

La evolución tectonosedimentaria de las Baleares: Análisis crítico

por Luis POMAR GOMÀ

Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Palma de Mallorca.

ABSTRACT

Now sedimentological observations on Mesozoic and Tertiary exposures together with a critical review of the available literature, lead to the formulation of a tectono-sedimentary hypothesis which differs from the currently accepted interpretation. This reinterpretation considers the importance of vertical block movements and gravitational processes in order to modify the classic compressive nappe structures. Ideas here exposed are in agreement with the results of marine geologists in the Western Mediterranean Sea.

RESUMEN

El análisis crítico de la bibliografía existente sobre la Geología de las Baleares, a la luz de nuestros datos recientes, fundamentalmente sedimentológicos, del Terciario y del Mesozoico de Mallorca, permite modificar el modelo hasta ahora establecido para explicar la evolución tectonosedimentaria de las Baleares. La hipótesis que se plantea modifica las «series de escamas» cabalgantes postburdigalienses y replantea antiguas ideas estructurales —compartimentación por fracturas verticales— combinadas con corrimientos gravitacionales durante el Mesozoico, el Paleógeno y el Neógeno. Esta hipótesis concuerda con la establecida a partir de las investigaciones de Geología marina para explicar las cuencas del Mediterráneo occidental.

INTRODUCCIÓN

Las hipótesis que explican la evolución de las Baleares, se han ido modificando paralelamente al incremento de los datos regionales y a la evolución conceptual de la Geología. El desarrollo de la Sedimentología y de la Tectónica y su reciente aplicación al contexto insular, así como los numerosos datos que se vienen aportando en la actualidad por la Geología marina, ponen de manifiesto algunas contradicciones con la hipótesis hasta ahora admitida para explicar la geología insular. Estas contradicciones hallan también expresión en los trabajos de Geología aplicada, así como en las diferencias existentes entre las interpretaciones derivadas de los trabajos en tierra (Rangheard, 1972; Bourrouilh, 1973; Colom, 1975 a) y las correspondientes a los trabajos de Geología marina; así, mientras en los primeros ha privado el modelo de P. Fallot (1922), entre los segundos existe una división de opiniones (Hsü et al., 1975) entre los que intentan una aplicación del modelo terrestre (Mauffret, 1976; Stoekinger, 1971; Bizon et al., 1978; etc.) y los que abogan por un modelo independiente que no incluye los mantos de corrimientos postburdigalienses establecidos por Fallot (Mauffret et al., 1978, etc.).

En este trabajo se postula una hipótesis distinta para la

evolución tectosedimentaria de las Baleares, realizada en base al análisis crítico de los datos hasta ahora existentes, a los resultados obtenidos en nuestras recientes investigaciones en tierra y en base a los datos publicados hasta la fecha sobre la Geología marina en el Mediterráneo occidental. Esta hipótesis se presenta como un útil de trabajo pretendiendo que sirva de base para futuras investigaciones y responde a un intento de actualización e integración de los datos hasta ahora disponibles; en él se replantea algunas de las ideas estructurales establecidas por Hermite (1879) —compartimentación por fracturas verticales— combinadas por movimientos gravitacionales ocurridos durante el Mesozoico, el Paleógeno y el Neógeno (Pomar, 1976).

ANTECEDENTES

La primera hipótesis interpretativa elaborada con cierta coherencia para Mallorca y Menorca, corresponde a Hermite (1879), precedida de los trabajos de Armstrong (1752), La Marmora (1835) y Bouvy (1845 a 1867); este autor sienta las bases estratigráficas y concibe la estructura de Mallorca dominada por importantes fracturas verticales, aunque hace jugar un papel fundamental a unas supuestas actividades volcánicas, como consecuencia de las ideas imperantes en su época. En Ibiza, la primera síntesis es realizada por Nolan (1887-1895), precedida de los trabajos de Vidal y Molina (1888); este autor realiza detalladas observaciones estratigráficas y describe su estructura en base a grandes pliegues afectados por fracturas.

Durante el segundo decenio de nuestro siglo, surge una nueva hipótesis interpretativa, fundamentada en los trabajos de Fallot (1914 a 1948) y en los trabajos de Darder (1913 a 1933). Colom (desde 1928) realiza importantes aportaciones estratigráficas y sedimentológicas, basadas en estudios micropaleontológicos. La hipótesis configurada por estos autores, se deriva de la aplicación al contexto insular de los mantos de corrimiento descubiertos en los Alpes durante la década de los veinte, y se basa en argumentos paleontológicos para su estratigrafía, y geométricos para su disposición estructural. A partir de estos trabajos se explica la génesis de los potentes depósitos mesozoicos en un surco de tipo «geosinclinal» que se establece a partir del Jurásico medio y

El Jurásico inferior (Infralías y Lías inferior) comprende facies de plataforma marina somera y se deposita concordantemente sobre los depósitos del Keuper. Las facies principales corresponden a dolomías brechificadas, dolomías masivas, calizas micríticas y calizas oolíticas. A partir del Lías medio (Colom 1947, 1973 b) se individualiza un surco que va ganando en profundidad hasta el Cretácico inferior; Este surco se desarrolla principalmente en Mallorca y en el SE de Ibiza, mientras que en el NE de Ibiza y en Menorca se mantiene una deposición menos profunda, existiendo una emersión de estas dos áreas desde el Lías inferior/medio hasta el Hauteriviense. Esta profundización del Surco en Mallorca queda de manifiesto no sólo en los estudios estratigráficos y sedimentológicos en tierra, sino también en los trabajos sísmicos (Banda et al., 1980) (fig. 1).

Los sedimentos correspondientes al Cretácico superior faltan en general en las tres islas como consecuencia de la fase erosiva que afecta a esta región durante el Paleógeno. Sin embargo, en Mallorca han sido reconocidos recientemente unas calizas con Globotruncanas correspondientes al Cretácico superior (Colom 1970, 1973b; Batlle, 1971; Batlle, Felgueroso y Fuster, 1972 y Metaillat y Pechoux, 1978) que evidencian la existencia de un Cretácico superior casi completo, que llega hasta el Maestrichtiense en la región de Andratx (Mallorca). En Ibiza, Rangheard y Sigal (1965) demuestran la existencia del Cretácico superior y su posterior erosión también queda demostrada por la existencia de foraminíferos de dicha edad resedimentados durante el Aquitaniense, Burdigaliense y Plioceno, y que se han descrito tanto en las series de tierra (Colom, 1961, 1967, 1972, 1975a y b,...) como en los estudios en el mar (Hsü et al., 1978).

Todos los autores que han estudiado el Mesozoico en las Baleares, describen una secuencia estratigráfica continua y concordante, interpretada a partir de unidades fragmentadas y dispersas. Las intercalaciones dentro de algunas series, de niveles de edades inferiores así como de facies distintas, se interpreta siempre según las ideas expresadas por Fallot, como escamas cabalgantes debidas a la fase compresiva postburdigaliense. Sin embargo, Pomar (1976) reconoce el origen sedimentario de algunas de estas intercalaciones en Cabrera y en la Sierra Norte de Mallorca; para este autor la serie mesozoica desde el Lías medio presenta unas facies que corresponden a un talud progresivamente más profundo, en las que se intercalan grandes olistones con facies de plataforma y posición estratigráfica más baja, asociados con importantes niveles de slumps; Baron (1970) ya apuntó la existencia de olistostromas de Keuper en la serie jurásica, a partir de los datos de sondeos. En general, las paleopendientes parece se inclinan al SE o al S y coincide con la diferenciación de facies progresivamente más profundas que en Mallorca señala Colom (1973b) en dirección al SE, y que se individualizan a partir del Lías superior. Todo ello sugiere una sedimentación controlada por la existencia de surcos y umbrales al modo que proponen Bernoulli y Jenkins (1974) y Hermes (1978); las direcciones estructurales que controlarían esta deposición vienen a coincidir con las líneas de fractura tardiherciniana. Bourrouilh (1973) también señala la existencia de materiales resedimentados en el Jurásico de las Sierras de Levante de Mallorca, con frecuentes deslizamientos de masas calcáreas. En este mismo sentido se enmarca la probable existencia al N de Mallorca de una plataforma carbonatada en la que predominaría una sedimentación cretácica en facies urgonianas, tal como deducen Oliveros et al., (1960b) y Colom (1975a, 1976) a partir de la existencia

de cantos con *Orbitolina* en los conglomerados aquitanienses al pie de la Sierra Norte de Mallorca, o como apuntan Fourcade et al. (1977).

Esta sedimentación olistostromática no es exclusiva de las Baleares, y ha sido también descrita en las Béticas, Norte de África, Sicilia, Apeninos... (Comas, 1977; Biju-Duval et al. 1978; Elter y Trevisan, 1973; Hoedemaeker, 1973; Mattauer, 1973) aunque en dominios sedimentarios diferentes. Para las Baleares, Mattauer (1973), Biju-Duval et al. (1978) y algunos otros autores, sintetizan esta idea asimilando las series de escamas cabalgantes hacia el NE (fase compresiva postburdigaliense) definidas en Mallorca e Ibiza, con los mantos gravitacionales, que se hallan bien definidos en el

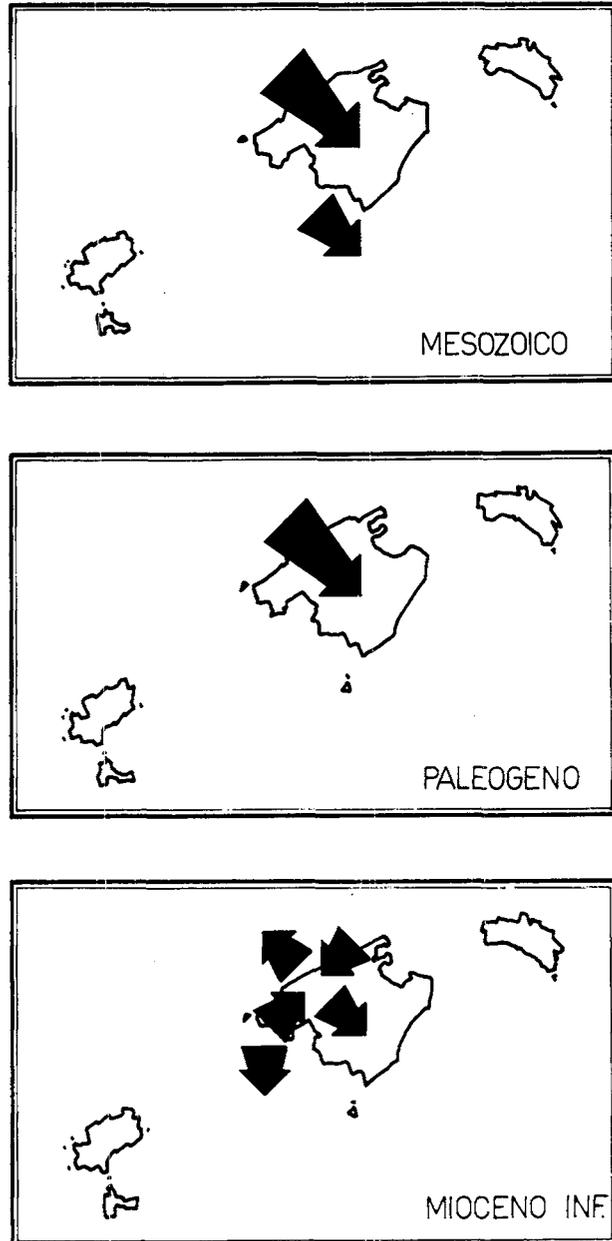


Fig. 2. Direcciones principales de los deslizamientos gravitacionales (datos propios). (Incluye olistostromas, slumps y esquistosidades de slump).

norte de Africa comprendiendo potentes series deslizadas desde el Jurásico hasta el Mioceno medio. Nuestros trabajos (Pomar, 1976) ponen en evidencia que la progresión olistostromica durante el Mesozoico, se realiza hacia el S y SE (fig. 2).

Recientemente Mataillet y Pechoux (1978) han negado la existencia de estos procesos delapsionales durante el Mesozoico (Cif. Págs. 48 y 60) a partir de la reconstrucción de series fragmentadas y dispersas (Cif. pág. 137) que se hallan resedimentadas en el Paleógeno y en el Burdigaliense del sector SW de Mallorca; la negativa de estos autores carece de una base firme, puesto que en ningún momento observan una secuencia mesozoica continua --dada su fragmentación-- y en segundo lugar porque estos autores no tienen en consideración las deformaciones de naturaleza plástica que poseen los olistolitos cretácicos incluidos las series terciarias; estas deformaciones sólo pueden corresponder a pliegues de slumps sinsedimentarios o a pliegues en un nivel estructural medio, aspecto este último totalmente descartado para las deformaciones de esta área.

Terciario *Paleógeno inferior*

Los sedimentos correspondientes a la base del Terciario --Paleoceno y Eoceno inferior-- no aparecen en Baleares, lo mismo que ocurre en gran parte del área mediterránea alpina. Tan sólo se hallan depósitos marinos litorales del Eoceno medio y superior, así como del Oligoceno. Algunos autores suponen que la laguna estratigráfica de la base del Terciario se debe a una emersión general del área al final del Cretácico; sin embargo, la existencia de un Cretácico superior casi completo en Ibiza y en la región más occidental de Mallorca, incluidos estos últimos como olistolitos en una serie continental paleógena (Pomar, en preparación), permite deducir que la emersión del área --al menos en los dominios profundos del Tethys en Baleares-- ocurriría más tarde, probablemente durante el Paleógeno inferior.

Esta emersión general del área podría estar relacionada con una fase tectónica, que posiblemente tiene en las Baleares una importancia mayor de la que hasta ahora se le ha reconocido (Colom 1975a; Rangheard, 1972; Bourrouilh, 1973), y se correspondería con la fase comprensiva que afecta durante esta época a toda el área Mediterránea occidental (Alpes, Pirineos, Cadenas Catalanas; Béticas, Norte de África,...) y que se interpreta ligada al movimiento dextro con una componente norte, de la placa africana respecto a la europea (Dewey et al., 1973; Hsü y Bernouilli, 1978; Biju-Duval et al., 1978).

La ausencia de un registro sedimentario adecuado impide un reconocimiento detallado de las características evolutivas del área balear durante esta época. Es muy probable que estas fases tectónicas hayan producido un juego de fallas de desgarre dextras (N-S a NW-SE, s.l.) afectando a los materiales calcáreos y dolomíticos de la unidad tectosedimentaria mesozoica, así como importantes deformaciones, pliegues y concentraciones e inyecciones de los materiales plástico-margosos, tal como se observa en la Sierra Norte de Mallorca. También parece posible que estas mismas direcciones estructurales (NW-SE) hayan jugado, en el control de la sedimentación mesozoica, como un sistema asociado a las direcciones NE-SW en la delimitación de surcos y umbrales (trabajos en curso). La existencia de estos desgarres dextras

ya ha sido señalada anteriormente por otros autores (Bourrouilh, 1973; Bourrouilh y Bourrouilh, 1972; Mauffret, 1976).

Los sedimentos eocenos aparecen solamente en Mallorca y en Cabrera (fig. 3.1), en afloramientos discontinuos, fragmentados, plegados y dispersos (Colom, 1975 a) y están constituidos por calizas y calizas arenosas con *Nummulites* y por margas amarillas de facies litorales. En Mallorca los depósitos del Luteciense se extienden por los relieves del SE, los biarriztenses en la zona central y los priabonienses al pie meridional de la Sierra Norte, dispuestos todos ellos en estrechas franjas discontinuas alineadas de NE a SW. En Cabrera, Escandell y Colom (1962) y Colom (1975 a) señalan la presencia de sedimentos marinos del Luteciense y López y Serra (1979) señalan la existencia de una serie que comprende el Luteciense y Biarriztense.

Los trabajos de Darder (1925) y Colom (1975 a) sitúan el dominio marino eoceno hacia el Sur de Mallorca, desde donde ocurren varias transgresiones en sucesivas etapas y con estacionamientos de la línea de costa. Estas transgresiones se extenderían lentamente y de forma progresiva hacia el Norte, aunque la extrema complejidad que presentan estos depósitos (que ya es señalada por Hermite, 1879) hace muy difícil su correcta interpretación. Sin embargo, si consideramos la propia distribución y dispersión de los depósitos eocenos (fig. 3.1), su naturaleza exclusivamente litoral, que no existe la secuencia transgresiva que debía acompañar las progresiones hacia el norte del mar nummulítico, así como la frecuente intercalación de estos depósitos con niveles conglomeráticos y su evolución vertical a depósitos lacustres en secuencia netamente regresiva, hacen extremadamente sugestiva la idea de una aloctonia de los depósitos eocenos, que se habrían podido emplazar a favor de procesos de delapsión. Esta hipótesis, aunque especulativa, adquiere mayor sustento cuando se reconoce la existencia de fenómenos delapsionales afectando a unidades sedimentarias del paleógeno superior.

Paleógeno superior

En el Paleógeno superior se produce en Mallorca la instauración de un régimen lacustre sin influencias marinas, que ocurre desde el Ludense superior hasta el Stampiense (Fallot, 1922; Oliveros et al., 1960 a; Oliveros, 1961; Colom, 1961; Colom et al., 1973). En una primera fase, de dominio biostásico, se depositan importantes depósitos carbonosos que contienen gasterópodos lacustres, caráceas y restos de mamíferos, evolucionando posteriormente a lagos con una sedimentación predominante de calizas, en cuya génesis las algas cianofíceas desempeñan un papel fundamental (Oliveros et al., 1960 a; Oliveros, 1961; Colom, 1961, 1972, 1975 a y b). Estos dominios lacustres se extendieron en tres áreas bien definidas (fig. 3.2) (Pie Meridional de la Sierra Norte, Centro y Levante) y la dirección NE-SW desempeña un control estructural en su morfología y desarrollo. Todos estos autores reconocen, además de Fallot (1922), la existencia de varios ciclos sedimentarios así como distintos niveles con evaporitas continentales (yesos) y señalan la importancia de los aportes detríticos cuyos cantos, cretácicos y jurásicos, evidencian un desmantelamiento erosivo de la serie mesozoica. En la parte superior de esta secuencia lacustre, es frecuente la existencia de algunos niveles con fauna marina resedimentada del

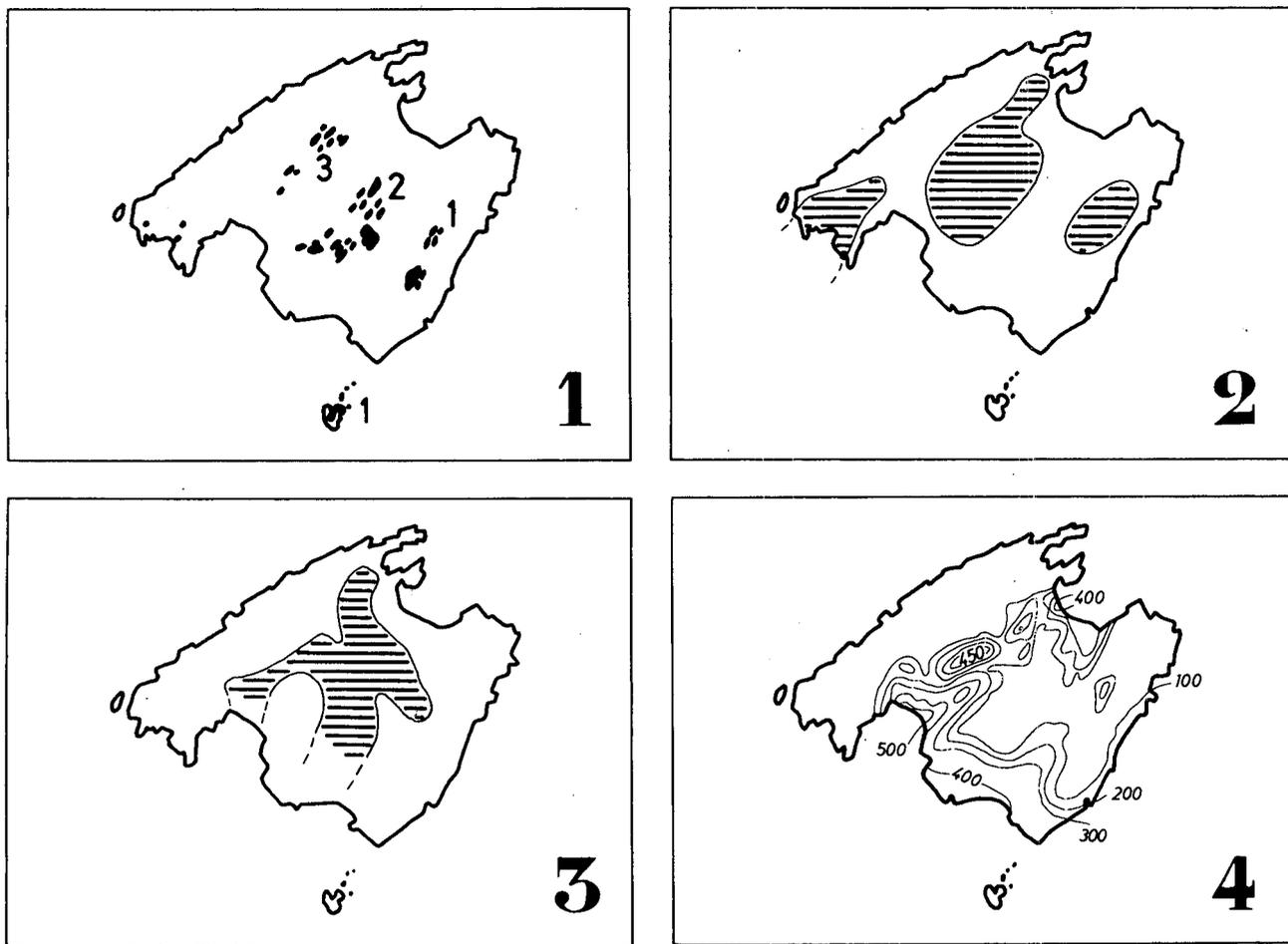


Fig. 3. 1: Distribución de los principales afloramientos nummulíticos de Mallorca (basado en Colom 1975 a). 2: Zonas lacustres de Mallorca durante el Paleógeno superior (basado en Colom, 1975 a). 3: Zonas lacustres de Mallorca durante el Mioceno medio (basado en Colom, 1975 a; Fuster, 1973; Barón, com. verbales). 4: Isobatas de los sedimentos postburdigalienses de Mallorca; equidistancia: 100 m. (Tomado de Fuster, 1973).

Stampiense superior, lo que indica una nueva y efímera transgresión marina. Trabajos recientes para la investigación de carbones (V. Domínguez, comunicación personal) ponen en evidencia una sedimentación de los dominios lacustres del Ludense-Stampiense contemporánea a una fase de fracturación y subsidencia de naturaleza distensiva, así como la existencia de frecuentes e importantes superficies de erosión. Esta subsidencia ya fue señalada por Oliveros et al. (1960 a) así como la existencia de plegamientos sávicos, al final del Stampiense superior, que dan lugar a emersiones y hundimientos con la formación de importantes relieves.

Aquitaniense

Una potente serie detrítica continental, con alternancia de episodios lacustres, solapa todas estas formaciones paleógenas descritas y que, antiguamente atribuidas al Stampiense (Fallot, Darder), ha sido datada como Aquitaniense (Oliveros et al., 1960 b; Oliveros, 1961; Colom, 1976). Esta serie aquitaniense, que se extiende entre los relieves de la Sierra Norte y la zona central de Mallorca, representa para Colom (1976 a) «la última etapa del largo ciclo lacustre oligoceno que termina con la colmatación de la mayor parte de la

cuenca como consecuencia de los macizos emergidos al norte del área balear» (cantos con *Orbitolina*) si bien la existencia de cantos eocenos y oligocenos muestra además un cambio paleogeográfico importante en los dominios sedimentarios respecto a la época precedente. En Ibiza no se conocen depósitos paleógenos y en Menorca han sido descritos recientemente sedimentos oligo-miocenos de facies continentales (Bourrouilh, 1970 b).

La existencia del Aquitaniense marino en Mallorca ha sido detectada recientemente (Colom, 1966, 1973 a, Colom y Sacares, 1968), poniendo de manifiesto una nueva pulsación transgresiva. En la mitad sudeste de Mallorca estos sedimentos recubren los depósitos oligocenos; el contacto es, en general, concordante y progresivo, aunque en ocasiones se aprecia un contacto discordante (Colom, 1973 a). Estos sedimentos son arenosos y margosos, y su contenido faunístico revela un carácter litoral acentuado. La disposición estructural, según este autor es muy compleja y en general se hallan fuertemente plegados juntamente con los niveles oligocenos. Mataillet y Pechoux (1978) dan cuenta de la existencia de fauna marina aquitaniense, resedimentada en los depósitos marinos burdigalienses del sector SW de Mallorca.

Estudios recientes todavía inéditos realizados por el autor

en el sector más occidental de Mallorca, permiten precisar la evolución tectosedimentaria de esta cuenca continental. En este sector, el tramo basal observable corresponde a calizas algales que evolucionan a un palustre efímero y somero, cuyos niveles calcáreos algales alternan con margas carbonosas y margas con yesos, que contienen gasterópodos lacustres, mamíferos, caráceas y alguna pasada con fauna marina stampiense resedimentada. El carácter detrítico de la secuencia se va incrementando en la vertical, paralelamente al incremento de una deformación sinsedimentaria de la propia formación vergente al SE (Pomar, 1976) que llega incluso a «slumpizar». Se le superpone discordante una unidad detrítica, netamente fluvial, que refleja cambios paleogeográficos importantes; así, en la formación basal las paleocorrientes son hacia el SW mientras que en la superior son hacia el SE. En los bordes de la cuenca el carácter detrítico aumenta, pudiéndose observar unos «fan-deltas» conglomeráticos progradantes hacia el SE, así como la existencia de numerosos olistolitos mesozoicos, en ocasiones de grandes dimensiones. La edad de los materiales delapsionados aumenta de NW a SE, lo mismo que la de los cantos de los cuerpos conglomeráticos, todo lo cual registra un diastrofismo acelerado, con elevación y progresivo demantelamiento de un macizo situado al NW de la posición actual de la Sierra Norte de Mallorca (fig. 4).

Estas formaciones continentales del sector occidental de Mallorca, muestran en ocasiones un cepillado basal (*rabotage basal*) que delata su corrimiento sobre los materiales mesozoicos y que, en principio, puede ser contemporáneo a la sedimentación de sus tramos fluvio-lacustres y anterior a la deposición de la unidad fluvial superior. No existe ninguna prueba que permita suponer que tales corrimientos se haya producido durante el Burdigaliense, como apuntan Mataillet

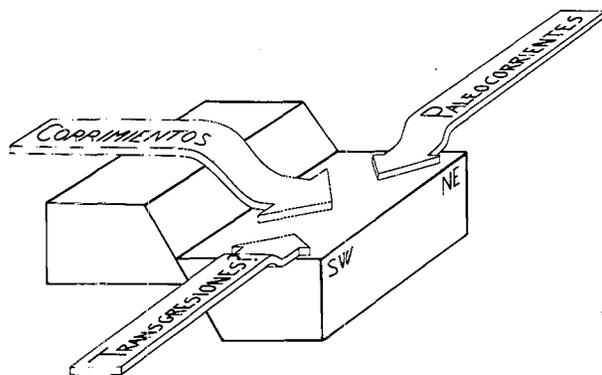


Fig. 4. Terciario continental del sector W de Mallorca: direcciones de las paleocorrientes del tramo basal, de los deslizamientos gravitacionales (y paleocorrientes del Tramo superior) y de las posibles transgresiones marinas (basado en datos propios). Explicación en el texto.

y Pechoux (1978) y cuanto menos, las deformaciones sinsedimentarias existentes en esta formación apoyan su movimiento hacia el SE (fig. 2). Esta superficie de corrimiento puede seguirse hacia el NE coincidiendo, a grandes rasgos y en algunos puntos, con la tercera «Serie» de cabalgamientos definida por Fallot (1922) en la Sierra Norte.

Es importante resaltar aquí la mezcla de fauna de mamíferos africanos y europeos que describen Adrover et al., (1976, 1977) en el sector occidental de Mallorca y que conlleva implicaciones paleogeográficas importantes; estos autores deducen la existencia de periodos de comunicación alternan-

tes de un dominio balear emergido, con el continente europeo (Eoceno/Oligoceno inferior y Oligoceno final) y con el continente africano (Oligoceno medio-superior), seguidas de una etapa de aislamiento prolongado durante el Mioceno inferior.

Así pues, la reconstrucción de la historia del Paleógeno superior y del Aquitaniense es extremadamente dificultosa; por un lado la sedimentación es fundamentalmente continental y sus distintas unidades están, en ocasiones, corridas hacia el SE y por otro lado, los esporádicos niveles marinos que jalonan su historia se hallan resedimentados. Resulta evidente la existencia de un macizo emergido, al norte de las Baleares, en la posición del actual surco de Valencia (Lopis, 1954; Colom y Escandell, 1960; Colom, 1961; Mauffret y Sancho, 1970; Stoeckinger, 1976; Anadón, 1978;...), y que elevado durante la fase compresiva del Paleógeno inferior, acusa transgresiones episódicas durante el Eoceno medio y superior. Este macizo estaría enlazado con el continente africano, al menos durante el Oligoceno medio-superior.

A partir del Oligoceno medio se generan cuencas subsidentes con rellenos continentales y evaporíticos, lo mismo que en otras áreas del futuro dominio mediterráneo (Depresión del Ebro, Fosa Renana,...) (Mauffret, 1976). En Mallorca, estas cuencas se establecen a favor de fracturas NE-SW y basculamientos de los bloques hacia el SE; la subsidencia se prolonga hasta el Aquitaniense, en que ocurre una aceleración del diastrofismo (fig. 4).

Burdigaliense

Durante el Burdigaliense inferior tiene lugar una importante transgresión marina, generalizada, que probablemente afecta a todas las Baleares. Al principio y en las zonas más deprimidas se establecen dominios lacustres litorales («Burdigaliense inferior parálico») (Fallot, 1922; Fallot y Depape, 1928; Colom, 1951, 1968; Colom y Rangheard, 1973) que evolucionan rápidamente a ambientes marinos litorales y de plataforma al tiempo que, en fosas creadas por una tectónica sinsedimentaria (Pomar, 1976; Pomar y Colom, 1977; Rodríguez y Pomar, trabajos en curso) ocurre una importante sedimentación turbidítica. La inmersión de Menorca —o de parte de ella— durante la transgresión burdigaliense ha sido objeto de conjeturas; sin embargo, los argumentos aportados en Bourrouilh (1970 b, 1973) y en Colom (1974, 1975 a) parecen corroborarla.

En el Burdigaliense de Mallorca, Colom (1975, a) diferencia tres dominios sedimentarios distintos; en la Sierra Norte se depositan margas pelágicas con globigerinas y radiolarios, en la zona central margas grises con glauconita y diatomeas depositadas a 500-600 m de profundidad (Colom 1967) mientras que en las Sierras de Levante, aunque con facies similares, predominan los elementos litorales. Bourrouilh (1973) reconoce en las Sierras de Levante la existencia de turbiditas y olistostromas en una secuencia que interpreta como Aquitano-Burdigaliense.

En Ibiza, las descripciones realizadas por Rangheard (1970) muestran un conjunto de facies análogas a las de Mallorca, lo cual sugiere una identidad de los procesos sedimentarios interpretados para Mallorca, y de hecho, Chauve et al. (1978) admiten la existencia en Ibiza de una cuenca de resedimentación durante el Burdigaliense. La existencia de sedimentos burdigalienses en Menorca ha sido objeto de discusión; durante largo tiempo desconocidos en

esa isla, Bourrouilh (1973) señala la existencia de foraminíferos burdigalienses en la base de los sedimentos miocenos («moladas vindobonienses»), que podrían indicar la inmersión de Menorca, al menos parcialmente, durante la transgresión burdigaliense. Esta idea, que es compartida por Hsü et al. (1978), no debe desestimarse sobre todo si se considera que han podido ser erosionadas durante la regresión del Mioceno medio-alto, anterior a la sedimentación del Mioceno «postectónico».

En algunos sectores de la Sierra Norte de Mallorca, se establecen fosas a favor de dos sistemas de fracturas, uno N-S, hundiendo el flanco occidental y otro, al principio subsidiario, E-W; estas fracturas, con carácter de desgarres en algunos casos, provocan basculamientos y un juego diferencial de bloques que determina la existencia de umbrales emergidos, de cuencas lacustres, de plataformas someras y cuencas marinas profundas. En las cuencas marinas se establece una sedimentación fundamentalmente turbidítica; al principio las facies son de conoide submarino, proximales, conteniendo vulcanoclastos y coladas volcánicas, así como abundantes olistostromas («Conglomerados basales» en la literatura) (Pomar, 1976; Pomar y Colom, 1977; Rodríguez, trabajos en curso). La secuencia evoluciona rápidamente a turbiditas distales entre las que se entrecalan niveles de silexitas extraordinariamente ricas en radiolarios y diatomeas; estas turbiditas, atribuidas al Langhiense (Colom 1967; 1975 a; Bizon et al. 1973), manifiestan una predominancia de la fracción arcillosa y colmatan las cuencas subsidentes, recubriendo parcialmente sectores más elevados y fosilizando algunos olistostromas. En toda la formación turbidítica, los flujos de sedimentos se hallan controlados por la morfología del fondo que está inducida por el movimiento tectónico, lo que a nivel regional se traduce en una diversificación de las direcciones de los flujos gravitatorios y de las paleocorrientes (fig. 2). Un ejemplo reciente de este modelo sedimentario sea, quizás y en parte, el modelo propuesto por Kelling et al. (1979) en el «Continental Rise» de Menorca.

Las turbiditas distales de algunas de las cuencas subsidentes, quedan interrumpidas bruscamente bajo potentes mantos olistostromáticos, que se forman como consecuencia de una fase diastrófica paroxismal, establecida a favor del juego de fracturas. Esta fase tectónica, provoca una dilaceración, despegue y corrimiento gravitacional de los materiales calcodolomíticos del Lias, sobre los niveles plásticos del Keuper, que se introducen en las cuencas procedentes de los bordes tectónicamente activos (A. Rodríguez, trabajos en preparación). Es posible que estos corrimientos coincidan con el máximo de la transgresión ya que, la sumersión de los relieves mesozoicos, favorecería los corrimientos como consecuencia de la pérdida de rozamiento y del incremento de la plasticidad de los niveles del Keuper. En este mismo sentido apuntan los sedimentos pelágicos que fosilizan los niveles olistostromáticos.

Metailliet y Pechoux (1978) también reconocen la existencia de importantes fenómenos de resedimentación durante el Burdigaliense, en el sector SW de la Sierra Norte de Mallorca, que interpretan como olistostromas precursores en el avance de un gran manto procedente del SE; estos autores sitúan todos los fenómenos delapsionales durante el Burdigaliense superior/Langhiense, admitiendo, aunque sin demostrar, la existencia de tales fenómenos durante el Paleógeno.

Biju-Duval et al. (1977, 1978) también señalan la existencia de deslizamientos gravitacionales hacia el NE, en la cuenca Nord-balear y cuyo frente lo sitúan aproximadamen-

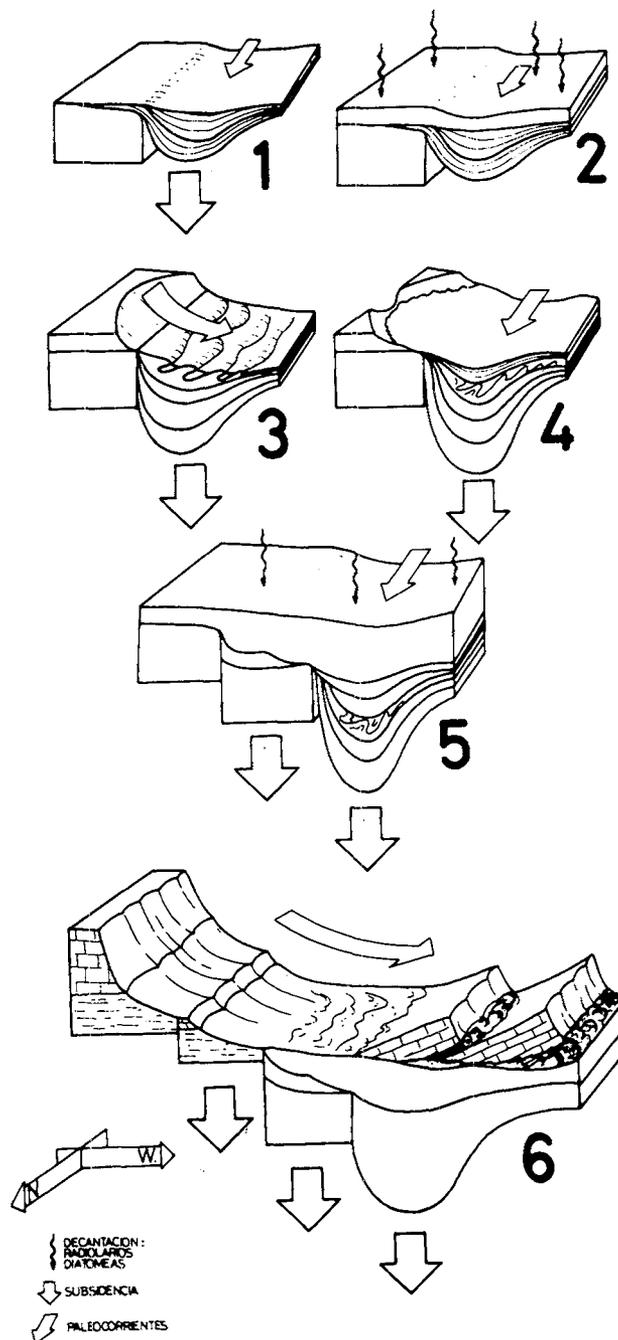


Fig. 5. Historia evolutiva de una cuenca burdigaliense de la Sierra Norte de Mallorca (basado en datos de Rodríguez, 1980; y en datos propios).

te en el talud nord-occidental de Mallorca-Ibiza; la edad de tales deslizamientos es difícil de establecer y ha podido ocurrir durante el Mioceno superior, o incluso más recientemente.

Nuestros trabajos en tierra, sin embargo, ponen de manifiesto la existencia de, al menos, tres fases de deslizamientos gravitacionales (fig. 2) durante el Mesozoico, el Paleógeno y el Mioceno inferior, y que estos deslizamientos fueron integrados por Fallot (1922), junto con los cabalgamientos, en las tres «series» de escamas cabalgantes hacia el NW,

como consecuencia de la compresión postburdigaliense.

Después del Burdigaliense superior-Langhiense, ocurre una importante regresión que dura hasta que el mar transgresivo deposita los sedimentos del «Mioceno postectónico» («Molasas vindobonienses») y que en la hipótesis clásica es sincrónica con la fase tectónica principal, compresiva hacia el NW. Todos los autores que han estudiado la geología de las Baleares después de Fallot y Darder coinciden en la existencia de varias series de escamas corridas hacia el NW, emplazadas después del Burdigaliense y antes del Tortonien-se (Helveciense en los trabajos antiguos), a excepción de Pomar (1976, 1977) que señala la posibilidad de interpretaciones distintas, alguna de las cuales es compartida también por Chauve et al. (1977) y por Mataillet y Pechoux (1978).

En nuestros trabajos recientes y todavía en curso, realizados en Mallorca, se ha puesto de manifiesto la importancia de las fracturas verticales, que juegan como desgarres ya durante el Burdigaliense, contemporáneamente a la deposición de las turbiditas. En amplios sectores de la Sierra Norte, estas fracturas determinan el control estructural y condicionan la

sedimentación, tanto turbidítica como olistrostrómica burdigaliense. En otros sectores, sin embargo, esta compresión se resuelve en fracturas inversas y cabalgamientos y es responsable de los pliegues que afectan a los sedimentos burdigalienses. De cualquier modo, el modelo estructural establecido por Fallot (1914, 1922) para la Sierra Norte de Mallorca y aplicado posteriormente tanto al resto de la isla como a Ibiza debe ser ampliamente modificado.

Resulta todavía prematuro adelantar un nuevo modelo interpretativo completo y coherente para la evolución tectosedimentaria de las Baleares en su etapa burdigaliense; éste debe integrar fenómenos que sugieren una fase de alargamiento (distensión ?) tales como la génesis y subsidencia de las cuencas, el basculamiento de los bloques del basamento mioceno y las emisiones volcánicas, con los fenómenos que son netamente compresivos —pliegues y cabalgamientos— y aún con el importante juego de fracturas de desgarre. La arquitectura estructural es en todo caso muy compleja y la evolución tectosedimentaria es difícil de establecer.

CORTE INTERPRETATIVO DEL TERCIARIO DE LA ISLA DE MALLORCA

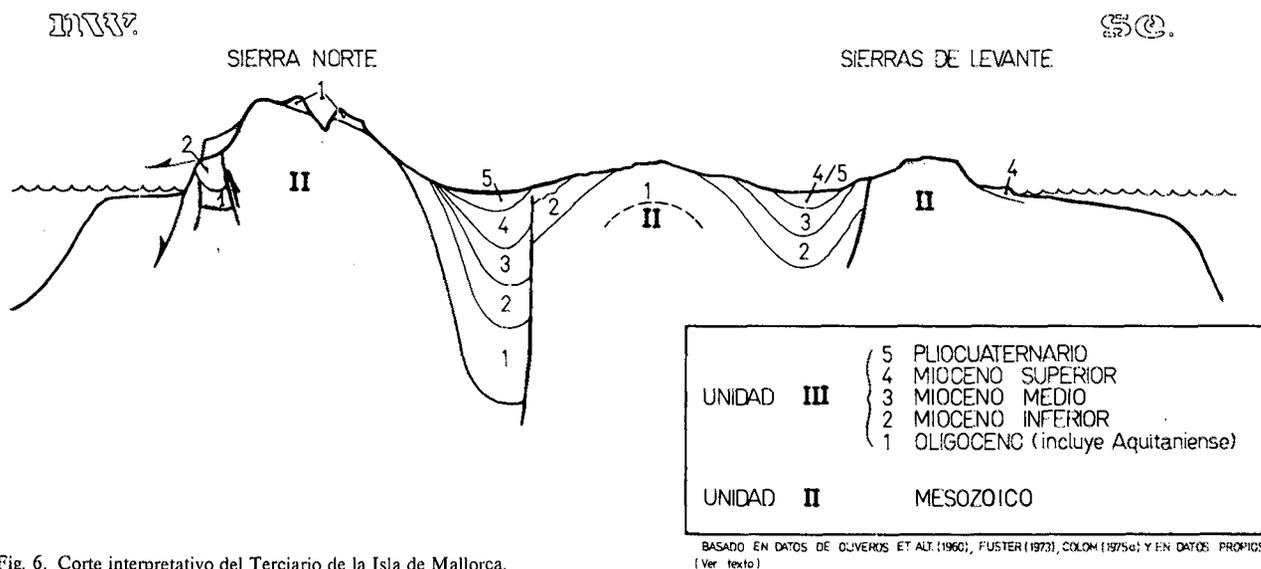


Fig. 6. Corte interpretativo del Terciario de la Isla de Mallorca.

Los datos obtenidos a partir de la investigación de carbones en la zona central de Mallorca (Oliveros et al., 1960 d; Oliveros, 1961) ponen en evidencia varias cuencas subsidentes al pie meridional de la Sierra Norte; en estas cuencas la subsidencia ha actuado desde el Stampiense hasta la actualidad, permitiendo la sedimentación de casi toda la secuencia paleógena y neógena. Este surco subsidente se sitúa al pie de unos importantes relieves que, de acuerdo con la hipótesis de Fallot (1922), habrían tenido que «deslizar» por encima suyo, lo que evidentemente encierra una importante contradicción (fig. 6). Este surco de Mallorca es comparable a la cuenca del «continental rise» de Menorca, perforada por el Glomar Challenger (D.S.D.P. Leg. 42) en el «Site 372»; en ella los sedimentos preevaporíticos no se hallan afectados por deformaciones tectónicas y comprenden secuencias desde, probablemente, el Eoceno sup./Oligoceno hasta el Mioceno medio/superior (Hsü et al., 1978; Mauffret et al., 1978). Es

importante remarcar que todas estas consideraciones vienen a romper la hipótesis estructural clásica de Mallorca e Ibiza, integrando sus acontecimientos tectosedimentarios en el contexto del Mediterráneo occidental; los dominios de tierra y los dominios marinos pueden haber tenido una evolución paralela.

Serrallliense

En algunas zonas del centro de Mallorca, se observan sedimentos que, atribuidos al Burdigaliense, presentan una clara secuencia marina regresiva. En la base de dicha secuencia aparecen sedimentos margosos con niveles turbidíticos, abundantes slumps y niveles olistrostrómicos que contienen rodolitos, fauna litoral y grandes cantos de rocas paleozoicas (Hollister, Darder); verticalmente evolucionan a

niveles bioclásticos con abundantes rodofíceas que presentan facies típicas de plataforma y que culminan con facies de marcado carácter litoral («Son Talent Limestones»; Pomar y Barón, 1978). Es sugestivo asignar estas secuencias a la fase regresiva del Mioceno medio, más cuanto en ocasiones aparecen discordantes sobre sedimentos «burdigalienses s.s.». Si en la Sierra Norte el Burdigaliense termina bruscamente en margas pelágicas con globigerinas y radiolarios, así como con asociaciones de foraminíferos de gran profundidad (Oliveros et al., 1960 c; pág. 269) atribuibles al Burdigaliense superior o al Langhiense (Colom, 1967), esta fase regresiva ha de situarse en el Langhiense superior o ya en el Serravalliense.

Por encima de las «Calizas de Son Talent», aparecen formaciones lacustres de gran potencia en la porción central y oriental de Mallorca, con facies predominantemente margosas y que contienen lechos carbonosos, calcáreos, niveles de sílex y potentes depósitos de yesos, correspondientes a la fase regresiva del Mioceno medio («Burdigaliense superior lacustre» Oliveros et al., 1959, 1960 c; Colom, 1967, 1975 a) (fig. 3.3). En general se disponen discordantes sobre su yacente, el Burdigaliense marino, y engloban gran cantidad de sus foraminíferos, rodados. Estos sedimentos se depositan en cuencas subsidentes pudiendo alcanzar potencias considerables (500 m.) y las capas calcáreas de la parte superior de la secuencia («Son Verdera Limestones»; Pomar y Barón, 1978) recubren discordantes las capas basales ya deformadas (Colom, 1967, pág. 41; Fuster, 1973). En esta formación ha sido señalada fauna de mamíferos endémica (Adrover et al., 1977) que demuestra la permanencia de tierras emergidas durante la transgresión burdigaliense. Colom (1967) señala una fuerte reducción de la fauna lacustre de esta época con respecto a la de los lagos stampienses, e indica un medio salobre para las primeras etapas de estos dominios lacustres, que muestran luego una clara evolución a medios de agua dulce.

Tortonense - Messiniense y Plioceno

Los sedimentos de este «Burdigaliense superior lacustre» son los últimos que manifiestan en superficie, los efectos de una deformación tectónica importante. El Mioceno superior («Molasas vindobonienses»), es discordante y transgresivo, «onlapando» las formaciones sedimentarias anteriores que se hallan, todas ellas, afectadas por deformaciones tectónicas. Este Mioceno superior, por el contrario, es tabular y a excepción de la fracturación distensiva y subsidencia recientes, no presenta deformaciones importantes, por lo que ha sido considerado siempre como «postectónico».

En Mallorca (fig. 7) la transgresión es rápida y da lugar a una sedimentación predominante de calcisiltitas grises con *Heterostegina* durante el Tortonense medio (García Yagüe y Muntaner, 1968; Barón, 1977; («*Heterostegina* calcisilt»), en Pomar y Barón, 1978) en el fondo de cuencas subsidentes y también sobre extensas plataformas; esta sedimentación evoluciona verticalmente a calcarenitas blanquecinas con abundantes rodofíceas y microfauna que presentan estratificaciones cruzadas de gran escala y que corresponden a las facies de un talud arrecifal progradante. En Mallorca, Ibiza y Formentera, la secuencia termina con los depósitos bioconstruidos de un importante complejo arrecifal que progresa sobre las plataformas y en los bordes de las cuencas (Barón 1977, 1980 a; Esteban et al., 1977 a, b, c, 1979) (fig. 8); estos

arrecifes coralinos se hallan afectados por varios ciclos de carstificación que denotan un nivel de mar y/o subsidencia pulsantes, y en su etapa final presentan unas asociaciones paleoecológicas aberrantes que Esteban et al. relacionan con la crisis de salinidad del Mediterráneo durante el Messiniense; Bizon et al. (1973) señalan también la existencia de sedimentos messinienses depositados en mar abierto y con salinidad normal, aunque en su trabajo no describen los perfiles muestrados.

En Mallorca, el complejo arrecifal termina con un período erosional durante el cual se depositan, en dominios marinos restringidos, niveles de margas derivadas de la erosión continental («Margas ocre», García-Yagüe y Muntaner, 1968; «Bonanova marls», en Pomar y Barón, 1978) y se desarrollan paleosuelos que disectan los depósitos arrecifales. Una nueva pulsación transgresiva determina la deposición de una unidad carbonatada de características peculiares («calizas Pont d'Inca», García-Yagüe y Muntaner, 1968; «Terminal Complex» en Esteban et al., 1977, a, b, c, y en Pomar y Barón, 1978; Barón, 1980 b). Esta unidad está constituida en la región central de Mallorca, por calizas y dolomías negras muy recristalizadas, potentes niveles estromatolíticos, calizas lacustres con moldes de evaporitas, ostrácodos, biohermos de gusanos y niveles de sílex, mientras que en la costa oriental se correlaciona con depósitos oolíticos en secuencias de *near-shore* y *Tidal flat*, que sugieren la existencia de mareas. En la zona más deprimida de la cuenca de Palma, en Mallorca, esta unidad comprende niveles de yesos cuyos hábitos cristalinos son los típicamente messinienses. La correlación existente entre la unidad oolítica y los depósitos seleníticos de facies «messinienses» de la cuenca de Palma, así como su posición estratigráfica sugieren para dicha unidad una edad messiniense. Esteban (1979/80) la correlaciona con la «Evaporita superior» mediterránea.

Después de la deposición del «Complejo Terminal» («Calizas Pont d'Inca») tiene lugar una importante regresión, que queda registrada en la intensa erosión que disecta a los relieves recién emergidos y en una profunda carstificación de características muy peculiares. Esta carstificación afecta a todos los sedimentos del Mioceno superior, pero de una forma mucho más intensa a los del «Complejo Terminal» generando unas facies diagenéticas características (facies «Pont d'Inca»).

Para Menorca, Obrador (1970, 1972-73) determina la naturaleza sedimentaria del Mioceno superior describiendo una sedimentación marina somera, fundamentalmente bioclástica, con predominio de facies de «near-shore» y de playa, progradante hacia el Sur, que se traduce en una secuencia regresiva. Este autor sitúa la transgresión durante el Helveciense superior y la progradación de la cuenca ocurriría durante el Tortonense que, salvo pequeñas interrupciones marcadas por superficies de erosión, se prolongaría hasta el Plioceno. Durante esta época supone un Mediterráneo sujeto a un régimen de fuertes mareas. Recientemente Barón et al. (1979) postulan para Menorca el mismo modelo arrecifal de Mallorca, que progradaría durante el Tortonense superior sobre depósitos de *aluvial fans* y *offshore*.

Un nuevo ciclo transgresivo recubre en Mallorca las unidades anteriores, con un contacto basal disconforme. En el fondo de las cuencas se inicia con depósitos lacustres que evolucionan rápidamente a calcisiltitas con foraminíferos piritizados; posteriormente se depositan calcisiltitas con *Ammusium*, *Dentalium*, briozoos y gran cantidad de foraminíferos planctónicos y bentónicos que caracterizan estos

Serra Nord

Serres Llevant



A



B

emersion

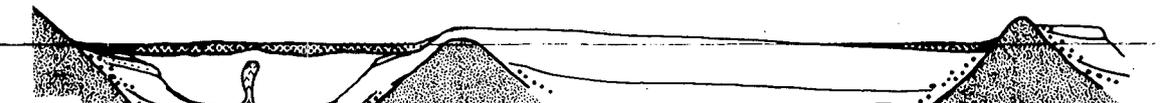


C

emersion



D



E

 PLIO-CUATERNARIO

 PLIOCENO

 COMPLEJO TERMINAL (Messiniense)

 COMPLEJO ARRECIFAL (Messiniense)

 TORTONIENSE

 BASAMENTO

0 4 8 Km.

-  subsidencia
-  niveles antiguos del mar
-  nivel del mar actual
-  depósitos delgados
-  yesos messinienses

sedimentos como Plioceno basal (Colom, 1980; y Barón, Colom, 1980) y que corresponde a la unidad «Margas con *Ammusium*» definida por García-Yagüe y Muntaner (1968) y a la «Son Mir calcisilts» de Pomar y Barón (1978). Esta secuencia es netamente regresiva y evoluciona a calcarenitas con facies de near-shore y dunas. Estos niveles superiores del Plioceno rellenan y fosilizan importantes suturas erosivas que afectan a los materiales messinienses. Colom et al. (1968) y Cuerda et al. (1969) describen niveles de playa y duna pliocenos y Oliveros et al. (1960 d) atribuyen a esta edad unos depósitos de limos rojos existentes en el llano central de Mallorca.

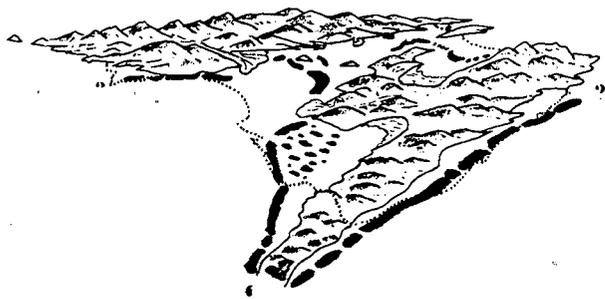


Fig. 8. Los arrecifes messinienses de Mallorca (en negro, arrecifes; sombreado: tierras emergidas; punteado: línea de costa actual). (Dibujo inspirado en Colom, 1975a).

Durante todo el Neógeno superior se evidencia en Mallorca la existencia de fenómenos de subsidencia en cuencas bien delimitadas. (Ver figs. 3-4, 6 y 7). El surco existente al pie meridional de la Sierra Norte, subdividido en tres subcuencas (Oliveros et al., 1960 d) se manifiesta como el más activo y actúa durante casi todo el Terciario, evaluándose su potencia en unos 3.000 metros. Después del Pliocuaternario, una nueva fase tectónica distensiva afecta a Mallorca (Pomar y Cuerda, en este volumen), produciendo un nuevo juego de fallas que han venido moviéndose durante el Neógeno superior, y que de hecho, continúan hasta el Holoceno. No está claro todavía que estas líneas de fractura se correspondan con las que juegan durante el Neógeno inferior, aunque, sin embargo, algunas líneas maestras pueden haber jugado desde el Paleógeno. La existencia en Mallorca de fuentes termales (Sa Rapita) y el reciente hallazgo de sondeos con aguas calientes (Campos, Puigpunyent), hay que referirlo, sin duda, a alguna de estas fracturas maestras que, probablemente, son una traducción de fracturas profundas de zócalo.

El Pleistoceno de las Baleares, perfectamente caracterizado a través de los depósitos marinos litorales (Cuerda, 1975) registra el conjunto de oscilaciones del nivel del mar (Butzer y Cuerda, 1962), así como sus correspondientes variaciones climáticas y pone en evidencia que los últimos movimientos de subsidencia se han registrado entre el Pleistoceno basal y medio y aún, en la Cuenca de Palma, han existido débiles etapas de subsidencia en época reciente (Cuerda, 1976; Pomar y Cuerda, en este volumen).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las Baleares constituyen un enclave emergido en el centro del *puzzle* del Mediterráneo occidental y, como se ha visto anteriormente, su evolución tectosedimentaria durante el

Fig. 7. Historia evolutiva del Terciario superior («postectónico») de la Isla de Mallorca. (Basado en datos de Fuster, 1973; Barón, 1977; y en datos propios).

Terciario parece discurrir paralela a la de éste. Sin embargo, los trabajos realizados en tierra hasta ahora, han referido un modelo evolutivo equivalente al del surco bético y una estructura constituida por varias «series» de escamas, cabalgantes hacia el NW, originadas principalmente durante una fase tectónica compresiva ocurrida después del Mioceno inferior (Burdigaliense) y antes del Mioceno superior (Vindoboniense/Helveciense, según los autores).

Los trabajos de investigación en geología marina han ido incrementando, de forma progresiva en los últimos años, los conocimientos sobre la estructura del Mediterráneo y su evolución. La atención se ha centrado, de forma primordial, en los sedimentos del Mioceno terminal, intentando resolver la polémica cuestión de la profundidad de la cuenca durante la «crisis messiniense»; algunos investigadores han atendido al estudio de las series supraevaporíticas del Plioceno y Cuaternario mientras que las series infrasalíferas han quedado, en general, más desatendidas como consecuencia de su mayor inaccesibilidad, tanto para las exploraciones sísmicas como para los sondeos mecánicos. Todos estos trabajos muestran que la evolución del Mediterráneo occidental ha ocurrido durante el Terciario y fundamentalmente durante el Neógeno, aunque no existe un acuerdo absoluto entre los distintos autores respecto al desarrollo detallado de su historia; mientras un grupo de investigadores intentan una extensión al dominio marino del modelo terrestre establecido en las Baleares (Mauffret, 1976; Stoeckinger, 1971; Bizón et al., 1978), otros postulan un modelo evolutivo independiente para la cuenca marina, que no incluye la compresión durante el Mioceno medio (Mauffret et al., 1978).

A partir de los datos expuestos en este trabajo, ya sean obtenidos en los estudios sedimentológicos de los materiales mesozoicos, paleógenos y neógenos realizados fundamentalmente en Mallorca, ya sea del análisis crítico de la abundante bibliografía existente sobre la geología de las Baleares, se pone de manifiesto una concepción estructural de las Baleares y por ende, una concepción de su evolución tectosedimentaria distintas de las consideradas hasta ahora.

En este trabajo diferenciamos claramente tres grandes unidades tectosedimentarias, superpuestas y correspondientes a tres ciclos sedimentarios: Paleozoico, Mesozoico y Terciario (fig. 9). La evolución que se propone para el Mesozoico no difiere sustancialmente de la establecida por Colom y otros autores, aunque se realizan algunas matizaciones, mientras que para el Terciario, la evolución de la cuenca balear se presenta netamente diferente de la hipótesis establecida por Falot, al tiempo que concuerda perfectamente con los datos derivados de los estudios de la geología marina en la cuenca nord-Balear.

La primera unidad corresponde a los materiales del Paleozoico, depositados al pie de un talud continental y que se hallan plegados y peneplanizados como consecuencia de la orogenia hercínica. Esta unidad, que fragmentada aflora solamente en Menorca, pensamos ha de constituir el zócalo de la cuenca balear durante el Triásico.

La segunda unidad corresponde a los materiales mesozoicos y en ella se pueden reconocer tres subunidades principales. La primera subunidad corresponde a los sedimentos del Triásico con facies germánicas con algunas influencias alpinas; este primer tramo parece presentar discordancias internas y fallas normales sinsedimentarias, que junto con las efusiones volcánicas, denotan una manifiesta inestabilidad distensiva del Paleotethys, en esta área. La segunda subunidad corresponde a los potentes sedimentos calcodolomíticos

del Lias inferior, que representan una importante y tranquila sedimentación en una plataforma somera que se extendía, salvo algunos umbrales, de forma generalizada en toda la cuenca balear. A partir del Lias medio se acusa de nuevo una inestabilidad del zócalo que se incrementa hasta el Cretácico. En Mallorca e Ibiza se establece un talud que evoluciona de forma progresiva a un surco profundo, limitado al NW por una plataforma somera; la profundidad de este surco aumenta hacia el SE y la inestabilidad de este talud determina la formación de frecuentes «slumps», así como la delapsión de bloques y sedimentos de la plataforma septentrional. Todo este conjunto de facies de talud con olistolitos, «slumps» y olistostromas y que abarca desde el Lias medio hasta el Cretácico, se integran en el tercer tramo. Menorca permanece durante el Mesozoico, como un dominio poco profundo, aunque su posición paleogeográfica es incierta; si se relaciona con la plataforma citrabética (Fourcade et al. 1977) hay que admitir la existencia de un importante desgarre dextro durante el Terciario que trasladaría a Menorca hacia el SE (Bourrouilh, 1970; Mauffret, 1976; Fourcade et al., 1977) mientras que si se admite la terminación en cuchara del surco bético en la región de Artá (Bourrouilh, 1973), Menorca aparece como un *horst* sin desplazar respecto a Mallorca e Ibiza. Sin embargo, la posición actual de Menorca puede explicarse sin apelar a dicho desgarre que, aunque lo hace sugestivo la morfología actual del talud de dicha isla, no es del todo necesario si se considera Menorca como un umbral situado al NE del surco mallorquín. Esta consideración viene avalada por las investigaciones sísmicas de Banda et al. (1980) que permiten deducir la pertenencia del Paleozoico de Menorca al zócalo de las Baleares durante el Mesozoico.

Para la unidad mesozoica, las líneas estructurales NE-SW son fundamentales en el control de la sedimentación, lo mismo que ya señalan Stoeckinger (1971) y Rios (1975, 1978) en la plataforma mediterránea ibérica; las alineaciones conjugadas NW-SE parecen jugar también un papel destacado en este control, aunque su función no se halla todavía bien probada. La sedimentación de esta unidad, en una fase tectónica claramente distensiva, hay que relacionarla con el movimiento sinistral de la placa africana respecto a la europea, consecuente a la apertura del Atlántico (Dewey et al., 1973; Hsü y Bernoulli, 1978).

Durante el Paleógeno inferior se produce una emersión completa del área, lo mismo que en el resto del Mediterráneo occidental. Hsü y Bernoulli (1978) relacionan esta emersión con el movimiento dextro de la placa africana respecto a la europea, mientras que Mauffret et al. (1978) lo atribuyen a una «hinchazón» térmica del manto. En distintas áreas del Mediterráneo occidental ocurre una importante fase tectónica compresiva durante esta época; a esta fase, de significación todavía incierta en las Baleares han de atribuirse las fracturas de desgarre, pliegues y todas aquellas deformaciones que afectan de una manera selectiva a la unidad tectosedimentaria mesozoica.

La tercera unidad tectosedimentaria corresponde a los sedimentos cenozoicos (figs. 9 y 10) con estructura compleja y en general discordantes sobre el Mesozoico o sobre tramos cenozoicos anteriores. En ella pueden distinguirse tres subunidades que, en general y excepto la última, se hallan ampliamente tectonizadas como consecuencia de un activo e importante diastrofismo. Los materiales más antiguos se hallan conservados en fosas, algunos de cuyos accidentes generadores juegan más recientemente (Mioceno superior y Plioceno). La subunidad inferior comprende los sedimentos

continentales paleógenos, la subunidad media corresponde a los sedimentos marinos burdigalienses, incluyendo los lacustres serravallenses y finalmente la superior, clásicamente postectónica, comprende los sedimentos del Tortoniense, del Messiniense y del Plioceno.

La subunidad basal se deposita en fosas creadas al principio de la distensión durante el Eoceno superior-Oligoceno. Los sedimentos litorales eocenos se disponen en afloramientos discontinuos y dispersos de difícil interpretación; Colom (1975 a) sitúa el dominio marino hacia el Sur, de

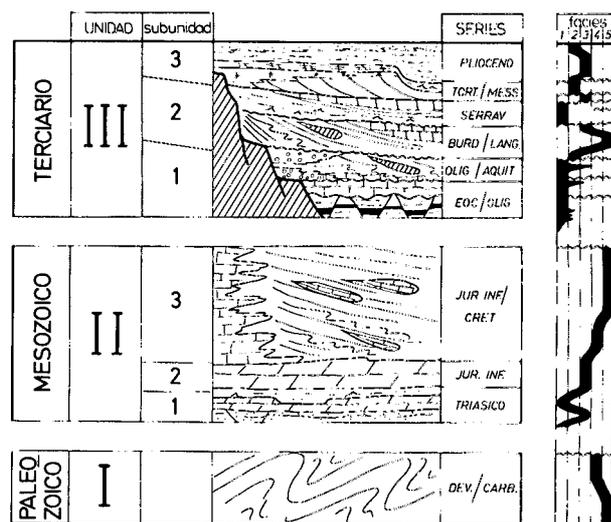


Fig. 9. Ciclos sedimentarios, Unidades y Subunidades estratigráficas. Explicación en el texto. (Facies, ver fig. 10).

donde procederían las efímeras transgresiones marinas y que bien podrían estar relacionadas con las primeras pulsaciones subsidentes. Durante el Oligoceno se instauran importantes dominios lacustres contemporáneos a una tectónica distensiva, cuyo resultado es la formación de *horsts* y *grabens*. En estos depósitos se reconocen varios ciclos con niveles de carbones, calizas algales y evaporitas; hacia el techo se incrementan los aportes detríticos, cuyos cantos denotan la erosión de la serie mesozoica y contienen niveles con fauna marina resedimentada del Stampiense, testigos de una nueva y efímera transgresión. La fauna de mamíferos manifiesta una comunicación continental alternante con el continente europeo (Eoceno-Oligoceno inferior; Oligoceno final) y con el continente africano (Oligoceno medio-superior) (Adrover et al., 1976, 1977). Durante el Aquitaniense se registra un incremento del diastrofismo con el progresivo e intenso desmantelamiento erosivo de los materiales paleógenos y mesozoicos (conglomerados, olistolitos) en un macizo situado al NW de la posición actual de la Sierra Norte mallorquina, al tiempo que ocurre una pequeña pulsación transgresiva.

Así pues, durante el Paleógeno ocurre una sedimentación fundamentalmente continental y evaporítica con episódicos niveles marinos en cuencas subsidentes, lo mismo que en otras áreas del futuro dominio mediterráneo. En Mallorca, las líneas de fractura NE-SW determinan el control estructural de estas formaciones, cuya deformación es vergente al SE; así los depósitos eocenos se hallan alineados de NE a SW, lo mismo que los olistolitos cretácicos en las series continentales paleógenas (Mataillet y Pechoux, 1978), la morfología de

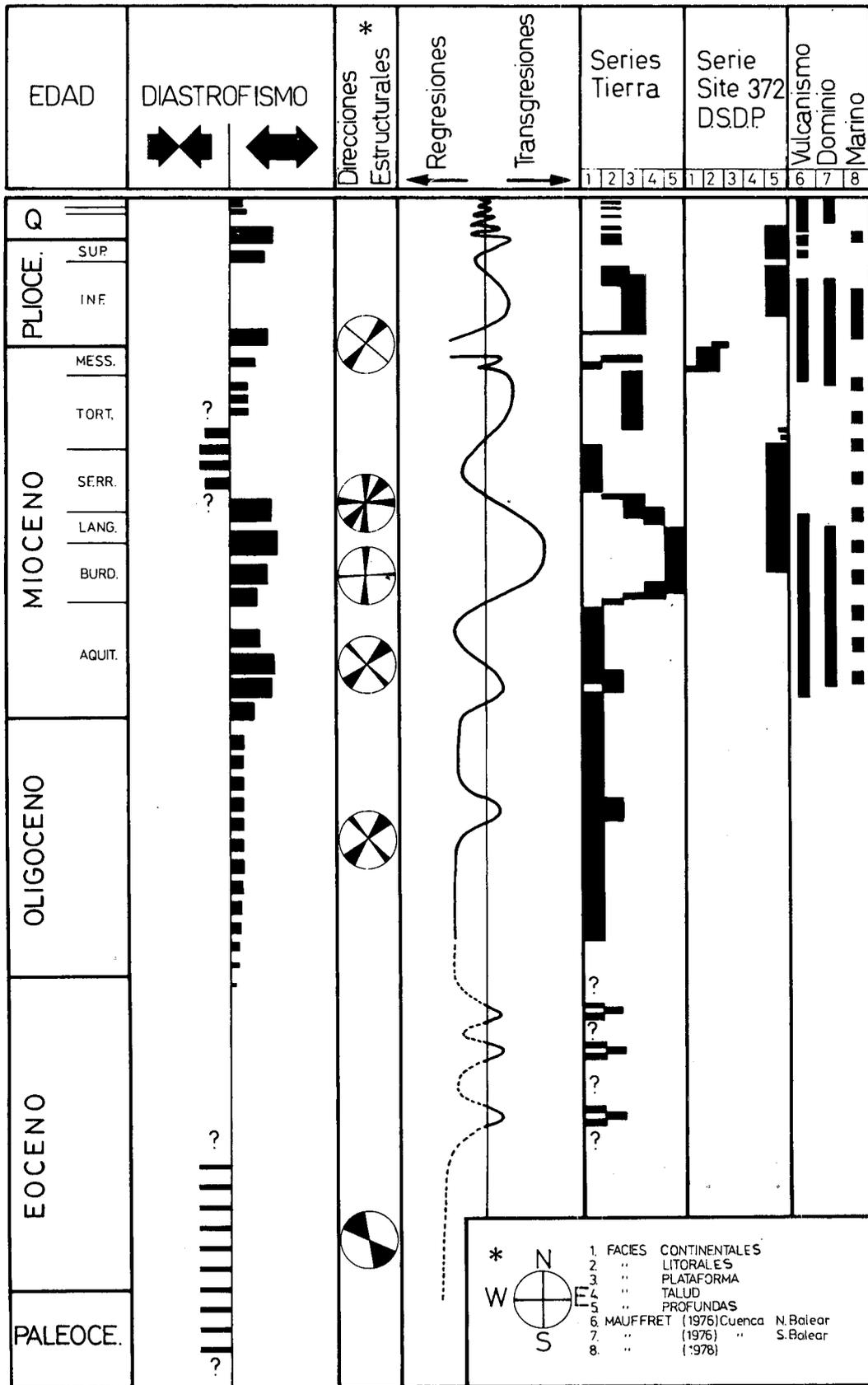


Fig. 10. Esquema sintético del Terciario de las Baleares y su comparación con los datos del dominio marino. (El diastrofismo distensivo se ha establecido en base a fases de subsidencia). Explicación en el texto.

los lagos (Oliveros, 1961) y las direcciones de las paleocorrientes.

La segunda subunidad se inicia en el Burdigaliense con una importante y generalizada transgresión, contemporánea de una aceleración diastrófica, que deposita importantes depósitos de flujos gravitatorios (turbiditas, *mass-flows*, *debris-flows* y olistostromas) acompañados de emisiones volcánicas. Esta deposición se halla fuertemente controlada (diversificación geográfica de las paleocorrientes) por el juego de fracturas N-S y sus conjugadas E-W provocando un juego diferencial de bloques (*horsts* y *grabens*); los sistemas NE-SW y sus conjugados, también juegan en esta fase, pero con menor intensidad, al menos en la Sierra Norte de Mallorca. La transgresión es máxima durante el Langhiense y se producen importantes corrimientos gravitacionales de los materiales mesozoicos, y la regresión subsiguiente, probablemente serravalliense, deposita importantes depósitos lacustres y evaporíticos en cuencas que mantienen una subsidencia activa. La fauna de mamíferos contenida en estos depósitos lacustres, pone en evidencia la permanencia de tierras emergidas durante el máximo de la transgresión burdigaliense-langhiense.

Todos los sedimentos de la primera y segunda subunidades terciarias manifiestan una deformación intensa y una gran complejidad estructural, producidas por cabalgamientos y por juegos de fracturas verticales, así como por importantes corrimientos gravitacionales. Si bien resulta todavía prematuro establecer la evolución tectonosedimentaria de la cuenca balear durante el Burdigaliense existen argumentos que permiten descartar, en amplios sectores, las series de escamas cabalgantes propuestas por Fallot, como base de la arquitectura estructural. Es evidente que tanto la estructura como la evolución tectonosedimentaria que la ha generado, resultan más complejas que lo que hasta ahora se ha reconocido. El modelo que debe elaborarse, ha de integrar en un esquema coherente tanto los fenómenos de génesis y subsidencia de las cuencas, el basculamiento de los bloques del basamento de la cuenca burdigaliense y las emisiones volcánicas submarinas, como la formación de pliegues compresivos en los sedimentos burdigalienses, los cabalgamientos y aún el importante juego de desgarres. En este sentido, el modelo de evolución del Mediterráneo occidental que proponen Banda y Channell (1979) es altamente sugestivo y permite integrar todos los fenómenos descritos. Por otra parte también hay que considerar que la formación del «Surco de Valencia», hundiéndose al principio del Mioceno (Mauffret, 1976) provoca la desaparición del antepaís en el sentido que lo propone Stille (1927) para las contracciones del Mioceno medio en las Baleares.

La tercera subunidad corresponde al Mioceno superior y Plioceno; ambos *onlapan* las formaciones anteriores y, excepto en cuencas subsidentes bien limitadas, no han sufrido deformación. Durante el Tortoniense tiene lugar una transgresión que deposita sedimentos litorales y de plataforma, con el desarrollo de un importante complejo arrecifal progradante y que, al final, presenta asociaciones paleoecológicas aberrantes como respuesta al inicio de la crisis de salinidad mesiniense.

Una ligera regresión determina una fase de erosión y carstificación de todos estos depósitos, antes de que en una nueva pulsación transgresiva, se formen importantes depósitos estromatolíticos y evaporíticos en cuencas restringidas, al tiempo que en las plataformas abiertas se forman importantes depósitos oolíticos.

Tras la regresión messiniense, en que ocurre una carstificación de características muy peculiares, se produce la transgresión pliocena y se depositan sedimentos carbonatados con una línea de costa progradante que da lugar a una secuencia regresiva. Durante la deposición de toda la tercera subunidad terciaria se manifiesta una subsidencia en cuencas bien delimitadas que, aunque pulsante, se mantiene activa hasta la actualidad. Esta subsidencia se efectúa principalmente a favor de fracturas NE-SW y los últimos hundimientos importantes ocurren al principio del Cuaternario.

Mediante la expresión gráfica de todos los datos expuestos (fig. 10) se pone de manifiesto una correspondencia, a grandes rasgos, entre los acontecimientos diastróficos distensivos y los principales ciclos transgresivos; ello traduce la coincidencia entre las transgresiones y la génesis y activación de las cuencas subsidentes. También se observa una sincronía entre dichas distensiones y las fases de actividad volcánica en el Mediterráneo.

En el análisis geológico y geofísico del «Site 372, D.S.D.P.» Mauffret et al. (1978) dan cuenta de la existencia de fosas de más de 200 metros rellenas por dos unidades sedimentarias, una inferior que sospechan correspondiente al Oligoceno-Mioceno inferior de naturaleza continental, que colmata un sistema de *horsts* y *grabens* y una unidad superior que, rellena fosas distintas a las anteriores y recubriendo la unidad inferior, se halla formada por los sedimentos turbidíticos burdigalienses y las hemipelagitas serravallienses. Estas dos unidades sedimentarias del dominio marino se correlacionan con las subunidades —o al menos parte de ellas— definidas en tierra. Así la unidad inferior en el «Site 372» se corresponde con el Paleogeno continental y el Aquitaniense descritos en Mallorca, mientras que durante el Burdigaliense, las turbiditas y hemipelagitas se depositan sincrónicamente al juego de un sistema de fracturas distinto y sobrepuesto al anterior, todo lo cual es correlacionable con la unidad superior del «Site 372». La diferenciación entre ambos dominios —marino y terrestre— se establece, probablemente, después del Burdigaliense superior— Langhiense, aunque la erosión de la parte superior de la secuencia preevaporítica en el «Site 372» relega tal suposición a un terreno puramente especulativo; sin embargo es probable que el juego de las fracturas de rumbo durante el Mioceno medio, ejerzan una función destacada, o quizás corresponda a una continuación de la subsidencia en el talud precontinental del E de Menorca.

La comparación entre la curva de transgresiones y regresiones deducida en Baleares a partir de los estudios de las series en tierra (fig. 11 A) con los cambios globales relativos del nivel del mar establecidos por Vail et al. (1977) a partir de perfiles sísmicos (fig. 11 B) muestra una correspondencia altamente sugestiva. Sin embargo, si la curva establecida en Baleares, muy general y dotada de cierta imprecisión, + tratamos de ajustarla respecto a dichos cambios globales del nivel, introduciendo desplazamientos en ordenadas (fig. 11 C), éstos se corresponden, a grandes rasgos, con movimientos verticales en el área balear durante el Terciario (figs. 11 D y E). Así, en el Eoceno medio se inicia el hundimiento de una área totalmente emergida durante el Paleoceno y el Eoceno inferior, y que se continúa hasta el final del Oligoceno. En el Mioceno inferior la curva explícita undimientos muy impor-

1. La curva de transgresiones y regresiones establecida para las Baleares no es cuantitativa de una forma absoluta. Se ha construido mediante el estudio de las distintas secuencias estratigráficas (fig. 10) y prescindiendo del juego vertical de algunos bloques fuertemente subsidentes.

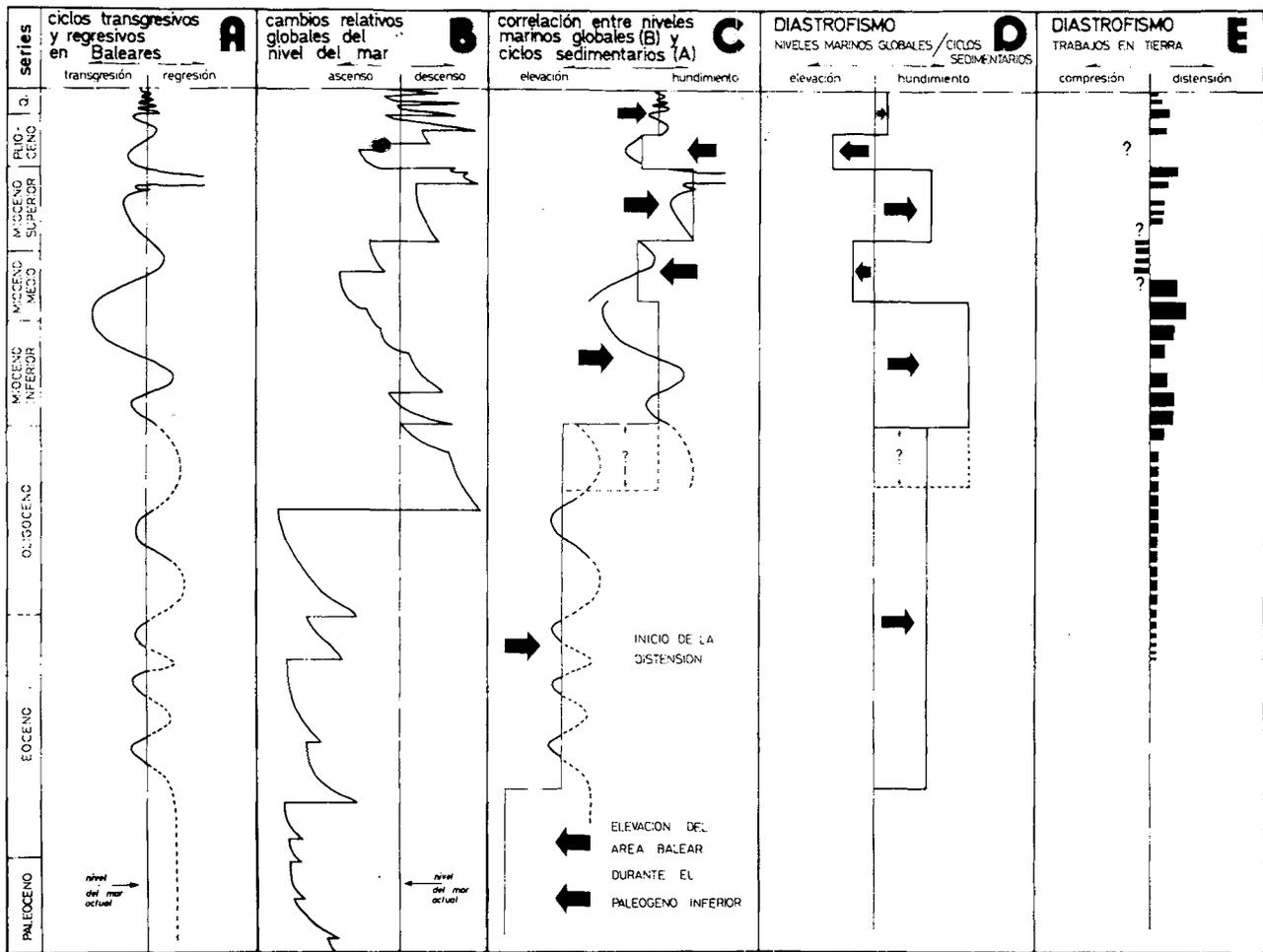


Fig. 11. A: Ciclos transgresivos y regresivos del Terciario de las Baleares (fig. 10). B: Cambios relativos globales del nivel del mar, según Vail et al. (1977). C: Correlación entre los cambios globales del nivel del mar (B) y los ciclos sedimentarios de las Baleares (A). D: Fases de diastrofismo deducidas a partir de (C). E: Fases de diastrofismo establecida en las Baleares (fig. 10). Explicación en el texto.

tantes, mientras que la transgresión global generalizada del Serravaliense, se manifiesta en Baleares con carácter regresivo, lo cual requiere de un levantamiento relativo del área.

La transgresión tortoniense en el área Balear se sitúa por encima del nivel global correspondiente, por lo que debemos pensar en una fase de subsidencia mientras que, la transgresión pliocena, que alcanza en Baleares las mismas cotas, requiere de nuevos levantamientos, aunque localmente se manifiesten subsidencias diferenciales. Estos posibles levantamientos del Plioceno en ciertas regiones de Baleares contrastan con los hundimientos generalizados que señalan las investigaciones en Geología marina del Mediterráneo occidental; quizás podría correlacionarse con la tectónica de «coulissage» que propugna Bourrouilh (1978) aunque posiblemente tan sólo representaría elevaciones de ajuste de bloques.

Esta actividad diastrófica establecida mediante la comparación de las curvas de niveles globales y transgresiones-regresiones es extraordinariamente sugestiva. De hecho, si colocamos a lo largo del tiempo las sucesivas fases de hundimientos y elevaciones así deducidas (fig. 11 D) se observa un marcado paralelismo, en sentido cualitativo, con

las fases de compresión y distensión (fig. 11 E) establecida mediante los trabajos de campo (ver fig. 10), lo que confiere a dicha curva un alto grado de fiabilidad; las pequeñas diferencias existentes entre estas dos curvas (D y E) son debidas a la falta de una datación precisa en el establecimiento de la curva E y al carácter semicuantitativo de la curva 11-A. Una vez resueltos estos dos problemas, el método de comparación de curvas ha de resultar de gran utilidad para futuras investigaciones.

Así pues, y de todo lo dicho, podemos concluir que durante el Paleógeno inferior tiene lugar la eliminación del Tethys en esta área como consecuencia de una fase compresiva generalizada en la futura cuenca del Mar Balear. Durante el Eoceno superior-Oligoceno se inicia una fracturación y formación de *horsts* y *grabens*, con suave subsidencia y la implantación de importantes dominios lacustres con episódicas transgresiones marinas. El diastrofismo distensivo se acentúa hacia el final del Oligoceno, llegando a una fase importante en el Aquitaniense, que produce notables cambios paleogeográficos; es posible que en esta fase se produzcan los principales corrimientos gravitacionales. Durante el Burdigaliense se produce una fuerte transgresión marina generalizada en las

Baleares y que alcanza su valor máximo durante el Langhiense; las cuencas burdigalienses se generan por sistemas de fracturas, distintos a los que han jugado en las cuencas paleógenas, y son contemporáneos a la sedimentación. Las turbiditas y hemipelagitas colmatan dichas cuencas y contienen coladas volcánicas y grandes olistostomas mesozoicos. Durante el Serravaliense, la regresión existente en las Baleares debe de correlacionarse con el juego de fracturas de desgarrar y consiguiente elevación del área, correspondiente a la fase tectónica compresiva. Es posible que algunos sedimentos marinos, tradicionalmente atribuidos al Burdigaliense, haya que situarlos en esta fase, pero los sedimentos lacustres subsiguientes («Burdigaliense superior lacustre») han de correlacionarse necesariamente con ella.

Una nueva transgresión ocurre durante el Tortoniense, al final de la cual se desarrolla un importante complejo arrecifal que termina durante la crisis de salinidad; la unidad sedimentaria correlacionable con la «evaporita superior mediterránea» presenta en algunos sectores de Mallorca (Levante) secuencias de mareas, lo que parece indicar una comunicación abierta con algún área oceánica. Tras la crisis messiniense, un nuevo ciclo transgresivo se implanta durante el Plioceno. El análisis de las curvas de transgresiones-regresiones y de niveles marinos globales sugieren una posible fase compresiva durante esta época —si se asocia esta elevación a una fase compresiva— que, evidentemente, las futuras investigaciones deberán resolver.

La hipótesis que se plantea en este trabajo no se presenta como definitiva; pretende aportar unas ideas distintas de las consideradas hasta la fecha, sobre la evolución tectosedimentaria de las Baleares, en el marco de la historia evolutiva del Mediterráneo occidental. Las polémicas que este trabajo pueda levantar al respecto, servirán sin duda para lograr una mayor aproximación al conocimiento de un modelo integrado para las Baleares, y si ello se consigue, este trabajo habrá logrado uno de sus objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas acreedoras de mi agradecimiento por su valiosa ayuda en la colaboración de este trabajo. A los Drs. Oriol Riba, Pedro Santanach, Mateo Esteban, Antonio Obrador, a D. Alfredo Barón y a D. Antonio Rodríguez sus orientaciones y críticas, tanto sobre el terreno como en la redacción del trabajo. Al Dr. Guillermo Colom, Dr. Pedro Anadón y D. Valentín Domínguez, sus orientaciones y críticas. A Toni Font, Ada Pascual y Pedro Rosselló, su inapreciable compañía y ayuda en el campo, a Joaquín Ginés, Rafael Jaume y Lluís Fiol la elaboración de las figuras y a Margarita Moll su paciente mecanografía del texto.

BIBLIOGRAFÍA

- ADROVER, R. y HUGUENEY, M. (1976): Des rongeurs (Mammalia) Africains dans une faune de l'Oligocène élevé de Majorque (Baléares, Espagne). *Nouv. Arch. Mus. Hist. nat. Lyon*, 13: 11-13.
- ADROVER, R., HUGUENEY, M. y MEIN, P. (1977): Fauna africana Oligocena y nuevas formas endémicas entre los micromamíferos de Mallorca. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 13: 137-149.
- ARMSTRONG, J. (1752): The History of the Island of Minorica. C. Davis, *opposite*, Gray's Imm Holborn, 28, 260 pp. Versión española de la 2.ª edición (1930) a cargo de J. Vidal y S. Sapiña. Imp. Sintet Rotger, 241 p. 1 mapa. 4 grab. Mahón.
- ANADON, P. (1978): Deslizamientos gravitacionales y depósitos asociados en

- el Eoceno marino del borde oriental de la Cuenca del Ebro (sector de Igualada). *Act. Geol. Hisp.*, 13: 47-53.
- AUZENDE, J. M. y OLIVET, J. L. (1974): Structure of the Western Mediterranean Basin, in «The Geology of Continental Margins» Ed.: C.A. BURK and C.L. DRAKE. Springer-Verlag. pp.: 723-731.
- AZEMA, J., BOURROUILH, R., CHAMPETIER, Y., FOURCADE, E. y RANGHEARD, Y. (1974): Rapports stratigraphiques, paléogéographiques et structuraux en la chaîne Ibérique, les cordillères Bétiques et les Baléares. *Bull. Soc. Geol. France* (7 sér.) 16: 140-160.
- BANDA, E., ANSORGE, J., BOLOIX, M. y CORDOBA, D. (1980): Crustal Structure of the Balearic Islands (Western Mediterranean) *Earth Planetary Sciences and Letters* (en prensa).
- BANDA, E. y CHANNEL, J.E.T. (1979): Evidencia geofísica para un modelo de evolución de las cuencas del Mediterráneo occidental. - *Estudios geol.* 35:5-14.
- BARON, A. (1970): Estudio Estructural del borde Meridional de la Sierra Norte de Mallorca (Entre Esporlas y Pollensa) *Tesis Licenciatura*, Univ. Barcelona 67 pp. 1 pl. 3 lam. (Inédito).
- BARON, A. (1977): Estudio estratigráfico y paleontológico del Mioceno medio y superior postorogénico de la Isla de Mallorca. *Premio Ciudad de Palma* (Inédito) 180 pp. Ed. 1975.
- BARON, A. (1980 a): El desarrollo arrecifal en las islas de Ibiza y Formentera. *Bol. Inst. Geol. Min. España* (en prensa).
- BARON, A. (1980 b): El complejo terminal Messiniense de la isla de Mallorca. *Bol. Inst. Geol. Min. España* (en prensa).
- BARON, A., BAYO, A. y FAYAS, J. A. (1979): Relación modelo geológico - modelo hidrogeológico—. Ejemplo: El acuífero mioceno de la isla de Menorca. *II Simp. Nac. Hidrog. Pamplona*, 19 pp.
- BARON, A. y COLOM, G. (1980): Nota preliminar sobre la existencia del Plioceno Marino en Mallorca. *Bol. Inst. Geol. Min. España* (en prensa).
- BATLLE, A. (1971): Estudio Estructural del Extremo Occidental de la Sierra de Mallorca. *Tesis de Licenciatura*, Univ. Barcelona Septiembre, 1971, 53 pp. (Inédito).
- BATLLE, A., FELGUEROSO, C. y FUSTER, I. (1972): Presencia de calizas del Cretáceo superior en el extremo suroeste de la sierra Norte de Mallorca. (Baleares). *Bol. Geol. y Min.* 83-84:343-350.
- BERNOULLI, D. y JENKYN, H. G. (1974): Alpine Mediterranean and Central Atlantic Mesozoic facies in relation to the Early evolution of the Tethys. in: «Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation, R. H. Dott Jr. and R. H. Shaver Eds. S.E.P.M. Spec. Pub. 19: 129-160.
- BIJU-DUVAL, B., LETOUZEY, J. y MONTADERT, L. (1978): Structure and evolution of the Mediterranean Basins. in: HSÜ et al. (1978). *Init. Rep. D.S.D.P. Washington* (U.S. Gov. Print. Off.) 42 (1): 951-984.
- BIJU-DUVAL, B., LETOUZEY, J., MONTADERT, L., CORRIER, P., MUGNIOT, J. F. y SANCHO, J. (1974): Geology of the Mediterranean Sea Basins. in: The Geology of Continental Margins. Ed.: C.A. BURK and C. L. DRAKE. Springer-Verlag.
- BIJU-DUVAL, B. y MONTADERT, L. (1977): Introduction to the Structural History of the Mediterranean Basins. *Inter. Symp. Struc. Hist. Medit. Basins, Split* (Yugoslavia) 25-29 Oct. 1976. B. Biju-Duval and L. Montadert. Eds. Editions Technip. Paris 1977: pp. 1-12.
- BIZON, G., BIZON, J. J., y BIJU-DUVAL, B. (1978): Comparison between formations drilled at DSDP site 372 in the Western Mediterranean and exposed series of land. in: HSÜ et al. (1978) *Init. Rep. D.S.D.P. 42*, (U.S. Gov. Print. Office): 897-901.
- BIZON, G., BIZON, J. J., BOURROUILH, R. y MASSA, D. (1973): Présence aux îles Baléares (Méd. occ.) de sédiments «messiniens» déposés dans une mer ouverte, à salinité normale. *C. R. Acad. Sci. Paris* (277) n.º 12: 985-988.
- BIZON, J. J. y MAUFFRET, A. (1975): Présence de Miocène terminal et de Pliocène inférieur au large de Minorque (Baléares, Espagne). *Rev. Inst. Français Pétrole*, 30: 713-727.
- BOURROUILH, R. (1970 a): Le problème de Minorque et des Sierras de Levante de Majorque. *Ann. Soc. Geol. du Nord* 90: 363-380.
- BOURROUILH, R. (1970 b): Découverte d'Oligo-Miocène inférieurs continental à Minorque. Conséquences paléogéographiques et tectoniques. *C. R. Som. Soc. Geol. Fr.* p. 247-248.
- BOURROUILH, R. (1973): Stratigraphie, Sédimentologie et Tectonique de l'île de Minorque et du NE de Majorque (Baléares). Thèse Doctorat en Sciences. Trav. Lab. Médit. ass. CNRS et Dep. Géol. Struc. Univ. Paris VI.
- BOURROUILH, R. (1978): Tectonique Comparée. Coulissements de plus de 700 km. en Méditerranée occidentale: une tectonique de type californien, précédant les serrages miocènes. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 286: 1339-1342.
- BOURROUILH, R. y BOURROUILH, B. (1972): Analyse Spectrale et Filtrage en éventail des cartes structurales de l'île de Minorque et de l'Est de Majorque (Baleares). Conséquences tectoniques. *Comp. R. Sean. Acad. Sci.* 275 (D): 1335-1338.
- BOURROUILH, R. y MAUFFRET, A. (1975): Le socle immergé des Baléares (Espagne): Données nouvelles apportées par des prélèvements sous marins. *Bol. Soc. Geol. France*, 17: 1126-1130.
- BOUVY, P. (1845): Coupe de la côte de Binisalem dans l'île de Majorque, formée du Crétacé. *Bull. Soc. Géol. France*, sér. 2, vol. 2.

- BOUVY, P. (1852): Reseña geognóstica de la isla de Mallorca y descripción de la situación y explotación de la Hulla del terreno secundario de esta isla. *Rev. Minera*. Madrid, vol. 3, pp. 174 y 204-210.
- BOUVY, P. (1857): Note sur les lignites des îles Baléares. *Bull. Soc. Géol. France*, sér. 2, vol. 14, pp. 770-774.
- BOUVY, P. (1863): Descripción del terreno Nummulítico de Mallorca. *Rev. Minera*, Madrid, vol. 14.
- BOUVY, P. (1867): Ensayo de una descripción geológica de la isla de Mallorca, comparada con las islas y el litoral de la cuenca occidental del Mediterráneo. *Imprenta de Felipe Guasp y Vicens*, 67 p., 1 mapa de Mallorca y 2 cortes geol. Palma de Mallorca.
- BUTZER, K. W. y CUERDA, J. (1962): Coastal stratigraphy of southern Mallorca and its implications for the pleistocene chronology of the Mediterranean sea. *Jour. Geol.* 70: 398-416.
- CHAUVE, P., AZEMA, J. y FOURCADE, E. (1978): Place structurale des Baléares dans l'édifice Bétique. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 287: (D) 435-438.
- CHAUVE, P., MATAILLET, R., PECHOUX, J. y RANGHEARD, Y. (1976): Phénomènes tectono-sédimentaires dans la partie occidentale de la Sierra nord de Majorque (Baléares, Espagne). *Ann. Sci. Univ. Besançon. Géologie*, 26 (3 s): 31-33.
- CHAUVE, P., MATAILLET, R., PECHOUX, J. y RANGHEARD, Y. (1977): Structure de l'ouest de la Sierra Nord de Majorque. 5ème. Réunion Ann. Sci. Terre. Rennes, p. 146.
- COLOM, G. (1947): Estudios sobre la sedimentación profunda de las Baleares. *Ins. Lucas Mallada de Inv. Geol. C.S.I.C.* 147 pp. Madrid.
- COLOM, G. (1961): La paléogéographie des lacs du Ludien-Stampien inférieur de l'île de Majorque. *Rev. Micropaléont.* 4ème. année, 1: 17-29. Paris.
- COLOM, G. (1966): Cantos rodados con *Lepidocyclinas* en los conglomerados de base de la Transgresión Helveciense en la región de Alcudia (Mallorca). *Acta Geol. Hisp.* 1: 3-4.0
- COLOM, G. (1967): Los depósitos lacustres del Burdigaliense superior de Mallorca. *Mem. R. Acad. Cien. Artes Barcelona*. 3a ép. n.º 728. Vol. 38 n.º 5, 71 pp.
- COLOM, G. (1968): El Burdigaliense inferior, parálico de la ladera norte del Puig Mayor. (Mallorca). *Mem. Real Acad. Cien. Madrid*. Serie Cien. Nat. T. 24, n.º 7, pp. 44.
- COLOM, G. (1970): Sobre la presencia del Senoniense en los lechos finales de la serie Geosinclinal calizo-margosa de Mallorca. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*. 15: 135-159.
- COLOM, G. (1972): Les bassins lacustres tertiaires de l'île de Majorque (Baléares). *Rapp. Comm. Internat. Etude Mer Méditerranéenne*, 20: 535-538, Monaco.
- COLOM, G. (1973 a): Primer esbozo del Aquitaniense mallorquín. Caracteres litológicos y micropaleontológicos de sus depósitos. *Mém. R. Acad. Ci. Art. Barcelona*, 3a ep. n.º 762; Vol. 61, n.º 12: 425-473.
- COLOM, G. (1973 b): Esbozo de las principales lito-facies de los depósitos jurásico-cretáceos de las Baleares y su evolución preorogénica. *Mem. R. Acad. Ciencias, Madrid*, Serie Cien. Nat., T. 25 mem. II, pp. 116.
- COLOM, G. (1974): Sobre la extensión del Vindobonense marino en Menorca y los sondeos del Deep-Sea Drilling Project (USA). Sugerencias respecto a una nueva interpretación de la Biogeografía Balear. *Bol. Geol. Min.* 85: 664-677.
- COLOM, G. (1975 a): Geología de Mallorca. *Dip. Prov. Baleares. Inst. Est. Bal. C.S.I.C.*, pp. 522, 2 vol.
- COLOM, G. (1975 b): Nuevas nociones generales sobre la evolución Paleogeográfica y poblamiento del archipiélago Balear desde el Eoceno al Cuaternario. *Revista Balear*. Año 10, núms. 38 y 39.
- COLOM, G. (1975 c): Las diferentes fases de contracciones alpinas en Mallorca. *Estudios Geol.* 31: 601-608.
- COLOM, G. (1976): Los depósitos continentales, Aquitanienses, de Mallorca y Menorca (Baleares). *Rev. R. Ac. de C. Ex.-Fi. y Nat.* Madrid; 70 (2): 353-408.
- COLOM, G. (1980): Estratigrafía y Paleoecología del Mioceno Superior (Andaluciese) y del Plioceno de Mallorca (Baleares). Palma de Mallorca (en prensa).
- COLOM, G. y ESCANDELL, B. (1960/63): L'évolution du géosynclinal Baléare. *Livre F. Fallot, Mem. Soc. Geol. France*, 1: 125-136.
- COLOM, G., FREYTET, P. y RANGHEARD, Y. (1973): Sur des sédiments lacustres et fluviatiles stampiens de la Sierra nord de Majorque. *An. Sci. Univ. Besançon. (Géologie)* 3ème. série, fasc. 20: 167-174, 3 pl.
- COLOM, G. y RANGHEARD, Y. (1973): Données nouvelles sur l'extension de niveaux lacustres dans des formations du Miocène inférieur de la Sierra Norte de Majorque (Baléares). *Ann. Sci. Univ. Besançon* 3ª serie, 8: 115-129.
- COLOM, G. y SACARES, J. (1976): Estudios sobre la Geología de la Región de Randa - Lluchmayor - Porreras. *Rev. Balear*, n.º 44/45: 21-71.
- COLOM, G., SACARES, J. y CUERDA, J. (1968): Las formaciones marinas y dunares Pliocénicas de la Región de Lluchmayor (Mallorca). *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 14: 46-60.
- CUERDA, J. (1975): Los tiempos cuaternarios en Baleares. *Dip. Prov. Baleares. Inst. Est. Baléaricos, C.S.I.C.*, pp. 304, 20 lám.
- CUERDA, J. (1976): Nota preliminar sobre el Cuaternario de Cabrera (Baleares). *But. Inst. Cat. Hist. Nat.*, 40 (Sec. Geol. 1): 45-58.
- CUERDA, J., SACARES, J. y COLOM, G. (1969): Hallazgo de terrazas pliocénicas, marinas en la región de Lluchmayor. *Acta Geol. Hisp.* 4: 35-37.
- DARDER, B. (1913): Los fenómenos de corrimiento en Felanitx (Mallorca). *Trab. Mus. Nac. Cien. Nat., Madrid*, Ser. Geol. n.º 6.
- DARDER, B. (1914): El Triásico de Mallorca. *Trab. Mus. Nac. Cien. Nat. Madrid*, Ser. Geol., n.º 7.
- DARDER, B. (1915): Estratigrafía de la Sierra de Levante de Mallorca (región de Felanitx). Id., n.º 10.
- DARDER, B. (1924 a): Sur la tectonique des environs de Sineu et du Puig de San Onofre (Majorque). *C. R. Acad. Sci., Paris*, vol. 177.
- DARDER, B. (1924 b): Sur l'âge des phénomènes de charriage de l'île de Majorque. *C. R. Acad. Sci. Paris*, vol. 88.
- DARDER, B. (1925 a): Estudio geológico de los alrededores de Sineu y del Puig de San Onofre. *Trab. Mus. Nac. Cien. Nat. Ser. Geol.* n.º 34.
- DARDER, B. (1925 b): La tectonique de la Région orientale de l'île de Majorque. *Bull. Soc. Geol. France*, 25: 245-278.
- DARDER, B. (1928): Nota preliminar sobre la tectónica de la región de Artá (Mallorca). *Bol. Real. Soc. Espa. Hist. Nat.*, 21: 204-223.
- DARDER, B. (1932): Mapa Geológico de les serres de Llevant de l'illa de Mallorca, escala 1/50.000. Edit. en dos fulls per l'Exma. Diputació de Balears. Palma.
- DARDER, B. (1933 a): Dues notes sobre la geologia de la Serra de Llevant de Mallorca. *Butll. Inst. Catalana Hist. Nat.*, Barcelona, vol. 33, n.º 1-2.
- DARDER, B. (1933 b): L'existència del Burdigalià a la Serra de Farrutx (Artá). *Id.* vol. 33, n.º 1-3. Barcelona.
- DARDER, B. y FALLOT, P. (1926): La isla de Mallorca. Guía de la Excurs. C-5 de XIV Congr. Geol. Int. Madrid.
- DEWEY, J. F., PITMAN, W. C., RYAN, W. B. F. y BONNIN, J. (1973): Plate tectonics and the evolution of the Alpine system. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 84: 3137-3180.
- DURAND-DELGA, M. (1975): *Veda Publ. House, Slovak Acad. Sci.*, pp. 203-229.
- ELTER, P. y TREVISAN, L. (1973): Olistostomes in the tectonic evolution on the northern Apennines. pp. 175-188, in «Gravity and Tectonics». DE JONG and SCHOLTEN, Ed.: John Wiley and Sons.
- ESCANDELL, B. y COLOM, G. (1960 a): Sobre la existencia de una fase de contracciones tangenciales en Mallorca durante el Burdigaliense. *Mem. Inst. Geol. Min. España*, 61: 395-407.
- ESCANDELL, B. y COLOM, G. (1960 b): Sur l'existence de diverses phases de plissements Alpins dans l'île de Majorque (Baléares). *Bull. Soc. Geol. France*, Ser. 7, 2: 267-272.
- ESCANDELL, B. y COLOM, G. (1962): Una revisión del Nummulítico mallorquín. *Notas y Com. I.G.M.E.*, 66: 73-142.
- ESTEBAN, M., CALVET, F., DABRIO, C., BARON, A., GINER, J., POMAR, L., SALAS, R. y PERMANYER, A. (1977 a): Messinian (Uppermost Miocene) reefs in Spain: Morphology, composition, and depositional environment. *Com. Third Int. Coral Reef Symp.* Miami, Florida May. 23-27.
- ESTEBAN, M., CALVET, F., DABRIO, C., BARON, A., GINER, J., POMAR, L., SALAS, R. y PERMANYER, A. (1977 b): Aberrant features of the Messinian coral reefs. Spain. *Com. Seminario n.º 3 sobre el Messiniense*, 26-27. Sep. 1977, Málaga. IGCP Project n.º 96.
- ESTEBAN, M., CALVET, F., DABRIO, C., BARON, A., GINER, J., POMAR, L., SALAS, R. y PERMANYER, A. (1978 c): Aberrant features of the Messinian coral reefs. Spain. *Acta. Geol. Hisp.* 13: 20-22.
- ESTEBAN, M. (1979/80): Significance of the upper Miocene coral reefs of the western Mediterranean. *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecology*, 29: 169-188.
- FALLOT, P. (1914 a): Sur la tectonique de la Sierra de Majorque. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 158:645.
- FALLOT, P. (1914 b): Sur la stratigraphie de la Sierra de Majorque. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 158:817.
- FALLOT, P. (1917 a): Sur la Géologie de l'île d'Ibiza (Baléares). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 164: 103-104.
- FALLOT, P. (1917 b): Sur la Tectonique d'Ibiza (Baléares). *C. R. Acad. Sci.* 164: 186-187.
- FALLOT, P. (1920): Observations sur les phénomènes de charriage du centre de la Sierra de Majorque. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 170: 739.
- FALLOT, P. (1922): Etude Géologique de la Sierra de Majorque. Paris, 1922. *Libr. Polytech. ch. Béranger*. 481 pp. Thèse.
- FALLOT, P. (1923): Le problème de l'île de Minorque. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 4a ser., 23: 344.
- FALLOT, P. (1926): Au sujet de la Tectonique des Baléares et de la chaîne Ibérique. *C. R. Somm. Soc. Geol. France* (4ª ser.) 26(10): 105-107.
- FALLOT, P. (1932): La question de Minorque: rapports stratigraphiques entre les îles Baléares et la zone subbétique. *Etud. Geol. Médit. Occid.* T. 2 (part 5, n.º 39-40): 1-2.
- FALLOT, P. (1943): Les phases orogéniques dans l'ensemble des cordillères Bétiques. *C. R. Acad. Sci., Paris, Séan*, 25 sept.
- FALLOT, P. (1945): Le problème de Minorque. *C. R. Acad. Sci., Paris*, T. 220: 563-565.

- FALLOT, P. (1948): Les Cordillères Bétiques. *Est. Geol. Madrid*, n.º 8, 190 pp.
- FOURCADE, E., AZEMA, J., CHABRIER, G., CHAVE, P., FOUCAULT, A. y RANGHEARD, Y. (1977): Liaisons paléogéographiques au mesozoïque entre les zones externes Bétiques, Baléares, Corso-Sardes et Alpines. *Rev. Geol. Phis. et Geol. Dynam.* (2), 19: 377-388.
- FUSTER, J. (1973): Estudio de los Recursos Hidráulicos Totales de Baleares. Informe de Síntesis General. *Min. Obras Publ. — Min. Ind. — Min. Agric. Comité de Coordinación*. 2 tomos. Marzo de 1973.
- GARCÍA YAGÜE, A., con la colaboración de MUNTANER, A. (1968): Estudio Hidrogeológico del Llano de Palma. *Min. Obras Públicas, D. G. O. H., S. G. O. P.*, 3 tomos, Septiembre de 1968.
- GUIMERA, J. J. y SANTANACH, P. F. (1978): Sobre la compresión Alpina en el sector central de las cadenas costeras catalanas. *Act. Geol. Hispánica* 13: 33-42.
- GVIRTZMAN, G. y BUCHBINDER, B. (1978): The late Tertiary of the coastal plain and continental shelf of Israel and its bearing on the history of the Eastern Mediterranean. In: HSÜ, K. D., MONTARDET, L. et al. (1978). *Init. Repp. D.S.D.P.* (U.S. Gov. Pr. Of.) Washington, 42 (2): 1195-1222.
- HERMITE, H. (1879/1888): Etudes géologiques sur les îles Baléares. Première partie. Majorque et Minorque. Paris, 1 Vol. 362 pp. Traducido en Bol. Com. Mapa Geol. Esp. (1888) 15: 1-233. Madrid.
- HINZ, K. (1972): Results of seismic refraction investigations (project Anna) in the Western Mediterranean Sea South and North of the Is. Mallorca. *Bull. Centre Rech. Pau. S.N.P.A.*, 6: 405-426.
- HINZ, K. (1973): Crustal Structure of Balearic Sea. *Tectonophysics*, 20: 295-302.
- HOEDEMAEKER, Ph. J. (1973): Olistostromes and other delapsional deposits and their occurrence in the region of Moratalla (Prov. de Murcia) Spain. *Scripta Geol.* 19: 1-197.
- HOLLISTER, J. S. (1934): La posición de las Baleares en las orogénias Varisca y Alpina. *C.S.I.C., Inst. Jose Acosta*. Publ. Alem. Geol. Esp. Madrid, 1942. pág.: 71-102.
- HSÜ, J. y BERNOLLI, D. (1978): Genesis of the Tethys and the Mediterranean. In: HSÜ, J., MONTARDET, L. et al. (1978). *Init. Rep. D.S.D.P.* Washington (U.S. Gov. Print. Office) 42 (1): 943-949.
- HSÜ, K. T., MONTADERT, L., GARRISON, R. E., FABRICIUS, F. H., BERNOLLI, D., MELIERES, F., KIDD, R. B., MULLER, C., CITA, M., BIZON, G., WRIGHT, R. y FRICKSON, A. (1975): Glomar Challenger returns to the Mediterranean Sea. *Geotimes*. August 1975: 16-19.
- HSÜ, K. J., MONTARDET, L. et al. (1978): Site 372, Menorca Rise: Shipboard Scientific Party, in: HSÜ, K. J., MONTARDET, L. et al. (1978). *Init. Rep. D.S.D.P.* Washington (U. S. Gov. Print. Office), 42 (1): 59-87.
- HSÜ, K. J. y RYAN, B. F. (1972): Comments on the crustal structure of the Balearic basin in the light of deep sea drilling in the Mediterranean. *Bull. Centre Rech. Pau-SNPA*, 6: 427-430.
- KELLING, G., MALDONADO, A. y STANLEY, D. J. (1979): Salt tectonics and basement fractures: Key control of recent sediment distribution on the Balearic Rise, Western Mediterranean. *Smit. Con. Mar. Sciences* 3: 1-52.
- LÓPEZ, C. y SERRA, J. (1979): Noves dades sobre l'Eocè de l'illa de Cabrera (Balears). *Bol. Soc. Hist. Nat. Balears*.
- LLOPIS, N. (1954): Types de Chaines alpidiques du littoral Méditerranéen Franc-Espagnol et leur rapports avec les Alpes Françaises. *C. R. 19 Congr. Geol. Int. Alger* 1953, 13 (14): 262-279.
- MARMORA, DE LA (1834): Observations géologiques dans l'île de Majorque et Minorque. *Mem. Acad. sciences*, tesine, serie 1, vol. 38 y un mapa.
- MARMORA, DE LA (1835): Observations géologiques sur les deux îles Baléares. *Mem. R. Acad. Scien. Torino*, vol. 38 n.º 51 (traducción castellano por D. A. Furió, 1846, Palma).
- MATAILLET, R. y PECHOUX, J. (1978): Etude géologique de l'extrémité occidentale de la Sierra Nord de Majorque (Baléares, Espagne). *Thèse. Facul. des Scien. Tec. L'Univ. France-Comte*.
- MATTAUER, M. (1973): Les déformations des Matériaux de l'Écorce Terrestre. *Hermann, Paris*, 1973, 493 pp.
- MAUFFRET, A. (1976): Etude Géodynamique de la Marge des îles Baleares. *Thèse de Doctorat d'Etat*. Université Pierre et Marie Curie. Paris, 6.
- MAUFFRET, A., MONTADERT, L. y LAVERGNE, M. (1978): Geological and Geophysical setting of D.S.D.P. site 372 (western Mediterranean) in HSÜ, K. J., MONTARDET, L. et al. (1980). *Init. Repp. D. S. D. P.* Washington (U. S. Gov. Pr. Of.) 42 (1): 889-896.
- MAUFFRET, A. y SANCHO, J. (1970): Etude de la marge continentale au nord de Majorque (Baléares, Espagne). *Rev. Inst. Français Pétrole*, 25: 714-730.
- NOLAN, H. (1887): Note sur le Trias de Minorque et Majorque. *Bull. Soc. Geol. France* (3) 15: 392-599.
- NOLAN, H. (1893): Sur les terrains triasiques et jurassiques des îles Baléares. *C. R. Ac. Sc.*, t. 117.
- NOLAN, H. (1895 a): Sur les Jurassique et le Crétacé des îles Baléares. *C. R. Ac. Sc.*, 117: 821-823.
- NOLAN, H. (1895 b): Structure géologique d'ensemble de l'archipel Baléaire. *Bull. Soc. Geol. France* (3) 23: 76-91.
- OBRADOR, A. (1970): Estudio estratigráfico y sedimentológico de los materiales miocénicos de la isla de Menorca. *Act. Geol. Hisp.* 5: 19-23.
- OBRADOR (1972/1973): Estudio estratigráfico y sedimentológico de los materiales miocénicos de la isla de Menorca. *Rev. de Menorca*, 1972-1973.
- OLIVEROS, J. M. (1961): Investigación de lignitos en la zona reservada por el Estado en la isla de Mallorca. *Empr. Nac. ADARO de Inv. Min. Madrid*.
- OLIVEROS, J. M., ESCANDELL, B. y COLOM, G. (1960 a): Estudio sobre la formación de los depósitos lacustres con lignitos del Ludiense-Estampiense inferior de Mallorca. *Mem. del Inst. Geol. y Minero de España*. 61: 9-152.
- OLIVEROS, J. M., ESCANDELL, B. y COLOM, G. (1960 b): Sobre la existencia de un Oligoceno superior (Aquitaniense continental lacustre en Mallorca). *Mem. del Inst. Geol. y Minero de España*. 61: 153-264.
- OLIVEROS, J. M., ESCANDELL, B. y COLOM, G. (1960 c): El Burdigaliense superior Salobre-Lacustre en Mallorca. *Mem. del Inst. Geol. y Minero de España*. 61: 265-394.
- OLIVEROS, J. M., ESCANDELL, B. y COLOM, G. (1960 d): Estudios de los terrenos postburdigalienses en el llano central de la isla de Mallorca. *Mem. del Inst. Geol. y Minero de España*. 61: 349-394.
- POMAR, L. (1976): Tectónica de gravedad en los depósitos Mesozoicos, Paleógenos y Neógenos de Mallorca (España). *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 21: 159-175.
- POMAR, L. y BARON, A. (1978): Recent distribution of Neogene sedimentation areas of the Mediterranean; area 405: Balearic Depression. *I.G.C.P. project n.º 25 (UNESCO, IUGS)* (en prensa).
- POMAR, L. y COLOM, G. (1977): Depósitos de flujos gravitatorios en el Burdigaliense de «Es Racó d'es Gall-Auconassa» (Soller, Mallorca). *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 22: 119-136.
- POMAR, L. y CUERDA (1980): Los depósitos marinos pleistocenos en Mallorca. En este volumen.
- RANGHEARD, Y. (1965): Données nouvelles sur la stratigraphie du Crétacé inférieur, dans la moitié sud de l'île d'Ibiza (Baléares). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 260: 4005-4007.
- RANGHEARD, Y. (1970): Principales données stratigraphiques et tectoniques des îles d'Ibiza et de Formentera (Baléares); situation Paléogéographique et Structurale de ces îles dans les cordillères Bétiques. *C. R. Acad. Sc. Paris* (D) 270: 1227-1230.
- RANGHEARD, Y. (1972): Etude Géologique des îles d'Ibiza et de Formentera (Baléares). *Memoria del Inst. Geol. y minero de España*. Tomo 82, 340 pp.
- RIOS, J. M. (1975): El mar Mediterráneo occidental y sus costas Ibéricas. Las tierras firmes. *Real Acad. Cie. Exac., Fis y Nat.* Madrid 69: 147-192.
- RIOS, J. M. (1975): El mar Mediterráneo occidental y sus costas Ibéricas. Las áreas marinas. *Real Acad. Cie. Exac., Fis y Nat.* Madrid, 69 (2): 285-473.
- RIOS, J. M. (1978): The Mediterranean Coast of Spain and the Alboran Sea. In: «The Ocean Basins and Margins», Vol. 4B: 1-65. A. E. M. NAIRM, W. H. KANES and F. G. STEHLI Edits. Penum Publ. Co.
- RODRÍGUEZ, A. (1980): Estudio del Mioceno basal transgresivo en la Sierra Norte de Mallorca. (Trabajos en Curso. Tesis Universidad de Barcelona).
- ROGL, F., STEINIGER, F. F. y MULLER, C. (1978): Middle Miocene salinity crisis and paleogeography of the Paratethys (middle and eastern Europe). In: HSÜ, K. J., MONTARDET, L. et al. (1978). *Init. Repp. D. S. D. P.* Washington (U.S. Gov. Print. Off.) 42 (1): 985-990.
- STILLE, H. (1927): Sobre los enlaces de las cadenas de Montañas del Mediterráneo occidental. *C.S.I.C., Inst. Jose Acosta*. Publ. Alem. Geol. Esp. Madrid 1942, pp. 25-70.
- STOECKINGER, W. T. (1971): Spanish med. Geology offer much for Europe's drillers. *Oil and Gas Internat.* 11 (7): 44-48.
- STOECKINGER, W. T. (1976): Valencian gulf offer deadline nears. *The Oil and Gas Jour.* March, 29: 197-204 and April, 5: 181-183.
- SUESS, E. (1888-1909): Das Antlitz der Erde. (1923-1930): La Faz de la Tierra. Versión española de Pedro de Novo y F. Chicarro. *Imp. R. Velasco*, IV tomos. Madrid.
- VAIL, P. R., MITCHUM, J. R. y THOMPSON, III, S. (1977): Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, part 4: Global Cycles of Relative Changes of Sea Level. In: «Seismic Stratigraphy», A.A.P.G. Memoir 26 pp. 83-97.
- VIDAL, I. y MOLINA, E. (1888): Reseña física y geológica de las Islas de Ibiza y Formentera. *Bol. Com. Mapa Geológico de España*, Madrid, 7: 67-113.

Recibido, abril 1980.