

CONDENSACION: SIGNIFICADOS Y APLICACIONES AL ANALISIS DE CUENCAS

S. Fernández López * y J.J. Gómez **

RESUMEN

El significado que se atribuye en la actualidad a la condensación estratigráfica, los depósitos condensados y la condensación tafonómica, pone de manifiesto la necesidad de distinguir un nuevo concepto, para el que proponemos el término de **condensación sedimentaria**. Por tal se entiende el proceso de formación de cuerpos rocosos de menor espesor que otros de intervalo temporal equivalente, debido a una menor velocidad de sedimentación. La condensación sedimentaria da lugar a sedimentos condensados fosilíferos o no, y el resultado contrario son sedimentos dilatados o extendidos. El mayor grado de condensación estratigráfica y el mayor diacronismo entre los fósiles de las asociaciones condensadas, constituidas por fósiles de dos o más zonas, no pueden seguir siendo utilizados como indicadores de una menor velocidad de sedimentación. El intervalo temporal de formación de algunas asociaciones condensadas es mayor que el intervalo temporal de formación del nivel estratigráfico en que se encuentran. Por la falta de distinción entre condensación estratigráfica, tafonómica y sedimentaria se hacen interpretaciones erróneas en los análisis de cuencas. Los procesos de condensación sedimentaria y los de condensación estratigráfica pueden ser frecuentes en ambientes oceánicos profundos, pero los procesos de condensación estratigráfica sin condensación sedimentaria también son frecuentes en plataformas epicontinentales someras. Los conceptos de condensación estratigráfica y de condensación sedimentaria son útiles para analizar y comparar respectivamente diferencias de tasa y velocidad de sedimentación, así como sus variaciones, según la dinámica de sedimentación de las cuencas.

Palabras clave: *Estratigrafía, Sedimentología, Tafonomía, Condensación estratigráfica, Depósitos condensados, Registro estratigráfico, Registro fósil, Análisis de cuencas.*

ABSTRACT

The meaning of stratigraphic condensation, condensed deposits and taphonomic condensation concepts, among other, requires the distinction of a new concept for which we propose the term **sedimentary condensation**. For such a concept should be understood the process of formation of rock bodies thinner than other of equivalent time interval due to a lower sedimentation velocity. Sedimentary condensation generates condensed sediments whether fossiliferous or not. The highest condensation degree of the stratigraphic levels and the highest degree of heterochrony of the mixed fossil assemblages cannot be used as an indicator of low sedimentation velocity anymore. The temporal interval of formation corresponding to some condensed assemblages is wider than the temporal interval of formation of the corresponding stratigraphic interval on which they are included. The lack of distinction between stratigraphic, sedimentary and taphonomic condensation conducted to misinterpretations in basin analysis. The sedimentary and stratigraphic condensation processes can be frequent in oceanic environments, but the stratigraphic condensation processes without sedimentary condensation are also common in shallow epicontinental platforms. The concepts of sedimentary and stratigraphic condensation are useful to analyze and to compare respectively differences between sedimentation rates and sedimentation velocities, as well as their variations according to the sedimentary dynamic of the basins.

Key words: *Stratigraphy, Sedimentology, Taphonomy, Stratigraphic condensation, Condensed deposits, Stratigraphic record, Fossil record, Basin analysis.*

(*) Dpto. de Paleontología, Fac. C.C. Geológicas e Instituto de Geología Económica, C.S.I.C. Univ. Complutense, 28040 Madrid.

(**) Dpto. de Estratigrafía, Fac. C.C. Geológicas e Instituto de Geología Económica, C.S.I.C. Univ. Complutense, 28040 Madrid

Introducción

Los procesos de condensación son considerados de particular interés en Estratigrafía y en Paleontología, debido a que pueden dar lugar a niveles estratigráficos distintivos, susceptibles de ser utilizados como guía en amplios sectores de las cuencas sedimentarias, y porque suelen contener altas concentraciones de fósiles cuyo estado de conservación puede ser excepcional.

Durante el presente siglo, el término condensación ha sido empleado en numerosos trabajos geológicos, y ha pasado a ser un concepto cada vez más utilizado en los análisis de cuencas. De acuerdo con los métodos de estratigrafía secuencial, desarrollados por los especialistas del grupo de Exxon, la identificación de secciones condensadas se considera de gran importancia para la reconstrucción, datación y correlación de márgenes continentales, tanto a escala regio-

nal como a escala global. Sin embargo, como se argumentará en este trabajo, a la condensación estratigráfica se le ha atribuido sin justificación un valor paleogeográfico y cronológico.

Desde que Heim (1934) propuso el término condensación estratigráfica, para denotar los resultados de una sedimentación extremadamente lenta o nula que se mantuvo durante un largo período de tiempo, la idea de condensación ha experimentado distintas modificaciones y han sido propuestos varios términos en diferentes disciplinas. En la actualidad, el término condensación se utiliza no sólo para hacer referencia a niveles o sucesiones estratigráficas, sino también a sedimentos y asociaciones de fósiles. A menudo se habla de condensación estratigráfica, depósitos condensados y condensación faunística. Esta situación es indicativa de que los problemas de condensación son de interés interdisciplinar en Geología; sin embargo, los significados atribuidos a estos diferen-

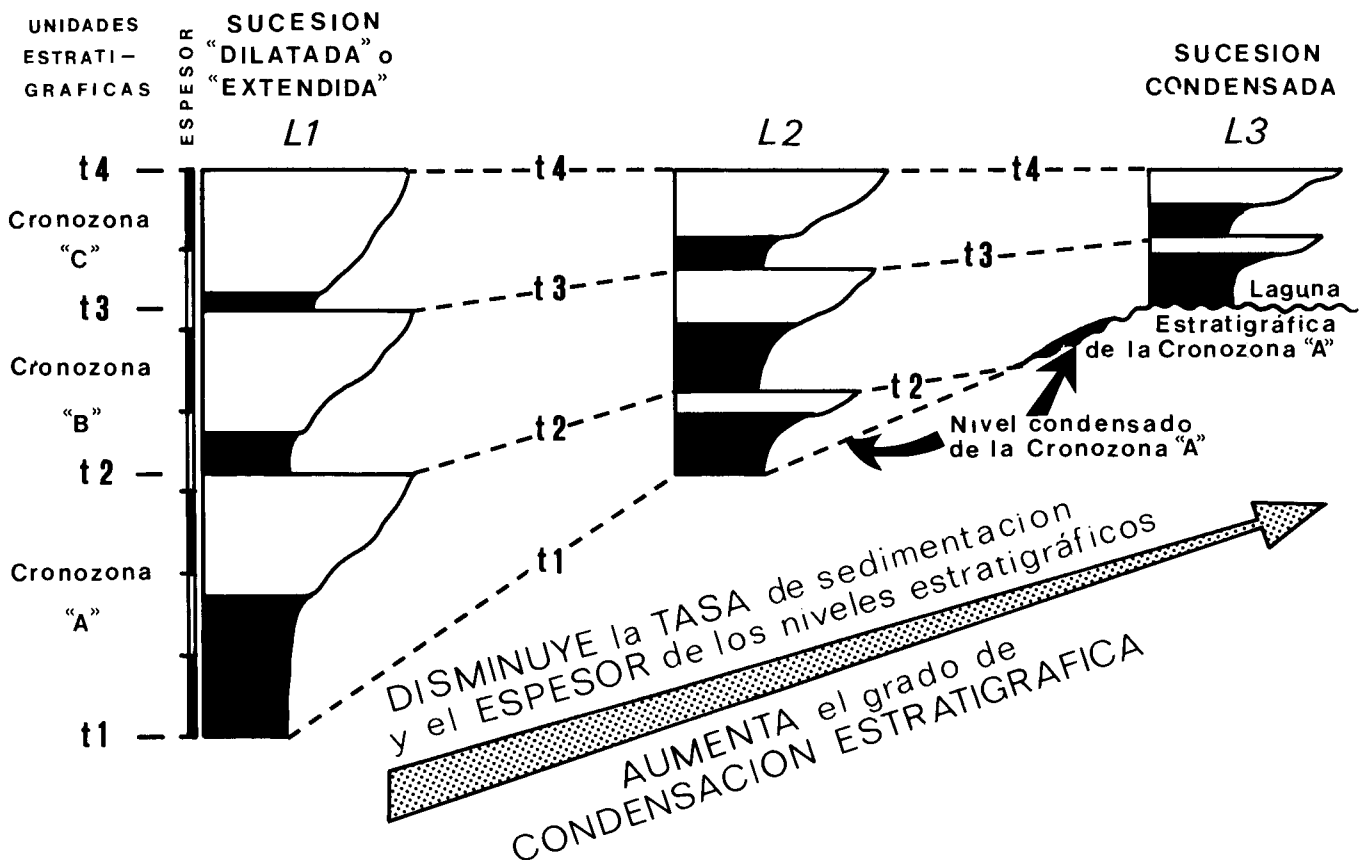


Fig. 1.—Ejemplos de sucesión condensada (L3) y de sucesión dilatada o extendida (L1), respecto a otra de referencia (L2). La reducción de espesor de los niveles estratigráficos se debe a una disminución de la tasa de sedimentación y corresponde a un aumento del grado de condensación estratigráfica. La secuencia de la Cronozona «A» está condensada en la localidad L2 respecto a la localidad L1 y no está representada en la localidad L3. Durante este intervalo temporal, el proceso de condensación estratigráfica tuvo intensidad máxima en la localidad L3, y dio lugar a una laguna estratigráfica; sin embargo, la presencia de lagunas no es un criterio necesario o suficiente para reconocer dichos procesos de condensación.

tes términos son muy distintos según los campos de investigación en que son tratados, y también respecto a las ideas originalmente propuestas.

Los objetivos del presente trabajo son: analizar el significado de los términos condensación estratigráfica y tafonómica utilizados en la actualidad; definir el término condensación sedimentaria, que es necesario para resolver algunos problemas estratigráficos, sedimentológicos y paleontológicos; ilustrar mediante ejemplos la utilidad de estos tres conceptos de condensación; y situar la condensación dentro del marco del análisis de cuencas.

Condensación estratigráfica

El término condensación estratigráfica ha sido empleado por numerosos autores para hacer referencia a la disminución de espesor de cualquier sucesión estratigráfica como consecuencia de una tasa de sedi-

mentación más escasa o nula (Heim, 1934, 1946, 1958; Went, 1970, 1973; Fürsich, 1971, 1978, 1979; Jenkyns, 1971, Geyer & Hinkelbein, 1974; Elmi, 1981; Seyfried, 1981). Como resultado del proceso de condensación estratigráfica se han formado capas, bancos, horizontes, niveles estratigráficos, secuencias o sucesiones estratigráficas de menor espesor que otra sucesión estratigráfica contemporánea, o de intervalo temporal equivalente, utilizada de referencia. Otros términos más recientes para dichos resultados son: secciones condensadas e intervalos condensados; y para los resultados contrarios: secuencias dilatadas o sucesiones extendidas (fig. 1).

Los criterios empleados tradicionalmente para reconocer los efectos de la condensación estratigráfica son:

- 1) la disminución lateral del espesor de los niveles estratigráficos;
- 2) la mayor frecuencia de señales de removilización y de barrido de las partículas sedimentarias más finas;

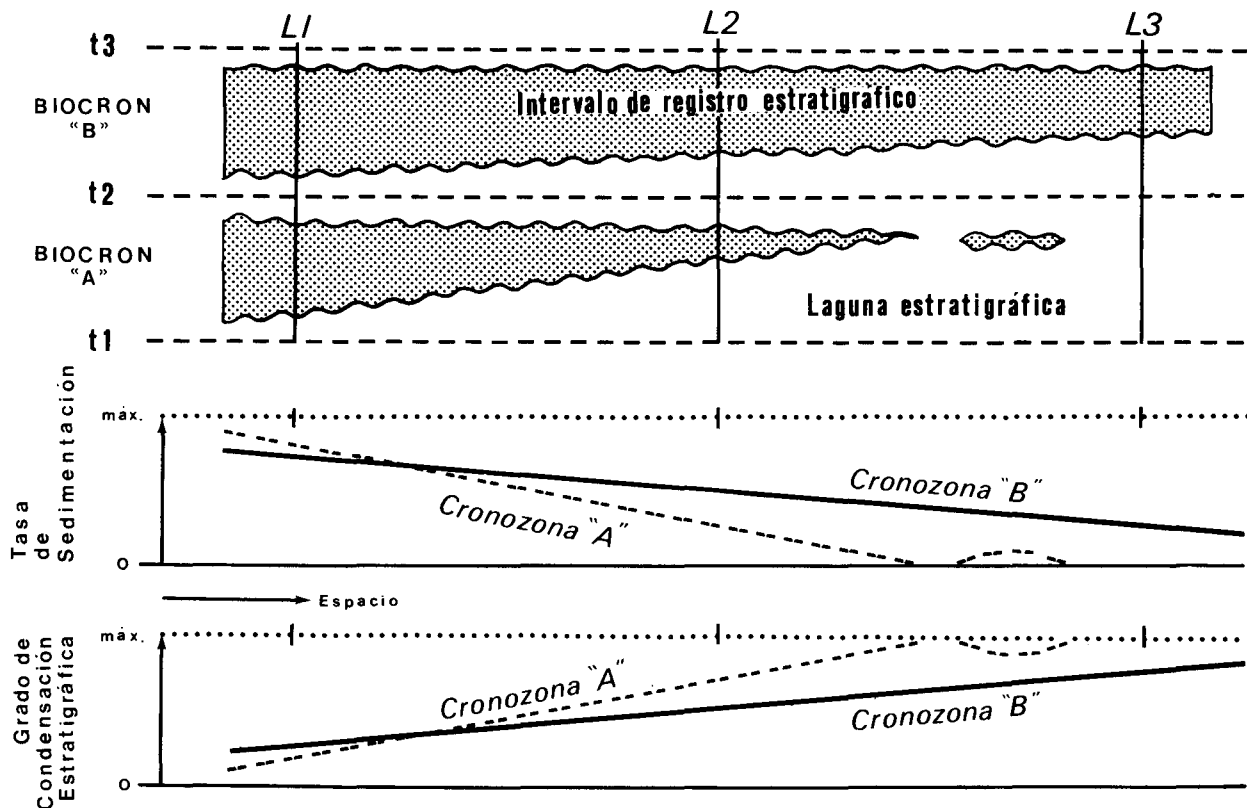


Fig. 2.—Variaciones espacio-temporales de los materiales de las Cronozonas «A» y «B» representados en la figura 1, con indicación de los intervalos de registro y de lagunas estratigráficas. La duración total de cualquier intervalo estratigráfico es igual a la suma de las duraciones de registro estratigráfico más las duraciones sin registro. Desde la localidad L1 a la localidad L3 disminuye el espesor estratigráfico desarrollado durante los Biozonos «A» y «B» por lo cual disminuye la tasa de sedimentación y aumenta el grado de condensación estratigráfica. La sucesión estratigráfica correspondiente al intervalo temporal t1 a t3 está condensada en la localidad L3, debido a que es menor la proporción de intervalos con registro sin variar los valores de la velocidad de sedimentación.

- 3) el aumento de la concentración de algunos minerales autigénicos, tales como fosforita, glauconita y siderita, así como
- 4) la mezcla de fósiles heterócronos, incluso de dos o más zonas.

Junto a estos criterios, en la actualidad, la mayoría de los autores consideran que en las sucesiones estratigráficas condensadas por lo general son frecuentes las evidencias de hiatos y de «hard-grounds» (Gebhard, 1982; Hagdorn, 1982; Seilacher, 1982; Krajewsky, 1984, Kidwell & Aigner, 1985; Louti *et al.*, 1988; Kidwell, 1989; West & Rollins, 1989).

La idea de condensación estratigráfica es muy intuitiva, pero en la práctica ha sido utilizada de diferentes maneras. Uno de los motivos principales de desacuerdo se debe a la disparidad de significados atribuidos al término «tasa de sedimentación», o lo que algunos autores llaman «tasas medias de acumulación sedimentaria», que a menudo se confunde con el significado de «velocidad de sedimentación». El valor de la «tasa de sedimentación» de un intervalo

estratigráfico se estima mediante el espesor estratigráfico desarrollado durante un intervalo temporal concreto. Sin embargo, el valor de la «velocidad de sedimentación» de los cuerpos rocosos se calcula teniendo en cuenta la cantidad de sedimento acumulado por unidad de tiempo (fig. 2).

Cualquier sucesión condensada, resultado de una tasa de sedimentación menor, tiene menos espesor que otra de intervalo temporal equivalente. Sin embargo, ello no implica que los sedimentos se hayan depositado a menor velocidad (Fernández-López, 1985a; Brett & Baird, 1986; Brett, 1990). Por ejemplo, en materiales del Jurásico medio de la Cordillera Ibérica se puede comprobar que algunos niveles condensados, y de baja tasa de sedimentación, están constituidos por depósitos de tipo tempestita que fueron sedimentados de manera rápida después de un amplio intervalo temporal sin sedimentación (Fernández-López & Gómez, 1990c).

Debido a las variaciones de los intervalos de omisión y/o erosión, la tasa de sedimentación, y por con-

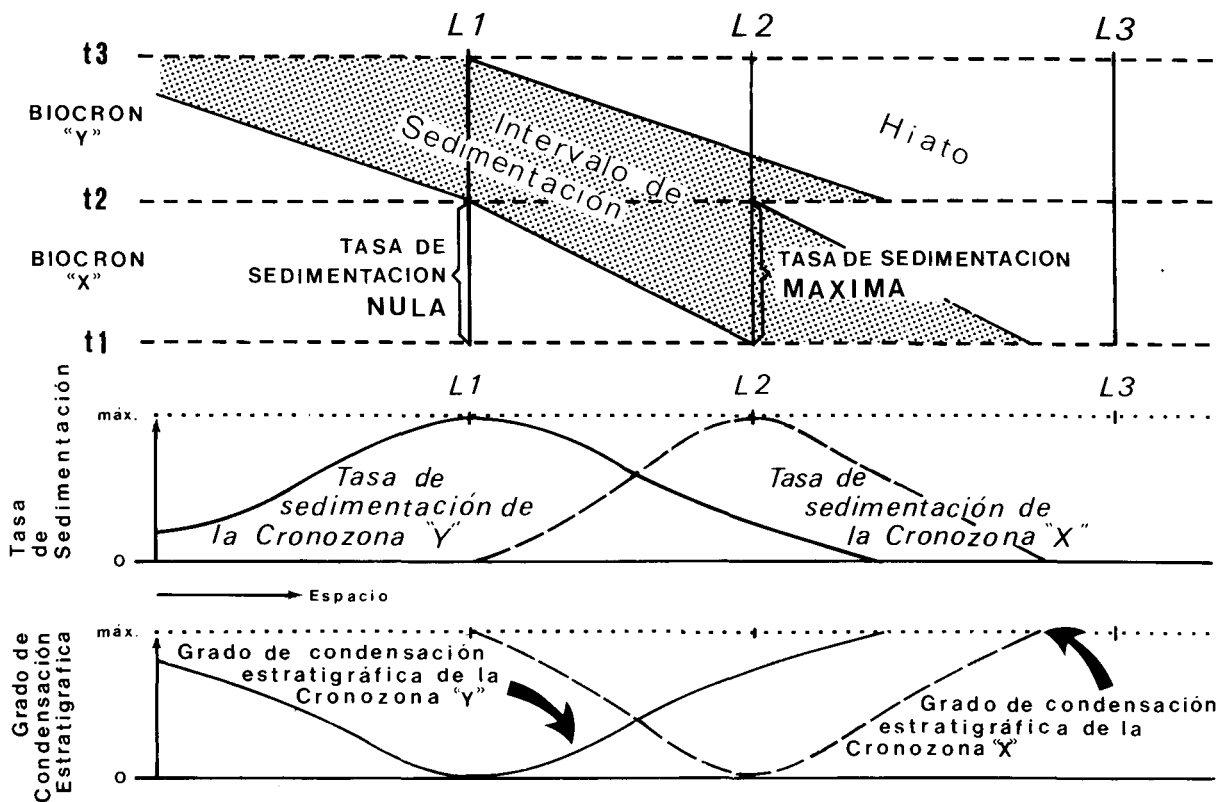


Fig. 3—Distribución espacio-temporal de un episodio de sedimentación durante dos biocronos sucesivos. La diferente duración de los episodios de omisión determina que los valores de la tasa de sedimentación y el grado de condensación estratigráfica sean distintos en cada una de las localidades, aunque la velocidad de sedimentación haya sido la misma. En la localidad L3, la tasa de sedimentación es nula y el grado de condensación estratigráfica es máximo para ambas cronozonas. En la localidad L1, la cronozona «Y» está representada por una sucesión dilatada respecto a la de la localidad L2.

siguiente el grado de condensación estratigráfica, varía incluso durante el desarrollo vertical de una secuencia estratigráfica. En sentido lateral, los materiales formados a igual velocidad de sedimentación pueden constituir tanto secuencias condensadas como secuencias dilatadas durante intervalos temporales equivalentes (fig. 3). En consecuencia, el grado de condensación estratigráfica y el valor de la tasa de sedimentación no pueden ser utilizados como indicadores de variaciones laterales y verticales en la velocidad de sedimentación.

Depósitos condensados

Desde los años sesenta, el término depósito condensado ha sido empleado por numerosos autores para interpretar algunos yacimientos de fósiles. De acuerdo con la clasificación de Seilacher (1970) los depósitos condensados tienen una «alta concentración de material esquelético debido a tasas de sedimentación bajas o nulas». Estos depósitos han sido distinguidos de los llamados «depósitos de placer», en los cuales la concentración de material esquelético o de partes duras se debe a transporte y «sorting» sedimentario. Ambos tipos de depósitos son cuerpos rocosos con una inusitada cantidad y/o calidad de información paleontológica y corresponden a dos facies sedimentarias diferentes (Reineck & Sing, 1973; Seilacher *et al.*, 1985; Seilacher, 1990).

El criterio principal que utilizan la mayoría de los autores para identificar los depósitos condensados es la presencia de asociaciones mezcladas constituidas por fósiles guía de edades distintas. Sin embargo, a menudo se ha ignorado que la mezcla de fósiles de dos o más zonas no es un criterio suficiente de condensación estratigráfica, ni sirve para diagnosticar los depósitos condensados. Por ejemplo, cuando la removilización tiene lugar durante episodios más o menos amplios de barrido de partículas finas y da lugar sin transporte a un aumento local en la concentración de restos esqueléticos, sí se pueden generar depósitos condensados. Por el contrario, cuando los restos son transportados hasta nuevos lugares, se pueden formar depósitos de placer, no condensados, que contienen fósiles heterócronos. Las asociaciones mezcladas son relativamente frecuentes en niveles sin condensación estratigráfica. Los niveles que cubren las superficies de disconformidades, por ejemplo, suelen contener asociaciones cuyos fósiles son heterócronos y fueron enterrados simultáneamente. Incluso en sucesiones estratigráficas dilatadas, con máximos valores de velocidad y tasa de sedimentación, se encuentran asociaciones de fósiles que fueron desenterrados y desplazados de cuerpos rocosos más antiguos. Por ejemplo, en algunos sedimentos

turbidíticos hay componentes heredados de materiales preexistentes junto a restos esqueléticos penecontemporáneos con la sedimentación. Asociaciones mezcladas análogas a éstas también se encuentran en sedimentos formados en ambientes someros, e intercalados entre materiales depositados en ambientes restringidos de baja energía hidrodinámica, del Jurásico medio de la Cuenca Ibérica (Fernández-López & Gómez, 1990a).

Respecto a la idea de que los depósitos condensados se caracterizan por tener una gran cantidad y/o calidad de fósiles también conviene hacer algunas salvedades. Tradicionalmente se ha considerado que la alta calidad o buen estado de conservación de los fósiles es el resultado del enterramiento rápido. Sin embargo, los restos mejor conservados de una asociación pueden ser fósiles reelaborados y heredados de sedimentos preexistentes (Fernández-López, 1985b; Fernández-López y Gómez, 1990b). Por otra parte, una alta cantidad o concentración de fósiles no es indicativa de una disminución en la tasa o en la velocidad de sedimentación. La alta concentración de fósiles puede ser el resultado de la sedimentación rápida de restos transportados desde otras regiones.

En consecuencia, la alta concentración de material esquelético, la buena conservación y la heterocronía de las asociaciones de fósiles no son criterios diagnósticos de los sedimentos condensados o de condensación estratigráfica.

Condensación tafonómica

Para interpretar la edad de los sedimentos es necesario tener en cuenta que algunas asociaciones contienen fósiles reelaborados, heredados de materiales preexistentes. Cuando las lagunas estratigráficas son amplias, como ocurre por ejemplo en las discordancias, la mezcla de fósiles heterócronos y la incorporación de componentes residuales a materiales más recientes suele ser reconocida por la mayoría de los autores. Por ejemplo, la presencia de restos de organismos marinos incorporados en materiales continentales discordantes es fácil de reconocer teniendo en cuenta criterios paleoecológicos, entre otros. Sin embargo, los resultados de la reelaboración tafonómica suelen pasar desapercibidos cuando la heterocronía de los fósiles ocurre a escala zonal o subzonal, o entre facies isópicas. Por ignorar dichos resultados, se han llegado a establecer falsas hipótesis de coexistencia y sucesión entre especies (cf. Eaton *et al.*, 1989), así como falsas interpretaciones estratigráficas y sedimentológicas.

Los efectos de la reelaboración tafonómica son más frecuentes de lo que se podría pensar a la vista de los datos bibliográficos. En materiales fanerozo-

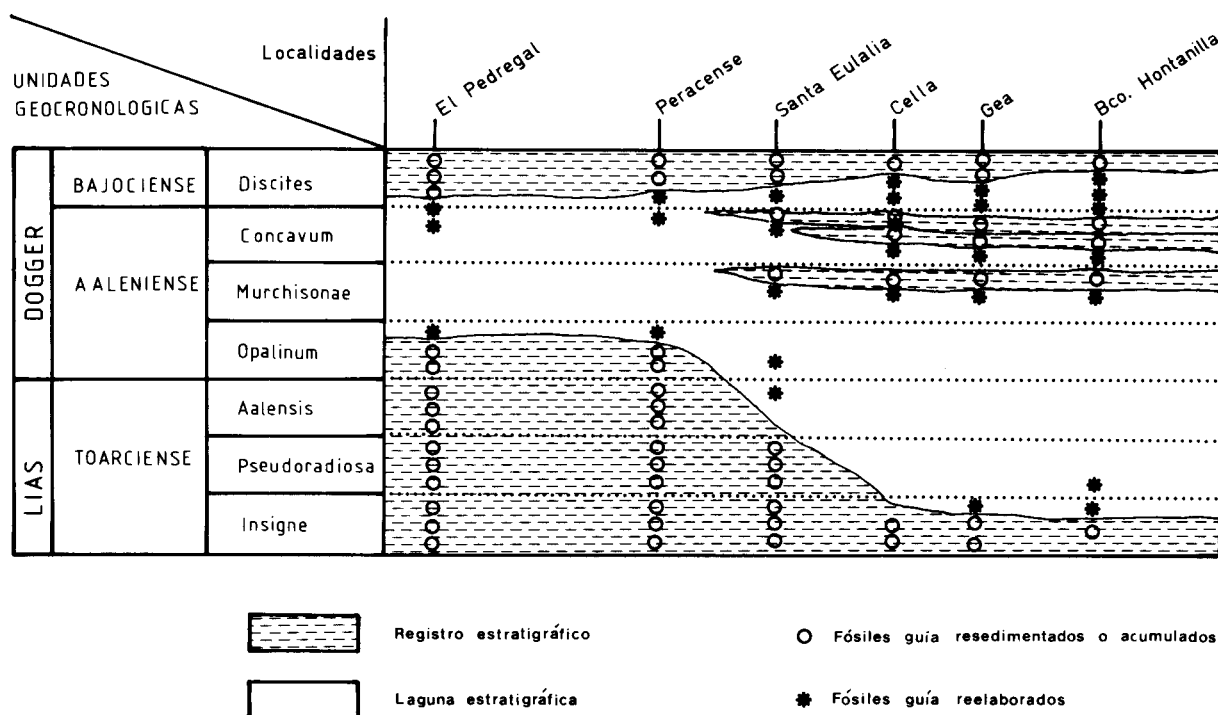


Fig. 4.—Distribución cronológica del registro estratigráfico y sus lagunas para el tránsito Lías-Dogger en varias localidades del sector central de la Cuenca Ibérica a lo largo de unos 60 kilómetros. Entre los fósiles guía utilizados para datar los cuerpos rocosos se han distinguido dos grupos que están indicados respectivamente con círculos (cuando se trata de elementos resedimentados o acumulados) y con asteriscos (si son elementos reelaborados). Las biozonas y cronozonas han podido ser identificadas teniendo en cuenta fósiles resedimentados. No obstante, los niveles de removilización son frecuentes y contienen fósiles heredados, a escala de zona o de piso. Debido a la reelaboración de moldes internos a partir de materiales preexistentes, los ammonites de algunos niveles son más antiguos que los materiales del nivel inmediatamente inferior. En algunas localidades hay fósiles guía reelaborados característicos de biozonas de las que no hay registro estratigráfico. En cualquier localidad donde hay fósiles reelaborados, las asociaciones de fósiles y los cuerpos rocosos que las contienen no representan el mismo intervalo temporal.

cos se conocen numerosos casos de fósiles reelaborados que proceden de materiales más antiguos de los cuales no ha quedado registro estratigráfico. Estos resultados fueron frecuentes, por ejemplo, en los ambientes de plataforma externa somera de la Cuenca Ibérica durante el Jurásico medio (fig. 4), y ya han sido reconocidos hasta en materiales paleozoicos que se formaron en condiciones anaerobias (cf. Baird & Brett, 1986).

Los análisis tafonómicos permiten averiguar si un fósil es más antiguo, penecontemporáneo o más reciente que el cuerpo rocoso en que se encuentra. Para averiguar tanto el intervalo temporal de formación de un cuerpo rocoso como el correspondiente intervalo de sedimentación es útil discernir si los fósiles están reelaborados, resedimentados o acumulados (Fernández-López, 1984, 1985a). Los fósiles reelaborados e incorporados a materiales más recientes se comportaron como partículas sedimentarias, y son más antiguos que el cuerpo rocoso donde se encuen-

tran; en tanto que los fósiles resedimentados o acumulados pueden ser contemporáneos respecto a, o más recientes que, el intervalo temporal de sedimentación. La bioturbación también puede contribuir al reagrupamiento y a la mezcla de elementos heterocronos en el interior del sedimento; no obstante, basta un análisis tafonómico para discernir entre los efectos de este reagrupamiento («*tiering*» sensu Bottjer & Ausich, 1982) y los causados por reelaboración tafonómica. Los únicos fósiles que sirven para determinar el intervalo temporal de sedimentación de los cuerpos rocosos son aquellos producidos penecontemporáneamente con la sedimentación. Por otra parte, después de la reelaboración y sedimentación de los restos, puede haber colonización del sustrato e incorporación de nuevos restos esqueléticos. De esta manera, el intervalo temporal representado por la asociación mezclada será diferente al intervalo temporal de sedimentación de los materiales en que se encuentra (fig. 5). En consecuencia, los fósiles ree-

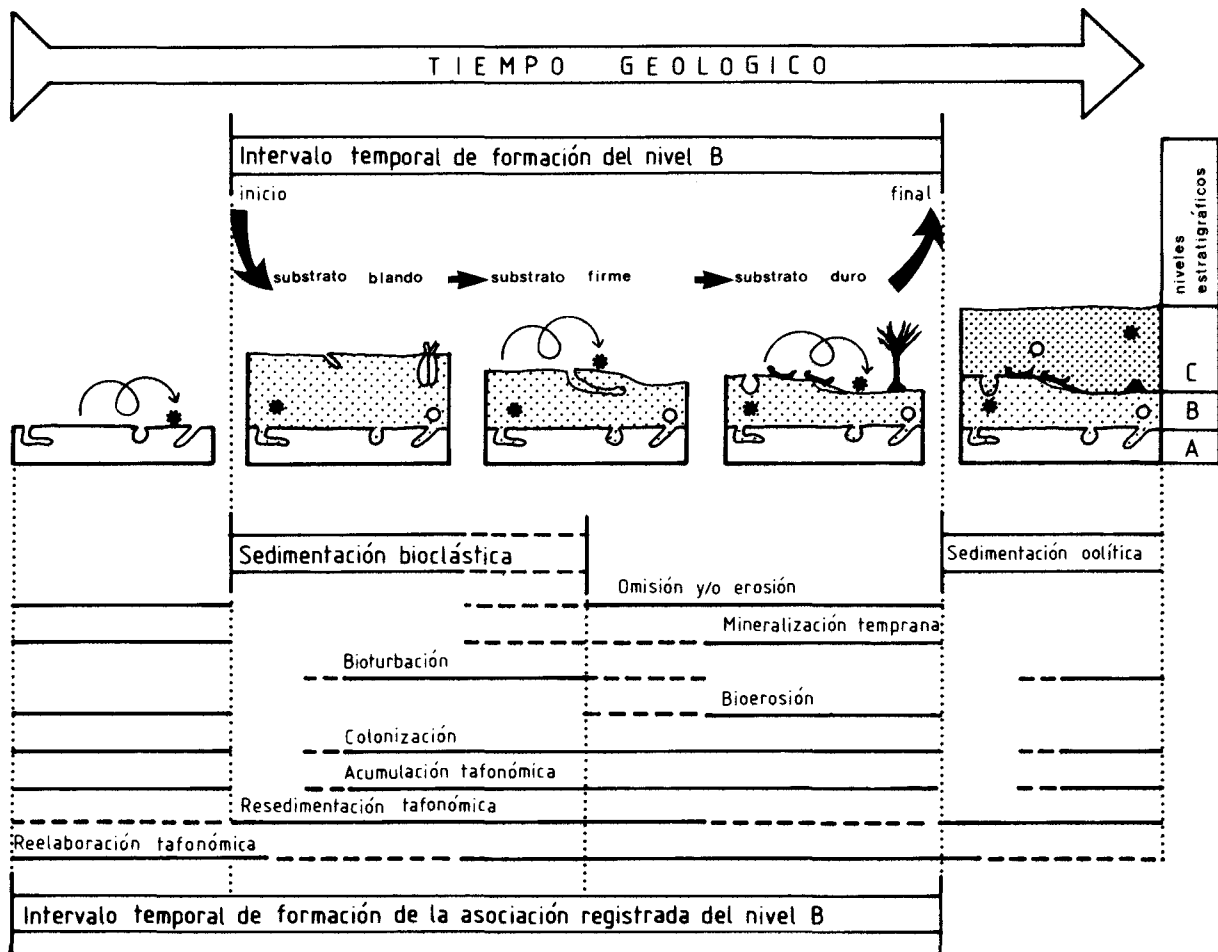


Fig. 5.—Diferentes estadios de formación de los materiales aalenenses (nivel B) en Moscardón (provincia de Teruel), con indicación de las relaciones entre algunos procesos sedimentológicos y tafonómicos. Los niveles A, B y C corresponden al Toarciense superior, Aalenense superior y Bajociense inferior respectivamente. Estos tres niveles están separados por discontinuidades estratigráficas. Los fósiles guía están representados por círculos si se encuentran en estado resedimentado o acumulado, y por un asterisco si se encuentran reelaborados. Después de un amplio episodio de omisión y/o erosión, y las consiguientes modificaciones diagenéticas que afectaron a los materiales del Toarciense superior (nivel A), tuvo lugar un breve episodio de sedimentación bioclástica durante el Aalenense superior. Antes de la reanudación de la sedimentación bajociense, en facies de oolitos ferruginosos, tuvieron lugar procesos de bioturbación, mineralización temprana y colonización, que transformaron el sustrato blando inicial en un sustrato duro. Durante el Aalenense (nivel B), el intervalo temporal de sedimentación sólo fue una pequeña parte del intervalo de formación. En el nivel B hay fósiles reelaborados (moldes internos de ammonites, gasterópodos y corales ahermatípicos toarcienses), y fósiles resedimentados (conchas de ammonites lamelibranquios y braquiópodos aalenenses, así como algunos fragmentos de espongiarios, belemnites y crustáceos) y fósiles acumulados (lamelibranquios endobentónicos, crinoideos enraizados, briozoarios, foraminíferos y ostreoides incrustantes, así como estructuras de bioturbación de tipo *Chondrites* y perforaciones biogénicas debidas a litófagos). El intervalo temporal que representa esta asociación es mayor que el intervalo de sedimentación bioclástica e incluso mayor que el intervalo total de formación del nivel B. La mezcla de fósiles de diferente edad en los niveles B y C indica condensación tafonómica, y el reducido espesor del nivel B indica condensación estratigráfica durante el Aalenense.

Estas evidencias no implican una baja velocidad de sedimentación, que en este caso fue rápida y efímera.

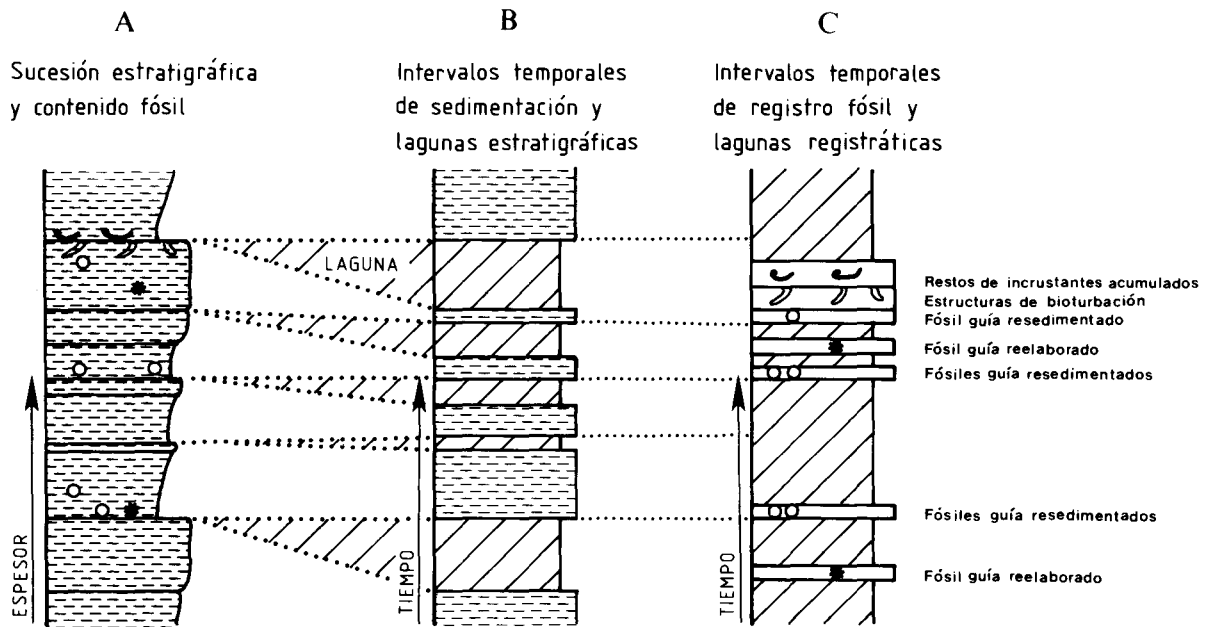
laborados no pueden ser utilizados para identificar la condensación estratigráfica.

Tanto en Paleobiología y Bioestratigrafía como para resolver los problemas relacionados con la condensación estratigráfica o con la génesis de depósitos condensados es útil discernir entre condensación estratigráfica y condensación tafonómica. Por **condensación tafonómica** se entiende el proceso de mezcla de restos y/o señales de entidades biológicas del pasado temporalmente sucesivas (Fernández-López, 1984). La condensación tafonómica da lugar a asociaciones condensadas, contituidas por fósiles heterócronos que pudieron ser enterrados sucesiva o simultáneamente.

Las asociaciones condensadas se han podido formar tanto durante los intervalos de registro estratigráfico (por reelaboración y mezcla con otros elementos resedimentados o acumulados) como durante los intervalos de omisión y/o erosión (por colonización de los materiales previamente depositados). Las asociaciones condensadas, por tanto, no están

restringidas a los niveles condensados o a los depósitos condensados. El grado de condensación tafonómica de una asociación, estimado por el grado de diacronismo entre los fósiles que la constituyen, no puede ser utilizado para estimar el grado de condensación estratigráfica del nivel en que se encuentra.

El intervalo temporal de formación de cada nivel estratigráfico, el de su asociación de fósiles, y el del episodio de sedimentación pueden ser distintos entre sí. El intervalo temporal de sedimentación será igual que el intervalo temporal de formación del nivel estratigráfico, o menor si hay intervalos de omisión y/o erosión. Sin embargo, el intervalo temporal representado por la asociación de fósiles puede ser mayor que el intervalo representado por el nivel estratigráfico. Hay incluso fósiles que representan intervalos de tiempo de los que no ha quedado registro estratigráfico a escala de cuenca sedimentaria (fig. 6). La continuidad/discontinuidad del registro fósil no está determinada por la del registro estratigráfico; por ello, los intervalos temporales que representa el re-



REGISTRO GEOLÓGICO = REGISTRO ESTRATIGRÁFICO + REGISTRO FÓSIL

Fig. 6.—Relación entre los intervalos temporales de sedimentación (B) y los intervalos temporales de registro fósil (C) representados por una sucesión estratigráfica local y su contenido fósil (A). Para averiguar los intervalos temporales de registro fósil debe tenerse en cuenta que los fósiles acumulados son contemporáneos con el intervalo temporal de formación del correspondiente nivel estratigráfico, pero más recientes que los fósiles reelaborados y heredados del mismo nivel. La presencia de lagunas estratigráficas no garantiza la ausencia de registro fósil para el mismo intervalo temporal. En cualquier localidad, los intervalos temporales representados por los fósiles pueden corresponder a intervalos temporales sin registro estratigráfico. El registro fósil y el registro estratigráfico son dos componentes disociables del registro geológico, cuya dinámica de formación ha sido distinta, y para interpretarlos se requiere de conceptos estratigráficos, sedimentológicos y tafonómicos.

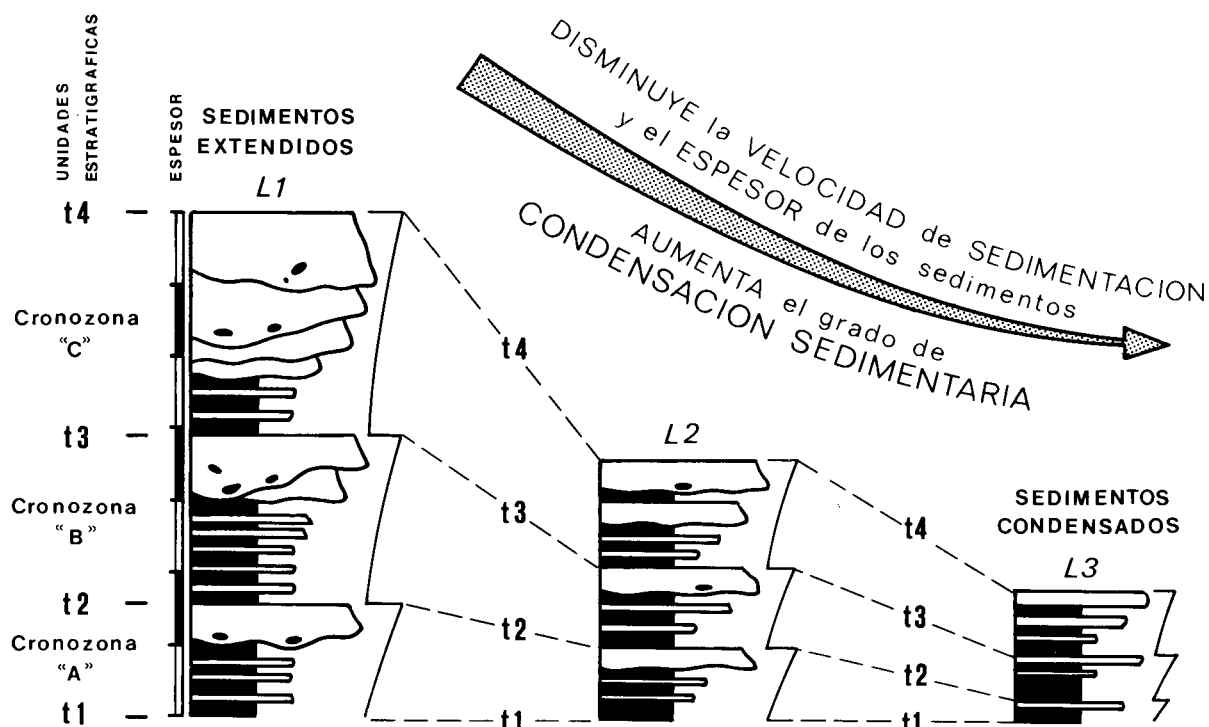


Fig. 7.—Ejemplos de sedimentos condensados (L3) y sedimentos dilatados o extendidos (L1) respecto a otros de referencia (L2). El aumento del grado de condensación sedimentaria desde L1 hasta L3 se debe a la disminución de la velocidad de sedimentación, no a la presencia de lagunas.

gistro fósil pueden ser distintos a los intervalos temporales representados por el registro estratigráfico.

Condensación sedimentaria

De lo tratado en apartados anteriores se sigue que el grado de condensación estratigráfica permite comparar los distintos valores de las tasas de sedimentación para intervalos temporales equivalentes, en tanto que el grado de condensación tafonómica permite relacionar el diacronismo de las asociaciones de fósiles. Sin embargo, estos términos no permiten algo tan necesario en Estratigrafía y Sedimentología como es establecer las relaciones entre las velocidades de sedimentación y los espesores de dos o más cuerpos rocosos. Para esta idea proponemos el concepto de condensación sedimentaria.

La **condensación sedimentaria** es el proceso de formación de cuerpos rocosos de menor espesor que otros contemporáneos o de intervalo temporal equivalente, debido a una menor velocidad de sedimentación. La condensación sedimentaria da lugar a se-

dimientos condensados, fosilíferos o no, mientras que los resultados contrarios pueden ser llamados «sedimentos dilatados» o «sedimentos extendidos», para mantener el paralelismo con la nomenclatura estratigráfica (fig. 7). En el caso extremo, la condensación sedimentaria da lugar a sedimentos condensados formados durante intervalos de sedimentación prácticamente nula, que están constituidos fundamentalmente por minerales autigénicos y restos de organismos colonizadores, como por ejemplo costras ferruginosas fosilíferas (cf. Seyfried, 1981).

La condensación estratigráfica y la condensación sedimentaria dan como resultado cuerpos rocosos de menor espesor que otros de intervalo temporal equivalente. Sin embargo, las sucesiones o niveles estratigráficos condensados no han de estar necesariamente constituidos por sedimentos condensados, aunque estos últimos siempre constituyen niveles condensados. La condensación sedimentaria representa una disminución en la velocidad de sedimentación en tanto que la condensación estratigráfica depende no sólo de la velocidad de sedimentación sino también de los intervalos de omisión y/o erosión.

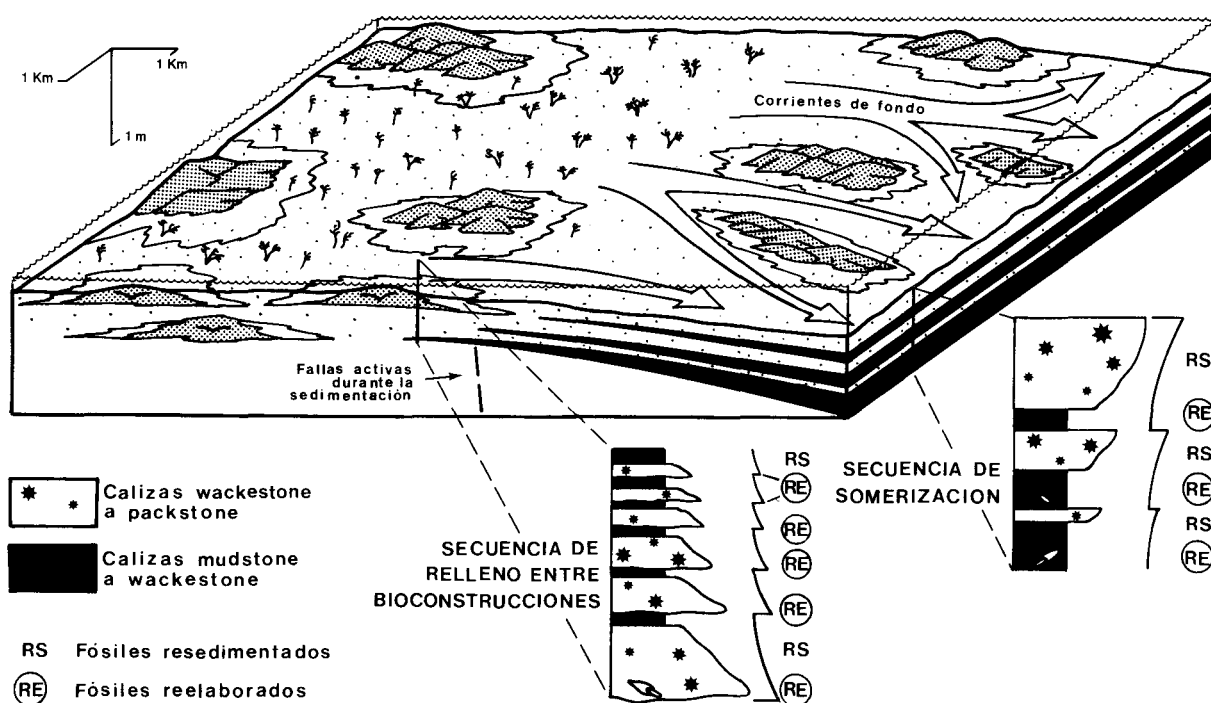


Fig. 8.—Esquema de la plataforma carbonática desarrollada durante el Bajociense superior en el sector de Albarracín (provincia de Teruel). En condiciones someras se desarrollaron bioconstrucciones de espongiarios y algas que dieron lugar a relieves topográficos sobre el fondo marino. En ambientes de baja energía hidrodinámica se formaron materiales margosos y lodos calcáreos con escasos restos esqueléticos (calizas mudstone a wackestone), en tanto que en las áreas de mayor energía hidrodinámica proliferaron los organismos epibentónicos, en particular los crinoideos, y se formaron sedimentos bioclásticos (calizas wackestone a packstone). Por lo general los distintos materiales se organizan en secuencias de somerización grano y estratocrecientes que ocupan amplias extensiones geográficas; sin embargo, por colmatación de las depresiones existentes entre los montículos bioconstruidos, así como por la acción de corrientes de fondo, se generaron localmente secuencias de relleno, granodecipientes. En la base de cualquiera de estas secuencias hay fósiles reelaborados y asociaciones condensadas, pero no son niveles condensados ni sedimentos condensados.

Aplicación al análisis de cuencas

La mayoría de los autores que se han referido a la génesis de niveles y secuencias condensadas las han relacionado con la presencia de ambientes paleogeográficos particulares y con determinados estadios de la evolución biosedimentaria de la cuenca.

Una de las interpretaciones más usuales asocia los niveles y secuencias condensadas, que se encuentran en materiales pelágicos mesozoicos, con la presencia de altos topográficos submarinos o umbrales localizados en ambientes marinos abiertos y oceánicos (Wendt, 1970; Jenkyns, 1971; Vera, 1989). Además, varios autores han insistido en la idea de que en las plataformas epicontinentales afectadas por tempestades, los eventos de condensación y los «horizontes de condensación tempestítica» adquirieron mayor desarrollo durante las fases regresivas (Seilacher, 1982; Hagdorn, 1982; Gebhard, 1982) y en el término su-

perior de las secuencias de somerización (Bayer *et al.*, 1985). Por otra parte, los resultados obtenidos en el campo de la estratigrafía secuencial han llevado a concluir que las secciones condensadas son más extensivas geográficamente durante el tiempo de máxima transgresión regional de la línea de costa, y que la duración relativa de la secciones condensadas aumenta en dirección a la cuenca. Donde las tasas de sedimentación son generalmente bajas, como en los océanos profundos, varias secciones condensadas pueden formar una sección condensada compuesta (Kendall & Schlager, 1981; Vail *et al.*, 1987; Loutit *et al.*, 1988)

El motivo de que se haya llegado a proponer estas interpretaciones contradictorias para la génesis de los niveles y secuencias condensadas no ha sido el descubrimiento de nuevos datos en el registro geológico o en medios actuales, sino el haber atribuido un injustificado valor interpretativo o explicativo al con-

cepto de condensación estratigráfica. De acuerdo con las ideas tratadas en los apartados anteriores, los conceptos de condensación más precisos, como el de grado de condensación estratigráfica, sólo son conceptos relacionales comparativos que sirven para analizar y describir respectivamente diferencias de tasa y velocidad de sedimentación. Por ello, la presencia de secuencias o de sedimentos condensados no indica por sí misma una localización paleogeográfica determinada o un cambio eustático.

Tanto los procesos de condensación estratigráfica como los de condensación sedimentaria pueden ser frecuentes en ambientes oceánicos, en umbrales pelágicos o durante episodios de máxima transgresión regional; pero no son exclusivos de estos ambientes ni sirven para diagnosticar condiciones batimétricas particulares. Los procesos de condensación estratigráfica, sin condensación sedimentaria, también son frecuentes en plataformas epicontinentales someras, e incluso durante episodios de máxima regresión regional, y la duración relativa de los niveles o sucesiones condensadas puede aumentar en dirección a las áreas más someras. En consecuencia, la aparición y mayor frecuencia de niveles, secuencias o asociaciones condensadas no han de estar necesariamente relacionadas con cambios paleogeográficos hacia condiciones más oceánicas o de mayor profundidad.

La falta de distinción entre condensación estratigráfica, tafonómica y sedimentaria también ha llevado a otras interpretaciones erróneas en los análisis de cuencas. Uno de los casos más notorios es el de la interpretación de los niveles basales de las secuencias de somerización desarrolladas en ambientes de plataforma marina externa. Dichos niveles suelen contener altas concentraciones de fósiles heterócronos, a veces característicos de dos o más zonas, por lo que tradicionalmente han sido interpretados como niveles condensados formados durante un amplio intervalo temporal, a los que les corresponden bajas tasas de sedimentación. En realidad se trata de niveles de removilización formados de manera rápida y en continuidad con los sedimentos suprayacentes. Los fósiles heterócronos de estos niveles fueron conjuntamente enterrados e incorporados de manera simultánea al reanudarse la sedimentación. Por tanto, estos niveles de removilización no son niveles condensados, ni sedimentos condensados, aunque contengan asociaciones condensadas.

Las secuencias de somerización suelen ser las más frecuentes en las plataformas marinas carbonáticas. No obstante, también se encuentran secuencias de otros tipos, como por ejemplo las debidas a relleno por corrientes de fondo entre relieves bioconstruidos (fig. 8), las debidas a la acción de corrientes inducidas por tempestades, o las generadas por migración de cuerpos sedimentarios y acreción lateral. En cual-

quiera de estas condiciones se formaron secuencias granodecrecientes, a menudo también estratodecrecientes, en condiciones de alta velocidad y tasa de sedimentación, que contienen en su base asociaciones condensadas. Sin embargo, estos materiales han sido a menudo interpretados erróneamente como niveles o sedimentos condensados, por contener asociaciones mezcladas con fósiles guía «bien conservados» de dos o más zonas.

Conclusiones

Teniendo en cuenta las diferencias de significado entre la «tasa de sedimentación» y la «velocidad de sedimentación», es útil distinguir entre condensación estratigráfica y condensación sedimentaria. La **condensación estratigráfica** es el proceso de formación de cuerpos rocosos de menor espesor que otros de intervalo temporal equivalente, como consecuencia de una tasa de sedimentación más escasa o nula. El término **condensación sedimentaria** es propuesto en el presente trabajo para el proceso de formación de cuerpos rocosos de menor espesor que otros de intervalo temporal equivalente, debido a una menor velocidad de sedimentación. La condensación estratigráfica da como resultado capas, bancos, niveles, secuencias o sucesiones estratigráficas condensadas; y el resultado contrario son secuencias o sucesiones dilatadas o extendidas. La condensación sedimentaria da lugar a sedimentos condensados, y el resultado contrario son sedimentos dilatados o extendidos, sean fosilíferos o no.

Condensación tafonómica significa la mezcla de restos y/o señales de entidades biológicas del pasado temporalmente sucesivas, y da lugar a asociaciones condensadas. Las asociaciones de fósiles contenidas en cualquier nivel estratigráfico se han podido formar durante intervalos de sedimentación, omisión y/o erosión; por ello, la continuidad/discontinuidad del registro fósil no coincide con la del registro estratigráfico.

Los sedimentos condensados, de baja velocidad de sedimentación, constituyen niveles condensados. Sin embargo, las sucesiones o niveles estratigráficos condensados, de baja tasa de sedimentación, no han de estar constituidas por sedimentos condensados.

Los procesos de condensación estratigráfica y sedimentaria pueden ser frecuentes en ambientes oceánicos profundos y en umbrales pelágicos. No obstante, los procesos de condensación estratigráfica sin condensación sedimentaria también son frecuentes en plataformas epicontinentales someras. Algunos materiales tradicionalmente interpretados como condensados durante episodios de máxima transgresión son en realidad el resultado de una sedimentación rá-

pida en ambientes de profundidad mínima. En consecuencia, la condensación estratigráfica y las asociaciones condensadas no pueden seguir siendo utilizadas como criterios suficientes para: 1) diagnosticar cambios paleogeográficos hacia condiciones más oceánicas o de mayor profundidad, en relación con etapas de máxima transgresión regional, o 2) establecer correlaciones temporales entre cuencas sedimentarias.

Los conceptos de condensación estratigráfica, tafonómica y sedimentaria, son útiles para analizar y comparar diferencias de tasa y velocidad de sedimentación, así como sus variaciones. La identificación de cada uno de estos tres procesos, y la distinción entre ellos, contribuye a precisar la dinámica biosedimentaria de la cuencas. En particular, estos tres conceptos han permitido resolver algunas interpretaciones contradictorias referentes a la evolución de la Cuenca Ibérica durante el Jurásico medio.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los doctores Joan Rosell Sanuy (Universitat Autònoma de Barcelona), Lorenzo Vilas Minondo y Cristino Dabrio González (Universidad Complutense de Madrid) la lectura y crítica del manuscrito del presente trabajo.

Referencias

- Baird, G.C. & Brett, C. E. (1986). Erosion on an anaerobic seafloor: significance of reworked pyrite deposits from the Devonian of New York State. *Paleogeograf., Paleoclimat., Paleoecol.*, 57: 157-193.
- Bayer, H.; Althimer, E y Deuschle, W. (1985). Environmental evolution in shallow epicontinental seas: sedimentary cycles and bed formation. In: *Sedimentary and Evolutionary Cycles* (H. Bayer y A. Seilacher, edit.). Springer-Verlag. Berlín, Heidelberg, New York. 347-381.
- Bottjer, D.J. y Ausich, W.I. (1982). Tiering and sampling requirements in paleocommunity reconstruction. In «*Third North American Paleontological Convention Proceedings*, 1: 57-59.
- Brett, C.E. (1990). Oubruption Deposits. In: *Palaeobiology. A synthesis* (D.E.G. Briggs y P.R. Crowter, edit.). Blackwell Scientific Publications. Oxford. 239-343.
- Brett, C.E. y Baird, G.C. (1986). Comparative Taphonomy: A Key to Paleoenvironmental Interpretation Based on Fossil Preservation. *Palaios*, 1: 207-227.
- Eaton, J.G.; Kirkland, J.I. y Doi, K. (1989). Evidence of Reworked Cretaceous Fossils and their Bearing on the Existence of Tertiary dinosaurs. *Palaios*. 4: 281-286.
- Elmi, S. (1981). Sedimentation rythmique et organisation sequentielle dans les Ammonitico Rosso et les facies associées du Jurásique de la Méditerranée occidentales; Interprétation des grummeaus et des nodules. In: «*Rosso Ammonitico Symposium*» Proc. (A. Farinacci y S. Elmi, edit.), Edizioni Tecnoscienza, Roma, 229-251.
- Fernández-López, s. (1984). Nuevas perspectivas de la Tafonomía evolutiva: tafosistemas y asociaciones conservadas. *Estudios geol.*, 40: 215-224.
- (1985a). Séquences sédimentaires et séquences taphonomiques. *Strata*. 2: 116-122.
- (1985b). Criterios elementales de reelaboración tafonómica en ammonites de la Cordillera Iberia. *Acta Geológica Hispánica.*, 2: 105-116.
- Fernández-López, S. y Gómez, J.J. (1990a). Evolution tectonosédimentaire et genèse des associations d'Ammonites dans le secteur central du Bassin Ibérique (Espagne) pendant l'Aalenien. *Cahiers Univ. Catho. Lyon*. 4: 39-52.
- (1990b). Utilidad sedimentológica y estratigráfica de los fósiles reelaborados. *Com. Reunión Tafonomía y Fosilización*: 125-144.
- (1990c). Facies aalenienenses y bajocienses, con evidencias de emersión y carstificación, en el sector central de la Cuenca ibérica. Implicaciones paleogeográficas. *Cuad. Geol. Ibér.* 14: 67-111.
- Fürsich, F. T. (1971). Hartgründe und Kondensation im Dogger von Calvados. *N. Jb. Paläont. Abh.*, 138: 313-342.
- Fürsich, F.T. (1978). The influence of faunal condensation and mixing on the preservation of fossil benthic communities. *Lethaia*, 11: 243-250.
- (1979). Genesis, environments and ecology of Jurassic hardgrounds. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 158: 1-63.
- Gebhard, G. (1982). Glauconitic Condensation Through High-Energy Events in the Albian Near Clars (Escagnolles, Var, SE-France). En: *Cyclic and Event Stratification* (G. Einsele y A. Seilacher, edit.). Springer-Verlag. Berlín, Heidelberg, New York. 286-298.
- Geyer, O.F. y Hinkelbein, K. (1974). Die Grenzoolithe im Jura von Ostspanien. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* 145: 17-57.
- Hagdorn, H. (1982). The «Bank der Kleinen Terbrateln» (Upper Muschelkalk, Triassic) Near Schwäbisch Hall (SW-Germany) - a Tempestite Condensation Horizon. In: *Cyclic and Event Stratification* (G. Einsele y A. Seilacher, edit.). Springer-Verlag. Berlín, Heidelberg, New York. 263-285.
- Heim, A. (1934). Stratigraphische Kondensation. *Eclog. Geol. Helv.*, 27: 372-383.
- (1946). Problemas de erosión submarina y resedimentación pelágica del presente y del pasado. *Rev. Museo La Plata, N.S., sec. Geol.*, 4: 125-178.
- (1958). Oceanic sedimentation and submarine discontinuities. *Eclog. Geol. Helv.*, 51: 642-649.
- Jenkyns, H.G. (1971). The genesis of condensed sequences in the Tethyan Jurassic. *Lethaia*, 4: 327-352.
- Kendall, G. St. C. y Schalager, W. (1981). Carbonates and relativa changes in sea level. En: *Carbonate Platforms of the Passive-Type Continental Margins, Present and Past*. (M.B. Cita y F.B. Ryan, edit.). *Mar. Geol.*, 44: 181-212.
- Kidwell, S.H. (1989). Stratigraphic condensation of marine transgressive records: origin of major shell deposits in the Miocene of Maryland. *Journal of Geology*, 97: 1-27.
- Kidwell, S.H. y Aigner, Th. (1985). Sedimentary dynamics of complex shell beds: Implications for ecologic and evolutionary patterns. En: *Sedimentary and Evolutionary Cycles* (H. Bayer y A. Seilacher, edit.). Springer-Verlag. Berlín, Heidelberg, New York. 382-395.
- Krajewski, K.P. (1984). Early diagenetic phosphate ce-

- ments in the Albian condensed glauconitic limestones of the Tatra Mountains, Western Carpathians. *Sedimentology*, 31: 443-470.
- Loutit, T.S.; Hardenbol, J.; Vail, P.R. y Baun, G.R. (1988). Condensed sections: the key to age determination and correlation of continental margin sequences. *Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Publ.* 42: 183-213.
- Reineck, H.E. y Sing, I.B. (1973). *Depositional sedimentary environments*, with Reference to Terrigenous Clastics. Springer-Verlag. Berlín. 439 p.
- Seilacher, A. (1970). Begriff und Bedeutung der Fossil-Lagerstätten. *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, 1: 34-39.
- Seilacher, A. (1982). General Remarks About Event Deposits. En: *Cyclic and Event Stratification* (G. Einsele y A. Seilacher, edit.). Springer-Verlag. Berlín, Heidelberg, New York. 161-174.
- Seilacher, A. (1990). Taphonomy of Fossil-Lagerstätten. En: *Palaebiology. A synthesis* (D.E.G. Briggs y P.R. Crowter, edit.). Blackwell Scientific Publications. Oxford. 266-270.
- Seilacher, A.; Reif, W.E. y Westphal, F. (1985). Sedimentological, ecological and temporal patterns of fossil Lagerstätten. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B 311: 5-24.
- Seyfried, H. (1981). Genesis of «regressive» and «transgressive» pelagic sequences in the Tethyan Jurassic. En: *Rosso Ammonitico Symposium» Proc.* (A. Farinacci y S. Elmi, edit.), Edizioni Tecnoscienza, Roma, 547-579.
- Vail, P.R.; Colin, J.P.; Chene, R.J. du; Kuchly, J.; Mediavilla, F. y Trifilieff, V. (1987). La stratigraphie sequentielle et son application aux corrélations chronostratigraphiques dans le Jurassique du bassin de Paris. *Bull. Soc. Géol. France*, 3: 1301-1321.
- Vera, A. (1989). Sedimentación pelágica. En *Sedimentología*, vol. II. (A. Arche, coord.). Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 179-257.
- Wendt, J. (1970). Stratigraphische Kondensation in triadischen und jurassischen Cephalopodenkalken der Tethys. *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, 7: 433-448.
- Wendt, J. (1973). Cephalopoden accumulations in the Middle Triassic Hallstatt-Limestone of Jugoslavian and Greece. *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, 10: 624-640.
- West, R.R. y Rollins, H.B. (1989). The «Anatomy» of a Condensed Sequence: An Example from Coastal Georgia. *28th. Int. Geol. Congr.*, Abstracts. 3.350.

Recibido el 15 de octubre 1990
Aceptado el 19 de febrero de 1991