

Sistema kárstico multi-nivel Alkerdi-Zelaieta (Urdazubi/Urdaiz, Navarra): bajada del nivel freático frente a la (re)sedimentación

Multi-level Alkerdi-Zelaieta cave system (Urdazubi/Urdaiz, Navarre): base-level incision versus (re)sedimentation

Martin Arriolabengoa^{1,2}, Arturo Hermoso de Mendoza³, Víctor Abendaño³, Irantzu Álvarez⁴, Arantza Aranburu^{1,2}, Arantxa Bodego^{2,5}, José Ignacio Calvo³, Miren del Val^{1,6}, Diego Garate⁷, Fernando Ibarra³, Eneko Iriarte⁸, Jaime Legarra³, Jesús Tapia² y Juantxo Agirre-Mauleon²

¹ Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, Barrio Sarriena s/n 48490 Leioa, Bizkaia.

martin.arriolabengoa@ehu.eus; arantza.aranburu@ehu.eus;

² Aranzadi Zientzia Elkartea, Zorroagaina 11, 20014 Donostia-San Sebastián, Gipuzkoa. zuzendaritza@aranzadi.eus; jtapia@aranzadi.eus

³ Grupo de Espeleología Satorrak, calle Descalzos 37 bajo bis, 31001, Iruña-Pamplona, Navarra. arturo@troska.org

⁴ Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, Paseo Rafael Moreno "Pitxitxi" 2, 48013 Bilbao, Bizkaia.

irantzu.alvarez@ehu.eus

⁵ Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, Barrio Sarriena s/n 48490 Leioa, Bizkaia. arantxa.bodego@ehu.eus

⁶ Centro nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH), Paseo Sierra de Atapuerca 3, 09002, Burgos, España

⁷ Instituto Internacional de Investigadores Prehistóricos de Cantabria, Universidad de Cantabria, Avda. De los Castros s/n, 39005 Santander, Cantabria. garatemaidagandiego@gmail.com

⁸ Laboratorio de Evolución Humana, Universidad de Burgos, Edificio de I+D+i, Pl. Misael Bañuelos s/n, 09001 Burgos. eiriarte@ubu.es

ABSTRACT

The Alkerdi-Zelaieta cave system is longer than 5878 m. It is composed by genetically connected caves, which are currently separated by sedimentary filling or collapses. Nevertheless, the disposition of the different subhorizontal passages formed under phreatic conditions shows at least 6 cave-levels, which have been developed in a widespread base-level falling context. The speleogenesis of each cave-level is due to paragenesis, given by an increment on sediment input regarding the stream flow. Changes in sediment input rates are due to climatic changes. Therefore each time that those climatic conditions were reproduced, cave-levels would have been formed. The origin of the sediments are from Paleozoic and Triassic formations of the area. As such, using the meandering conduits that connect different cave-levels, sediments that filled the abandoned galleries were removed and deposited in a lower cave-level that was forming at the moment, being recycled repetitively until they leave the cave-system.

Key-words: Paragenesis, speleogenesis, cave-level, clastic sedimentation, climatic changes.

RESUMEN

El sistema kárstico de Alkerdi-Zelaieta tiene un desarrollo de más de 5878 m. En él se engloban distintas cuevas que están genéticamente unidas, pero separadas por la colmatación de las galerías por sedimentos o colapsos. En todo caso, la organización de las galerías formadas en condiciones freáticas indica una mínima disposición de 6 niveles de cuevas, que se han formado en un contexto general de bajada del nivel freático. La formación de cada nivel de cueva está relacionada con procesos paragenéticos, que se deben a un incremento de la carga sedimentaria respecto al caudal hídrico. La variación en el aporte sedimentario se relaciona con cambios climáticos, de forma que cada vez que se repiten las condiciones climáticas propicias se produciría el aumento en la disponibilidad sedimentaria, y con ello, el desarrollo de niveles de cueva en el sistema kárstico. El área fuente de los sedimentos se localiza fundamentalmente en materiales paleozoicos y triásicos del entorno. En este sentido, una vez un nivel de cueva pasa a estar en condiciones vadosas, el sedimento depositado en ella comienza a erosionarse y redepositarse en el nivel inferior que se está formando, recidiéndose una y otra vez hasta salir del sistema.

Palabras clave: Paragénesis, espeleogénesis, nivel de cueva, sedimentación detrítica, cambios climáticos.

Geogaceta, 66 (2019), 7-10
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 1 de febrero de 2019

Revisión: 25 de abril de 2019

Aceptación: 24 de mayo de 2019

Introducción

El sistema kárstico de Alkerdi-Zelaieta alberga, en las diferentes cuevas del sistema, varios Bienes de Interés Cultural (BIC) descubiertos recientemente (Garate

et al., 2017). A raíz de ello, se inició un proyecto de investigación multidisciplinar enfocado a establecer el perímetro de protección del BIC (Álvarez et al., 2018) y profundizar en el conocimiento del sistema kárstico.

En este trabajo se presentan los primeros resultados sobre la espeleogénesis del sistema kárstico Alkerdi-Zelaieta. Estos resultados ayudan a inferir la evolución del relieve en el entorno y la implicación de los cambios paleoambientales, además de ser-

vir como marco contextual para la interpretación de los restos arqueológicos y paleontológicos que alberga.

Contexto general

El macizo kárstico de Alkerdi-Zelaieta se encuentra en el municipio de Urdazubi/Urdax (norte de Navarra), en la vertiente septentrional del extremo occidental de los Pirineos (Fig. 1). El clima es de tipo oceánico templado, con débiles oscilaciones térmicas y sin estación seca, con una tasa media de precipitación de 1800-2000 mm/año.

Geológicamente, las cuevas que forman parte del sistema kárstico Alkerdi-Zelaieta se desarrollan en calizas rojas masivas tipo *boundstone* (con rudistas, corales, etc.) y matriz tipo *wakestone*, del Cretácico Superior (Albiense – Turoniense), de aproximadamente 230 m de espesor y una orientación general SO-NE y buzamiento 60-70° N (Fig. 1).

Desde los límites sur y oeste del macizo varios arroyos se infiltran en el sistema kárstico, siendo el arroyo Urtxume el único con un caudal continuo a lo largo del año (Fig. 1). Las aguas infiltradas surgen al noreste del macizo, y discurren por el río Urtxume que más adelante vierte al río Ugarana. El exokarst está compuesto mayormente por un lapiaz semicubierto con dolinas de diá-

metro métrico y decimétrico. Gran parte de la superficie no conserva la morfología kárstica original debido a las extracciones de una cantera. El endokarst está compuesto por numerosas cavidades (Fig. 1), ordenadas de mayor a menor desarrollo: Alkerdi 2 (4725 m), Zelaieta 3 (700 m), Alkerdi 1 (160 m), Zelaieta 14 (90 m), Berroberria (15 m), Zelaieta 2 (188 m, actualmente desmantelada por completo por la actividad de la cantera).

Metodología

Se ha realizado la topografía en detalle de las cavidades más importantes utilizando el distanciómetro *Dixto X2* y el software topográfico *Auriga*, donde se ha obtenido un error medio de 0,39%. A partir de la topografía de las cuevas se han identificado las unidades morfológicas y los procesos geológicos, y estos han sido ordenados espacial y temporalmente. Ello ha permitido diferenciar distintas fases de espeleogénesis, facilitando la reconstrucción de la evolución del sistema kárstico Alkerdi-Zelaieta.

Niveles de cuevas

En la actualidad, todas las galerías exploradas son vadosas de características secas o "fósiles", salvo las más bajas de Alkerdi 2 y Zelaieta 3. Las galerías de cota

más baja de Alkerdi 2 son galerías activas debido a los ríos que penetran al macizo, y cerca de las surgencias, pasan a ser epifreáticas y freáticas.

El río Urtxume es el río principal de la zona y recorre la cueva de oeste a noreste. Los otros dos cursos fluviales que circulan dentro del sistema kárstico (Arleun y Reno) discurren de sur a norte, hasta verter sus aguas en el río Urtxume (Fig. 1). Las galerías fósiles horizontales que se sitúan a diferentes cotas sobre las galerías activas, muestran morfologías freáticas (canales de techo, canales anastomosados en los planos de techo, *pendants*, etc.; Figs. 2a y b) y morfologías de ríos en zona vadosa (surcos subhorizontales y golpes de gubia). Asociados a ambos tipos de morfologías, aparecen depósitos conglomeráticos y arenosos alóctonos, procedentes de la erosión de rocas paleozoicas y triásicas (Fig. 2c). La disposición horizontal de dichas galerías indica la presencia de niveles de cueva (NC), y refleja la evolución de los cauces endokársticos anteriormente mencionados (Urtxume, Arleun y Reno). Estas galerías subhorizontales situadas a distintas cotas, se conectan entre sí mediante estrechas galerías meandriformes y subverticales (Fig. 2d), y en algunos casos, también por colapso del techo.

La existencia de distintos niveles de cueva refleja el descenso del nivel freático en la zona (Ford y William, 2007), provocado por la incisión fluvial del valle. En este sentido, de los tres ríos que discurren por el macizo kárstico, solo el río Urtxume está directamente conectado con el sistema fluvial exterior, y por ello, son las galerías fósiles formadas por este cauce las que mejor reflejan la evolución del valle dentro del sistema kárstico. Las galerías formadas por los ríos Arleun y Reno, también muestran dicha evolución, pero con un desfase temporal y altitudinal, que dificulta la correcta identificación y correlación de dichos niveles.

Por tanto, la identificación de los niveles de cuevas se ha realizado según las galerías formadas, *a priori*, por el río Urtxume. Dicha identificación ha tenido en cuenta la cota respecto a la actual galería activa, y la dirección preferente de desarrollo en sentido O-E. De esta forma se han identificado 6 niveles de cuevas, con una separación entre 7 y 15 metros entre ellas (Fig. 3). Los niveles más antiguos, los más altos en cota, son los que más incertidumbre generan debido a que han sido expuestos a procesos de karstificación durante más tiempo.

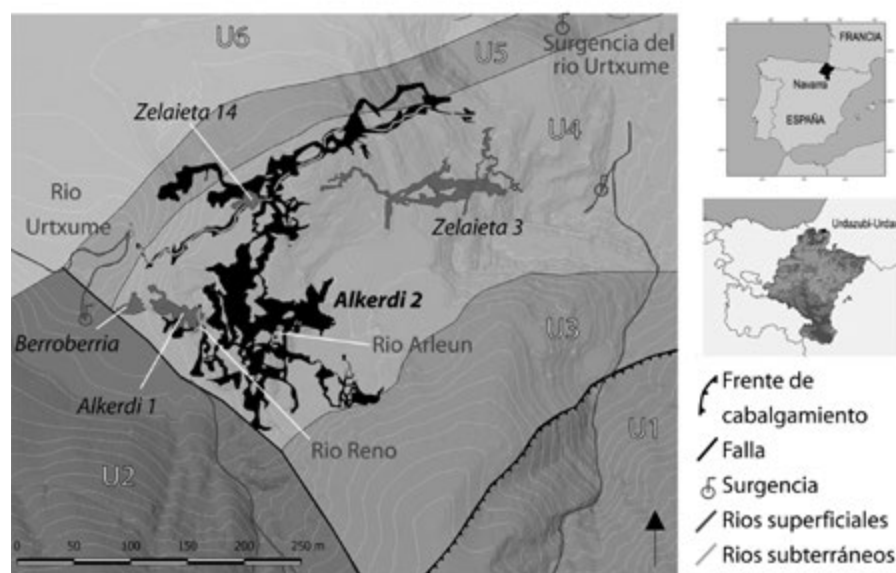


Fig. 1.- Localización, contexto geológico y desarrollo del macizo kárstico Alkerdi-Zelaieta. U1: Esquistos paleozoicos; U2: Areniscas rojas triásicas; U3: Areniscas albienses; U4: Calizas rojas con rudistas; U5: Calcarenitic limestone; U6: Calcareous Flysch. Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- Location, geological setting and Alkerdi-Zelaieta cave system development. U1: Paleozoic schist; U2: Triassic red sandstones; U3: Albian sandstones; U4: Rudistic micritic limestone; U5: Calcarenitic limestone; U6: Calcareous Flysch. See color figure in the web.

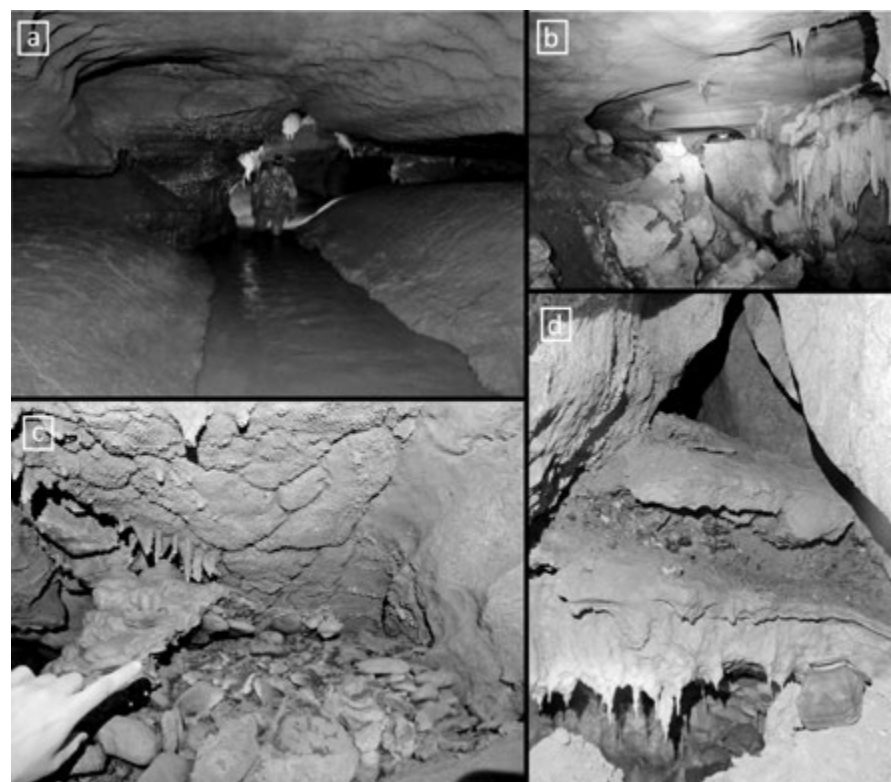


Fig. 2.- a) El tránsito epifreático del río Urtxume donde se observa un canal de techo. b) Galería con canales de techo y la base desmantelada de NC4. c) Canales anastomosados en los planos de techo asociados con los conglomerados alóctonos. d) Conducto meandriforme que conecta diferentes niveles de cuevas, parcialmente relleno de conglomerados alóctonos. Ver figura en color en la Web.

Fig. 2.- a) Epiphreatic passage of Urtxume river with a ceiling channel. b) Ceiling channel at CN4, with the floor partially collapsed. c) Bedding plane anastomosed channels linked to the allochthonous conglomerates. d) Meandriform subvertical tubes partially filled by allochthonous conglomerates. See color figure in the web.

Unidades morfológicas y depósitos sedimentarios

Las distintas morfologías vinculadas a la formación y ampliación de las galerías horizontales en condiciones freáticas indican una espeleogénesis por procesos paragenéticos: la disolución del techo de la galería a la vez que se acumula sedimento en la base del conducto (Farrant y Smart, 2011). Este tipo de espeleogénesis fue descrita por primera vez por Pasini (1967), y aunque en aquel entonces fue nombrado como erosión antigravitatoria, en la actualidad se utiliza el término de paragénesis (Renault, 1968). En todo caso, conviene matizar que nada tiene que ver con la paragénesis mineralógica. Las morfologías paragenéticas han sido identificadas en todos los niveles de cuevas, es más, en los niveles más bajos en cota (NC1 y NC2), se han identificado los sedimentos involucrados en la paragénesis en posición y con sus características sedimentarias originales preservadas (Fig. 2c).

Debido a las características y la disposición de morfologías formados por paragénesis y los sedimentos asociados, se ha inferido una formación ascendente de las galerías de entre 1 y 5 metros. Posteriormente, una vez en condiciones vadosas, tanto el relleno sedimentario como el suelo de la galería han sido incididos por el canal de agua formando surcos subhorizontales con morfologías de golpes de gubia o *sca-lops* en las paredes.

La disposición de los rellenos sedimentarios detríticos alóctonos es acorde a las morfologías paragenéticas y los surcos subhorizontales, pero también están dispuestos en las galerías meandriformes que conectan los diferentes pisos (Fig. 2d), indicando la transferencia de sedimento involucrado en la paragénesis desde los pisos superiores a los inferiores (redépósito).

Por último, en la actualidad la conexión entre las galerías de las distintas cuevas está interrumpida debido a las coladas de espeleotema y depósitos de colapso que colmatan toda la sección de la galería.

Espeleogénesis del sistema kárstico Alkerdi-Zelaieta

El macizo kárstico de Alkerdi-Zelaieta es un sistema de cuevas multi-nivel, lo cual implica un contexto general de descenso del nivel de base en su entorno (como se indica en otros trabajos, p. ej. Bella *et al.*, 2019). El hecho de que se hayan formado niveles de cuevas indica que la tasa del cambio topográfico del nivel de base no ha sido constante, y que se han producido periodos de estabilidad o subida en su transcurso. En el sistema Alkerdi-Zelaieta, dichos periodos de estabilidad están relacionados con un aumento de la tasa sedimentaria respecto al caudal hídrico, forzando una espeleogénesis por procesos paragenéticos.

Cuando el caudal hídrico vuelve a poder gestionar el aporte detrítico, cesa la paragénesis, el río incide y el nivel freático vuelve a descender. Parte de este relleno detrítico erosionado, es transportado a una proto-galería del nivel inferior en desarrollo a través de las galerías meandriformes. Cuando en la proto-galería inferior se repiten las condiciones anteriores, comienza una nueva fase de formación de nivel de cueva.

La identificación, *a priori*, de 6 niveles de cueva, con una diferencia de cota entre ellas relativamente repetitiva, indica que este proceso se ha producido cíclicamente al menos 6 veces, de forma que podría estar vinculado con los cambios climáticos de orden orbital producidos a lo largo del Cuaternario. Estos cambios climáticos producirían variaciones tanto en la disponibilidad sedimentaria como en los caudales hídricos de forma cíclica, causando periodos de niveles freáticos relativamente estables que modularían el progresivo descenso del nivel de base local a lo largo del Cuaternario (Bridgland y Westaway, 2008). En todo caso, parte del aporte detrítico observado es el resultado de la resedimentación de los depósitos de los niveles superiores. Son, por tanto, de carácter poligénico, ya que no se corresponden solo a nuevos aportes de sedimento al sistema kárstico.

La hipótesis climática como causa del incremento en la tasa sedimentaria, coincidiendo con los ciclos orbitales de 100 ka de duración, fue planteado para la formación de las terrazas escalonadas y niveles de cueva en uno de los valles fluviales de la cornisa cantábrica (Arriolabengoa, 2015). Aunque las dataciones que se han realizado al respecto aún no son suficien-



Fig. 3.- Esquema simplificado del desarrollo de los niveles de cueva identificados, con base en la información topográfica de las cavidades del macizo kárstico Alkerdi-Zelaieta y sus geomorfologías freáticas. Ver figura en color en la web.

Fig. 3.- Simplified scheme of the identified cave-levels along Alkerdi-Zelaieta cave system, using the topographical and geomorphological information of different caves on it. See color figure in the web,

tes para validar dicha hipótesis (del Val *et al.*, 2019), el estudio espeleogenético del macizo kárstico de Alkerdi-Zelaieta pone de manifiesto: 1) la trascendencia de los cambios del *ratio* caudal/tasa de sedimentación para la formación de los niveles de estabilidad freática; y 2) la relevancia que tiene el sedimento reciclado para dicho proceso.

Conclusiones

En el sistema kárstico de Alkerdi-Zelaieta se han descrito 6 niveles de cueva. Han sido formados a partir de un relativo aumento en la tasa de sedimentos frente al caudal, produciendo una espeleogénesis por procesos paragenéticos en la cueva. Dichos sedimentos provienen de los materiales paleozoicos y triásicos que,

en gran parte, una vez introducidos al sistema kárstico han ido transfiriéndose una y otra vez desde un nivel de cueva superior a otro inferior. Todo ello está reflejando cambios ambientales cíclicos, que *a priori*, podrían obedecer a los ciclos climáticos orbitales producidos a lo largo del Cuaternario.

Como trabajo futuro, las dataciones absolutas de los diversos depósitos internos (U/Th, OSL, ESR) permitirán establecer de manera robusta la historia espeleogenética de la cavidad y su relación con los niveles de base de la vertiente Cantábrica.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible por el contrato de asistencia adjudicado a la Sociedad de Ciencias Aranzadi por el Gobierno de

Navarra mediante la Resolución 30/2016. También queremos agradecer al revisor anónimo, Antonio González, y al editor Óscar Pueyo Anchuela por sus comentarios y necesarias correcciones.

Referencias

- Álvarez, I., Bodego, A., Aranburu, A., Arriolabengoa, M., del Val, M., Iriarte, E., Abendaño, V., Calvo, J.I., Garate Maidagan, D., Hermoso de Mendoza, A., Ibarra, F., Legarrea, J., Tapia Sagarra, J. y Agirre-Mauleon, J. (2018). *Journal of Cultural Heritage* 33, 170-180.
- Arriolabengoa, M. (2015). *Evolución geológica cuaternaria del valle del río Deba (Gipuzkoa)*. Tesis Doctoral, Univ. del País Vasco/Euskal Herriko Unib., 211 p.
- Bella, P., Bosák, P., Braucher, R., Pruner, P., Hercman, H., Minár, J., Veselský, M., Holec, J. y Léanni, L. (2019). *Geomorphology* 327, 62-79.
- Bridgland, D. y Westaway, R. (2008). *Geomorphology* 98, 285-315.
- del Val, M., Duval, M., Medialdea, A., Bate-man, M.D., Moreno, D., Arriolabengoa, M., Aranburu, A. e Iriarte, E. (2019). *Quaternary Geochronology* 49, 108-114.
- Farrant, A.R. y Smart, P.L. (2011). *Geomorphology* 134(1-2), 79-93.
- Ford, D. y Williams, P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, 562 p.
- Garate, D., Tapia, J., Olivia, R., Álvarez, I., Abendaño, V., Aranburu, A., Arriolabengoa, M., Bodego, A., Calvo, J.I., García-García, E., Hermoso de Mendoza, A., Ibarra, F., Iriarte, E., Legarrea, J., del Val, M. y Agirre-Mauleon, J. (2017). *Inora* 79, 10-12.
- Pasini, G. (1967). *Le Grotte d'Italia* 4, 75-90.
- Renault, P. (1968). *Annales de Spéléologie* 23, 529-596.