

**FAUNA CAVERNÍCOLA EN UN TÚNEL DE TRASVASE DE AGUAS DE 800 M DE LONGITUD EN ARENISCA DE EDAD EOCENO (FORMACIÓN JAIZKIBEL, LEZO, GIPUZKOA).**

Cave fauna in a water transfer tunnel 800 m long in sandstone of Eocene age (Jaizkibel Formation, Lezo, Gipuzkoa).



Carlos GALÁN & Marian NIETO. Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

# FAUNA CAVERNÍCOLA EN UN TÚNEL DE TRASVASE DE AGUAS DE 800 M DE LONGITUD EN ARENISCA DE EDAD EOCENO (FORMACIÓN JAIZKIBEL, LEZO, GIPUZKOA).

Cave fauna in a water transfer tunnel 800 m long in sandstone of Eocene age (Jaizkibel Formation, Lezo, Gipuzkoa).

**Carlos GALÁN & Marian NIETO.**

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi. Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - Spain.

E-mail: [cegalham@yahoo.es](mailto:cegalham@yahoo.es)

Agosto 2020.

## RESUMEN

La Formación Jaizkibel es una potente secuencia de turbiditas abisales, de edad Eoceno, compuesta por estratos de arenisca, con intercalaciones delgadas de lutitas. Localmente presenta acuíferos subterráneos y procesos de karstificación, con numerosas cavidades y notables geoformas. A su vez constituye un hábitat hipógeo extenso, con distintos biotopos, poblados por especies variablemente cavernícolas. En este trabajo exploramos un túnel de 800 m de longitud, perforado para el abastecimiento de aguas. La galería atraviesa un gran espesor de la formación e intercepta varios niveles acuíferos. El túnel presenta diversas espeleotemas y posee un interesante ecosistema, que incluye al menos 15 especies cavernícolas, destacando el hallazgo de especies troglófilas de copépodos Cyclopidae, isópodos Jaeridae, anfípodos Gammaridae, opiliones Ischyropsalididae, arácnidos Tetragnathidae y otros taxa troglógenos acuáticos y terrestres. El trabajo describe la cavidad y su fauna cavernícola.

*Palabras clave:* Biología subterránea, Hidrogeología, Espeleología física, Karst en arenisca, Espeleotemas, Ecología, Evolución.

## ABSTRACT

The Jaizkibel Formation is a powerful Eocene age abyssal turbidite sequence, composed of sandstone strata with thin lutites intercalations. Locally it presents underground aquifers and karstification processes, with numerous caves and remarkable geoforms. In turn, it constitutes an extensive hypogeous habitat, with different biotopes, populated by variably cave-species. In this work we explore a tunnel 800 m long, drilled from water supply. The gallery crosses a great thickness of sandstone and intercepts several aquifer levels. The tunnel has speleothems and an interesting ecosystem, which includes at least 15 cave-species, highlighting the finding of troglophile species of Cyclopidae copepods, Jaeridae isopods, Gammaridae amphipods, Ischyropsalididae harvestmen, Tetragnathidae spiders and other aquatic and terrestrial troglone taxa. The work describes the cavity and his cave-dwelling fauna.

*Key words:* Subterranean Biology, Hydrogeology, Physical Speleology, Sandstone karst, Speleothems, Ecology, Evolution.

## INTRODUCCION

La Formación Jaizkibel es una potente secuencia de turbiditas abisales de facies flysh, compuesta esencialmente por areniscas cuarzosas de cemento carbonático. En ella se desarrollan localmente procesos kársticos, particularmente donde los estratos de arenisca son más gruesos (no en toda la formación). También contiene acuíferos que albergan un importante volumen de aguas subterráneas, pero están compartimentados, con escasa conexión hidráulica entre unos y otros.

La formación se extiende a lo largo de una cadena montañosa costera de 40 km de extensión (montes Igueldo-Mendizorrotz, Ulía y Jaizkibel), entre Orio y Hondarribia (litoral de Gipuzkoa, País Vasco). La disposición de la cadena es monoclinial, con buzamiento Norte, formando dos arcos de turbiditas cóncavos hacia el N, ocupando el monte Jaizkibel (de 546 m de altitud) el arco oriental. En estos terrenos hemos descubierto y explorado hasta la fecha más de 280 cavidades, la mayor de ellas de -70 m de desnivel y 280 m de desarrollo (Sima Tanbo 2), existiendo otras de más de 100 m y muchas cavidades menores, formadas por procesos de disolución intergranular de la arenisca, a veces acompañados por procesos clásticos mecánicos y otros procesos de meteorización química (Galán, 2013; Galán et al, 2009, 2013). El moderado desarrollo de las cavidades es debido a que la karstificación y espeleogénesis queda restringida a áreas localizadas y no se extienden por toda la formación.

En las cuevas exploradas hemos encontrado numerosas especies de hábitos variablemente cavernícolas, en biotopos marinos, anquihalinos, dulceacuícolas y terrestres, constituyendo un hábitat transicional por partida doble: entre el litoral marino y el medio continental y entre el medio epígeo y el hipógeo. Con numerosas zonaciones y diversidad de organismos (Galán, 2013, 2017; Galán et al, 2020). La cavidad estudiada resulta interesante porque atraviesa un considerable espesor de la serie de areniscas de la Formación Jaizkibel, es hidrológicamente activa y recibe diversos aportes hídricos de los niveles acuíferos que atraviesa.

Previamente, la exploración de túneles artificiales nos permitió constatar que estos pueden interceptar circulaciones hídricas subterráneas, cuevas y mesocavernas incluidas en la serie estratigráfica (Galán, 1993, 2001). En estos ambientes habitan especies acuáticas y terrestres de animales cavernícolas, incluyendo formas troglóbias. Otras especies de invertebrados troglófilos y troglóxenos están presentes en las cuevas de la región, así como quirópteros de hábitos cavernícolas.

Las cavidades en arenisca poseen también espeleotemas, cuya mineralogía difiere de la que es habitual en el karst clásico en caliza. Pero sobretodo las cavidades presentan una notable variedad de geoformas, producto del modelado por las aguas subterráneas que circulan intergranularmente en los estratos de arenisca, además de a través de diaclasas y conductos.

El túnel de Lezo (Galería Monatxo) es una galería rectilínea de 800 m de extensión, perforada artificialmente para el trasvase de aguas desde manantiales en el flanco N del monte Jaizkibel hasta el flanco Sur, donde es canalizada para el abastecimiento y suministro de agua a la localidad de Lezo. El túnel tiene un canal de trasvase, cuyo caudal se duplica a lo largo del recorrido por numerosas filtraciones aportadas desde los estratos acuíferos que atraviesa. Generalmente en estos puntos la galería presenta pequeñas ampliaciones laterales. Así mismo, la mitad N del túnel posee múltiples zonas con filtraciones que generan diversas espeleotemas: coladas y pavimentos estalagmíticos, microgours, perlas de caverna o pisolitas, estalactitas isotubulares y banderas, principalmente de calcita, pero también de oxi-hidróxidos de hierro, así como recubrimientos delgados de silicatos de aluminio y pequeñas espeleotemas botroidales y laminares de ópalo-A.

Este ambiente hipógeo, húmedo y oscuro, constituye un hábitat de reciente creación (excavado artificialmente). Posee algunas similitudes con el ambiente de cuevas en el karst clásico, y permite estudiar la fauna acuática que habita en las aguas subterráneas y la que ha colonizado la cavidad a partir de las bocas y medios edáficos e hipógeos transicionales.

Las prospecciones biológicas efectuadas han revelado la existencia de un interesante ecosistema subterráneo, de curioso dinamismo, que incluye especies troglófilas y troglóxenas, en distintos grupos zoológicos. Estos datos permiten comprender mejor cómo ocurre el proceso de colonización y poblamiento del medio hipógeo constituido por la red de cavidades y vacíos existentes en esta litología, cuyas características serán descritas y discutidas en la presente nota.

## **MATERIAL Y METODOS**

Los datos presentados han sido obtenidos a través de prospecciones bioespeleológicas efectuadas en un túnel del monte Jaizkibel durante los meses de julio y agosto de 2020. Los taxa cavernícolas han sido colectados mediante redes manuales de plancton, pinzas y pinceles de relojero, utilizando alcohol etílico 75° como conservante. También se colocaron cebos atrayentes en dos puntos de la parte central del túnel. Los ejemplares colectados (depositados en la Colección de Bioespeleología de la Sociedad de Ciencias Aranzadi) han sido estudiados en laboratorio bajo microscopio binocular Nikon (hasta 800 aumentos). Datos geológicos y ecológicos complementarios son presentados e ilustrados con fotografía digital.

## **RESULTADOS**

Como contexto general cabe señalar que las areniscas de Jaizkibel son parte de una secuencia de turbiditas abisales de edad Eoceno, de facies flysch, que alterna estratos gruesos de arenisca con intercalaciones delgadas de lutitas y margas. La secuencia predominantemente arenosa, de edad Eoceno inferior a medio, ha sido denominada Formación Jaizkibel y ha sido detalladamente descrita por diversos autores (Jérez et al, 1971; Campos, 1979; Kruit et al, 1972; Mutti, 1985; Rosell, 1988; Van Vliet, 1982; entre otros). La potencia total de la serie alcanza 1.500 m de espesor y se extiende a lo largo de la costa entre Hondarribia y Orío.

La Formación Jaizkibel se originó por acumulación de material detrítico en la desembocadura de un profundo cañón submarino (Kruit et al., 1972). El hecho de que la granulometría de las areniscas sea más grosera hacia la parte alta de la secuencia, a la vez que aumenta progresivamente el espesor de los bancos (hasta 4-5 m), indica que se trata de la parte media de conos de deyección submarinos; los fósiles hallados, claramente rodados, llevan a concluir que la acumulación se debió verificar a una profundidad variable entre 1.000 y 4.000 m, habiéndose depositado los materiales arenosos por corrientes de turbidez (Campos, 1979).

El dispositivo estructural es monoclinal, con buzamiento generalizado hacia el Norte y deformaciones locales. Debido a la plasticidad de las rocas del flysch, el buzamiento es variable. En el área de estudio el buzamiento medio es de 20-30° NNW.

Litológicamente son areniscas cuarzosas de colores claros (blancas, amarillentas, rojas y ocres) y cemento carbonático. Están formadas por un entramado de granos de cuarzo bien redondeados (o ligeramente angulosos), que pueden constituir hasta el 90% de la roca (siempre más del 80%), y cantidades menores de feldespatos. Intercalados entre los estratos de arenisca se encuentran niveles delgados de naturaleza arcillosa o margosa, con cierto grado de pizarrosidad (Galán et al, 2009).

La distribución de los materiales en el fondo de la cuenca Eocena adopta la forma de enormes conos de deyección. Las descargas, procedentes del N, coexisten con aportes turbidíticos axiales alimentados desde el E, pero éstos son reordenados por las imponentes masas de arenas aportadas por los cañones submarinos (Campos, 1979). Este autor distingue dos grandes conos de deyección submarino, uno oriental (sector del monte Jaizkibel), que comenzaría a formarse al final del Paleoceno superior y

continuaría recibiendo aportes durante todo el Eoceno inferior, y otro, occidental (entre San Sebastián y Zarauz), cuya base se sitúa en el Eoceno inferior.

Para Van Vliet (1982) es a finales del Eoceno inferior cuando los aparatos deltaicos alcanzan dimensiones mayores, al mismo tiempo que tanto las paleocorrientes como su composición petrográfica revelan ya una cierta influencia del área fuente, aunque se desconocen las plataformas de las cuales derivan los sistemas turbidíticos (hipotético Plateau submarino de las Landas). La cuenca Eocena pirenaica corresponde a un surco alineado de E a W donde las facies distales (profundas) se sitúan en la parte occidental (País Vasco). Las turbiditas eocenas del Arco Vasco se redepositaron en el sector de cuenca más abierto al océano, y por ello es probable que sus plataformas de origen se hayan destruido completamente, lo cual al mismo tiempo explicaría el considerable desarrollo de los sistemas turbidíticos (Rosell, 1988).

En la arenisca de la Formación Jaizkibel existen numerosas cuevas y abrigos, múltiples macro y microformas de superficie, pequeñas circulaciones subterráneas, manantiales, etc., pero faltan auténticas redes de drenaje subterráneo y cavernas asociadas. La morfología y topografía de superficie puede decirse que es normal. Los procesos de meteorización de las rocas son facilitados por tratarse de zonas de clima atlántico próximas al mar. Las lluvias están bien repartidas a lo largo del ciclo anual y alcanzan valores de 1.700 - 1.800 mm/a. Los vientos predominantes del cuadrante NW aportan aire húmedo del mar, siendo zonas brumosas, con lloviznas frecuentes. La erosión marina en la costa es potente y las zonas litorales presentan acantilados y taludes en activo proceso de erosión y recorte, con frecuentes desprendimientos de rocas y retroceso de las pendientes.

Aunque el drenaje en las areniscas es superficial, existen sectores donde el terreno es parcialmente permeable, constituyendo acuíferos compartimentados y acuitards, de permeabilidad media, en los cuales circula cierto volumen de aguas subterráneas a través de la red de fisuras e intergranularmente, dando lugar a pequeños manantiales en las zonas bajas. No obstante, a pesar de que existe cierto grado de infiltración, la desagregación de la roca en arena y arcilla es poco propicia para la formación de cuevas.

La unidad hidrogeológica del monte Jaizkibel forma una franja SW-NE de 12 km de extensión, con una superficie total de 26 km<sup>2</sup> y una potencia superior a los 1.300 m, caracterizada por una doble permeabilidad, intergranular por disolución del cemento carbonático y por fracturación, lo que propicia el desarrollo de fenómenos kársticos de escasa entidad (EVE, 2000). La formación presenta una permeabilidad muy variable controlada principalmente por la granulometría de los depósitos, el grado de alteración, y la existencia de juntas de estratificación o fracturas. Por otra parte, la estructura monoclinal buzante hacia el N condiciona el flujo subterráneo, determinando la dirección de drenaje principal, que es hacia el Norte.

Dadas las características geométricas de la unidad, se puede asegurar que la alimentación se produce principalmente por infiltración de la precipitación caída sobre los afloramientos de la misma y, en menor grado, por infiltración de la escorrentía procedente de niveles de permeabilidad relativa inferior. Los estudios realizados estiman un coeficiente de infiltración del 55% de la lluvia útil, lo que supone un módulo de infiltración de 17 l/s/km<sup>2</sup>. La descarga se produce a través de varios manantiales localizados en ambas vertientes (principalmente en la Norte) así como por la descarga directa al mar o de forma difusa a los arroyos. Por otra parte, existen multitud de pequeñas surgencias, a cotas muy variables, relacionadas con niveles acuíferos colgados.

Los puntos de descarga más importantes se producen a través de manantiales en la zona N, cercanos a Pasaia, que son trasvasados mediante túneles (galerías Pasaia y Monatxo) hacia el flanco Sur.

La Galería Pasaia, a cota 108 m, tiene 1.600 m de longitud y fue construida para el trasvase del caudal captado en el manantial de Lete (de 10 l/s) y de varios arroyos de la vertiente N, para el abastecimiento de Pasaia. La galería experimenta una ganancia gradual al ir cortando los distintos niveles areniscosos de la formación Jaizkibel. Su caudal medio se estima en 50 l/s.

La Galería Monatxo o Túnel de Lezo tiene 800 m de longitud, y conduce las aguas de los manantiales de Monatxo desde la vertiente N, a cota 245 m, a la S, a cota 220 m, para el abastecimiento de Lezo. La galería atraviesa distintos niveles productivos, con un caudal de estiaje de 8 l/s y un caudal medio anual estimado en 40 l/s, de los que un 60% se atribuye a las aportaciones que recibe la galería al atravesar la serie de areniscas.

El funcionamiento de estos acuíferos es libre por lo general, existiendo un claro control del flujo por planos de estratificación y líneas de fractura que funcionan a modo de colectores. No obstante, se han reconocido áreas de funcionamiento confinado debido a la naturaleza lenticular de los cuerpos alterados y a su sellado por materiales de baja permeabilidad (EVE, 2000).

El EVE ha efectuado investigaciones complementarias en la unidad, mediante la perforación en el sector nor-oriental próximo a Hondarribia de cuatro sondeos de investigación hidrogeológica de hasta 150 m (Jaizkibel 1-4), perforados por el método de rotación con extracción continua de testigo. Estos sondeos muestran que las areniscas de Jaizkibel presentan un grado de alteración alto, ocasionalmente con señales de karstificación, en todos los casos hasta la cota del nivel freático. Por debajo del mismo, únicamente los sondeos 2 y 4 presentan una zona alterada de cierta extensión (31 m en el sondeo 2 y 41 m en el sondeo 4). El nivel freático se localiza a cotas variables entre 51 y 93 m snm. El elevado gradiente observado entre los puntos de drenaje en el área y los sondeos perforados es indicativo de la existencia de una deficiente conexión entre ellos, o que los sondeos perforados han atravesado niveles colgados que guardan escasa relación con dichos manantiales. El elevado valor de los gradientes existentes entre los distintos sondeos evidencia una compartimentación de los acuíferos, con flujos relativamente individualizados (EVE, 2000).

En todo caso, la existencia de volúmenes de aguas subterráneas configura un hábitat hipógeo, susceptible de ser poblado por cavernícolas acuáticos y, en el caso de existir vacíos kársticos aéreos, por fauna terrestre. Y por ello nos pareció de potencial interés efectuar prospecciones biológicas en el túnel de Lezo (o galería Monatxo).

## DESCRIPCIÓN DEL TÚNEL DE LEZO

El túnel de Lezo consta de una galería única, rectilínea, de 800 m de longitud, que atraviesa el monte Jaizkibel de Norte a Sur. Las coordenadas ETRS89, UTM30N, de la boca Sur son: E 591.510; N 4.798.820; altitud 220 m snm. La boca N está situada en la cota 225 m, levemente más alta, y en su proximidad se encuentra el manantial Monatxo, que es captado con una toma. El caudal del manantial es derivado mediante un pequeño canal, que sigue por la galería del túnel a todo lo largo de su recorrido hasta la boca S, donde una sala de máquinas, con arquetas y varias compuertas reguladoras dirigen el caudal a una tubería de suministro para el abastecimiento de la localidad de Lezo, situada a 2 km al WSW de la boca S.

Ambas bocas del túnel poseen puertas de rejas de hierro para proteger el acceso, quedando las visitas limitadas a los técnicos del ayuntamiento de Lezo que se encargan de su revisión periódica y mantenimiento. Por la información que hemos podido reunir, el túnel fue construido en 1949, hace ahora 71 años, para satisfacer la creciente demanda de agua requerida por la expansión industrial de la comarca (muy cercana a la frontera con Francia) y de sus caseríos, núcleo urbano y zona portuaria. Actualmente, tras el suministro general del embalse de Aguas del Añarbe, parece que la Galería Monatxo abastece sólo a varios polígonos industriales y caseríos de la zona de Gaintzurizketa.

El túnel tiene una sección media bastante uniforme, en forma de U invertida, de 1,6-1,8 m de alto x 1,4-1,6 m de ancho, con un canal de unos 50 cm de ancho y profundidad, y una acera cementada anexa. El túnel está excavado en la roca-caja de arenisca (con delgadas intercalaciones de lutitas) y está revestido en algunos tramos menos compactos con bloques de sillería, dispuestos en arco para autoapoyar la bóveda. Estas paredes de bloques tienen algunas roturas y oquedades, con ampliaciones laterales. De igual modo, las paredes de arenisca, más irregulares, presentan ampliaciones, por el colapso de tramos métricos de lutitas, y en varias zonas donde ingresan aguas subterráneas a través de planos de estratificación. La altura de bóveda de la galería es algo inferior en la mitad N del túnel, por lo que hay que avanzar largos tramos en posición agachada para recorrerla; por suerte, cada tanto, hay elevaciones que permiten estirarse y permanecer de pie. (Ver imágenes de los rasgos principales en Figuras 01 a 22).

Los 50 primeros metros cercanos a ambas bocas pueden considerarse zonas en acentuada penumbra, pero la mayor parte del túnel está en oscuridad. Aunque el túnel describe alguna suave curva es fuertemente rectilíneo y desde gran distancia puede apreciarse los puntos claros correspondientes a sus bocas; es de suponer, dado el escaso diámetro, que sólo una muy débil a extrema intensidad lumínica pueda penetrar a lo largo de la galería. En las ampliaciones y oquedades laterales la oscuridad es sin duda absoluta. En consecuencia, se trata de una galería en oscuridad, recorrida por un canal de agua, bien ventilada pero sin corriente de aire apreciable, de elevada humedad relativa (100%) y temperatura ambiente de 12°C, con agua ligeramente más fría.

El caudal medio anual del canal es de 40 l/s (en su boca de salida S), procediendo un 40% del mismo del caudal ingresado a través de la boca N y el 60% restante de los aportes de los niveles acuíferos que atraviesa en las areniscas. El caudal de estiaje ha sido estimado en un mínimo de 8 l/s. El lecho del canal es de roca-caja y débil corriente N-S, pero en los tramos de mayor horizontalidad y sobretodo en la mitad N son frecuentes rellenos arenosos en el cauce, de varios cms de espesor. Hay huellas evidentes de que en aguas altas el cauce aumenta su caudal y rebasa el canal, circulando también sobre la acera de cemento, donde ha dejado a tramos depósitos arcillosos de crecida, algunos con pequeños restos vegetales (fragmentos de hojarasca).

A lo largo de la galería, de 800 m de longitud, hay zonas con recubrimientos de tapices de microorganismos, de colores blancos, amarillos y rosados a violeta. Muy probablemente, los primeros, más abundantes, corresponden a biofilms bacteriales, los amarillos a plasmodios de amebas gigantes Mycetozoa (protozoos Amoebozoa), y los rosáceos y violeta a Cyanobacterias y/o Arquea. Adicionalmente encontramos en zona de penumbra crecimientos de pequeños hongos imperfectos de color marrón, y, en zona oscura, crecimientos de mohos blancos sobre dípteros muertos in situ y sobre fragmentos de madera en descomposición.

Pero lo más llamativo del túnel es la gran cantidad de espeleotemas. En las zonas más secas y ventiladas son frecuentes pequeños recubrimientos blanco-opacos de silicatos de aluminio amorfo (alófano) y pequeñas espeleotemas botroidales y laminares de ópalo-A, de probable origen biogénico. El espesor de estos recubrimientos o costras es en general muy débil, de 1 mm o menos.

A partir de la parte central de la galería y sobretodo en su mitad N, existen numerosas zonas con filtraciones de agua y extensos recubrimientos de espeleotemas blanco-brillantes de calcita. Estas llegan a revestir por completo el diámetro del conducto a lo largo de tramos decamétricos sucesivos. Principalmente forman coladas parietales y pavimentos estalagmíticos, con microgours, perlas de caverna o pisolitas, así como también estalactitas de caudal, isotubulares y banderas. Esta profusión de espeleotemas de calcita va acompañada en puntos locales de espeleotemas y flujos laminares rojizos (y algunos negros) de oxi-hidróxidos de hierro (goethita, hematita), existiendo también pequeñas coladas de calcita teñidas de color amarillo, de considerable belleza estética. Cerca de la boca N hay espeleotemas y coladas, de varios centímetros de espesor, con curiosos bordes denticulados. En suma, una notable diversidad de espeleotemas formadas en un corto lapso de tiempo, ya que el túnel fue excavado hace sólo 70 años.

Las aguas del canal (y las que ingresan a la galería) son muy claras, de gran transparencia. Hidroquímicamente se trata de aguas bicarbonatadas cálcicas, con una conductividad de 270  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y mineralización moderada. Los contenidos máximos en  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Ca}^{++}$  alcanzan 4,5 meq/l; el  $\text{Cl}^-$  alcanza concentraciones de 0,5-0,9 meq/l (probablemente debido a la proximidad al mar) y el resto de los iones aparece siempre en concentraciones inferiores a 0,5 meq/l. El alto contenido en carbonatos procede del cemento carbonático de la arenisca, que es fácilmente disuelto, pero la ocurrencia de espeleotemas de ópalo prueba que también ocurre una disolución parcial de los granos de cuarzo.



**Figura 01.** La vegetación en el flanco Sur de Jaizkibel en la proximidad del túnel de Lezo (Galería Monatxo) y detalle de la boca Sur, con puerta de reja de hierro.



**Figura 02.** Sector inicial Sur de la galería, con diversos recubrimientos de tapices de microorganismos (bacterias, protozoos Amoebozoa, Cyanobacteria y Archea).



**Figura 03.** El túnel presenta tramos algo más estrechos y ampliaciones, con un canal entallado por donde circula el agua.



**Figura 04.** Intercalaciones delgadas de lutitas pizarrosas entre los estratos ocre-amarillentos de areniscas. En algunos puntos se han producido pequeños colapsos a expensas de las rocas más frágiles.



**Figura 05.** Espeleotemas blanco-opacos de silicatos de aluminio amorfo, junto a tapices bacteriales. A medida que se avanza hacia el interior del túnel van siendo sustituidas por espeleotemas y depósitos de calcita.



**Figura 06.** A medida que se avanza, a unos 200 m de la boca, el túnel se va recubriendo de espeleotemas blancas de calcita en forma de coladas estalagmíticas de varios centímetros de espesor.



**Figura 07.** El agua que percola intergranularmente y a través de fisuras en la serie de areniscas filtra hacia la galería del túnel y genera espeleotemas que van recubriendo las bóvedas y paredes.



**Figura 08.** Coladas estalagmíticas, banderas y pequeñas estalactitas isotubulares de calcita.



**Figura 09.** Coladas parietales de distintos colores y pavimentos estalagmíticos, recubriendo pequeños clastos y formando perlas de caverna bajo los puntos de goteo.



**Figura 11.** Entre las espeleotemas de calcita se presentan otras de colores rojizos de oxi-hidróxidos de hierro.



**Figura 11.** Aportes hídricos a partir de planos de estratificación y ampliaciones laterales de la galería por erosión y remoción de las intercalaciones de lutitas. Se aprecian algunas concreciones laminares de oxi-hidróxidos de hierro.



**Figura 12.** Las epeleotemas de calcita se tiñen de color por trazas de diversos minerales. En la galería hay también espeleotemas de oxi-hidróxidos de hierro y recubrimientos débiles de ópalo-A, de probable origen biogénico.



**Figura 13.** Coloridos flujos y espeleotemas de oxi-hidróxidos de hierro (goethita, hematita), sobre paredes y suelos.



**Figura 14.** Tramos de la galería con ligeras curvas y espeleotemas de silicatos de aluminio (arriba). En los tramos de menor declive el lecho del canal presenta fondos arenosos, con ripples, biotopo frecuentado por crustáceos (debajo).



**Figura 15.** La mitad Norte del túnel posee extensos recubrimientos de coladas y pavimentos estalagmíticos de calcita.



**Figura 16.** Coladas y suelos estalagmíticos de calcita, de mayor espesor, con distintas coloraciones, en la zona Norte.



**Figura 17.** Espeleotemas de calcita teñidas con colores ocre y amarillentos por trazas de otros minerales secundarios.



**Figura 18.** Tramos de techo bajo con extensos recubrimientos de espeleotemas, con microgous y perlas de cavernas.



Figura 19. Detalles de perlas de caverna, en zonas con fuertes goteos sobre suelos estalagmíticos.



**Figura 20.** Detalle de espeleotemas formando coladas, banderas y estalactitas con bordes denticulados.



**Figura 21.** Ichnofósiles sobre plano de estratificación en lutitas. Trazas fósiles de *Thalassinoides* y *Musteria bicornis*. Se distinguen también varios dípteros *Limnobia*. Debajo: aspecto general del túnel, con diversas espeleotemas.



**Figura 22.** Ejemplos de fauna. Arriba: opiliones *Ischyropsalis nodifera*. Debajo: opilión *I. nodifera*, isópodos terrestres *Oniscus asellus* (vista dorsal y ventral) y dos ejemplares del anfípodo *Echinogammarus berilloni*. En el recuadro: detalle ampliado de ejemplar del isópodo acuático *Jäera ortizi*, de 3 mm.

## BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA

La cavidad posee un interesante conjunto de especies cavernícolas. Casi desde las entradas, en zona de penumbra, destaca la presencia de formas troglógenas, de dípteros *Rhymossia fenestralis*, *Limnobia nubeculosa* (ésta, más abundante, se extiende hacia el interior), tricópteros *Micropterna fissa*, isópodos terrestres *Oniscus asellus*, y algunos ejemplares del opilión de gran talla *Gyas titanus*. Más hacia el interior aparecen especies troglófilas, capaces de completar su ciclo de vida en el hábitat hipógeo, que incluyen a las arañas cavernícolas *Meta bourmeti* y *Metellina merianae*, y al opilión troglófilo *Ischyropsalis nodifera*. Estas especies, comunes en cuevas en caliza en la región, también han sido halladas en cavidades naturales en otros enclaves de la Formación Jaizkibel y datos sobre su ecología e historia natural pueden encontrarse en trabajos previos (Galán, 1993, 2001, 2017; Galán & Nieto, 2016; Galán et al, 2020; entre otros).

A lo largo de la galería, en distintos puntos, se encuentran pequeñas acumulaciones de guano del murciélago pequeño de herradura *Rhinolophus hipposideros*, que debe frecuentar y probablemente hibernar en la cavidad. Cerca de las bocas encontramos pequeñas galerías de micromamíferos excavadas en intercalaciones arenosas, así como una carcasa de un ejemplar del ratoncito de monte *Apodemus sylvaticus*.

Más rara aún ha sido la ocurrencia a lo largo del canal de ninfas acuáticas de odonatos Aeschnidae (*Aeschna sp.*). Esta especie epígea probablemente ingresa al túnel para poner sus huevos, y sus ninfas de hábitos carnívoros se desarrollan y alimentan en el cauce para, tras varias mudas, eclosionar como adultos y dejar la cavidad. Un ejemplo comparable fue encontrado hace poco en el río subterráneo de la surgencia de Urtiaga (Galán, 2019). Pero son de los pocos datos que reportan la presencia de odonatos en cavidades subterráneas, a nivel global.

La fauna acuática incluye varias especies troglófilas de agua dulce (= stygófilas): los copépodos *Paracyclops fimbriatus* y *Megacyclops viridis* (Cyclopidae), el singular isópodo acuático *Jäera ortizi* (Jaeridae), y el anfípodo *Echinogammarus berilloni* (Gammaridae). Los copépodos, de muy pequeña talla (0,7-2 mm), fueron colectados por filtrado de una muestra de arena del fondo del cauce del canal; son formas intersticiales de amplia distribución, comunes en las aguas dulces subterráneas (incluyendo aguas salobres y/o ricas en hierro).

Los anfípodos *Echinogammarus berilloni* son habitantes comunes de las aguas continentales (dulces y salobres), siendo habitantes frecuentes de las aguas subterráneas y sistemas de cavernas, donde puede mantener poblaciones troglófilas estables. La especie, de 11-16 mm de talla, habita en el SW de Francia, Bélgica, Wesfalia y NE de la península ibérica, siendo el centro de su área de distribución el Garona (Vandel, 1926; Juberthie, 1983). En Gipuzkoa ha sido colectada en cavidades en todo el territorio, prefiriendo aguas carbonatadas. Su alimentación omnívora incluye bacterias, cianofíceas y partículas detríticas vegetales y animales muy pequeñas. Un listado de las especies halladas es presentado en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Lista de las especies identificadas, con indicación de su categoría ecológica. Suma 15 taxa (7 troglófilos, 8 troglógenos).

Grupo	Familia o grupo superior	Especie	Categoría ecológica
Araneida	Tetragnathidae	<i>Meta bourmeti</i> Simon	Troglófilo
Araneida	Tetragnathidae	<i>Metellina merianae</i> (Scopoli)	Troglófilo
Opiliones	Ischyropsalididae	<i>Ischyropsalis nodifera</i> Simon	Troglófilo
Opiliones	Gyantidae	<i>Gyas titanus</i> Simon	Troglógeno
Copepoda	Cyclopidae	<i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fischer)	Stygófilo
Copepoda	Cyclopidae	<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine)	Stygófilo
Isopoda	Jaeridae	<i>Jäera ortizi</i> Margalef	Stygófilo
Isopoda	Oniscidae	<i>Oniscus asellus</i> Linné	Troglógeno
Amphipoda	Gammaridae	<i>Echinogammarus berilloni</i> Catta	Stygófilo
Diptera	Mycetophilidae	<i>Rhymossia fenestralis</i> Meigen	Troglógeno
Diptera	Limnobiidae	<i>Limnobia nubeculosa</i> (Meigen)	Troglógeno
Trichoptera	Limnephilidae	<i>Micropterna fissa</i> McLachlan	Troglógeno
Odonata	Aeschnidae	<i>Aeschna sp.</i> Ninfas acuáticas	Troglógeno
Chiroptera	Rhinolophidae	<i>Rhinolophus hipposideros</i> (Bechstein)	Troglógeno
Rodentia	Muridae	<i>Apodemus sylvaticus</i> (Linnaeus)	Troglógeno

Dejamos para último lugar un comentario más extenso sobre la rara especie de isópodo acuático *Jäera ortizi*, perteneciente a la familia Jaeridae (antes Janiridae). La especie fue descrita por Margalef (1953) de un riachuelo sobre sustrato calizo en un pequeño afloramiento kárstico de edad Daniense próximo a Pasaia. En el mismo también habitaba el anfípodo *Echinogammarus berilloni*.

En opinión de Margalef las dos especies de *Jaëra* encontradas en la península ibérica (*J.ortizi* y *J.balearica*, esta última de las fuentes de Söller, en país calizo, Mallorca) se pueden considerar derivadas de la especie marina *J.nordmanni* (Rathke), de la cual difieren muy poco. Henry (1981) colectó una especie indeterminada de *Jaëra*, afín a *J.nordmanni*, en la Cueva de las Brujas (Zugarramurdi, Navarra), probablemente atribuible a *J.ortizi*, la cual constituye así un endemismo vasco restringido a las localidades citadas (Galán, 1993), a las que se agrega ahora esta tercera cita de una cavidad en la arenisca de Jaizkibel.

La especie tiene 2,3-3,4 mm de talla, posee ojos reducidos con 10-16 unidades visuales, pleotelson con escotadura posterior subdividida, patas anteriores terminadas en dos uñas, las posteriores por tres. Se distingue por el carpopodio de la cuarta pata del macho con 18 apéndices dispuestos en 3 filas y flagelo de la segunda antena con 22 artejos. En la cavidad habita en el mismo biotopo que el anfípodo *E.berilloni*: cauce del canal, con rellenos arenosos, microalgas cianofíceas, micro y nanoplankton.

Estos casos, como el hallazgo de Mystacocarida en cavidades del litoral de Ulía (Galán & Nieto, 2016), o el de isópodos acuáticos Sphaeromatidae en otras cavidades en arenisca de la Formación Jaizkibel (Galán, 1993; Galán et al, 2020), ilustran muy bien el proceso de colonización del medio kárstico a partir de elementos marinos.

Los acuíferos y cavidades en arenisca (recorridos por las aguas subterráneas), están en continuidad y ponen en comunicación biotopos creviculares e intersticiales de los fondos marinos (y a su fauna thalassostygobia), con biotopos anquihalinos (Stock et al, 1986), y con el medio hipógeo continental, constituyendo la vía más frecuentemente utilizada para colonizar las aguas dulces subterráneas del karst (y otras litologías) por ancestros de la fauna stygobia, que en su gran mayoría son de origen marino directo. Se trata en consecuencia de un medio transicional, con condiciones comparativamente adversas y extremas, y una vía de comunicación entre las cuevas y vacíos de los acantilados costeros y cavidades situadas a mayor altitud (en valles y montes próximos), a partir de las cuales pueden distribuirse sobre áreas más amplias y pueden diferenciar especies stygobias.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los túneles, galerías de minas y cavidades artificiales en tierra, al igual que los pecios y arrecifes artificiales en el mar, constituyen hábitats de reciente creación. Las galerías subterráneas, con el paso del tiempo, van siendo retrabajadas por las aguas subterráneas y adquieren rasgos medioambientales que -en cierto modo- las aproximan a cuevas naturales (oscuridad total, alta humedad relativa, ambiente aéreo isotérmico, formación de espeleotemas y rellenos sedimentarios, aportes de nutrientes).

Las cavidades excavadas en roca compacta a menudo interceptan y están interconectadas a través de fisuras, planos de estratificación, mesocavernas y conductos de escaso diámetro (inaccesibles para el ser humano), con cavidades naturales y vacíos existentes en las litologías que atraviesan. En este sentido, túneles como el de Lezo, constituyen una ventana que permite a los exploradores observar el interior del volumen rocoso que atraviesan, en este caso en la secuencia de areniscas de la Formación Jaizkibel (turbiditas abisales de edad Eoceno).

Pero si para el ser humano es -como las cuevas naturales- un medio de acceso al interior del karst, para los animales cavernícolas, de tallas menores, es una vía de comunicación que permite el desplazamiento entre los vacíos existentes en la roca y los ambientes edáficos y transicionales de superficie, pudiendo por consiguiente ser poblado por organismos procedentes de ambos medios. Por lo tanto, aunque la perforación del túnel sea reciente, pueden acceder a ella especies cavernícolas que ya poblaban desde antiguo (miles a millones de años) los vacíos del endokarst y sus aguas subterráneas. De modo inverso, organismos epígeos pueden colonizar el nuevo hábitat creado por la galería, y adaptarse a sus condiciones ambientales hipógeas.

El ecosistema del túnel de Lezo muestra la ocurrencia de un ecosistema con al menos 15 especies de hábitos cavernícolas. La mayoría de las formas troglóxenas y troglófilas terrestres han penetrado a través de las bocas del túnel y han colonizado la galería interna de alta humedad, con numerosas filtraciones y una abundante diversidad de espeleotemas. Las formas acuáticas, stygófilas, seguramente proceden no del medio epígeo sino del endokarst en arenisca, que alberga un conjunto de acuíferos subterráneos compartimentados o con pobre interconexión hidráulica. Los copépodos comprenden formas diminutas, de meiofauna intersticial. Los anfípodos *Echinogammarus* están ampliamente distribuidos tanto en arroyos epígeos como en cavidades y ríos subterráneos. A ello se agrega el caso del isópodo acuático *Jaëra ortizi* (especie endémica y sólo conocida de Gipuzkoa), el cual parece haber evolucionado a partir de un ancestro marino -*Jaëra nordmanni*-, colonizando los acuíferos kársticos en distintas litologías (calizas y areniscas), siguiendo una vía remontante a partir del mar. Hecho que puede tener un lejano origen (en algún momento a partir de la emersión del territorio en el Eoceno final, hace 40 millones de años) hasta el presente. Pudiendo constituir un proceso activo y en plena expansión en la actualidad.

Es también de destacar la diversidad de espeleotemas y geoformas observables en el interior del túnel, de estética llamativa, que sorprenden a su vez por el escaso tiempo dispuesto para su formación. Los minerales secundarios hallados aportan datos para entender cómo procede la disolución intergranular en el interior de la arenisca y la precipitación de sustancias disueltas.

Podemos concluir que las exploraciones efectuadas en estos enclaves poco frecuentados del litoral de Jaizkibel (túneles y cuevas), aportan ejemplos curiosos y de gran interés en Biología subterránea, Ecología y Karstificación en arenisca. Con múltiples rasgos de interés científico, que abren un amplio campo para la investigación de aspectos y organismos poco conocidos.

## AGRADECIMIENTOS

A los miembros de la Sociedad de Ciencias Aranzadi (SCA) que nos acompañaron en las prospecciones efectuadas en la cavidad, entre ellos: Juliane Forstner, Iñigo Herraiz, Garbiñe Albisu e Iñaki Pikabea. Al Ayuntamiento de Lezo, por facilitarnos la llave del túnel y permitirnos efectuar su estudio. A tres revisores anónimos de la SCA, Centro de Ecología del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) y Biosphere Consultancies (United Kingdom) por la revisión crítica del manuscrito y sus útiles sugerencias.

## BIBLIOGRAFIA

- Campos, J. 1979. Estudio geológico del Pirineo vasco al W del río Bidasoa. *Munibe*, S.C.Aranzadi, 31(1-2): 3-139.
- EVE - Ente Vasco de Energía. 2000. Mapa Hidrogeológico del País Vasco. E: 1/100.000. Gobierno Vasco. Memoria y mapas. 383 pp.
- Galán, C. 1993. Fauna Hipógea de Gipuzkoa: su ecología, biogeografía y evolución. *Munibe (Ciencias Naturales)*, S.C.Aranzadi, 45 (número monográfico): 1-163. (Reedición digital en Pág. web aranzadi-sciences.org, PDF).
- Galán, C. 2001. Primeros datos sobre el Medio Subterráneo Superficial y otros hábitats subterráneos transicionales en el País Vasco. *Munibe (Ciencias Naturales)*, S.C. Aranzadi, 51: 67-78.
- Galán, C. 2013. Cuevas, geoformas y karstificación en areniscas Eocenas de la Formación Jaizkibel: Actualización de datos para Mayo de 2013. Conferencia Audiovisual Ayto. Hondarribia, Expo. Flysch C.Vasca. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 82 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, Archivo PDF, 30 pp.
- Galán, C. 2019. Biología subterránea de la cueva-surgencia de Urtiaga, Amphipoda y hallazgo de una población hipógea de anguila. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 34 pp.
- Galán, C. & M. Nieto. 2016. Crustacea Mystacocarida y Copepoda en cavidades en arenisca en el Rincón del Búho (monte Ulía, Donosti, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo 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, Archivo PDF, 30 pp.
- Galán, C.; I. Herraiz & M. Nieto. 2020. Fauna cavernícola en una sima con biotopos anquihalinos en el litoral de Ulía (arenisca de la Formación Jaizkibel, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 42 pp.
- Henry, J. 1981. Présence de Jaëra (Isopoda, Asellota, Janiridae) dans le milieu cavernicole. *Proc.8th Inter. Congr. Speol.*, Bowling Green, 670-671.
- Jérez Mir, L.; Esnaola, J. & V. Rubio 1971. Estudio Geológico de la Provincia de Guipúzcoa. Memoria IGME (Inst. Geol. Min. España), Tomo 79, Madrid, 130 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.
- Kruit, C.; Brouwer, J. & P. Ealey. 1972. A Deep-Water Sand Fan in the Eocene Bay of Biscay. *Nature Physical Science*, 240: 59-61.
- Margalef, R. 1953. Los crustáceos de las aguas continentales ibéricas. *Inst. Forest. Invest. Exp., Minist. Agr., Madrid*, 10: 1-243.
- Mutti, E. 1985. Turbidite systems and their relations to depositional sequences. In: Provenance from arenitas. *Proceeding Nato-Asi meeting*, Cetraro-Cosenza, Italy. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Netherlands, 65-93.
- Rosell, J. 1988. Ensayo de síntesis del Eoceno sudpirenaico: El fenómeno turbidítico. *Rev. Soc. Geol. España*, Márgenes continentales de la Península Ibérica, Vol. 1 (3-4): 357-364.
- Van Vliet, A. 1982. Submarine fans and associated deposits in the Lower Tertiary of Guipúzcoa (Northern Spain). Thesis Doct. Univ. Utrecht, Netherlands, 180 pp.
- Stock, J.; T. Illiffe & D. Williams. 1986. The concept of "Anchialine" reconsidered. *Stygologia*, 2 (1-2): 90-92.
- Vandel, A. 1926. La répartition de deux amphipodes, *Gammarus pulex* (L.) et *Echinogammarus berilloni* (Catta) dans le sud-ouest de la France. *Bull.Soc.Zool.France*, 51: 35.