

Actividades formativas y de divulgación del Proyecto Somosaguas de Paleontología: Experiencias basadas en el uso de lupas y microscopios y propuesta indagativa

Training and dissemination activities carried out by the Somosaguas Paleontology Project: Experiences based on the use of magnifying glasses and microscopes and an inquiry-based proposal

OMID FESHARAKI^{1,3*}, ANA R. GÓMEZ CANO², M. SOLEDAD DOMINGO^{1,3},
ADRIANA OLIVER^{4,6}, BLANCA A. GARCÍA-YELO³, SARA GAMBOA⁵,
PATRICIA M. CARRO-RODRÍGUEZ^{1,4}, DAVID M. MARTÍN-PEREA⁶ Y LAURA DOMINGO¹

¹ Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. C/José Antonio Nováis 12, 28040 Madrid. E-mails: *omidfesh@ucm.es; patcarro@ucm.es; lauradomingo@geo.ucm.es

² Transmitting Science, C/Gardenia, 208784 Piera (Barcelona). E-mail: argomezcana@gmail.com

³ Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Sociales y Matemáticas. Facultad de Educación, Universidad Complutense de Madrid. C/Rector Royo Villanova s/h, 28040 Madrid. E-mails: mariasod@ucm.es; bgyelo@ucm.es

⁴ Mujeres con los pies en la Tierra, C/José Antonio Nováis 12, 28040, Madrid. E-mail: aoliverp5@gmail.com

⁵ MAPAS Lab, Grupo de Ecología Animal (GEA), Centro de Investigación Mariña, Universidad de Vigo. CITE XVI Building (L24, L26.1). Rúa Fonte das Abelleiras s/h. Lagoas-Marcosende, 36310 Pontevedra. E-mail: sara.gamboa@uvigo.es

⁶ Departamento de Paleobiología, Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC). C/José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid. E-mail: dmartinperaa@mncn.csic.es

Resumen Se presentan las actividades de enseñanza formal, divulgación y formación de personal investigador que se realizan desde el Proyecto Somosaguas de Paleontología. Un aspecto presente en todas estas actividades es el uso de instrumental científico, y específicamente de instrumentos ópticos (lupas binoculares y microscopios). Además, se propone una actividad indagativa para alumnado de enseñanzas universitarias y segundo de Bachillerato, basada en resolver un problema real sobre el origen del yacimiento paleontológico de Somosaguas. Se usan datos reales procedentes del análisis óptico de muestras de fósiles y sedimentos para su estudio tafonómico y petrológico. Así, el alumnado es partícipe de algunas fases de una verdadera actividad de investigación.

Palabras clave: Actividades de indagación, aprendizaje basado en la investigación, didáctica de la geología, enseñanza de la paleontología, instrumental científico.

Abstract We present the activities of formal teaching, divulgation and training of researchers carried out by the Somosaguas Paleontology Project. One aspect present in all these activities is the use of scientific instruments, and specifically optical instruments (binocular loupes and microscopes). In addition, an inquiry-based activity is proposed for university and second-year high school students, based on solving a real problem about the origin of the Somosaguas paleontological site. Real data from the optical analysis of fossil and sediment samples are used for their taphonomic and petrological study. Thus, students are participants in some phases of true research activity.

Keywords: Didactics of geology, inquiry activities, inquiry-based learning, paleontology teaching, scientific instruments.

INTRODUCCIÓN

El Proyecto Somosaguas de Paleontología (PSP) es un proyecto de gestión estudiantil que tras más de 20 años no solo se ha mantenido sino que cada vez involucra a más personas del alumnado, profesorado de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y dedicadas a la divulgación (López-Martínez *et al.*, 2005). Es un proyecto de larga trayectoria en la investigación geológica y paleontológica, en la enseñanza universitaria y en la divulgación científica (ver referencias en Fesharaki *et al.*, 2012). Iniciada por la Dra. Nieves López Martínez, profesora titular de la asignatura de Paleontología de Vertebrados de la UCM, la propuesta de gestión estudiantil de las excavaciones se centró en el potencial didáctico del yacimiento (López-Martínez *et al.*, 2005). Así, la gestión y excavación sistemática del mismo, con fines científicos, formativos y divulgativos, sello inconfundible del Proyecto, ha guiado las posteriores acciones implementadas por el equipo del PSP.

Desde que el PSP iniciase su andadura en 1998, las excavaciones anuales y el resto de actividades de investigación que lleva asociados han sido dirigidas de manera continuada por la catedrática de Paleontología Nieves López Martínez (hasta su fallecimiento en 2010) y por los profesores Manuel Hernández Fernández y Laura Domingo Martínez (a partir de 2010). De forma esporádica otros investigadores de la UCM y del Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC han codirigido las excavaciones, incluyendo a algunos de los firmantes del presente trabajo. La cercanía de los yacimientos a la ciudad de Madrid y su privilegiado emplazamiento dentro de uno de los campus de la UCM facilitan enormemente el acceso a los yacimientos y, por tanto, la realización de actividades de tipo educativo y divulgativo (ver referencias en Fesharaki *et al.*, 2012). Al mismo tiempo, durante más de dos décadas se han realizado numerosas publicaciones y trabajos académicos, incluida una tesis doctoral, sobre los aspectos científicos del yacimiento (Fesharaki, 2016). Además, debido al marcado potencial didáctico del yacimiento, son diversos los proyectos, subvenciones y financiaciones ministeriales que se han otorgado para el desarrollo y realización de actividades divulgativas y educativas, así como para la creación de materiales didácticos (cuadernillos, moldes, recortables, folletos y carteles).

La vertiente educativa se basa en una oferta de formación reglada para alumnado de la UCM para aprender aspectos de la prospección paleontológica y la excavación de un yacimiento paleontológico. Asimismo, se realizan actividades de formación de alumnado universitario en investigación. Este es un aspecto muy novedoso de este proyecto, dado que raramente en las universidades se usan las actividades indagativas, siendo muy apropiadas en el aprendizaje de las Ciencias Experimentales, y concretamente de las Ciencias de la Tierra.

Actualmente, se considera que las actividades experimentales no solo son importantes por acercar al alumnado al desarrollo de metodologías usadas en las investigaciones científicas, favoreciendo el aprendizaje de procedimientos y actitudes, sino

que también son actividades muy motivadoras por permitir abandonar la rigidez del aula convencional. Además, como expone Del Carmen (2000), estas actividades pueden estimular la curiosidad, aumentar la autoconfianza y facilitar la apertura hacia los demás. Las actividades experimentales abarcan un amplio espectro de posibilidades con aspectos comunes como los señalados por Del Carmen (2000). Se pueden citar, entre otros, la participación del alumnado en su diseño y ejecución; el uso de materiales y metodologías propias de la investigación científica; y su realización en laboratorios, campo y otras instalaciones diferentes al aula convencional, con la consecuente mayor complejidad de implementación. Sin embargo, diversos estudios han puesto de manifiesto que pocos docentes, en cualquier etapa educativa, disponen del suficiente tiempo, motivación, conocimientos, medios económicos y/o materiales, posibilidades organizativas, etc. para poder implementar actividades prácticas que se alejen del modelo de refuerzo del aprendizaje conceptual (Zabalza, 2003; Mordegliá y Mengascini, 2014). Otros indican que tan solo incluyendo algunos aspectos innovadores como la indagación se consiguen mejores resultados (Sabando *et al.*, 2017). Según una visión simplificada, una actividad entraría en la categoría de indagación siempre que incluya una pregunta investigable y el análisis e interpretación de unos datos (Bell *et al.*, 2010). Finalmente, otros autores exponen que si el estudiantado tiene que formular una pregunta adecuada y posteriormente proponer y desarrollar una metodología apta para responder a dicha pregunta, será capaz de conseguir mejores resultados de aprendizaje que si parte de un supuesto ya planteado por el docente (Rosa, 2019). Sanmartí *et al.* (2002) plantean promover entre el alumnado la construcción de modelos conceptuales en ciencias a través de un enfoque de prácticas basado en la investigación, acercándoles así la actividad profesional científica. En este tipo de prácticas se hace necesario el contacto con materiales naturales y se ponen en juego las habilidades manipulativas, pero también se refuerzan otras, como las habilidades cognitivas.

Hoy en día, el uso de instrumental para la enseñanza de las ciencias debe ser un elemento fundamental, dado que acerca al alumnado al ejercicio real de la actividad profesional de muchos científicos y científicas. De forma concreta, en el campo de la Geología y de la Paleontología (ciencia a medio camino entre la Geología y la Biología), el uso de instrumental es básico. Así, la brújula, el martillo, el metro, el microscopio o la lupa forman parte de los instrumentos que cualquier estudiante y profesional de estas ciencias usa de una forma asidua. Del Mazo (2019) recopila algunos hitos generales y muestra los aspectos fundamentales en la construcción y uso histórico de los microscopios. Entre otros muchos autores, Franco y Gonzalo (2000) y Donaire y Pascual (2012), muestran algunas posibilidades del uso de este instrumental en el estudio de la Geología y las aplicaciones en su enseñanza.

Las actividades docentes realizadas en los yacimientos de Somosaguas no solo se refieren al nivel educativo universitario, sino que comprenden todas las etapas educativas mediante diversos convenios

con empresas de ocio científico y eventos puntuales organizados por miembros del equipo en colaboración con otras instituciones, dirigidos a las enseñanzas medias, básicas y enseñanza especial (Fesharaki *et al.*, 2012).

En cuanto a la labor divulgativa en España, se puede considerar a estos yacimientos como decanos en la instauración de Jornadas de Puertas Abiertas (JPA) al público general. Además, los paseantes por las inmediaciones de las excavaciones pueden informarse durante todo el año sobre las características de estos yacimientos y el PSP, ayudados por los paneles informativos fijos (que incluyen información adicional a través de códigos QR), el mural que reconstruye el paisaje del Mioceno de Madrid e incluso utilizando las nuevas tecnologías, como la realidad aumentada, para conocer más aspectos sobre las especies descubiertas en el yacimiento (Cárdaba *et al.*, 2018). Cabe destacar que los yacimientos de Somosaguas están reconocidos como Lugar de Interés Geológico por el Instituto Geológico y Minero de España (<http://info.igme.es/ielig/ListaLIGs.aspx>).

El objetivo de este trabajo es mostrar las actividades del proyecto a través del hilo conductor de los materiales didácticos e instrumental utilizados, haciendo especial mención al uso de las lupas binoculares y microscopios. Para ello los siguientes apartados muestran las experiencias del PSP en actividades de formación universitaria, de formación en investigación, y de divulgación, para dar paso en un siguiente apartado, a una propuesta didáctica planteada como una actividad de aprendizaje basado en la indagación para solucionar un problema geológico real sobre estos yacimientos. No se tratan las actividades realizadas con alumnado preuniversitario, ya que, como se ha mencionado, ha sido principalmente desarrollado por empresas y proyectos colaboradores, y excede los objetivos del presente trabajo.

Experiencias en la formación oficial a nivel universitario

Las campañas de excavación en los yacimientos de Somosaguas se plantean como una forma de acercar las metodologías de trabajo en Paleontología y Geología a todo el alumnado de la UCM. La campaña de excavación paleontológica como asignatura cubre los aspectos principales del trabajo de paleontología de vertebrados, así como otros geológicos relacionados con las fases de prospección como pueden ser la realización de columnas estratigráficas o de cortes geológicos. Cabe destacar que, en el caso del alumnado del Grado en Geología, la excavación de Somosaguas constituye una de las salidas de campo de la asignatura obligatoria de 2º curso "Paleontología General" así como de la asignatura optativa de 4º curso "Prospección Paleontológica".

Las actividades educativas ofertadas en torno a estos yacimientos no se restringen a los grados de Biología y Geología, sino que se han hecho extensibles a todas las carreras de la UCM. De hecho, por estas excavaciones ha pasado alumnado de estudios tan dispares como Ciencias Políticas, Bellas Artes, Educación, Historia, Ciencias Químicas o Enfermería, enriqueciendo el intercambio de ideas

y experiencias entre alumnado con formación muy diversa. En esta actividad reglada por la UCM, una vez finalizada la formación, el alumnado obtiene 2-3 créditos de libre configuración (hasta 2010) u optativos (desde 2010). Además de la asistencia a la propia excavación, el alumnado asiste a un seminario introductorio, donde se abordan cuestiones básicas de Paleontología, se contextualizan los yacimientos de Somosaguas y se aclaran dudas de tipo logístico (Fesharaki *et al.*, 2012). La actividad formativa finaliza con la asistencia a, al menos, un turno de trabajo en el laboratorio, realizando el triado del sedimento obtenido en campañas previas, para obtener e identificar microfósiles.

El trabajo del alumnado en esta actividad consiste en la familiarización con el instrumental necesario (lupas binoculares, microscopios...) para la obtención, diferenciación e identificación de microfósiles, fragmentos de rocas y minerales. En general, la obtención de restos fósiles de pequeño tamaño es una actividad elemental en estudios paleontológicos. Además de la importancia que tiene la propia determinación taxonómica de los microfósiles hallados (ej. restos de micromamíferos), estos restos suelen ser decisivos para determinar la edad de cualquier yacimiento e inferir las condiciones ambientales que predominaban en los ecosistemas del pasado.

El procesado de las muestras para obtener estos microfósiles difiere de las metodologías empleadas en la excavación de macrofósiles en los yacimientos. Para comenzar, se recogen toneladas de sedimento, que se distribuyen en diferentes sacos con la información de la ubicación y año de extracción de la muestra. A continuación, el sedimento se pone en remojo y se deja secar para conseguir que las arcillas se separen de los restos de microfósiles. Posteriormente, la muestra pasa por un proceso de lavado y tamizado para eliminar las arcillas y separar los restos de mayor tamaño. Las muestras recogidas de los tamices, susceptibles de contener fósiles, serán posteriormente procesadas en el laboratorio.

En el laboratorio se explica el proceso de obtención de las muestras. La gran disparidad de estudios de los que procede el alumnado hace que para muchas personas sea la primera vez que trabajan con instrumental óptico. Cada persona, tendrá acceso a una lupa binocular desde donde irá revisando su muestra y separando a través de barridos visuales y con ayuda de un pincel los restos fósiles de los fragmentos de rocas y minerales (Fig. 1A).

Durante esta actividad el alumnado tiene la oportunidad de descubrir los fósiles e identificarlos con ayuda de las personas que supervisan la actividad. Estos restos pueden medir unos pocos milímetros, por lo que se trata de una actividad que requiere altos niveles de concentración y su manipulación requiere de altos niveles de paciencia. Las principales competencias trabajadas a lo largo del proceso de triado son las detalladas en la tabla I.

Experiencias en la formación en investigación

Desde 2007, el PSP tiene asociado un equipo de introducción a la investigación con siglas EIIGPBS, centrado en formar a un estudiantado multidisciplinar en la labor investigadora, complementando su formación universitaria oficial con seminarios, sali-

Generales	CG2. Recoger e integrar diversos tipos de datos y observaciones con el fin de comprobar hipótesis. CG3. Aplicar conocimientos para abordar y resolver problemas geológicos usuales o desconocidos. CG5. Reconocer los puntos de vista y opiniones de los otros técnicos e integrar información multidisciplinar para resolver problemas geológicos. CG6. Desarrollar las destrezas necesarias para ser autónomo y para el aprendizaje continuo a lo largo de toda la vida: autodisciplina, autodirección, trabajo independiente, gestión del tiempo, y destrezas de organización. CG7. Identificar objetivos para el desarrollo personal, académico y profesional y trabajar para conseguirlos.
Transversales	CT1. Adquirir capacidad de análisis y síntesis. CT3. Adquirir capacidad de organización, planificación y ejecución. CT8. Adquirir la capacidad de trabajo autónomo o en equipo. CT13. Demostrar motivación por la calidad en el desarrollo de sus actividades.
Específicas	CE3. Capacidad para identificar y caracterizar las propiedades de los diferentes materiales y procesos geológicos usando métodos geológicos. CE4. Saber relacionar las propiedades de la materia con su estructura. Saber identificar y caracterizar los materiales geológicos mediante técnicas instrumentales, así como determinar los procesos que originan su formación y sus aplicaciones. CE7. Conocer las técnicas para identificar fósiles y saber usarlos en la interpretación y datación de los medios sedimentarios antiguos.

Tabla 1. Principales competencias trabajadas en el proceso de triado, según las recogidas en el Grado en Geología de la UCM.

das de campo o cursos, orientados a la preparación de un trabajo original publicable (Benítez López *et al.*, 2009). Tiene una estructura donde el alumnado de Grado, asesorado por personal predoctoral y postdoctoral, coordinados a su vez por la dirección del PSP, son los que realizan investigaciones científicas, y son formados en la difusión de los nuevos conocimientos adquiridos.

De los múltiples trabajos propuestos, y finalmente publicados en revistas especializadas, se mencionan a continuación tres ejemplos sustentados en el uso del microscopio y la lupa binocular:

- En el trabajo de Torroba *et al.* (2010) se estudia el patrón de mortalidad de una de las especies de micromamíferos registrados en este yacimiento (el roedor *Democricetodon larteti*). Para ello se realizaron diversos estudios con lupa binocular, tanto con restos actuales, obtenidos a partir de egagrópilas, como con restos fósiles. La observación del grado de desgaste de la cara oclusal de determinados molares se evaluó para poder obtener histogramas de distribución por edades, diferenciando el porcentaje de individuos juveniles y de adultos.

- La publicación de Blanco y Hernández Fernández (2016) se basó en la comparativa de las asociaciones de fósiles de roedores extraídas de un mismo nivel sedimentario pero de dos ubicaciones separadas decenas de metros. Indaga sobre los factores que podrían afectar la interpretación paleoecológica y paleoambiental que de estas asociaciones se obtiene. De nuevo el uso de la lupa binocular fue imprescindible para el triado de las piezas dentales, así como para su posterior estudio e identificación.

- En el trabajo de Martín-Perea *et al.* (2019) se investigan las consecuencias de la actividad modificadora de hormigueros, por parte de la especie *Messor barbarus*, en las inmediaciones del yacimiento. El uso de la lupa fue imprescindible para el triado, en busca de restos fósiles, de los sedimentos extraídos por las hormigas, así como para observar aspectos tafonómicos de los restos encontrados. Por otra parte, el microscopio petrográfico se usó para el estudio de la composición modal de los sedimentos extraídos y su posterior comparación con los datos

existentes sobre la composición de los sedimentos no modificados por la acción mirmecológica.

Los conocimientos conceptual y procedimental sustentan la enseñanza en cualquier etapa educativa, más aún cuando se refiere a la universitaria. Este alumnado, además de conocimientos teóricos, necesitará una instrucción para acercarse a su campo profesional con las necesarias habilidades, actitudes y conocimientos prácticos. Así, el conocimiento de metodologías científicas, el uso de instrumentos o la organización de actividades de investigación, resultan imprescindibles en la formación del estudiantado universitario. Como se ha mencionado en la introducción, una forma de acercarse a esta necesidad son los trabajos de indagación. Sin embargo, es en el nivel universitario donde menos se implementan prácticas que incluyan actividades de indagación (Rosa, 2019). Efectuando investigaciones teórico-prácticas, el alumnado participante podrá experimentar, de forma real, los retos (en planificación, económicos, materiales, temporales, etc.) que entraña una investigación y al mismo tiempo familiarizarse con procedimientos e instrumental científico que les serán de gran utilidad. Además, la inclusión de una fase inicial en la que el alumnado plantee una pregunta investigable supone un aumento de la complejidad, favoreciendo la comprensión y aplicación de las fases de una verdadera investigación (Rosa, 2019).

En el caso del EIIGPBS, se trata de una investigación guiada, que parte de las ideas propuestas en cada momento por el estudiantado, y corrige los puntos que no son viables (por razones económicas, temporales, geológicas, etc.), explicando, en cada caso, la problemática y soluciones entre las que el alumnado debe, mediante razonamiento, elegir la más adecuada en cada circunstancia.

Algunos de los aspectos que se refuerzan con la investigación en el EIIGPBS son: (1) observación (directa, mediante fotografía o vídeos...); (2) búsqueda de información (publicaciones científicas, páginas web y blogs científicos, etc.) que permita integrar diversos temas; (3) planificación de muestreos y toma de datos; (4) identificación y clasificación de materiales; (5) toma y siglado de muestras; (6) ma-

nipulación de muestras y realización de preparados para ser estudiados mediante diferentes técnicas e instrumentos (lupas binoculares, microscopios, rayos X, etc.); (7) análisis y representación de datos en tablas o gráficas; (8) formulación de hipótesis y comparación entre diversas opciones (discusión de resultados); (9) toma de decisiones (cantidad de muestra necesaria, elección entre diferentes métodos analíticos, temporización de las actividades) y (10) la elaboración de conclusiones. Además, en ocasiones estos trabajos se proponen de forma que dos personas investigan sobre el mismo tema, fomentando aspectos como la capacidad de trabajo cooperativo, la toma de decisiones consensuadas o el reparto equitativo e inteligente del trabajo (basado en los conocimientos y habilidades de cada persona).

Experiencia en divulgación

Desde el año 1999 se realizan Jornadas de Puertas Abiertas (JPA) y, desde el año 2001, se presentan actividades en el contexto de la Semana de la Ciencia de Madrid (con actividades de divulgación dirigidas a grupos concretos como son el profesorado de Educación Secundaria o alumnado con necesidades educativas especiales). Asimismo, en estos yacimientos se realizan otras actividades puntuales como las Olimpiadas de Geología de Madrid realizadas en febrero de 2020. Estas actividades tienen como objetivo la generación de conocimiento, principalmente geológico y paleontológico, y el fomento y difusión de la cultura y la enseñanza científica, y su aplicación para la obtención de un beneficio social, siguiendo el marco de la Ley 11/2014 de Ciencia, Tecnología e Innovación. El PSP cuenta desde 2016 con una Comisión de Coordinación de Divulgación (CCD) formado por personas con formación en Paleontología y Educación, que diseñan, coordinan y realizan las actividades de divulgación.

Las JPA consisten en una visita guiada a las excavaciones, incluido el mural al lado de los yacimientos que representa la fauna, flora y paisaje de esta zona de Madrid hace 14 millones de años, y la realización de distintas actividades para todos los públicos (Fesharaki *et al.*, 2012). En estas jornadas divulgativas, una de las actividades centrales es explicar la diversidad e importancia de los micromamíferos del yacimiento.

La actividad que desarrollamos desde el proyecto, consiste en explicar las técnicas de extracción de los restos fósiles, basadas principalmente en el lavado/tamizado y el triado de la muestra (Fig. 1B).

En la segunda parte, se explican los aspectos morfológicos de los dientes de micromamíferos. Sus especies se definen únicamente en función de elementos dentales de muy pequeño tamaño. Por ello, solo bajo la lupa se puede apreciar la complejidad y diversidad de sus dientes, resultado de su evolución y esenciales para su estudio y clasificación (Fig. 1C). Además, para mostrar el posible aspecto de las especies a las que pertenecerían los restos fósiles se han creado una serie de fichas con ilustraciones de estas especies (Fig. 1D). Para potenciar su divulgación, también se crearon unas réplicas de dientes de las especies de micromamíferos. Estas réplicas

se construyeron digitalizando en 3D la dentición de especímenes fósiles e imprimiendo a escala pero a 4000 aumentos esos modelos; así se respeta el tamaño relativo de cada diente y se pueden observar las diferencias morfológicas y de talla (Fig. 1E). Estos modelos, usados de forma complementaria a las lupas, facilitan las labores de difusión, permiten el acceso a la colección sin comprometer el material original y la hacen accesible a personas con diversidad funcional visual.

Dada la elevada afluencia de público a las JPA y al alto interés que despiertan los micromamíferos, en esta actividad se divide al público asistente en subgrupos para facilitar la comprensión y visualización, y que los asistentes puedan triar buscando microfósiles y observar bajo las lupas lo descubierto por ellos mismos (Fig. 1F).

La inclusión de lupas binoculares, lupas de mano y réplicas en 3D de los dientes, en actividades de divulgación resulta un elemento novedoso dentro de la oferta tradicional y que, junto con otros recursos como la exposición de murales y pósters, la creación de material de apoyo (cuadernillos de actividades y dibujos), o la reciente inclusión de herramientas de realidad virtual, forman una propuesta que reúne la visión tradicional de la ciencia con los últimos avances en investigación y difusión. Además, favorece la inclusión de personas con diversidad funcional visual, por sordoceguera o con trastornos del espectro autista, en los que la manipulación e interacción directa con los materiales resulta muy beneficiosa (Buehler *et al.*, 2016; Blázquez Tobías *et al.*, 2018).

PROPUESTA DIDÁCTICA

Generalidades y temporalización de la propuesta

Presentamos una propuesta didáctica que gira en torno a aspectos geológicos y paleontológicos que podrían estudiarse mediante el uso de lupas y microscopios en cualquier yacimiento paleontológico. En este caso realizamos una aplicación a los datos que ya se han investigado y publicado sobre la tafonomía y petrografía del yacimiento de Somosaguas.

La actividad que se propone pretende ser un inicio, en 2º curso de Bachillerato o primer curso de algunas carreras de ciencias (p.ej., Geología, Biología o Ciencias Ambientales), a las actividades de investigación (indagativas) en el campo de la geología que permitan al alumnado ser consciente de las fases de cualquier investigación científica y les lleve a ser partícipes de algunas de estas fases. A pesar de su simplificación aún reviste cierta complejidad y deberá ser el docente el que adapte la actividad a la realidad de su aula.

El objetivo sería que a partir de una serie de datos e imágenes obtenidos mediante lupa y microscopio de muestras de fósiles y sedimentos del yacimiento de Somosaguas, el alumnado, a modo de expertos en diversos campos de la geología, pudiesen analizar e interpretar dichos datos para sacar conclusiones sobre algunos de los procesos y ambientes en los que se originaron estos yacimientos.

La actividad se realizaría en 7 sesiones de unos 50-55 minutos, repartidos en 5-7 semanas de forma

que entre una y otra sesión el alumnado pueda trabajar de forma independiente o en sus respectivos grupos.

Sesión 1. Se iniciaría con algunas preguntas a discutir en la clase para obtener información sobre las ideas previas del alumnado. Podrían ser interesantes cuestiones como ¿en qué tipos de rocas pueden aparecer fósiles? ¿qué es un yacimiento paleontológico? ¿cómo se forma una concentración de fósiles en un yacimiento? ¿todos los ambientes sedimentarios tienen el mismo potencial para formar yacimientos paleontológicos? y cualquier otra que pueda ayudar a conocer los conceptos que ya sabe el alumnado y aquellos en los que debe profundizar. Posteriormente, se podrían mostrar ejemplos de diferentes ambientes que facilitan o dificultan la fosilización. Finalmente, se explicaría la forma en la que se han formado algunos yacimientos destacables por su origen (ej. Cerro de los Batallones, Atapuerca y Las Hoyas).

Para introducir la actividad se dividirá la clase en equipos de 4-5 personas a los que se asignará una especialidad (petrografía o tafonomía) recordando qué estudian cada uno de sus profesionales. Una vez repartidos los roles se explicará la temporización y el objetivo de la actividad. Se indicará que tras su investigación deben poder escribir un pequeño “artículo científico” en el que se reflejarán sus resultados, pero que también de forma conjunta en la última sesión deberán cooperar para llegar a un acuerdo sobre el proceso generador del yacimiento de Somosaguas. La primera labor de cada equipo será presentar una pregunta investigable relacionada con lo que puede aportar su especialidad a la inferencia del origen y el proceso formador del yacimiento en la 2ª sesión. Podrán valer cuestiones específicas sobre la especialidad de cada grupo, por ejemplo, ¿cómo son las muestras de sedimentos de estos yacimientos y qué procesos y medios sedimentarios podrían haberlos generado? ¿qué procesos parecen haber afectado a los restos paleontológicos de estos yacimientos y qué información proporcionan sobre los posibles medios y procesos que los han afectado?

Sesión 2. Tendrá lugar pocos días tras la 1ª sesión y servirá para explicar la organización de un artículo científico típico: (1) una introducción que exponga el interés y objetivos del estudio (deberán plantear cuál es la pregunta principal y cuáles las secundarias a las que pretenden dar respuesta); (2) un apartado de materiales y metodología que incluya el tipo de sedimentos o restos paleontológicos con los que trabaja cada equipo y el instrumental usado para su estudio, así como índices o gráficas que se pueden usar para analizar los resultados; (3) aunque la mayoría de los resultados ya se proporcionan, deberán complementarlos con datos obtenidos de la bibliografía y organizarlos de forma que se pueda hacer una pequeña discusión sobre lo que aporta cada uno de los resultados; (4) un apartado de conclusiones parciales sobre su especialidad, que luego se completará con la conclusión conjunta a la que lleguen tras la sesión de discusión y puesta en común; (5) finalmente, un apartado de bibliografía.

En esta sesión se entregará al alumnado el material con el que cada grupo va a trabajar (ver detalles

en el apartado de “Resolución del problema a investigar”) y en su caso posibles referencias bibliográficas elementales o páginas web y blogs a los que puedan acceder para ampliar la información. Podría servir como punto de partida el blog del PSP (<http://investigacionensomosaguas.blogspot.com/>) y la sección de este blog dedicado a los artículos publicados sobre su geología y paleontología.

Sesiones 3 y 4. Estas sesiones tendrán lugar unos 15 días después de la 2ª sesión y de la 3ª, respectivamente. Servirán de tutorías de seguimiento, procurando que el alumnado complete la primera fase de su investigación y exponga al docente sus logros y sus dudas. El docente puede acceder a páginas sobre funcionamiento de instrumental óptico (Web 1 y Web 2) y también a webs con imágenes de microscopio de minerales y rocas para explicar cómo se diferencian las que aparecen en la actividad. Se pueden ver algunos aspectos sobre las clasificaciones composicionales y texturales de rocas en el trabajo de Franco y Gonzalo (2000).

Sesión 5. Unos 10 días después de la 4ª sesión, se dedicarán los 6-7 primeros minutos de la sesión a que los equipos de una misma especialidad lleguen a unos resultados consensuados. Posteriormente los expondrán como conclusiones más significativas de su estudio al resto de la clase y se abrirá un periodo de discusión. La exposición se puede realizar aprovechando las posibilidades que proporcionan las nuevas tecnologías (presentación por diapositivas, realización de un pequeño video explicativo, una entrada en el Blog de la clase, etc.).

Sesión 6. Pocos días tras la 5ª sesión, se realizará una discusión guiada por el docente sobre la conclusión que se podría obtener a partir del análisis integrado de los resultados aportados para cada equipo de expertos, mostrando posibles contradicciones e intentando resolverlas consensuadamente. Finalmente, se deberá responder a la pregunta inicial formulada por cada equipo y a la pregunta general “¿Por acción de qué procesos y en qué medio sedimentario se han formado los yacimientos paleontológicos de Somosaguas?”.

Sesión 7. El alumnado entregará sus “artículos” al profesor/a, que dedicará la sesión a explicar tanto con los datos usados en esta actividad como con otros que crea interesantes (microfauna, paleoecología, mineralogía, isótopos...), qué procesos generadores de yacimientos y en qué ambientes se originaron hace 14 millones de años estos yacimientos. Se podrá aprovechar esta temática para resaltar la importancia de la protección del patrimonio geológico y paleontológico como bienes científicos y culturales. Además, es interesante hacer ver al alumnado las interacciones que hay entre las diferentes ramas de las ciencias y la importancia de las investigaciones multidisciplinares.

Contextualización teórica

En este apartado exponemos algunas cuestiones teóricas que pueden servir de guía al profesorado que decida implementar esta actividad en su aula. Nos centraremos en: (1) aspectos generales sobre los yacimientos de Somosaguas, (2) aspectos específicos sobre la petrografía sedimentaria, y (3) aspectos específicos sobre la tafonomía.

Geología y Paleontología de los yacimientos de Somosaguas

Para contextualizar nuestra propuesta didáctica se mencionan a continuación algunas características geológicas y paleontológicas de este yacimiento:

Los yacimientos de Somosaguas se encuentran en sedimentos pertenecientes a la Unidad Intermedia de la secuencia miocena de la Cuenca de Madrid. Estos depósitos corresponden a facies proximales de un sistema sedimentario concéntrico formado durante una etapa endorreica de esta cuenca. Están constituidos fundamentalmente por facies arcóscas matriz-soportadas interpretadas como depósitos medio-distales de abanicos aluviales cuya área fuente fueron los granitoides y rocas metamórficas de grado medio y alto del Sistema Central (Mínguez Gandú, 2000; Cuevas-González, 2005; Fesharaki *et al.*, 2015).

El área paleontológica de Somosaguas posee dos yacimientos principales: Somosaguas-Norte (SOM-N) y Somosaguas-Sur (SOM-S). SOM-S se encuentra estratigráficamente por debajo de SOM-N y aparece en depósitos de arcosas arcillosas depositadas por flujos de lodos. Por su parte, SOM-N consiste en arcosas mal seleccionadas originadas por sucesivos flujos de derrubios. Los sedimentos de SOM-S son ricos en microfósiles, especialmente de micromamíferos (Hernández Fernández *et al.*, 2006), lo que ha permitido datar los yacimientos en torno a unos 14,05-13,75 Ma (MN 5; zona local E). Los depósitos de SOM-N albergan, sobre todo, fauna de macromamíferos. La asociación de vertebrados de Somosaguas es una de las más completas del Mioceno medio de la Cuenca de Madrid, reuniendo entre los dos yacimientos un total de 32 especies (Hernández Fernández *et al.*, 2006), que incluyen principalmente mamíferos, pero también aves y reptiles (tortugas, serpientes, ánguinos y lagartos).

Los estudios realizados hasta el momento indican que los niveles fosilíferos se formaron tras varios episodios sucesivos de aridez y lluvias torrenciales, en un bioma de sabana tropical, que registra un evento de enfriamiento y aridez regional crecientes (Hernández Fernández *et al.*, 2006). La concentración se habría producido en las inmediaciones de masas de agua semipermanentes, y los restos habrían viajado desde lugares cercanos al área fuente y mezclados en su camino con otros restos procedentes de todo el recorrido de los abanicos aluviales, incluyendo también restos depositados en el propio área de los yacimientos y removilizados por las avalanchas de lodos y derrubios (ver detalles en Hernández Fernández *et al.*, 2006; Fesharaki *et al.*, 2015; Domingo *et al.*, 2017).

Aspectos teóricos sobre petrología sedimentaria

La petrología sedimentaria estudia las características y clasificación de los sedimentos y las rocas sedimentarias, así como su asignación a determinados procesos genéticos y ambientes sedimentarios. En este trabajo nos centraremos en el estudio de las características microscópicas de los sedimentos detríticos siliciclásticos que son los que aparecen en el yacimiento de Somosaguas. Los aspectos de estas rocas que se estudian al microscopio se pueden clasificar en dos grandes grupos: aspectos com-

posicionales y aspectos texturales. Por razones de espacio nos centraremos en el estudio de areniscas que principalmente son las que forman la sucesión sedimentaria de Somosaguas.

Los aspectos composicionales se basan en la diferenciación de los clastos que forman el esqueleto y la matriz (principalmente cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca, aunque también otros minerales como las micas o los minerales densos). También se pueden estudiar las composiciones de los cementos existentes. Estos estudios deben permitir diferentes órdenes de clasificación, desde más generales, en los que se contabilizan componentes intracuencales, extracuencales, etc., hasta más específicas, con la clasificación de las areniscas en alguno de sus subtipos (cuarzoarenitas, arcosas, litoarenitas...). Incluso se puede llegar a un orden más específico de clasificación, por ejemplo, en tipos de litoarenitas según la procedencia de la mayoría de los fragmentos de roca (sedarenitas, volcarenitas, etc.). Un aspecto que se puede estudiar es la madurez composicional. De forma simplificada, a mayor proporción de cuarzo y menor de feldespatos y fragmentos de rocas habrá una mayor madurez composicional. Se pueden ver detalles de estos estudios y clasificaciones en Pettijohn *et al.* (1973). En estos estudios la forma más correcta de obtener la composición modal de una muestra es el conteo de más de 400 puntos según el procedimiento metodológico descrito en Fesharaki *et al.* (2015).

En cuanto al análisis textural se pueden estudiar características como el tamaño de los clastos, la relación entre esqueleto y matriz, la tipología de las matrices y de los cementos, los tipos de uniones entre los granos del esqueleto, la presencia de porosidad y su tipología, la redondez y esfericidad de los clastos, y la selección de tamaños de los granos (Pettijohn *et al.*, 1973).

En este trabajo, proponemos el estudio de las siguientes características texturales por parte del alumnado: (1) relación entre esqueleto y pasta, (2) redondez y (3) selección de tamaños. Éstas son algunas de las características que más información podrán aportar para responder a la pregunta sobre el ambiente y el proceso generador de la concentración fosilífera del yacimiento de Somosaguas.

La relación entre esqueleto y pasta (matriz y cemento, y en su caso la porosidad) dado en forma de relación de porcentajes permite clasificar la muestra en matriz-soportada (cuando la matriz es mayoritaria y los clastos están "flotando en la matriz") o clasto-soportada (cuando son los clastos del esqueleto los que están en una proporción mayor, estando unos en contacto con otros).

La redondez mide el grado de rugosidad (irregularidades) de la superficie que presentan los clastos en relación a su tamaño. A mayor redondez menos rugosidades tendrá un clasto.

La selección es la medida del grado de variabilidad de tamaños de clastos presentes en una muestra. A mayor heterogeneidad de tamaños se considera que la muestra está peor seleccionada, mientras que si la mayoría de clastos varían en un rango muy pequeño de tamaños se puede decir que la selección es muy buena.

Tras estudiar las características texturales indi-

cadras, se puede deducir el grado de madurez textural de una muestra. De forma general, sin tener en cuenta posibles factores diagenéticos, la madurez permite inferir la lejanía o cercanía al área fuente. De esta forma, cuando una muestra presenta mucha cantidad de matriz arcillosa (más del 15%), presenta una muy mala selección y granos angulosos será inmadura. Mientras que cuando no tiene, o tiene menos del 0,3% de matriz arcillosa, presenta una muy buena selección de tamaños y los clastos están mayoritariamente redondeados se puede decir que es supermadura. Entre ambos extremos se pueden definir otros estadios, siendo submaduro y maduro los más frecuentes. Hay que tener en cuenta que el primer factor que se evalúa es la cantidad de matriz arcillosa, el segundo la selección y el tercero la redondez, debido a que es en este orden en el que varían al alejarnos del área fuente. Para mayor detalle de estos estudios de madurez se puede recurrir al trabajo original de Folk (1951).

Aspectos teóricos sobre la tafonomía

En este trabajo proponemos que el alumnado aprenda los conceptos de meteorización y abrasión (aspectos estudiados por la tafonomía) y qué información pueden darnos acerca del modo de formación de los yacimientos de fósiles. La mejor forma de analizar en detalle la meteorización y la abrasión de los huesos fósiles es mediante su observación con la lupa binocular. Además, las dos variables seleccionadas guardan una mayor relación con la información que reúna el alumnado de los equipos con el rol de expertos en petrología.

La tafonomía estudia los procesos de fosilización y el modo de formación de los yacimientos de fósiles (Fernández López, 2000). Los procesos y modificaciones tafonómicas acaecen en dos etapas: antes del enterramiento (fase bioestratinómica) y después del enterramiento (fase fosildiagenética).

Históricamente, la tafonomía pasó de ser una disciplina supeditada a la paleoecología, que controlaba los sesgos taxonómicos producidos en los yacimientos durante su formación, a tener un corpus científico propio y considerarse indispensable para llevar a cabo interpretaciones geológicas, paleobiológicas y arqueológicas correctas (Lyman, 1994; Fernández-López, 2000; Behrensmeyer *et al.*, 2018).

Los estudios tafonómicos conllevan un elevado número de observaciones directas sobre los fósiles. En este artículo, nos centraremos en procesos y modificaciones tafonómicas sobre restos de vertebrados. En los yacimientos de vertebrados las variables tafonómicas evaluadas en el campo y en el laboratorio son muy numerosas (Tabla II).

Meteorización de restos fósiles de vertebrados

La meteorización mide el grado de deterioro de los huesos debido a la exposición a la intemperie (cambios de temperatura, humedad e insolación). Generalmente, se caracteriza por el progresivo agrietamiento y exfoliación del hueso, que comienza a hacerse evidente en zonas superficiales del mismo y puede terminar astillándolo y disgregándolo hasta su completa destrucción. Al ser una modificación progresiva, se usa en tafonomía como un modo de

determinar el tiempo transcurrido desde la muerte del animal hasta su enterramiento. Una vez enterrado el hueso, la meteorización ya no progresa más, de modo que el resto, al ser excavado, muestra el estadio de meteorización con el que quedó enterrado. Según Behrensmeyer (1978) existen seis estadios de meteorización que van desde el hueso intacto (Estadio 0) hasta el hueso muy exfoliado y prácticamente destruido (Estadio 5). La figura 2 describe cada estadio de meteorización y puede servir como guía al alumnado que realice la actividad propuesta. Además, los estadios pueden ser simplificados para facilitar su uso en el aula aunando los estadios 0 y 1, los estadios 2 y 3 y los estadios 4 y 5.

Si en un yacimiento encontramos predominio de los estadios 0 y 1, es razonable concluir que los huesos fueron enterrados rápidamente y, por tanto, estuvieron expuestos a la intemperie un corto período de tiempo. Hay algunas situaciones en las que el hueso puede quedar igualmente protegido sin que haya sido enterrado como, por ejemplo, aquellos depositados bajo una capa de agua, los protegidos por vegetación o aquellos depositados en ambientes protegidos como las cuevas. Los yacimientos en los que predominan los restos con estadios de meteorización 4 y 5 son poco comunes porque es difícil que restos tan deteriorados fosilicen. En cualquier caso, un predominio de restos en estadios 4 y 5 podrían señalar hiatos importantes en la sedimentación (baja tasa de enterramiento de los restos).

Si en un yacimiento encontramos huesos con variados estadios de meteorización podemos inferir que hay mezcla de restos que han permanecido más tiempo expuestos y otros que han sido enterrados rápidamente, y esto se relaciona con la muerte y depósito de los individuos que forman el yacimiento a lo largo de un período temporal dilatado. También es posible que haya mezcla de estadios de meteorización diferentes si en el área había condiciones microambientales diferentes (zonas con diferente cobertura vegetal y/o contenido en agua del medio).

Abrasión de restos fósiles de vertebrados

La abrasión se refiere a la erosión que presentan los huesos debido al impacto y fricción con partículas sedimentarias. La abrasión produce una suavización de las aristas y los vértices de los huesos que da como resultado una pérdida de las irregularidades superficiales y/o la adquisición de una forma esférica (Alcalá, 1994). La figura 3 describe cada estadio de abrasión, sirviendo como guía al alumnado.

El análisis de los estadios de abrasión en un yacimiento de fósiles de vertebrados permite inferir la intensidad y/o tiempo de interacción de las partículas sedimentarias con los huesos (Behrensmeyer, 1991). La abrasión puede producirse por distintos agentes como el viento, el pisoteo o el transporte hidráulico.

Resolución del problema a investigar

Expertos en petrografía

Observando las muestras 1 a 6 de la figura 4, el alumnado de los grupos de petrografía deberá definir para cada una de las muestras las tres características antes señaladas. Una vez que hayan definido

Tabla II. Variables tafonómicas que suelen estudiarse en los yacimientos de vertebrados.

Datos de la asociación	Orientación, buzamiento y distribución espacial de los restos en el yacimiento Identificación taxonómica y anatómica Análisis de la desarticulación de los restos Análisis del transporte de los restos Demografía de los individuos representados
Modificaciones acaecidas en la etapa bioestratigráfica	Meteorización Abrasión Pisoteo Marcas de carnívoros y digestión Marcas de roedores Fragmentación
Modificaciones acaecidas en la etapa fosildiagénica	Marcas de raíces Bioerosión producida por microorganismos Compactación Fragmentación Modificaciones en la mineralogía y geoquímica de los restos

estas características, tendrán que inferir si las muestras estudiadas son matriz o clasto-soportadas y su grado de madurez textural. Además, tendrán que comparar unas muestras con otras para poder distinguir posibles diferencias entre las mismas.

El profesorado puede recurrir a los resultados de los análisis petrográficos para muestras de este yacimiento descritos por Fesharaki (2016). De forma resumida se puede indicar que las muestras son de composición arcósica (altos porcentajes de feldespatos que indican inmadurez composicional) y la mayoría de ellas son matriz-soportadas, con matriz arcillosa y limosa (arcosas arcillosas). De hecho, en las imágenes de microscopía electrónica de barrido de muestras del yacimiento se observan clastos de feldespatos y cuarzos con recubrimientos parciales


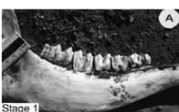

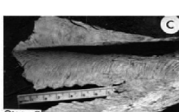
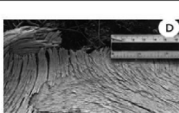
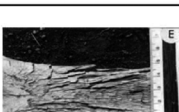
o totales de minerales de la arcilla, indicando la gran proporción de éstos que está presente en los sedimentos de esta área (Fesharaki, 2016). En cuanto a la redondez, las muestras presentan un bajo grado de redondez, aunque también se han observado granos muy redondeados. Finalmente, la selección es moderada a mala en casi todas las muestras de Somosaguas.

Expertos en tafonomía

Es esperable que cualquier muestra recogida para su análisis refleje valores parecidos a aquellos detectados en el estudio tafonómico de Somosaguas realizado en una muestra de 559 fósiles (Domingo *et al.*, 2017). En la figura 5 mostramos los resultados obtenidos en el mencionado estudio para los análisis de la meteorización y la abrasión. Esta será uno de los materiales de investigación proporcionados al alumnado durante la 2ª sesión de trabajo. Se observa el predominio de los estadios de meteorización 0 y 1, es decir, en SOM-N predominan los huesos intactos frente a la meteorización y aquellos que presentan un ligero agrietamiento y que estuvieron expuestos a la intemperie 3 años como mucho (Fig. 2). Los huesos con estadios 2 y 3 están presentes pero son escasos y habrían estado expuestos a la intemperie 5 años como mucho. No podemos descartar que existiesen en su momento restos con estadios de meteorización más avanzados (4 y 5) pero que, debido a sus peores condiciones de conservación, no sobreviviesen a posteriores modificaciones y alteraciones. Se puede concluir que muchos de los restos fueron enterrados relativamente rápido (en menos de 3 años) o quedaron protegidos frente a la meteorización por los factores previamente señalados. Sin embargo, esos restos están mezclados con restos que permanecieron más tiempo expuestos (con estadios de meteorización 2 y 3).

En cuanto a los estadios de abrasión, se observa que hay mezcla de los tres estadios, desde huesos intactos hasta huesos con un pulido extremo. Consideramos que la abrasión en Somosaguas está causada en gran medida por dos factores: pisoteo y transporte hidráulico producido durante el transporte por los flujos de derrubios en los que se encuentra la asociación fosilífera. La mezcla de estadios de abrasión sería debida al diferente tiempo e intensidad con que cada resto ha estado sometido a los factores causantes de abrasión.

Fig. 2. Descripción de los estadios de meteorización propuestos por Behrensmeyer (1978) y utilizados en esta propuesta didáctica (Imágenes tomadas de Behrensmeyer, 1978).

Estadio de meteorización	Descripción	Tiempo (años)	Fotografía
0	Superficie del hueso intacta, sin señales de agrietamiento ni exfoliación.	< 1	
1	Superficie con ligero agrietamiento, normalmente paralelo a la disposición de las fibras del hueso.	≤1-3	
2	Capas externas muestran exfoliación, asociada a agrietamiento. Escamación común. Exfoliación más extensiva puede progresar hasta desaparecer capa externa.	3-5	
3	Presencia de parches de hueso áspero y homogéneamente meteorizado con textura fibrosa. En los parches la capa superficial de hueso ha desaparecido.	5-10	
4	Superficie del hueso fibrosa y áspera. Escamas grandes y pequeñas sueltas, que pueden desprenderse fácilmente. La meteorización penetra al interior del hueso.	10-15	
5	Hueso prácticamente destruido, con grandes escamas óseas. Puede ser difícil reconocer la forma original del hueso. Tejido esponjoso expuesto y puede quedar preservado aún cuando toda la cortical ha sido destruida.	10- ≥30	

Resolución final

Teniendo en cuenta las características petrográficas se puede decir que los sedimentos de las imágenes 1 a 6 deberán ser submaduros y, ocasionalmente, inmaduros. Estos indican procesos y ambientes que preservan una variedad de tamaños de clastos englobados en una matriz arcillosa, lo que a su vez explicaría la baja redondez de los clastos que están protegidos de los choques por los recubrimientos de arcillas. De los posibles ambientes sedimentarios que por lógica podrían haber actuado en el área se pueden descartar los medios fluviales (generalmente con menos arcillas y mayor redondez). El alumnado podría decantarse por ambientes lacustres o de abanicos aluviales. Las características petrográficas con mala selección de tamaños, con algunos clastos de gran tamaño, podrían descartar el ambiente lacustre. Por tanto, en una simplificación adecuada para el nivel del alumnado al que va dirigida esta actividad, se podría decir que los datos nos llevan a inferir un proceso de flujo en masa en un ambiente de abanicos aluviales (Fesharaki *et al.*, 2015; Fesharaki, 2016).

Por otra parte, los estudios tafonómicos deben permitir deducir que en SOM-N se observa mezcla de restos con distintos estadios de meteorización, abrasión, así como otras variables tafonómicas como la fracturación. En esa mezcla, destacan dos modos de preservación extremos: por un lado, restos bien conservados, con bajos índices de meteorización, abrasión y fracturación que serían restos que estuvieron poco tiempo expuestos. Por otro lado, hay restos con mayores evidencias de meteorización y abrasión, y con fracturación elevada hasta el punto de ser restos que no pueden ser identificados ni a nivel taxonómico ni a nivel anatómico (esquirlas). Estos restos se habrían visto expuestos durante un período de tiempo prolongado a la intemperie y a los procesos causantes de la abrasión y la fracturación. Estos datos podrían apoyar la hipótesis de un proceso repetitivo de flujos en masa que al llegar a un nivel de base local depositarían los sedimentos y los restos de fósiles que englobaban. De nuevo, y teniendo en cuenta que en estudios reales harían falta más datos para una definición clara de medios y procesos sedimentarios, se podría dar por válida la explicación de que sucesivos flujos en masa incorporarían al depósito y, en definitiva enterrarían, restos con preservación variable (Domingo *et al.*, 2017).



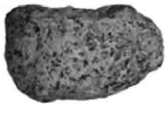
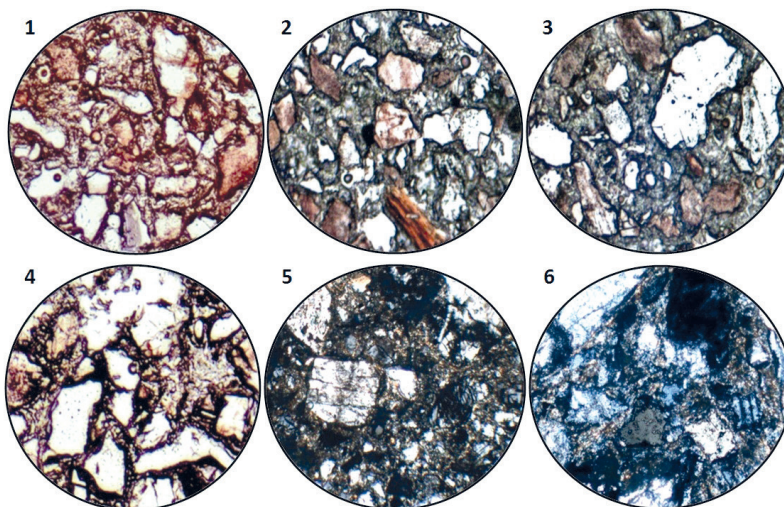
Estadio de abrasión	Descripción	Fotografía
1	Hueso intacto. No presenta ninguna evidencia de suavización de sus aristas y vértices.	
2	Hueso redondeado. Algunas de las aristas y vértices del hueso muestran un aspecto romo.	
3	Hueso pulido. Todo el espécimen presenta un pulido generalizado e intenso, en ocasiones con desfiguración de su morfología llegando a afectar al tejido esponjoso.	

Fig. 3. Descripción de los estadios de abrasión propuestos por Alcalá (1994) y utilizados en esta propuesta didáctica. Las imágenes corresponden a huesos de SOM-N (Domingo *et al.*, 2017).



Por tanto, sería esperable que como conclusión de conjunto, el alumnado siguiese un razonamiento progresivo, en el que por los datos de fauna identificasen un ambiente continental relativamente seco y con lluvias torrenciales esporádicas; posteriormente, los expertos en petrografía deberían intuir po-

Fig. 4. Imágenes de microscopio de seis muestras seleccionadas de la sucesión sedimentaria de Somosaguas (Modificado de Fesharaki, 2005). El diámetro de las imágenes equivale a 2,5 cm del campo de visión.

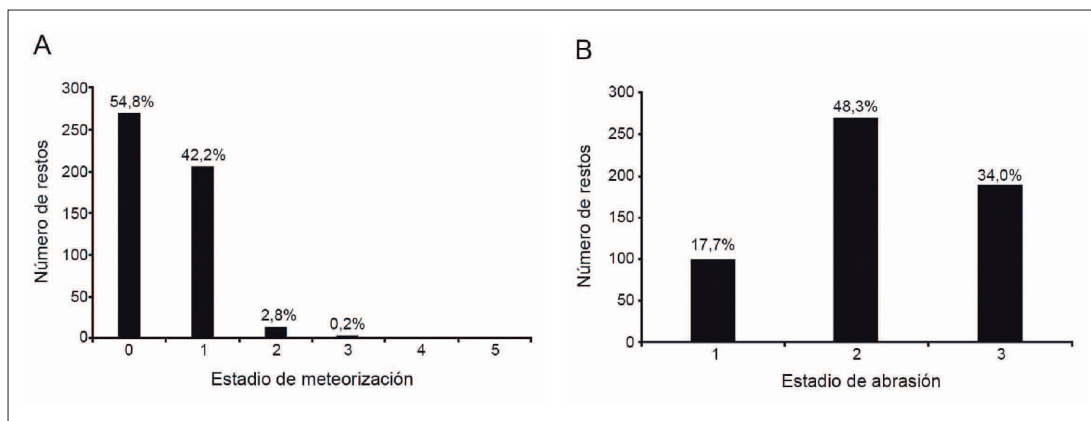


Fig. 5. A) Estadios de meteorización en los huesos fósiles de SOM-N. B) Estadios de abrasión en los huesos fósiles de SOM-N.

Fig. 1. Fotografías que muestran el uso de instrumental óptico y otras herramientas didácticas en las actividades del PSP. A) Triado de sedimentos por parte de estudiantes universitarios. B) Materiales usados en las JPA para divulgar el trabajo con los restos de fósiles de microvertebrados. C) Estudiantes con diversidad funcional aprenden a usar materiales ópticos en una actividad del PSP. D) Material didáctico de apoyo para explicar las diferentes especies que aparecen en Somosaguas. E) Material óptico y réplicas en 3D de molares de micromamíferos. F) Diversos materiales (lupas, sedimentos con microfósiles, réplicas en 3D, pósteres, carteles fijos...) usados en las JPA para explicar la microfauna de Somosaguas.



sibles procesos energéticos tipo flujos en masa en contraposición con flujos tractivos, mientras que los expertos en tafonomía indicarían sucesivas etapas de transporte y enterramiento debidos a diferentes pulsos sedimentarios. Finalmente, la puesta en común y la ayuda del docente ampliando estos datos con otros que considerase interesantes para el nivel de la clase deberían llevar a definir un ambiente de abanicos aluviales con procesos de tipo *debris flow* y *mud flow*.

CONSIDERACIONES FINALES

El Proyecto Somosaguas de Paleontología, con el yacimiento paleontológico homónimo como eje vertebral del mismo, se revela como un proyecto multidisciplinar, en el que participan docentes, alumnado y personal investigador de diversos centros. Con un claro objetivo científico, pero también

docente y divulgativo, el proyecto se ha centrado en trabajar, desde diferentes ópticas la transmisión del conocimiento adquirido en dicho yacimiento al resto de la sociedad.

Facilitar el uso de instrumental técnico y, concretamente instrumental óptico ha sido desde el inicio una de sus señas de identidad ya que ha sido pionera en abrirse a todo tipo de público empleando el mismo instrumental utilizado por los profesionales, dando la oportunidad de excavar en zonas aledañas a la excavación principal, participar en los procesos de triado e identificación de restos de microvertebrados y realizar investigaciones por parte de estudiantes. Además, se han realizado adaptaciones para hacer más inclusivas las actividades divulgativas.

La propuesta didáctica basada en la indagación sobre aspectos de tafonomía y petrología sedimentaria, aún con las necesarias simplificaciones, pretende ser un instrumento para que el profesorado pueda acercar estas temáticas al alumnado e intro-

ducir así la importancia de la actividad científica y las necesarias interacciones entre diferentes ramas de la geología, así como el valor del patrimonio geológico y paleontológico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores y autoras de este trabajo queremos agradecer a todas las personas (alumnado, profesorado, dirección, etc.) que desde hace más de 22 años llevan colaborando y gestionando las excavaciones y resto de actividades asociadas al proyecto. Una mención especial y cariñoso recuerdo para la labor de la primera directora del proyecto, Nieves López Martínez. Agradecemos la minuciosa labor de revisión de Javier Élez y Davinia Díez-Canseco que han permitido mejorar considerablemente el trabajo. Este estudio es una contribución al proyecto PGC2018-094955-A-I00 y al grupo de investigación UCM-91060. S.G es parte del proyecto MAPAS, financiado por el European Research Council (ERC) en el marco del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 (Acuerdo No. 947921). P.M.C.R. cuenta con un contrato de la UCM CT42/18-CT43/18.

BIBLIOGRAFÍA

Alcalá, L. (1994). *Macromamíferos neógenos de la fosa de Alfambra-Teruel*. Instituto de Estudios Turolenses, 554 pp.

Behrensmeyer, A.K. (1978). Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology*, 4, 150-162.

Behrensmeyer, A.K. (1991). Terrestrial vertebrate accumulations. En: Taphonomy: releasing the data locked in the Fossil Record. P. Allison y D. Briggs (Eds.). Plenum Press, Nueva York, 291-335.

Behrensmeyer, A.K., Denys, C. y Brugal, J.P. (2018). What is taphonomy and what is not? *Historical Biology*, 30, 718-719.

Bell, R., Maeng, J. y Peters, E. (2010). Teaching about scientific inquiry and the nature of science. Task Force Report. Virginia Mathematics and Science Coalition. Disponible en línea: <<http://www.vamsc.org/wp-content/uploads/2016/04/Inquiry-and-Nature-of-Science.pdf>>

Benítez-López, G., Fesharaki, O., Gómez Cano, A.R. y Pérez de los Ríos, M. (2009). Equipo de Introducción a la Investigación GeoPaleoBiológica en Somosaguas: Un nuevo enfoque para el aprendizaje de la investigación. *Paleolusitana*, 1, 105-113.

Blanco, F. y Hernández Fernández, M. (2016). Heterogeneidad lateral en las muestras de roedores del tramo T1 del Mioceno Medio de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Estudios Geológicos*, 72(2), e052.

Blázquez Tobías, P.J., Orcos Palma, L., Mainz Salvador, J. y Sáez Benito, D. (2018). Propuesta metodológica para la mejora del aprendizaje de los alumnos a través de la utilización de las impresoras 3D como recurso educativo en el aprendizaje basado en proyectos. *Psicología, Conocimiento y Sociedad*, 8(1), 139-166.

Buehler, E., Comrie, N., Hofmann, M., McDonald, S. y Hurst, A. (2016). Investigating the implications of 3D printing in special education. *ACM Transactions on Accessible Computing*, 8(3), 1-28.

Cárdaba, J.A., Presumido, M., Fesharaki, O., Martín-Perea, D.M. y Prieto, I. (2018). Dissemination of the paleontological heritage through the use of new technologies: the example of the Somosaguas site (Madrid, Spain). En: *INTED2018 Proceedings*. L. Gómez Chova, A. López Martínez y I. Candel Torres (Eds.). IATED Academy, 488-496 pp.

Cuevas-González, J. (2005). Estado actual de los conocimientos paleontológicos y estratigráficos de los yacimientos aragoneses de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Coloquios de Paleontología*, 55, 103-124.

Del Carmen, L. (2000). Los Trabajos Prácticos. En: *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. F.J. Perales Palacios y P. Cañal de León (Dir.), Alcoy, Marfil, 267-287.

Del Mazo, A. (2019). Microscopio simple: mucho más que una simple lupa. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(2), 2401.

Domingo, M.S., Martín-Perea, D.M., Domingo, L., Cantero, E., Cantalapiedra, J.L., García Yelo, B.A., Gómez Cano, A.R., Alcalde, G.M., Fesharaki, O. y Hernández Fernández, M. (2017). Taphonomy of mammalian fossil bones from the debris-flow deposits of Somosaguas-North (Middle Miocene, Madrid Basin, Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 465, 103-121.

Donaire, T. y Pacual, E. (2012). Propiedades básicas de petrografía óptica aplicadas a la clasificación y estudio de las rocas ígneas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20.2, 188-197.

Fernández-López, S.R. (2000). Temas de Tafonomía. Departamento de Paleontología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid, 167 pp.

Fesharaki, O. (2005). Mineralogía y sedimentología del yacimiento paleontológico de Somosaguas (Mioceno, Cuenca de Madrid). Diploma de Estudios Avanzados, Universidad Complutense de Madrid, 147 pp.

Fesharaki, O. (2016). Análisis Paleambiental y Paleoclimático de los Yacimientos de Somosaguas y Húmera (Mioceno Medio, Madrid): Sedimentología, Petrología, Mineralogía y Aplicación a Divulgación e Innovación Educativa. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 366 pp.

Fesharaki, O., Arribas, J. y López-Martínez, N. (2015). Composition of clastic sediments from the Somosaguas area (Middle Miocene, Madrid Basin): insights into provenance and palaeoclimate. *Journal of Iberian Geology*, 41(2), 205-222.

Fesharaki, O., Torices, A., García Yelo, B.A., Tejedor-Navarro, N., de la Ossa, L. y Hernández Fernández, M. (2012). The Somosaguas Palaeontology Project: An envision of Nieves López Martínez for linking science and society. *Spanish Journal of Palaeontology*, 27(2), 83-92.

Folk, R.L. (1951). Stages of textural maturity in sedimentary rocks. *Journal of Sedimentary Research*, 21(3), 127-130.

Franco, M.P. y Gonzalo, J.C. (2000). Taller de petrología: Enseñanza de la petrología con el microscopio petrográfico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8.1, 38-47.

López-Martínez, N., Castilla, G., Cuevas-González, J., Élez, J., Fesharaki, O., Polonio, I., Salesa, M.J. y Torices, A. (2005). *Gestión e investigación en Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid): Un yacimiento mioceno de vertebrados en el campus de la Universidad Complutense*. En: Libro de resúmenes de las XXI Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología. E. Bernáldez, E. Mayoral, y A. Guerreiro (Eds.), 14-15.

Lyman, R.L. (1994). *Vertebrate Taphonomy*. Cambridge University Press, United Kingdom, 524 p.

- Martín Perea, D., Fesharaki, O., Domingo, M.S., Gamboa, S. y Hernández Fernández, M. (2019). *Messor barbarus* ants as soil bioturbators: implications for granulometry, mineralogical composition and fossil remains extraction in Somosaguas site (Madrid basin, Spain). *Catena*, 172, 664-677.
- Mínguez-Gandú, D. (2000). Marco estratigráfico y sedimentológico de los yacimientos paleontológicos miocenos de Somosaguas (Madrid, España). *Coloquios de Paleontología*, 51, 235-266.
- Mordeglia, C. y Mengascini, A.S. (2014). Caracterización de prácticas experimentales en la escuela a partir del discurso de docentes de primaria y secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(2), 71-89.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E. y Siever, R. (1973). *Sand and sandstones*. Springer Verlag, Nueva York, 618 pp.
- Rosa, S.M. (2019). Proyectos de investigación en los estudios universitarios: progreso de la observación a la indagación. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(1), 195-211.
- Sabando, M.C., Maldonado, K., Acevedo, E. y Said, A. (2017). Una propuesta didáctica basada en la indagación científica para la enseñanza de las ciencias ecológicas. *Diálogos educativos*, 33, 20-36.
- Sanmartí, N., Márquez, C. y García Rovira, P. (2002). Los trabajos prácticos, punto de partida para aprender ciencias. *Aula de Innovación Educativa*, 113, 12e.
- Torroba, J., Gómez de la Peña, L., Gómez Cano, A.R., López-Guerrero, P. y Hernández Fernández, M. (2010). Estudio de los patrones de mortandad de *Democricetodon larteti* (Schaub, 1925) en el yacimiento mioceno de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid). *Cidarís*, 30, 325-328.
- Web 1: <http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/1ESO/clasica/imagenes/Microscopio.swf>
- Web 2: <http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/1ESO/clasica/imagenes/Lupa.swf>
- Zabalza, M.A. (2003). Innovación en la Enseñanza Universitaria. *Contextos Educativos*, 6-7, 113-136. ■

Este artículo fue recibido el día 5 de febrero de 2021 y aceptado definitivamente para su publicación el 1 de mayo de 2021.