

## Los microfósiles y la Crisis de Salinidad del Mediterráneo como recurso didáctico en Ciencias de la Tierra

### *Microfossils and the Mediterranean Salinity Crisis as a didactic resource in Earth Sciences*

HUGO CORBÍ<sup>1</sup>, ALICE GIANNETTI<sup>1</sup>, JOSÉ FRANCISCO BAEZA-CARRATALÁ<sup>1</sup> Y SANTIAGO FALCES DELGADO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dpto. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, Apdo. 99, San Vicente del Raspeig, 03080, Alicante. hugo.corbi@ua.es; alice.giannetti@ua.es; jf.baeza@ua.es.

<sup>2</sup>IES Pascual Carrión, C/Félix Rodríguez de la Fuente S/N, 03630, Sax, Alicante. santifalc@gmail.com

**Resumen** El estudio de las disciplinas científicas resulta más atractivo si se acompaña de actividades de carácter práctico. En este trabajo se propone un taller cuya finalidad es introducir al alumnado en el trabajo científico que realizan los geólogos y paleontólogos a través de la información paleoambiental y bioestratigráfica que proporcionan los microfósiles y su aplicación a la Crisis de Salinidad del Messiniense. Este periodo es considerado como uno de los acontecimientos más relevantes de la historia geológica del Mediterráneo y se caracteriza por una acumulación masiva de evaporitas en el fondo de la cuenca, que se relaciona con la desecación y posterior reinundación del Mediterráneo hace aproximadamente cinco millones de años.

El taller consta de tres sesiones: una teórica, de introducción de los contenidos necesarios para el desarrollo de la actividad, para la que se proponen una serie de recursos bibliográficos y audiovisuales de libre acceso en internet; una práctica, de obtención de datos; y una final, de interpretación de los cambios paleoambientales que conlleva la presentación de los resultados en forma de artículo científico y posterior debate en el aula. Todos los datos necesarios para el desarrollo de la actividad se proporcionan en el presente artículo, si bien esta propuesta de taller queda abierta a las posibles modificaciones y mejoras que el profesorado considere oportunas.

Para vertebrar esta propuesta, en forma de ejemplo de aplicación, se ha incluido el taller en la programación de la asignatura Biología y Geología (4<sup>º</sup> ESO). La puesta a punto de este taller pone de manifiesto que resulta idóneo para el trabajo en grupo en el aula permitiendo que el alumnado se sienta partícipe de todas las fases que constituyen una investigación científica.

**Palabras clave:** Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, taller didáctico, micropaleontología, Foraminíferos, Crisis de Salinidad del Mediterráneo.

**Abstract** *The study of scientific topics is more interesting if theory is followed by practice. Through the activity herein presented students are introduced to the research carried out by geologists and palaeontologists by analysing microfossils. We propose an activity that, through biostratigraphic and paleoenvironmental information provided by microfossils, can help to understand one of the most significant events in the recent history of the Mediterranean Sea: the drying up and later refilling of the basin, an event that happened about five millions years ago.*

*The activities have been distributed in three sessions: a theoretical one, which introduces the basic concepts necessary for carrying out the activity through open-source articles and audiovisual material; a practical one, focused on data gathering, and a final one, when data are interpreted from a palaeoenvironmental standpoint and presented to the class, in the form of both scientific paper and oral discussion. All data needed for developing the activity are included in the present paper and references for the introduction of the theoretical concepts are proposed as well. It goes without saying that the proposed structure can be changed and improved according to the needs and experience of the teachers carrying out the activity.*

*This workshop has been carried out in the course of Biology and Geology (4th ESO, compulsory secondary education) and faced the students with the exciting possibility of personally participating in all the steps of a scientific research, from data gathering to interpretation and modeling of the results.*

**Keywords:** *Geoscience teaching, Didactic workshop, Micropaleontology, Foraminifers, Mediterranean Salinity Crisis.*

## INTRODUCCIÓN

A pesar de su reducido tamaño, los microfósiles son una importante fuente de información para cualquier tipo de estudio geológico o paleontológico. En particular, los foraminíferos y ostrácodos son especialmente útiles en estudios de datación bioestratigráfica y reconstrucción paleoambiental. Los foraminíferos, habitualmente denominados “forams” o apodados también “living sands” (Margulis y Brynes, 1999), son un grupo de organismos protozoos que fosilizan fácilmente debido a que la mayoría de ellos poseen un caparazón calcáreo. Por su parte, los ostrácodos son una clase de crustáceos de muy reducido tamaño que poseen un caparazón de dos valvas, también calcáreo. Estos dos grupos de organismos presentan las siguientes particularidades, que les confieren alto potencial científico: a) la mayoría poseen un caparazón de pequeño tamaño (0.1 mm - 1 cm); b) amplia distribución temporal, ya que se desarrollan desde el Cámbrico hasta la actualidad; y c) amplia distribución geográfica, puesto que pueden vivir en una gran variedad de ambientes marinos e incluso lagunares. Estas singularidades determinan que puedan encontrarse miles de ejemplares en una pequeña muestra de sedimento, lo que hace que estos grupos de organismos posean numerosas aplicaciones en investigación de Ciencias de la Tierra. Entre éstas aplicaciones destacan, por su relevancia, las siguientes: a) estudio del clima, en particular los cambios climáticos recientes durante el Cuaternario; b) indicadores de contaminación en medios marinos actuales; c) dataciones bioestratigráficas en materiales antiguos; y d) reconstrucción de paleoambientes complementando la información estratigráfica y sedimentológica.

Los foraminíferos pueden ser separados de los materiales que los incluyen mediante una técnica sencilla como el levigado para, a continuación, ser observados mediante lupa binocular (ver Caracuel et al., 2004 para descripción detallada del proceso de levigado). Todo ello les confiere un alto potencial como recurso didáctico en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra y ciencias frontera entre biología y geología como la paleobiología, paleoecología y ciencias medioambientales (Calonge et al., 2001). En el presente trabajo, se propone un taller que permite conjugar, con un ejemplo sencillo, prácticamente todas las aplicaciones didácticas derivadas del uso de los microfósiles (en particular los foraminíferos) en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. Las principales aplicaciones son las siguientes: a) el ciclo de vida, biología y morfología como introducción a los organismos unicelulares (Calonge et al., 2001); b) el procesado de las muestras mediante la técnica de levigado y manejo de la lupa binocular como introducción al laboratorio de Ciencias de la Tierra (Caracuel et al. 2004); c) aproximación a la taxonomía de los foraminíferos como introducción al concepto

de clasificación morfológica de los organismos; d) empleo en la datación de rocas (bioestratigrafía); y e) reconstrucción de los ambientes del pasado (Arenillas et al., 2000; Hippensteel, 2006).

La estratigrafía, una de las disciplinas que vertebran la geología, estudia las rocas sedimentarias y volcánicas que se depositan y apilan como capas o estratos. Esta disciplina engloba diferentes áreas especializadas, todas ellas interrelacionadas entre sí, como son el análisis de facies, litoestratigrafía, bioestratigrafía, cronoestratigrafía, magnetoestratigrafía, quimioestratigrafía, estratigrafía secuencial y análisis de cuencas. Asimismo, la estratigrafía enuncia unos principios básicos: uniformismo o actualismo, superposición de estratos y sucesión faunística, de modo que esta disciplina puede considerarse como la columna vertebral de la geología. La estratigrafía es por tanto, una disciplina fundamental, para reconstruir el origen y la evolución espacio-temporal de una cuenca sedimentaria. Dentro de esta rama de la geología, la “estratigrafía de eventos” permite reconocer y calibrar los diferentes eventos, entendidos como fenómenos geológicos poco usuales y episódicos, de corta duración, cuyo resultado puede ser identificado en el registro estratigráfico. De acuerdo con su origen, los eventos pueden clasificarse en diferentes categorías: cósmicos, magnéticos, tectónicos, sísmicos, volcánicos, climáticos, eustáticos, oceanográficos, paleobiológicos o bioeventos y sedimentológicos. El taller propuesto en este trabajo permite realizar una aproximación sencilla tanto a los principios básicos de la estratigrafía, como a los conceptos de bioestratigrafía y reconstrucción paleoambiental. La aplicación de estos principios a través de los materiales proporcionados (tablas de datos, recursos bibliográficos, etc) permite finalmente al alumnado reconstruir la historia geológica reciente de una cuenca sedimentaria, en este caso la mediterránea. Se ha elegido el evento de la “Crisis de Salinidad del Mediterráneo”, ya que el estudio de este singular acontecimiento permite trabajar diversos aspectos interconectados dentro de un “evento geológico” caracterizado por la desecación de una cuenca. Estos aspectos incluyen: a) causas tectónicas, responsables posiblemente del cese de las comunicaciones entre el océano Atlántico y Mediterráneo; b) cambio climático derivado del aislamiento de la cuenca mediterránea; c) cambios del nivel del mar como consecuencia de la desecación y reinundación de la cuenca; y d) cuestiones paleobiológicas, como la presencia de fósiles guía marcadores de edad de los distintos periodos.

En este trabajo se propone un taller planteado para los alumnos de ESO (desde el cuarto curso) y Bachillerato. Aunque no es el objetivo directo de este artículo, este taller también podría proponerse, con ciertas modificaciones, en los cursos de

enseñanzas universitarias (Grados de Ciencias del Mar, Ciencias Ambientales, Biología y Geología). En enseñanza secundaria, este taller puede incluirse como complemento docente en las asignaturas, no sólo de Geología o Ciencias de la Tierra, sino también en Ciencias Ambientales y Medio Ambiente, y en Ciencias para el Mundo Contemporáneo (o asignaturas equivalentes incluidas en los nuevos planes docentes de secundaria). Como se detalla en los siguientes apartados, el trabajo se centra en el análisis de las asociaciones de microfósiles siguiendo la metodología propuesta en una “Guía de actividades”, lo que permite reconstruir los principales cambios ambientales que afectaron el área del Mediterráneo hace unos cinco millones de años. Al finalizar el taller, el alumnado habrá aprendido de forma directa como se desarrollan todas las fases que constituyen un trabajo científico. Además, el taller propuesto resulta muy útil para introducir el tema de la Crisis de Salinidad del Messiniense, uno de los eventos más relevantes y estudiados en la historia geológica del Mediterráneo (para más detalles y referencias ver Soria, 2006). El taller se presta también a un trabajo de tipo transversal, que puede involucrar, además de a las Ciencias de la Tierra, a disciplinas biológicas en la introducción a los foraminíferos y ostrácodos, ahondar en el uso del método científico a través de la redacción del artículo científico, informática para el tratamiento de datos y preparación de presentaciones, así como, eventualmente, la asignaturas de lengua extranjera (inglés) para la elaboración de un resumen en inglés (abstract) que puede ser introducido al principio del informe.

## CONOCIMIENTOS PREVIOS

Este taller representa una buena ocasión para plantear un trabajo multidisciplinar en el ámbito de las ciencias de la naturaleza, donde abordar los siguientes conceptos teóricos: a) modo de vida y ecología de los foraminíferos bentónicos (que viven sobre el fondo marino) y planctónicos (que viven suspendidos en la columna de agua), así como de los ostrácodos (crustáceos microscópicos con el cuerpo encerrado en dos valvas y que pueden vivir en diversos ambientes tanto de agua dulce como salada); b) concepto de serie estratigráfica y principios básicos de la estratigrafía, en particular los de actualismo y superposición de los estratos; c) tipos de ambientes marinos: llanura abisal, talud, plataforma y laguna; d) datación mediante fósiles (bioestratigrafía); e) reconstrucción de paleoambientes marinos; f) escala del tiempo geológico mostrando especial atención a la era Cenozoica, en particular, a los periodos más recientes como el Neógeno y el Cuaternario; y g) principales eventos relacionados con la Crisis de Salinidad del Messiniense (desecación y reinundación del Mediterráneo). Para plantear e introducir estos temas en el aula se proponen los recursos didácticos expuestos en la tabla 1, todos ellos de libre acceso en internet.

## DATOS EXPERIMENTALES Y MATERIALES NECESARIOS

Para la realización de las actividades propuestas se proporcionan, por una parte, recursos didácticos de libre acceso en internet (tabla 1), así

| TIPO DE RECURSO DIDÁCTICO (AUTORES/PROCEDENCIA) |                        | ACCESO  | TEMÁTICA  |
|---|------------------------|---|---|
| Artículos/<br>Libros                            | Calonge et al., 2001   | Revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT). <a href="http://www.raco.cat/">http://www.raco.cat/</a>  | Introducción a los foraminíferos, modo y ciclo de vida y aplicaciones.  |
|   | Caracuel et al., 2004  |   | Propuesta de taller didáctico sobre la técnica de estudio de microfósiles (levigado) y su aplicación en reconstrucción de paleoambientes marinos.                 |
|   | Soria, 2006            |   | Introducción a la Crisis de Salinidad del Messiniense   |
|   | Arenillas et al., 2000 |   | Uso didáctico de los foraminíferos en la distribución paleogeográfica del tránsito Cretácico-Terciario.   |
|   | Corbí, 2010            | Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante. <a href="http://hdl.handle.net/10045/14976">http://hdl.handle.net/10045/14976</a>  | Tesis Doctoral. Síntesis de modo de vida, organización de las cámaras y aplicaciones. Catálogo de imágenes de los foraminíferos del Mioceno y Plioceno de España. |
|   | Pardo y Cámara, 2007   | <a href="http://zco1999.wordpress.com/2010/03/15/foraminiferos-los-legionarios-del-oceano-invisible/">http://zco1999.wordpress.com/2010/03/15/foraminiferos-los-legionarios-del-oceano-invisible/</a> | Artículo de divulgación para el gran público. Síntesis de modo de vida, paleoecología y aplicaciones de los foraminíferos.  |

Tabla 1.- Recursos didácticos (artículos, páginas web y videos), todos ellos de libre acceso en internet, sobre foraminíferos y ostrácodos: modo de vida, técnicas de estudio, aplicaciones y catálogos de imágenes. Se detallan también diversos recursos didácticos sobre la “Crisis de Salinidad del Mediterráneo”.

| TIPO DE RECURSO DIDÁCTICO<br>(AUTORES/PROCEDENCIA)                                   | ACCESO  | TEMÁTICA   |
|--|---|--|
| Tyszka, Setoyam, Topa, Cetean, Kaminski, 2001  | <a href="http://eforams.org/index.php/Main_Page">http://eforams.org/index.php/Main_Page</a>   | Plataforma en internet con multitud de recursos: publicaciones, glosario, técnicas micropaleontológicas, etc (en inglés).  |
| Snyder y Huber   | <a href="http://www.ucmp.berkeley.edu/fosrec/Snyder&amp;Huber.html">http://www.ucmp.berkeley.edu/fosrec/Snyder&amp;Huber.html</a>   | Técnicas de extracción y preparación de foraminíferos (en inglés)  |
| Darnton, 1995  | <a href="http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/indexmag.html?http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/artnov98/bdforam3.html">http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/indexmag.html?http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/artnov98/bdforam3.html</a> | Técnicas para coleccionar y almacenar foraminíferos.   |
| Hottinger, 2006.   | <a href="http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2006_M02/">http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2006_M02/</a>   | Glosario ilustrado sobre foraminíferos (en inglés).  |
| MIRACLE project (University College of London)                                       | <a href="http://www.ucl.ac.uk/GeolSci/micropal/foram.html">http://www.ucl.ac.uk/GeolSci/micropal/foram.html</a>   | Biología, clasificación, modo de vida, técnicas de preparación y aplicaciones de foraminíferos (en inglés).  |
| The Foraminifera.eu-Project  | <a href="http://www.foraminifera.eu/">http://www.foraminifera.eu/</a>   | Catálogo ilustrado de foraminíferos clasificado por géneros, especies, localidades y edad (en inglés).   |
| STAR SAND Project  | <a href="http://www.bowserlab.org/starsand.html">http://www.bowserlab.org/starsand.html</a>   | Base de datos de imágenes de foraminíferos (en inglés).  |
| EMIDAS project   | <a href="http://www.emidas.org/">http://www.emidas.org/</a>   | Catálogo interactivo de determinación de foraminíferos planctónicos basado en sus características morfológicas (en inglés)   |
| MIRACLE project (University College of London)                                       | <a href="http://www.ucl.ac.uk/GeolSci/micropal/foram.html#images">http://www.ucl.ac.uk/GeolSci/micropal/foram.html#images</a>   | Catálogo de imágenes de foraminíferos (en inglés).   |
| NMITA (Neogene marine biota of tropical America) Florida International University    | <a href="http://porites.geology.uiowa.edu/database/bforam/bforam.htm">http://porites.geology.uiowa.edu/database/bforam/bforam.htm</a>   | Catálogo de imágenes y búsqueda interactiva de foraminíferos del neógeno de América tropical. También incluye ostrácodos (en inglés).                              |
| Virtual lab of foraminiferal morphogenesis   | <a href="http://eforams.org/index.php/VirtuaLab">http://eforams.org/index.php/VirtuaLab</a>   | Laboratorio virtual para la generación de los distintos tipos de organización de las cámaras de los foraminíferos (en inglés).                                     |
| University of Viena  | <a href="http://eforams.org/index.php/MicroCT_Lab">http://eforams.org/index.php/MicroCT_Lab</a>   | Imágenes de foraminíferos realizadas con Microtomografía.  |
| <a href="http://flickrhivemind.net/">http://flickrhivemind.net/</a> (varios autores) | <a href="http://flickrhivemind.net/Tags/ostracod/Recent">http://flickrhivemind.net/Tags/ostracod/Recent</a>   | Selección de fotografías de ostrácodos.  |
| García-Castellanos   | <a href="http://retosterricolas.blogspot.com.es/">http://retosterricolas.blogspot.com.es/</a>   | Blog sobre geología, con varias entradas sobre la "Crisis de Salinidad del Messiniense".   |
| MIUR-Cofin 2003 ME.LA Project  | <a href="http://www.messinianonline.it/">http://www.messinianonline.it/</a>   | Página web dedicada a la difusión de artículos científicos y congresos sobre la Crisis de Salinidad del Mediterráneo   |
| Alicante Messinian Group, 2012   | <a href="http://www.messinianalicante.com/">http://www.messinianalicante.com/</a>   | Página web del grupo de investigación "Cambios Paleambientales" de la Universidad de Alicante sobre el registro de la Crisis de Salinidad en el sureste de España. |
| Wikipedia  | <a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Crisis_salina_del_Mesiniense">http://es.wikipedia.org/wiki/Crisis_salina_del_Mesiniense</a>   | Síntesis de la Crisis de Salinidad y de la reinundación del Mediterráneo.  |

Tabla 1.- (cont.) Recursos didácticos (artículos, páginas web y videos), todos ellos de libre acceso en internet, sobre foraminíferos y ostrácodos: modo de vida, técnicas de estudio, aplicaciones y catálogos de imágenes. Se detallan también diversos recursos didácticos sobre la "Crisis de Salinidad del Mediterráneo".

| TIPO DE RECURSO DIDÁCTICO (AUTORES/PROCEDENCIA) | ACCESO   | TEMÁTICA  |   |
|---|--|---|---|
| Videos  | A foraminifera documentary (ScienceMedia.nl)   | <a href="http://www.youtube.com/watch?v=xfz_9UWcAB8">http://www.youtube.com/watch?v=xfz_9UWcAB8</a>   | Documental de divulgación, de 15 minutos de duración, sobre la aplicación de los foraminíferos en la reconstrucción del clima. (en inglés). |
|   | foraminifera's channel (youtube.com)   | <a href="http://www.youtube.com/watch?v=9Lm9hUj2h_o">http://www.youtube.com/watch?v=9Lm9hUj2h_o</a>   | Foraminífero vivo interactuando con un alga dinoflagelada.  |
|   |  | <a href="http://www.youtube.com/watch?v=KTDhuq5gyNI&amp;feature=plcp">http://www.youtube.com/watch?v=KTDhuq5gyNI&amp;feature=plcp</a>   | Foraminífero moviéndose en un acuario.  |
|   |  | <a href="http://www.youtube.com/watch?v=ZXVUEgaPhyQ&amp;feature=plcp">http://www.youtube.com/watch?v=ZXVUEgaPhyQ&amp;feature=plcp</a>   | Foraminífero vivo del Mar Rojo donde se puede apreciar el movimiento de los pseudópodos.  |
|   |  | <a href="http://www.youtube.com/watch?v=NHQG279xlwo&amp;feature=plcp">http://www.youtube.com/watch?v=NHQG279xlwo&amp;feature=plcp</a>   | Foraminífero vivo de la bahía de San Francisco.   |
|   |  | <a href="http://www.youtube.com/watch?v=9Lm9hUj2h_o&amp;feature=plcp">http://www.youtube.com/watch?v=9Lm9hUj2h_o&amp;feature=plcp</a>   | Foraminífero moviéndose con dinoflagelados en simbiosis.  |
|   | Ostrácos en cautividad (youtube.com)   | <a href="http://www.youtube.com/watch?v=iifn2gcxGR8">http://www.youtube.com/watch?v=iifn2gcxGR8</a>   | Movimiento de ostrácos en cautividad en un acuario.   |
|   | Ostracoda (youtube.com)  | <a href="http://www.youtube.com/watch?v=Xpv2KQVmqPs">http://www.youtube.com/watch?v=Xpv2KQVmqPs</a>   |   |
|   |  | <a href="http://www.youtube.com/watch?v=xUli9PyXlls&amp;feature=bf_prev&amp;list=PLo5ACEE7717C44162">http://www.youtube.com/watch?v=xUli9PyXlls&amp;feature=bf_prev&amp;list=PLo5ACEE7717C44162</a> | Video de un ostrácoso en primer plano donde se pueden apreciar todas las partes del organismo.  |
|   | BBC  | <a href="http://www.youtube.com/watch?v=KGrUmyiDBRA">www.youtube.com/watch?v=KGrUmyiDBRA</a>  | Extracto del documental "Europa Salvaje, Génesis", donde sobre la formación del Mar Mediterráneo (6 minutos de duración).                   |
|   |  | <a href="http://www.youtube.com/watch?v=BemsLUldVAo">www.youtube.com/watch?v=BemsLUldVAo</a>  | Extracto del documental "El poder del planeta, océanos" sobre la evaporación del Mediterráneo (2'30" de duración, en inglés).               |
| ICTJA-CSIC)                                     | <a href="http://www.youtube.com/watch?v=bw-ql_zQMWs">www.youtube.com/watch?v=bw-ql_zQMWs</a> | Animación en 3D sobre la desecación del Mediterráneo durante la Crisis de Salinidad del Messiniense (en inglés).  |   |

Tabla 1.- (cont.) Recursos didácticos (artículos, páginas web y videos), todos ellos de libre acceso en internet, sobre foraminíferos y ostrácosos: modo de vida, técnicas de estudio, aplicaciones y catálogos de imágenes. Se detallan también diversos recursos didácticos sobre la "Crisis de Salinidad del Mediterráneo".

como recreaciones artísticas de la evolución del Mediterráneo en relación a la crisis Messiniense (fig. 2); y por otra parte, una serie de datos experimentales (fig. 1 y tabla 2) y resultados para el profesor (tabla 3), obtenidos a partir de análisis científicos previos de identificación taxonómica e interpretación paleoambiental y bioestratigráfica (Corbí, 2010). Estos datos provienen del estudio de la Crisis de Salinidad del Messiniense en los materiales neógenos representados en la sección estratigráfica de Crevillente ubicada en el sector norte de la Cuenca del Bajo Segura (extremo oriental de la Cordillera Bética), perteneciente a la provincia de Alicante (Soria et al., 2005 y 2008). Se remite a Corbí (2010), para la localización geográfica y descripción geológica exhaustiva de dicha serie. Esta serie, expresada de forma sintética en la fig. 1A2, registra el final del Mioceno (piso Messiniense, 6-5 Ma.) y el principio del Plioceno (5 Ma.). Su parte

inferior, de edad Messiniense, está constituida, de más antiguo a más moderno, por margas, areniscas con arrecifes de coral y margas. La sucesión en la vertical de estos materiales registra una tendencia de disminución del nivel del mar desde ambientes batiales a plataforma y lagunas costeras. La parte superior, de edad Plioceno, está formada por margas y areniscas que registran ambientes marinos de plataforma. Cabe destacar que esta serie no es continua, puesto que presenta una importante superficie de discontinuidad entre los materiales del Mioceno superior (Messiniense) y los primeros sedimentos del Plioceno. Esta superficie de discontinuidad (de tipo discordancia), expresada en la fig. 1A, representa el lapso temporal durante el cual el área de estudio quedó emergida y fue sometida a intensa erosión subaérea, relacionada con la drástica disminución del nivel del mar, causa de la Crisis de Salinidad del Messiniense.

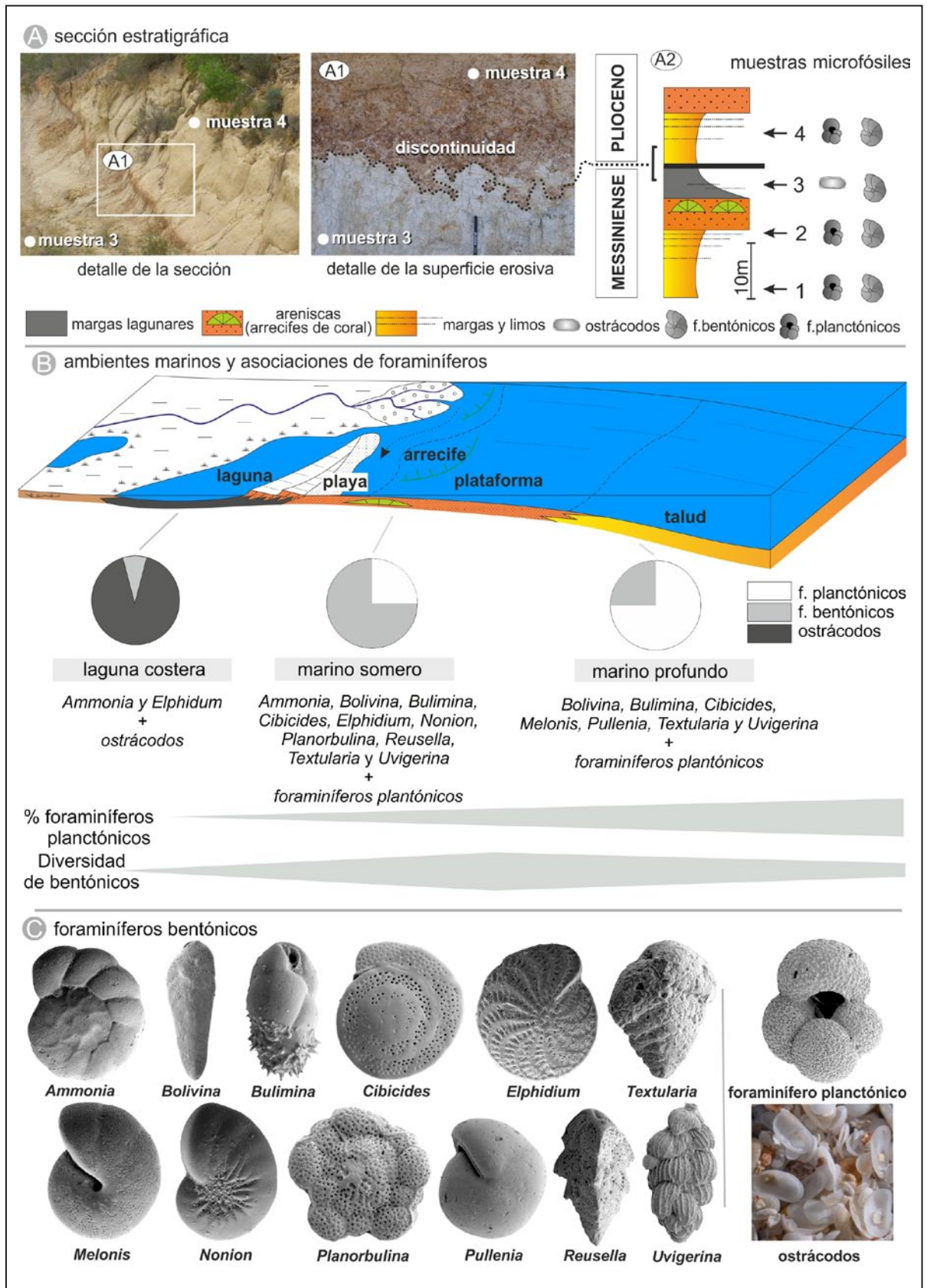


Fig. 1. Materiales gráficos a emplear en el taller. A) Sección estratigráfica que incluye la posición de las muestras objeto de estudio (derecha), así como las imágenes donde se muestra la discontinuidad (superficie de erosión) que separa los materiales del Messiniense (muestra 3) de los del Plioceno (muestra 4). B) Diagrama de medios de sedimentación que representa tanto los ambientes marinos (plataforma y talud), como el lagunar. Se incluyen los géneros representativos de cada uno de estos ambientes, así como la variación del porcentaje de foraminíferos planctónicos y la diversidad de géneros de foraminíferos bentónicos. C) Fotografías de microscopio electrónico de barrido de los géneros de foraminíferos bentónicos empleados en el taller y ejemplo tipo de foraminífero planctónico (género *Globigerina*). Se incluye también una fotografía, tomada bajo lupa binocular, de una muestra en la que predominan los ostrácodos.

Para desarrollar este taller se han seleccionado cuatro muestras representativas de los distintos ambientes sedimentarios (fig. 1A), siendo tres de ellas de edad Messiniense (muestras 1, 2, 3) y una de edad Plioceno (muestra 4). A nivel de litología las muestras son muy parecidas (margas-limos), sin embargo, en cuanto a contenido de microfósiles muestran diferencias idóneas para desarrollar el taller que aquí se plantea.

En cuanto a los materiales necesarios para la elaboración del taller, se ha de destacar que este taller está organizado, en primera instancia, para desarrollar la actividad en el aula (trabajo de gabinete), prescindiendo de técnicas de laboratorio y trabajo de campo, a menudo difíciles de encajar en el diseño curricular de un centro de enseñanza secundaria. Por ello, todos los materiales necesarios para el trabajo de gabinete quedan incluidos en este artículo. No obstante, en función de la disponibilidad de materiales y sesiones, no deben descartarse actividades de laboratorio y campo, que permitirían al alumno familiarizarse con las técnicas necesarias para la obtención de los datos micropaleontológicos expuestos y objeto de este taller. Trabajos precedentes (e.g.: Lancis et al., 2004; Caracuel et al., 2004) abordan, a través del desarrollo de talleres didácticos, la primera fase de toma de datos de campo y laboratorio. Se remite pues a estos trabajos para una descripción detallada de las técnicas y materiales necesarios para las opcionales fases de campo y laboratorio. Conviene señalar que, en el caso de que se plantee el taller combinando campo y laboratorio, no necesariamente han de recogerse en campo los materiales objeto del taller, sino que

puede realizarse en materiales equivalentes que, en cualquier caso, deben tratarse de margas de origen marino con abundancia en microfósiles. De esta forma, el alumnado se familiariza, en primer lugar, con las técnicas de laboratorio y campo, comprendiendo la gran diversidad y abundancia de microfósiles presentes en las rocas sedimentarias, para pasar a continuación a trabajar en gabinete con los datos propuestos en este taller. De todas formas, y previa solicitud a los autores de este trabajo, los profesores interesados pueden obtener muestras de laboratorio ya levigadas.

## METODOLOGÍA: GUÍA DE ACTIVIDADES

El taller se estructura fundamentalmente en tres sesiones, la primera de carácter teórico, la segunda de trabajo práctico, y la última de interpretación y presentación de resultados. Durante la sesión teórica, en primer lugar, se introducen los conceptos relacionados con la biología de los foraminíferos (morfología, ciclo de vida y ecología), así como sus aplicaciones en bioestratigrafía y paleoecología. A continuación, se exponen las nociones básicas en relación a la desecación y reinundación del Mediterráneo de modo que los alumnos puedan contextualizar el estudio que desarrollarán durante el taller.

La segunda sesión se basa en el análisis de los datos presentados en la tabla 2 que incluye los datos de trabajo que se entregan al alumno; la tabla 3 incluye los resultados de trabajo para el profesor. Por tanto, durante el trabajo práctico en el aula, el

|                            |   | EDAD     | MESSINIENSE |         |          | PLIOCENO |
|----------------------------|---|----------|-------------|---------|----------|----------|
|                            |   | MUESTRAS | 1           | 2       | 3        | 4        |
| Microfósiles               | Ostrácodos  | 0        | 0           | 250     | 0        |          |
|                            | Foraminíferos plantónicos                                     | 200      | 30          | 0       | 60       |          |
|                            | Foraminíferos bentónicos                                      | 100      | 270         | 50      | 240      |          |
| Foraminíferos bentónicos   | <i>Ammonia</i>  | 0        | 32          | 30      | 24       |          |
|                            | <i>Bolivina</i>   | 11       | 11          | 0       | 19       |          |
|                            | <i>Bulimina</i>   | 18       | 8           | 0       | 0        |          |
|                            | <i>Cibicides</i>  | 7        | 52          | 0       | 62       |          |
|                            | <i>Elphidium</i>  | 0        | 27          | 20      | 0        |          |
|                            | <i>Melonis</i>  | 19       | 0           | 0       | 0        |          |
|                            | <i>Nonion</i>   | 0        | 49          | 0       | 53       |          |
|                            | <i>Planorbulina</i>   | 0        | 32          |         | 14       |          |
|                            | <i>Pullenia</i>   | 22       | 0           | 0       | 0        |          |
|                            | <i>Reusella</i>   | 0        | 8           | 0       | 5        |          |
|                            | <i>Textularia</i>   | 4        | 46          | 0       | 46       |          |
|                            | <i>Uvigerina</i>  | 19       | 5           | 0       | 17       |          |
| Foraminíferos planctónicos | <i>Globorotalia mediterránea</i> (Catalano y Sprovieri, 1969) | PRESENTE | PRESENTE    | AUSENTE | AUSENTE  |          |
|                            | <i>Globorotalia margaritae</i> (Bolli y Bermudez, 1965)       | AUSENTE  | AUSENTE     | AUSENTE | PRESENTE |          |

Tabla 2. Datos propuestos para el alumno.

Tabla 3. Resultados para el profesor.

| EDAD   | MESSINIENSE  |  |  | PLIOCENO  |
|--|--|--|--|---|
| MUESTRAS   | 1  | 2  | 3  | 4   |
| Contenido en microfósiles                              | dominan los foraminíferos planctónicos   | dominan los foraminíferos bentónicos   | dominan los ostrácodos                     | dominan los foraminíferos bentónicos  |
| Porcentaje de foraminíferos planctónicos               | 67   | 10   | 0  | 20  |
| Diversidad de foraminíferos bentónicos                 | 7 géneros  | 10 géneros   | 2 géneros                                  | 8 géneros   |
| Distribución de abundancia de foraminíferos bentónicos | <i>Bolivina</i> 11%<br><i>Bulimina</i> 18%<br><i>Cibicides</i> 7%<br><i>Melonis</i> 19%<br><i>Pullenia</i> 22%<br><i>Textularia</i> 4%<br><i>Uvigerina</i> 19% | <i>Ammonia</i> 12%<br><i>Bolivina</i> 4%<br><i>Bulimina</i> 3%<br><i>Cibicides</i> 19%<br><i>Elphidium</i> 10%<br><i>Nonion</i> 18%<br><i>Planorbulina</i> 12%<br><i>Reusella</i> 3%<br><i>Textularia</i> 17%<br><i>Uvigerina</i> 2% | <i>Ammonia</i> 60%<br><i>Elphidium</i> 40% | <i>Ammonia</i> 10%<br><i>Bolivina</i> 8%<br><i>Cibicides</i> 26%<br><i>Nonion</i> 22%<br><i>Planorbulina</i> 6%<br><i>Reusella</i> 2%<br><i>Textularia</i> 19%<br><i>Uvigerina</i> 7% |
| Marcadores bioestratigráficos (fósiles guía)           | <i>Globorotalia mediterranea</i>   | <i>Globorotalia mediterranea</i>   |  | <i>Globorotalia margaritae</i>  |
| Ambiente sedimentario                                  | mar profundo (talud)   | mar somero (plataforma)  | laguna costera                             | mar somero (plataforma)   |
| Nivel del mar  |  |  |  |   |
| Relación con la Crisis de Salinidad del Mediterráneo   | Desecación   |  |  | Reinundación  |

alumno ha de obtener, para cada una de las muestras, los siguientes parámetros todos ellos incluidos en la tabla 3:

a) Principales grupos de microfósiles que componen la muestra. Mediante la utilización de los recursos bibliográficos propuestos (tabla 1) y las fotografías de la fig. 1, el alumno se familiariza con los principales grupos de microfósiles (foraminíferos y ostrácodos) para, a continuación, diferenciar entre foraminíferos planctónicos y bentónicos, terminando con una primera clasificación sistemática de los principales géneros de foraminíferos bentónicos (fig. 1C). Como parámetros clave para la clasificación se sugiere utilizar el tipo de concha (aglutinada, hialina, aporcelanada) y el tipo de organización de las cámaras (ver Molina, 2003 para una descripción detallada de estos aspectos morfológicos).

b) Porcentaje de foraminíferos planctónicos. A grandes rasgos existe una relación entre la proporción de foraminíferos planctónicos de una asociación y la profundidad del medio marino (Caracuel et al., 2004), de forma que se puede relacionar esta proporción o porcentaje de foraminíferos planctónicos con los distintos ambientes sedimentarios: ambiente marino profundo (llanura abisal y talud-ambiente batial), 70-99%; ambiente marino somero (plataforma), <70%; ambiente lagunar, 0%. Este dato se calcula determinando el porcentaje de los foraminíferos

planctónicos con respecto al total de la asociación (foraminíferos planctónicos y bentónicos).

c) Diversidad de la asociación de foraminíferos bentónicos. Esta suele ser mayor en ambientes marinos que en lagunares, puesto que el ambiente marino presenta unas condiciones ambientales más estables, favorables a una mayor variedad de organismos. Este dato se obtiene simplemente contando el número de géneros de foraminíferos bentónicos presentes en cada muestra.

d) Distribución de abundancia de foraminíferos bentónicos. En líneas generales, aunque varios géneros de foraminíferos pueden vivir en una variedad de ambientes marinos, la gran abundancia de algunos de ellos caracteriza ambientes muy concretos (para unos ejemplos, se remite al apartado siguiente de este trabajo “Decodificando la Crisis de Salinidad del Mediterráneo”). La distribución de abundancia se obtiene calculando el porcentaje de cada uno de los géneros de foraminíferos bentónicos respecto al total de foraminíferos bentónicos.

e) Especies de foraminíferos planctónicos de carácter bioestratigráfico (fósiles guía). La presencia de ciertos fósiles, en este caso de dos especies concretas foraminíferos planctónicos (*Globorotalia mediterranea* y *Globorotalia margaritae*) sirven para datar con cierta precisión la unidad estratigráfica en la que se encuentran. Este dato se obtiene de forma



directa, considerando que la especie *Globorotalia mediterranea* permite datar el periodo Messiniense, mientras que la especie *Globorotalia margaritae* es representativa del periodo Plioceno.

Tras la obtención de los datos y parámetros anteriormente comentados, el alumno procede a elaborar una tabla de resultados que puede servir también al profesor para introducir el manejo de tablas de datos tipo Excel®. Una vez concluida la parte de confección de resultados en una tabla (equivalente a la que se propone aquí como clave de resultados del profesor, tabla 3), se procede, durante la tercera sesión, a la interpretación de los mismos y a la elaboración de una memoria en formato de artículo científico.

En cuanto a la dinámica de trabajo en el aula se aconseja realizar el taller en grupos de dos o tres alumnos, incluyendo una presentación oral seguida de un debate en el aula. Como complemento a la presentación de los trabajos, y siempre que se disponga de tiempo, puede realizarse un mini-congreso (ensayo de congreso) con ponencias cortas en forma de póster (cartel) o de presentación oral, atendiendo, en la medida de lo posible, a las normas de un congreso científico.

En lo que se refiere a la memoria se recomienda realizarla en formato artículo científico, que debe estar cuidadosamente redactado expresando toda la información de forma clara y sintética. La estructura básica de un artículo incluye habitualmente los siguientes apartados: a) Título. Debe ser corto, conciso, claro y creativo para tratar de captar la atención del lector; b) Autores. Nombre del responsable o responsables del trabajo; c) Resumen. Puede incluir eventualmente su traducción al inglés (*abstract*), idioma básico en la comunicación científica; d) Palabras clave (*keywords*). Conjunto de términos que permiten conocer al lector los aspectos fundamentales que se tratan en el trabajo; su número suele variar de 3 a 10; e) Introducción. Debe exponer los principales contenidos, además de predisponer al lector a continuar leyendo el trabajo. Este apartado debe incluir: el asunto y objetivos del trabajo, situación geográfica, marco geológico general, visión de conjunto de los principales contenidos del informe; breve revisión de lo que se conoce sobre el tema y lo que aporta el trabajo al conocimiento sobre el tema tratado; f) Materiales y métodos. Describir la metodología utilizada, el material utilizado, así como las técnicas de campo y laboratorio (si es el caso), usadas para obtener los datos; g) Resultados. Presentar los datos obtenidos en forma de tablas, gráficos, etc; h) Discusión e interpretación. Se deben explicar los resultados obtenidos y exponer la interpretación que se deriva de ellos; i) Conclusiones. Finalmente, debe escribirse un sumario que consiste simplemente en volver a exponer los principales hallazgos del trabajo de forma clara y concisa; j) Agradecimientos. Enumerar las personas o instituciones (en este caso

el nombre del instituto) que han servido de apoyo y ayuda para la elaboración del trabajo; y k) Bibliografía. Incluir la bibliografía básica ordenada alfabéticamente y utilizada para desarrollar el informe.

El informe debe ir acompañado de figuras que deben clarificar y apoyar los diferentes aspectos tratados en el trabajo. Algunos aspectos relacionados con el formato de las ilustraciones, que no deben olvidarse serían: colocar palabras o frases con flechas en las fotografías y dibujos; poner pie de figuras numerados, citar las figuras en el texto y situarlas lo más cerca posible de la zona del texto en las que se citan o son relevantes.

## DECODIFICANDO LA CRISIS DE SALINIDAD DEL MEDITERRÁNEO

La interpretación conjunta de todas las muestras permite poner de manifiesto los principales eventos relacionados con la Crisis de Salinidad del Messiniense sucedida hace entre seis y cinco millones de años en el Mediterráneo (fig. 2). Como consecuencia del cierre de la comunicación marina entre el Mar Mediterráneo y el Océano Atlántico a través de los pasillos marinos Bético (sur de España) y Rifeno (norte de Marruecos) (fig. 2.A1), el Mediterráneo queda aislado, lo que conlleva un déficit en el balance hídrico, ya que se evapora más agua que la que aportan los ríos. La consecuencia última de este proceso es la desecación del Mediterráneo a finales del Messiniense y la precipitación de evaporitas a lo largo de toda la cuenca (fig. 2.A2).

Finalmente, la crisis termina con la apertura de una nueva vía marina (el estrecho de Gibraltar) a inicio del Plioceno, que produce la rápida reinundación de la cuenca (figs. 2.A3, 2B, 2C) configurando un Mar Mediterráneo muy parecido al que conocemos en la actualidad.

A continuación, se describe brevemente cómo el taller que aquí se propone permite plantear, decodificar e interpretar los dos principales eventos relacionados con la crisis de salinidad, la desecación y posterior reinundación del Mediterráneo. La estructura y guion propuesto permite que el estudiante se plantee la diferencia entre hecho, interpretación, inferencia y datos de apoyo.

### Desecación del Mediterráneo

Muestras representativas: 1, 2 y 3

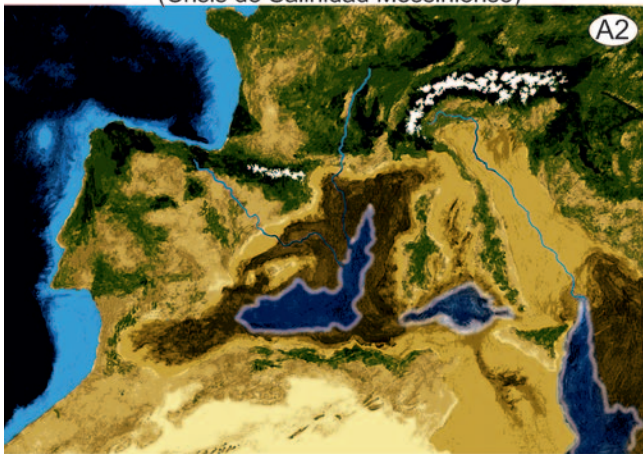
Edad: Messiniense (aproximadamente entre 5 y 6 millones de años). La presencia del fósil guía, el foraminífero planctónico *Globorotalia mediterranea* (ver tabla de datos) permite datar y encuadrar las dos primeras muestras dentro del piso Messiniense. La tercera muestra, de carácter lagunar, no contiene especies marcadoras bioestratigráficas, ya que el *Globorotalia mediterranea* solo habita en ambientes marinos de cierta profundidad.

**A** Evolución del Mediterráneo en relación con la Crisis de Salinidad Messiniense

El Mediterráneo antes de la Crisis de Salinidad del Messiniense



Deseccación del Mediterráneo (Crisis de Salinidad Messiniense)



Reinundación del Mediterráneo

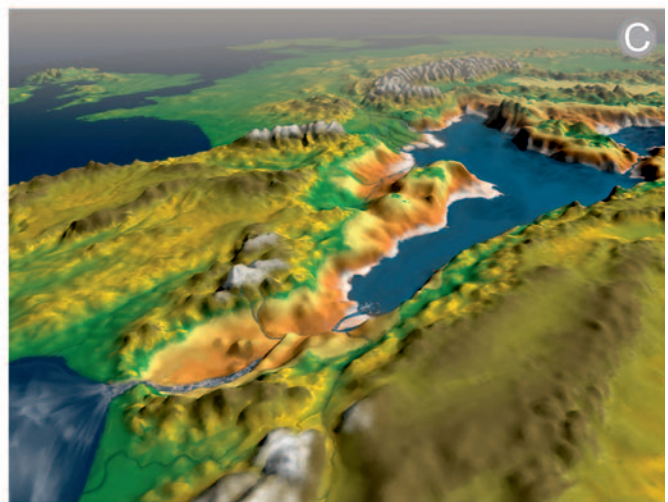
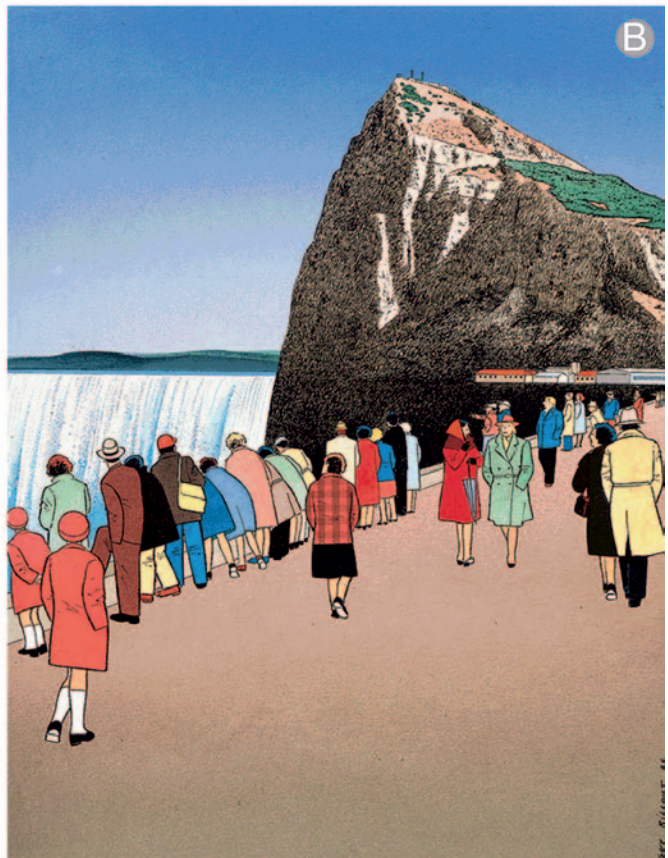
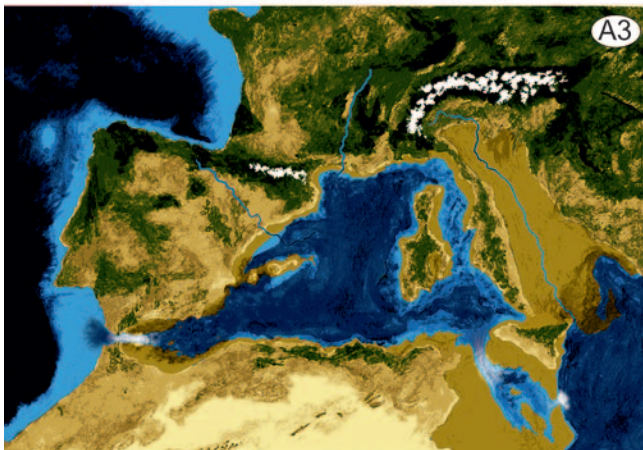


Fig. 2. A: Evolución del Mediterráneo en relación con la Crisis de Salinidad del Messiniense (A: recreaciones artísticas realizadas por Pau Bahí y García-Castellanos, Creative Commons, Wikimedia) A1: Situación del Mar Mediterráneo hace 6,5 millones de años, antes de la Crisis de Salinidad del Mediterráneo. Nótese la presencia de los dos corredores marinos (Bético y Rifeño) que comunicaban el Atlántico con el Mediterráneo. A2: Aislamiento y desecación del Mediterráneo a finales del Messiniense (Crisis de Salinidad). A3: Reinundación del Mediterráneo a inicios del Plioceno (hace 5,3 millones de años) a través del estrecho de Gibraltar. En primer lugar, se inundó la cuenca mediterránea occidental y posteriormente, a través del actual estrecho de Sicilia, se inundó la cuenca oriental.; B: Recreación artística de las hipotéticas “cataratas de Gibraltar” formadas durante la reinundación del Mediterráneo hace aproximadamente cinco millones de años (modificado de: McKenzie, 1999); C: Recreación artística del proceso de relleno (reinundación) del Mediterráneo (Roger Pibernat; licencia: CC-BYB)

¿Qué diferencias se observan entre las muestras?

*La diferencia más significativa, a nivel de los microfósiles que se encuentran en las muestras, es que en las muestras 1 y 2 dominan los foraminíferos mientras que en la muestra 3 abundan los ostrácodos. La tendencia general, atendiendo a la posición estratigráfica (desde la muestra 1 a la 3), es de una disminución del porcentaje de foraminíferos planctónicos (67% en la muestra 1, 10% en la muestra 2, totalmente ausentes en la muestra 3). Conviene señalar también que en la muestra 3 sólo están presentes 2 géneros de foraminíferos bentónicos, lo que diferencia claramente esta muestra de la 1 y de la 2, donde los bentónicos son mucho más diversificados (7 géneros en la muestra 1 y 10 en la muestra 2). Además, las diferencias vienen marcadas también por la presencia de géneros representativos de distintos ambientes (fig. 1B). Los géneros Melonis, Pullenia y Uvigerina, por ejemplo, presentes o abundantes sólo en la muestra 1, son típicos del ambiente marino profundo, mientras que los géneros Nonion, Planorbulina y Reusella, presentes sólo en la muestra 2, caracterizan el ambiente marino somero.*

¿Cómo se interpretan estas diferencias?

*Estas diferencias indican una sustitución progresiva de asociaciones marinas (muestras 1 y 2) por lagunares (muestra 3) lo cual se interpreta como una bajada del nivel del mar en la cuenca.*

¿Cómo se pueden interpretar todas estas informaciones en el contexto de la crisis de salinidad?

*En el contexto particular propuesto en este taller, esta disminución del nivel del mar es consecuencia de la progresiva evaporación de la cuenca mediterránea que conlleva finalmente su desecación.*

¿Qué otros datos evidencian la desecación del Mediterráneo?

*En la serie estratigráfica se puede observar que entre la muestra 3 y la 4, es decir entre el Messiniense y el Plioceno, existe una superficie de discontinuidad (fig. 1A y apartado "Conocimientos previos y materiales") que representa un intervalo temporal dominado por una importante erosión. Esta superficie erosiva indica que, al menos en la zona de estudio, debido a la brusca caída del nivel del mar, hubo un cambio desde condiciones subacuáticas en las que domina la sedimentación (ambiente marino y lagunar), a condiciones de exposición subaérea con predominio de la erosión (ambiente de carácter principalmente continental). Esta disminución drástica del nivel del mar dio origen también a la precipitación de evaporitas (yesos y sales) en la cuenca central del Mediterráneo (Soria, 2006).*

### **Reinundación del Mediterráneo**

Muestra representativa: 4

Edad: Plioceno inferior (aproximadamente hace 5 millones de años). La presencia del fósil guía de foraminífero planctónico *Globorotalia margaritae* (ver tabla de datos) permite constatar una edad Plioceno para esta muestra.

¿Qué diferencias se observan entre esta muestra y la muestra 3, de edad Messiniense?

*En relación a la muestra 3 (última muestra del Messiniense), se puede observar en primer lugar, la desaparición de los ostrácodos, así como un aumento del porcentaje de foraminíferos planctónicos (ausentes en la muestra 3, 20% en la muestra 4). Además, se nota también un aumento en la diversidad de géneros de foraminíferos bentónicos (2 en la muestra 3 y 8 en la muestra 4), así como la presencia de géneros típicamente marinos (Bolivina, Cibicides, Nonion, Planorbulina, Reusella, Textularia y Uvigerina). Hay que señalar también que, mientras que los cambios entre las muestras 1, 2 y 3 son bastante graduales, el cambio en el contenido en microfósiles entre la muestra 3 y la 4 es muy brusco, lo que indica un cambio ambiental muy rápido.*

¿Cómo se interpretan estos cambios?

*La aparición de asociaciones marinas en la muestra 4 nos indica una restauración de condiciones marinas normales debida a una rápida subida del nivel del mar.*

¿Cómo se pueden interpretar estos cambios en el contexto de la crisis de salinidad?

*Esta subida del nivel del mar es consecuencia de la rápida reinundación del Mediterráneo sucedida al inicio del Plioceno como resultado de la apertura de una nueva vía marítima, el estrecho de Gibraltar (fig. 2).*

### **CASO PRÁCTICO: APLICACIÓN DE LA PROPUESTA A UN GRUPO DE BIOLOGÍA-GEOLOGÍA DE 4º ESO**

Con el propósito de evaluar su aplicabilidad, este taller se ha puesto en práctica en un grupo de alumnos de 4ºESO del IES Pascual Carrión de Sax (Alicante). A continuación, se describen las particularidades de esta propuesta, para que puedan servir como guía o pauta en el desarrollo del taller por parte del profesorado. Conviene señalar que el taller descrito en el presente artículo, es sencillamente una propuesta general, que puede, de acuerdo con los criterios del profesor, modificarse acorde al tiempo disponible, tipo de asignatura y características del grupo de alumnos.

El grupo fue de 13 alumnos, todos ellos motivados en la asignatura. Elegimos grupos de dos (y uno de tres). En caso de ser más alumnos, se propone un número parecido de grupos pero con un mayor número de alumnos por grupo. En el caso (raro en este nivel de 4º) de alumnos poco motivados, se propone que estos estén repartidos entre los diferentes grupos. El desarrollo del trabajo ha sido durante las dos últimas semanas de curso, con los exámenes realizados y ya sólo a falta de una última nota. Aunque en este caso eran las únicas fechas disponibles, son especialmente adecuadas porque los alumnos saben más o menos su evaluación y el

trabajo puede motivarles a mejorar la calificación final. Además, no interfiere con los exámenes de otras asignaturas ya que la mayor parte del trabajo se realiza en clase.

Tras la aplicación del taller, tanto en opinión del alumnado como del profesorado implicado, se ha detectado la necesidad de una sesión de campo, que permitiría tener una visión más completa y una relación más directa con el tema propuesto. La opción más práctica para complementar el taller consiste en buscar material adecuado de ejemplo de levigado en las cercanías de cada centro, incluyendo hasta una excursión geológica. Así mismo, se considera también la sesión de laboratorio relevante, ya que permite una aproximación directa a la obtención de la información requerida para el taller. Tal como se ha comentado en la guía de actividades, tanto la fase de campo como la de laboratorio, ambas opcionales, pueden realizarse en materiales equivalentes, siempre rocas sedimentarias de origen marino (limos y margas) que contengan abundantes foraminíferos, de modo que el alumno conozca el origen de los datos propuestos para el desarrollo de taller en la fase de trabajo en el aula (gabinete). El hecho de que no se disponga de herramientas de laboratorio especializado (tamices principalmente) no es un problema, ya que se puede, por ejemplo, utilizar tamices improvisados contruidos o bien tamices de cocina o harina. En cuanto a las lupas, suele haber en todos los centros.

Atendiendo al ejemplo de aplicación, las aportaciones más valiosas de esta propuesta de taller son las siguientes: a) la elaboración por parte de los alumnos del informe en formato de artículo científico hace que estos sean más conscientes de cómo se desarrolla el trabajo científico, y qué es lo que hay detrás de “historias” como la de la desecación del Mediterráneo; b) el esfuerzo que realizan los alumnos en imaginar por sí mismos los paleoambientes a partir de datos, permite que estos comprendan lo general (toda la cuenca mediterránea) a través de lo particular (microfósiles de una localidad), todo ello localizando estos sucesos en el tiempo; y c) el taller permite integrar en un mismo trabajo el rigor y la imaginación, separando la parte de la observación y los datos, con la más creativa y especulativa de su significado (inferencias, discusión y conclusiones).

## CONSIDERACIONES FINALES

El estudio de la crisis de salinidad del Messiniense mediante microfósiles es un tema de gran interés científico y alto potencial divulgativo ya que los microfósiles aportan información muy relevante sobre los cambios ambientales excepcionales sucedidos en el área mediterránea y que culminaron con la desecación y reinundación del Mediterráneo. La aplicación del presente taller en educación

secundaria tiene grandes ventajas para los estudiantes ya que ofrece la posibilidad de introducir al alumnado en este tema de manera práctica y utilizando el método científico. Además, este taller puede ser planteado también como un trabajo de tipo transversal, involucrando tanto a las Ciencias de la Tierra como a otras disciplinas, como la biología y la informática. En particular, se ha optado por la utilización de los microfósiles (principalmente foraminíferos y ostrácodos) como recurso didáctico ya que, por una parte, existen numerosos recursos digitales de libre acceso en internet y por otra, son excelentes indicadores de los cambios ambientales sucedidos durante este periodo. Los resultados de la aplicación del taller en el plan docente de 4<sup>º</sup> de ESO han demostrado la utilidad de actividades científicas de carácter práctico, capaces de motivar a los alumnos, convirtiéndolos en investigadores que van obteniendo los datos y comprobando personalmente las diversas hipótesis.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del grupo de investigación “Cambios Paleoambientales (VIGROB-167)” de la Universidad de Alicante. Se agradecen de antemano todas las posibles sugerencias, mejoras y comentarios que puedan surgir de la puesta en marcha de este taller en los programas docentes de Ciencias de la Tierra. Los autores agradecen especialmente a Jesús M. Soria, Alfonso Yébenes, José A. Pina y Jesús E. Caracuel (Universidad de Alicante) y Juan Usera (Universidad de Valencia), su guía y dedicación durante la fase de investigación del registro sedimentario y microfósil de la Crisis de Salinidad del Mediterráneo en la Cuenca del Bajo Segura, punto de partida inicial para la elaboración de este taller didáctico. Los autores extienden también su agradecimiento a los editores de esta revista, Esperanza Fernández-Martínez y Pedro Alfaro, por el interés mostrado en este taller didáctico, así como a los alumnos de ciencias de 4<sup>º</sup> de la ESO del IES Pascual Carrión de Sax, por su colaboración entusiasta en la actividad.

## BIBLIOGRAFÍA

Arenillas, I., Alegret, L., Arz, J.A. y Molina, E. (2000). El uso didáctico de los foraminíferos en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra: Su distribución paleoceanográfica en el tránsito Cretácico/Terciario. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8.2, 108-118.

Calonge, A., Caus, E., García, J. (2001). Los foraminíferos: presente y pasado. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9.2, 144-150

Caracuel, J.E., Corbí, H., Pina, J.A. y Soria, J.M. (2004). Geología en la costa: Técnicas de análisis de sedimentos en interpretación de ambientes sedimentarios. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12.1, 77-82.

Corbí, H. (2010). *Los foraminíferos de la cuenca neógena del Bajo Segura (sureste de España): bioestratigrafía y cambios paleoambientales en relación con la Crisis de Salinidad del Mediterráneo*. Tesis doctoral, Universidad de Alicante (Ed.), 280 p. <http://hdl.handle.net/10045/14976>

Hottinger, L. (2006). Illustrated glossary of terms used in foraminiferal research. Notebooks on Geology, Brest, Memoir 2006/2, 126 p. 83 figs.

Hippensteel, S.C. (2006). Using Foraminifera to teach Paleoenvironmental interpretation and Geoarchaeology: A Case study from Folly Island, South Carolina. *Journal of Geoscience Education*, 54 (4), 526-553.

Lancis C., Baeza J.F., Cutillas A., Güell J.M. y Sáez C. (2004). Una experiencia didáctica para la enseñanza de la paleontología en el bachillerato a través de talleres científicos. *Documentos del XIII simposio sobre enseñanza de la Geología*, 177-187.

Margulis, L. y Brynes, L. (1999). Hard testimony-Teaching past environments with fossil foraminifera. *Nature & Resources*, 35.1, 4-17.

McKenzie, J.A. (1999). From desert to deluge in the Mediterranean. *Nature*, 400, 613-614.

Molina, E. (2003). *Micropaleontología*, Pressas universitarias de Zaragoza (Ed.), 634 p.

Pardo, A. y Camara, N. (2007). Foraminíferos, los legionarios del océano invisible. *Inmersión*, 88, 22-29.

Soria, J. M. Caracuel, J. E., Yébenes, A., Fernández, J. y Viseras, C. (2005). The stratigraphic record of the Messinian salinity crisis in the northern margin of the Bajo Segura Basin (SE Spain). *Sedimentary Geology*, 179, 225-247.

Soria, J.M. (2006). La Crisis de Salinidad del Messiniense. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 14.3, 240-248.

Soria, J.M., Caracuel, J. E., Corbí, H., Dinarès-Turell, J., Lancis, C., Tent-Manclús, J. E. y Yébenes, A. (2008). The Bajo Segura Basin (SE Spain): implications for the Messinian salinity crisis in the Mediterranean margins. *Stratigraphy*, 5, 257-263. ■

*Fecha de recepción del original: 20/07/2012*

*Fecha de aceptación definitiva: 12/09/2012*