

Estratigrafia y registro fósil*

SALVADOR REGUANT

Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia. Universitat de Barcelona. E-08071. Barcelona.

LA HISTORIA DE UN FRACASO

Aquellos observadores perspicaces de la edad antigua y media, anteriores al nacimiento de la ciencia moderna, que se dieron cuenta del verdadero carácter de los fósiles marinos, por esta misma constatación superaron el campo puramente paleontológico. Al afirmar que unos fósiles eran restos de determinados organismos antiguos hacían, junto con una caracterización paleontológica por simple que fuera, una afirmación que involucraba la cronoestratigrafía y la reconstrucción paleoambiental.

Más adelante, al inicio de la geología moderna, Smith fundó la paleontología estratigráfica al hacer sus observaciones sobre la equivalencia entre orden de sucesión de los estratos y cambios sucesivos de las faunas y floras. Esta trascendental observación, no obstante, sesgó la relación entre la Paleontología y la Estratigrafía hasta hoy al proclamarse casi oficialmente la equivalencia de la Biostratigrafía con la Biocronoestratigrafía. Así se ha creado una relación unívoca y reduccionista entre estratígrafos y paleontólogos que, salvo honrosas y no muy frecuentes excepciones, consiste en aceptar por parte del estratígrafo que la utilidad del paleontólogo es puramente la de suministrar información cronológica sobre los estratos en donde se encuentran los fósiles que se envían a este especialista.

Es en este punto donde situó la historia de un fracaso que ha sido de muchos, pero también, muy en particular, mío. El fracaso consiste en no conseguir una aceptación, entre la mayoría de científicos, del

contenido integral de la Bioestratigrafía. En mi caso, por lo menos cuatro veces de una manera formal y explícita he intentado mostrar que la Bioestratigrafía no tiene como «principal purpose...the zonation and correlation of strata» (Kauffman y Hazel 1977) sin ningún éxito. La primera fue en la elaboración del programa de una asignatura que existió en nuestra Facultad con el nombre de «Biostratigrafía» y que yo impartí unos pocos años. Los capítulos generales de dicho programa eran los siguientes:

I- Definición y objetivos de la Biostratigrafía.

II- Contribución de los organismos y sus restos y productos en los procesos sedimentarios y postsedimentarios.

III- Análisis bioestratigráfico de las rocas sedimentarias.

IV- El establecimiento de la columna bioestratigráfica.

V- Análisis bioestratigráfico de los medios sedimentarios.

VI- Caracterización de cada filum en relación con la Biostratigrafía.

VII- Caracteres generales de cada época geológica desde el punto de vista faunístico y floral.

Aunque en este momento no esté demasiado de acuerdo con la forma de expresar las ideas contenidas en este programa, sí lo estoy fundamentalmente en las materias que incluye y en su perspectiva global. A este respecto, se refieren tres artículos publicados en donde se detallaba más claramente el verdadero significado

de la Bioestratigrafía como ciencia (De Renzi, Martinell y Reguant, 1975; Reguant, 1975 y Reguant, 1981). Los dos últimos artículos fueron publicados en circunstancias que podían tener una influencia notable. El artículo de 1975 se publicó en la revista «Geology» de amplia difusión internacional. El de 1981 fué el discurso inaugural publicado del simposio «Concept and method in Paleontology» en el que asistieron muchas de las primeras «espadas» de la Paleontología mundial. No obstante, en contra de lo que ahora se dice acerca de cuál debe ser la difusión e, indirectamente, la evaluación de la producción científica, continúa siendo cierto que la influencia de los resultados científicos depende, casi exclusivamente, de la pertenencia a los círculos mayores de cada ámbito o tema y no a la difusión de una aportación concreta. No obstante, como he dicho la historia de este fracaso no ha sido particularmente mía, sino de muchos otros entre los que se cuenta el propio creador del término Bioestratigrafía ya que según el «Glossary of Geology» (Bates y Jackson, 1980) «the term (bioestratigrafía) was apparently proposed by Louis Dollo, belgian paleontologist, in 1904 in a wider sense for the entire research field in which paleontology exercises a significant influence upon historical geology» (p. 67).

Esta historia ilustra claramente un resultado: el término «bioestratigrafía» ya no puede ser usado para significar la ciencia cuyas líneas generales he descrito en los trabajos citados, al haber triunfado la tesis (o, simplemente, la práctica) reduccionista. ¿Cómo llamarla pues? No podemos sustituir «bioestratigrafía» por «paleontología estratigráfica», ya que este término tiene un significado preciso y aceptado: «the study of fossils and of their distribution in various geologic formations, emphasizing the stratigraphic relations (time and sequence) of the sedimentary rocks in which they are contained» (Bates y Jackson, 1980, p. 615). En mi opinión, quizá podría hablarse de «estratigrafía paleontológica» término que coincide en su sentido propio con el de «bioestratigrafía», pero que no ha sido usado y, por tanto, no tiene un campo de aplicación determinado. En cualquier caso voy a intentar explorar algunos de los temas principales de una tal ciencia ilustrándolos en algunos casos con trabajos realizados desde esta perspectiva. La discusión histórica y terminológica no debe hacernos olvidar que no vamos a descubrir un terreno virgen. Muchos autores han trabajado y trabajan en este campo. No obstante, el objetivo de mis palabras es hacer caer en la cuenta, por un lado, del «background» conceptual globalizador de estas investigaciones y resultados y, por otro, de la escasa atención que, con resultados negativos, han merecido estos conceptos por una gran parte de paleontólogos y estratígrafos. Para los paleontólogos ha sido una de las causas de la situación incómoda en la que se encuentran en la actual conyuntura presidida

por criterios excesivamente sesgados de eficacia, economía y perspectiva físico-matemática. El hecho de esta situación, tal como es vivida por los propios paleontólogos, se puso claramente de manifiesto en el discurso inaugural del Prof. Claude Babin en las Jornadas de Paleontología de Granada en 1990. Para los estratígrafos ha tenido como resultado un empobrecimiento de un discurso, casi enteramente, centrado en el análisis físico de la sedimentación y con un soporte paleontológico basado sólo en la biocronoestratigrafía. Este último factor ha supuesto, en muchos casos, la existencia de una Micropaleontología «monstruosa», sin apenas contenido científico, que podían aplicar en períodos de tres meses los "espaldamojadas" en el área del Golfo de Mejico como contó, no sin cierto cinismo, el palinólogo Cramer en una conferencia que dió en Barcelona hace poco tiempo.

APROXIMACION A LA ESTRATIGRAFIA PALEONTOLOGICA

El análisis estratigráfico basado en el registro fósil está relacionado con una serie de ciencias, ya porque ellas son parte de lo que acabamos de llamar estratigrafía paleontológica, ya porque suministran la información para dicho análisis. Estas ciencias son: la Bioestratigrafía, en el sentido comúnmente aceptado de Biocronoestratigrafía, la Paleontología estratigráfica, la Paleobiogeografía, la Paleocología, la Tafonomía y la Biosedimentología. Para aligerar el discurso no vamos a hacer referencia directamente más que a las tres últimas ya que las otras son mejor conocidas y usadas en la investigación estratigráfica. No obstante, no conviene olvidar que el uso que se hace de la Bioestratigrafía es, muchas veces, insuficiente y poco preciso. El análisis estadístico de las extinciones que ha estado realizándose últimamente, sobre todo por parte de Raup y Sepkoski, ha puesto nuevamente de manifiesto el poco sentido crítico con que se usa el registro fósil en este campo. Ordinariamente no se atiende al propio valor de cada taxón identificado, ya por desconocimiento del significado diferencial taxonómico preciso de cada uno de ellos, ya por la nula atención a la comunidad a la que pertenece, comparando en este último caso taxones evolutivo-ecológicamente heterogéneos. La convicción de que esto es así dió origen, como es conocido, a la Ecoestratigrafía que intenta una mayor precisión y rigor en la aplicación estratigráfica de los taxones identificados. Boucot (1990) vuelve a insistir en este tema analizando como podemos establecer límites posibles de unidades evolutivo-ecológicas. Por su parte insistimos que la Paleocología, la Tafonomía y la Biosedimentología han sido insuficientemente «explotadas» en el análisis de cuencas. Recientemente, Yebenes y Diaz-Molina (1989) han hecho un llamamiento en este sentido.

En principio, la paleoecología pretende explicar la situación ambiental que hacía posible la presencia y características de los organismos fósiles cuando estos vivían. Por otro lado, la Biosedimentología pretende dar cuenta de la contribución de los organismos en la sedimentación. La Tafonomía, por su parte, se sitúa en una cierta posición intermedia, ya que explica los procesos de preservación de los organismos antiguos una vez muertos y cómo estos procesos afectan a la información que nos suministra el registro fósil (Bherenmeyer y Kidwell, 1985).

LA BIOSEDIMENTOLOGIA

Este es un campo al que se concede creciente interés en estos últimos tiempos. El «Bulletin de la Société Géologique de France» le dedicó un número monográfico en 1989. Su presentador, el Prof. J. Philip expresa los ámbitos fundamentales de la Biosedimentología en 4 campos: «Un premier champ englobe les phénomènes de **biominéralisation** et de **bioprécipitation**... Un second champ concerne les processus de **bioconcrétionnement**, **biostructuration**, **bioconstruction**... le troisième... aux phénomènes de **biodestruction**... la quatrième voie de recherche... interesse la dynamique et l'évolution des systèmes biosédimentaires. Sont ici pris en compte les processus de **bioaccumulation** et de **productivité bioclastique**».

Ordinariamente se hace atención desde hace tiempo a algunos de estos campos, o por lo menos, a parte de ellos. Así se estudian las estructuras biosedimentarias y se procura entender su significado en el análisis sedimentario. En efecto los icnofósiles prácticamente siempre están «in situ». Su interpretación paleoambiental es directamente aplicable a la sucesión estratigráfica en la que se hallan. También se observan con detalle los procesos de bioturbación. El estudio de las construcciones arrecifales y de otras construcciones debidas a organismos están en el centro de mira de los carbonatólogos y, en general, de los sedimentólogos. Los geólogos del petróleo y del carbón están obligados a estudiar concienzudamente la aportación orgánica en la formación de estos depósitos de energía fósil. No obstante, existen muchos campos a los que convendría poner mayor atención. Citaré unos pocos ejemplos.

McCall *et al.* (1986) han realizado un minucioso estudio de la influencia que un bivalvo actual, la *Lampsilis radiata* que vive en el lago Erie, tiene sobre la calidad (resistencia a la torsión o al cizallamiento, a la compacidad y a la acción química del agua en el sedimento) del sedimento en que habita. Todo ello crea un entorno sedimentológico peculiar diferenciado que debe condicionar los posteriores procesos diagénéticos. Se trata pues de un trabajo de sedimentolo-

gía actual que debe intentar utilizarse en el análisis de los sedimentos antiguos. El análisis de la contribución de los organismos a la formación de los sedimentos, al margen de sus propios restos esqueléticos es un campo difícil, pero que en algunos casos puede resultar decisivo en la interpretación del sedimento.

Otro campo importante para el análisis estratigráfico es el estudio de la significación de las capas lumaquéticas. La acumulación de conchas o elementos esqueléticos es muy frecuente en las sucesiones estratigráficas. Se trata de un tipo fundamental de biosedimento. Una lumaquela puede, sin embargo, ser autóctona, para-autóctona o totalmente transportada. En cada caso tiene un significado distinto que nos será revelado por consideraciones tafonómicas y también biológicas del organismo u organismos en cuestión. Uno de los temas importantes en este ámbito lo constituyen las **capas condensadas** como las que se encuentran en el Triásico alpino donde decenas de especies de Cefalópodos se encuentran reunidas en una capa de poca potencia. Otros muchos ejemplos han sido citados tanto dentro como fuera de nuestro país. Cuando se hace un esfuerzo más allá de la simple comprobación de la existencia de varias biozonas en un estrato, el rendimiento científico del yacimiento es muy importante para el análisis de la evolución de la cuenca. Los macroforaminíferos se presentan frecuentemente formando bancos de potencia considerable. El interés es a la vez, paleontológico y estratigráfico. Serra-Kiel y Reguant (1984) estudiaron las condiciones paleoecológicas y la variación morfológica de bancos monoespecíficos autóctonos de *Nummulites*. Las Calizas de Tavertet (Reguant, 1967) del Eoceno Medio del extremo oriental de la Depresión Central Catalana están formadas fundamentalmente por bancos para-autóctonos de este género que constituían barras en fondos próximos a la costa. En el Pirineo se encuentran, por otra parte, sedimentos lumaquéticos, también de *Nummulites*, en los cuales las conchas han actuado simplemente como clastos de forma y tamaño perfectamente definidos, por tanto, por clastos que dan una información selectiva de los mecanismos de transporte. En algunos casos estos clastos son reutilizados por Decápodos que los reordenan de modo que nos facilitan información sobre la propia polaridad de los estratos.

Finalmente quería llamar la atención de un campo de gran futuro en la investigación sedimentológica, el de la llamada microbiología geológica. Como ejemplo citaré el trabajo de Adolphe *et al.* (1989) en el que estos autores tratan de las formaciones carbonatadas de origen bacteriano de Africa del Norte, y también las nuevas hipótesis sobre el rol de los microorganismos en la formación de las BIF precámbricas (cfr. por ejemplo, Nealson y Myers, 1990). En mi opinión la microbiología debería formar parte del acervo científico del geólogo moderno en la doble condición que

para este profesional tienen los microbios: sedimentológico, tanto en sus aspectos constructivos, como en los modificativos y destructivos, y, también como base de cualquier desarrollo de los demás organismos. Lo que se llama el «tapis microbien» está presente siempre y en todas partes desde la aparición de la vida sobre la Tierra, hecho que se remonta al Precámbrico más primitivo. Por consiguiente, es esencial conocer y valorar el significado de los microbios en los estratos, desde los tiempos más remotos, para cualquier interpretación tanto de la historia de la Tierra como de la historia de la Vida.

PALEOECOLOGIA Y TAFONOMIA

La relación entre la Paleoeología, la Tafonomía y la Bioestratigrafía (aquí llamada Estratigrafía paleontológica) fué tratada por nosotros hace años (De Renzi, Martinell y Reguant, 1975). Cuando los fósiles se encuentran «in situ» el interés de la paleoecología es considerable. Esta afirmación es de aceptación general, pero con frecuencia se hacen pocos esfuerzos para obtener la información más completa posible a través del análisis paleoecológico a causa de deficiencias en el conocimiento de las exigencias muy específicas de los organismos existentes en el registro fósil. Estas deficiencias pueden ser simplemente personales y una colaboración con paleontólogos, o mejor paleobiólogos, sería altamente provechosa. En otros casos se trata simplemente de desconocimiento del valor de los datos que la paleoecología puede aportar.

Sucede a menudo que los organismos presentes en los sedimentos hacen imposible la aceptación de interpretaciones que parecían plausibles con el uso sólo del análisis sedimentológico clásico. Virgili (1979) cita el caso paradigmático de la interpretación de los ocre de Apt (Francia). Los análisis geoquímicos y mineralógicos daban estos ocre como de origen continental, mientras que el registro fósil indica que son marinos. Se trata simplemente de una continentalización posterior de unos sedimentos formados en los fondos marinos.

Un trabajo concienzudo sobre la posición batimétrica de los crinoides pedunculados ha permitido una interpretación más exacta de la evolución del margen tethyano durante el Jurásico de los Alpes occidentales. Conjuntamente con los resultados de la investigación sobre la evolución paleotectónica ha hecho posible un estudio modélico de análisis geohistórico en esta área (Roux *et al.*, 1988).

En el área próxima a Vic y en el Eoceno un análisis de la posición y contenido de la fauna, tanto la que está «in situ» como de la transportada ha permitido (Serra-Kiel y Reguant, 1990) llegar a un conocimiento de la evolución de la cuenca en el Bartoniense que no habría

sido posible sólo con el estudio sedimentológico físico ya que las capas margosas presentan dificultades notables aun para el análisis sedimentológico clásico.

LAS PEQUEÑAS HISTORIAS DE LA TAFONOMIA

Los procesos tafonómicos configuran, en cada caso, una pequeña historia que pertenece de lleno a la sedimentología y, por ende, a la estratigrafía. Le llamo «pequeña» historia porque casi nunca rebasa el tiempo de resolución estratigráfica. Ello ha inducido a despreciar esta historia en estratigrafía. No obstante, por breve que sea en su duración, es compleja e influyente en el registro fósil, registro que, a su vez, es parte esencial del registro sedimentario o estratigráfico. Por consiguiente el estudio de los procesos tafonómicos es absolutamente imprescindible en estratigrafía.

Como ya es conocido, esta historia tiene tres partes sucesivas: la **necrológica** que consiste en la muerte del organismo o en el abandono de partes de su cuerpo (por ejemplo, mudas o exuvias); la **biostratinómica** que conduce al enterramiento definitivo de algunas (o todas) las partes de un organismo, a través de la interacción con los procesos sedimentarios; y, finalmente, la **diagenética** que es la que produce alteraciones físico-químicas en el sedimento y en el registro fósil contenido en él.

Como es obvio nosotros partimos del hallazgo de los fósiles dentro de un sedimento concreto y del estudio de estos fósiles y de su entorno sedimentario hemos de deducir la pequeña historia a la que estamos aludiendo, a fin de poder hacer un uso estratigráfico del registro fósil.

Por ejemplo en un tema que está ocupando mi tiempo ahora, el del análisis de los abundantes briozoos del Plioceno de Huelva que se encuentran sobre conchas muertas de bivalvos, *Glycimeris insubrica* y *Ostrea lamellosa* sobre todo. La historia más elemental, en este caso, comprende tres tramos: periplo vital y muerte de los bivalvos, periplo vital y muerte de los briozoos incrustantes, enterramiento y diagenésis de las conchas con sus briozoos incrustados. Esta historia puede ser mejor ilustrada en muchos casos con una observación cuidadosa. Así por ejemplo, aparte del significado paleoambiental que la presencia de estos bivalvos sugiere, los briozoos nos permiten deducir los movimientos de estas conchas (después de muerto el molusco) en el ambiente sedimentario en que podían desarrollarse estos briozoos, a través de una observación elemental. Se han encontrado colonias de briozoos que crecen hasta el borde de la concha y se colocan en la parte opuesta cuando la concha es volteada por la acción del agua. Más tarde, con frecuencia estas colonias son, más o menos, destruidas por usura del mate-

rial y puede darse el caso que otra colonia se incruste sobre las huellas de la anterior para comenzar otra historia parecida. Posteriormente el conjunto se entierra y su modo de enterramiento puede ser deducido de la disposición de las conchas en el sedimento. La fase de diagenesis es el último episodio de la historia. Una historia más compleja y apasionante es la contada por Fernández López (1984) sobre los sucesivos rellenos sedimentarios de *Ammonites* del Jurásico de la Cordillera Ibérica.

La pregunta que aquí se me ocurre es la siguiente: ¿son tan pequeñas o breves estas historias, o, por el contrario la dimensión temporal tiene mensurabilidad geológica?. En caso afirmativo, el análisis tafonómico no sólo tendría interés sedimentológico, sino cronoestratigráfico. En cualquier caso, este tiempo ha existido y forma parte del tiempo de evolución de una cuenca. Es además un tiempo privilegiado porque tiene una documentación preciosa y precisa. Sólo se trata de saberla leer. En cualquier análisis de cuenca tener a mano unas cuantas **pequeñas** historias de este tipo puede enriquecer enormemente la **gran** historia de la evolución global de la misma.

OBSERVACION CONCLUSIVA

Este pequeño camino, por muy elementalmente que haya sido trazado, nos lleva a la convicción de que existe todo un campo que no ha sido explorado sistemáticamente. Es un capítulo de la estratigrafía que debe ser adecuadamente conceptualizado e introducido en su propia situación dentro tanto de un programa académico de esta materia como de la práctica cotidiana del estratígrafo profesional.

BIBLIOGRAFIA

- ADOLPHE, J.-P., HOURIMECHE, A., LOUBIERE, J.-F., PARADAS, J. y SOLELHAVOUP, F., 1989: Les formations carbonatées d'origine bactérienne. Formations continentales d'Afrique du Nord. *Bull. de la Soc. Géol. France* (8) 5/1: 55-62.
- BATES, R. L. y JACKSON, J. A., eds 1980: *Glossary of Geology*. American Geological Institute, Virginia. 751 pp.
- BEHRENSMEYER, A. K. y KIDWELL, S. M., 1985: Taphonomy's contribution to paleobiology. *Paleobiology* 11(1): 105-119.
- BOUCOT, A. J., 1990: Modern paleontology: using Biostratigraphy to the utmost. *Revista Española de Paleontología*, 5: 63-70.
- DERENZI, M., MARTINELL, J. y REGUANT, S., 1975: Bioestratigrafía, tafonomía y paleoecología. *Acta Geol. Hisp.* 10/2: 80-86.
- FERNANDEZ LOPEZ, S., 1984: Criterios elementales de reelabocion tafonomica en ammonites de la Cordillera Ibérica. *Acta Geologica Hispanica* 19/2: 105-116
- KAUFFMAN, E. G. y HAZEL, J. E., (eds) 1977: *Concepts and Methods of Biostratigraphy*. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. 658 pp.
- McCALL, P. L., MATISOFF, G. y TEVESZ, M. J. S., 1986: The effects of a unionid bivalve on the physical, chemical and microbial properties of cohesive sediments from Lake Erie. *American Journal of Science* 286: 127-159.
- NEALSON, K. H. y MYERS, C. R., 1990: Iron reduction by bacteria: a potential role in the genesis of Banded Iron Formations. *American Journal of Science* 290-A: 35-45.
- PHILIP, J., 1989: Biosédimentologie. *Bulletin de la Société Géologique de France* (8) 5/6: 1171-1172.
- REGUANT, S., 1967 - El Eoceno marino de Vic (Barcelona). *Memorias del Instituto Geológico y Minero de España* 68: 350 pp.
- REGUANT, S. 1975 - On the content of Biostratigraphy as a science. *Geology* 3/5: 231.
- REGUANT, S. 1981 - Inaugural adress. The concept of biostratigraphy: the viewpoint of a stratigrapher. *Acta Geologica Hispanica*. «Concept and method in Paleontology» 16/1-2: 3-5.
- ROUX, M., BOUSEAU, J.-P., BAS, T., DUMONT, T., GRACIANSKY, P.-Ch., LEMOINE, M. y RUDKIEWICZ, J.-L., 1988: Bathymetric evolution of the Tethyan margin in the western Alps (data from stalked crinoids): a reappraisal of eustatism problems during the Jurassic. *Bulletin de la Soc. Géol. France* (8) 4/4: 633-641.
- SERRA-KIEL, J. y REGUANT, S. 1984: Paleoecological conditions and morphological variation in monospecific banks of *Nummulites*: an example. *Benthos'83: 2nd Int. Symp. Benthic Foraminifera (Pau, April 1983)*: 557-563.
- SERRA-KIEL, J. y REGUANT, S., 1990: Biofaciès de plate-forme aphotique silico-clastique avec bryozoaires et spongiaires (Eocène moyen, secteur oriental du Bassin sud-pyrénéen). *Géobios* 24/1 (in press).
- VIRGILI, C., 1979: Interrupciones sedimentarias y paleoalteraciones. *Acta Geologica Hispanica*. «Homenatge a Lluís Solé i Sabarís» 14: 185-189.
- YEBENES, A. y DIAZ-MOLINA, M., 1989: Interés de la Paleontología en el análisis de cuencas. (In E. Aguirre ed., *Paleontología*. C.S.I.C., Madrid: 237-258).

* Este trabajo ha sido subvencionado parcialmente por el Proyecto PB 88-0389-(CO2) (1190-1992)

Nota del Editor:

Este trabajo corresponde a la transcripción íntegra de la Conferencia Invitada que se impartió durante la celebración del I Congreso del Grupo Español del Terciario, celebrado en Vic en 1991.