

Características texturales y variaciones morfológicas de los estromatolitos lacustres del Mioceno de la Sierra de Alcubierre (Cuenca del Ebro): Interpretación sedimentológica preliminar

Textural features and morphology variations of Miocene lacustrine stromatolites of the Sierra de Alcubierre (Cuenca del Ebro): preliminary sedimentological interpretation

L. Martín Bello¹, C. Arenas Abad¹, A.M. Alonso Zarza² y G. Pardo Tirapu¹

¹ Estratigrafía. Dpto. Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza. Calle Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza (España). lmartinb@unizar.es, carenas@unizar.es gpardo@unizar.es

² Dpto. Petrología y Geoquímica, Facultad de Geología, Universidad Complutense Madrid. Calle José Antonio Novais 12, 28040 Madrid (España). alonsoza@geo.ucm.es

Resumen: El registro lacustre mioceno del sector central de la Cuenca del Ebro contiene abundantes estromatolitos, en particular en la Sierra de Alcubierre. Los estromatolitos se asocian a facies de calizas (localmente dolomías) laminadas (con estratificación lenticular y wavy, estratificación cruzada hummocky y laminación horizontal). Ambas facies representan un contexto de lago salino somero con depósito de carbonatos. En la secuencia tipo de facies (ciclo de profundización-somerización), los estromatolitos se hallan tanto en la base de los depósitos que representan el inicio de un proceso de profundización, como entre depósitos que representan un proceso de somerización. En las dos situaciones se encuentran distintos tipos morfológicos de estromatolitos: cuerpos de pocos milímetros a 10 cm de espesor, biohermos y biostromos (hasta 30 cm de espesor). Las láminas son lisas; alternan láminas porosas y densas, tanto simples como compuestas, pero el patrón de variación textural no es simple ni único. Los biohermos y biostromos se desarrollan en condiciones más profundas y periodos de oleaje de buen tiempo más largos que los estromatolitos finos.

Palabras clave: estromatolitos, facies lacustres, Mioceno, Sierra de Alcubierre, Cuenca del Ebro.

Abstract: *The Miocene lacustrine record of the central Ebro Basin (Spain) encompasses abundant stromatolites, in particular in the Sierra de Alcubierre. The stromatolites are associated with laminated limestones (locally dolostones), with lenticular and wavy stratification, hummocky-cross stratification and horizontal lamination. Both facies represent a shallow saline lake context with carbonate deposition. In the type-facies sequence (deepening-shallowing cycle), the stromatolites occur both at the base of deposits that represent the beginning of a deepening process and through deposits that represent a shallowing process. In both settings, different morphological types of stromatolites are present: thin planar beds (mm to 10 cm thick), bioherms and biostromes (up to 30 cm thick). The laminae are smooth; alternating porous and dense laminae, single and composite; however, the textural pattern is neither simple or single. Bioherms and biostromes developed in deeper conditions and longer fair-weather periods than the planar stromatolites.*

Key words: stromatolites, lacustrine facies, Miocene, Sierra de Alcubierre, Ebro Basin.

INTRODUCCIÓN

Los estromatolitos son estructuras laminadas que se forman a partir de tapices microbianos desarrollados sobre sustratos fijos, tanto en ambientes marinos como continentales (Riding, 1991). Sus variaciones morfológicas se han relacionado principalmente con cambios en el espacio de acomodación y en las condiciones hidrodinámicas (Andres y Reid, 2006).

En el registro lacustre mioceno del sector central de la Cuenca del Ebro (Fig.1) son comunes los afloramientos de estromatolitos, en particular en la Sierra de Alcubierre. Arenas (1993) y Arenas et al. (1993) documentaron la distribución espacial y temporal de los estromatolitos e interpretaron su

asociación con otras facies lacustres en función de variaciones del nivel de agua. Sin embargo, la relación entre los tipos morfológicos de estromatolitos y su posición en las secuencias verticales de facies precisa un análisis más detallado. Por ello, el objetivo de este trabajo es caracterizar su textura y aportar información sobre el significado ambiental de las variaciones morfológicas de los estromatolitos.

CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO Y SEDIMENTOLÓGICO

En la Sierra de Alcubierre (Fig. 1), el registro del Mioceno inferior y medio constituye una sucesión de aproximadamente 630 m de espesor, en la que se han diferenciado tres unidades tectosedimentarias, UTS T5, T6 y T7 (Arenas, 1993; Arenas y Pardo, 1999). En este

sector, estas unidades están formadas por depósitos de carbonatos y sulfatos de origen lacustre (calizas, dolomías, yeso y margas), y depósitos aluviales distales (areniscas y lutitas) de procedencia pirenaica.

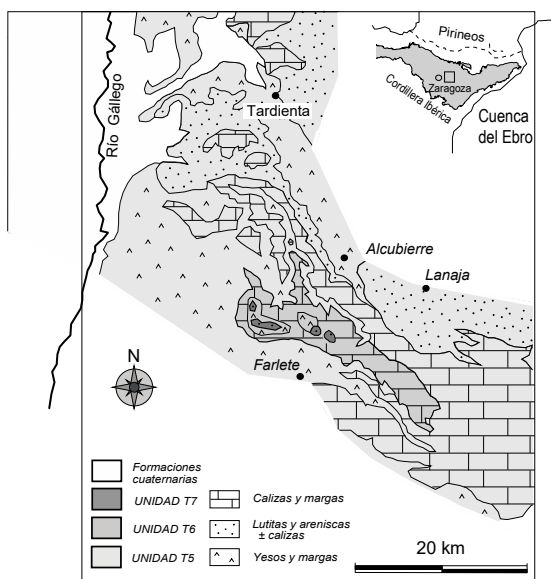


FIGURA 1. Mapa geológico de las unidades tectosedimentarias de la Sierra de Alcubierre y sus estribaciones (Arenas y Pardo, 1999).

Las facies de carbonatos lacustres son (Arenas y Pardo, 1999): margas (M), calizas y dolomías laminadas (Ll), estromatolitos (Ls), calizas bioclásticas masivas (Lm) y calizas bioturbadas (Lb). Se pueden distinguir diferentes subfacies teniendo en cuenta las estructuras sedimentarias, los componentes biológicos y las características pedogenéticas. Así, la facies Ll se subdivide en Ll.1 (con estratificación lenticular y wavy, incluyendo niveles tabulares de *packstones* y *rudstones* de 1 a 3 cm de espesor), Ll.2 (con estratificación cruzada *hummocky*, HCS, Fig. 2) y Ll.3 (con laminación paralela). La laminación de la facies Ll resulta de la presencia de láminas, niveles tabulares y lenticulas, de espesores submilimétricos a centímetros, formados por granos de tamaño arena (silíceos y carbonatados) en una matriz *mudstone*. Las facies de sulfatos incluyen yeso con *ripples* y laminación (Gr, Gl), nodular (Gn) y macrocristalino (Gm). Las facies siliciclásticas son areniscas y lutitas (Sm, Sr, St, Fm, Fl, según el código de Miall, 1978).

En el modelo de facies lacustre para el Mioceno del sector central de la Cuenca del Ebro se diferencian dos situaciones principales (Arenas y Pardo, 1999): 1) Nivel alto del lago, en el que se forman las facies Lb, Lm y M. La facies Lb representa una orla palustre. 2) Nivel bajo del lago, en el que se generan Gr, Gl y M. Las calizas (localmente dolomías) laminadas y estromatolíticas (facies Ll y Ls) se desarrollan en situaciones intermedias, durante oscilaciones del nivel lacustre entre las situaciones 1 y 2. Representan condiciones de lago salino. La composición de $\delta^{13}\text{C}$ y

$\delta^{18}\text{O}$ de las diversas facies de carbonatos apoya estas interpretaciones (Arenas et al., 1997).

METODOLOGÍA

Se ha realizado un análisis sedimentológico de detalle de 13 secciones estratigráficas que contienen estromatolitos levantadas en las unidades T5, T6 y T7 (correlacionadas por autocorrelación, Arenas, 1993). Dicho análisis comprende la realización de 40 columnas estratigráficas de detalle (a escala 1:10), esquemas de la geometría de los cuerpos estromatolíticos y recogida de muestras de estromatolitos y facies asociadas. En estas nuevas muestras se han realizado secciones pulidas, láminas delgadas y análisis de difracción de rayos X que, junto con las preparaciones y análisis ya existentes (de Arenas, 1993), se han utilizado para la caracterización de la estructura, textura y mineralogía. La DRX de las nuevas muestras se ha realizado con un difractor D-Max Rigaku (Servicio de Apoyo a la investigación de la Universidad de Zaragoza).

CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS

Según la geometría en afloramiento se diferencian tres tipos de estromatolitos (Ls), además de oncolitos. Estos tipos coinciden con los descritos por Arenas et al. (1993). El estudio de sus rasgos se ha realizado en detalle y se ha completado en nuevos afloramientos. Sus características se resumen como sigue:

1) Cuerpos finos (Ls.1), de pocos mm a 10 cm de espesor y de continuidad lateral variable. En función de la morfología de las láminas se diferencian: Ls.1a, con láminas semi-horizontales (Fig. 2); Ls.1b, con láminas suavemente onduladas; y Ls.1c, con láminas mameliformes, con sección semicircular, rómbica o rectangular. En planta, los ondulados y mameliformes muestran formas de circulares a oblongas; estas últimas con sus ejes largos paralelos.

2) Biohermos (Ls.2), con secciones de subsféricas a cóncavas, de 20 a 30 cm. Están constituidos por láminas que presentan un modelo de crecimiento columnar y pseudocolumnar. Algunos domos y columnas pueden estar separados por *mudstones* masivos y, a veces, por *packstones* y *rudstones* intraclásticos, incluyendo fragmentos estromatolíticos. Algunos biohermos culminan con pequeños domos.

3) Biostromos (Ls.3), de 20 a 30 cm de espesor y 10 a 30 m de longitud visible. Su sección es tabular. Suelen desarrollarse sobre Ls.1, primero con un crecimiento pseudocolumnar (2-5 cm de espesor) y después como domos y/o columnas (5-20 cm de espesor). Algunos biostromos se correlacionan a escala kilométrica.

4) Oncolitos (Lo), de 3 a 6 cm de diámetro. En sección son elípticos y su crecimiento es simétrico y

asimétrico. Los oncolitos son muy poco frecuentes y sólo aparecen en la base de algunos biohermos (Ls.2).

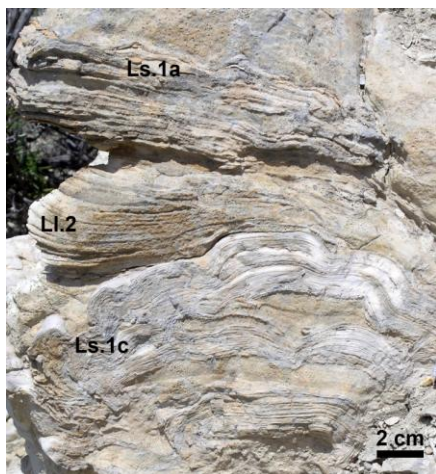


FIGURA 2. Aspecto de las facies Ls.1a, Ls.1c y Ll.2 en afloramiento.

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS

Los estromatolitos están compuestos de calcita principalmente, a excepción de algunos casos de la unidad T5 que contienen hasta un 60% de dolomita y hasta 10% de cuarzo detrítico (determinado en microscopio óptico y por DRX).

Las láminas de los estromatolitos son, en general, lisas y continuas, y forman domos y ondulaciones irregulares. Están formadas por micrita y microesparita. La laminación se distingue por diferencias en la porosidad de las láminas (Fig. 3).

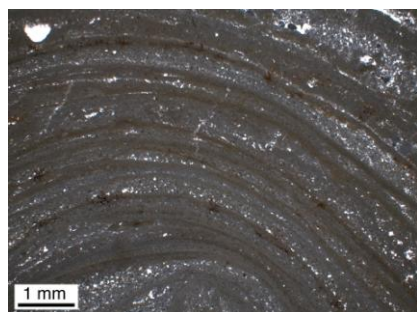


FIGURA 3. Laminación estromatolítica en microscopio óptico. Alternancia de láminas porosas y láminas densas compuestas.

Las láminas porosas presentan tonalidades más claras y espesores de entre 35 μm y 2 mm; su espesor decrece hacia los extremos de los domos. Las láminas densas, de tonalidad más oscura y espesores de entre 45 μm y 2,60 mm, generalmente son láminas compuestas, pues a su vez contienen láminas diferenciadas por variaciones de tonalidad y/o pequeños cambios de porosidad (láminas de 20 a 250 μm). En ambos tipos de láminas se reconocen cuerpos micríticos filamentosos dispersos, dispuestos subperpendicularmente a la laminación, que se interpretan como cianobacterianos. La laminación no

muestra un patrón repetitivo simple, por lo que su estudio requiere un análisis estadístico, apoyado también en datos geoquímicos. Por ello, es aventurado dar interpretaciones ambientales o temporales.

ASOCIACIONES VERTICALES DE FACIES: SIGNIFICADO SEDIMENTOLÓGICO DE LOS ESTROMATOLITOS

Las facies carbonatadas están organizadas en secuencias simples de 1 a 4 m de espesor. La secuencia caracterizada por la sucesión de facies Ls→Ll→M→Ll→Ls→Lm→Lb es una secuencia tipo completa, observada en campo, y representa un ciclo de profundización-somerización (Arenas, 1993). Existen muchas variaciones de esta secuencia que se deben a la falta de una o más facies. Los estromatolitos se encuentran tanto en la base de los depósitos que representan el comienzo de un proceso de profundización, como entre depósitos que representan un proceso de somerización, y en cada una de estas situaciones se encuentran distintos tipos morfológicos de estromatolitos (Fig. 4):

1) En la base de depósitos que representan un proceso de profundización (Fig. 4A):

El desarrollo de estromatolitos finos (Ls.1b y Ls.1c) sobre calizas bioturbadas (Lb) representa la primera colonización microbiana tras un período prolongado de exposición subaérea del ambiente palustre. Ambos tipos de estromatolitos están relacionados con fragmentos estromatolíticos (Ll.1). Se formarían en zonas marginales someras con cierta energía. Sobre ellos, el desarrollo de biohermos (Ls.2) representaría un pequeño incremento de profundidad. La formación posterior de Ll.2 (HCS) sugiere un aumento relativo de la profundidad ligado a períodos con dinámica de oleaje de tormentas (p. ej., Duke, 1985). Finalmente, las margas se asocian a una profundización mayor con expansión lacustre debida a un incremento de aportes al lago.

2) Asociados con depósitos que representan un proceso de somerización (Fig. 4B, C y D):

- Ls.1 y Ls.2 alternando con o en el techo de Ll.1 y Ll.3, en ocasiones asociados con Gn (Fig. 4B).
- Ls.1 seguido de Ls.3, pasando verticalmente a Ll.2 (Fig. 4C).
- Ls.1 y Ls.2 alternando con Ll.2, a veces tapizando superficies erosivas (Fig. 4D).

La mayoría de los estromatolitos finos (Ls.1) que alternan con calizas laminadas (Ll.1 y Ll.3) representan una somerización relativa tras el cese de los aportes que, principalmente como flujos laminares, dan lugar a la facies Ll.3 en zonas lacustres marginales y someras. El desarrollo de estromatolitos finos y biohermos (Ls.1 y Ls.2) sobre el techo de Ll.3 corresponde a situaciones muy someras, que incluso pueden llegar a la exposición subaérea, con crecimiento intersticial de minerales evaporíticos (Fig. 4B). La aparición de biohermos y

biostromos sobre estromatolitos finos y/o sobre *packstones* de fragmentos estromatolíticos (Ll.1) se interpreta como una profundización relativa. La asociación vertical de cualquiera de los tipos de estromatolitos con calizas con HCS y laminación paralela (Ll.2 y Ll.3) sugiere períodos de condiciones de oleaje de buen tiempo entre los períodos de oleaje de tormentas. La duración de los primeros estaría marcada por el tipo y espesor de los estromatolitos.

En las tres secuencias de somerización, las calizas bioclásticas masivas (Lm) suponen un aumento relativo de la profundidad en relación con la llegada de aportes y consiguiente dilución del agua del lago. El subsiguiente descenso llevaría a la expansión de las orlas palustres (Lb), con exposición subaérea de áreas extensas. Por lo tanto, las tres secuencias registran variaciones relativas del nivel lacustre y de la hidrodinámica.

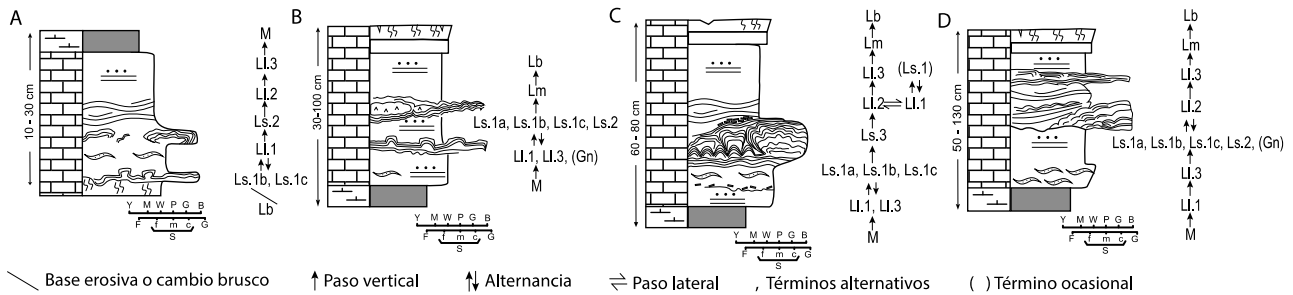


FIGURA 4. Asociaciones verticales de facies con estromatolitos distinguidas en la Sierra de Alcubierre.

CONCLUSIONES

Los distintos tipos de estromatolitos y calizas laminadas asociadas registran variaciones del nivel del agua y de la energía en un contexto lacustre salino con depósito de carbonatos.

En las secuencias de profundización, los estromatolitos finos representan la primera colonización microbiana tras un periodo de exposición subaérea. En general, los biohermos y biostromos se asocian a condiciones ligeramente más profundas y períodos de oleaje de buen tiempo más largos que los cuerpos estromatolíticos finos. Todos ellos representan situaciones de menor agitación y escaso aporte terrígeno respecto a las facies Ll.1, Ll.2 y Ll.3.

Las variaciones texturales y de espesor de la laminación son complejas y no pueden relacionarse directamente con un patrón de variación temporal único o simple. Se requiere un estudio más detallado (p. ej., periodicidad y composición geoquímica).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en el proyecto CGL2013-42867-P y un contrato de FPI (BES-2014-069389) del MINECO. Es una contribución del Grupo de Análisis de Cuencas Sedimentarias Continentales del Gobierno de Aragón-UNIZAR.

REFERENCIAS

Andres, M.S. y Reid, R.P. (2006): Growth morphologies of modern marine stromatolites: a

case study from Highborne Cay, Bahamas. *Sedimentary Geology*. 185: 319-328.

Arenas, C. (1993): *Sedimentología y paleogeografía del Terciario del margen pirenaico y sector central de la Cuenca del Ebro (zona aragonesa occidental)*. Tesis Doctoral, Univ. Zaragoza. 858 p. (Inédito).

Arenas, C., Casanova, J. y Pardo, G. (1997): Stable-isotope characterization of the Miocene lacustrine systems of Los Monegros (Ebro Basin, Spain): palaeogeographic and palaeoclimatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 128: 133-155.

Arenas, C., Pardo, G. y Casanova, J. (1993): Bacterial stromatolites in lacustrine Miocene deposits of the Ebro Basin (Aragón, Spain). *Studies on Fossil Benthic Algae*. F. Barattolo et al. (Eds). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, Spec. Vol. 1: 9-22.

Arenas, C. y Pardo, G. (1999): Latest Oligocene-Late Miocene lacustrine systems of the north-central part of the Ebro Basin (Spain): sedimentary facies model and palaeogeographic synthesis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 151: 127-148.

Duke, W.L. (1985): Hummocky cross-stratification, tropical hurricanes, and intense Winter storms: *Sedimentology*, 32: 167-194.

Miall, A. D. (Ed) (1978). *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 5, Calgary. 859 p.

Riding, P. (1991): Classification of microbial carbonates. En: *Calcareous Algae and Stromatolites* (R. Riding, Ed.), Springer-Verlag, Berlin, 21-51.

NORMAS DE PUBLICACIÓN EN GEO-TEMAS

1. Los trabajos, redactados en el idioma o idiomas aceptados oficialmente en la reunión científica de que se trate, tendrán una extensión máxima de 4 páginas y mínima de 2 páginas impresas, incluyéndose en el cómputo figuras, tablas y referencias bibliográficas. Una página impresa de GEO-TEMAS viene a contener unos 4.500 caracteres (letras y espacios entre palabras).
2. Los autores suministrarán los manuscritos mecanografiados a doble espacio y en tamaño 10 puntos, utilizando el tipo de letra Times, de acuerdo con lo expresado en la plantilla creada al efecto, que puede encontrarse en la página web de la Sociedad Geológica de España. Las figuras (incluyendo en ellas posibles fotografías) irán numeradas correlativamente y serán diseñadas de acuerdo con el tamaño de caja máximo (240 x 175 mm) de las páginas de GEO-TEMAS, que a su vez se subdivide en dos columnas. Los autores deben tener en cuenta las posibles reducciones de las figuras para adecuarse a dicho tamaño a la hora de elegir grosores de trazo de líneas, tamaño de rótulos y tramados. Si las figuras se suministran en color, los autores deben haber comprobado que la reproducción en gris de las mismas permite la distinción de los diferentes tonos. Las tablas se ordenarán también de forma correlativa y, de igual modo, los autores deberán cerciorarse de su legibilidad tras su reducción para la impresión final. Las figuras se numerarán con números arábigos, mientras que la numeración de las tablas se realizará en números romanos.
3. Los artículos se estructurarán según el siguiente orden de apartados:
 - a) Título en Español, si éste es el idioma correspondiente al texto del trabajo. Título en inglés (o en Español si el texto del trabajo va en inglés).
 - b) Autores: Nombre (iniciales), apellidos y dirección postal completa, incluyendo e-mail.
 - c) Resumen en Español (si éste es el idioma del texto principal). Dicho resumen deberá tener una extensión comprendida entre 150 y 200 palabras.
 - d) Palabras clave: máximo de 5 palabras clave en Español.
 - e) Resumen en inglés (Abstract). Con la misma extensión que el resumen en Español. Si el texto principal va en inglés, el orden de los Títulos, Resumen/Abstract y Palabras clave/Keywords, será inverso, de tal forma que se coloque en primer lugar la información que va en el idioma del texto principal.
 - f) Key words: máximo de 5 palabras clave en inglés.
 - g) Texto principal: En Español o en inglés, o excepcionalmente en otros idiomas relacionados con la temática del congreso. Debe incluir, como referencia general, un apartado de introducción / antecedentes, presentación resumida de datos y resultados, discusión de estos y conclusiones. La extensión dada a este texto principal es crítica en cuanto debe conformarse al espacio máximo permitido para la totalidad del artículo. Los títulos de apartados irán en letras mayúsculas negrita. Los títulos de subapartados irán en letras tipo oración negrita. Los títulos de apartados de tercer orden irán en letras tipo oración cursiva.
 - h) Agradecimientos: con extensión máxima de 3 líneas mecanografiadas.
 - i) Referencias: no deberán incluirse más de 10 referencias en cada artículo. Las referencias deberán ser listadas de acuerdo con el orden alfabético de los autores y contendrán toda la información editorial necesaria para su localización, incluyendo el título completo de cada trabajo referenciado (ver normas utilizadas en la Revista de la Sociedad Geológica de España).
4. Los trabajos aceptados serán entregados por los autores en formato electrónico. Se recomienda usar PC compatible o Macintosh y un procesador de textos de tipo compatible con Microsoft Word. Se ruega indicar siempre, en la etiqueta del archivo, la versión y programa utilizado. En caso de utilizar un procesador de textos diferente, se recomienda guardar los ficheros en formato RTF o ASCII. Los ficheros de imagen se facilitarán en los siguientes posibles tipos de formato: Adobe Illustrator, Free Hand, Corel Draw, PICT, TIFF o EPS.
5. Geo-Temas no se distribuye a todos los socios de la SGE, sino sólo a los inscritos en los congresos y no está contemplada la entrega de separatas de los artículos.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS TO PUBLISH IN GEO-TEMAS

1. The work may be written in the language or languages accepted officially at the scientific meeting concerned, will have a length 4 pages maximum and minimum of 2 printed pages, including in calculating figures, tables and bibliographical references. A printed page of GEO-TEMAS comes to about 4,500 characters (letters and spaces between words).
2. The authors will provide typewritten manuscripts double-spaced and in size 10 points, using font Times, in accordance with what was expressed in the template being created to the effect, which can be found on the website of the Geological Society of Spain. Figures (including possible photographs) shall be numbered consecutively and shall be designed in accordance with the maximum box size (240 x 175 mm) from the pages of GEO-TEMAS, which, in turn, is subdivided into two columns. Authors should take into account the possible reductions of the figures to conform to that size when choosing lines, labels size stroke weights and patterns. If figures are supplied in colour, authors should have checked their gray-tones version to be able a reproduction allowing the distinction of the different tones. Tables are sorted also consecutively and, similarly, authors should ensure its readability after its reduction for final printing. The figures will be numbered with Arabic numerals, while the numbering of the tables will be held in Roman numerals.
3. Articles will be structured according to the following order of sections:
 - a) Title in Spanish, if this is the appropriate text in the working language. Title, in English (or in Spanish, if the main text is written in English).
 - b) Authors: name (initial), last name and full postal address, including e-mail.
 - c) Resumen in Spanish (if this is the language of the main text). This summary should be an extension of between 150 and 200 words.
 - d) key words: maximum of 5 keywords in Spanish.
 - e) Summary in English (Abstract). It must have the same extension as the summary in Spanish. If the main text is in English, the order of titles, summary/Abstract and key words/Keywords, will reverse, so that place first of all the information that goes into the language of the main text.
 - f) Key words: maximum of 5 keywords in English.
 - g) Main text: in Spanish or English, or exceptionally in other languages related to the theme of the Congress. It must include, as a general reference, a paragraph of introduction / background, summary presentation of data and results, discussion and conclusions. The extension given to the main text is critical as it must conform to the maximum space allowed for the entirety of the article. The titles of sections shall be in bold capital letters. The titles of subsections shall be in letters bold sentence. The titles of sections of third order will go in letters italic sentence.
 - h) Acknowledgements: written in a maximum of 3 lines typed.
 - i) References: must not included more than 10 references in each article. References must be listed according to alphabetical order of authors and will contain all the information necessary editorial for its location, including the title complete each referenced work (see rules used in the journal of the Geological Society of Spain).
4. Accepted abstracts will be delivered by the authors in electronic format. Compatible PC or Macintosh and a type that is compatible with Microsoft Word text processor are recommended. Please indicate always, on the label of the file, the version and program used. In case of using a different word processor, it is recommended to save files in RTF or ASCII format. The image files will be given in the following possible types of format: Adobe Illustrator, Free Hand, Corel Draw, PICT, TIFF or EPS.
5. Geo-Temas is not distributed to all members of the SGE, but only to those enrolled in the congresses and the delivery of reprints of articles is not provided.