

ACONTECIMIENTOS (“EVENTOS”) PALEOBIOLÓGICOS Y TEORÍA DE CATÁSTROFES

Leandro SEQUEIROS

I.C.E. Universidad de Córdoba.
Apartado 5003. 14080 Córdoba.

ABSTRACT

Seilacher (1982) has defined the *events* as “rare” but common phenomena in Geology superposed to normal ones. The word *event* has been used frequently in the titles of PICG/IUGS projects (UNESCO): 199 (Rare Events in Geology) and 216 (Global Biological Events in Earth History).

In the field Biostratigraphy of the word *bioevent* has been widely used (Wallister, 1986, Vera, 1990); it has a more objective connotation than “biological crisis”.

An epistemological approach to this problem is suggested from the Catastrophy Theory, a kind of mathematical/topological language proposed to describe and grade the apparently discontinuous natural phenomena. Thom has defined seven surfaces of equilibrium by topological analysis, describing the natural processes. “Cusp Catastrophies” apparently represent the most adequate model to explain the behaviour of palaeobiological events as interpreted by palaeontologists.

Keywords: Events, Rare Events, Catastrophe, Crises, Singularities.

RESUMEN

Seilacher (1982) ha definido los *acontecimientos (eventos)* como fenómenos “raros”, pero geológicamente comunes, que se superponen a los fenómenos normales. El término *evento* (event en inglés) se ha utilizado reiteradamente en los títulos de proyectos de investigación del PICG/IGCP que patrocina la UNESCO. Así, los proyectos 199 (Rare Events in Geology) y 216 (Global Biological Events in Earth History).

En el campo de la bioestratigrafía, al término *bioevento* (acontecimiento biológico) está ampliamente introducido (Wallister, 1986; Vera, 1990), y pretende contener un significado más objetivo que el de “crisis biológica”.

Un acercamiento epistemológico a esta problemática puede realizarse desde la Teoría de Catástrofes, un lenguaje matemático/topológico para describir y clasificar los fenómenos naturales aparentemente discontinuos. A partir de análisis topológicos, Thom define siete tipos de superficies de equilibrio que describen los procesos de la naturaleza. La llamada “catástrofe en cúspide” nos parece el modelo más adecuado para explicar la conducta de los eventos paleobiológicos, tal como son interpretados por los paleontólogos.

Palabras clave: Eventos, Acontecimientos raros, catástrofes, crisis, singularidades.

INTRODUCCIÓN

En la literatura paleontológica se leen expresiones como ésta: “Los dinosaurios sufrieron una *extinción* masiva al final de la era Secundaria”; “el *evento* de la transición Jurásico-Cretácico”; “los ammonoideos entran en *crisis* al final del Mesozoico”...

Extinciones, crisis biológicas, catástrofes geológicas, eventos... son términos ampliamente repetidos por la bibliografía. Es significativo recoger los títulos de los artículos publicados en *Paleobiology* a lo largo de los diez últimos años y también el **citation index** de paleobiología tras la aparición del trabajo de Álvarez *et al.* (1980).

Muchos de estos términos se incluyen hoy bajo un concepto que va tomando fuerza y que incluye otros muchos. Sin embargo, los paleontólogos —influidos sin

duda por la corriente “realista” en boga en los años pasados— apenas han concedido espacio en su reflexión a la epistemología subyacente a tales formulaciones.

En concreto, faltan reflexiones sobre qué tipo de realidad se quiere significar al utilizar los conceptos de extinción, crisis biológica, catástrofe, evento. ¿Tienen existencia **real** esos fenómenos tal y como son descritos por los paleontólogos? ¿Qué tipo de correlación existe entre la realidad del como es percibida y su interpretación?

Entre una posición epistemológica **realista** (que supone que el conocimiento se apodera conceptualmente de la realidad) y una posición **idealista** (que supone que el objeto es simplemente la proyección mental de las estructuras cognoscitivas influidas por la cultura, y que por tanto los conocimientos no tienen ningún valor co-

mo referencia a un objeto), ¿existe una tercera posibilidad?. En otro lugar, y a partir de la Tafonomía, he presentado la viabilidad de una interpretación basada en una epistemología **constructivista**, de corte dialéctico, más en consonancia con las modernas teorías del aprendizaje y del conocimiento (Sequeiros, 1990).

REGISTRO GEOLÓGICO DE LOS EVENTOS

En el trabajo geológico habitual los geólogos reconocen e identifican gran cantidad de “singularidades” (Stewart, 1990). Tales “singularidades” afectan a cambios en el ritmo de sedimentación, en la densidad de acumulación de organismos, en cambios de composición de los materiales, etc. Se puede decir que el registro geológico se presenta como un complejo sistema de “singularidades”.

En el lenguaje geobiológico se ha introducido el concepto de **acontecimiento biológico** (bioevento) para identificar las *singularidades* interpretadas a partir de las entidades registradas (Fernández-López, 1986). Con frecuencia se utilizan inexactitudes en la aplicación del contenido epistemológico del término. Un evento no implica un correlato real con un acontecimiento geobiológico. En modo alguno indica necesariamente un cambio brusco en las poblaciones de organismos que conocemos a partir del registro fósil. Es necesario, por parte del paleontólogo ser extremadamente cauto en extrapolar en el tiempo las observaciones.

La palabra **acontecimiento** (event, en inglés) se ha empleado reiteradamente en los nombres de proyectos de investigación del Programa Internacional de Correlación Geológica (PICG/IGCP) que patrocina la UNESCO. Así, los proyectos 199 (**Rare events in Geology**) y 216 (**Global biological Events in Earth History**) tienen como objetivo (Vera, 1990) el estudio de los propios eventos, sus causas, efectos y criterios de reconocimiento. Otros cuatro proyectos de este mismo programa se dedican a eventos concretos (proyecto 58: Cretácico medio; el 117 al límite Mioceno-Plioceno; el 174, al límite Eoceno-Oligoceno, y el 203 al límite Pérmico-Triásico).

Seilacher (1982) ha definido los “eventos” como los **acontecimientos raros** (rare events), pero geológicamente comunes, que se superponen a los fenómenos normales. El mismo autor diferencia entre los acontecimientos **raros** que afectan a una región concreta, como una cuenca sedimentaria (tormentas, inundaciones, corrientes de turbidez, erupciones volcánicas, etc.) y los **muy raros** que son de mayor envergadura, normalmente de escala global (cambios climáticos, cambios del nivel del mar, impactos de grandes meteoritos, etc.).

En el campo de la Paleontología el término **bioevento** está ampliamente introducido (Wallister, 1986). Como indica Vera (1990) se alude con la palabra bioevento a los fenómenos singulares reflejados en las sucesio-

nes estratigráficas como las extinciones masivas que contrastan con los episodios de extinción normal. Sin embargo, el término bioevento (o evento biológico en la terminología de Pomerol (1984), define aspectos más amplios del registro geológico relacionados con incidencias biológicas. No entramos aquí en la compleja problemática suscitada por la aplicación del término bioevento al registro geológico y su interpretación (Wallister, 1986; Kauffman, 1986, 1988). En este trabajo lo emplearemos en el sentido más amplio y por ello hemos preferido —para diferenciarlos y especificar su referencia paleontológica— utilizar el término **eventos paleobiológicos**.

El término **evento paleobiológico** que utilizamos en este trabajo comporta una cierta ambigüedad, por cuanto un evento es un fenómeno (en el sentido realista de Seilacher, 1982), mientras que el término paleobiológico se refiere a la interpretación, a través de los esquemas cognitivos, de un conjunto de datos que se configuran en la mente del investigador siguiendo la lógica interna del sistema. Así como sí es posible observar, medir y estudiar un evento biológico cuando está sucediéndose, la paleobiología no puede recuperar el pasado sino de una forma analógica, dado que el tiempo es irreversible (Coveney, 1989). Siguiendo una metodología científica que tenga en cuenta las limitaciones del registro geológico, las limitaciones de la recogida de información, las alteraciones tafonómicas del sistema y el nivel de resolución del instrumento de observación, se pueden reconocer las **singularidades** paleobiológicas (eventos).

APROXIMACIÓN EPISTEMOLÓGICA

Lo anteriormente expuesto lleva a presentar unas consideraciones sobre el estatuto de realidad de los eventos paleobiológicos y qué se quiere expresar con este término. En las ciencias experimentales, y en las geobiológicas en particular, se está comenzando a suscitar la problemática epistemológica. Los paleobiólogos se preguntan (Sequeiros, 1990): ¿qué tipo de conocimiento suministra el registro paleontológico? ¿qué validez tienen los datos suministrados por el registro para inferir conclusiones concluyentes sobre los fenómenos físicos, químicos y biológicos del pasado? ¿No se ha abusado de un exceso de ligereza al extrapolar directamente sin haber realizado previamente un análisis tafonómico minucioso?

Dos breves indicaciones nos parecen de interés en este punto. La primera de ellas se refiere al grado de adecuación con la realidad que existe siempre en una afirmación paleobiológica. La paleobiología no es simplemente la biología del pasado. Entre el fenómeno biológico que se observa y la interpretación científica que se realiza de él existe un número limitado de mediaciones. Sin embargo, entre el registro fósil y la interpretación paleobiológica se establecen una compleja serie de

mediaciones que han quedado registradas en el sistema a lo largo del tiempo, y de las que se ocupa la Tafonomía.

El estudio tafonómico del Registro Fósil permitirá discernir qué elementos *postmortem* han alterado, duplicado, sustituido o hecho desaparecer la información biológica recuperada. En este sentido, se debe afirmar que no existen eventos paleobiológicos en un sentido estricto del término, y sólo se puede utilizar de un modo alegórico.

La segunda indicación se refiere a la relación entre la percepción que el investigador realiza y describe hoy de una "singularidad" y su escala real de tiempo. En biología, el investigador trabaja en escala real de tiempo y espacio. Respecto a ella es capaz de estructurar sus observaciones y situarlas en la "escala adecuada". Para ello utiliza los instrumentos científicos que le permitan observar y estudiar los fenómenos con un poder de resolución previamente establecido. Así, al utilizar un microscopio óptico sabe cuáles son sus limitaciones y por ello se propone realizar unas observaciones dentro del poder de resolución del mismo. Para estudios de la membrana celular sabe que necesitará un instrumental más sofisticado que le permita una mejor observación.

Pero en el estudio del Registro Fósil, el paleontólogo nunca trabaja a escala real de espacio y tiempo. Los datos y la información obtenida difícilmente pueden observarse dentro de sus propias coordenadas espacio-temporales. Escapan de ellas. Unos pocos centímetros de roca pueden albergar informaciones procedentes de lapsos de tiempo de muchos millones de años y eventos que tuvieron lugar en puntos geográficos distintos y que posteriormente han quedado registrados conjuntamente (Smith, 1988).

Un ejemplo sencillo puede ser significativo para entender lo que pretendemos decir: los estudios realizados por los paleontólogos muestran que la extinción de los dinosaurios fué un proceso de varios millones de años. ¿Qué sentido tiene decir que es una extinción masiva? Evidentemente se trata de una observación a la que se aplica el concepto de **evento** al relacionarla con los cientos de millones de años que duró la radiación evolutiva de los dinosaurios.

Un fenómeno podrá ser captado como evento alocíclico global o no en función de las dos variables citadas: el poder de resolución del instrumento observacional utilizado y la magnitud/duración del proceso considerado como evento en relación con el tiempo/espacio total de todo el proceso. Así, la extinción de los dinosaurios es difícilmente considerable como evento si lo que estamos estudiando mediante una estratigrafía de alta resolución es una sucesión geológica local con episodios rocosos milimétricos o centimétricos. También se nos escapa cuando se considera la edad global del universo, y la unidad de tiempo mínima es de mil millones de años. El evento de extinción de dinosaurios se hace imperceptible. Escapa al poder de resolución y también a la magnitud en relación con la totalidad del proceso.

LA TEORÍA DE CATÁSTROFES

Un acercamiento epistemológico a los eventos paleobiológicos puede hacerse desde la Teoría de Catástrofes. Esta es "una nueva forma, polémica, de pensar el cambio: cambio en un curso de acontecimientos, cambio en la forma de un objeto, cambio en el comportamiento de un sistema, cambio en las ideas mismas" (Woodcock y Davis, 1986).

La teoría de catástrofes es polémica, porque supone que las matemáticas tradicionales son capaces de describir solo un aspecto de los procesos: el cambio procesual *suave, gradual y continuo*. Pero hay otro tipo de cambio, el que podría denominarse *repentino, intermitente y discontinuo*. En este grupo podrían incluirse fenómenos frecuentes en la naturaleza, como la explosión de una burbuja, la fractura de la pieza de una máquina, las crisis biológicas, los acontecimientos geobiológicos, etc.

La *Teoría de Catástrofes* es un lenguaje matemático creado para describir y clasificar este tipo de procesos irreversibles que llegan a nosotros en el registro geológicos e interpretados como acontecimientos "singulares" discontinuos (Zeemann, 1977).

El creador de la Teoría de Catástrofes, hombre polémico en muchos aspectos de su vida, es el profesor René Thom, del Instituto de Alto Estudios Científicos de Francia.

A partir de análisis topológicos, Thom define diversos tipos de *superficies de equilibrio* que representan geoméricamente diversos procesos de la naturaleza. "Casi cualquier proceso natural exhibe algún tipo de regularidad local... que le permite a uno distinguir elementos recurrentes identificables denominados con palabras. De otro modo, el proceso sería enteramente caótico y no habría nada de lo que hablar" —escribe el mismo Thom (1968).

Estos *elementos recurrentes identificables* poseen la propiedad que Thom llama *estabilidad estructural*. Sus rasgos cualitativos son recurrentes, a pesar de que las circunstancias que dan lugar a esos rasgos no son nunca exactamente las mismas en términos cuantitativos. Como señala Thom (1968) toda la ciencia se basa en la suposición implícita de la estabilidad estructural.

El objetivo de Thom es describir el origen de formas, lo que él denomina la *morfogénesis*, tomando la palabra de los griegos y de los biólogos de la forma. Para hacerlo ha creado un lenguaje matemático —la Teoría de Catástrofes— que presupone la hipótesis de la estabilidad estructural.

Las catástrofes elementales.

Una *catástrofe*, en el sentido amplísimo que Thom le da al término, es cualquier transición discontinua que ocurre cuando un sistema (en el sentido de la Teoría General de los sistemas de von Bertalanffy, 1978) puede tener más de un estado estable o cuando puede seguir más de un curso estable de cambio. La catástrofe

es el aparente "salto" de un estado o curso a otro. En el paisaje imaginado por Waddington (de Renzi, 1987) podría representarse como el paso de un objeto de una cuenca a otra.

Thom denomina *catástrofes elementales* a los modelos más sencillos explicativos topológicamente de lo que son las transiciones discontinuas en la naturaleza. Define siete modelos diferentes que pueden ilustrarse con gráficos que muestran los estados estables como conjuntos de puntos, líneas y superficies que definen un *espacio de conducta*. Mientras el sistema "ocupe" uno de esos puntos de equilibrio, su conducta es continua. Pero cuando abandona la línea o la superficie de equilibrio es inestable y debe regresar, a veces, a un punto distante del punto inicial.

La catástrofe en cúspide de los eventos paleobiológicos.

Se ha elegido para la representación de los eventos inferidos a partir del estudio de los sistemas tafonómicos el modelo denominado por Thom *en cúspide*. El modelo topológico de equilibrio define el comportamiento de un sistema cuya conducta depende de dos factores de control.

Su expresión gráfica (fig. 1) es tridimensional y consiste en una superficie curva con una flexura. Cada punto de la superficie representa un estado de equilibrio. Todos los puntos de la cara inferior de la flexura son máximos inestables. Todos los puntos a lo largo de la línea de pliegue, que forma el labio sobre la flexura, son puntos semiestables de inflexión.

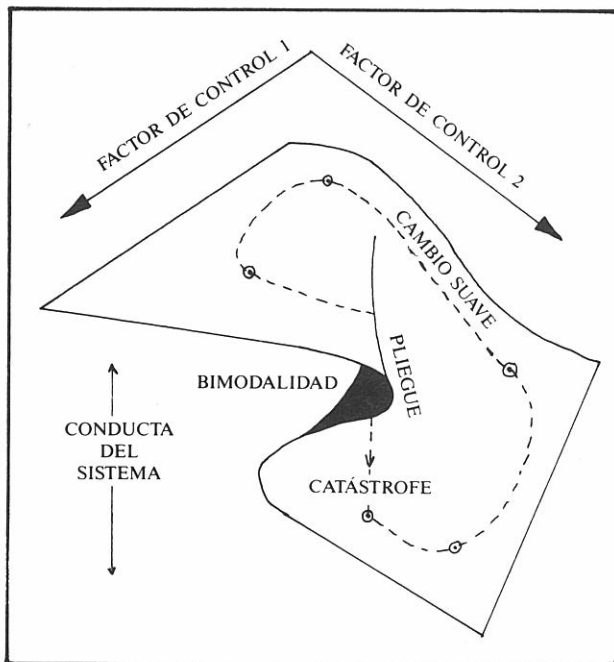


Figura 1. Modelo de Catástrofe en Cúspide para la interpretación de los Acontecimientos (eventos) paleobiológicos. Como factores de control 1 y 2 se proponen la *agudeza* (nivel de resolución de las observaciones) y la *perfección* (representatividad de la información registrada).

Imaginemos que las condiciones van cambiando con el tiempo (tal como sucede con los sistemas dinámicos geobiológicos), de modo que cambia la conducta del sistema. Esta expresión gráfica sugiere la existencia de cambios *discontinuos* cuando un punto se mueve por la superficie estable y llega al labio de la flexura.

MODELO BASADO EN CATÁSTROFES EN CÚSPIDE PARA EVENTOS PALEOBIOLÓGICOS

Para analizar desde la Teoría de Catástrofes los Eventos Paleobiológicos hemos elegido como elementos de control la **agudeza microstratigráfica** (microstratigraphic acuity) (Schindel, 1982) y la **perfección estratigráfica** (stratigraphic completeness) (Schindel, 1982).

En otro lugar hemos definido la **Agudeza** (Sequeiros y González-Donoso, 1989) como el intervalo de tiempo representado en cada muestra. Expresa el intervalo que separa en una sucesión geobiológica dos acontecimientos de referencia. (Por ejemplo, el tiempo transcurrido desde la extinción de los corales rugosos del paleozoico y la aparición de los escleractinarios del mesozoico, el período de tiempo durante el que vivieron determinadas familias/géneros/especies de ammonioides del Jurásico, la duración de una biozona o de un horizonte...).

La agudeza depende de la cantidad de información almacenada en el registro (es decir, su **perfección**) y también de la representatividad que el muestreo realizado tenga para obtener el máximo de información. Evidentemente, según los objetivos que se pretendan conseguir en un trabajo paleobiológico un registro geológico será más o menos completo (siempre habrá limitaciones en el poder de resolución del registro) y el muestreo científico será más o menos completo).

De este modo se puede establecer para cualquier proceso paleobiológico una agudeza **máxima** y una agudeza **mínima**, umbrales libremente elegidos por el observador del equilibrio del sistema.

Una comparación puede clarificar este concepto: cuando se fotografía la realidad desde un satélite geostacionario mediante un instrumento provisto de un potente zoom, la agudeza de los detalles que se observan en los objetos depende de forma total de los umbrales máximos y mínimos elegidos.

En paleobiología, la agudeza del registro fósil y/o estratigráfico para un trabajo de geología general no tiene que ser tan precisa como para un trabajo paleoecológico, que exige observaciones milimétricas. Por tanto, desde un punto de vista metodológico el investigador siempre debe acotar en un registro geológico dado cuáles son los límites máximo y mínimo de agudeza, y por tanto qué limitaciones tendrá en la obtención de información. En una secuencia geológica en la que puede recogerse información paleobiológica nivel a nivel —siendo niveles centimétricos— durante muchos metros, la agudeza paleobiológica de la información po-

tencial es mucho mayor que en una secuencia mal estratificada y/o estéril y de la que solo se pueda obtener una información discontinua.

La recuperación de la información relativa a un evento paleobiológico registrado en las rocas depende, en primer lugar, de la agudeza de ese registro estratigráfico.

La **perfección estratigráfica** expresa la proporción del tiempo abarcado por cada secuencia que corresponde a depósito. La **perfección estratigráfica** se mide por la relación entre el intervalo de tiempo que tardaría en depositarse la secuencia estimado en función de velocidades de sedimentación (Vera, 1989) y el intervalo de tiempo que tardó *realmente* en depositarse.

La **perfección estratigráfica** de una secuencia dependerá del intervalo de tiempo que se escoja para estimarla, esto es, del **nivel de resolución** elegido. Así, una secuencia que muestra una perfección cercana al 100% a un nivel de resolución de 100.000 años, puede bajar a un porcentaje del orden del 10% al nivel de resolución de 100 años.

Las conceptualizaciones de Schindel (1982) y Behrensmeier y Schindel (1983) se refieren a estudios sobre niveles de resolución de secuencias de rocas sedimentarias. Pero en un ámbito más amplio podrían aplicarse también a los eventos paleobiológicos. La elección de un determinado nivel de resolución en la escala del tiempo en la observación, medida y cuantificación de los procesos considerados paleobiológicos condiciona de modo importante el tipo de conclusiones que se deduzcan de las observaciones.

En la caracterización de la **perfección** referida a los eventos paleobiológicos es operativo acudir al concepto simpsoniano de **tempo** (ritmo). En el estudio de eventos paleobiológicos será necesario diferenciar dos tipos de ritmos; el **ritmo sedimentológico** y el **ritmo biológico**. La evolución de los dinosaurios muestra un cambio notable de ritmo evolutivo (biológico) al final de la Era Secundaria: decrece el número de taxones (diversidad) y el número de ejemplares (cantidad). Ahora bien: ese cambio de ritmo llega hasta nosotros a través del registro geológico, en el cual existe también un cambio de ritmo sedimentológico: las velocidades de sedimentación alteran la acumulación regular de sedimentos.

El paleobiólogo accede a la información contenida en el registro geológico y debe tener muy presente que ésta está cruzada por la inferencia de un doble ritmo: el ritmo sedimentológico y el ritmo biológico. En este sentido, el estudio sedimentológico y tafonómico de las secuencias fosilíferas se hace necesario por cuanto el cambio de ritmo estratigráfico puede introducir la inferencia en el sistema biológico de importantes distorsiones y "ruidos".

Un ejemplo puede servirnos para clarificar el sentido en que lo utilizamos. En un cuadro impresionista intervienen dos elementos textuales: el número de pinceladas por unidad de superficie y las dimensiones de la figura representada en el cuadro. Para una figura muy pequeña, será necesaria una mayor densidad de pin-

ladas para que la "gestalt" del diseño sea perceptible. Una figura muy grande (y que se observa desde mayor distancia) tendrá evidentemente un número alto de pinceladas pero la densidad de las mismas no necesita ser tan grande. Nuestra percepción "sustituye" los huecos presentes en la tela y recoge el conjunto del diseño. Pero hasta ahora hemos utilizado siempre conceptos relacionales (número más alto/más bajo). Sus dimensiones dependen, en última instancia, del tamaño total del cuadro que el artista ha elegido. El tamaño de las figuras y el número de pinceladas por unidad de superficie están en función del tamaño total del cuadro.

De modo semejante, en el registro geológico, el conjunto de la información paleobiológica suministrada, y en especial la información referente a secuencias breves de cambio en el ritmo biológico (una figura pequeña o un "detalle" del cuadro) exige para su correcta interpretación una mayor densidad de pinceladas.

CONCLUSIONES

Puede, por tanto, concluirse que la percepción o no de una singularidad o acontecimiento paleobiológico depende de la representatividad de la información que llega en relación al proceso registrado y del nivel de resolución elegido para acceder a la realidad del fenómeno. En función de estos elementos —tal como pueden ser descritos en la teoría de Catástrofes— un sistema registrado puede interpretarse simultáneamente como "singularidad" (acontecimiento o evento paleobiológico) y como proceso continuo. Desde la epistemología constructivista (Sequeiros, 1990), puede afirmarse que los acontecimientos paleobiológicos no tienen existencia por sí mismos independientemente del observador y los umbrales de resolución de las observaciones.

AGRADECIMIENTOS

A los Dres. José María González-Donoso, Juan A. Vera y Sixto Fernández-López por sus valiosas aportaciones a la mejora del texto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, L.W.; Álvarez, W.; Asaro, F. y Michel, H.V. 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, vol. 208, 1.095-1.110.
- Behrensmeier, A.K. y Schindel, D. 1983. Resolving time in Palaeobiology. *Paleobiology*, USA, 9(1), 1-8.
- Bertalanffy, L. von 1978. *Perspectivas de la Teoría General de Sistemas*. Alianza Universidad, 230, 166.
- Conveney, P.V. 1989. La irreversibilidad del tiempo. *Mundo Científico*, Barcelona, vol. 9 (90), 392-400.
- De Renzi, M. 1987. What happen after extinction? *Palaeont. and Evolution: Extinction Events*, Rev. Españ. Paleontol., Extra III Jorn. Paleot., Leioa.

- Fernández-López, S. 1982. La evolución tafonómica (un planteamiento neodarwinista). *Bol. Real Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.)*, Madrid, vol. 79, 243-254.
- Fernández-López, S. 1984. Nuevas perspectivas de la Tafonomía evolutiva: Tafosistemas y Asociaciones Conservadas. *Estud. Geol.*, Madrid, vol. 40, 215-224.
- Fernández-López, S. 1985. Séquences sédimentaires et séquences taphonomiques. *Strata*, Toulouse, vol. 2, 116-122.
- Fernández-López, S. 1986. Sucesiones paleobiológicas y sucesiones registráticas (nuevos conceptos paleontológicos). *Rev. Españ. Paleont.*, vol. 1, 29-45.
- Fernández-López, S. 1989. La materia fósil: una concepción dinamicista de los fósiles. En: E. Aguirre coord., *Paleontología. Nuevas Tendencias*, CSIC, Madrid, 25-45.
- Kauffman, E.G. 1986. High resolution and event stratigraphy: regional and global Cretaceous Bio-events. En: O. Wallister, edit. *Global bioevents*, Springer Verlag, Berlin, 279-335.
- Kauffman, E.G. 1988. Concepts and methods of high-resolution event stratigraphy. *Annual Rev. of Earth Planet. Sciences*, 16, 605-645.
- Kidwell, S. y Jablonski, D. 1983. Taphonomic feedback: geological consequences of shell accumulation. En: M.S. Tevesz y P.L. McCall, edit. *Biotic interactions in recent and fossil benthic Communities*, Plenum, NY., 195-248.
- Pomerol, C. 1984. Des "tempestites" aux "extraterrestres": Nature, durée, périodicité et intérêt des événements en stratigraphie. *Bull. Soc. Geol. France*, vol. 26, 1.165-1.169.
- Seilacher, A. 1982. General remarks about event deposits. En: G. Einsele y A. Seilacher, edit. *Cyclic and Event stratification*, Springer Verlag, Berlin, 161-174.
- Sequeiros, L. 1990. Estatuto epistemológico de la Tafonomía: I: Aproximación constructivista. En: Fernández-López, edit. *Tafonomía y Fossilización* (en prensa).
- Sequeiros y González-Donoso, J.M. 1989. Los ritmos evolutivos y su problemática biocronológica. En: E. Aguirre, coord. *Paleontología. Nuevas Tendencias*. CSIC, Madrid, 109-120.
- Smith, G.S. 1988. Gaps in the rock and fossil records and implications for the rate and mode of Evolution. *Journ. Geol.-Educ.*, vol. 36(3), 143-146.
- Stewart, I. 1990. Representación matematizada de las especies, de sus aptitudes y del curso de su evolución. *Invest. y Ciencia*, sept., 85-91.
- Thom, R. 1968. Modelos topológicos en biología. En: Waddington edit. *Hacia una biología teórica*. Traducc., 1976, Alianza Universidad, Madrid, n.º 156, 449-530.
- Vera, J.A. 1989. La sedimentación pelágica. En: A. Arche edit. *Sedimentología. Nuevas Tendencias*, CSIC, Madrid, 2, 179-257.
- Vera, J.A. 1990. *Estratigrafía y Geología de Eventos*. Discurso de ingreso en la Real Acad. de Ciencias Matem. Físicoq. y Naturales de Granada, 34 pp.
- Waddington, C.H. y otros 1976. *Hacia una biología teórica*. Alianza Universidad, 613 pp.
- Wallister, O.H. Lecture notes in Earth Sciences. Springer-Verlag, Berlin, 442 pp.
- Wallister, O.H. 1986. Towards a more critical approach to bioevents. En: O. Wallister, edit.: *Global bioevents*, Springer-Verlag, edit. 5-16.
- Woodstock, A. y Davis, M. 1986; *Teoría de Catástrofes*, Cátedra, Col. Teorema, 183 pp.
- Zeeman, E.C. 1977. *Catastrophe Theory. Selected Papers, 1972-1977*. Reading, Benjamin.