentos arenosos de base (Mateu, 1968).

LAS FLUCTUACIONES EUSTÁTICAS PLEISTOCENAS EN MALLORCA Y LA TEORÍA DE MILANKOVITCH. ENSAYO DE CORRELACIÓN

Las fluctuaciones climáticas ocurridas durante el Pleistoceno hallan expresión en las oscilaciones del nivel del mar y en las variaciones del contenido faunístico que se hallan registrados en los depósitos de playa pleistocenos de Mallorca.

Han sido numerosos los autores que han ideado teorías que explicaran de forma satisfactoria las causas de estas fluctuaciones climáticas; para unos estas causas se hallan en características propias del Planeta, mientras que para otros, dichas causas tienen un origen astronómico. Entre los trabajos que aducen datos en este último sentido destacan los de Milankovitch (1913-1938); para este autor las variaciones de clima durante el Pleistoceno son un efecto de las perturbaciones en la energía que incide sobre la superficie de la Tierra y en su distribución. Las tablas que publica Milankovitch expresan las variaciones de energía solar incidente a distintas latitudes en el límite superior de la atmósfera, durante el último millón de años, si bien el propio autor reconoce la existencia de errores en sus cálculos a partir de los 600.000 años. Milankovitch basa sus cálculos en el efecto combinado de la variación periódica de la oblicuidad de la Eclíptica, en la fluctuación de la excentricidad de la órbita terrestre y en la precesión de los Equinoccios.

La correspondencia cronológica existente entre los valores calculados por Milankovitch y los registros geológicos de las fluctuaciones climáticas han sido destacadas por numerosos autores; Zeuner (1956) destaca la correspondencia entre las fases de glaciario cuaternario y las fases de baja radiación estival calculadas por Milankovitch. Fairbridge (1961 a y b) también se refiere a los datos calculados por Milankovitch al realizar un balance del conjunto de factores que intervienen en el control de las glaciaciones pleistocenas. Mesoelle et al. (1969) ponen de manifiesto la relación existente entre los datos de Milankovitch y los obtenidos mediante las dataciones radiométricas en las terrazas arrecifales de Barbados. Matthews (1974) enjuicia además el conjunto de datos aportados por otros autores en el estudio de la ciclicidad durante el Pleistoceno, establecida a partir de los estudios paleoecológicos de sedimentos de mares profundos, de la relación isotópica del Oxígeno en caparazones de foraminíferos y del análisis de paleotemperaturas y los relaciona con los datos de Milankovitch.

La comparación de los valores calculados por Milankovitch y los registros geológicos existentes en Mallorca de las fluctuaciones del nivel del mar Mediterráneo durante el Pleistoceno medio y superior (Butzer y Cuerda, 1962, c) es altamente sugestiva; para ello tomamos las curvas realizadas por Zeuner (1956) a partir de los datos de Milankovitch, que expresan los datos calculados de la radiación estival. Dado que las curvas correspondientes a la radiación estival son casi inversas a las de radiación invernal, las primeras expresan también, cualitativamente, las diferencias estacio-

nales: los máximos representan las máximas diferencias estacionales de radiación (inviernos fríos y veranos cálidos) y los mínimos representan diferencias estacionales mínimas (inviernos y veranos suaves).

Se observa, en primer lugar, la correspondencia cronológica existente entre las fases glaciares y las épocas de mínima radiación estival. Esta correspondencia ha sido destacada ya desde antiguo (Zeuner, 1945).

Para el penúltimo interglaciario, o sea el Tirreniense I, Butzer y Cuerda (1962, c) dan cinco episodios transgresivos, con un nivel del mar progresivamente descendente y separados por las correspondientes fases regresivas. Milankovitch da para este piso una sucesión de cinco ciclos de insolación elevada, separados por episodios de insolación algo más baja que la actual. No existen en Mallorca datos cronológicos precisos de cada uno de estos estadios, pero a falta de ellos nos parece extraordinariamente sugestiva su correlación temporal. La fauna que contienen todos los yacimientos de este piso en Mallorca, tienen la misma significación climática, compuesta por especies que viven hoy en la región mediterránea, con la particularidad de presentarse algunos yacimientos con un alto índice de frecuencia de *Patella ferruginea*, especie que se considera en regresión en el Mediterráneo, con tendencia a acantonarse hacia sus costas más cálidas. Expresión de esto en las curvas de Milankovitch podría buscarse en la ausencia de mínimos de insolación muy acusados, cuya consecuencia sería una baja variación climática.

Para el Pleistoceno superior de Mallorca poseemos un nuevo elemento de juicio de innegable valor; nos referimos a las dataciones obtenidas por Stearns y Thurber (1965-67), sobre muestras de depósitos marinos litorales del Tirreniense

II y III. Estas dataciones, realizadas por el método Th/U, se correlacionan aceptablemente —teniendo en cuenta los límites de error (ver cuadro 2) con las variaciones climáticas de Milankovitch. Para el Tirreniense II se han detectado depósitos marinos litorales a cuatro niveles distintos, caracterizados por la presencia de especies «senegalesas». Milankovitch da para este piso una sucesión de episodios de elevada insolación estival separados por episodios de insolación semejante a la actual; la correspondencia climática, además de la cronológica, para este piso es también altamente sugestiva.

La pulsación fría que Milankovitch sitúa a los 115 milenios de antigüedad se correlaciona con la primera fase del Würm (W.I) que separa el Tirreniense II del III y que determina, sin duda, la acusada regresión de especies termófilas que se observa en los sedimentos marinos de este último piso. Las dos pulsaciones frías que le sucedieron —fases II y III del Würm— hallan también expresión en los valores calculados por Milankovitch; durante esta época fría, tuvo lugar la invasión del Mediterráneo por especies nórdicas, entre ellas *Arctica islándica*, que ha sido dragada en aguas próximas a la isla de Cabrera (Paulus, 1950).

Termina el Pleistoceno con otro episodio más cálido, relacionado con la llamada transgresión flandriense, que culmina con un nivel marino parecido al actual.

MOVILIDAD TECTÓNICA DE MALLORCA, DURANTE EL PLEISTOCENO

Un último aspecto que cabe destacar del análisis comparativo de los distintos yacimientos pleistocenos de Mallorca, es

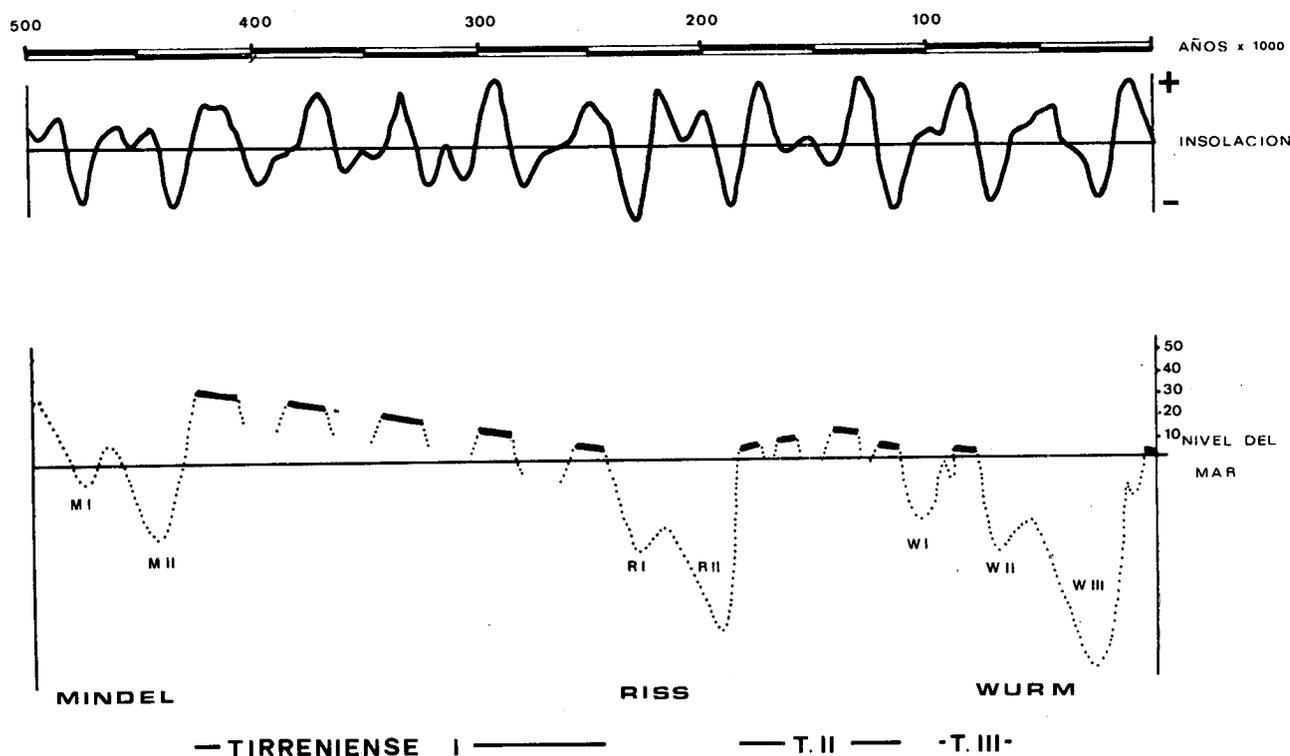


Fig. 2. Comparación entre los valores relativos de insolación calculados por Milankovitch y los depósitos de playa tirrenienses de Mallorca.

la existencia de fases de movilidad tectónica en el Cuaternario antiguo.

Ya Carandell en un trabajo presentado en la XIV sesión del Congreso Internacional de Geología celebrado en Barcelona en 1934 hizo observar que la región SW de Mallorca había sido afectada por movimientos recientes, que considera como emersivos si bien sus argumentos no son hoy defendibles.

En primer lugar, la observación simple de la fisiografía de la isla pone de manifiesto la existencia de unas depresiones, próximas al mar y que, a partir de los datos suministrados por numerosos sondeos, se han determinado se hallan rellenas de potentes depósitos continentales pleistocenos; estas depresiones son el Llano de Palma, La Puebla y Campos. Si bien estos depósitos continentales no suministran información suficiente en cuanto a su edad, podemos atribuirles un origen anterior al Pleistoceno superior, y probablemente al medio, dado que se hallan recubiertos en su parte más meridional (Campos y Palma) por depósitos de playa de dicha edad. Ello evidencia, pues, la existencia de fases locales de subsidencia durante —o anteriores— el Pleistoceno inferior.

Pero las evidencias más palpables surgen de la constatación de las alturas anómalas de los depósitos de playa correspondientes al límite Plio-Cuaternario y al Pleistoceno inferior en Vallgornera y Els Bancals (Cuerda y Sacares, 1971); estos afloramientos se hallan localizados en la costa de Lluçmajor, sobre un escarpado acantilado formado por calizas miocenas, correspondientes a un umbral topográfico que separa las cuencas de Palma y Campos. Dichos yacimientos se hallan a unas cotas de unos 13 m. sobre el nivel del mar, cuando normalmente en el área mediterránea se sitúan a unos 100 m. de altitud. El hecho de que el yacimiento del Calabriense II de Pas d'es Verro (situado en la zona más elevada de la citada costa de Lluçmajor) concuerde con la cota de este nivel en otros puntos del Mediterráneo, nos sugiere un basculamiento de los bordes del bloque de Lluçmajor, (Cuencas de Campos y Palma), mientras que su parte central ha permanecido estable.

También prueba un hundimiento en dicha zona, la existencia de unos 20 m. de depósitos continentales, correspondientes al Pleistoceno inferior y constituidos por limos rojos y grandes cantos rodados, en la isla Foradada en el archipiélago de Cabrera (al S de Mallorca). La presencia de estos depósitos es difícil de explicar si no se admite la existencia de tierras emergidas en las áreas próximas; en la actualidad esta isla se halla rodeada por fondos de una media de 50 m. de profundidad.

En contraposición a estos depósitos antiguos, los yacimientos de la costa de Lluçmajor más modernos, ya no se hallan afectados por movimientos verticales; así las amplias rasas de abrasión marina situadas en las proximidades de Campos y el yacimiento fosilífero de Can Xarpa (Llano de Palma), situados a altitudes del orden de los 50 m. y atribuibles al Siciliense II (Milaziense) se hallan a las mismas cotas que en el resto del área mediterránea. Lo mismo ocurre con los yacimientos marinos litorales del Pleistoceno medio (Tirreniense I) tanto de la costa meridional como oriental, y aún en la Norte (Cova Sa Bassa Blanca), y con los yacimientos del Pleistoceno superior. Estos últimos se hallan localizados a lo largo de las costas actuales, probando que el perfil de éstas no ha experimentado ninguna variación sensible desde el Tirreniense III. Una excepción posible a esto la constituyen los dos únicos yacimientos del Tirreniense III localizados en la Sierra Norte (Puerto de Sóller y Cala de Sant Vicenç), que se hallan situados ligeramente por encima

de sus cotas normales y que indicarían un movimiento de elevación continuado hasta tiempos muy recientes.

Así pues, queda evidenciado que las últimas fases de movimiento tectónicas que han afectado a Mallorca se sitúan entre el Pleistoceno inferior y medio; estos movimientos se manifiestan como una continuación de las fases de subsidencia que han afectado a la isla en sus diferentes áreas, durante el Terciario, con fases importantes en el Mioceno superior (Messiniense) y Plioceno (Pomar, en este volumen).

BIBLIOGRAFÍA

- BIBERSON, P. (1970): Index-Cards on the Marine and Continental Cycles of the Moroccan Quaternary. *Quaternaria*, 13: 1-76.
- BUTZER, W. K. (1959): Contributions to the Pleistocene Geology of the Nile Valley. *Erdkunde*, 13: 46-67.
- BUTZER, W. K. (1962): Pleistocene Stratigraphy and Prehistory in Egypt. *Quaternaria*, 6: 451-477.
- BUTZER, W. K. y CUERDA, J. (1960): Nota preliminar sobre la estratigrafía y la paleontología del Cuaternario marino del Sur y SE de la isla de Mallorca. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 6: 9-29.
- BUTZER, W. K. y CUERDA, J. (1962, a): Formaciones cuaternarias del litoral Este de Mallorca (Canyamel-Porto Cristo). *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 8: 3-29.
- BUTZER, W. K. y CUERDA, J. (1962, b): Nuevos yacimientos marinos cuaternarios de las Baleares. *Not. Com. I.G.M.E.*, 67: 25-70.
- BUTZER, W. K. y CUERDA, J. (1962, c): Coastal Stratigraphy of Southern Mallorca and its implications for the Pleistocene chronology of the Mediterranean Sea. *Journ. Geology*, 70(4): 398-416.
- CALVET, F. (1974): Evolución diagenética de los sedimentos de playa del Pleistoceno de Mallorca. *Tesis Licenciatura*, Univ. Barcelona, 133 p., inédita.
- CARANDELL, J. (1934): Movimientos lentos del Litoral Este de Mallorca. *Cong. Geol. Int. Medit. Occ.*, Barcelona. Vol. 2, pp. 4.
- CUERDA, J. (1957): Fauna marina del Tirreniense de la Bahía de Palma (Mallorca). *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 3: 1-76 y 5 láms.
- CUERDA, J. (1975): *Los tiempos Cuaternarios en Baleares*, Ed. Dip. Prov. Baleares, C.S.I.C., 304 p. y 20 láms.
- CUERDA, J. y GALIANA, R. (1967): Nota sobre un nuevo yacimiento de Cuaternario marino localizado en Cala San Vicente. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 13: 133-136.
- CUERDA, J. y MUNTANER, A. (1951): Visita a un nuevo yacimiento Cuaternario. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Baleares*.
- CUERDA, J. y MUNTANER, A. (1952): Nota sobre las playas con *Strombus* de la Bahía de Palma. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 1.ª época, 1(1): 1-8.
- CUERDA, J. y SACARES, J. (1962): Nuevos yacimientos cuaternarios marinos en el Levante de la Bahía de Palma. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 8: 77-80.
- CUERDA, J. y SACARES, J. (1964): Nuevos yacimientos cuaternarios en la costa de Lluçmajor (Mallorca). *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 10: 89-132.
- CUERDA, J. y SACARES, J. (1966): Nueva contribución al estudio del Pleistoceno marino del término de Lluçmajor (Mallorca). *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 12: 63-99.
- CUERDA, J. y SACARES, J. (1971): Formaciones marinas correspondientes al límite Plio-cuaternario y al Pleistoceno inferior en la costa de Lluçmajor (Mallorca). *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 16: 105-141.
- FAIRBRIDGE, R. W. (1961): Convergence of evidence on climatic change and Ice Ages. *Ann. New York Acad. Sci.*, 95: 543-579.
- FAIRBRIDGE, R. W. (1961): Radiation solaire et variations cycliques du niveau marin. *Rev. Geog. Phys. Geol. Dynam.*, 4: 2-14.
- GIGNOUX, M. (1913): Les formations marines pliocènes et quaternaires de l'Italie du sud et de la Sicile. *Ann. Univ. Lyon Nouv. Sér.*, 1 fasc. 36.
- GINES, A. y GINES, J. (1974): Consideraciones sobre los mecanismos de fosilización de la cueva Sa Bassa Blanca y su paralelismo con las formaciones marinas del Cuaternario. *II Congr. Nac. Eapeloel.*, Oviedo, 1972, Com. n.º 13, inédita. y *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 19: 11-28.
- HAIME, J. (1855): Notice sur la géologie de l'île de Majorque. *Bull. Soc. Geol. France*, 2 sér., 12: 734-752.
- HERMITE, H. (1897): Études géologiques sur les Iles Baléares. Prem. part.: Majorque et Minorque. Paris, 1897.
- IAWORSKY, G. (1963): Quelques coupes dans les terrains quaternaires a Monaco et dans les Alpes-Maritimes. *Bull. Mus. Antrop. Preist.* Monaco, 10: 25-61.
- LECOINTRE, G. (1952): Recherches sur le Néogène et le Quaternaire marins de la côte atlantique du Maroc. *Prot. Rep. Franc. Maroc, Prod. Ind. min.*, Paris. *Not. et Mem.*, 99, 2 tom., 368 pp.
- LECOINTRE, G. (1963): Note sur le Néogène et le Quaternaire marins du Sahara Spagnol. *Not. Com. Inst. Geol. Min. Esp.*, 71: 5-38.

- MATEU, G. (1968): Los foraminíferos del Thyreniense de la Bahía de Palma y las condiciones bioecológicas del antiguo mar balear. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 15: 39-46.
- MATTHEWS, R. K. (1974): *Dynamic Stratigraphy*. Prentice-Hall Inc. 370 p.
- MESSOLELLA, K. J., MATTHEWS, R. K., BROECKER, W. S. y THURBER, D. L. (1969): The astronomical theory of climate change: Barbados data. *Jour. Geology*, 77: 250-274.
- MONTORIOL, J. (1954): El Karst de la isla de Cabrera. *Speleon*, 5: 5-33.
- MUNTANER, A. (1955): Nota preliminar sobre nuevas localidades del Cuaternario de la isla de Mallorca. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 1: 84-86.
- PAULUS, M. (1950): Note sur la présence de *Cyprina islandica* Linné au large des Baléares. *Vie et Milieu*, 1: 302-304.
- POMAR, L. (en este volumen): La evolución tectonosedimentaria de las Baleares: Análisis crítico.
- POMAR, L., GINÉS, A. y FONTARNAU, R. (1976): Las cristalizaciones freáticas. *Endins*, 3: 3-25.
- ROSELLÓ, V. M. y CUERDA, J. (1973): Notas sobre el Plioceno y el Cuaternario del Banc d'Eivissa (Mallorca). *Cuad. Geogr. Univ. Valencia*, 13: 5-13.
- SOLE SABARIS, L. (1962): Le Quaternaire marin des Baléares et ses rapports avec les côtes méditerranéennes de la péninsule Ibérique. *Quaternaria*, 6: 309-341.
- SELLI, R. (1962): Le Quaternaire marin du versant Adriatique-Ionien de la Péninsule Italienne. *Quaternaria*, 4: 391-413.
- STEARNS, C. y THURBER, D. (1965): Th 230/ U 234 dates of late Pleistocene marine fossils from the Mediterranean and Moroccan littorals. *Quaternaria*, 7: 29-42.
- STEARNS, C. y THURBER, D. (1967): Th 230/ U 234 dates of late Pleistocene fossils from the Mediterranean and Moroccan littorals. *Progr. in Oceanography*, 4: 293-305.
- ZEUNER, F. E. (1945): *The Pleistocene Period. Its Climate, Chronology and Faunal Successions*. London, 322 pp.
- ZEUNER, F. E. (1956): *Geocronología. La datación del pasado*. Omega, 1956, 524 pp.

Recibido, noviembre 1978.