

## UNIDADES TECTOSEDIMENTARIAS Y SECUENCIAS DEPOSICIONALES

O. Riba (\*)

(\*) Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia. Facultat de Geologia. Martí Franquès s.n.(08028) BARCELONA.

### RESUMEN

Se comparan semánticamente los términos de "unidades alostratigráficas" y "unidades limitadas por discontinuidades" deduciéndose que son conceptualmente equivalentes. También lo son los términos de "unidades tectosedimentarias" y "secuencias deposicionales". El primer término y concepto (las U.T.S.) fue propuesto por Garrido-Megías (1973) y el segundo (las "secuencias deposicionales") por Mitchum (1977), razón por la cual debe dársele la prioridad a Megías. Ambas unidades son híbridas, en parte son sintemas, en parte son unidades cronostatigráficas. Sin embargo el uso que se ha hecho de ambos términos y conceptos ha sido en la práctica distinto. Se hace a continuación un análisis de las posibilidades de aplicación en el análisis de cuenca y las limitaciones que presentan.

**Palabras clave:** Secuencias deposicionales, unidades tectosedimentarias, unidades alostratigráficas, unidades limitadas por discontinuidades, correlación.

### ABSTRACT

Concepts of "allostratigraphic units" and "unconformity bounded units" would be equivalent semantically. On the other hand "tectosedimentary units", proposed by Garrido-Megías (1973) and "depositional sequences", proposed by Mitchum (1977) are also equivalent. Last mentioned units are stratigraphically hybrid, in one part are syntems and in another part are cronostatigraphic units. However, their practical use has been very different among spanish and american authors.

**Key words:** Depositional sequences, tectosedimentary units, allostratigraphic units, unconformity bounded units, correlation.

Riba, O. (1989): Unidades tectosedimentarias y secuencias deposicionales. *Rev. Soc. Geol. España*, 2: 189-198.

Riba, O. (1989): Tectosedimentary units and depositional sequences. *Rev. Soc. Geol. España*, 2: 189-198.

## 1. INTRODUCCIÓN

El tema de las discordancias es tan antiguo como la historia de la Geología. J. Hutton (1795) supo dar una interpretación correcta a la primera discordancia angular (*angular unconformity*) descubierta en Siccar Point, Escocia. Desde aquel entonces las discordancias angulares han servido de superficies de separación para las grandes unidades geológicas, para los grandes ciclos geológicos.

En las unidades estratigráficas establecidas durante la primera mitad del siglo XIX, casi todas ellas en Europa, se buscaron, en los estratotipos correspondientes, unos límites naturales fácilmente observables e identificables en la base y techo de las mismas. En muchas ocasiones eran discordancias angulares o disconformidades. De hecho pues, en aquella época de los funda-

dores de la Geología, ya se utilizaba el criterio de las discordancias para delimitar una unidad. Sin saberlo, claro está, usaban unidades *alostratigráficas*, *UBU*, *secuencias deposicionales* o *unidades tectosedimentarias* que coincidían en el estratotipo, por definición, con las *unidades cronostatigráficas*.

Más tarde, los estratígrafos de fin de siglo y principios del actual, se dieron cuenta de que en los holotrototipos "clásicos" faltaban biozonas características en el espacio "ocupado" por las discontinuidades que habían servido de límite y de que los límites naturales aludidos encerraban unas lagunas estratigráficas muy considerables. Se estudiaron unos estratotipos de límite en lugares en donde la continuidad deposicional estaba garantizada. Así nacieron algunas unidades cronostatigráficas, como por ej. el Aalenense, el Downtoniense, etc. que cabalgaban dichos límites, u otras que

“escaparon” al registro sedimentario marino de alguna cuenca, como sucedió, en la de París, con el Ilerdiense. Actualmente, se procura que estas unidades superpuestas desaparezcan.

Interesa añadir que en la más moderna tabla de los tiempos geológicos de Haq *et al.* (1987, 1988), en la columna “*Extent of stage stratotype*” están indicadas con línea gruesa en el Terciario las extensiones “cubiertas” en cada holostatotipo por los sedimentos representativos del piso correspondiente. En blanco quedan los hiatos o lagunas sedimentarias a las que se ha aludido.

Modernamente, con un criterio similar, Salop (1983) ha utilizado las grandes discordancias registradas en el Precámbrico para establecer, a escala planetaria, dos eonotemas y cuatro eratemas separados por cinco grandes orogénesis. Por falta de biozonación, el único criterio de correlación han sido las dataciones absolutas y las mencionadas orogénesis que el autor, tácticamente, considera como sincrónicas en todo el mundo.

## 2. HISTORIA

Las unidades tectosedimentarias establecidas por Alberto Garrido-Megías (1973, 1982) tienen precedentes en dos autores de lengua francesa: A. Lombard y J. Delfaud. El primero de ellos, Lombard (1956, 1967) sistematizó lo que él llamaba “*séquences sédimentaires*”, proponiendo a la vez un método de análisis: “*l'analyse séquentielle*”, que tuvo en su momento gran predicamento, especialmente en el V Congreso de Sedimentología, organizado por él en Ginebra y Lausana (1958).

Delfaud (1972) sigue en la misma línea que su predecesor al proponer un sistema de organización secuencial en el que estableció una jerarquización de escala creciente, una *échelle des séquences et rythmes*, aplicada al Jurásico de los Charentes (Francia): 0 - *séquence unité*, 1 - *séquence élémentaire*, 2 - *rythme*, 3 - *rythme de second ordre*, 4 - *grand rythme*, 5 - *rythme majeur* y 6 - *méga-rythme*, los cuales se materializan en unidades de roca, con potencias crecientes, separadas siempre por discontinuidades. En cuanto a la extensión vertical de dichas unidades rítmicas iban de la capa a los sistemas y eratemas. El conjunto tenía además el control biostratigráfico que permitía al autor la correlación y datación de cada ritmo estudiado. A. Garrido-Megías siguió el método en su tesis de doctorado.

Por parte de los autores americanos, Sloss *et al.*, (1949) reconocieron unas unidades operacionales, formadas por conjuntos de estratos y separadas por discontinuidades bien marcadas en el registro que denominaron secuencias (“*sequences*”). Observaron asimismo que podían ser extendidas por grandes regiones y que además no tenían connotación cronostatigráfica alguna. Algo más tarde, Krumbein y Sloss (1951) definieron *sequence* como *el registro de roca del mayor ciclo tectónico*, lo cual representaba uno de los mayores

ritmos de la historia geológica (de la categoría del sistema). Los mismos autores, en 1963 continuaban aplicando el concepto a gran escala. Fué Wheeler (1958), en cinco publicaciones sucesivas, quien necesitó definir unas unidades estratigráficas limitadas por discontinuidades (*unconformities*), no sólo por el interés de su veracidad y utilidad directa sino también por la comodidad de uso, siempre más sencillo que las unidades cronostatigráficas, definidas todas ellas tan lejos del continente norteamericano. Más tarde, Chang (1975), define las “*unconformity bounded units*” (UBU) y finalmente Mitchum (1977) lo hace en el sentido que a continuación comentaré.

Cabe decir que estas unidades fueron llamadas de modo muy diverso: *ciclos sedimentarios*, *unidades controladas por la tectónica*, *intertemas*, *intratemas*, *unidades tectostatigráficas*, *unidades tectonostratigráficas*, *unidades tectonogénicas*, etc.

El término *secuencia* ha tenido asimismo, en el transcurso de los últimos decenios unos usos muy variados. Como ya se ha indicado, para los autores americanos *secuencia* designaba una unidad litostratigráfica de alto rango, con los límites disconformes, mayor que el grupo o el supergrupo. H. Hedberg propuso los nombres de *mesothem*, *interthem* y *synthem*. El último mencionado era usado asimismo por Chang (1975), de modo que *synthem*, significaba una secuencia de grado alto, e *interthem* el de grado menor.

Más adelante, en el presente escrito, al terminar el estudio comparativo de las secuencias deposicionales y de las unidades tectosedimentarias, se concluye que conceptualmente ambas son idénticas. Sin duda alguna, desde el punto de vista del desarrollo histórico de dicho concepto, A.G. Megías al crear las unidades tectosedimentarias en 1973 **ha sido el precursor de las secuencias deposicionales** de los autores americanos, definidas más tarde, en 1977, por Mitchum. Si cabe, debería reclamarse el derecho de prioridad.

## 3. UNIDADES ALOSTRATIGRÁFICAS Y UNIDADES LIMITADAS POR DISCONFORMIDADES.

Dentro de las unidades observacionales de gran aceptación hoy en día existen aquellas que están limitadas a muro y techo por sendas discontinuidades estratigráficas. Sobre esta base el tramo sedimentario comprendido entre las dos discontinuidades puede tener un contenido muy variado de unidades subordinadas: un sistema deposicional, con todos sus pasos laterales de facies, una formación o cualquier conjunto de unidades litostratigráficas, biostratigráficas, etc. Se puede aceptar de antemano otra ventaja: que los contactos entre las unidades internas (lito-, bio-), las isócronas, no pueden traspasar los límites discordantes de la unidad así definida, (ver Reguant, en este volumen).

De acuerdo con las normas, las **unidades alostratigráficas** (**Allostratigraphic units**, del *North American Stratigraphic Code*: NASC, 1983) y las **unidades limi-**

tadas por disconformidades (**Unconformity-bounded Units**, o unidades UBU de la *International Subcommission on Stratigraphic Terminology*: ISSC, 1980) tienen conceptualmente un gran parentesco genético, pero no una definición idéntica.

Las *unidades alostratigráficas* tienen que estar formadas por un cuerpo sedimentario cartografiable (= "*mappable stratiform body of sedimentary rock defined and identified on the basis of its bounding discontinuities*"); mientras que las "*Unconformity-bounded*" pueden estar constituidas por cualquier tipo de roca (= "*body of rock bounded above and below by specifically designated, significant, and demonstrable discontinuities in the stratigraphic succession (angular unconformities, disconformities, etc.) preferably of regional extent*").

En las "unidades alostratigráficas", al decir "*mapable*"; se entiende que la unidad que se define tiene que tener dimensiones que permitan cartografiarla. En las "unidades limitadas por discordancias", por lo que se refiere a las dimensiones, establece que el **sintema** (unidad básica de la clasificación del ISSC) tiene que tener dimensiones de extensión regional, y admite el uso de una unidad relativamente menor que es el **miosintema** (sin embargo fuera de la jerarquía establecida en el Código, de los **supersistemas**, **sistemas**, **subsistemas**). Por otra parte, ambas definiciones son muy próximas y por consiguiente ambos términos, son cuasi-sinónimos y, en la práctica usual, sinónimos absolutos.

#### 4. LAS SECUENCIAS DEPOSICIONALES.

Fuera de la codificación existen además las secuencias deposicionales (= "*depositional sequences*"; definidas por Mitchum, 1977) las cuales están igualmente limitadas por discordancias o disconformidades. Literalmente y sin traducir una "**depositional sequence**" es: "*a stratigraphic unit composed of a relative conformable succession of genetically related strata and bounded at its top and base by unconformities or their correlative conformities*".

Pero, como se ve, la definición de secuencia deposicional lleva consigo un importante aditamento: de que los límites discordantes se prolongan en el espacio sedimentario mediante sus *respectivas conformidades correlativas* (= "*their correlative conformities*"). Al decir esto Mitchum se refiere (implícitamente) a los horizontes **isócronos** ("*the boundaries of the "sequences" are said to be traced along horizons interpreted to be isochronous*") (Salvador, ISSC, 1987) definidos en el nivel en que se produce el paso lateral de discordancia a concordancia, en las llamadas *discordancias atenuadas* por Riba (1989, p.494).

Sin embargo, las críticas no se han dejado esperar. Las secuencias deposicionales tienen el carácter de unidad estratigráfica **híbrida** (= *hybrid*) o mixta: por un lado tienen el privilegio por definición de pertenecer a las unidades "objetivas", alostratigráficas, o "UBU"; y, por otro, si se acepta que los límites pasan a ser isó-

cronos, estas unidades se convierten en unidades cronostratigráficas, muy "subjetivas" (Salvador, ISSC, 1987). En efecto, los *horizontes isócronos correlativos* de las secuencias deposicionales son además *interpretativos*, según Murphy (1988). Dichos horizontes, en general, proceden de los reflectores sísmicos.

#### 5. LAS UNIDADES TECTOSEDIMENTARIAS.

Hace ya bastante tiempo que Alberto Garrido-Megías, en su tesis de doctorado (1973) presentó un nuevo tipo de unidad estratigráfica que él llamó "**cuerpo tectosedimentario**" y, más tarde, **unidad tectosedimentaria**".

En su primera definición (1973, p.13), decía: *Entendemos y definimos como unidad o cuerpo tectosedimentario una unidad sedimentaria tridimensional, no obligatoriamente homogénea desde el punto de vista litológico, comprendida entre dos discontinuidades, es constante.*

A. Garrido-Megías justificaba la definición en el Artículo 4, apartado h del "Código de Nomenclatura Estratigráfica" (CSN, 1970), en el que se dice: *...las secuencias sedimentarias cíclicas, llamadas ciclotemas... no pueden ser consideradas como formando parte de la clasificación litoestratigráfica...sin embargo, los límites de un ciclotema individual pueden de hecho coincidir con los de una determinada formación.* Garrido-Megías añade (p.14) que: *los límites de un cuerpo tectosedimentario, al venir fijados por una discontinuidad sedimentaria en relación con una pulsación tectónica notable, son independientes de la litología, del contenido paleontológico y de cualquier otra base material de división estratigráfica...un cuerpo tecto-sedimentario no es lo mismo que litosoma, o "rock body".*

Cabe hacer notar que en la tesis, Garrido (1973), a partir del Capítulo II, no habla de unidades tectosedimentarias sino de ritmos secuenciales o, simplemente, de ritmos, siguiendo a Delfaud.

Nueve años después el mismo autor A.G. Megías (1982, p.388) define la **unidad tectosedimentaria elemental** como: *una unidad estratigráfica constituida por una sucesión de estratos (no necesariamente conformes) depositados dentro de un intervalo de tiempo geológico concreto y bajo una dinámica sedimentaria y tectónica de polaridad definida.* Y añade en el párrafo siguiente: *"En una UTS (sigla de unidad tectosedimentaria) elemental siempre se verifica que, para cualquier sección vertical de la misma, la suma de los tiempos representados por los sedimentos y por los hiatos sedimentarios (cuando existen) es una magnitud constante. Los límites naturales de las UTS, sea cual sea su categoría (elemental o compleja), están materializados por rupturas o discontinuidades sedimentarias de rango cuencal.* Y sigue: *Una unidad así definida (Garrido-Megías, 1973) viene limitada a la base y al techo por discordancias, paraconformidades y sus relativas conformidades. El valor cronoestratigráfico de estas unidades es evidente, puesto que el tiempo durante el cual tiene lugar su*

deposición se mantiene siempre dentro de un intervalo de tiempo constante y perfectamente definido por los límites de unidad, allí donde éstos son conformes y por consiguiente la serie estratigráfica es más completa. En efecto, si consideramos que los estratos representan una superficie sincrona, en primera aproximación, es posible transformar un corte geológico en una sección cronoestratigráfica. (Aquí se refiere a las figuras 1a y 1b, p.389).

En esta segunda versión, A.G.Megías precisa y ajusta algunos aspectos no tratados en su tesis y se observa que la concepción de las unidades tectosedimentarias se acerca mucho a las secuencias deposicionales.

A.G.Megías (1982) insiste mucho en que se trata de unidades de carácter cronoestratigráfico, pues están en parte limitadas por isócronas, es algo que no han expresado los autores americanos al definir las secuencias deposicionales, pero que A.Salvador descubre en su escrito de 1987. En efecto, aquí se puede repetir lo que ya se ha dicho para las secuencias deposicionales: de que se trata de unidades híbridas, en parte son alostratigráficas (en la parte interna limitada por discontinuidades) y en parte son cronoestratigráficas.

El párrafo de Megías en el que dice: “*para cualquier sección vertical de una unidad tectosedimentaria, la suma de los tiempos de sedimentación y los correspondientes a los hiatos es una magnitud constante*” es, para el autor de estas líneas, la definición de un sechron (sechron) que, según Mitchum (1977) sin traducir, es: “*the maximum interval of geologic time occupied by a given positional sequence, defined at the points where the boundaries of the sequence change laterally from unconformities to conformities along which there is no significant hiatus*”. Explicado de manera distinta, el concepto es el mismo. Compárense las figuras 1a y 1b de Megías y las figuras 1a y 1b de Mitchum, Vail y Thomsom (1977, p.54) expresan gráficamente lo mismo.

Hasta aquí, de acuerdo con lo expuesto en el planteamiento básico, se puede afirmar que las unidades tectosedimentarias de A.G.Megías y las secuencias deposicionales son idénticas, y responden al mismo concepto.

## 6. EL PROBLEMA DE LOS LÍMITES

Tanto Megías (1982) como González *et al.*, (1988) y Pardo *et al* (en este volumen) se han preocupado de la delicada cuestión de los límites de las unidades tectosedimentarias, cosa que también afecta a los autores americanos con las secuencias deposicionales.

En primer lugar establecen unas discontinuidades o rupturas cuencales, es decir a escala de la cuenca o con otras cuencas vecinas (son las “*interregional unconformities*”); y otras de menor rango, o rupturas locales (Megías, 1982, figs. 6 y 7). En estos casos “*el registro sedimentario experimenta un salto brusco o un cambio de signo en su evolución secuencial*” y añaden que “*los cambios de signo pueden darse dentro de sucesiones en perfecta continuidad sedimentaria*”. Las

rupturas están representadas por discordancias, paraconformidades o disconformidades o simplemente, por un cambio de signo de la secuencia. Por esta razón el neologismo semántico de *ruptura* (el cual engloba el concepto de continuidad) no parece augurar la aceptación general por parte de la comunidad geológica. Pensando concretamente en las facies continentales González *et al.* (1988, fig. 1) proponen distinguir tres tipos de límites numerados 1, 2 y 3.

Las rupturas tectónicas de tipo 1, de Megías (1982) y González *et al.*, (1988) coinciden con las discordancias sintectónicas de Riba (1989), caracterizadas por el mecanismo de *offlap-onlap* rotatorios. Sobre estas discordancias es preciso tener presentes varios hechos: las discordancias angulares sintectónicas hasta ahora observadas tienen una “profundidad” muy breve, de orden hectométrico a muy pocos kilómetros: se pasa lateralmente de discordancia angular a discordancia progresiva hacia centro de cuenca. Esta es la razón por la cual la prolongación del nivel de discordancia angular hacia el centro de cuenca es, bajo mi punto de vista, una tarea muy aventurada precisamente por el carácter en abanico divergente en aquella dirección. Además es preciso recordar que estas discordancias son *intraformacionales*. Se ubican en conglomerados y molasas que no proporcionan niveles-guía de confianza para dilatarlas, en forma de superficies isócronas. Obsérvese que la parte alostratigráfica de la unidad resulta extraordinariamente breve, el resto de la unidad híbrida, la parte limitada por isócronas, se basa en superficies de seguimiento muy difícil mediante las técnicas ordinarias. Lo ideal sería disponer de buenos afloramientos como ocurre en el valle del Cardener o, por lo menos, de excelentes reflectores de sísmica. A.Saez, en su tesis (1987) no pudo extrapolar al centro de cuenca las dos secuencias deposicionales llamadas de Cardona y Solsona propuestas en el borde pirenaico catalán por Puigdefábregas *et al.*, (1985, 1986).

Las rupturas sedimentarias de tipo 3, son de hecho las discordancias “clásicas” y en cierto modo están emparentadas con las de tipo 1: un *offlap* rotatorio, seguido de truncación erosiva y recubrimiento en *onlap* normal. Esto produce una discordancia angular de gran extensión, grandes desplazamientos de las facies superpuestas, motivo por el cual la prolongación (siempre interpretativa) a límite isócrono no presenta demasiadas dificultades.

Las rupturas de tipo 2, son las más difíciles de detectar en el registro estratigráfico y, bajo mi punto de vista, las menos objetivas. Se trata, dentro de una UTS fundamental compleja, de determinar el proceso de “desaceleración” o “aceleración” diastrófica, o el paso vertical de secuencia positiva a negativa (según la terminología de Lombard, 1967 o, quizá no lo digan ellos, el paso de transgresión a regresión. Quizá se pueden detectar estos caracteres sobre el terreno, pero en la práctica, p.ej. si en facies continentales la UTS es muy potente, puede afectar un tramo estratigráfico de evaporitas en el núcleo de un ciclotema (al estilo de Lombard) de espesor muy considerable que haga muy aventura-

da la fijación del "límite" propuesto. González *et al.*, (1988) no detallan la metodología a seguir.

Las rupturas sedimentarias de tipo 2 pueden ser evocadas en el modelo de las series marinas de margen estable de Vail y Mitchum (1977) precisamente en el tránsito de *onlap* costero a *downlap* de progradación, o entre el tracto transgresivo **a** y el tracto **b** regresivo. La superficie de *downlap* marino asociada a una sección condensada aparenta formar una discordancia angular y además presenta un hiato creciente hacia el mar. En este caso hay verdaderamente una discontinuidad observable sobre el terreno y, de modo particular en los reflectores de la sísmica (la sección condensada, sin embargo, es difícilmente detectable por estar normalmente por debajo del límite de resolución). Es sorprendente que, para salvar este escollo y desechar la interpretación de este contacto como discordancia, Vail *et al.*, (1987) y Van Wagoner *et al.* (1988) hayan tenido que recurrir a una nueva definición restrictiva nada menos que del concepto de *unconformity* con el siguiente aditamento: "...las superficies submarinas que presentan hiatus de sedimentación, pero sin evidencias de erosión no se reconocen aquí como superficies de discordancia (*unconformities*)". Además de la nueva definición los mencionados autores han tenido que introducir el nuevo término *tract* para designar los tramos **a** y **b**. Así, creo que estos contactos de *downlap* pueden ser asimilados a las discontinuidades de tipo 2 de las que he hablado más arriba. Es muy seguro que se pueden encontrar en régimen lacustre continental contactos debidos a la progradación, aunque opino que puede haber demasiados en superposición para un buen análisis de cuenca.

## 7. COMENTARIOS.

De todo lo dicho surge una serie de preguntas, muchas sin contestación y una serie de comentarios que expongo en los párrafos siguientes. Desde luego, entre las UTS y las secuencias deposicionales existen detalles de tipo empírico que, a pesar de ser conceptualmente idénticas, en realidad el uso que se hace de ellas las alejan mucho entre sí. Tienen distinta utilidad.

Las secuencias deposicionales, de acuerdo con la definición dada y a pesar de las críticas realizadas, constituyen una excelente herramienta con la que se puede trabajar en el campo y, de modo especial, en estratigrafía sísmica. Con ellas se están obteniendo unos resultados interpretativos óptimos que, a juicio de quien redacta estas líneas, han dado paso a uno de los mayores avances recientes en geología y, de manera particular, en estratigrafía. Esto se ve reflejado en la ya voluminosa bibliografía de Vail, Mitchum, Haq, van Wagoner, Hardenbol, etc. aparecida a lo largo de los últimos doce años.

Para los autores americanos el establecimiento de las secuencias deposicionales es un medio para llegar a la obtención de la curva eustática. La curva eustática tiene valor global si se admite el axioma de que todos los océanos han estado comunicados entre sí durante

el Fanerozoico. Este es un principio básico para proponer unidades cronostratigráficas, construir una tabla de los tiempos geológicos y realizar correlaciones. Ahora bien, para poder proponer la mencionada tabla de los tiempos geológicos y la curva eustática ha sido preciso para Vail, Mitchum, Hardenbol, etc. depurar los resultados de la sísmica de los márgenes continentales estables quitándoles las interferencias de tipo tectónico, de subsidencia, sedimentarias, paleogeográficas, etc.

En cambio, A.G. Megías (1982) y más tarde González *et al.*, (1988), proponen el uso de las UTS a nivel local, de la cuenca sedimentaria sin despojarlas de las incidencias tectónicas, de subsidencia, de transgresión y regresión marinas, o sedimentarias. El Mesozoico y Terciario que A. Garrido (1973) y Garrido y Ríos (1972) estudian está en una cuenca pirenaica en evolución y sometida a movimientos tectónicos muy repetidos. Esto le permite subdividir la historia geológica en un determinado número de intervalos de tiempo mediante discontinuidades observables que no coinciden con los límites de las unidades cronostratigráficas. El autor, además, realiza el estudio estratigráfico pirenaico mediante el control de las determinaciones paleontológicas lo cual le posibilita datar las grandes discontinuidades. Observa además que son correlacionables a la escala de la cuenca. Empleando la misma metodología Salas (1987) obtiene, de su excelente estudio sobre el Mesozoico marino del Maestrazgo, un rendimiento satisfactorio.

Garrido-Megías (1973) al hablar de la correlación de discordancias a escala de la cuenca, dice: *Estos "momentos privilegiados" los relacionamos con pulsaciones o fases tectónicas notables, cuyos efectos sean registrados en las zonas de sedimentación, materializándose con discontinuidades sedimentarias.* Y añade: *Es obvio, que todo este razonamiento se basa fundamentalmente en la contemporaneidad de las pulsaciones tectónicas, al menos dentro de una determinada área.*

Esta afirmación evoca las "leyes" de H. Stille (1924): *simultaneidad de las fases de plegamiento y brevedad de las mismas.* Y con ello se entra de nuevo en la ya vieja polémica entablada, en la década de los cincuenta, entre los autores clásicos: H. Stille y J. Gilluly, los cuales discutieron con vehemencia, sobre la supuesta brevedad y la contemporaneidad o no de los movimientos (o fases, eventos) orogénicos (veáanse en Gilluly *et al.*, 1950, y en Leonov *et al.*, 1987, las referencias de numerosos artículos sobre esta cuestión).

Sobre esta cuestión básica en geología existe otro estudio, poco citado y olvidado, debido a Johnson (1971), y escrito antes del desarrollo de la teoría de tectónica de placas, en el que se afirma, tras un análisis detallado del desarrollo geológico del continente norteamericano, (p.3239) que: 1. Los tiempos de orogénesis son tiempos de transgresión de los mares epicontinentales. 2. Los tiempos de quiescencia geosinclinal son tiempos de regresión y de abombamiento epirogénico. 3. Los ciclos orogénicos son largos, los intermedios anorogénicos son cortos. 4. Las orogénesis, coincidentes en

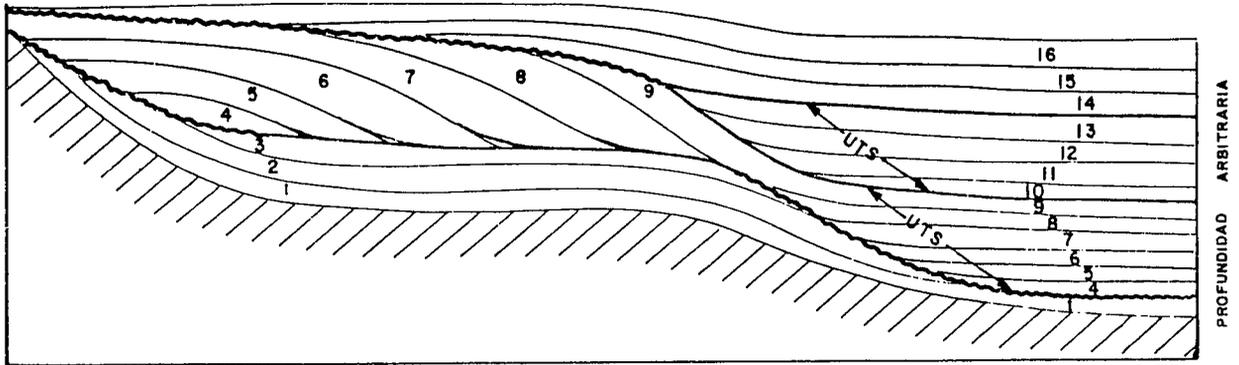


Fig. 1a.- SECCION GEOLOGICA ESTRUCTURAL

Fig. 1b.-SECCION CRONOESTRATIGRAFICA

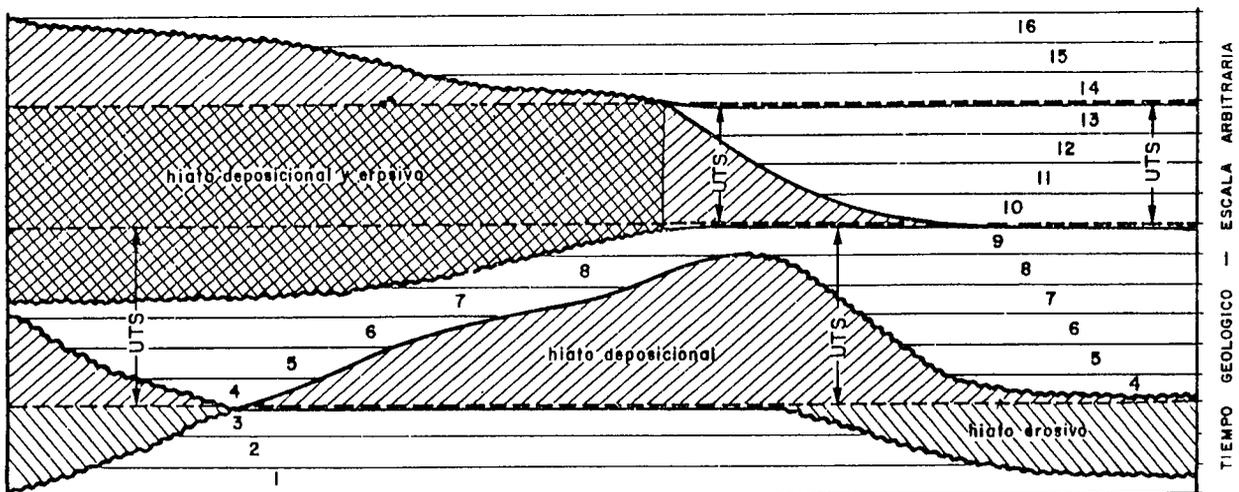


Fig. 1.- Representación de las Unidades Tectosedimentarias (U.T.S.), según A. G. Megías (1982). Se pueden distinguir cuatro: 1-3; 4-9; 10-13 y 14-16. El autor distingue los hiatos (hiatos deposicionales) y los vacíos de erosión (hiatos erosivos).

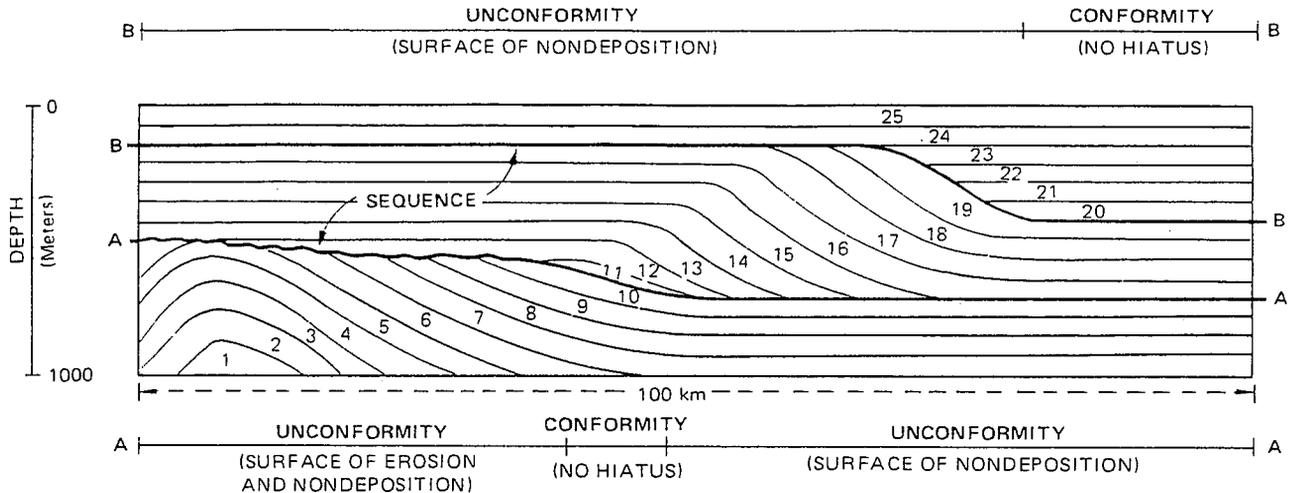
Fig. 1.- Illustration showing tectosedimentary units (T.S.U.) after A.G.Megías (1982). Four units are explained: 1-3; 4-9; 10-13 and 14-16. They are bounded by unconformities of two types: Depositional hiatuses and erosional hiatuses (erosional vacuity).

sus cronologías, se presentan en ambos lados del continente como una doble imagen en un espejo (En los puntos 1 y 2, Jonhson "redescubre" la ley de Haug, 1907). Brookfield (1970) emitió la teoría de que los movimientos eustáticos están en relación con la subducción y la actividad de las dorsales oceánicas, lo cual está en consonancia con las "leyes" de Haug y Johnson.

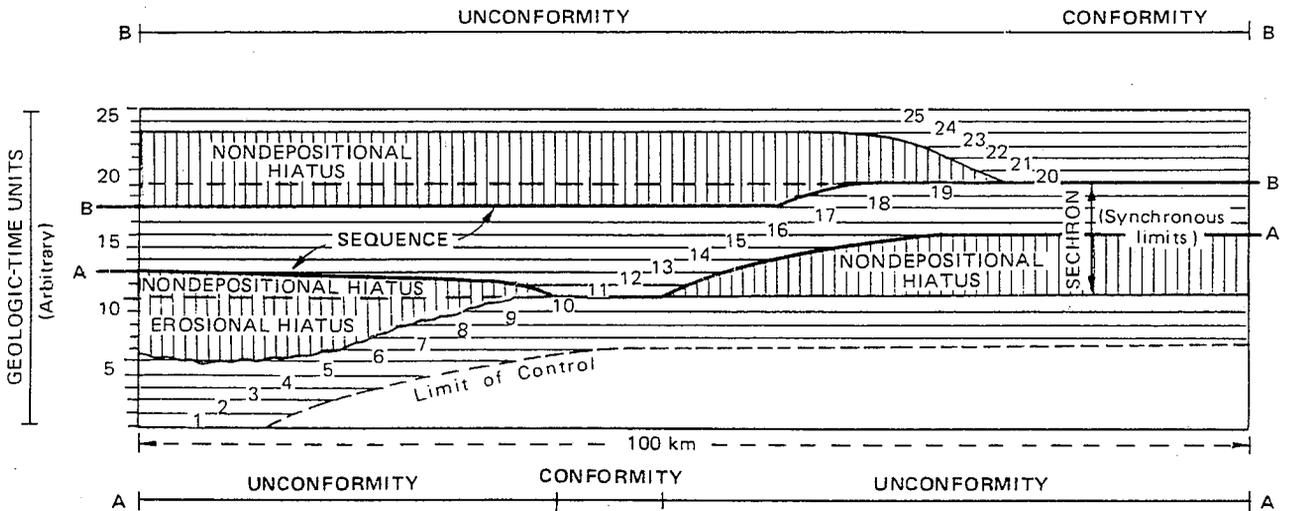
Johnson (1971) introduce otro concepto que es preciso tener presente: el **efecto Antler** ("Antler effect"), basado en la orogénesis de este nombre, que afectó el Paleozoico superior del "geosinclinal" occidental del continente norteamericano. Concretamente: esta orogénesis que empezó en el Devónico inferior en la isla de Ellesmere (Artico canadiense) fué desplazándose progresivamente hacia el Sur hasta alcanzar California, en el Misisipiense inferior. Es decir: 5500 km / 50 Ma, lo que equivale a un desplazamiento del orden de 110 m por mil años. Este efecto, ¿obedece a las colisiones continentales diácronas (*diachronous continental collisions*, de Dewey *et al.*, 1986), también llamadas oblicuas?

Los estudios tectónicos recientes de nuestras cor-

dilleras conducen a pensar en lo indicado en el párrafo anterior. Las numerosas publicaciones presentadas en el "Simposio sobre la Geología de Pirineos y Béticas" (1988) y los resultados de la tesis de Guimerà (1988), obligan a reconsiderar la cuestión relacionada con las "fases" orogénicas y el "efecto Antler". La compresión dura, en los Pirineos y cuenca del Ebro, largas épocas geológicas, del Santoniense al Oligoceno sup. en Cataluña (Vergés *et al.*, 1988); o al Mioceno medio en La Rioja (Riba *et al.*, 1983), los autores no precisan más. La propagación de los sistemas de cabalgamientos, en los Pirineos produce una serie de cubetas satélites ("piggy back basins") con amortiguamiento hacia la fosa de antepaís, (un efecto que podríamos llamar de "acordeón"). Tomando, por ejemplo, entre otros, el estudio de Martínez *et al.*, (1988), se ha comprobado que en la rampa Este del manto del Pedraforca existen, al S. del sinclinal de Ripoll, por los menos cinco pequeñas cuencas conglomeráticas asociadas a un sistema imbricado, y las discordancias angulares correspondientes. El número elevado de unidades cabalgantes forman-



1a



1b

Fig. 2. Representación de las secuencias deposicionales, según Mitchum *et al.*, (1977). En el recuadro 1b está indicada la extensión del sechron ("sechron") de la , secuencia 11-19 lo cual es el equivalente cronostratigráfico de una U.T.S. (fig. 1) de A.G. Megías.  
 Fig. 2.-Illustration showing depositional sequences, after Mitchum *et al.*, (1977). In 1b, 11-19 sequence is indicated with the extension of a sechron, which is equivalent to chronostratigraphic extension of the T.S.U. of A.G.Megías (compare with fig. 1).

do sistemas, con sus depósitos sintectónicos, introduce un grado elevado de incertidumbre en el momento de querer fijar las fases de plegamiento en el tiempo geológico, o en todo caso, la estructuración ha sido muy rápida.

También es muy probable que el desplazamiento de los movimientos orogénicos pirenaicos se haya realizado de Este a Oeste. En Cataluña las últimas fases hubieran terminado en el Oligoceno superior; en La Rioja, durante, o a fines, del Vallesense (Riba *et al.*, 1983).

Existe, sin embargo, la otra cara de la moneda. Si la compresión que formó los Pirineos fué muy conti-

nua desde el Cretácico superior hasta el Mioceno medio, ¿como se explica que las principales discordancias angulares registradas en el borde meridional de los Pirineos coincidan en determinados momentos de la escala de los tiempos geológicos?. Basta con repasar la bibliografía para percibirse de esto. Es admisible que exista un problema de correlación por un lado, y de imprecisión biostratigráfica, por otro. Pongo el ejemplo de las dos grandes discordancias progresivas, observables en el borde oeste de la Cuenca de Miranda-Treviño, en Bozío y Bachicabo, respectivamente (Riba, 1989, fig. 17). En la parte SE de la misma hay depositada una potente serie terciaria que abarca del Eoceno marino

a un Mioceno medio. Dichas discordancias pueden representar unos momentos de actividad más acelerada.

De la estructuración compresiva pirenaica a que he aludido más arriba (Martínez *et al.* 1988), cabe pensar asimismo que los sistemas de cabalgamientos se hayan formado no sólo de modo amortiguado, sino que se hayan estructurado mediante familias de cabalgamientos en momentos distintos.

No creo existan muchos ejemplos para demostrar el sincronismo de formación de discordancias angulares por vía distinta de la paleontológica. Quizá no tardaremos mucho en disponer de una zonación magnetostratigráfica, lo cual facilitará mucho la correlación.

En un estudio cartográfico detallado realizado entre Aguilar de Codés y el Montejurra (Navarra), en un lugar en el que la serie del Terciario continental está en gran parte verticalizada con espesores de 4 a 6,6 km, Riba (1960) pudo demostrar que la discordancia angular de Barbarín es perfectamente correlacionable, por continuidad de afloramiento y mediante niveles-guía, con la que se observa al Sur de Aguilar de Codés, (km 14,7 Ca. Aras - Aguilar) distantes ambas unos 22 - 25 km. Dichas discordancias pasan lateralmente a sendas concordancias entre las mencionadas localidades.

En la misma zona se ha demostrado el desplazamiento progresivo del depocentro aparente de los Yesos de Desojo hacia el Oeste, entre Barbarín y Espronceda, con una desnivelación estratigráfica ascendente, de más de 700 m, mediante cuñas sucesivas muy agudas. Algo parecido ocurre con las areniscas de Mués.

Existe otro ejemplo, dado por Puigdefábregas (1975) que se opone a lo acabado de exponer, en cuanto se refiere a la contemporaneidad del plegamiento. En la zona de Arguís (Pirineos de Huesca) se registró una traslación progresiva hacia el Oeste del momento de plegamiento en un sistema de anticlinales y sinclinales orientados de N a S. Esto quedó demostrado mediante discordancias progresivas y angulares en una trama de niveles-guía.

## 8. UNAS PALABRAS FINALES

Habiendo realizado esta exposición, quizá resulte prematuro llegar a conclusiones. Hace años que los geólogos se han planteado esta cuestión básica en geología. ¿Hay sincronismo en las fases de diastrofismo terrestre?, ¿lo hay a nivel de la cuenca, o a uno más reducido?. ¿Se puede hablar de rupturas de rango cuencal? y, si existen, ¿se han realizado las correlaciones necesarias para demostrarlas?. Téngase presente que en la definición de *ruptura*, González *et al.*, (1988) parten de un postulado no demostrado ni admitido por toda la comunidad geológica: la de la simultaneidad de las fases orogénicas y su brevedad. Admitiendo este pos-

tulado, los mencionados autores desentierran una vieja polémica aún no resuelta. Las UTS se basan más en la tectónica, o, exclusivamente en ella, al contrario de lo que hacen los autores americanos con las secuencias deposicionales, y las curvas eustáticas, basadas en el axioma de que las oscilaciones del nivel oceánico son universales al admitir que todos los océanos estaban conectados. Parecen preferibles la preguntas: ¿Puede haber una "ruptura cuencal" que sea de edad variable, o son distintas rupturas de correlación defectuosa?. Insisto, no deben confundirse aquí las "*interregional unconformities*", (Mitchum, 1977) debidas a caídas eustáticas, con las discordancias producidas por efectos tectónicos.

Concretamente, existe un problema serio de trazado de límites de las secuencias deposicionales o unidades tectosedimentarias en aquellos segmentos en que la unidad híbrida está limitada por superficies isócronas. Esto tiene que ser siempre muy interpretativo y, por consiguiente, sujeto a controversia. Allí en donde existe un control biostratigráfico, como ocurre en las cuencas marinas o mixtas, las rupturas sedimentarias y sus superficies isócronas correlativas los resultados son mucho más aceptables, tal como demuestran los estudios recientes. En las cuencas continentales españolas, el método es de aplicación muy difícil, no sólo por la dificultad de trazado de límites de la que se ha hablado bastante, sino también por causa de los desplazamientos de los depocentros que provocan saltos verticales de composición rocosa estratigráficamente variables. Los cuales, no obstante, en muchos casos responden a un desplazamiento progresivo de las áreas de depósito. *Es algo que puede originar errores considerables de correlación si se cae en la tentación de utilizarlos como niveles-guía. Incluso hay que desconfiar de los depósitos evaporíticos.* Obsérvese que el trazado de límites isócronos presenta el mismo problema que el trazado de límites cartográficos de unidades cronostratigráficas en terrenos no marinos; por ejemplo el Oligo-Mioceno en el Ebro.

*El uso de las unidades tectosedimentarias y secuencias deposicionales constituye una buena herramienta para iniciar el análisis de cuenca.* Da buenos resultados a nivel local. Véanse las tesis recientes de Pérez (1989) y González (1984). Las dificultades radican en las correlaciones a grandes distancias y en el uso que se haga de ellas en las facies continentales pobres en elementos de correlación.

## AGRADECIMIENTOS

A los Sres. Joan August Van Eeckhout y Pere Riba por su asistencia en el uso de los ordenadores e impresoras.

## BIBLIOGRAFÍA

- CSNC (American Commission on Stratigraphic Nomenclature) (1970): Code of stratigraphic nomenclature (2nd. Ed.). *Amer. Assoc. Petr. Geol.*, Tulsa Okla. 45 p. (Trad. esp. por D.A. Córdoba y Z. de Cserna (1970). México, D.F. 28 p.).
- Brookfield, M.E. (1970): Eustatic changes of sea level and orogeny in the Jurassic. *Tectonophysics*, 9: 347-363.
- Chang, K.H. (1975): Unconformity-bounded stratigraphic units. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 66: 1544-1552.
- Delfaud, J. (1972): Application de l'analyse séquentielle à l'exploration lithostratigraphique d'un bassin sédimentaire. L'exemple du Jurassique et du Crétacé inférieur de l'Aquitaine. *Mém. B.R.G.M.*, 77: 593-611.
- Dewey, J.F., Hemdon, M.R., Kidd, W.S., Saroglu, F. y Sengor, A.M.C. (1986): Shortening of continental lithosphere. In: *Collision tectonics*. (M.P. Coward y A.C. Ries, Eds.). Geol. Soc. Spec. Publ. núm. 19: 3-36.
- Garrido-Megias, A. (1973): *Estudio geológico y relación entre tectónica y sedimentación del Secundario y Terciario de la vertiente meridional pirenaica en su zona central (provincias de Huesca y Lérida)*. Tesis Univ. Granada, 395 p.
- Garrido-Megias, A. y Fíos, L.M. (1972): Síntesis geológica del Secundario y Terciario entre los ríos Cinca y Segre (Pirineo Central de la vertiente sur pirenaica, provincias de Huesca y Lérida). *Bol. Geol. Min.*, 83: 324-345.
- Gilluly, J., Stille, H., Kreici-Graf, K. y Wegmann, E. (1950): Varios artículos, In: *Struktur und Zeit. Geol. Rundschau*, 38/2: 89-132.
- González, A. (1989): *Análisis tectosedimentario del Terciario del borde SE de la Depresión del Ebro (sector bajoaragonés) y cubetas ibéricas marginales*. Tesis Univ. Zaragoza. 507 p.
- González, A., Pardo, G. y Villena, J. (1988): El análisis tectosedimentario como instrumento de correlación entre cuencas. *II Congr. Geol. España SGE*, Granada, Simposios, 175-184.
- Guimerà, J. (1988): *Estudi estructural de l'enlla entre Serralada Ibérica i la Serralada Costanera Catalana*. Tesis Univ. Barcelona, 600 p.
- Haq, B.U., Hardenbol, J. y Vail, P.R. (1987): The chronology of fluctuating sea level since Triassic. *Science*, 235: 1156-1167.
- Haq, B.U. y 19 autores. (1988): *Mesozoic-Cenozoic Cycle Chart*. In: "Sea-level changes an integrated approach". Version 3.1A. Soc. Econ. Paleont. Mineral. Anexo. Sp. Publ. N.º 42.
- Haug, E. (1907): *Traité de Géologie*. 3 Vols. Librairie. A. Colin. París. 1396 p.
- Hutton, J. (1795): Theory of the Earth, with proofs, and illustrations. *Trans. Roy. Soc. Edinburgh*, vol. 1: 600 p y vol. 2: 567 p.
- ISSC (International Subcomisión on Stratigraphic Classification). (H. D. Hedberg, editor) (1980): *Guía Estratigráfica Internacional*, Reverté. Barcelona, 205 p.
- Johnson, J.G. (1971): Timing and coordination of orogenic, epirogenic and eustatic events. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 82: 3263-3298.
- Krumbein, W.C. y Sloss, L.L. (1951, 1963): *Stratigraphy and sedimentation*. (1.ª y 2.ª Edic.). Freeman & Co. San Francisco, 467 y 660 p. respectivamente.
- Leonov, Y.G. y Khain, V.E. (1987). Problems of a systematic approach to the study and correlation of tectonic phases. In: *Global correlation of tectonic movements*. (Ed. Y. Leonov y V.E. Khain). John Wiley & Sons. Chichester, 1-11.
- Lombard, A. (1956): *Géologie sédimentaire. Les séries marines*. Masson Edit. París. VI + 425 p.
- Lombard, A. (1967): La stratification. Révision critique et essai de théorie génétique. *Eclogae Geol. Helv.*, 58: 135-155.
- Martínez, A., Verges, J. y Muñoz, A. (1988): Secuencias de propagación del sistema de cabalgamientos de la terminación oriental del manto del Pedraforca y relación con los conglomerados sinorogénicos. *Acta Geol. Hisp.*, 23: 119-127.
- Megias, A.G. (1982): Introducción al análisis tectosedimentario: aplicación al estudio dinámico de cuencas. *V Congr. Latinoamer. Geol. Argentina*, 1: 385-402.
- Mitchum, R.M. (1977): Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part. II: Glossary of terms used in Seismic Stratigraphy. In: (C.E. Payton, Ed.): *Seismic Stratigraphy*, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 26: 205-212.
- Mitchum, R.M., Vail, R.M. y Thomson, S. (1977): Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part Two. The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: (C.E. Payton, Ed.): *Seismic Stratigraphy*, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 26: 53-62.
- Murphy, M.A. (1988): Unconformity-bounded stratigraphic units: Discussion and reply. Discussion. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 100: 155-156.
- NASC (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature) (1983): North American Stratigraphic Code. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 67: 841-875.
- Pérez, A. (1989): *Estratigrafía y sedimentología del Terciario del borde meridional de la Depresión del Ebro (sector riojano-aragonés) y cubetas de Muniesa y Montalbán*. Tesis Univ. Zaragoza. 525 p.
- Puigdefábregas, C. (1975): La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca. *Pirineos*, 104: 1-188.
- Puigdefábregas, C., Muñoz, J.A. y Marzo, M. (1988): Thrust belt development in the eastern Pyrenees and related depositional sequences in the southern foreland basin. *Sedimentology*, 8: 229-246.
- Puigdefábregas, C. y Souquet, P. (1985): Cyclicity basin evolution and tectonic control in the Mesozoic and Cenozoic of the Pyrenees. *Terra Cognita*, 5: 119.
- Riba, O. (1960): Informe geológico sobre el Terciario continental entre Monte Codés y Montejurra. Inf.int. C.I.E.P.S.A. Núm. 108. 34 p. "Mapa del Terciario continental entre Monte Codés y Montejurra" a Escala 1:25.000, 20 perfiles estratigráficos. Vitoria - Madrid. (Inédito).
- Riba, O. (1989): Las discordancias sintectónicas como elementos de análisis de cuencas. In: *Sedimentología* (A. Arche, Coord.), Nuevas Tendencias, C.S.I.C., Madrid, 2: 489-526.
- Riba, O., Reguant, S. y Villena, J. (1983): Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca terciaria del Ebro. In: *Geología de España*, Libro Jubilar J.M. Ríos, I.G.M.E. Madrid. 2: 131-159.
- Saez, A. (1987): *Estratigrafía y sedimentología de las formaciones lacustres del tránsito Eoceno-Oligoceno del NE de la Cuenca del Ebro*. Tesis Univ. Barcelona. 353 p.
- Salas, R. (1987): *El Malm i el Cretaci inferior entre el Massís de Garraf i la Serra d'Espadà*. Tesis Univ. Barcelona, 345 p.
- Salop, L.J. (1983): *Geologic evolution of the Earth during Precambrian*. Springer Verlag, Berlin, 459 p.
- Salvador A. (1987): Unconformity-bounded stratigraphic units. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 98: 232-237.
- Salvador, A. (1988): Reply (to M.A. Murphy). *Geol. Soc. Amer. Bull.* 100: 155-156.
- Sloss, L.L., Krumbein, W.C. y Dapples, E.C. (1949): Integrated facies analysis: In: *Sedimentary facies in geologic history*.

- Geol. Soc. Amer. Mem., 39: 91-124.
- Stille, H. (1924): *Grundfragen der vergleichenden Tektonik*. Verlag Gebrüder Borntraeger, Berlin. 443 p.
- Vail, P.R., Colin, J.P., du Chene, R.J., Kuchli, J., Mediavilla, F. y Trifilieff, V. (1987): La stratigraphie séquentielle et son application aux corrélations chronostratigraphiques dans le Jurassique du bassin de Paris. *Bull. Soc. Géol. France*, (8), 3: 1301-1321.
- Vail, P.R., Hardenbol, J y Todd, R.G. (1984): Jurassic unconformities chronostratigraphy and sea level changes from seismic stratigraphy and biostratigraphy. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 36: 129-144.
- Vail, P.R. y Mitchum, R.M. (1977): Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part one: Overview. In: (C.E. Payton, Ed.): *Seismic Stratigraphy*, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 26: 51-52.
- Van Wagoner, J.C., Posamentier, H.W., Mitchum, R.M. Jr, Vail, P.R., Sarg, J.F., Loutit, T.S. y Hardenbol, J. (1988): An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.S.C. Kendall, H. Posamentier, C.A. Ross y J.C. van Wagoner (Eds.): *Sea-level changes: an integrated approach*, Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ., 42: 39-45.
- Vergés, J. y Martínez, A. (1988): Corte compensado del Pirineo oriental: geometría de las cuencas de antepaís y edades de emplazamiento de los mantos de corrimiento. *Acta Geol. Hisp.*, 23: 95-105.
- Nota: Garrido Megías, A. y Megías, A.G. es la misma persona.

Recibido el 15 de julio de 1989

Aceptado el 18 de octubre de 1989