

**EXPLORACIÓN DE UNA SIMA EN ARENISCA FORMADA SOBRE UNA FRACTURA MECÁNICA DE 100 M DE EXTENSIÓN
(LITORAL DE JAIZKIBEL, PAÍS VASCO).**

Exploration of an abyss in sandstone formed on a mechanical fracture 100 m extension (Jaizkibel coastline, Basque Country).



Carlos GALÁN & José M. RIVAS.
Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

EXPLORACIÓN DE UNA SIMA EN ARENISCA FORMADA SOBRE UNA FRACTURA MECÁNICA DE 100 M DE EXTENSIÓN (LITORAL DE JAIZKIBEL, PAÍS VASCO).

Exploration of an abyss in sandstone formed on a mechanical fracture 100 m extension (Jaizkibel coastline, Basque Country).

Carlos GALÁN & José M. RIVAS.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.

E-mail: cegalham@yahoo.es

Agosto 2019.

RESUMEN

El litoral de Jaizkibel (Hondarribia, País Vasco) presenta una estructura monoclinas. Las rocas aflorantes constituyen una serie de turbiditas abisales de edad Eoceno (Formación Jaizkibel) compuesta por estratos gruesos de arenisca, separados unos de otros por intercalaciones delgadas de lutitas. La zona de Txurtxipi posee acantilados que recortan el frente costero. Los estratos gruesos de arenisca se fracturan por procesos de descompresión mecánica y deslizan siguiendo el buzamiento Norte, produciendo el colapso de grandes bloques y tramos enteros de estratos. Cerca del borde acantilado, a 30 m de elevación, una larga fractura se extiende hasta la costa, con varias bocas de sima. La galería subterránea formada a expensas de esta fractura tiene 88 m de extensión y -28 m de desnivel. La fractura se prolonga algo más en superficie, alcanzando 118 m de extensión en planta. La cavidad está habitada por varias especies de invertebrados y posee espeleotemas de silicatos de aluminio amorfo. El trabajo describe los principales rasgos de la sima.

Palabras clave: Karst en arenisca, Geomorfología, Biología subterránea, Espeleotemas, Espeleología física.

ABSTRACT

The coastline of Jaizkibel (Hondarribia, Basque Country) has a monoclinas structure. The outcropping rocks constitute a series of abyssal turbidites of Eocene age (Jaizkibel Formation) composed of thick strata of sandstone, separated from each other by thin intercalations of lutites. The Txurtxipi area has cliffs that cut the coastal front. The thick sandstone strata are fractured by mechanical decompression processes and slide along the North dip causing the collapse of large blocks and whole sections of strata. Near the cliff edge, at 30 m elevation, a long fracture extends to the coast, with several mouths of abysses. The underground gallery formed at the expense of this fracture totals 88 m of extension and -28 m of unevenness. The fracture extends somewhat more in surface, reaching 118 m of extension in plant. The cavity is inhabited by several species of invertebrates and has speleothems of amorphous aluminium silicates. The work describes the main features of the abyss.

Keywords: Karst in sandstone, Geomorphology, Subterranean Biology, Speleothems, Physical Speleology.

INTRODUCCION

La Formación Jaizkibel está constituida por una espesa secuencia de turbiditas abisales (de edad Eoceno, Terciario), la cual alterna estratos gruesos de arenisca carbonática con otros delgados de lutitas y margas. El espesor preservado de la serie alcanza 1.500 m de potencia (Campos, 1979). En las zonas donde los estratos de arenisca son más gruesos se producen procesos de karstificación, por disolución intergranular de la arenisca y procesos clásticos de descompresión mecánica de la roca-caja (Renault, 1970; Maire, 1980), que acompañan al avance de la erosión normal y marina en el frente costero.

Estos procesos generan un gran número de cavidades, abrigos y geoformas, a distintas escalas. En su mayoría se trata de cuevas de recubrimiento e interestratos, con escasa actividad hídrica y de moderadas dimensiones. Las cavidades mayores hasta ahora exploradas alcanzan 250 m de desarrollo y -70 m de desnivel (Galán, 2013; Galán et al, 2013).

El litoral de la cadena costera que se extiende entre Hondarribia y Orío está formado por turbiditas abisales de facies flysch y edad Eoceno, de estructura monoclinas y buzamiento Norte. Donde la formación presenta estratos gruesos de arenisca, con frecuencia se producen procesos de karstificación, con desarrollo de distintos tipos de cavidades y geoformas.

En este trabajo revisamos un curioso enclave situado en la zona de Txurtxipi (monte Jaizkibel), situado inmediatamente al W de la desembocadura del arroyo Iturraín. El relieve local presenta un abrupto acantilado frontal y varias fracturas de descompresión mecánica a expensas de las cuales se han formado varias simas cercanas al borde y cuevas de recubrimiento en la base del acantilado. La sima mayor alcanza 152 m de desarrollo espacial y posee varias bocas a lo largo de su recorrido, presentando diversos rasgos de interés.

MATERIAL Y METODOS

En las exploraciones se utilizaron frontales Leds, técnicas verticales de cuerda estática y jumars, e instrumental Suunto de precisión (brújula, clinómetro y cinta métrica) para la topografía. Algunas muestras de fauna cavernícola litoral y de espeleotemas fueron estudiadas en laboratorio bajo microscopio binocular Nikon. Se tomaron fotografías con una cámara digital Panasonic, a fin de ilustrar los principales rasgos de las cavidades y su entorno.

RESULTADOS

El área de estudio se localiza en la punta N del sector de Txurtxipi, al W de Marla y de la desembocadura del arroyo o erreka de Iturraín en el mar Cantábrico. En este sector los estratos individuales de arenisca alcanzan gran espesor (8 á 10 m de potencia) y prácticamente se apoyan unos sobre otros, sólo separados por intercalaciones muy delgadas de lutitas y margas. El buzamiento es de 25° NW. La infiltración a través de fracturas alcanza los planos de estratificación y facilita la disolución intergranular y el deslizamiento de los estratos superiores de arenisca, que a menudo se fracturan por procesos clásticos de descompresión mecánica. De este modo se deslizan y colapsan grandes bloques y tramos de estratos.

En la punta de Txurtxipi se ha formado un acantilado frontal, con un gran bloque desprendido (y muchos otros menores), que el mar va rebajando en la línea de costa. Sobre el borde acantilado se ha producido la apertura de fracturas (longitudinales y cóncavas) que alcanzan gran extensión. A expensas de una de estas largas fracturas se ha formado una cavidad, con distintas bocas de acceso a lo largo de su recorrido, en forma de simas (V1 á V5) y dos bocas adicionales en su parte inferior (B-C). Sobre la prolongación de la parte superior de la fractura (A) se han formado otras dos simas (V6 y V7), separadas de la galería de la sima principal (Ver Figuras 01 y 02, y plano de la cavidad en Figura 03). Adicionalmente hay dos cuevas de recubrimiento, en la base del acantilado y de un gran bloque desprendido del mismo (Figura 03).

El sector había sido prospectado por la S.C. Aranzadi hace algo más de 15 años, sin dar importancia a lo que parecían simples sistemas de fracturas. Pero el 9 de abril de 2019 se produjo un hecho fortuito: un potrillo cayó y quedó atrapado en el interior de la pequeña sima V6, de -4 m, y no podía salir. Avisado el cuerpo de bomberos del parque del Bidasoa, de la Diputación Foral de Gipuzkoa (Bidasoako Suhiltzaileak), efectuaron prontamente su rescate y el potrillo salió ileso. Enterados de esa noticia y al ver una foto de lo que parecía en efecto una sima (desconocíamos entonces su profundidad), decidimos revisar en detalle la misma, por si tuviera alguna continuidad, más allá del punto de caída del potrillo. La sima resultó cegada por sedimentos a -4 m (V6) y al lado había otra pequeña depresión-sima (V7), de -2 m. Pero prospectando el terreno hacia la costa descubrimos que se trataba de una larga fractura, con otras bocas de sima (V1 á V5). La exploración mostró que se trataba de una extensa (aunque muy estrecha) cavidad, con una galería inferior de 88 m de extensión, con simas de -7 á -8 m de desnivel a lo largo de su recorrido, y alcanzando un desnivel total de -28 m. La galería subterránea presentaba además en su parte baja una galería paralela, totalizando un desarrollo espacial de 152 m. A continuación presentamos una descripción de la cavidad y del enclave, donde existen otras pequeñas cuevas y geoformas de interés.

DESCRIPCIÓN DE LA CAVIDAD

Sima Txurtxipi

Situación: En la punta N de Txurtxipi, al W de la desembocadura del arroyo de Iturraín (TM: Hondarribia).

Coordenadas ETRS89, UTM 30N: N 4.803.778; E 594.118; Altitud 30 m snm. Fuente cartográfica: b5m.gipuzkoa.net.

Dimensiones: Desnivel: -28 m; Desarrollo espacial: 152 m. Plano en Figura 03. Imágenes en Figuras 04 á 28.

Descripción: La cavidad se desarrolla a expensas de una larga fractura vertical, poco discernible en superficie, que fragmenta el estrato superior de arenisca carbonática. Posee cinco bocas de simas a lo largo de su recorrido y otras dos bocas de cueva en la parte inferior. En la exploración, localizamos primero el grupo 1 (bocas V2 á V4), algo más amplias que la boca superior (V1, cota 0 de la cavidad). Ingresando por V3, de -8 m, se accede al sector más amplio de la galería inferior, por donde puede avanzarse en ambas direcciones. La galería es alta y estrecha, siendo generalmente más ancha (1 á 1,5 m) en su parte inferior o a veces en su parte media. El suelo está colmatado por un relleno detrítico de bloques y material arcillo-arenoso, con algo de tierra procedente del suelo superior. Las paredes son de roca-caja. La galería desciende hacia el mar, con estrechamientos, pequeños resaltes y algunos bloques acuñaos entre las paredes. Por la boca V4 (de -7 m) puede descenderse en escalada sin utilizar los jumars. Las bocas V2 y V1 se bifurcan a media altura, por acuñaamiento de bloques y sedimentos, y hay que remontar y descender con cuerda para proseguir hasta el extremo superior de la galería.

En sentido descendente, entre V4 y V5, hay un tramo muy estrecho (0,3 m), que luego se amplía hacia las bocas inferiores (B-C). En la parte baja la galería está techada por grandes bloques de colapso. Presenta una corta galería paralela, bajo otro gran bloque, que enlaza con la principal a través de otra galería sobre un plano de estratificación por el que ingresa una pequeña circulación hídrica. El desarrollo de la cavidad (galería principal + galería paralela + 5 simas) alcanza 152 m, siendo el desnivel total de -28 m.



Figura 01. Acantilado frontal de Txurtxipi, visto de Sur a Norte, con la localización de la Sima de Txurtxipi.
Fuente de la imagen: b5m.gipuzkoa.net. Escala barra negra horizontal = 118 m en planta.



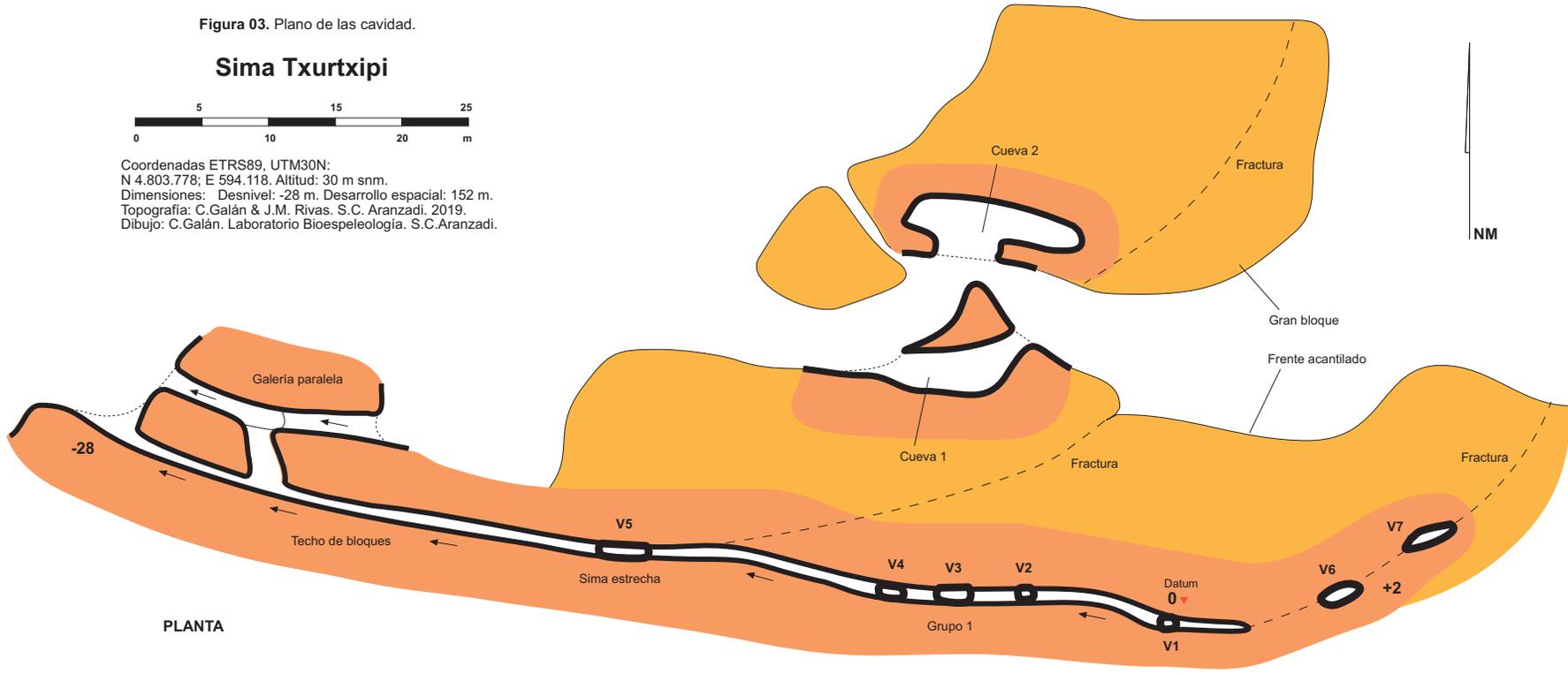
Figura 02. Acantilado frontal de Txurtxipi, visto desde el NW (arriba) y desde el NE (centro y debajo), con la extensa fractura (A-B) y las distintas bocas de simas. Fuente de la imagen: b5m.gipuzkoa.net. La galería de la sima de Txurtxipi se desarrolla a lo largo de la fractura entre las simas V1 - V5 y la boca inferior en B, existiendo otra entrada en C.

Figura 03. Plano de las cavidad.

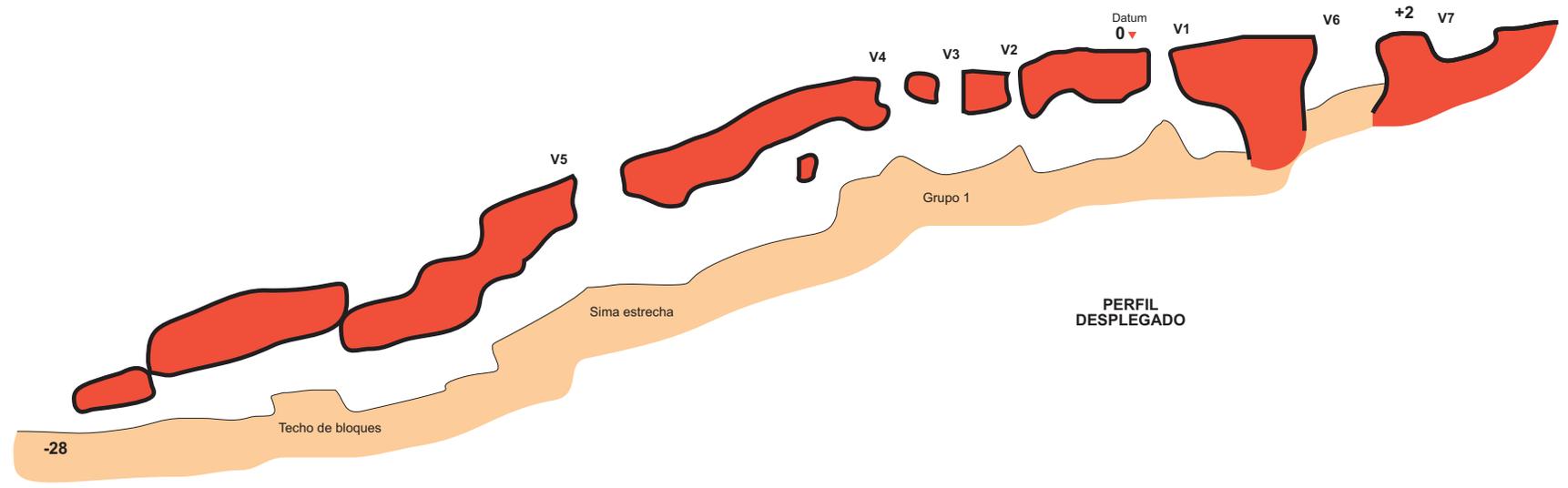
Sima Txurtxipi



Coordenadas ETRS89, UTM30N:
N 4.803.778; E 594.118. Altitud: 30 m snm.
Dimensiones: Desnivel: -28 m. Desarrollo espacial: 152 m.
Topografía: C.Galán & J.M. Rivas. S.C. Aranzadi. 2019.
Dibujo: C.Galán. Laboratorio Bioespeleología. S.C.Aranzadi.



PLANTA



PERFIL DESPLEGADO



Figura 04. Tareas de rescate del potrillo caído en la sima V6, con vegetación baja tras la época invernal (Fuente: Cuerpo de bomberos del parque del Bidasoa) (arriba) y acceso en todoterreno a la zona de Marla y arroyo Iturraín, próximos a la cavidad de Txurtxipi (debajo), durante las exploraciones en época de verano.



Figura 05. Vista hacia la punta N de Txurtxipi (desde Marla, arriba) y desembocadura del arroyo de Iturain (debajo).



Figura 06. Estratos de arenisca de la Formación Jaizkibel en la zona de Iturain, con buzamiento de 25° NW, y geoformas debidas a la remoción de concreciones planares y esféricas por disolución intergranular.



Figura 07. Vista desde la punta de Txurtxipi hacia el E (zona de Iturrain, arriba), y vista de la punta N y el bloque desprendido, donde se localizan las simas (debajo), con estratos gruesos de arenisca fracturados.



Figura 08. Acantilado frontal de la punta N de Txurtxipi y gran bloque desprendido, con cueva de recubrimiento basal. Puede apreciarse que el espesor de este estrato supera los 10 m.



Figura 09. Corredores entre bloques de colapso con diversas geoformas, al W de la cavidad (arriba) y boca de la sima V3, de -8 m (debajo), primer punto de acceso a la cavidad. Detrás de ella se localiza la boca V4.



Figura 10. Entrada por la sima V3 y vista hacia el fondo, con relleno de bloques y sedimentos (algunos de ellos coloreados por oxi-hidróxidos de hierro), y tapices de algas verdes (imágenes con flash).

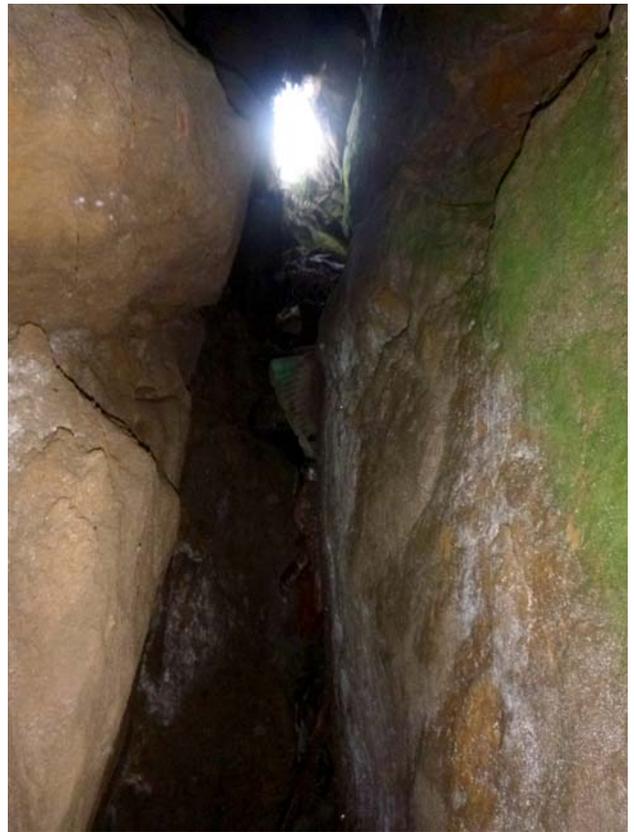


Figura 11. Sima de Txurtxipi. Vertical de acceso V3 (de -8 m) y galería inferior. Vista hacia superficie y continuación descendente, con tapices de algas verdes y espeleotemas blancas de alófono.

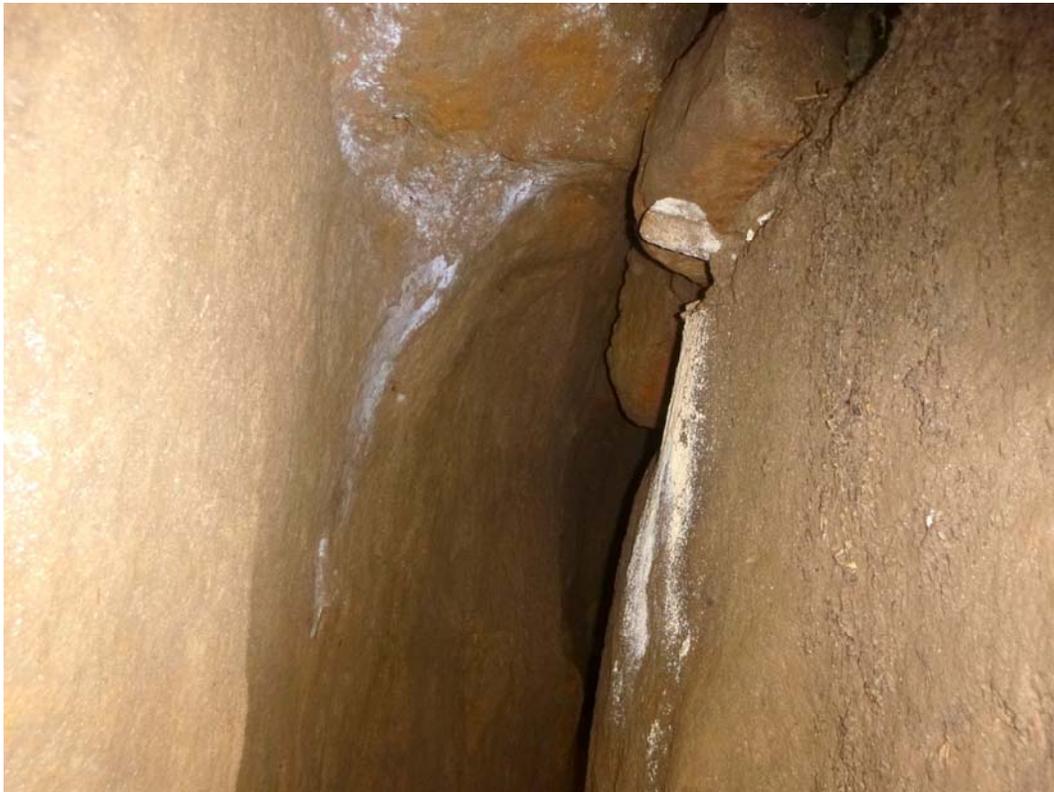
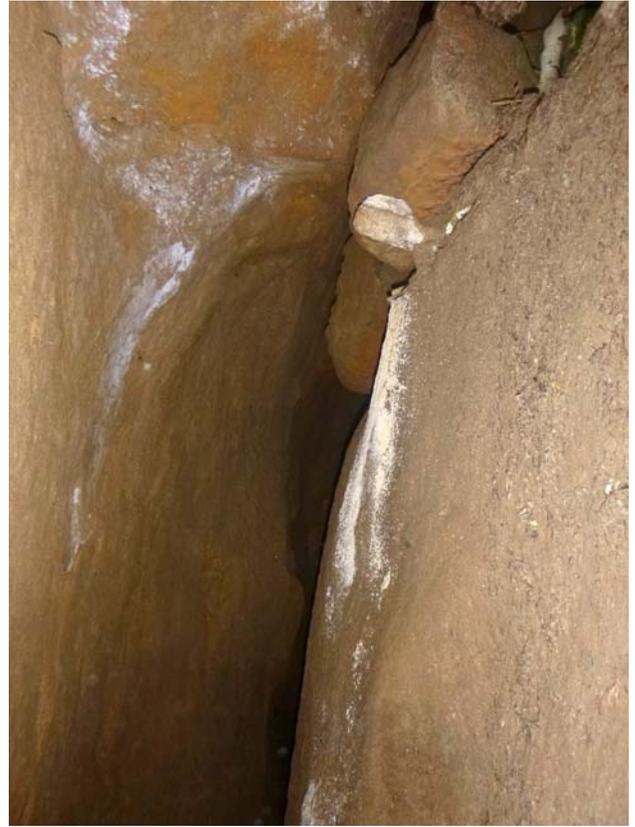


Figura 12. Galería inferior de la Sima de Txurtxipi. Descendiendo desde la boca V4 y detalle de espeleotemas de hidrosilicatos de aluminio amorfo (alófano) en el tramo entre V4 y V5.



Figura 13. Continuación de la fractura hacia el mar, con la estrecha boca V5 y bloques arenizados, con laminaciones y geoformas, desprendidos de un pequeño escarpe superior. Al fondo el gran bloque, con oquedades planares.

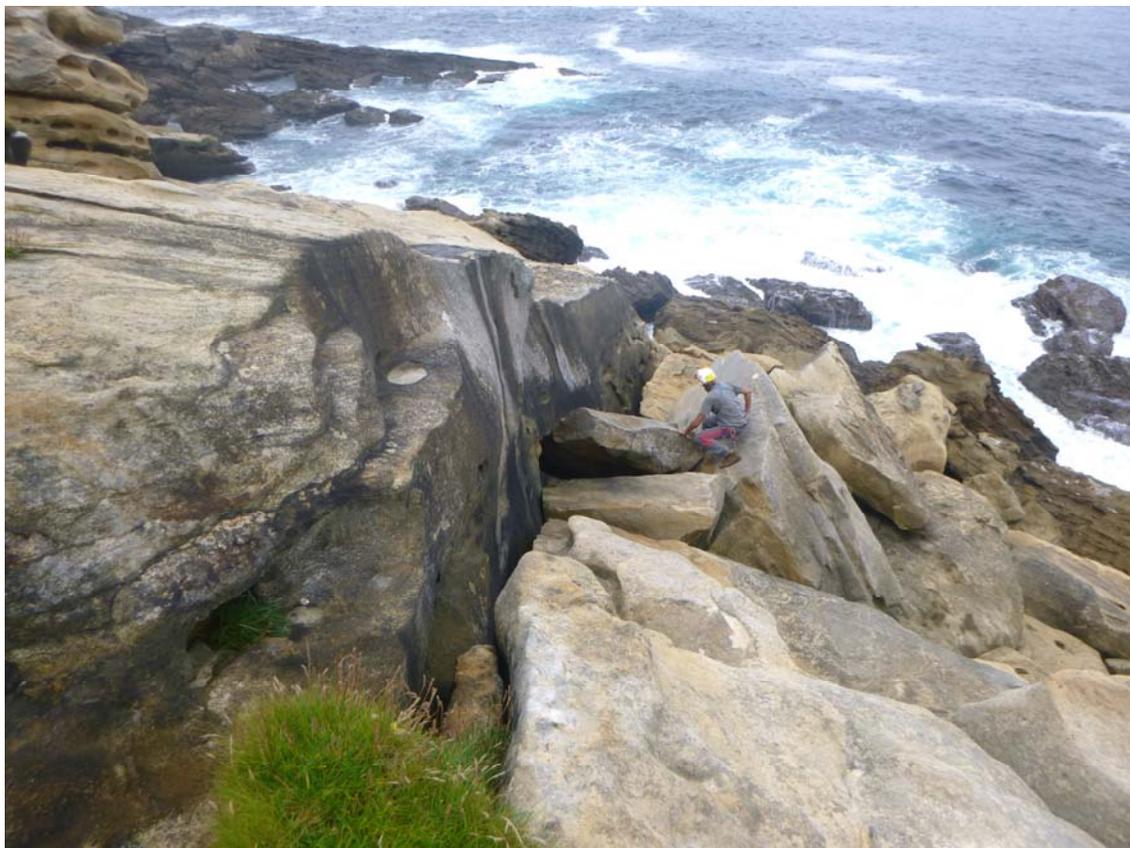


Figura 14. Continuación de la fractura hacia la zona inferior, donde forma un escarpe lateral, con la parte externa fracturada en bloques. adosados al escarpe, los cuales techan la galería subterránea que discurre bajo ellos.



Figura 15. Acceso a la galería paralela inferior, desarrollada bajo bloques. La galería principal sigue a lo largo bajo el escarpe lateral que se aprecia en la foto inferior, techada también por bloques adosados en su parte alta.



Figura 16. Boca inferior y galería de enlace con la principal, con pequeñas circulaciones hídricas que emergen de un plano de estratificación.



Figura 17. Gran bloque y corredor, donde se abre la boca de la cueva de recubrimiento 2 (en la base del bloque).



Figura 18. Boca superior de la Cueva 1, en la base del acantilado frontal, frente al gran bloque.



Figura 19. Vistas hacia el interior de la cueva 1, desde las bocas inferior (arriba) y superior (debajo). Se pueden apreciar circulaciones laminares de agua que fluyen desde un plano de estratificación.



Figura 20. Base del acantilado frontal y corredor, con geoformas y bloques de colapso hacia la línea de costa.



Figura 21. El gran bloque presenta también una larga fractura abierta (arriba). La boca de la sima V3 (debajo). A diferencia del ejemplo anterior, la cavidad se desarrolla sobre una fractura cerrada en superficie y enmascarada por el suelo y la vegetación que la recubre, sólo discernible en las bocas de sima y en su interior.



Figura 22. Las bocas V2 (arriba) y V1 (debajo), abiertas sobre la misma fractura, cóncava y de gran extensión.



Figura 23. La depresión-sima V7 (arriba) y la sima V6 donde cayó el potrillo (debajo), formadas a expensas de la misma fractura donde se desarrolla la cavidad, pero sin conexión con ésta. La fractura se extiende 118 m.



Figura 24. Estrato superior a escasos metros al W de la cavidad, con pequeños conductos y geoformas producto de la disolución intergranular de la arenisca. Se aprecian laminaciones y rellenos de arena desagregada de la roca-caja.



Figura 25. Bloques de colapso que han deslizado, sobre el estrato en la parte W de la cavidad. Presentan oquedades producto de la disolución y remoción de concreciones, así como zonas grises recementadas por carbonatos.



Figura 26. Geoformas en bloques fracturados del estrato superior en la parte W de la cavidad. Concavidades esféricas y planares debidas a la remoción completa de concreciones y alveolos en las cortezas (= duricrust) recementadas.

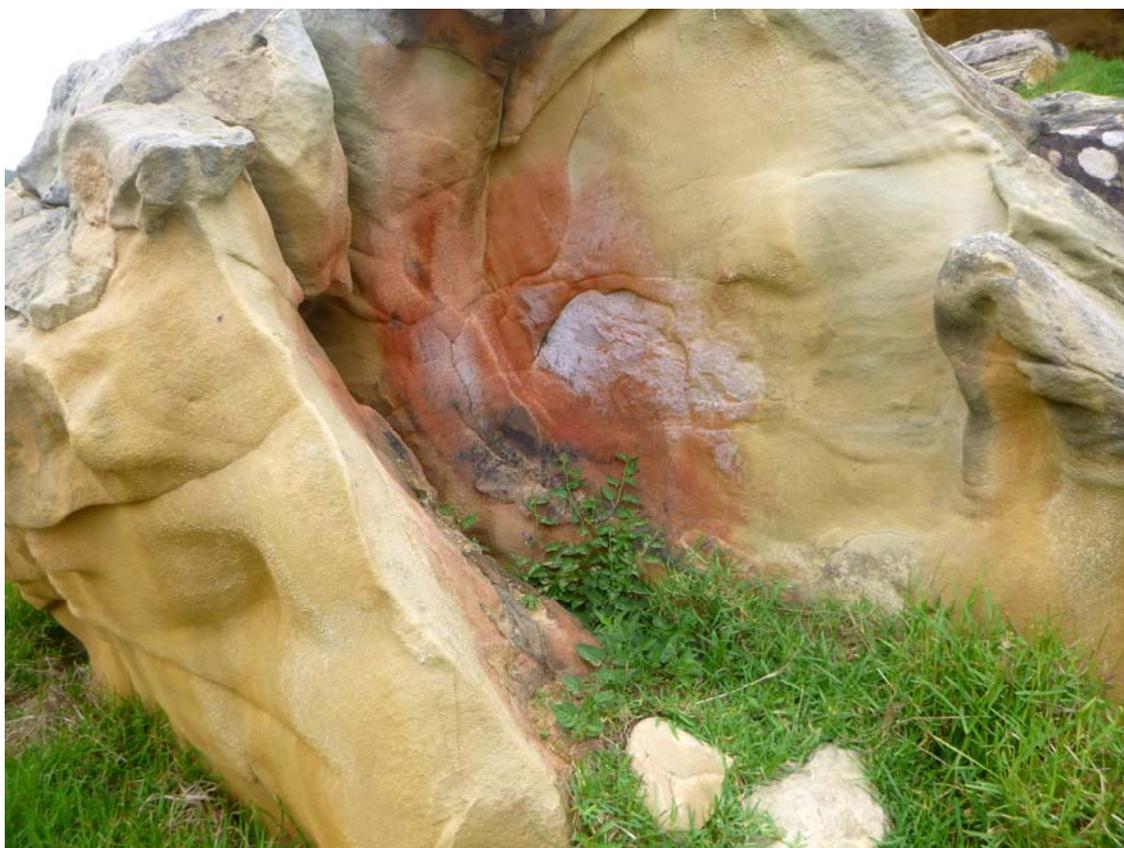


Figura 27. Bloques de colapso que han deslizado, con coloraciones rojizas debidas a la difusión de oxi-hidróxidos de hierro y zonas blancas con films de silicatos de aluminio amorfo. Estos últimos pueden proceder de elementos contenidos en la roca-caja de arenisca, pero también del suelo superior que recubría el estrato fracturado.



Figura 28. Ejemplos fractales de fracturas de descompresión, apenas abiertas, junto a bloques con fragmentos de pequeñas cavidades formadas a expensas de planos de estratificación, ahora expuestas en superficie. Nótese el detalle de coloridas laminaciones y de arena suelta desagregada de la arenisca por disolución intergranular.

DATOS ADICIONALES

En el sector entre V3 y V5 hay diversos recubrimientos blancos de espeleotemas de hidrosilicatos de aluminio amorfo (alófano) y algunas zonas donde la arenisca se presenta teñida de oxi-hidróxidos de hierro de colores rojizos. La mayor parte de la cavidad está en oscuridad total, pero en las zonas de penumbra bajo las bocas de sima hay extensos recubrimientos de tapices de algas verdes.

Pastoreando sobre estos biofilms observamos diversos limacos negros *Arion ater* (Arionidae) y caracoles terrestres Helicidae y Zonitidae. La fauna de artrópodos está representada por dípteros troglóxenos, lepidópteros *Scoliopteryx libatrix* (Noctuidae), araneidos Argiopidae y Tetragnathidae, isópodos terrestres *Porcellio scaber* (Porcellionidae), y en la zona baja por fauna propia de la zona litoral, que incluye cangrejos, lapas, tisanuros Machiloidea *Petrobius maritimus* (Machilidae), e isópodos *Ligia oceanica* (Ligiidae), entre otros. La cavidad, junto a otras cuevas próximas interstratos y de recubrimiento, contiene un hábitat subterráneo extenso, que constituye un ecotono o zona transicional por partida doble, ya que se sitúa entre el medio marino y el terrestre, y entre los hábitats de superficie y los hipógeos. Este ambiente, poco conocido, posee cierto interés ecológico y evolutivo, ya que constituye una de las vías seguidas para la colonización del medio hipógeo y diferenciación de especies cavernícolas troglobias acuáticas y terrestres (Juberthie, 1983; Galán, 2013, 2017).

Sobre la continuación superior de la extensa fractura hay dos cavidades adicionales, no conectadas a la descrita: la pequeña sima V6 (donde cayó el potrillo) y otra pequeña depresión-sima (V7). En la base del acantilado, en el corredor que se forma entre la pared de este y un gran bloque desprendido, existen otras dos pequeñas cuevas de recubrimiento (ver Figuras 17 a 20 y planos en Figura 03).

Adicionalmente en el sector hay diversas geoformas en bloques y tramos de estratos afectados también por fracturas de descompresión. Muchos de ellos presentan paredes y oquedades con roca arenizada (desagregada por disolución intergranular) (Figuras 24 a 28). Ello prueba que la disolución de la roca por las aguas de infiltración, que se produce a expensas de fracturas y planos de estratificación, va formando cavidades a pequeña escala que producen déficits de carga mecánicos, contribuyendo así a la rotura de los estratos y al deslizamiento de bloques y tramos de los mismos. En los bloques superiores que han resultado desplazados se observan fragmentos de estas cavidades y evidencias de estos procesos.

También son muy frecuentes en los bloques de arenisca numerosas concavidades producto de la disolución y remoción de concreciones planares y esféricas (= cannonballs). Estas concreciones tienen similar composición que la roca-caja de arenisca, pero con mayor contenido de cementación carbonatada uniendo los granos individuales de arena (cuarzo), por lo que resultan fácilmente removidas por disolución subterránea intergranular. Como remanente de este proceso quedan numerosos rellenos de arena suelta en repisas y en el interior de las concavidades.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El proceso fundamental que rige la génesis de cavidades en esta litología es la disolución intergranular de la roca-caja, pero también actúan otros procesos, como la erosión normal, erosión marina, y especialmente los procesos clásticos mecánicos, ya que las intercalaciones delgadas de lutitas y margas son fácilmente meteorizadas y removidas, dejando espacios entre los estratos de arenisca, lo que propicia su fragmentación en bloques, así como su deslizamiento y/o subsidencia. Cuando el buzamiento es pronunciado se produce el colapso de tramos enteros de estratos.

La disolución actúa intergranularmente y ampliando fisuras, produciendo también la alteración y remoción de las intercalaciones de lutitas y margas. De este modo se desestabiliza el equilibrio mecánico de los estratos superiores y se produce su fragmentación por procesos clásticos mecánicos, para compensar los déficits de carga creados (Galán, 2013; Galán et al, 2009; Renault, 1970; Maire, 1980). La erosión marina en el frente costero, cuya acción es continuada y progresiva, contribuye asimismo a la excavación del terreno y generación de nuevos escarpes, fracturas, deslizamiento y colapso de bloques.

En el caso de esta cavidad se aprecia en distintos puntos la existencia de pequeñas filtraciones de agua, que en gran parte quedan enmascaradas u ocultas por los rellenos detríticos de los suelos de la galería. Esta agua, que percola y circula subterráneamente a través de diaclasas y planos de estratificación, ha contribuido sin duda a generar la galería. De igual modo, la ocurrencia de espeleotemas muestra que existe disolución intergranular en la arenisca y precipitación de minerales secundarios.

Un conjunto de procesos interrelacionados e inhomogéneos que actúan de modo complejo, dando lugar a la extraña geometría del enclave y sus diversas cavidades. Estos sistemas contienen asimismo diversos ejemplos de naturaleza fractal, con cavidades y geoformas que reproducen en miniatura los rasgos de las cavidades mayores, a distintas escalas. La sima explorada alcanza 152 m de desarrollo espacial y -28 m de desnivel, algo inusual en esta litología, y más aún por tratarse de una cavidad formada a expensas de una fractura de descompresión mecánica igualmente extensa.

El trabajo, de naturaleza descriptiva, aporta así ejemplos adicionales sobre la formación de distintos tipos de cavidades en los estratos de arenisca de la Formación Jaizkibel (de edad Eoceno) y nuevos detalles de interés científico sobre la geomorfología, dinámica e hidrogeología de esta zona del litoral del monte Jaizkibel.

AGRADECIMIENTOS

A los compañeros que nos acompañaron en exploraciones anteriores en los litorales de Igueldo, Ulía y Jaizkibel, en especial a Marian Nieto, por prospecciones previas y adicionales en el sector de Txurtxipi. A tres árbitros de la Sociedad de Ciencias Aranzadi y Biosphere Consultancies (Reino Unido), por la revisión crítica del manuscrito y sus útiles sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

- Campos, J. 1979. Estudio geológico del Pirineo vasco al W del río Bidasoa. *Munibe, S.C.Aranzadi*, 31(1-2): 3-139.
- Galán, C. 2013. Cuevas, geformas y karstificación en areniscas Eocenas de la Formación Jaizkibel: Actualización de datos para Mayo de 2013. Conferencia audiovisual Power point, Ayto. Hondarribia, Fundación Luberri. 10-5-2013. 80 láminas. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 80 pp.
- Galán, C. 2017. Fauna cavernícola en zona litoral en la arenisca de Ulía (Formación Jaizkibel). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 30 pp.
- Galán, C.; J. Rivas & M. Nieto. 2009. Formes pseudokarstiques dans le grès du flysch éocène côtier en Guipúzcoa (Pays basque espagnol). *Karstologia, Assoc. Franc. Karstol. & Fed. Franc. Spéléol.*, 53: 27-40.
- Galán, C.; I. Herraiz; D. Arrieta Etxabe; M. Nieto & J. Rivas. 2013. Una nueva sima de -70 m de desnivel en arenisca de la Formación Jaizkibel: Tanbo 2. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 30 pp.
- Juberthie, C. 1983. Le Milieu souterrain: étendue et composition. *Mémoires de Biospéologie, Tome X* : 17-66. Biogeographie de la faune souterraine. Colloque de la Société de Biospéologie, Béziers, 1982. Communications Libres.
- Maire, R. 1980. Eléments de karstologie physique. *Spelunca. Spécial N° 3*. 56 p.
- Renault, Ph. 1970. La formation des cavernes. Coll. Que sais-je? n° 1400, P.U.F., Paris, 127 p.