

La visita de cuevas como recurso didáctico para la enseñanza de los procesos endokársticos. Las cuevas de Noceda (O Courel, Lugo, NO de España)

Caves visit as didactical resource for teaching endokarst processes. The Noceda's caves (O Courel, Lugo, NW of Spain)

DANIEL BALLESTEROS¹, LAURA RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ¹, BELÉN NAVES¹ Y ALBA TURMO²

¹ Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. c/Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo. E-mail: ballesteros@geol.uniovi.es, laurarr@geol.uniovi.es, belennaves@hotmail.com

² Escola La Roda. c/Salmerón 225-249, 08226 Terrassa, Barcelona. E-mail: turmoalba@gmail.com

Resumen Se diseña una propuesta docente didáctica para la asignatura de Geología de 2^º de Bachillerato de España, en la que se pretende favorecer el aprendizaje de los contenidos relativos al karst y al trabajo de campo en Geología. La propuesta comprende la visita al interior de las cuevas kársticas y trabajo de campo con el fin de identificar ocho elementos básicos: conducto freático, conducto vadoso, espeleotemas, depósitos fluviales, derrubios, surgencia kárstica, río subterráneo y sifón. Estos elementos permiten reconocer los procesos formadores de las cuevas: disolución química, sedimentación fluvial, desprendimientos rocosos y la precipitación de espeleotemas, en relación a la circulación subterránea del agua. Para ilustrarlo, se han definido siete puntos de interés en dos cuevas kársticas de acceso relativamente sencillo. Esta propuesta permitirá al estudiante conocer los relieves kársticos y cómo se originan y se desarrollan las cuevas, así como comprender cómo circula el agua en el karst. Finalmente, se propone un sistema de evaluación que combina la evaluación del profesor, coevaluación entre iguales y autoevaluación de la actividad y de un informe elaborado por los estudiantes mediante trabajo cooperativo, a partir de las observaciones de campo recogidas en un cuaderno.

Palabras clave: Cueva, didáctica, enseñanza, geomorfología, karst.

Abstract We propose an educational activity to improve the teaching approach to the karst, its groundwater, and geological fieldwork, adapted to the course contents of the subject Geology taught in second year of senior high school. The activity comprises the visit inside karst caves and fieldwork to identify eight basic elements: phreatic conduit, vadose conduit, speleothem, fluvial deposit, breakdown deposit, karst spring, cave stream and siphon. With these elements you can recognise cave-forming processes: chemical dissolution, fluvial sedimentation, rock fall, and speleothem precipitation related to groundwater flow. In order to illustrate this, we defined seven points of interest in two caves with relatively easy access. This activity allows students to: recognise karst relief; understand cave origin and development; and understand underground flow of karst waters. Finally, the assessment system proposed combines an assessment by the teacher, peer assessment and self assessment of the activity, as well as a student report prepared in teams, based on observations collected in the field in a personal notebook.

Keywords: Cave, geomorphology, karst, learning, teaching.

INTRODUCCIÓN

El karst es el conjunto de formas del relieve derivadas principalmente de la disolución química las calizas debido a la acción del agua, si bien también actúan en el desarrollo del karst los procesos fluviales, biogénicos y de gravedad, constituyendo todos

ellos la denominada karstificación (Palmer, 2007). Así, el karst incluye formas erosivas y depósitos sedimentarios, tanto de carácter superficial como subterráneo, entre los que destacan las cuevas kársticas. El karst es uno de los modelados geomorfológicos más importantes de La Tierra ya que ocupa el 20 % de su superficie, sobre él vive el 20-25 % de la población

mundial, sus aguas subterráneas abastecen al 30 % de la población mundial, y más de 100 millones de personas viven directa o indirectamente del karst y el turismo de cuevas (Ford y Williams, 2007). Además, las cuevas kársticas albergan ecosistemas singulares, así como registros del ambiente y clima del pasado, encontrándose dentro de las cuevas numerosos restos arqueológicos (pinturas rupestres y otros) y paleontológicos. Prueba de ello es que el karst constituye parte de 43 lugares declarados Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO (Williams, 2011).

En España, el karst constituye un elemento geomorfológico de gran interés. Se estima que hasta la fecha se han documentado más de 50.000 cuevas con 5.000 km de conductos subterráneos en España por los equipos espeleológicos. Los Sistemas kársticos en carbonatos y evaporitas de la Península Ibérica y Baleares están incluidos dentro de las unidades geológicas más representativas de la Geodiversidad del territorio español, y están considerados un contexto geológico con relevancia mundial por la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Además, más de 10 entornos kársticos han sido declarados *Global Geosites* por el Instituto Geológico y Minero de España (Caravilla *et al.*, 2007). Gracias al mencionado interés, el modelado kárstico se incluye dentro de los contenidos de Geomorfología en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra en España desde los años 80, haciendo énfasis en los procesos de disolución y precipitación, en los espeleotemas y, en menor medida, en la circulación subterránea de las aguas.

Los libros de texto de Geología (Tarbuck y Lutgens, 2005; Carenas Fernández *et al.*, 2014) así como muchos trabajos didácticos y divulgativos relativos al karst en España (Durán-Valsero, 2006; Fundación Cueva de Nerja, 2008; Sánchez Fabián, 2012) y Patrimonio Geológico (Bazán, 2014) suelen presentar las cuevas como una oquedad o conducto resultado de la disolución de las calizas, en cuyo interior los espeleotemas son los grandes protagonistas. Si bien, pocas veces se describen otros procesos que participan en la formación de las cuevas, como es el encajamiento fluvial o los procesos de gravedad (inestabilidades) (Andreu *et al.*, 2016). Las visitas educativas suelen realizarse a cuevas turísticas, donde los espeleotemas son presentados como una amplia y compleja terminología basada fundamentalmente en sus morfologías (Rojo García, 2015). No obstante, existen otros sedimentos subterráneos, como los fluviales y los desprendimientos rocosos que frecuentemente constituyen mejores recursos didácticos que los espeleotemas para el estudio del origen y desarrollo del endokarst, en especial cuando se analiza la superposición de diferentes tipos de depósitos de cuevas (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2011). También existen trabajos didácticos sobre los usos y aprovechamiento de las cuevas de España, que permiten un buen acercamiento al karst desde el punto de vista de vista del ser humano (Robledo Ardila y Durán-Valsero, 2016). Respecto, a la circulación hídrica subterránea, existen trabajos centrados en la didáctica y divulgación de la hidrogeología kárstica mediante experimentos de laboratorio (Pla *et al.*, 2016) o mediante ejemplos reales centradas en el karst a escala regional, como el País Vasco (Anti-

güedad *et al.*, 2007), o a escala más local, como el Parque Natural Sierra Norte de Sevilla (López Geta y Martos Rosillo, 2011). No obstante, mostrar la circulación subterránea y su influencia en la génesis de cuevas es generalmente complejo ya que requiere prácticamente la necesidad de introducirse en cuevas como la Cueva de Valporquero (Fernández Lozano *et al.*, 2017).

Con el fin de mejorar contribuir a la didáctica del karst y de los procesos de las cuevas kársticas en el marco de estudio de las Ciencias de la Tierra, el presente trabajo persigue diseñar una propuesta de aprendizaje aplicable a cuevas de España cuyo acceso sea relativamente sencillo. La propuesta comprende el desarrollo y evolución de las cuevas en condiciones vadosas y freáticas, los procesos de encajamiento y sedimentación fluvial, desprendimientos rocosos y espeleotemas, así como la circulación subterránea de las aguas en el karst. La propuesta incluye también la definición de los objetivos, su correspondencia con los currículums educativos vigentes, el desarrollo práctico de la visita a la cueva, y el sistema de evaluación. Para ello, se tomó de ejemplo dos cuevas piloto, las Cova da Ceza y Cova do Xato, sitadas en Noceda, en el Norte de O Courel (Lugo), ya están enmarcadas en la Candidatura Geoparque Montañas do Courel que se presentará ante la UNESCO, aspecto que realiza su interés desde el punto de vista del Patrimonio Geológico. Además, la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT), en colaboración con el Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, organizó en estas cavidades el curso “Estudio del modelado kárstico en cuevas de O Courel”, el 17-19 de octubre de 2014, que sirvió de base para el diseño de la presente propuesta.

OBJETIVOS

Los objetivos de la propuesta educativa son dos: (1) conocer las formas y procesos geomorfológicos que dan lugar a las cuevas kársticas, (2) aproximarse a la relación entre estos procesos y la circulación del agua subterránea. Además, se aborda indirectamente el método de trabajo de campo en Geología que incluye, entre otros, la lectura de un mapa geológico, la aplicación del principio de superposición de los estratos, la confección de descripciones de sedimentos y esquemas en un cuaderno de campo.

Los contenidos de la propuesta educativa se adecuan a los currículos educativos vigentes de la asignatura optativa Geología (Tabla I), incluyendo aspectos del bloque 5 relativo a procesos geológicos externos, bloque 8 relacionado con los recursos minerales, energéticos y aguas subterráneas, y el bloque 10, que incluye la geología de campo (Real Decreto 1105/2014).

DESARROLLO DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA

La propuesta educativa se basa en una visita al interior de las cuevas y la confección de un informe posterior por parte de los estudiantes, trabajando en grupo en una sesión en el aula. La visita a las cuevas

BLOQUES	CONTENIDOS
Bloque 5. Procesos geológicos externos	Las interacciones geológicas en la superficie terrestre La litología y el relieve (relieve kárstico, granítico)
Bloque 8. Recursos minerales, energéticos y aguas subterráneas	El ciclo hidrológico y las aguas subterráneas Nivel freático, acuíferos y surgencias La circulación del agua a través de los materiales geológicos El agua subterránea como recurso natural: captación y explotación sostenible
Bloque 10. Geología de campo	La metodología científica y el trabajo de campo Normas de seguridad y autoprotección en el campo Técnicas de interpretación cartográfica y orientación Lectura de mapas geológicos sencillos De cada práctica de campo: geología local, del entorno del centro educativo, o del lugar de la práctica, y geología regional. Elementos singulares del patrimonio geológico

Tabla I. Contenidos del currículum educativo de la asignatura optativa de Geología (2º Bachillerato) de España (Real Decreto 1105/2014; de 26 de diciembre, por el que se establece el currículum básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato) relacionados con la propuesta didáctica.

requiere del uso de cascos con iluminación eléctrica (incluyendo de repuesto), botas de goma y guantes, así como ropa de recambio por si se moja. Además, el estudiante llevará un cuaderno en el cual irá tomando notas de las observaciones realizadas, emulando el trabajo de campo que realiza un geólogo. Estas anotaciones, que incluyen tanto descripciones (texto breve) como esquemas. Se recomienda que la visita se realice en períodos de baja precipitación, y siempre informándose previamente de las condiciones meteorológicas, contando además con la colaboración de espeleólogos que faciliten el movimiento de los estudiantes en la cueva y transmitan las curiosidades ligadas a este particular mundo subterráneo. La relación entre el número de alumnos y espeleólogos y profesores depende del tipo de cueva a visitar que, en las cuevas de este trabajo, es de 15 alumnos por profesor y por espeleólogo.

La duración de la propuesta didáctica dependerá de la cueva a visitar. Lo ideal, es que la cueva a visitar sea de fácil acceso y cómoda, y que integre los siguientes elementos a estudiar: conducto freático, conducto vadoso, espeleotemas, depósitos fluvia-

les, derrubios, surgencia kárstica, río subterráneo y sifón. Para la visita a las cuevas piloto escogidas para ejemplificar la propuesta, se estima entre 5 y 6 horas, incluyendo una hora de sesión en el aula para la elaboración del informe final (descrito en el apartado de evaluación). Para llegar hasta las cuevas piloto se puede utilizar un autobús pequeño hasta la localidad lucense de Noceda y luego caminar cerca de 20 minutos hasta las cuevas. La descripción de acceso se detalla en Espéleo Club Descenso de Cañones (2011).

La propuesta se resume en la Tabla II y comprende la situación previa de las cuevas y 7 puntos de interés cuya ubicación se detalla en la Fig. 2. Estos puntos han sido definidos en localidades donde se observa un determinado elemento de una cueva (p.ej. morfología, depósito, curso de aguas), que evidencia el desarrollo de un determinado proceso kárstico. Los criterios específicos considerados en la definición de cada punto de interés se muestran también en la Tabla II. En los puntos de interés 1 a 7, se plantean cuestiones al alumnado relacionadas con observaciones de campo, así como su interpretación con la ayuda del profesor.

Tabla II. Puntos de interés y los criterios empleados para su selección para las cuevas piloto (Cova da Ceza y Cova do Xato). Resumen de los objetivos y actividades propuestas para cada punto de interés.

PUNTO DE INTERÉS	CRITERIOS DE SELECCIÓN	OBJETIVO	ACTIVIDADES
1 Entrada de la Cova do Xato	Punto de observación de una sección de un conducto subterráneo	Aprender a confeccionar un esquema de campo Reconocer un conducto freático	Dibujar la sección del conducto subterráneo
2 Interior de la Cova do Xato	Presencia de espeleotemas y depósitos fluviales, observables a través de una cata	Aprender a confeccionar una columna estratigráfica Reconocer espeleotemas y sedimentos fluviales	Identificar los diferentes tipos de espeleotemas (estalactitas, estalagmitas, coladas) Elaborar una columna estratigráfica de un depósito subterráneo
3 Entrada de la Cova da Ceza	Presencia de agua aflorando en la entrada de la cueva	Reconocer la circulación subterránea de aguas	Responder la pregunta ¿Por qué no circula agua por el valle del Rego de Arroxo y la entrada de la Cova da Ceza mana agua?
4 Galería do Río de la Cova da Ceza	Punto de observación de una sección de un conducto subterráneo Presencia de un río subterráneo	Aprender a confeccionar un esquema de campo Reconocer un conducto freático Identificar el control estructural de la cueva	Dibujar la sección transversal de la Galería do Río
5 Galería do Río de la Cova da Ceza	Presencia de un depósito fluvial Presencia de un río subterráneo	Aprender a describir un sedimento Reconocer un sedimento fluvial	Describir el depósito fluvial (tamaño de grano, textura, naturaleza y grado de redondez de los cantos) Responder a la pregunta ¿Cómo pudo formarse un depósito fluvial situado 2 m por encima del río actual?
6 Sala da Ilusión de la Cova da Ceza	Presencia de un depósito de gravedad	Aprender a describir un sedimento Reconocer un depósito de gravedad	Describir el depósito de gravedad (tamaño de grano, textura, naturaleza y grado de redondez de los cantos)
7 Sifón de la Cova da Ceza	Presencia de un lago subterráneo que emana agua	Interpretar un corte geológico Reconocer la circulación subterránea de aguas	Responder a las preguntas ¿De dónde viene el agua? y ¿Cómo viaja el agua?

Fig. 1. (A) Situación de O Courel. (B) Situación de la Cova da Ceza y la Cova do Xato en la cuenca fluvial del Río Barxa. (C) Mapa geológico del entorno de las cuevas (basado en Dozy, 1983). (D) Corte geológico a través de la Cova da Ceza.

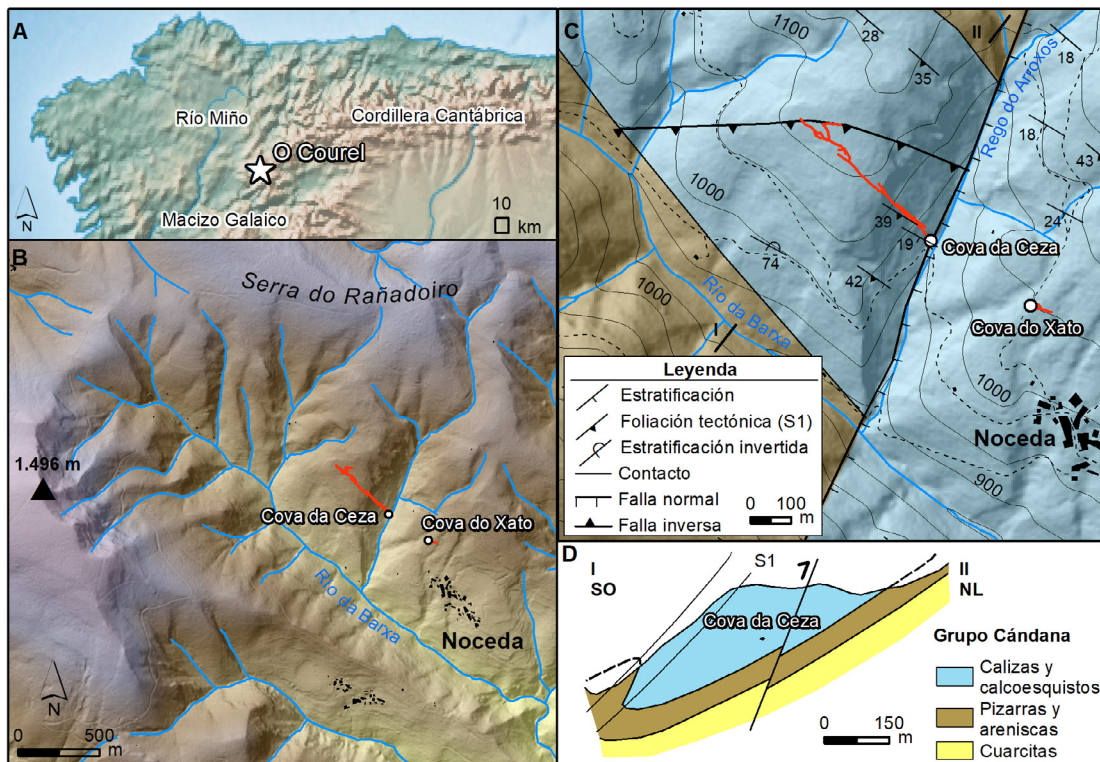
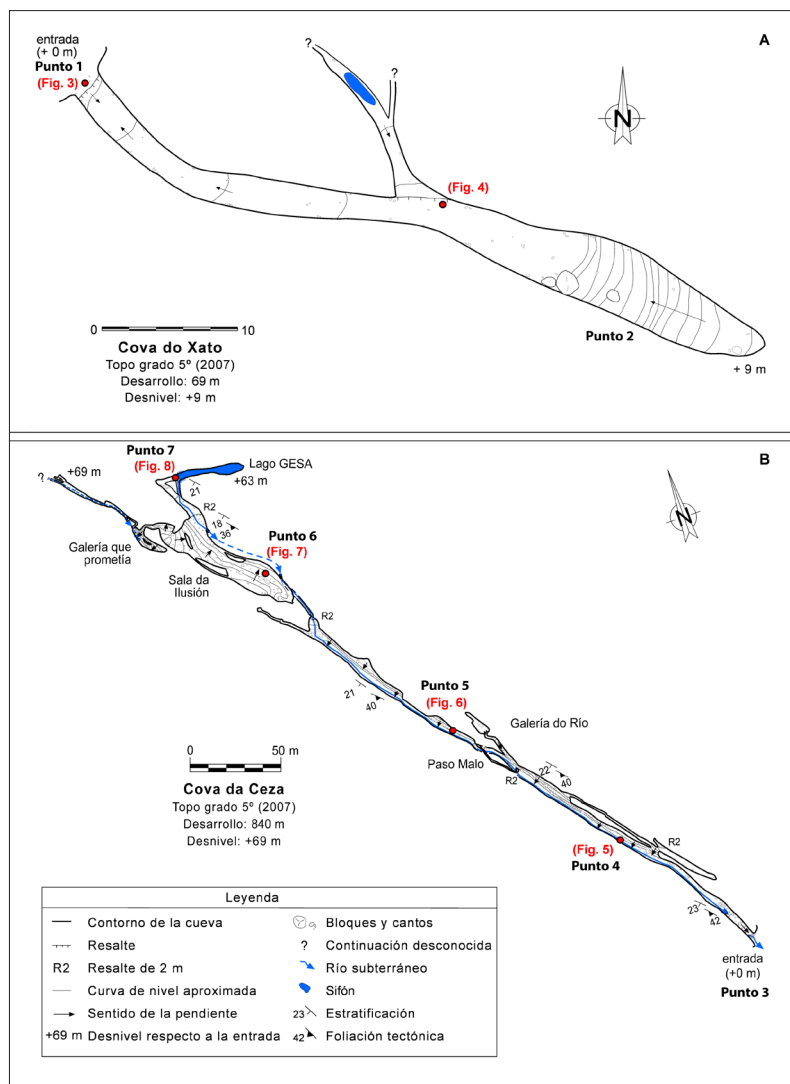


Fig. 2. Topografía de las cuevas con la situación de los puntos de interés de las actividades y de las figuras explicativas del artículo: (A) Cova do Xato. (B) Cova da Ceza.



Situación

La propuesta didáctica comienza presentando las cuevas y situándolas en un mapa topográfico y geológico regional, a la vez que se proporciona al estudiante la topografía o plano de la cueva para que en ella sitúe sus observaciones de campo. Para situarlas los estudiantes definirán paradas que numerarán correlativamente y situarán en las topografías, de tal forma que en la libreta de campo se anotarán conjuntamente las observaciones realizadas en cada parada.

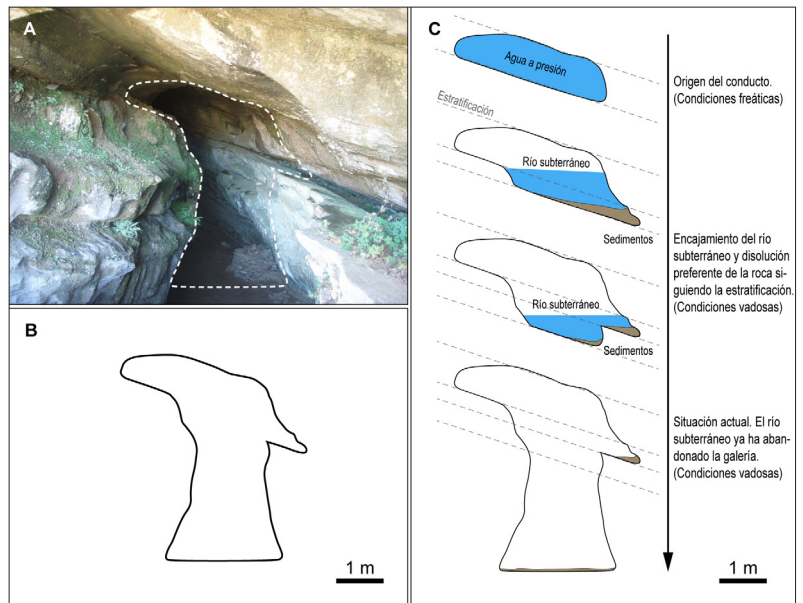
La presentación de las cuevas incluirá información acerca de las figuras de protección de la cueva, la geología del entorno (unidades geológicas, tipos y edades de las rocas, estructura geológica, etc.), y la descripción del relieve y de los principales procesos geomorfológicos (karst, ríos, glaciares, etc.). Como ejemplo de ello, se muestra la situación de la Cova da Ceza y la Cova do Xato, ubicadas cerca de la localidad de Noceda, en el Concello de Folgoso do Courel (Lugo). Ambas cavidades están protegidas al incluirse dentro de la Zona de Especial Conservación Os Ancares-O Courel (ES1120001) (Decreto 37/2014, DOGA nº 62), encontrándose en ellas restos paleontológicos y arqueológicos. Desde el punto de vista geológico ambas cavidades se localizan en la zona interna de una antigua gran cordillera que se formó en el Carbonífero a escala mundial, llamada Cordillera Varisca o Orógeno Varisco. Esta zona está formada por rocas metamórficas paleozoicas, principalmente detríticas. Entre estas rocas se encuentra el denominado Grupo Cándana, constituido por pizarras, areniscas, cuarcitas y pequeños niveles de calizas cristalinas a marmóreas, calcoesquistos e intercalaciones pizarrosas. En estos niveles carbonatados es donde se desarrollan las cuevas objeto de la visita (Fig. 1C). Estas rocas se plegaron y fracturaron durante el levantamiento de la Cordillera Varis-

ca, que posteriormente fue erosionada por completo. Después, durante la Orogenia Alpina, se produjo el levantamiento del relieve que vemos actualmente con el consecuente encajamiento de la red fluvial. Las calizas del Grupo Cándana se encuentran deformadas en el área de estudio por dos pliegues tumbrados, apretados e inclinados al NE (Fig. 1C). Además, el área está afectada por una falla normal de dirección SO-NE, una falla inversa que se inclina 70° al S y dos sistemas de fracturación de dirección NO-SE y NE-SO (Ballesteros, 2009).

Desde un punto de vista geomorfológico, las cuevas se ubican entre la Serra do Courel y la Serra do Rañadoiro, en la vertiente SO de esta última (Fig. 1A y B), en una zona dominada por el relieve montañoso de hasta 1.496 m s.n.m y pendientes moderadas. Este relieve está dominado por procesos fluviales y de laderas y, en menor medida, nivales y kársticos. No obstante, en el pasado, algunas de las partes más altas de estas montañas pudieron ser ocupadas por pequeños glaciares y afectadas por procesos periglaciares.

Punto de interés 1: el paisaje del entorno y el conducto vadoso de la entrada de la Cova do Xato

Para conocer como es la morfología de los conductos subterráneos se define un primer punto de interés en un lugar para observar la sección del conducto, libre de espeleotemas y otros depósitos que la podrían enmascarar. Para ello, en las cuevas piloto se realizará una primera parada en la entrada de la Cova do Xato. En este punto de interés se observa el valle del Rego dos Aroxos, en cuya parte baja se ubica la Cova da Ceza. Dirigiendo la mirada al interior de la cueva, se observa la morfología de sus paredes, y se plantea la primera actividad: dibuja la sección del conducto subterráneo y explica cómo es su geometría. El dibujo obtenido (Fig. 3) muestra que la parte superior del conducto presenta forma semicircular, correspondiente a un antiguo tubo freático desarrollado hace miles de años bajo el nivel freático, es decir, en la zona freática o saturada de agua del karst. En el resto del dibujo, las



paredes muestran varios surcos subhorizontales a distintas alturas, paralelos entre sí y a las paredes de la cavidad, desarrollados cuando el agua que circulaba por el tubo freático empezó a excavar hacia abajo. Esto se debe a un descenso del nivel freático por debajo de la cueva, pasando la cueva a estar en la zona freática a la zona vadosa (la zona no saturada del acuífero kárstico).

Punto de interés 2: los espeleotemas de la Cova do Xato

Para conocer los espeleotemas de las cuevas se debe definir un punto de interés en el interior de una cueva donde se combinen, al menos, espeleotemas de goteo (estalactitas, estalagmitas, columnas) y de flujo (coladas), cuyo origen está descrito en Andreu *et al.* (2016). Y, si es posible, que los espeleotemas hayan precipitado sobre depósitos fluviales o de gravedad. Con este fin, se escogió el interior de la Cova do Xato un punto donde la cavidad se encuentra totalmente obstruida por coladas (espeleotemas

Fig. 3. (A) Fotografía de la entrada de la Cova do Xato con indicación de la sección a dibujar. (B) Dibujo a realizar por el estudiante de la entrada de la cueva. (C) Génesis del conducto y evolución hasta la situación actual.

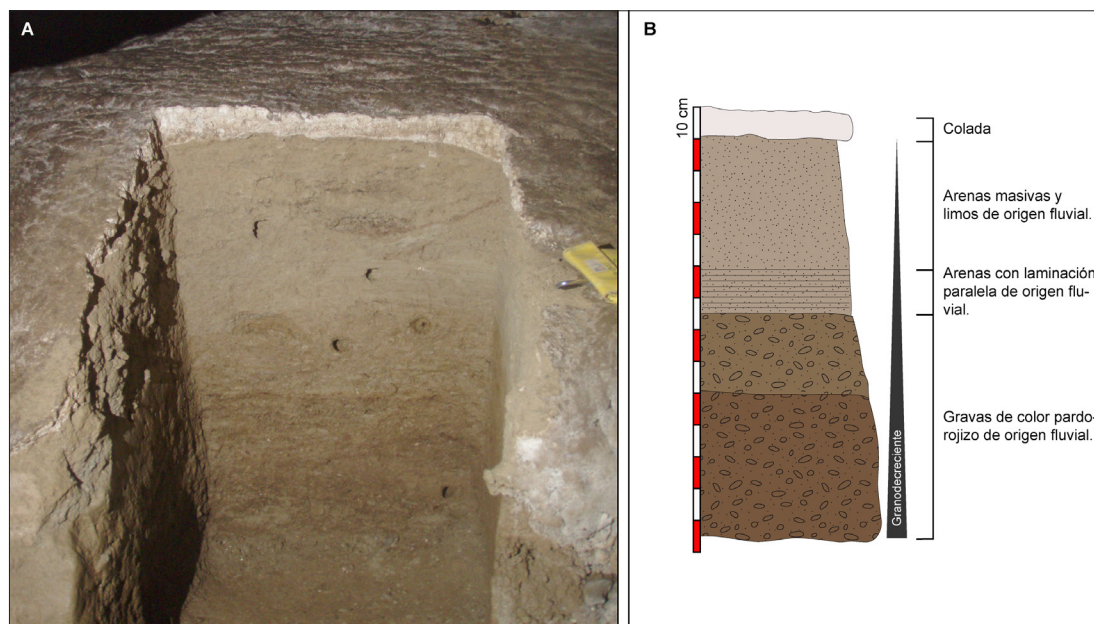


Fig. 4. (A) Fotografía de la cata arqueológica donde se observa el relleno sedimentario de la cueva. (B) Columna estratigráfica sintética de los materiales que componen el relleno de la cueva. El descenso del tamaño de grano indica que la energía del río subterráneo fue disminuyendo progresivamente en el tiempo hasta desaparecer por completo, después precipitó la colada.

masivos laminados). Sobre las coladas se disponen *gours* (pequeñas “presas” formados por carbonatos), y en el techo se reconocen estalactitas. Hacia el N, se observa una cata arqueológica donde los estudiantes deberán levantar una columna estratigráfica, describir los materiales que observan e interpretar su origen. La columna (Fig. 4) muestra la existencia de un nivel superior de 10 cm de espesor formado por un depósito carbonatado consolidado y laminado, denominado colada. El nivel inferior de 125 cm de potencia se corresponde con sedimentos poco consolidados, que incluyen arenas y cantos redondeados. Estas características permiten identificar este depósito como fluvial, a la vez que se deduce que el sedimento fluvial se formó previamente a la colada de acuerdo con el principio de superposición de los estratos.

Punto de interés 3: el manantial kárstico de la entrada de la Cova da Ceza

Para aproximarse a la circulación subterránea del agua en el karst se debe de visitar un manantial o surgencia kárstica. En las cuevas piloto se ha seleccionado la entrada de la Cova da Ceza, donde existe un lavadero que aprovecha el agua que emerge de la cueva. En este punto, el alumnado deberá explicar por qué no circula agua por el valle del Rego de Arrojos y, en cambio, mana agua de la entrada de la Cova da Ceza. Los estudiantes deberán darse

cuenta que el arroyo normalmente está seco porque se desarrolla sobre un sustrato calizo, donde el agua viaja subterráneamente hasta aflorar en manantiales como la entrada de la Cova da Ceza.

Punto de interés 4: el conducto freático de la Cova da Ceza

El cuarto punto de interés se corresponde con un conducto freático modificado por la incisión o encajamiento de un río subterráneo. En las cuevas piloto, este punto se definió en la Galería do Río de la Cova da Ceza. Esta galería presenta 320 m de longitud, 2-3 m de alto y 2-4 m de ancho, se inclina 6° al SE y está recorrida por un pequeño río subterráneo. En esta galería los estudiantes deberán dibujar su sección transversal. Dicho dibujo (Fig. 5) dejará patente dos aspectos. Por un lado, que la sección del conducto es subredondeada y, por otro lado, que el techo, suelo y paredes de la cueva se inclinan hacia el SO entre 20 y 40°. La morfología subredondeada se debe a que la galería se corresponde con un conducto freático, originado cuando todo el conducto estaba relleno de agua (bajo el nivel freático). La inclinación hacia el O del techo, suelo y paredes de la galería se debe al control que ejerció la estructura geológica sobre el desarrollo de la cueva. El techo, suelo y las paredes son paralelos a la estratificación y a una foliación tectónica (o esquistosidad), como

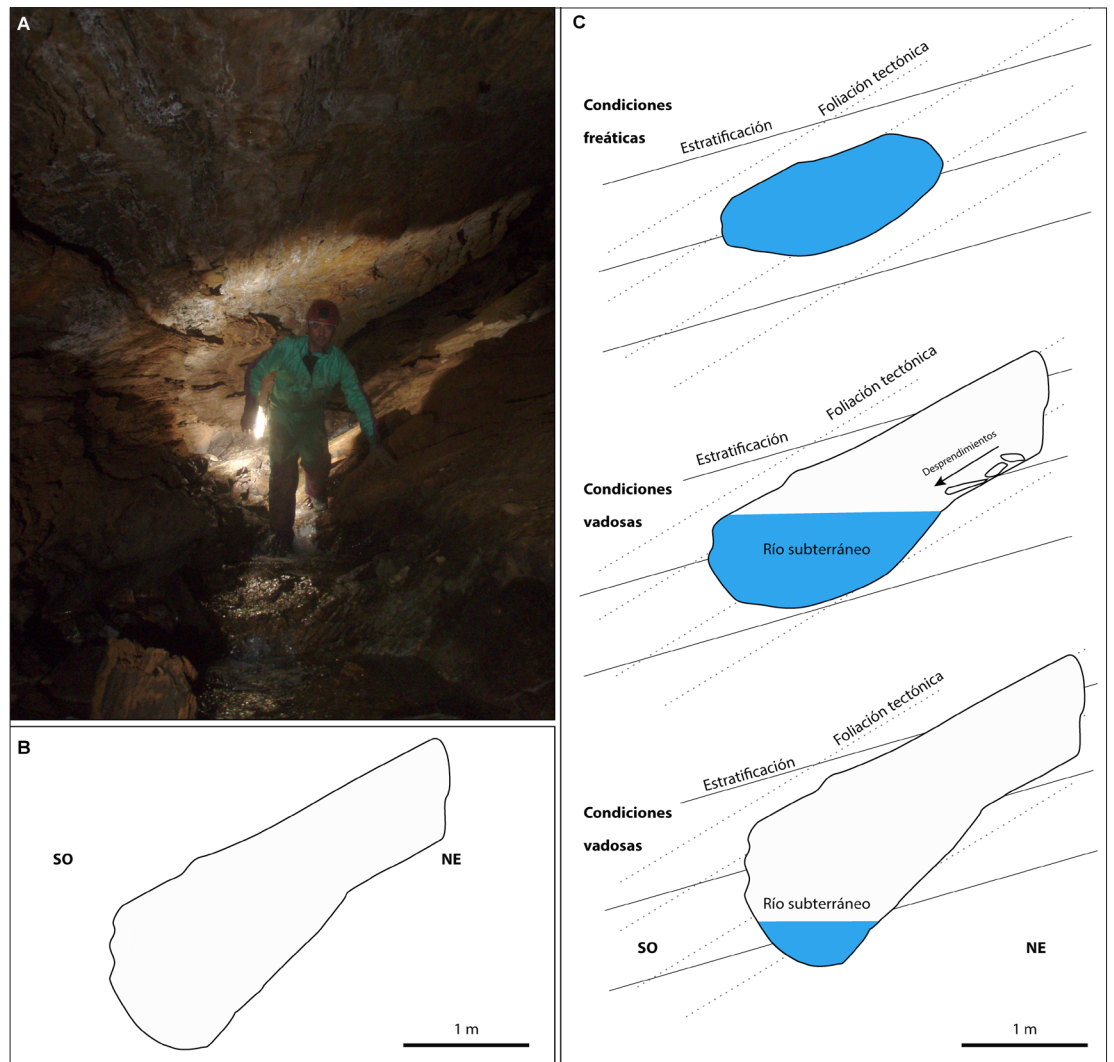


Fig. 5. (A) Imagen de una sección de la Galería do Río en Cova da Ceza. (B) Dibujo a realizar por el estudiante de dicha sección. (C) Génesis del conducto en condiciones freáticas y evolución posterior por procesos de disolución, inestabilidad del techo a favor de las discontinuidades del macizo (estratificación y foliación tectónica) y encajamiento del río subterráneo por descenso del nivel freático.

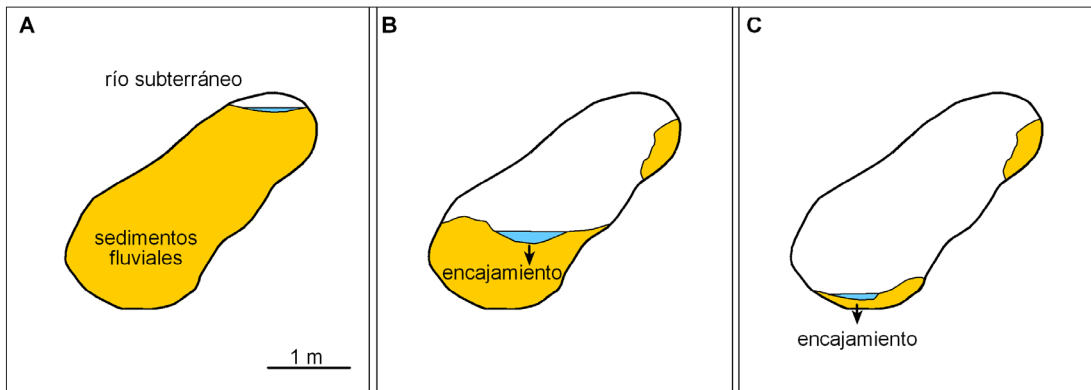


Fig. 6. Sección transversal de la Galería do Río mostrando la evolución del relleno sedimentario y vaciado del conducto de la cueva. (A) Momento en el que la galería estaba prácticamente rellena de sedimentos fluviales. (B) Erosión del relleno sedimentario por el encajamiento del río subterráneo de la Cova da Ceza. (C) Situación actual de la cueva en la cual ha quedado preservado un pequeño depósito fluvial a 2 m por encima del río subterráneo.

la que tienen las pizarras debido a la alineación de sus minerales. Por tanto, el agua al desarrollar esta galería debió de seguir preferentemente los planos de la estratificación y la foliación tectónica.

Punto de interés 5: los depósitos fluviales de la Cova da Ceza

Este punto de interés comprende el estudio de los depósitos fluviales asociados a un río subterráneo, cuya descripción es similar a la realizada para los sedimentos de los ríos en la superficie del terreno. En la Cova da Ceza, al igual que en muchas otras cuevas del territorio español, los sedimentos se encuentran tanto en el cauce del río como su techo y paredes. Estos sedimentos se disponen en forma cornisas colgadas (o “suspendidas en el aire”) sobre el suelo de la cavidad. Los estudiantes deberán describir el depósito de acuerdo con sus características: tamaño de grano (arcilla, limo, arena, grava), naturaleza de los cantos (caliza, cuarcítica), grado de redondez de los cantos (angulosos/redondeados), y textura (granosoportada/matriz soportada). Así, observarán que el depósito está formado principalmente por cantos calizos redondeados con matriz de limos y arenas entre los cantos, reconociéndose una textura granosoportada (con mayor porcentaje de cantos que de matriz, evidenciado porque los cantos se tocan entre sí). De acuerdo con estas caracterís-

ticas, se ayudará a los estudiantes a deducir que se trata de un depósito fluvial, basándose en que los ríos producen el redondeamiento de los cantos.

Seguidamente, se planteará la cuestión ¿cómo pudo formarse este depósito situados a 2 m por encima del río actual? Una probable respuesta sería relacionar el depósito con una crecida del río subterráneo que emplazase los sedimentos a dicha altura. Aunque factible, esta opción es poco probable ya que las crecidas de ríos tienden a dejar arcillas y limos en las partes altas de la cueva, y no suelen dejar gravas como las que se observan en el punto de interés 5. La opción más factible es suponer que toda la galería se llenó de sedimentos fluviales y que, posteriormente, este relleno sedimentario se erosionó dando lugar al vaciado de la cueva (Fig. 6). La erosión y vaciado no fue completa, si no que dejó pequeños retazos de sedimentos fluviales como el que se observa actualmente. Este proceso de relleno sedimentario y posterior vaciado es muy frecuente en las cavidades españolas, generando los famosos “falsos suelos” (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2011).

Punto de interés 6: procesos de gravedad en la Cova da Ceza

El sexto punto de interés se corresponde con los procesos de gravedad o inestabilidades que afectan a las cuevas kársticas y generan depósitos denomi-

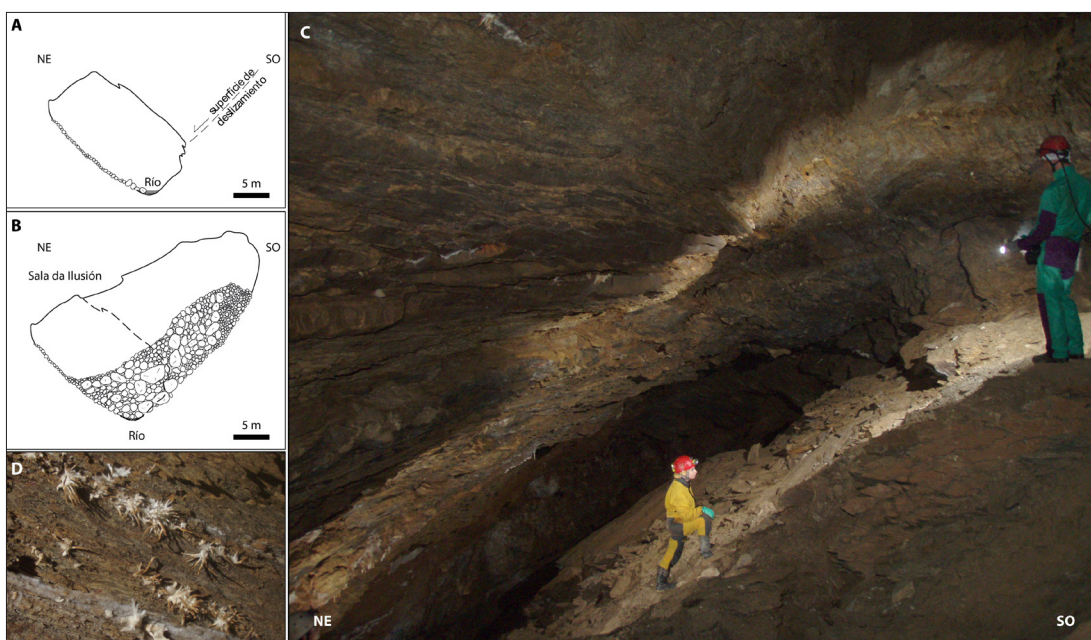


Fig. 7. Evolución de la Sala da Ilusión: (A) sección del conducto antes del desprendimiento de rocas; (B) sección actual; (C) fotografía de la Sala da Ilusión; (D) estalactitas excéntricas formadas posteriormente al desprendimiento de rocas.

nados derrubios que de forma genérica. En las cuevas piloto, estos procesos se estudian en la Sala da Ilusión, de 85 m de largo, 15 m de ancho y 3 m de alto, situada en el NE de la Cova da Ceza. El suelo de la sala está formado por un depósito sedimentario inclinado 20-80° al NE. Se le pedirá al estudiante que describa el depósito atendiendo al tamaño de grano (arcilla, limo, arena, cantos, bloques), naturaleza de los cantos (calizos, cuarcíticos) y grado de redondez de los cantos (angulosos/redondeados). Este depósito está formado por bloques y cantos calizos angulosos, aspectos característicos de los depósitos ocasionados por los desprendimientos rocosos. Este tipo de procesos es muy frecuente en el medio subterráneo, y son los responsables de la existencia de salas como en la que se halla. Además, podrá relacionar la formación de la sala con la existencia de un gran desprendimiento rocoso como el que se muestra en la figura 7, que provocó que el suelo de la sala se inclinase al NE, al contrario que el resto de la cueva. En la pared NE de la sala se formaron estalactitas posteriores al desprendimiento, ya que se encuentran en el hueco dejado por el desprendimiento.

Punto de interés 7: el sifón de la Cova da Ceza

Para aproximarse de nuevo a la circulación subterránea de las aguas kársticas se estudiará un sifón, un conducto freático saturado permanentemente de agua. Las cuevas piloto ofrecen un magnífico ejemplo de sifón, situado en el Norte de la Cova da Ceza. En este punto el estudiante se le planteará la cuestión ¿de dónde viene el agua? y ¿Cómo viaja el agua? Para responderla, se mostrará al alumnado el corte geológico de la figura 8 describiéndola en el siguiente orden: el tipo de rocas de la leyenda, inclinación hacia al E de las capas, y la presencia de la falla inversa que coincide con la posición del sifón y que levantó el bloque oriental. Como muestra esta figura, el agua se infiltra en las calizas y calcoesquitos, que forman el acuífero kárstico, y desciende hacia el nivel freático siguiendo trayectorias subverticales. Cuando el agua alcanza el nivel freático, satura todos los poros de la roca formando la denominada zona freática o saturada del acuífero. En esta zona el agua viaja hacia el SE donde se encuentran las pizarras y areniscas del bloque SE de la falla inversa. En este punto, el agua asciende hasta aparecer en el interior de la Cova da Ceza, formando el sifón de dicha

cueva. Posteriormente, el agua discurre hacia el SE siguiendo la cavidad hasta aflorar en el manantial de la entrada de la cueva.

SISTEMA DE EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA EDUCATIVA

Se propone evaluar el aprovechamiento de esta actividad educativa utilizando una triple vía: evaluación del profesor que constituye el 60% de la calificación final, coevaluación entre estudiantes (20%) y autoevaluación del propio estudiante (20%). En todos los casos, las evaluaciones comprenderán tanto aspectos del desarrollo de la actividad como el informe que deben realizar los estudiantes en grupo siguiendo los principios del trabajo cooperativo.

El modelo para la evaluación por parte del profesorado incluye tres ítems:

(1) la participación del alumnado en las actividades, que representa el 20% de la evaluación final de la actividad, siendo esta la forma escogida para poder valorar el aprendizaje tanto en las competencias social y cívica como en la de iniciativa y espíritu emprendedor de acuerdo con la Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato;

(2) la redacción del informe final, con una ponderación relativa también del 20%, este ítem se establece para poder evaluar la competencia en comunicación lingüística (Orden ECD/65/2015), y

(3) la comprensión de las actividades según los estándares de aprendizaje evaluables establecidos en el Real Decreto 1105/2014, que supone el 20% de la calificación final.

Para poder evaluar estos ítems se establecen cuatro niveles de desempeño recogidos en la rúbrica (Tabla III). Los cuatro niveles de desempeño van desde “la no realización de la tarea” hasta “la realización de la tarea de forma excelente”. Si fuese necesario incluir adaptaciones curriculares no significativas, se añadirían dos niveles más, uno previo y otro superior para los estudiantes con necesidades especiales de apoyo educativo, cuyos descriptores pueden contemplar elementos de menor/mayor complejidad o mejor desempeño.

Para completar la perspectiva del profesorado,

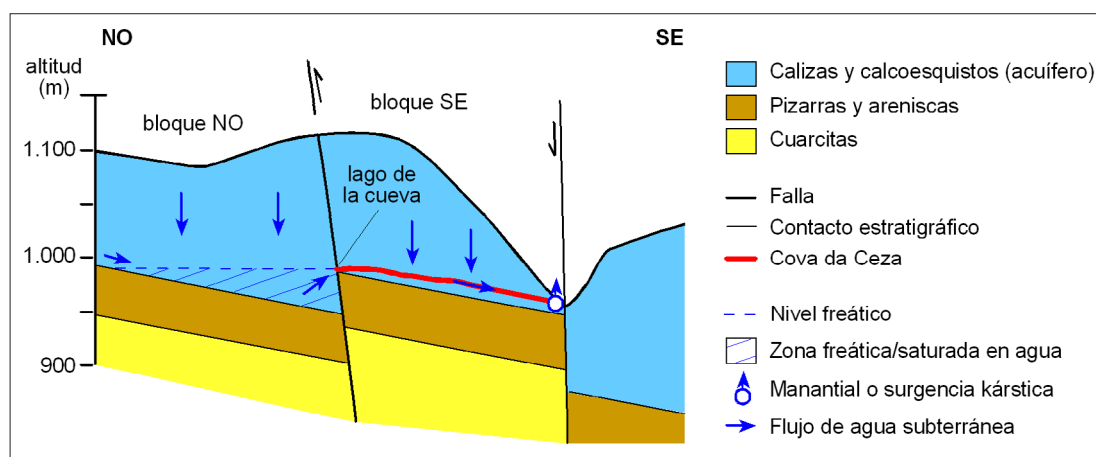


Fig. 8. Corte geológico de dirección NO-SE paralelo a la Cova da Ceza. Se muestra la posición de la zona freática o saturada y los principales flujos de agua subterránea que afloran en el manantial de la entrada de la cueva.

ITEMS	NO REALIZA LA TAREA (0-2)	REALIZA LA TAREA CON ERRORES GRAVES (3-4)	REALIZA LA TAREA DE FORMA ADECUADA (5-7)	REALIZA LA TAREA DE FORMA EXCELENTE (8-10)
PARTICIPACIÓN (20%)	No participa en las discusiones	Participa en menos del 25% de las discusiones	Participa en más del 50% de las discusiones	Participa en más del 75% las discusiones y en ocasiones las inicia
	No interactúa con los compañeros o compañeras	Interactúa esporádicamente con los compañeros	Interactúa frecuentemente con los compañeros	Interactúa casi siempre con los compañeros
	No aporta información ni responde a las cuestiones que se plantean	Responde a menos de 25% de las cuestiones que se le plantean	Responde a las cuestiones que se le plantean (25-75%)	Responde a más del 75% de las cuestiones que se plantean y aporta información
REDACCIÓN (20%)	Mala redacción, ideas inconexas	Mala redacción en general, con errores importantes	Buena redacción en general, con algunos errores menores	Buena redacción, relacionando las ideas de forma coherente
	Graves faltas gramaticales y ortográficas	Leves faltas gramaticales y ortográficas	Sin apenas faltas gramaticales y con algunas ortográficas	Sin apenas faltas gramaticales ni ortográficas
	No utiliza la terminología adecuada	Utiliza una terminología pobre y escasa (menos del 50%)	Utiliza más del 50% de los términos de forma adecuada	Utiliza más del 75% de los términos de forma adecuada
COMPRENSIÓN DE LAS ACTIVIDADES (20%)	No relaciona el relieve singular del Karst con el tipo de roca			Relaciona el relieve singular del Karst con el tipo de roca
	No conoce y ni relaciona los conceptos de aguas subterráneas, nivel freático, surgencias de agua y circulación del agua	Conoce y relaciona algunos conceptos de aguas subterráneas, nivel freático, surgencias de agua y circulación del agua (25%)	Conoce y relaciona bastantes conceptos de aguas subterráneas, nivel freático, surgencias de agua y circulación del agua (50%)	Conoce y relaciona la mayoría de conceptos de aguas subterráneas, nivel freático, surgencias de agua y circulación del agua (75%)
	No utiliza el material de campo	Utiliza ocasionalmente el material de campo (25%)	Utiliza con frecuencia el material de campo (50%)	Utiliza de forma habitual el material de campo (75%)
	No conoce ni describe los principales elementos geológicos del itinerario	Conoce y describe algunos de los principales elementos geológicos del itinerario (25%)	Conoce y describe bastantes de los principales elementos geológicos del itinerario (50%)	Conoce y describe la mayoría de los principales elementos geológicos del itinerario (75%)
	No observa ni describe afloramientos	Observa y describe algunos afloramientos (25%)	Observa y describe bastantes afloramientos (50%)	Observa y describe la mayoría de los afloramientos (75%)
	No utiliza las principales técnicas de representación de datos geológicos	Utiliza algunas de las principales técnicas de representación de datos geológicos (25%)	Utiliza bastantes de las principales técnicas de representación de datos geológicos (50%)	Utiliza la mayoría de las principales técnicas de representación de datos geológicos (75%)
	No reconstruye la historia geológica de la región ni identifica los procesos activos	Reconstruye parte de la historia geológica de la región e identifica algunos de los procesos activos (25%)	Reconstruye aceptablemente la historia geológica de la región e identifica bastantes procesos activos (50%)	Reconstruye la historia geológica de la región e identifica la mayoría de los procesos activos (75%)
	No comprende la necesidad de apreciar, valorar, respetar y proteger los elementos del patrimonio geológico			Comprende la necesidad de apreciar, valorar, respetar y proteger los elementos del patrimonio geológico

se llevará a cabo una coevaluación entre iguales y una autoevaluación para conocer la opinión de los alumnos respecto al trabajo realizado. Con este sistema de evaluación se pretende valorar el aprendizaje del alumnado sobre la eficacia del trabajo en equipo valorando las competencias sociales y cívicas, las de comunicación lingüística además de las competencias de iniciativa y espíritu emprendedor. Para la auto y coevaluación se proporcionarían al alumnado herramientas que les faciliten sustancialmente la participación activa en esta evaluación

como pueden ser el boletín de autoevaluación grupal o el diario de equipo.

Finalmente, para resolver situaciones particulares del alumnado, como problemas de movilidad, fobias a lugares oscuros y cerrados, o algún percance que impida a algún participante acabar la actividad, se organizaran los equipos en el aula para que trabajen de forma cooperativa, de forma que sean los propios estudiantes con la ayuda del docente los puedan alcanzar algunos de los aprendizajes adquiridos por sus compañeros.

Tabla III. propuesta de rúbrica para la evaluación de la propuesta educativa. Los contenidos mínimos se indican mediante subrayado.

CONCLUSIONES

Se diseña una propuesta didáctica para el estudio de la geomorfología e hidrogeología del endokarst a partir de una visita al interior de una cueva y la redacción de un informe de la actividad mediante trabajo cooperativo. La visita comprende el análisis de ocho elementos básicos claves para comprender el desarrollo de las cuevas kársticas. Estos elementos son conducto freático, conducto vadoso, espeleotemas, depósitos fluviales, derrubios, surgencia kárstica, río subterráneo y sifón. Para ello se realizan paradas en puntos de interés en la entrada e interior de las cuevas, donde se analizará uno o, a lo sumo, dos elementos en concreto. Estos elementos permitirán identificar in situ los procesos responsables de la formación y evolución de las cuevas, incluyendo la erosión y sedimentación fluvial, los desprendimientos rocosos y la precipitación de espeleotemas, así como otros aspectos de la hidrogeología kárstica, como la circulación del agua subterránea en condiciones saturadas y no saturadas.

El método de trabajo es el clásico en Geología, que incluye la toma de datos, identificación de formas y procesos en campo, y la integración posterior de toda esta información en un informe. Para evaluar el aprovechamiento de la actividad se propone combinar la propia evaluación del profesor basada en la observación directa y en el informe elaborado en grupo, con la coevaluación entre iguales y autoevaluación. En su conjunto, esta propuesta dotará al estudiante de los aprendizajes necesarios para identificar un relieve kárstico, conocer cómo se originan y desarrollan las cuevas kársticas, y comprender cómo circula el agua en el karst.

AGRADECIMIENTOS

Los recursos desarrollados en este trabajo están inspirados en lecciones y comentarios de la profesora Montserrat Jiménez Sánchez (Universidad de Oviedo). Agradecemos a Laura Fernández y la AEPECT-Galicia por la organización del curso que ha dado pie a esta contribución, a los participantes del curso su interés y cuestiones planteadas que han ayudado a confeccionar esta propuesta didáctica. Los comentarios realizados por dos revisores que han permitido mejorar el trabajo. Finalmente damos las gracias al GES Montañeros Celtas de Vigo su colaboración en el levantamiento topográfico de las cuevas y en el desarrollo del citado curso.

BIBLIOGRAFÍA

Andreu, J.M., Calaforra, J.M., Cañaveras, J.C., Cuezva, S., Durán, J.J., Garay, P., García, M.Á., García-Cortés, Á., Gázquez, F., Ordóñez, S. y Sánchez-Moral, S. (2016). Karst: un concepto muy diverso. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 24.1, 6–20.

Antigüedad, I., Morales, T. y Uriarte, J.A. (2007). Los acuíferos kársticos. Casos del País Vasco. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 14.3, 325–332.

Ballesteros, D. (2009). El control estructural de la Cova da Ceza (Noceda, Pedrafita do Cebreiro, SE de Lugo). *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, (34), 121–126.

Bazán, H. (2014). *La interpretación del patrimonio geomorfológico en los Picos de Europa: una propuesta para su aprovechamiento didáctico y geoturístico* (Tesis Doctoral). Universidad de Valladolid. 423 p.

Carcavilla, L., López-Martínez, J. y Durán, J. (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. *Cuadernos del Museo Geominero*, 7, 1–360.

Carenas Fernández M.B., Giner Robles, J.L., González Yélamos, J. y Pozo Rodríguez, M. (2014). *Geología*. Ediciones Paraninfo, Madrid. 504 p.

Dozy, J., (1983). La geología del sureste de la Provincia de Lugo (Noroeste de España). *Boletín Geológico y Minero de España*, 94, 383–414.

Durán-Valsero, J.J. (2006). *Guía de las cuevas turísticas de España*. Instituto Geológico y Minero de España y Asociación Española de Cuevas Turísticas, Madrid.

Espéleo Club Descenso de Cañones (2011). Cueva de la Ceza (Noceda-Folgooso, Courel): últimos hallazgos (de los niños). *Anuario Brigantino*, 34, 11–26.

Fernández Lozano, J., Gutiérrez Alonso, G. y Toyos Sáenz de Miera, J.M. (2017). *Geología 17. Valporquero. Viaje al interior de la Tierra*. Sociedad Geológica de España, Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra y el Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. 54 p.

Ford, D.C. y Williams, P.W. (2007). *Karst hydrogeology and geomorphology*. John Wiley & Sons, Ltd. 576 p.

Fundación Cueva de Nerja (2008). *Estalactitas, estalagmitas y otros espeleotemas en la Cueva de Nerja*. Fundación Cueva de Nerja, Nerja. 22 p.

Jiménez-Sánchez, M., Ballesteros, D., Domínguez Cuesta, M.J., Rodríguez-Rodríguez, L. y Naves, B. (2011). Geomorfología de la cueva de El Soplao. En: *El Soplao: una ventana a la ciencia subterránea* (Ed.: J.J. Durán). Soplao, S.L. y Gobierno de Cantabria, Santander. 81–87.

López Geta, J.A. y Martos Rosillo, S. (2011). *Guía didáctica de los acuíferos del Parque Natural Sierra Norte de Sevilla*. Ed. Instituto Geológico y Minero de España y Diputación de Sevilla.

Palmer, A. (2007). *Cave geology*. Cave Books, Dayton. 454 p.

Pla, C., Benavente, D., González-Herrero, M. y Andreu, J.M. (2016). Los cambios físicoquímicos del agua en el karst: actividades didácticas. *Enseñanza las Ciencias la Tierra*, 24.1, 107–116.

Robledo Ardila, P.A. y Durán-Valsero, J.J., (2016). Karst y sociedad. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 14.1, 88–95.

Rojo García, A. (2015). *Los procesos kársticos en Castilla y León* (Trabajo de Fin de Máster). Máster en profesor de educación secundaria obligatoria y bachillerato, formación profesional y enseñanzas de idiomas, Universidad de Valladolid. 70 p.

Sánchez Fabián, J.Á. (2012). *Geología 2012. Paisajes kársticos: los caminos del agua*. Sociedad Geológica de España, Palencia. 6 p.

Tarbut, E.J. y Lutgens, F.K. (2005). *Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física*. Pearson Education, Madrid. 736 p.

Williams, P.W. (2011). Karst in UNESCO World Heritage Sites. En: *Karst management* (Ed.: P. van Beynen). Springer, Dordrecht. 459–480. ■

Este artículo fue recibido el día 7 de noviembre de 2017 y aceptado definitivamente para su publicación el 28 de abril de 2018.