APLICACIÓN DE LOS ANÁLISIS MICROPALEONTOLÓGICOS CUANTITATIVOS EN ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL: EL CRETÁCICO INFERIOR DE LA CUENCA DE ORGANYÀ (PIRINEOS, ESPAÑA)

J. M. Bernaus[1], E. Caus[1] y A. Arnaud-Vanneau[2]

[1] *Unitat de Paleontologia, Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra (Barcelona)*
[2] *Institut Dolomieu, rue Maurice Gignoux, 38031 Grenoble Cedex (Francia)*

Resumen: El análisis cuantitativo de los componentes fosilíferos de las microfacies en rocas carbonatadas se manifiesta como una herramienta útil para reconocer ciclos sedimentarios de diferente orden que pasarían desapercibidos en análisis únicamente cualitativos. El método cuantitativo utilizado se basa en el recuento de todos los organismos fósiles presentes en la misma superficie de cada lámina delgada o equivalente, los cuales son clasificados según su biotopo particular en función de su situación en la plataforma. Ello permite cuantificar las variaciones del medio por pequeñas que éstas sean e interpretar el aumento o disminución de la lámina de agua en una plataforma, así como otras características del medio, como el tipo de substrato. El método se ha aplicado al estudio de los sedimentos urgonianos de la Cuenca de Organyà (Barremiense-Aptiense inferior), tanto de secuencias deposicionales mayores como de secuencias elementales.

Palabras clave: Micropaleontología, análisis cuantitativo, estratigrafía secuencial, Cretácico inferior, Pirineos

Abstract: The quantitative analysis of the fossiliferous components of the microfacies in carbonate rocks is regarded as a useful tool to recognize different sedimentary cycles in those cases where they cannot be identified by qualitative methods. The quantitative method used in this study involves counting of all fossil organisms present in a standard surface of each thin section. These organisms are ordered from the greatest to the least depth. This study permitted to quantify the environmental variations, and to interpret the increase or decrease of the water column in a platform. The method has been applied to the Urgonian sediments of the Organyà Basin (Barremian-Lower Aptian) to identify the main order cycles as well as the elementary sequences.

Key words: Micropaleontology, quantitative analysis, sequence stratigraphy, Lower Cretaceous, Pyrenees

Bernaus, J.M., Caus, E. y Arnaud-Vanneau, A. (2000): Aplicación de análisis micropaleontológicos cuantitativos en estratigrafía secuencial: el Cretácico inferior de la Cuenca de Organyà (Pirineos, España). *Rev. Soc. Geol. España*, 13 (1): 55-63

En las últimas décadas, la aplicación de la estratigrafía secuencial para conocer la historia deposicional de una determinada cuenca, así como para interpretar los factores que han controlado la sedimentación a escala global, se ha manifestado como una herramienta esencial. En consecuencia, la búsqueda de los mecanismos adecuados que permitan establecer las variaciones paleoambientales de los sedimentos, tanto a escala de secuencias deposicionales como de parasecuencias, se ha convertido para paleontólogos y sedimentólogos en un reto fundamental.

La utilización de los restos fósiles como herramienta para las reconstrucciones paleoambientales se ha basado, desde antiguo, en la identificación de ciertos grupos de organismos cuya morfología, suficientemente característica, indica el tipo y/o lugar de vida de los mismos y, por consiguiente, permite, de una manera rápida, la atribución de los sedimentos que los contienen a un determinado medio de sedimentación. Los problemas surgen, no obstante, cuando las variaciones paleoambientales registradas en las rocas son tan escasas que escapan a las observaciones de campo e, incluso, a los métodos micropaleontológicos basados en la identificación de los principales elementos (estudio cualitativo de las microfacies). En estos casos, la aplicación de los métodos micropaleontológicos cuantitativos pueden convertirse en indispensables.

Análisis cuantitativos tales como la relación foraminíferos planctónicos/ foraminíferos bentónicos o foraminíferos de aguas profundas/foraminíferos de aguas superficiales se han venido utilizando con éxito en numerosos estudios para determinar la profundidad a la cual tuvo lugar la formación de determinados sedimentos. Sin embargo, en facies de plataforma poco profunda y/o restringida, donde los foraminíferos planctónicos son muy escasos o inexistentes y, por el contrario, hay gran diversidad de organismos bentónicos que caracterizan facies particulares, los estudios deben basar-

se en grupos que permitan conocer, además de la profundidad, otros parámetros tales como la energía del agua, la penetración de la luz en la columna de agua, la cantidad de nutrientes disuelta, etc., los cuales fueron determinantes en la formación de los estratos que contienen dichos grupos de organismos. Además, si se tiene en cuenta que un 80% de los sedimentos depositados en plataformas poco profundas afloran actualmente en forma de rocas compactas, difícilmente disgregables por métodos simples, los análisis a partir de las secciones de organismos observadas en lámina delgada pueden ser de gran utilidad para precisar el medio de formación de un determinado estrato.

El objetivo del presente trabajo es mostrar la aplicabilidad del método de análisis micropaleontológicos cuantitativos a dos escalas diferentes: a) nivel de secuencia de depósito (*sensu* Mitchum *et al.*, 1977; Vera, 1994) y b) nivel de secuencia elemental o parasecuencia (*sensu* Van Wagoner *et al.*, 1988). El estudio se ha realizado en las calizas de la Formación Prada (Mey *et al.*, 1968 sensu Rosell y Llompart, 1982) del Cretácico inferior (Barremiense-Aptiense inferior, Bernaus 1998) de la Cuenca de Organyà.

Marco geológico y estratigráfico

La Cuenca de Organyà es una cuenca extensional, de reducidas dimensiones, que tiene su origen en el *rifting* (ligado a la apertura del Golfo de Vizcaya), que afectó a la plataforma jurásica. Permaneció individualizada durante casi 38 Ma, del Berriasiense al Albiense (Beràstegui *et al.*, 1990) y la subsidencia fue el factor dominante (Bernaus, 1998). Los materiales depositados en esta cuenca afloran actualmente en el manto de Bòixols, del conjunto de las Unidades Estructurales Superiores (Muñoz *et al.*, 1984) o Unidad Surpirenaica Central (Seguret, 1972) (Fig. 1).

En la Cuenca de Organyà, los depósitos correspondientes al intervalo de tiempo Barremiense-Aptiense inferior están constituidos por más de 1000 m de sedimentos de plataforma (facies urgoniana), en los que se han individualizado 4 secuencias deposicionales (Figs. 2 y 3). Para una descripción detallada de las mismas véase Bernaus (1998). De base a techo son:

OR-1. El límite inferior de la secuencia corresponde a una discordancia regional, en la que los datos paleontológicos (Caus *et al.*, 1990) señalan una laguna estratigráfica (o hiato) que comprende el Valanginiense superior *pro parte*, el Hauteriviense y la parte inferior del Barremiense. Los primeros depósitos del cortejo transgresivo (TST) están constituidos básicamente por *grainstones* oolíticos blancos en ciclos estratodecrecientes, mientras que el tramo superior, o cortejo de nivel alto (HST), está formado por *packstones-grainstones* organizados en ciclos estratodecrecientes donde hacen su aparición los primeros rudistas y foraminíferos aglutinados cónicos ("Orbitolínidos" *s. l.*). El límite superior de la secuencia se interpreta como una superficie de emersión, ligado a un período durante el cual se desarrolló una importante paleokarstificación que puede observarse en el campo por la presencia de paleofracturas rellenas con materiales finos de color rojizo.

La parte superior de la secuencia OR-1 puede atribuirse al Barremiense superior por la presencia de *Cribellopsis neoelongata* asociado a *Paracoskinolina maynci, P. sunnilandensis, Eclusia decastroi, Praereticulinella cuvillieri y Pfenderina globosa*, mientras que la parte inferior no posee fósiles característicos por lo que podría corresponder aún a la parte alta del Barremiense inferior o ya al Barremiense superior.

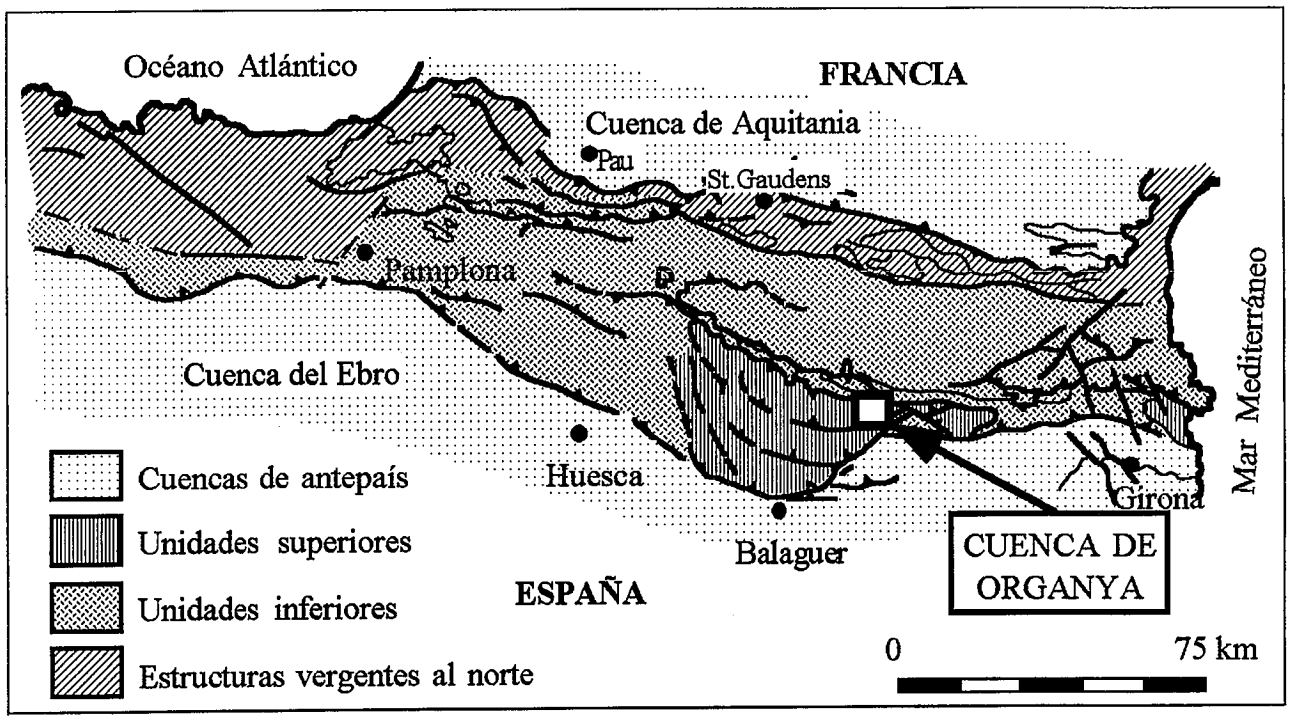

Figura 1.- Situación de la cuenca de Organyà en un esquema geológico de los Pirineos (modificado de Muñoz *et al.*, 1984).

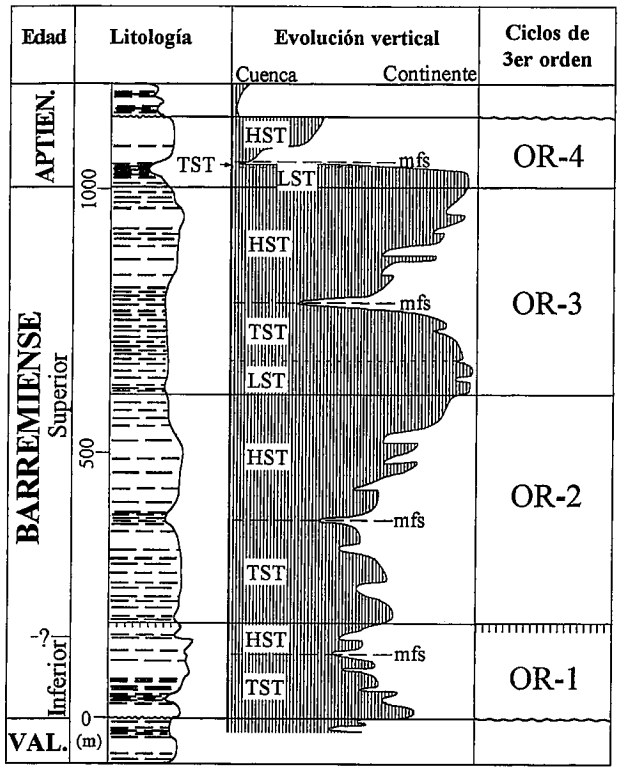

Figura 2.- Evolución secuencial de facies del intervalo Barremiense-Aptiense inferior de la zona estudiada. Abreviaciones utilizadas: HST, cortejo de nivel alto; TST, intervalo transgresivo; LST, cortejo de nivel bajo; mfs, superficie de máxima inundación.

OR-2. Es la secuencia de mayor espesor de la serie estudiada (420 m) y está constituida por facies muy homogéneas, lo que dificultó la interpretación de las variaciones relativas del nivel del mar mediante métodos cualitativos, utilizándose para paliar esta dificultad el método cuantitativo. El cortejo transgresivo (TST) está formado por grainstones oolíticos y packstones -wackestones grises con abundantes rudistas y orbitolínidos, mientras que el cortejo de nivel alto (HST) está constituido en su parte inferior por packstones-wackestones, raramente grainstones, cuyo contenido faunísitico es similar al del intervalo transgresivo, aunque los rudistas son mucho menos abundantes. La parte superior del cortejo está formada por wackestones y mudstones cuya única fauna la constituyen pequeños miliólidos y textuláridos. El límite superior de la secuencia, a diferencia del límite superior de la secuencia anterior, no presenta rasgos que puedan ser interpretados como signos de emersión, sino que se ha establecido en la base de importantes depósitos de calizas con carofíceas, atribuidos al cortejo de nivel bajo (LST) de la secuencia siguiente.

La secuencia OR-2 contiene gran diversidad de orbitolínidos, entre los cuales podemos destacar *Cribellopsis neoelongata, Paracoskinolina hispanica, P. sunnilandensis, P. maynci, Paleodictyoconus cuvillieri, P. actinosoma* y la asociación *Valserina broennimanni, Eopalorbitolina charollaisi* y *Palorbitolina lenticularis*, la cual es característica del Barremiense superior en las Cadenas Subalpinas francesas (Arnaud-Vanneau, 1980; Arnaud y Arnaud-Vanneau, 1992; Arnaud et al., 1998).

OR-3. Los 50 m de sedimentos basales, constituidos por mudstones-wackestones con carofíceas, ostrácodos, pequeños miliólidos de pared fina y algunos textuláridos que conforman esta secuencia, han sido interpretados como el cortejo de nivel bajo (LST). El cortejo transgresivo (TST) está caracterizado por *wackestones-packstones* con rudistas y orbitolínidos, mientras que el cortejo de nivel alto (HST) está representado por *packstones y wackestones*, igualmente ricos en foraminíferos aglutinados pero donde los rudistas son escasos, y poseen, además, miliólidos y algas dasicladáceas. El límite superior de la secuencia presenta las mismas características que el límite de la secuencia anterior.

La secuencia OR-3 contiene una asociación de orbitolínidos similar a la de la asociación OR-2 pero *Valserina broennimanni, Eopalorbitolina charollaisi y Paracoskinolina hispanica* no están presentes, lo que sugiere una edad Barremiense superior, aunque el Aptiense inferior no puede ser excluido.

OR-4. Esta secuencia presenta a lo largo de sus casi 200 m importantes cambios de facies por lo que ha sido escogida, juntamente con la secuencia OR-2, para presentar el estudio cuantitativo. La base de la secuencia o cortejo de nivel bajo (LST) se inicia con un tramo de *wackestones* caracterizados por la abundancia de algas carofíceas que, hacia la parte superior, intercalan *wackestones* conteniendo ostrácodos y pequeños miliólidos y textuláridos. Sobre los sedimentos anteriores, se observa una brecha de unos 20 cm de espesor que marca el inicio del cortejo transgresivo (TST), a la que siguen *wackestones* en los que destaca la presencia de anélidos y *mudstones* laminados negros ricos en materia orgánica y foraminíferos planctónicos, lo que indica que la lámina de agua aumentó rápidamente, pasando de un medio lagunar a una plataforma abierta (facies hemipelágicas). El inicio del cortejo de nivel alto (HST) está caracterizado por una disminución progresiva de la fauna pelágica, la cual es reemplazada por fauna de plataforma. La parte superior del cortejo está constituido por *grainstones* oolitícos y *packstones* con rudistas y orbitolínidos dispuestos en secuencias grano y estratocrecientes, parcialmente dolomitizadas. Estos sedimentos carbonatados están truncados por una superficie erosiva que marca el límite superior de esta secuencia. Este límite representa, además, la desaparición de la plataforma urgoniana bajo los sedimentos de talud y cuenca (Margas de Cabó; Mey *et al.*, 1968).

La existencia de foraminíferos planctónicos de la zona de *Globigerinoides blowi* en los niveles ricos en materia orgánica y los rudistas *Pachytraga paradoxa* y *Praecaprina sp.*, conjuntamente con los orbitolínidos *Paracoskinolina maynci* y *Palorbitolina lenticularis* en la parte superior de la secuencia, permiten atribuirle una edad Aptiense inferior. La base de la secuencia suprayacente contiene ammonítidos de la zona de *Deshayesites deshayesi* (Martinez, 1982; Bernaus, 1995), la cual es característica del Aptiense inferior, aunque no basal.

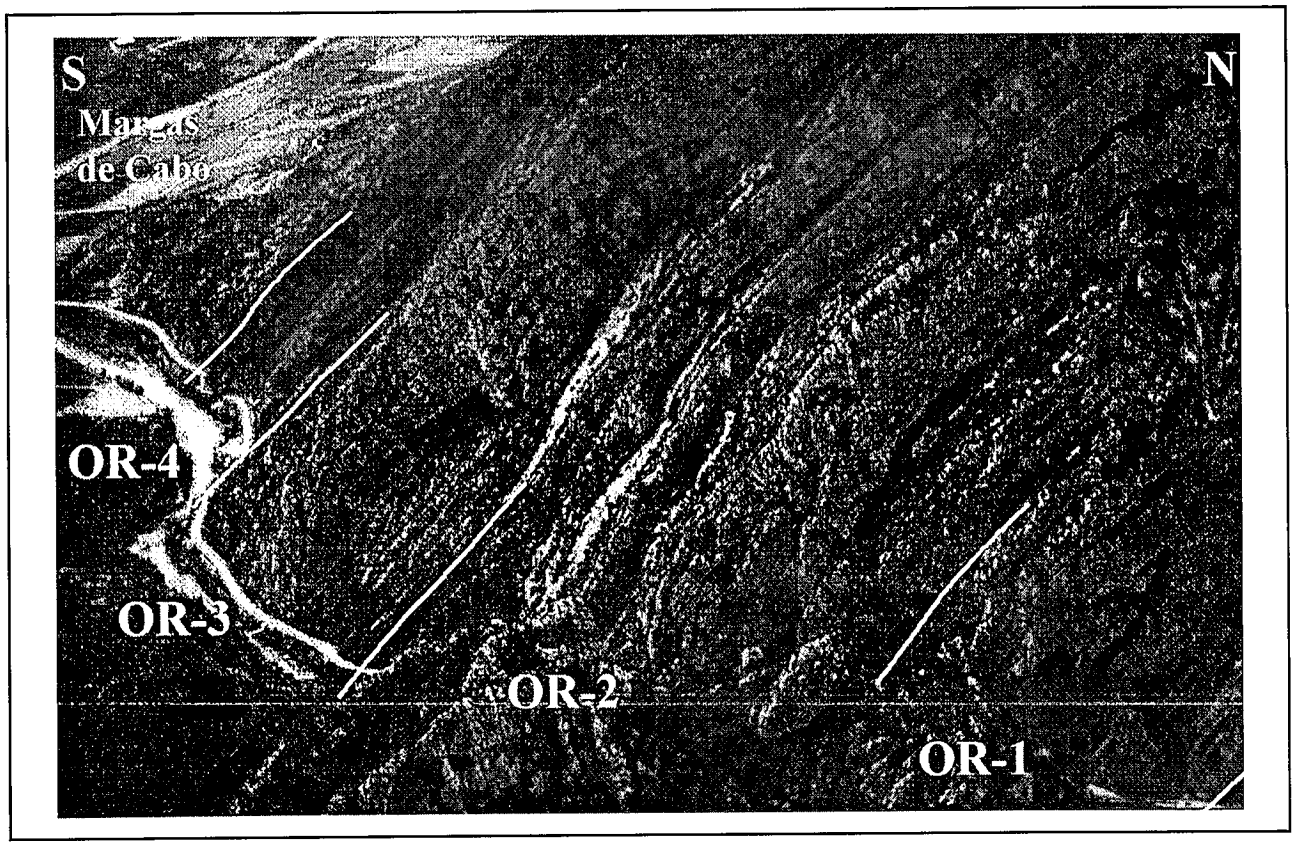

Figura 3.- Situación de las diferentes secuencias de depósito identificadas en una fotografía aérea, tomada por uno de los autores, de la zona estudiada. Obsérvese en la parte superior izquierda el río Segre y la carretera que une Lleida y Andorra.

Metodología del análisis cuantitativo

En lo que concierne a las muestras de campo, éstas fueron recogidas a intervalos fijos (aproximadamente 1 m) cuando no se observaron cambios de facies relevantes, pero en el caso de la existencia de cambios visibles en el campo se recogieron muestras suplementarias. En el estudio cuantitativo de las parasecuencias escogidas se hizo un muestreo decimétrico. De cada una de las muestras recogidas, se realizó una o varias láminas delgadas sin ningún tipo de orientación, ya que el método se basa en secciones totalmente aleatorias. En los niveles en que fue posible se realizaron muestreos paralelos, con objeto de observar la homogeneidad o heterogeneidad de los mismos.

El método que aquí se expone se basa en el recuento de todos los organismos fósiles presentes en una superficie de igual tamaño en cada lámina delgada. La selección de la superficie de cada lámina delgada se hace teniendo en cuenta que dicha superficie sea representativa de la lámina a estudiar. La superficie, la dimensión de la cual carece de importancia, debe ser la misma para todas las láminas para que la comparación entre ellas sea fiable. El recuento de láminas adicionales de una misma muestra aumenta la precisión del método pero no varía excesivamente los resultados finales.

Elegida la superficie representativa, se identifican y cuentan todos los elementos presentes (microfósiles y fragmentos de organismos macroscópicos), independientemente de su tamaño. Los elementos texturales no fosilíferos no se tienen en cuenta. Los resultados del recuento se plasman en una tabla numérica (Tabla I), situando los diferentes grupos de organismos en un eje y las diferentes muestras en el otro, y con los ejemplares encontrados de cada grupo y en cada muestra en la intersección de los ejes pertinentes. Utilizando una simple hoja de cálculo se obtienen los porcentajes de cada grupo de organismos en cada una de las muestras tratadas, y su abundancia relativa, lo que permite establecer asociaciones diferentes en función de los datos numéricos. Este proceso se realiza basándose en la distribución de los organismos según modelos, los cuales varían en función del tipo de facies y edad de las mismas. El resto de organismos, que quizás se puedan encontrar en más de una asociación, se situarán en una u otra, en función de su máxima concentración. El número de asociaciones a tener en cuenta no debe sobrepasar la decena, ya que en caso contrario los gráficos resultan ininteligibles.

Cada asociación corresponde a un biotopo particular que refleja, al mismo tiempo, la posición que ocupa en la plataforma según la mayor o menor proximidad a la línea de costa y la profundidad de la lámina de agua. Para establecer tal correspondencia se parte de modelos previamente establecidos que varían en función de la edad de los sedimentos considerados y la morfología del fondo marino. En el caso de los sedimentos del Cretácico inferior de Organyà se utiliza el modelo establecido por Arnaud-Vanneau *et al.* (1987) para las plataformas carbonatadas del sudeste de Francia.

	D-122	D-122y	D-122x	D-123	D-123,0,0	D-123,0	D-123z	D-123,1	D-123,2	D123,3	D123,4	D-123az	D-123,5	D-123y	D-123x	D-123,97
F. Planctónicos		28	99	7			8		5	2		9	1			96
Cornuloculina	1			1										5		
Marssonella															1	
Lenticulina		2	3				1								1	1
Espículas			2												13	
Equinodermos	1	2	1									1				2
Bivalvos		5		1			5	48	9		18	3		7	1	
Derventina							1									
Haplophragmoides															1	
Arenobulimina							1									
Glomospira	1				1	1	1		1						1	
Textuláridos		1							1	1	3		4			
Gasterópodos			5	3												
Istriloculina			1	8				1	1		3					
Valvulineria	2				2	3	1		4	1	2			5	1	
Miliólidos	3				13	11		1	8	3	14		34			1
Asociaciones	D-122	D-122y	D-122x	D-123	D-123,0,0	D-123,0	D-123z	D-123,1	D-123,2	D123,3	D123,4	D-123az	D-123,5	D-123y	D-123x	D-123,97
Batial	0	28	99	7	0	0	8	0	5	2	0	9	1	0	0	96
Circalitoral	2	4	6	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	5	15	3
Infralitoral inferior	1	5	0	1	1	1	8	48	10	0	18	3	0	7	3	0
Infralitoral superior	5	1	6	11	15	14	1	2	14	5	22	0	38	5	1	1

Tabla I.- Tabla numérica de ejemplo que ilustra cómo se plasma el recuento de los elementos presentes en cada lámina y cómo se agrupan (en recuadros más oscuros) para definir las asociaciones características.

Aplicación del método a los sedimentos de Organyà

El análisis detallado de las microfacies de las muestras del intervalo Barremiense-Aptiense inferior de la Cuenca de Organyà (Bernaus, 1998) ha permitido agruparlas en 15 tipos distintos (Fig. 4):

F1: *Mudstones-wackestones* laminados con foraminíferos planctónicos. Biomicrita con fauna muy poco diversificada. Los foraminíferos planctónicos están acompañados de escasas espículas de esponjas y algunos pequeños foraminíferos laminar-perforados.

F2: *Mudstones-wackestones* con espículas de esponjas y fragmentos de equinodermos y algunos foraminíferos plantónicos. Biomicrita en que la fauna, al igual que en la microfacies anterior, es poco diversificada. El contenido en espículas de esponjas y foraminíferos bentónicos aumenta respecto la microfacies anterior mientras el de foraminíferos planctónicos disminuye.

F3: *Wackestones-grainstones* con fragmentos de equinodermos. Biomicrita-biopelsparita en que el contenido de microfauna aumenta respecto a las microfacies anteriores, con una mayor diversidad de foraminíferos bentónicos.

F4: *Wackestones-grainstones* con bioclastos y microfauna poco diversificada. Biosparita, aunque localmente puede constituir una biomicrita. Los bioclastos están constituidos principalmente por fragmentos de equinodermos y briozoos. Entre la microfauna hay algunos lituólidos de gran tamaño.

F5: *Grainstones* con fragmentos de bivalvos, equinodermos y orbitolínidos. Biosparita de bioclastos rodados, alargados o redondeados, formados mayoritariamente por fragmentos de bivalvos y equinodermos, aunque los fragmentos de briozoos, anélidos y gasterópodos también están presentes. Entre la microfauna hay orbitolínidos.

F6: *Grainstones* con oolitos. Oosparita con pequeños bioclastos rodados identificados como fragmentos de equinodermos y bivalvos. El núcleo de los oolitos está formado, en la mayoría de los casos, por pequeños foraminíferos bentónicos.

F7: *Grainstones-packstones* con bioclastos rodados y micritizados. Biosparita, localmente biomicrita, con bioclastos de gran tamaño correspondientes a fragmentos de equinodermos, briozoos y bivalvos, algunos de los cuales están micritizados. Entre la microfauna destacan los textuláridos y miliólidos.

F8: *Wackestones-packstones* con rudistas y equinodermos. Biomicrita/biosparita con fragmentos de rudistas, bivalvos s.l. y equinodermos. Los foraminíferos están representados por miliólidos, textuláridos y orbitolínidos.

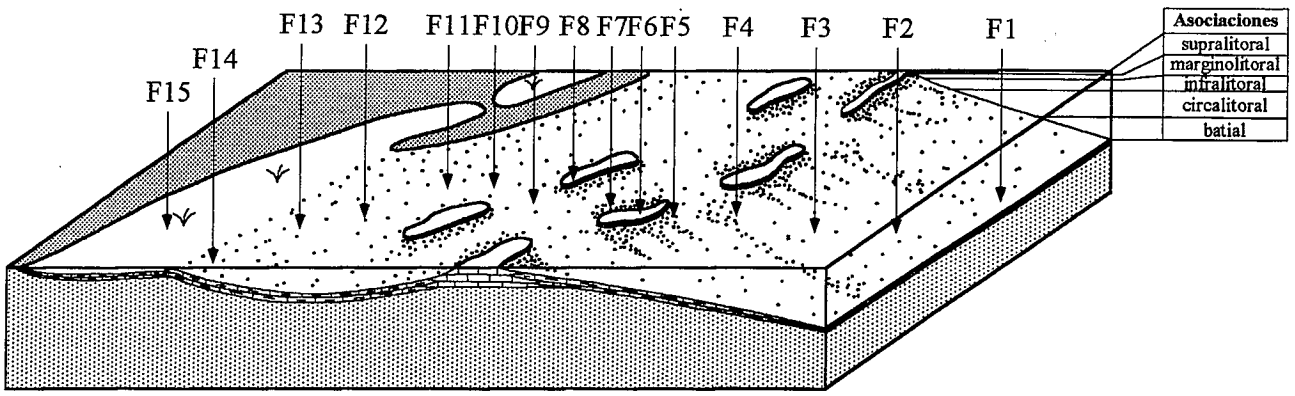

Figura 4.- Posición de los diferentes tipos de microfacies sobre un esquema teórico de una plataforma urgoniana. La asociación pelágica/hemipelágica incluye las siguientes microfacies: F1: Mudstones-wackestones muy laminados con foraminíferos planctónicos; F2: Mudstones-wackestones con espículas de esponjas, equinodermos y foraminíferos planctónicos. La asociación circalitoral inferior: F3: Wackestones-grainstones con fragmentos de equinodermos; F4: Wackestones-grainstones con bioclastos y microfauna diversa. La asociación circalitoral superior: F5: Grainstones con fragmentos de bivalvos, equinodermos y orbitolínidos; F6: Grainstones de oolitos. La asociación infralitoral inferior: F7: Grainstones-packstones con bioclastos rodados y micritizados y fauna infralitoral; F8: Wackestones-packstones con rudistas y equinodermos. La asociación infralitoral superior: F9: Wackestones-packstones con orbitolínidos, anélidos y choffatellas; F10: Wackestones-packstones con orbitolínidos y algas dasicladáceas; F11: Packstones-wackestones con orbitolínidos. La asociación marginolitoral: F12: Mudstones-wackestones con oncolitos y fragmentos micritizados; F13: Wackestones con istriloculinas; F14: Mudstones con coprolitos o con indicaciones de desecación. La asociación lagunar: F15: Mudstones-wackestones con algas carofíceas y algunos ostrácodos.

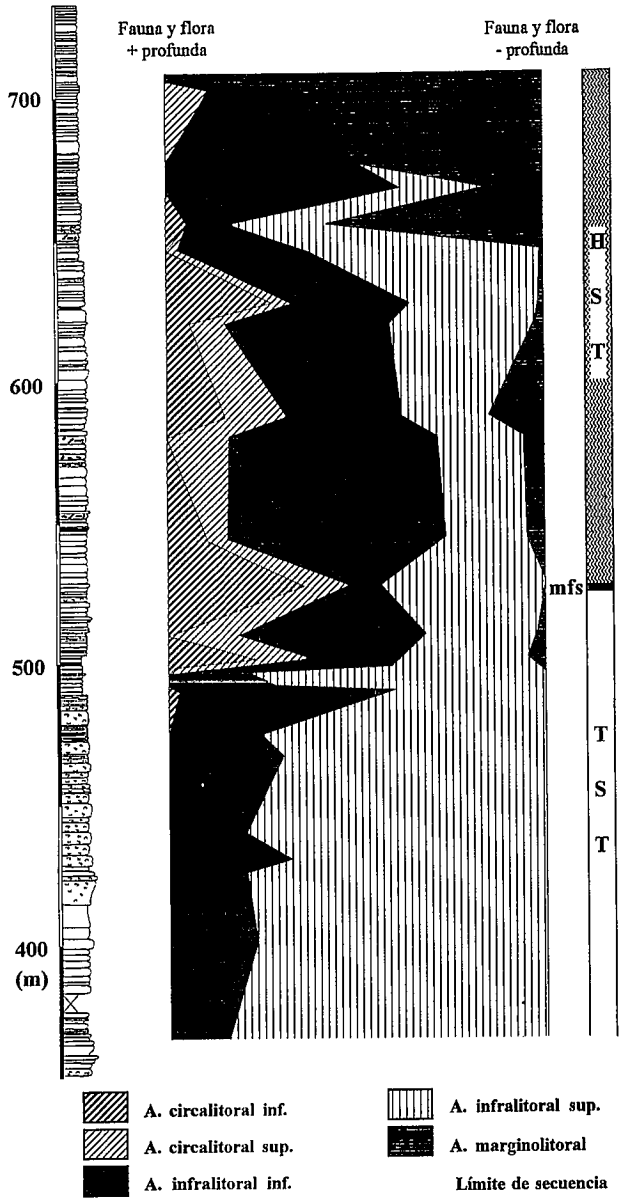

Figura 5.- Representación gráfica del análisis cuantitativo de la secuencia deposicional OR-2.

F9: Wackestones-packstones con orbitolínidos, lituólidos complejos y algunos anélidos. Biosparita/biomicrita cuyos bioclastos pertenecen principalmente a dos grupos diferentes, los anélidos y los macroforaminíferos aglutinados (orbitolínidos y el género *Choffatella)*. Hay también, aunque en menor abundancia, fragmentos de bivalvos, equinodermos y pequeños foraminíferos bentónicos (textuláridos y miliólidos, principalmente).

F10: Wackestones-packstones con orbitolínidos y algas dasicladáceas. Biopelmicrita donde los bioclastos están formados por foraminíferos, fragmentos de equinodermos, a veces micritizados, y algas dasicladáceas. Los foraminíferos más abundantes son los orbitolínidos.

F11: Packstones-wackestones con orbitolínidos. Biopelmicrita, que a veces puede llegar a ser una pelsparita, donde los orbitolínidos son los elementos más característicos. Los fragmentos de macrofauna son menos abundantes que en las microfacies precedentes.

F12: Mudstones-wackestones con oncolitos y bioclastos micritizados. Biopelmicrita con algunos foraminíferos bentónicos representados principalmente por miliólidos y textuláridos.

F13: Wackestones con istriloculinas. Biopelmicrita con algunos foraminíferos bentónicos representados principalmente por miliólidos, dominados por el género *Istriloculina*, y acompañados ocasionalmente por ostrácodos y fragmentos de algas carofíceas.

F14: Mudstone con coprolitos o con indicaciones de desecación. Biopelmicrita con restos ocasionales de microcoprolitos de crustáceos, los cuales pueden estar acompañados por algunos miliólidos. En ciertas ocasiones, y principalmente cuando la fauna es casi inexistente, se pueden observar trazos de desecación.

F15: Mudstones-wackestones con carofíceas. Biomicrita muy rica en algas carofíceas asociadas, a veces, a ostrácodos y, más raramente, a pequeños miliólidos de concha muy fina.

En función de los grupos mayoritarios que caracterizan a cada una de las microfacies descritas se han distinguido las siguientes asociaciones:

Asociación batial. Se caracteriza por la presencia de foraminíferos planctónicos y epistomínidos s.l. Corresponde al dominio de plataforma abierta, talud y/o cuenca, donde los sedimentos del fondo están sujetos a un escaso hidrodinamismo y nulo confinamiento; el límite superior de esta asociación coincide con el límite inferior de penetración de la luz en la columna de agua. La asociación ha sido identificada en las microfacies F1 y F2.

Asociación circalitoral. Los límites del dominio circalitoral están comprendidos entre el límite inferior de las algas dasicladáceas (superior) y el límite inferior de las algas rodofíceas (inferior). Los organismos presentes en la plataforma de Organyà han permitido diferenciar dos subasociaciones, inferior y superior, respectivamente. *La asociación circalitoral inferior* está constituida por espículas de esponjas, foraminíferos bentónicos (entre los que destacan *Cornuloculina, Marssonella, Spiroloculina, Sabaudia, Palorbitolina, Lenticulina o Gaudryina)*, algas *(Permocalculus y Terquemella)* y equinodermos, mientras que *la asociación circalitoral superior* está constituida por briozoos, corales, foraminíferos incrustantes y los géneros *Debarina, Valserina o Neotrocholina.* Las asociaciones circalitorales se dan en zonas de plataforma abierta y margen de cuenca, habiéndose identificado en él las microfacies F3 y F4 (asociación circalitoral inferior) y microfacies F5 y F6 (asociación circalitoral superior), respectivamente.

Asociación infralitoral. El dominio infralitoral se extiende entre zonas "excepcionalmente emergidas" y el límite inferior de las fanerógamas marinas y algas dasicladáceas. En la plataforma de Organyà se han diferenciado dos subzonas, inferior y superior, respectivamente. *La asociación infralitoral inferior* está carac-

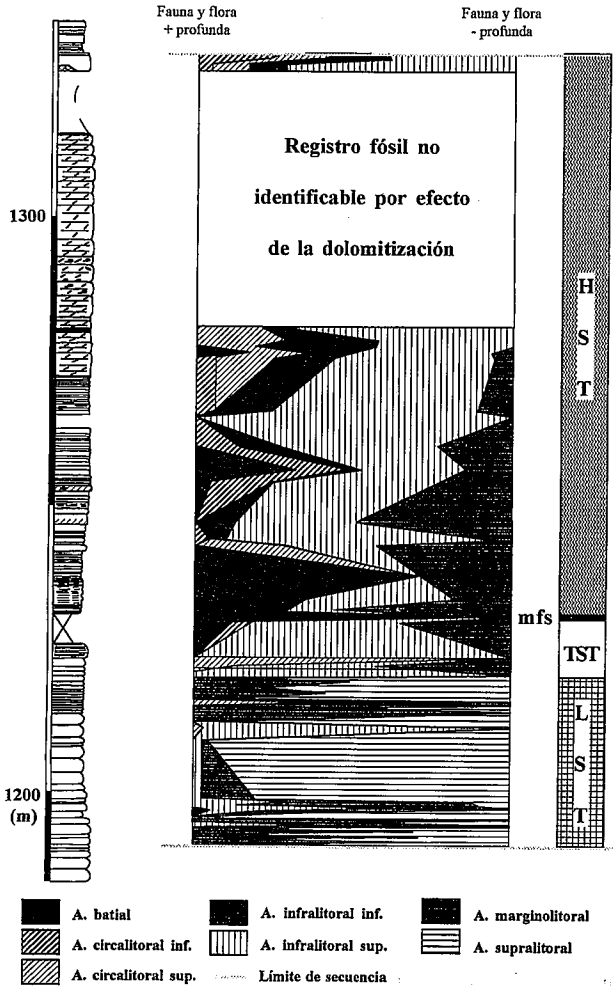

Figura 6.- Representación gráfica del análisis cuantitativo de la secuencia deposicional OR-4.

terizada por bivalvos s.l., rudistas, algas dasicladáceas, lituólidos s.l., pequeños orbitolínidos *(Paleodictyoconus, Paracoskinolina, Cribellopsis,* etc.*)* y, además, los géneros *Derventina, Choffatella, Arenobulimina, Melathrokerion, Haplophragmoides y Glomospira* (microfacies F7, F8 y F9) y *la asociación infralitoral superior* constituida por textuláridos s.l., miliólidos s.l., gasterópodos y en particular los géneros *Praereticulinella, Pseudolituonella, Nezzazatinella, Pfenderina, Vercorsella, Istriloculina y Valvulineria* (microfacies F10 y F11). Ambas asociaciones se encuentran representadas en sedimentos depositados en una plataforma interna, poco profunda y protegida, aunque con escaso confinamiento y salinidad y contenido en oxígeno normales.

Asociación mediolitoral (o marginolitoral). El dominio mediolitoral es sinónimo generalmente de zona intramareal. Las poblaciones que habitan este medio están sujetas a emersiones e inmersiones periódicas. Está constituida por ostrácodos y el "alga" *Cayeuxia.* Corresponde a sedimentos depositados bajo condiciones de confinamiento y frecuentemente hipo o hipersalinas. Se ha identificado en las microfacies F12, F13 y F14.

Asociación supralitoral. Como su nombre indica, el dominio supralitoral se sitúa por encima de la línea de pleamar y solo esporádicamente es inundado por aguas marinas. En el caso de la plataforma de Organyà, este dominio está ocupado por agua dulce y corresponde a sedimentos lagunares. La asociación está caracterizada por la presencia de abundantes masas de algas carofíceas (microfacies F15).

Secuencias deposicionales

El método se aplica únicamente para dos de las secuencias de depósito estudiadas, OR-2 y OR-4, respectivamente. Se han seleccionado estas dos secuencias por ser las más representativas. La secuencia OR-2 (Fig. 5) está constituida por facies muy homogéneas mientras que la secuencia OR-4 (Fig. 6) presenta cambios rápidos y muy marcados. En ambos casos, el análisis cuantitativo nos ha servido para establecer la posición exacta de la superficie de máxima inundación (*mfs*).

En la secuencia OR-2 se han podido identificar cinco de las asociaciones fósiles descritas anteriormente: circalitoral inferior, circalitoral superior, infralitoral inferior, infralitoral superior y mediolitoral, cuya distribución detallada se da en la figura 5. La superficie de máxima inundación se hace coincidir con la máxima abundancia de organismos circalitorales.

En la secuencia OR-4, las asociaciones son más diversas, habiéndose identificado siete (Fig. 6): batial, circalitoral inferior, circalitoral superior, infralitoral inferior, infralitoral superior, mediolitoral y supralitoral. Es importante señalar que la asociación supralitoral (lagunar) solamente se da en el cortejo de nivel bajo (LST). La superficie de máxima inundación (*mfs*) está indicada por el mayor porcentaje de foraminíferos planctónicos de toda la secuencia.

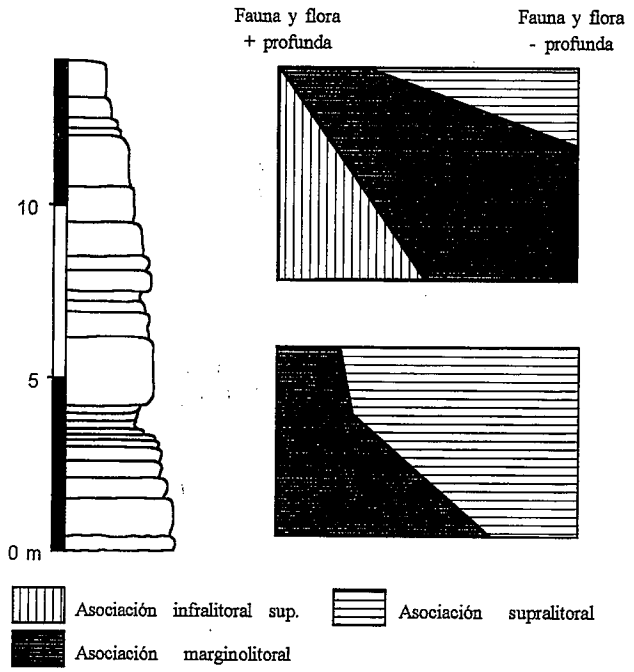

Figura 7.- Representación gráfica del análisis cuantitativo en un ejemplo de parasecuencias situado en la parte superior del cortejo de nivel bajo de la secuencia OR-4.

Secuencias elementales

Las secuencias elementales o parasecuencias traducen la respuesta sedimentaria a una determinada topografía, condiciones de las corrientes e hidrodinamismo locales, producción de sedimento, modificación del espacio de acomodación en el transcurso de la sedimentación o variaciones climáticas (Arnaud, 1981).

Normalmente, las secuencias elementales son de somerización *(shallowing upward)*, con los paleoambientes de la parte superior de menor batimetría que los de la base (parasecuencias rítmicas), aunque a veces se pueden observar parasecuencias en las cuales la batimetría aumenta hasta la parte media de la parasecuencia para luego disminuir hacia el techo, donde las facies son muy similares a las existentes en la base (parasecuencias cíclicas).

En algunas secuencias elementales las modificaciones paleoambientales son muy pequeñas por lo que, para que el estudio refleje los cambios por mínimos que estos sean, las asociaciones fósiles a tener en cuenta deben corresponder a divisiones en el interior de cada una de las asociaciones descritas para las secuencias. En las parasecuencias, los análisis cuantitativos han sido el único mecanismo para interpretar los límites. Las parasecuencias que se presentan en las figuras 7, 8 y 9 han sido seleccionadas en cada uno de los cortejos: de nivel bajo (LST), transgresivo (TST) y de nivel alto (HST), respectivamente.

Parasecuencias del cortejo de nivel bajo (LST)

En la plataforma de la Cuenca de Organyà, los cortejos de nivel bajo están representados por enormes acumulaciones de calizas con carofíceas en los que la separación de las parasecuencias resulta imposible por medio de las asociaciones fósiles. El ejemplo corresponde a una parasecuencia de la secuencia de depósito OR-4. Las parasecuencias tienen entre 1 y 5 m de espesor (Fig. 7) y los sedimentos contienen asociaciones mediolitorales superiores y lagunares (parasecuencia inferior) o asociaciones mediolitorales inferiores, mediolitorales superiores y lagunares, respectivamente (parasecuencia superior). Se trata de parasecuencias rítmicas de somerización *(shallowing upward)*. El espacio disponible suele ser rellenado por completo, pero nunca se llega a una emersión lo suficientemente larga para registrarse de forma clara.

Parasecuencias del cortejo transgresivo (TST)

El ejemplo de parasecuencia del cortejo transgresivo procede de la secuencia OR-4. Las parasecuencias tienen generalmente entre 2 y 5 m de espesor y las asociaciones de fósiles de los sedimentos se suceden rápidamente, diferenciándose en las parasecuencias las mismas asociaciones que en las secuencias. En el presente ejemplo se ha diferenciado asociaciones batiales, circalitorales, infralitorales inferiores y superiores.

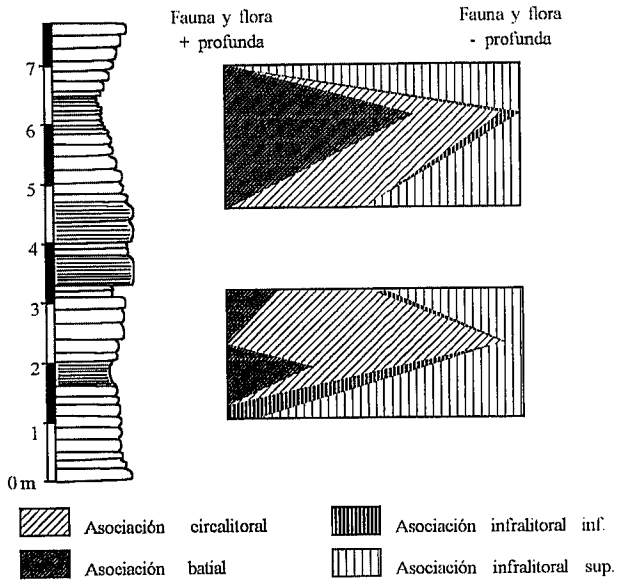

Figura 8.- Representación gráfica del análisis cuantitativo en un ejemplo de parasecuencias situado en la parte superior del intervalo transgresivo de la secuencia OR-4.

El análisis cuantitativo de estas parasecuencias muestran un aumento progresivo de organismos "profundos" desde la base hasta la parte media de la parasecuencia, a partir de la cual se produce el efecto inverso, es decir, un aumento progresivo hacia la parte superior de organismos "menos profundos", lo que se interpreta como un aumento de batimetría en la parte media. Se trata de parasecuencias cíclicas.

Parasecuencias del cortejo de nivel alto (HST)

Los cortejos de nivel alto de los sedimentos urgonianos están caracterizados por grandes acumulaciones de calizas con rudistas y orbitolínidos, principalmente. En ellos el espesor de las parasecuencias varía entre 2 y 7 m y están caracterizadas por asociaciones circalitorales, infralitorales (inferior, medio y superior) y mediolitorales (Fig. 9), observándose, a veces, indicios de emersión. Se trata de parasecuencias rítmicas de somerización *(shallowing upward)*.

Conclusión

Como se deduce de los ejemplos presentados, el análisis micropaleontológico cuantitativo aplicado en sedimentos carbonatados de plataforma a partir de láminas delgadas es una herramienta especialmente útil 1) para establecer los cortejos de las secuencias de depósitos en aquellos casos en que las variaciones de facies son muy poco marcadas, 2) para identificar la posición exacta de las superficies de máxima inundación y 3) en el estudio de las parasecuencias. El método es aplicable tanto a muestras de superficie como de sondeo; en este último caso debe disponerse de testigos continuos.

El método, sin embargo, presenta ciertas limitaciones, derivadas principalmente del tipo de muestreo

realizado y de los conocimientos de la fauna y flora contenidas en las muestras.

El estudio ha sido financiado por la C.I.R.I.T. (1998TDOC0043).

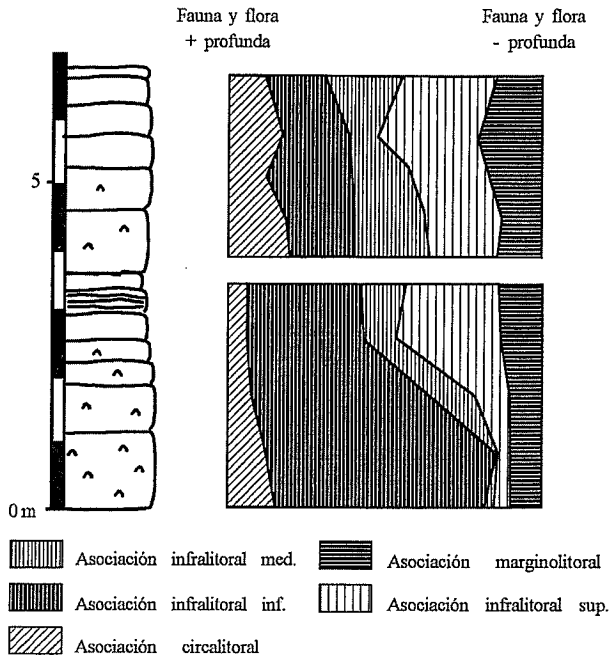

Figura 9.- Representación gráfica del análisis cuantitativo en un ejemplo de parasecuencias situado en la parte superior del cortejo de nivel alto de la secuencia OR-3.

Bibliografía

Arnaud, H. (1981): De la plate-forme urgonienne au bassin vocontien: le Barrémo-Bédoulien des Alpes occidentales entre Isère et Buëch (Vercors méridional, Diois oriental et Dévoluy). *Géologie Alpine*, mém. 11, 804 p.

Arnaud, H. y Arnaud-Vanneau, A. (1992): Les calcaires urgoniens des massifs septentrionaux et du Jura (France): âge et discussion des données stratigraphiques. *Géologie Alpine*, 67: 63-79.

Arnaud, H., Arnaud-Vanneau, A., Blanc-Alétru, M.C., Adatte, T., Argot, M., Delanoy, G., Thieuloy, J.P., Vermeulen, J., Virgone, A., Virlouvet, B. y Wermeille, S. (1998): Répartition stratigraphique des orbitolinidés de la plate-forme urgonienne subalpine et jurassienne (SE de la France). *Géologie Alpine*, 74: 3-89.

Arnaud-Vanneau, A. (1980): Micropaléontologie, paléoécologie et sédimentologie d'une plate-forme carbonatée de la marge passive de la Téthys: L'Urgonien du Vercors septentrional et de la Chartreause (Alpes occidentales). *Geologie Alpine*, mem. 11, 874 p.

Arnaud-Vanneau, A., Arnaud, H., Adate, T., Argot, M., Rumley, G. y Thieuloy, J.P. (1987): The Lower Cretaceous from the Jura Platform to the Vocontian Basin (Suiss Jura, France). *3rd Internatiornal Cretaceous Symposium*, Tubingen, Guide-book, 128 p.

Beràstegui, X., García-Senz, J.M. y Losantos, M. (1990): Tecto-sedimentary evolution of the Organyà extensional basin (Central South Pyrenean Unit, Spain) during the Lower Cretaceous. *Bull. Soc. Géol. France*, 2: 251-264.

Bernaus, J.M. (1995): *L'evolució dels foraminífers com avaluació de la plataforma carbonatada de l'Aptià de la conca d'Organyà (Lleida)*. Trabajo de investigación de 3er. ciclo de la Universitat Autònoma de Barcelona, 99 p.

Bernaus, J.M. (1998): *L'Urgonien du Bassin d'Organyà (NE Espagne): Micropaléontologie, Sédimentologie et Stratigraphie séquentielle*. Tesis doctoral, Université Joseph Fourier, Grenoble 1, 206 p.

Caus, E., García-Senz, J.M., Rodés, D. y Simó, A. (1990): Stratigraphy of the Lower Cretaceous (Berriasian-Barremian) sediments in the Organyà Basin, Pyrenees, Spain. *Cretaceous Research*, 11: 313-320.

Martinez, R. (1982): *Ammonoideos cretácicos del Prepirineo de la provincia de Lleida*. Tesis doctoral. Publicaciones de la Universidad Autónoma de Barcelona, 17, 197 p.

Mey, P.H.W., Nagtegaal, P.J.C., Roberti, K.J. y Hartevelt, J.J.A. (1968): Lithostratigraphic subdivision of post-Hercynian deposits in the South Central Pyrenees, Spain. *Leidse Geologische Mededelingen*, 41: 221-228.

Mitchum, R.M.Jr., Vail, P.R. y Thomson III, S. (1977): Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part. 2: The Depositional Sequence as a basic unit for Stratigraphic Analysis. En: *Seismic Stratigraphy* (C.E. Payton, Ed.), *Amer. Assoc. Petrol. Geol.* Mem. 26: 53-62.

Muñoz, J.A., Puigdefàbregas, C. y Fontboté, J.M. (1984): Orógenos alpinos III.4.1. En: *El Pirineo*. Inst. Geol. Min. España. Ed., Libro Jubilar J.M. Ríos, *Geología de España*, 2: 161-205.

Rosell, J. y Llompart, C. (1982): El Pirineo. En: *El Cretácico de España*. Universidad Complutense de Madrid: 161-176.

Seguret, M. (1972): Étude tectonique des nappes et séries décollées de la partie centrale du versant sud des Pyrenees. *Pub. Ustela, Sér. Géol. Struct.*, 2, Montpellier, 155 p.

Vail, P., Mitchum, R.M. y Thomsom, S. (1977): Seismic stratigraphy and global changes of sea-level, part 4: global cycles of relative changes of sea-level. En: *Seismic Stratigraphy* (C.E. Payton, Ed.), *Mem. Am. Ass. Petrol. Geol.* 26: 83-97.

Van Wagoner, J.C., Posamentier, H.W., Mitchum, R.M., Vail, P.R., Sarg, J.F., Loutit, T.S. y Hardenbol, J. (1988): An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. En: Sea-Level changes - An integrated *approach* (C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.S. Kendall, H. Posamentier, C.A. Ross y J.C. Van Wagoner, Eds.), *Soc. Econ. Paleont. Mineral*, Spec. Pub. 42: 39-45.

Vera, J.A. (1994): *Estratigrafía. Principios y métodos*. Ed. Rueda, Madrid, 806 p.

Manuscrito recibido el 15 de junio de 1999
Aceptado el manuscrito revisado el 27 de marzo de 2000