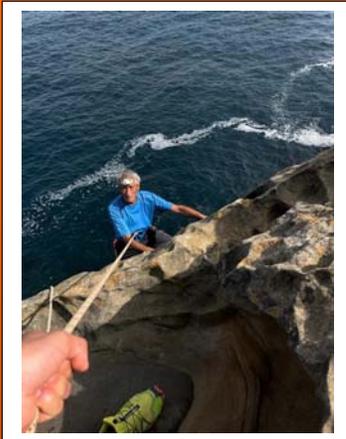


EXPLORACIÓN DE UNA SURGENCIA Y CANALIZACIÓN SUBTERRÁNEA EN ARENISCA EN EL ACANTILADO DE ELGORRI TXIKI (MONTE ULÍA, SAN SEBASTIÁN).

Exploration of an upwelling and underground channeling in sandstone in the Elgorri txiki cliff (Monte Ulía, San Sebastián).



Carlos GALÁN. Sociedad de Ciencias Aranzadi. Laboratorio de Bioespeleología.

EXPLORACIÓN DE UNA SURGENCIA Y CANALIZACIÓN SUBTERRÁNEA EN ARENISCA EN EL ACANTILADO DE ELGORRI TXIKI (MONTE ULÍA, SAN SEBASTIÁN).

Exploration of an upwelling and underground channeling in sandstone in the Elgorri txiki cliff (Monte Ulía, San Sebastián).

Carlos GALÁN.

Sociedad de Ciencias Aranzadi. Laboratorio de Bioespeleología.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Septiembre 2022.

RESUMEN

En el acantilado de Elgorri txiki (litoral del monte Ulía, San Sebastián, País Vasco), colgada a +4 m sobre el mar, se presenta una surgencia que cae en cascada directamente al mar. La surgencia de agua subterránea procede de una canalización artificial (túnel de San Pedro, de 1,5 km de largo). El túnel porta una tubería de gran diámetro, hoy inactiva, que funciona en épocas de grandes lluvias como emisario submarino de aguas pluviales y residuales del sistema de saneamiento de Pasaia. El enclave resulta poco visible desde tierra y para acceder al sitio hay que descender en oblicuo por el borde del acantilado (de 45 m de desnivel) y luego bajar con cuerda por la placa frontal un tramo vertical de -8 m. La placa frontal del acantilado está formada por un estrato resistente de arenisca de la Formación Jaizkibel (de edad Eoceno). La surgencia en cascada actual constituye un aliviadero de un pequeño canal existente en el túnel que atraviesa el monte. Los muestreos biológicos efectuados aportaron diversos datos de interés, hidrogeológicos y faunísticos, que reportamos de modo preliminar.

Palabras clave: Espeleología física, Karst en arenisca, Biología subterránea, Fauna cavernícola, Hidrogeología.

ABSTRACT

On the cliff of Elgorri txiki (coast of Mount Ulía, San Sebastián, Basque Country), hanging +4 m above the sea, there is an upwelling that cascades directly into the sea. The groundwater upwelling comes from an artificial canalization (San Pedro tunnel, 1.5 km long). The tunnel carries a large-diameter pipe, currently inactive, which functions in times of heavy rains as an underwater outfall of rainwater and wastewater from the Pasaia sanitation system. The enclave is hardly visible from the ground and to access the site you have to descend obliquely along the edge of the cliff (45 m drop) and then rope down the front plate a vertical length of -8 m. The front plate of the cliff is formed by a resistant stratum of sandstone from the Jaizkibel Formation (of Eocene age). The current cascading upwelling constitutes a spillway of a small channel existing in the tunnel that crosses the mountain. The biological samplings carried out provided diverse data of interest, hydrogeological and faunal, which we report in a preliminary way.

Key words: Physical Speleology, Sandstone Karst, Subterranean Biology, Cave fauna, Hydrogeology.

INTRODUCCION

La punta exterior de Elgorri limita por el Este la entrada a Cala Murguita (centro del litoral de Ulía) y había sido objeto de prospecciones y trabajos previos, que aportaron el hallazgo de varias simas, cuevas y geoformas de gran interés en la arenisca de la Formación Jaizkibel (Galán et al, 2013, 2022). En forma paralela, prospecciones biológicas efectuadas en túneles de trasvase y captación de aguas, en los montes Ulía y Jaizkibel, mostraron que muchas cavidades artificiales, al perforar la arenisca, interceptaban acuíferos kársticos en la secuencia de rocas atravesadas, pudiendo albergar especies troglófilas y troglobias, terrestres y acuáticas (Galán, 2001; Galán & Nieto, 2011, 2020; Galán et al, 2020).

Los procesos de karstificación en la arenisca de Jaizkibel (turbiditas abisales de edad Eoceno) (Campos, 1979; Mutti, 1985; Van Vliet, 1982) originan acuíferos subterráneos y cavidades a distintas escalas, especialmente en las áreas donde los estratos de arenisca son de mayor espesor (Galán, 2001, 2013). Las cavidades artificiales (túneles y perforaciones), al interceptar los acuíferos preexistentes, permiten la colonización de los nuevos vacíos creados y su fauna puede extenderse a ellos.

En la zona Este de Cala Murguita existen varias canalizaciones que captan aguas de manantiales y filtraciones de agua subterránea en el flanco Norte del monte (a cotas de 100 y 52 m snm). Estas aguas subterráneas son luego travasadas a través del

Túnel de Mendiola, que perfora el monte de N a S en la cota 50 m snm, hasta un depósito en el Barrio La Paz (sobre el alto de Miracruz), que sirve para el suministro de agua a Donosti. Estas conducciones, con varios acueductos y túneles, datan de 1842.

Durante las exploraciones de la cascada del acantilado de Elgorri txiki (situado en el lado N de la Punta exterior de Elgorri, en la bocana de Cala Murguita) suponíamos que la cascada era un aliviadero de aguas subterráneas captadas por las canalizaciones antes citadas. Pero la exploración (e información posterior) mostraron que se trataba de un emisario del Túnel de San Pedro, importante conducción construida en fechas más recientes (1996) para el saneamiento de la bahía de Pasaia.

La primera exploración mostró que la surgencia era penetrable y permitía acceder desde una plataforma sobre ella al interior del Túnel de San Pedro. Como luego veremos, este túnel rectilíneo tiene 4-5 m de diámetro y 1,52 km de largo, y perfora el monte Ulía de WNW a ESE, a una cota de 5 m snm, desde la boca en Elgorri txiki hasta otra boca en Pasai San Pedro. El túnel alberga en su interior una tubería de 1,7 m de diámetro y otras instalaciones de bombeo y control, para operar en épocas de lluvia las emisiones excesivas de aguas pluviales y residuales que, previamente, se vertían al interior de la bahía y puerto de Pasaia. Esta obra de saneamiento fue construida en 1996 por el consorcio de Aguas del Añarbe. Por la información obtenida (Muxica et al, 2007; Añarbeko Urak, S.A, 2021; Viviendo, 2021) sabemos que este emisario dejó de utilizarse en 2007, al conectarse al más moderno emisario submarino de Mompás, que recoge las aguas de Donosti Aldea, tras su tratamiento en una planta depuradora.

El interior del Túnel de San Pedro posee un suelo cementado con un pequeño canal hidrológicamente activo (además de la gran tubería de hierro) el cual recoge pequeñas filtraciones de la galería y las conduce a la surgencia del acantilado. La tubería del emisario submarino no parece estar en funcionamiento ni realizar vertidos en la actualidad, salvo que ésto ocurra eventualmente. Las instalaciones de bombeo observadas parecen estar abandonadas y en proceso de oxidación y deterioro.

Sirva este breve comentario para indicar que para nosotros fue toda una sorpresa descubrir que la surgencia era penetrable y conducía al interior de un amplio y extenso túnel que era factible recorrer (y no a una simple tubería). Para los constructores del túnel y los encargados de aguas de Pasai San Pedro estos aspectos sin duda son ampliamente conocidos. De igual modo, para pescadores y marinos que recorren el litoral en embarcaciones, la existencia de la surgencia en cascada es fácilmente observable. Pero para un observador en tierra que busca cavidades en la arenisca, la existencia de este gran túnel y su funcionamiento como emisario de aguas servidas no era fácil de conocer, o dicho de otro modo, éramos ignorantes al respecto.

Dicho esto, tras la primera exploración, en la que descendimos desde el acantilado de Elgorri txiki y accedimos al interior del túnel, recorrimos unos 250 m del mismo y pudimos apreciar que el agua de la cascada externa procedía de un pequeño canal (no de la tubería) y recogía filtraciones locales a lo largo del túnel, con un caudal de agua clara de 2-4 l/s (en época de sequía), sedimentos arenosos en el cauce, recubrimientos de espeleotemas en las paredes del túnel (principalmente coladas estalagmíticas con microgours), así como diversas especies de fauna cavernícola, especialmente tysanuros Machiloidea e isópodos terrestres.

Por todo ello nos pareció oportuno explorar una longitud mayor del túnel (para nosotros desconocido) y efectuar muestreos biológicos en la surgencia y en el interior del túnel. En una segunda prospección recorrimos unos 600 m de la galería, observando que existía luz de otra boca de acceso, que por el azimut medido, debía situarse en el lado ESE del monte, al lado del antiguo astillero Astaola (Pasai San Pedro). Tras varios muestreos y colectas de la fauna observada, tomamos fotografías de los detalles de mayor interés en el plano espeleológico. Los resultados obtenidos son presentados a continuación.

MATERIAL Y METODOS

En la prospección del enclave se empleó cuerda y técnicas de escalada libre para el descenso del acantilado y acceso a la surgencia. En los muestreos biológicos se utilizó la prospección directa y filtrados con malla de plancton, usándose etanol 70° como conservante. La fauna colectada fue estudiada en laboratorio bajo microscopio binocular Nikon. Se tomaron fotografías con una cámara digital Canon.

RESULTADOS

El acantilado de Elgorri txiki forma una punta prominente situada inmediatamente al Norte de la denominada Punta exterior de Elgorri, la cual limita el lado E de la entrada a la ensenada de Cala Murguita. Desde el mar es visible una plataforma de cemento escalonada, con una surgencia de agua que forma una cascada que cae directamente al mar. Esta constituye la boca W del llamado Túnel de San Pedro. La cascada está a una altitud de escasos 4 m snm y +8 m sobre el nivel de bajamar. Desde tierra es poco visible. Como nuestro enfoque es espeleológico, y buscamos cavidades en arenisca desde tierra, sólo recientemente apreciamos la surgencia en cascada desde el acantilado de Elgorri aundi. El lugar parecía interesante para explorar; ya que, para ese momento, desconocíamos su comunicación con el Túnel de San Pedro o si dicha surgencia era penetrable. Los acantilados de este sector de Elgorri - Faro de la Plata son los más impresionantes y verticales del monte Ulía.

En las ortofotos y vistas a vuelo de pájaro del SIG de Gipuzkoa (b5m.gipuzkoa.net) se apreciaba claramente la cascada y plataforma, pero no resultaba factible saber si era penetrable y/o si comunicaba con alguna cavidad o fenómeno kárstico hipógeo.

Las coordenadas ETRS89, UTM 30N de la surgencia en el acantilado son: E 585.594; N 4.798.482; altitud: 4 m snm. Localización en Figura 01 á 04 y detalles del enclave y parte del túnel interno en Figuras 05 á 32.

La información posterior consultada en la web (Viviendo, 2021; Añarbeko Urak, S.A, 2021) mostraba que la surgencia estaba en conexión con el Túnel de San Pedro, el cual forma parte del sistema de saneamiento de Pasaia y Donosti Aldea.

Cabe destacar que en el interior del túnel hay una tubería de gran diámetro (1,7 m) que es el verdadero emisario de aguas pluviales y residuales. La parte final de la tubería y su sistema de bombeo queda oculta en la obra de concreto, y el emisario es submarino, prolongándose la tubería bajo el mar hasta 50 m del acantilado. La surgencia visible recoge sólo las filtraciones que alcanzan la galería del túnel y circulan por un pequeño canal a lo largo del suelo del mismo, terminando por desaguar a través de un tubo de 70 cm de diámetro que forma la surgencia en cascada. Por lo tanto, la cascada recoge filtraciones de aguas subterráneas procedentes de la roca arenisca encajante, mientras que las aguas servidas derivan a un emisario submarino. Describiremos a continuación los resultados obtenidos durante la exploración de la surgencia y el túnel, así como su contexto general.

CONTEXTO GENERAL: EL TÚNEL Y LA RED DE SANEAMIENTO DE PASAI SAN PEDRO.

El sistema de saneamiento de Donostialdea (comarca de Donosti) recoge las aguas residuales domésticas e industriales de diez municipios de la Mancomunidad de Aguas del Añarbe, sociedad pública de gestión que se encarga de la prestación de los servicios de suministro de agua potable y saneamiento y depuración de aguas residuales para los 318.646 habitantes de los municipios de Donostia / San Sebastián, Errenteria, Hernani, Lasarte-Oria, Pasaia, Oiartzun, Urnieta, Usurbil, Lezo y Astigarraga.

En periodos de lluvia intensa, evacúa al mar las aguas pluviales excedentes que la red de saneamiento no es capaz de recibir. Las aguas residuales a tratar son conducidas a la EDAR (Estación depuradora de aguas residuales) de Loiola en San Sebastián, por tres colectores principales: Santa Catalina (San Sebastián), Urumea (Urnieta, Hernani, Astigarraga, Usurbil y Lasarte-Oria) y Herrera (Pasaia, Lezo, Errenteria y Oiartzun). Si bien la red de saneamiento funciona en general por gravedad, es preciso intercalar EBAR (Estaciones de bombeo de aguas residuales) para evitar grandes profundidades de los colectores e impulsar las aguas hasta la EDAR. El sistema de saneamiento se completa con tanques de tormenta, cuyo objetivo es evitar inundaciones y vertidos a los cauces. El sistema fue construido en fases sucesivas. Desde el año 1970, en que se puso en servicio el colector del Urumea, el saneamiento de las cuencas de los ríos Urumea y Oiartzun se ha ido resolviendo mediante la construcción de interceptores que trasladan las aguas residuales directamente al mar. En el año 1996 entró en servicio el emisario de San Pedro, que recogía las aguas que antes se vertían directamente a la bahía de Pasaia.

Las aguas residuales de la EDAR Loiola, una vez tratadas, son vertidas al mar a través del emisario submarino de Mompás. En mayo de 2001 entró en funcionamiento dicho emisario, el cual vierte las aguas al mar a una distancia de la costa de 1,2 km y a una profundidad de -50 m.

Desde septiembre de 2006, la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de Loyola, trabaja ya con continuidad y, previo a su vertido a través del emisario submarino de Mompás, las aguas son sometidas a un tratamiento físico y biológico que permite reducir el material particulado de tamaño más o menos grande y la concentración de materia orgánica. Además, a principios del 2007, los vertidos que se venían realizando a través del emisario de San Pedro han sido también desviados a la EDAR de Loyola para su posterior vertido a través del emisario submarino de Mompás. Sin embargo, es importante señalar que los fangos y los materiales decantados actualmente se vierten a través del colector del Urumea (ver planos en Figura 04).

El sistema de alivio EBAR Herrera - Cala Murguita fue construido en 1996 con la finalidad de evacuar al mar -y no a la bahía de Pasaia- el caudal excedente que la red de saneamiento no tiene capacidad de admitir en situaciones de fuertes precipitaciones. La EBAR Herrera recoge las aguas residuales de los cuatro municipios de Oarsoaldea (Errenteria, Oiartzun, Pasaia y Lezo) y de los barrios del este de San Sebastián. En situación de tiempo seco o lluvias leves o moderadas, todas esas aguas se transportan a través del colector de Herrera a la EDAR de Loiola para su tratamiento.

Sin embargo, cuando llueve abundantemente la red de saneamiento (que en la mayoría de los casos sigue siendo unitaria; es decir, recibe tanto aguas residuales como pluviales) no puede absorber todo el caudal, debiéndose evacuar los excedentes al mar (tras un tratamiento primario de retención de sólidos) a través de la doble conducción en impulsión que une EBAR Herrera y el Emisario submarino de San Pedro. Ambas conducciones nacen en la estación de bombeo y bordean la bahía de Pasaia hasta llegar a la parte trasera de la iglesia de San Pedro. Desde ese punto, transcurren por dos túneles consecutivos que desembocan en el mar, a través del citado Emisario.

El primer túnel recoge el saneamiento del colector y va desde la Iglesia de San Pedro hasta la zona de los Astilleros Azkorreta (Albaola Factoría y Museo naval) desde donde, una segunda boca, también en túnel, conduce todas las aguas recogidas a Elgorri txiki (en el lado exterior E de Cala Murguita), vertiendo al mar por medio de un emisario submarino de 50 m (ver planos del sistema de saneamiento y Túnel de San Pedro en Figura 04).

Este segundo túnel (Túnel de San Pedro) tiene 1,5 km de largo y conduce a la surgencia en cascada de Elgorri txiki, donde la tubería del colector desagua a través de un corto emisario submarino. Las aguas de la surgencia -como ha sido dicho- proceden de un canal interno que recoge filtraciones de la serie de arenisca perforada. El tramo explorado comprende 600 m del túnel.



Figura 01. El acantilado de Elgorri txiki (con la surgencia en cascada = punto rojo) y la entrada a Cala Murguita (arriba) vistos desde el acantilado de Elgorri aundi (debajo). Punta Atalaya al fondo.



Figura 02. Desde la parte alta de Elgorri aundi apenas se distingue la plataforma de la surgencia en cascada de Elgorri txiki.



Figura 03. Vista del acantilado de Elgorri txiki y localización de la surgencia en cascada. Ortofotos a vuelo de pájaro: desde el W (arriba), desde el N (centro y debajo izquierda) y desde el E (debajo derecha). Fuente: b5m.gipuzkoa.net

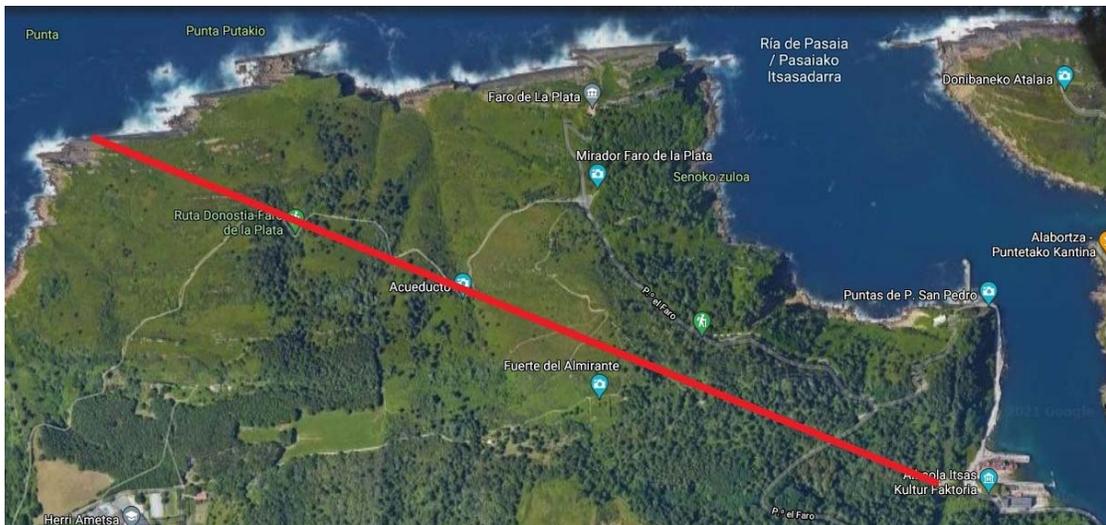
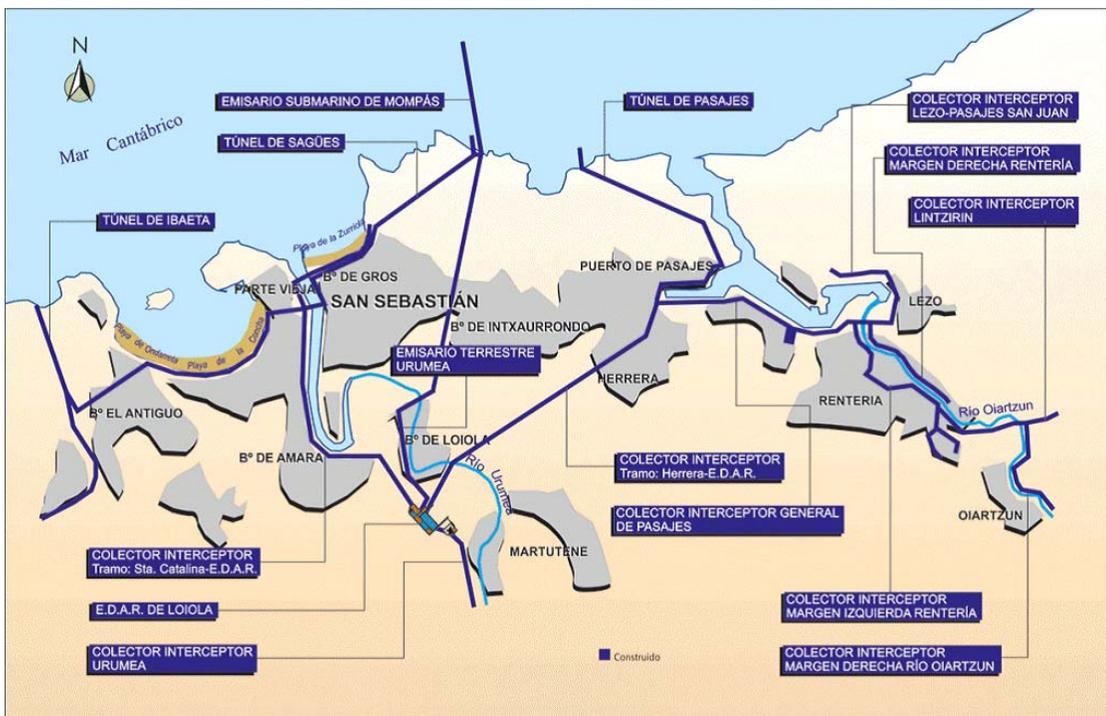
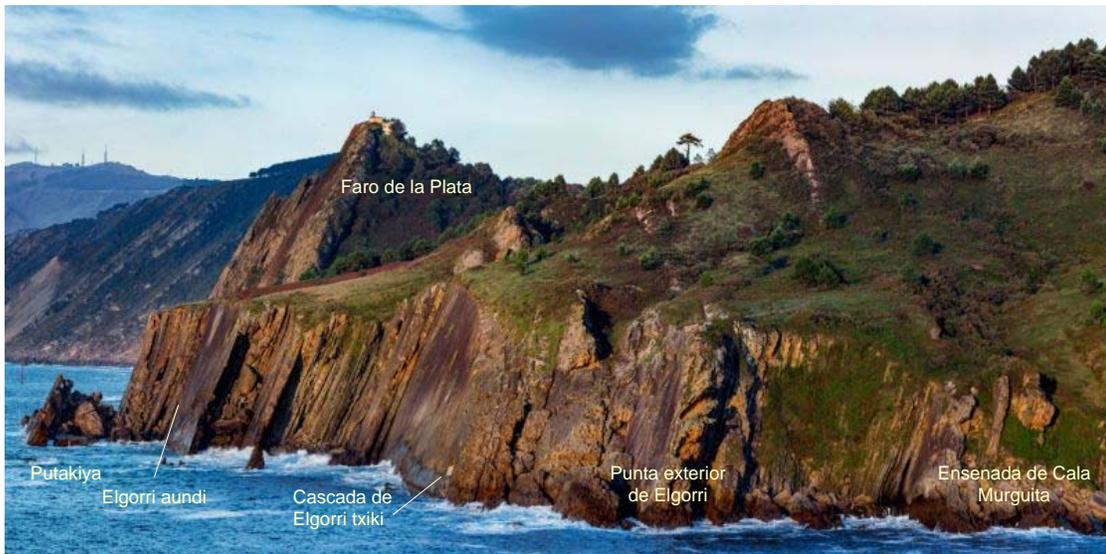


Figura 04. Vista de los acantilados de la Punta Exterior de Elgorri hasta Elgorri aundi y Putakiya, con el el Faro de la Plata detrás y Jaizkibel al fondo (arriba). Esquema de la red de saneamiento de Donostialdea y Pasaia (centro; Túnel de Pasajes = túnel de San Pedro), y trazado del Túnel de San Pedro (en rojo, debajo) de 1,5 km.



Figura 05. Ensenada de Cala Murguita vista de E a W y descenso por la Punta Exterior de Elgorri. El acantilado de Elgorri txiki se sitúa a la derecha del espeleólogo en la imagen inferior, bajo el borde rocoso con líquenes amarillos.

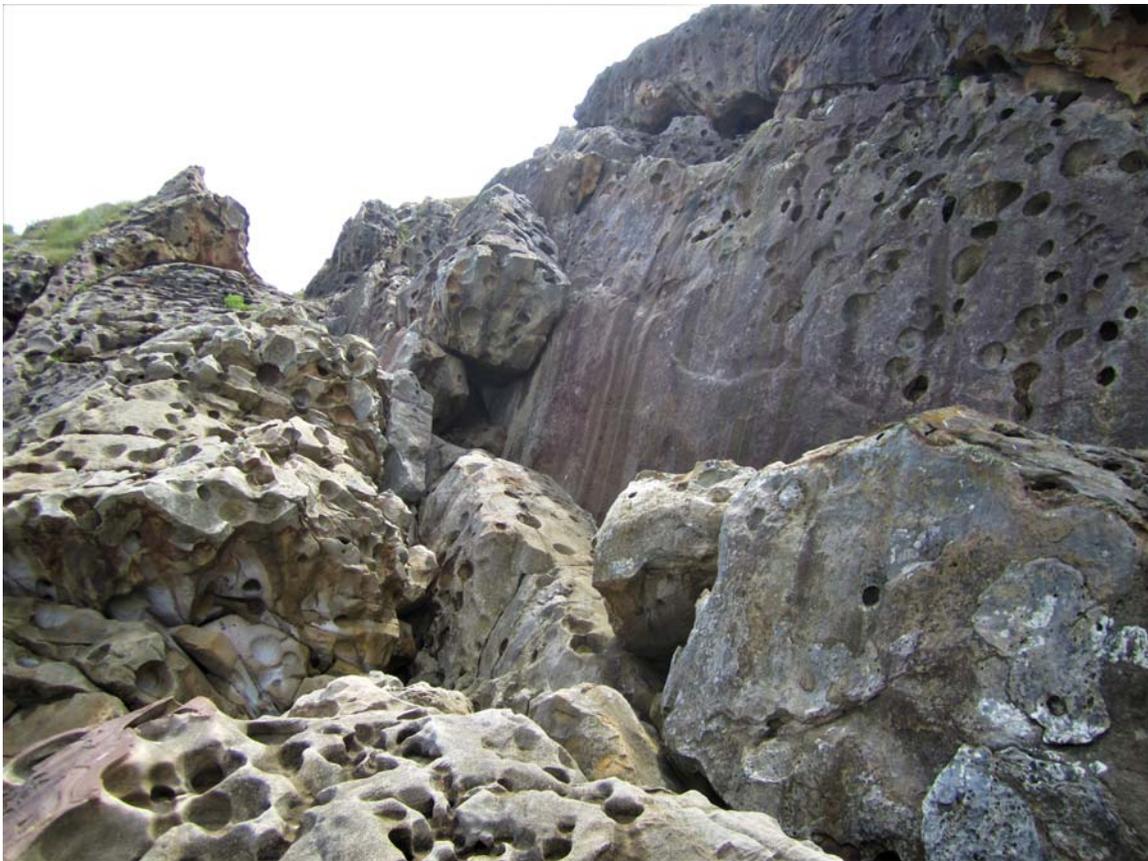


Figura 06. Vista hacia abajo y hacia arriba de la ruta de descenso, con la placa de la punta exterior al fondo. El enclave de la Punta exterior de Elgorri presenta cavidades y geoformas de interés, y fue objeto de exploraciones previas.

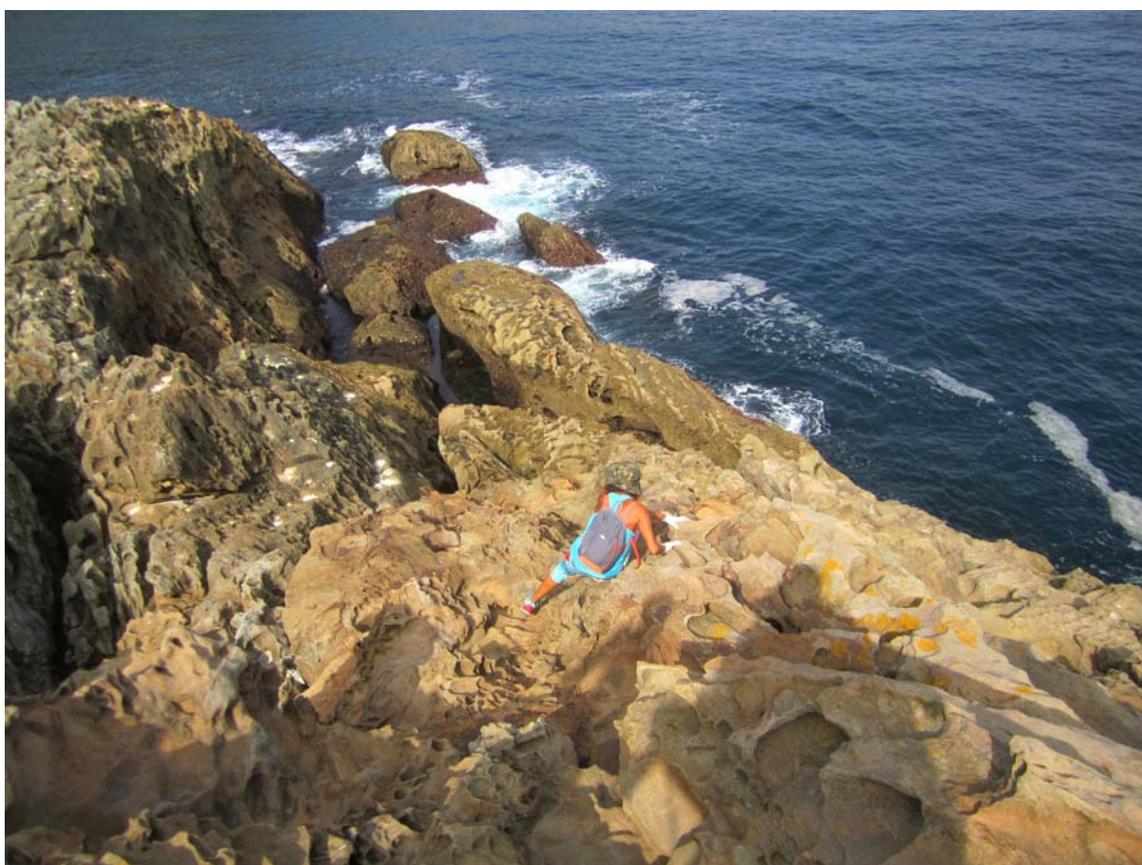


Figura 07. Descenso, con algunos pasos expuestos, a lo largo del borde del acantilado.



Figura 08. Numerosas geoformas, simas y cuevas en el enclave, con el acantilado de Elgorri txiki tras el borde del fondo. Las personas en las imágenes están aproximadamente a la altura del punto de descenso hacia la surgencia.



Figura 09. Concreciones y geofomas en el borde externo. Diversos ejemplos de proparamoudras esféricos y cilíndricos en las imágenes inferiores. La disolución de las concreciones carbonáticas genera las numerosas concavidades semiesféricas y cubetas observables en la roca arenisca de la Formación Jaizkibel.



Figura 10. Examinando el borde del acantilado para elegir el mejor punto de descenso hacia la cascada, que sólo se aprecia al asomarse al borde externo del acantilado de Elgorri txiki.



Figura 11. Inicio del descenso en escalada (cota +15 m) de la placa del acantilado hacia la surgencia en cascada. Al fondo se observa la base de los acantilados de Elgorri aundi y la punta rocosa de Putakiya.



Figura 12. Descenso en escalada libre de un tramo vertical de 8 m que permite el acceso a una cornisa y luego a la plataforma de cemento sobre la surgencia en cascada, donde se abre la entrada al túnel.



Figura 13. Detalles de la plataforma triangular de cemento (con charcos de agua y algas verdes), puerta y escalera de acceso al interior del túnel, con el canal interno que va a la surgencia.



Figura 14. Vista del tubo que lleva el agua del canal a la surgencia en cascada (arriba) y vista hacia el interior del túnel (debajo), con el pequeño canal que recoge aguas de infiltración (en su lado N) y la gran tubería (en el lado S) recubierta en este tramo por un encofrado de concreto. El túnel tiene 5 m de diámetro.



Figura 15. Tuberías del sistema de bombeo del emisario submarino al lado de la entrada, y primer tramo del túnel, con la tubería del emisario incluida en un encofrado de concreto y el pequeño canal al lado. El tubo de la surgencia al fondo.



Figura 16. El canal y suelos de cemento con depósitos arenosos y la gran tubería del emisario (de 1,7 m de diámetro).



Figura 17. Túnel de San Pedro, con detalles del canal interno (de aguas cristalinas), depósitos de arena en el cauce y sobre las aceras laterales, y diversidad de espeleotemas (de calcita y oxi-hidróxidos de hierro).

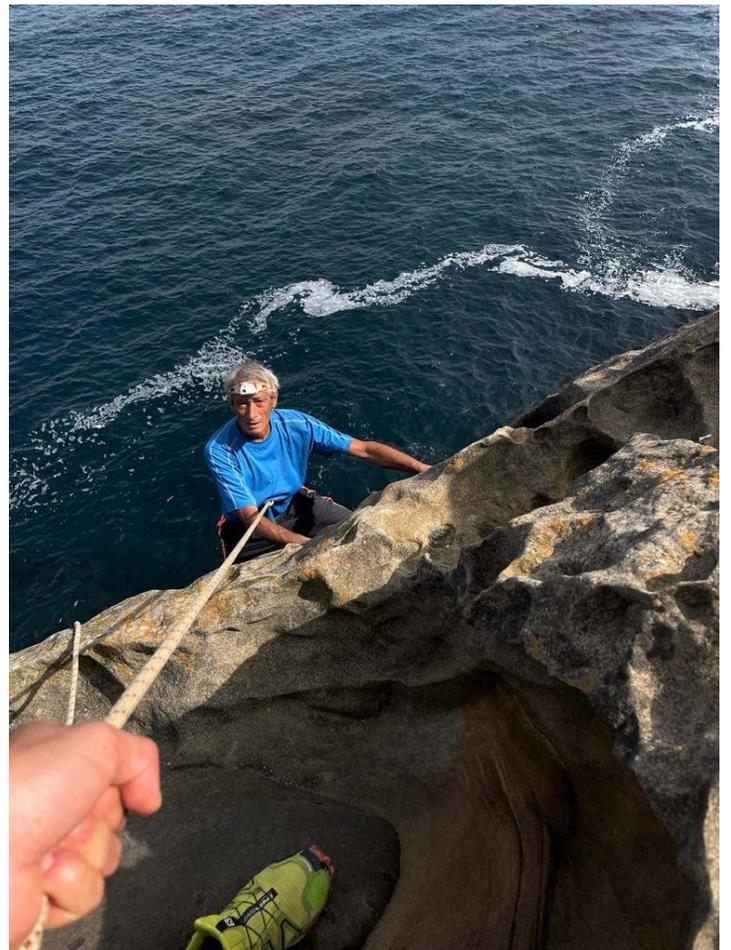


Figura 18. Detalles del ascenso de la pared del acantilado (desde la plataforma de la surgencia) tras la primera exploración.



Figura 19. Segunda salida de exploración del túnel, para prospección biológica y muestreos de fauna cavernícola, en el canal y sobre suelos y paredes con espeleotemas y depósitos de arena. La gran tubería en el lado Sur.



Figura 20. Detalles de espeleotemas, con predominio de coladas estalagmíticas parietales, pequeñas banderas dentadas y suelos estalagmíticos con microgours, de distintos colores.



Figura 21. Espeleotemas de calcita y oxi-hidróxidos de hierro (goethita, hematita) sobre paredes recubiertas de una costra de cemento y sobre el suelo entre depósitos arenosos en las aceras del canal, con extraños diseños. En este biotopo tomamos muestras de agua y arena que aportaron meiofauna cavernícola acuática.



Figura 22. Detalles de espeleotemas, gours y rellenos de arena en la parte central del Túnel de San Pedro.



Figura 23. Distintos tramos del túnel y el canal. La cifra en la tubería parece indicar la distancia hasta la boca de Albaola (en Pasai San Pedro). Detalles de un panel de control del sistema de bombeo a mitad del túnel y diversos tipos de espeleotemas y rellenos arenosos.



Figura 24. Coladas y suelos estalagmíticos con gours de calcita y oxi-hidróxidos de hierro.



Figura 25. Tramos con pequeños colapsos de bóveda, fragmentos de bloques y largas estalactitas isotubulares.



Figura 26. Bandeja con cableado eléctrico colgando del techo sobre la tubería y zonas con profusión de isotubulares y coladas estalagmíticas de distintos colores. Las espeleotemas se han formado en un corto lapso de tiempo.



Figura 27. Retornando hacia la boca-surgencia y relieve exterior del enclave, con Cala Murguita al fondo.



Figura 28. Placa del acantilado de la Punta exterior de Elgorri y detalles de su diversidad de geofomas y cavidades.



Figura 29. Al Sur del borde del acantilado de la surgencia en cascada, la punta exterior de Elgorri presenta varios sistemas de simas y cuevas entre estratos gruesos de arenisca.



Figura 30. Geoformas en la punta exterior de Elgorri, cerca del punto de descenso hacia la surgencia en cascada, con numerosas concavidades vacías de cannonballs y eflorescencias salinas.



Figura 31. Detalles de concavidades y geofomas alveolares en la arenisca en la ruta de ascenso tras la exploración de la surgencia de Elgorri txiki y túnel de San Pedro.



Figura 32. Borde superior del acantilado de Elgorri txiki, con concavidades y líquenes, y los astilleros de Albaola; muy cerca de ellos, en la ladera del monte Ulía (a la derecha de la imagen) se abre la otra boca del Túnel de San Pedro.

EXPLORACIÓN DE LA SURGENCIA DE ELGORRI TXIKI Y TÚNEL DE SAN PEDRO.

El acceso a la plataforma de la surgencia en cascada se realizó descendiendo primero desde el camino de la Costa hasta el sendero inferior que sigue una antigua canalización de recogida de aguas en la cota 52 m snm. Este atraviesa un pequeño túnel y luego dos cortos acueductos para alcanzar la zona de Elgorri, en el lado E de la entrada a Cala Murguita.

Aquí se abandona el sendero para dirigirse hacia el acantilado de Elgorri txiki, que forma una placa lisa de 45 m de desnivel, la cual ocupa el flanco N de los acantilados de la Punta exterior de Elgorri, explorados previamente, y que poseen varios sistemas de cavidades con una gran diversidad de geoformas (Galán et al, 2013, 2022).

Desde la parte alta se desciende, con varios pasos expuestos, siguiendo el borde de la placa frontal de Elgorri txiki. Unos 30 m antes de alcanzar la punta, en la cota 12 m snm, hay varias repisas desde las que se puede bajar en escalada libre (asegurados por cuerda) un tramo vertical de -8 m que permite alcanzar el borde de una plataforma de cemento. Sobre el lado externo, bajo la plataforma, sale el agua que se precipita en cascada hasta el mar. En el lado interno de la misma se forma una terraza triangular, en cuyo lado E se abre un marco de entrada o puerta rectangular. La terraza posee una charca somera de agua y tapices de algas verdes. Desde la puerta hay que descender en dirección N una escalera de cuatro escalones para alcanzar la galería del túnel.

Para el descenso nosotros utilizamos un anclaje natural con cinta a un puente de roca y una cuerda en doble de 20 m para asirse y asegurar el descenso en escalada. Cabe señalar que el estrato de arenisca de la placa posee numerosas concavidades y cubetas con diversas concreciones y geoformas, entre ellas varios ejemplos de proparamoudras esféricos y cilíndricos. Los proparamoudras son concreciones de arenisca de cemento carbonático, como los cannonballs, organizados en torno a la traza fósil (ichnofósil) de tubos de organismos marinos, probablemente poliquetos abisales (Galán, 2013).

Al alcanzar el interior del túnel se aprecia un corto tubo, de 70 cm de diámetro y 4 m de largo, que lleva el agua del canal interno para verterla al exterior a través de la surgencia en cascada. Hacia el lado interno, en dirección ESE, se abre la galería del amplio túnel de San Pedro. En los primeros 40 m la tubería del emisario queda incluida en un tramo de cemento de sección cuadrangular. Justo en el ángulo al lado de la escalera se aprecia un panel de control (con cableado eléctrico) y parte de un sistema de bombeo con tuberías de hierro. Desde aquí, oculta por contrafuertes cementados, parte la tubería del emisario submarino, que desciende bajo el nivel del mar y prosigue 50 m de distancia hacia el N del acantilado, sobre el fondo marino.

Hacia el lado interno el túnel se prolonga rectilíneo a lo largo de 1,52 km hasta otra boca de acceso en el lado E del monte, en un entrante topográfico al lado de los astilleros de Albaola, en la entrada al puerto de Pasaia, en el lado de San Pedro. El túnel tiene una sección en U invertida, de 5 m de ancho x 4 m de alto, con suelo plano de cemento. Las paredes y bóvedas tienen delgados recubrimientos de cemento, por lo que no se ve la roca-caja, salvo en algunos puntos donde se ha roto la costra de cemento.

Dado el trazado de la galería y el fuerte buzamiento de los estratos, el túnel atraviesa oblicuamente la serie de areniscas de la Formación Jaizkibel, de techo a muro. Por lo que se aprecia de los afloramientos en la topografía de superficie, el túnel atraviesa varios paquetes con estratos gruesos de arenisca, intercalados con tramos con estratos delgados de arenisca, caliza y lutitas. El túnel discurre horizontal durante su recorrido, a una profundidad máxima de 200 m bajo la cota más alta del monte en este sector.

La galería del túnel presenta a lo largo de su lado Sur una gran tubería de hierro de 1,7 m de diámetro (la tubería del emisario colector de aguas pluviales y residuales), soportada por calzas de concreto, y una bandeja de cableado eléctrico colgada del techo sobre ella. El lado Norte, al lado de la tubería, deja un espacio libre de 2,5 m y posee suelo de cemento con un pequeño cauce en canal (de 30 cm de ancho y 15 cm de profundidad), por donde discurre un pequeño caudal de agua (2-4 l/s) hacia la cascada. Este pequeño canal recoge filtraciones locales procedentes de la roca-caja, para evacuarlas hacia la surgencia. Su cauce posee rellenos arenosos y, a unos 200 m de la boca, el canal desborda un poco y deja también depósitos arenosos sobre las aceras laterales.

El túnel está en oscuridad (salvo una débil luminosidad en los puntos donde se encuentran las bocas). El punto de luz del tubo de la surgencia se distingue hasta a unos 500 m de distancia, mientras que el de la boca de Albaola sólo empieza a notarse como un minúsculo punto claro a unos 600 m de la surgencia y 900 m de la segunda boca.

Durante la primera exploración, a unos 250 m de la boca-surgencia, notamos en la atmósfera del túnel una concentración de CO₂ más alta y menos oxígeno, pero sin olores raros (como los del sulfuro de hidrógeno o gases tóxicos de alcantarillado). En la segunda incursión avanzamos más, apreciamos que había dos grandes ventiladores en el techo (pero estaban apagados), y cruzamos una zona con neblina formada por aerosoles (partículas suspendidas en el aire, probablemente agua de condensación), que desapareció al cabo de 100 m. Poco después, a 500 m de la entrada, desapareció la neblina y apreciamos una corriente de aire fresco procedente de Albaola (generada tal vez por un cambio en la dirección del viento en el exterior), y a la vez empezamos a distinguir un pequeño punto claro muy lejano, correspondiente a esa boca. La humedad relativa es elevada en todo el túnel. A los 600 m alcanzamos una zona con varios pequeños colapsos de la bóveda y algunos bloques y fragmentos de roca en el suelo. Cesamos el avance ya que el túnel mantenía similares rasgos y al suponer que el acceso por Albaola estaría cerrado por rejas.

A lo largo del túnel, espaciadas, hay zonas con numerosas espeleotemas en forma de pequeñas coladas estalagmíticas, con microgours, tanto de calcita blanca como de oxi-hidróxidos de hierro (goethita, hematita, limonita) de colores rojo, anaranjados, amarillentos y negros. Algunos suelos estalagmíticos con gours presentan extraños diseños por desarrollarse entre pequeños depósitos arenosos. En el sector a 500-600 m de la entrada hay zonas con largas estalactitas isotubulares de calcita y algunas pequeñas banderas con bordes denticulados.

Como ha sido dicho, la roca-caja no resulta visible, por los recubrimientos de cemento, pero lo notable es que esta diversidad de espeleotemas se ha formado en un espacio de tiempo corto, inferior a 26 años (a partir de la excavación del túnel en 1996).

Los minerales secundarios que han precipitado para formar espeleotemas deben proceder de la disolución del cemento carbonático de la arenisca, de estratos de caliza arenosa y de concreciones de óxidos de hierro frecuentes en la serie. Estos han precipitado a partir de las soluciones que circulan a través de la fisuración y del agua intergranular que percola desde la roca-caja y atraviesa las cementaciones, por lo que también pueden contener carbonato cálcico del cemento. Estas filtraciones hacia la galería a su vez alimentan el caudal de agua del canal que va a la surgencia.

BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA.

La fauna terrestre hallada e identificada comprende 12 taxa distintos (5 de ellos troglóxenos y 7 troglófilos y/o subtroglófilos), relativamente comunes en cuevas en arenisca de la región, llamando la atención la gran abundancia de tisanuros Machiloidea e isópodos terrestres de dos especies distintas (una de ellas es reportada por primera vez para cavidades en la arenisca de Jaizkibel).

La fauna troglóxena está representada en bajo número (por pocos individuos) y comprende: (1) Dípteros *Rhymosia fenestralis* Meigen (Mycetophilidae), *Limnobia nubeculosa* (Meigen) (Limnobiidae), y *Culex pipiens* L. (Culicidae). (2) Lepidópteros *Triphosa dubitata* (Linnaeus) (Geometridae), y *Alucita hexadactyla* Linnaeus (Alucitidae). Se trata de especies que pasan un período de letargo estacional en las cavidades subterráneas y, en el caso de los dípteros Mycetophilidae de especies de hábitos fungívoros

También en bajo número hallamos especies troglófilas o subtroglófilas de: (1) Opiliones *Gyas titanus* Simon (Gyantidae). (2) Araneidos *Metellina merianae* (Scopoli) (Tetragnathidae) y *Meta boumeti* Simon (Tetragnathidae). (3) Una especie diminuta de colémbolo: *Onychiurus* sp. (Onychiuridae). Estas especies pueden completar su ciclo vital en la cavidad, pero también en biotopos húmedos y oscuros de superficie, tal como bajo bloques y en grietas de las rocas. Las arañas son depredadoras, mientras que los grandes opiliones *Gyas titanus* y los colémbolos Onychiuridae son de hábitos micrófagos detritívoros.

Son muy abundantes en el túnel (varios cientos de ejemplares observados, de distintas tallas y edades) de: (1) tisanuros *Petrobius maritimus* (Leach) (Machilidae) así como de (2) dos especies de isópodos terrestres: *Porcellio scaber* Latreille y *Porcellio dilatatus* Brandt (ambos de la familia Porcellionidae). *P.maritimus* es muy frecuente en cavidades del litoral, alimentándose de detritos de algas. Los isópodos citados son detritívoros micrófagos. *P.scaber* es también muy frecuente en cuevas del litoral y alcanza hasta 15 mm de talla, mientras que *P.dilatatus* es de talla más grande (hasta 25 mm) y de mayor anchura; y es la primera vez que la encontramos en cavidades en arenisca del litoral cantábrico. Todas las especies citadas son oculadas y pigmentadas.

La fauna acuática hallada corresponde a meiofauna (de talla inferior a 1 mm, no apreciable a simple vista). De hecho, las aguas del pequeño canal que recorre el túnel son muy claras y transparentes, y parecen del todo desprovistas de macrofauna visible, pese a haber realizado observaciones detalladas en numerosos puntos del cauce. Las especies halladas fueron obtenidas por filtrado y separación de muestras de agua con sedimentos arenosos, tomadas en el canal y una acera con suelo estalagmítico y microgours entre depósitos de arena, a unos 400 m de distancia de la boca-surgencia.

La fauna acuática comprende 5 taxa distintos de crustáceos. (1) Cladóceros *Chydorus sphaericus* (Müller) (Chydoridae); es una especie troglóxena, oculada, de 0,2-0,3 mm de talla, de distribución cosmopolita y filtrador de seston (conjunto de partículas orgánicas e inorgánicas suspendidas en el agua).

(2) Ostrácodos Podocopida *Cypria ophthalmica* (Jurine) (Cypridae); es también una especie cosmopolita, anoftalma, con valvas pálidas y 0,6 mm de talla. Es considerada una especie troglófila y de alimentación micrófaga; se nutre de algas, bacterias, diatomeas, protozoos y detritos orgánicos.

(3) Copépodos Cyclopoida de dos especies: *Acanthocyclops bisetosus* (Rehberg) y *Acanthocyclops languidus disjunctus* Thallwitz (ambos de la familia Cyclopidae). Se trata de especies troglófilas de amplia distribución. *A.bisetosus* se distribuye en la región holártica y Nueva Zelanda; *A.languidus disjunctus* es centroeuropea y posee mayores preferencias cavernícolas. Ambas especies han sido encontradas en cavidades en Cantabria y Gipuzkoa. *A.bisetosus* mide 0,8 mm y *A.l.disjunctus* es de talla algo menor, 0,6-0,7 mm. En sus tubos digestivos aparecen detritos, arena y diatomeas. Pueden caminar sobre el fondo, pero también nadan. *A.bisetosus* habita en aguas kársticas y salinas; es euryhalina y tolera hasta 50 gr de sales por litro.

(4) Copépodos Harpacticoida *Mesochra lilljeborgi* Boeck (Canthocamptidae). Los harpacticoides o harpacticidos son copépodos de cuerpo alargado y paralelo, de muy pequeño tamaño (menores de 0,5 mm). El grupo incluye especies marinas y de agua dulce, libres, con numerosos representantes en aguas intersticiales y subterráneas. Su morfología elongada los hace especialmente aptos para desplazarse por los intersticios entre granos de sedimento. Sus antenas son cortas y no intervienen en la locomoción; en ellas se encuentran órganos sensoriales, especialmente en el cuarto artejo de las mismas. Las especies subterráneas pierden el pigmento con facilidad, especialmente el del ojo. *Mesochra lilljeborgi* es una forma troglóxena, frecuente en aguas salobres, y había sido citada previamente para Gipuzkoa de un meandro en Amara (San Sebastián) (Margalef & Balcells, 1951). Su tubo digestivo aparece lleno de partículas muy pequeñas, con detritos y algas microscópicas.

Estas citas de harpacticidos y ciclópodos presentes en cavidades y en aguas desde dulces a salobres muestran la procedencia marina de algunas líneas filéticas de copépodos en diversas familias.

La representación faunística hallada comprende así 17 taxa (12 de ellos terrestres y 5 acuáticos), con predominio de formas troglófilas (10 especies) sobre las troglóxenas (7 especies), pero estando ausentes en el túnel las especies cavernícolas troglobias.

Probablemente el escaso tiempo transcurrido desde la construcción del túnel y el revestimiento de sus paredes con cemento son factores que han contribuido a limitar la colonización de la amplia galería artificial del mismo, tratándose de un biotopo hipógeo sólo de reciente creación. Creemos probable que con el paso del tiempo se puede ir incrementando la diversidad de su ecosistema subterráneo, especialmente si éste permanece inactivo, sin frecuentación humana.

Tal vez lo más interesante de la representación faunística hallada es que incluye unas poblaciones numerosas de tisanuros e isópodos terrestres, así como cierta diversidad de especies acuáticas, incluyendo linajes capaces de soportar diversos grados de salinidad, lo que sugiere un lejano origen marino para los mismos.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

La Formación Jaizkibel ha sido estudiada desde un punto de vista geológico por diversos autores (Campos, 1979; Mutti, 1985; Van Vliet, 1982) y constituye un conjunto de turbiditas abisales de edad Eoceno, en la que alternan estratos gruesos de arenisca carbonática con intercalaciones delgadas de lutitas. En las áreas donde los estratos de arenisca son más gruesos (no en toda la Formación) es frecuente la formación de acuíferos kársticos compartimentados y la génesis de cavidades (Galán, 2013; Galán & Nieto, 2020; Galán et al, 2020). El proceso fundamental que rige la formación de cavidades en la arenisca es la disolución intergranular. Esta puede actuar, además de a partir de fisuras, intergranularmente, avanzando entre los cristales de cuarzo y disolviendo a su paso el cemento carbonático y parte de los granos de cuarzo. De este modo la roca inicialmente compacta pierde cohesión y se vuelve frágil y disgregable (proceso de arenización de la roca). Posteriormente pueden actuar procesos de piping y erosivos que amplían los conductos y contribuyen al crecimiento volumétrico de las cavidades.

También pueden intervenir procesos clásticos de descompresión mecánica de la roca-caja, que fracturan la roca y producen colapsos, así como procesos erosivos normales, que conllevan a la remoción de las intercalaciones delgadas de lutitas. En el frente costero, la erosión marina basal, propicia el desarrollo de estos procesos y comanda el modelado local, con retroceso de los acantilados y flancos de la montaña.

En el tramo de túnel estudiado los depósitos de arena fina en el cauce del canal y aceras adyacentes constituyen un claro indicador de la meteorización de la roca por disolución intergranular. Igualmente la ocurrencia de espeleotemas prueba que además de la disolución de la arenisca (y concreciones de óxidos de hierro incluidas en la serie) existe el fenómeno inverso de precipitación de sustancias disueltas o transportadas en solución. Las aguas de infiltración, que percolan a través de la serie perforada por el túnel, precipitan con facilidad al alcanzar la atmósfera de la galería.

Estas mismas aguas subterráneas aportan materia orgánica, nutrientes, microorganismos y meiofauna, que está en la base para sostener el incipiente ecosistema de la cavidad, a la que también ingresan organismos desde superficie a través de las bocas del túnel. El resultado apreciable actual es la ocurrencia de al menos 17 taxa distintos en el túnel, 10 de ellas troglófilos.

La ocurrencia de cavidades naturales o artificiales en la arenisca de la Formación Jaizkibel no se limita a la zona litoral, sino que se extiende a un variado elenco de situaciones. Hidrogeológicamente estas cavidades están interconectadas y en comunicación con acuíferos subterráneos en la arenisca y con cavidades situadas a mayor altitud, por lo que la fauna cavernícola, especialmente la de menor talla, puede desplazarse y habitar sobre un extenso rango de altitudes sobre el nivel marino, sobretudo las especies dulceacuícolas. Ello en parte explica el hecho general de que muchos taxa de troglobios acuáticos han colonizado el medio hipógeo continental directamente a partir del mar (Vandel, 1964; Galán, 1993).

El extenso túnel de San Pedro, que era desconocido para nosotros, constituye así un fenómeno hipógeo más, de características peculiares, y agrega nuevos datos biológicos e hidrogeológicos a los previamente conocidos sobre la karstificación en areniscas de la Formación Jaizkibel y la fauna cavernícola que habita en sus cavidades.

Los acantilados de Ulía, Igueldo y Jaizkibel, albergan en este sentido muchas áreas poco o nada conocidas, biológicamente poco estudiadas, en las que las exploraciones sucesivas van poniendo al descubierto nuevos fenómenos kársticos hipógeos y nuevas especies (acuáticas y terrestres) variablemente cavernícolas, incluyendo formas troglófilas y troglobias. Este karst litoral en arenisca resulta así un medio transicional para la colonización del medio hipógeo continental y la especiación y evolución de su fauna cavernícola.

AGRADECIMIENTOS

A Marian Nieto, Jim Daza y Oihana Salazar, del Dpto. de Espeleología de la Sociedad de Ciencias Aranzadi (SCA), por su valiosa ayuda para el descenso del acantilado y exploración del túnel. A dos árbitros de Biosphere Consultancies (United Kingdom) y SCA, por la revisión del manuscrito y sus útiles sugerencias.

BIBLIOGRAFIA

- Aguas del Añarbe - Añarbeko Urak, S.A. 2021. Arranca la segunda fase de las obras de saneamiento en Pasai San Pedro. Noticias Boletín 31/03/2021, Información en la web 1pp.
- Campos, J. 1979. Estudio geológico del Pirineo vasco al W del río Bidasoa. *Munibe, S.C.Aranzadi*, 31 (1-2): 3-139.
- Galán, C. 1993. Fauna Hipógea de Gipuzcoa: su ecología, biogeografía y evolución. *Munibe (Ciencias Naturales), S.C.Aranzadi*, 45 (número monográfico): 1-163.
- Galán, C. 2001. Primeros datos sobre el Medio Subterráneo Superficial y otros habitats subterráneos transicionales en el País Vasco. *Munibe Cienc.Nat.*, 51: 67-78.
- Galán, C. 2013. Cuevas, geoformas y karstificación en areniscas Eocenas de la Formación Jaizkibel: Actualización de datos para Mayo de 2013. PDF de Conf. audiovisual Hondarribia, Expo. Flysch C.Vasca. 10-05-13. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, 82 pp.
- Galán, C. & M. Nieto. 2011. El pseudokarst en arenisca del monte Ulía (Formación Jaizkibel, San Sebastián): notas biológicas y geológicas. Pag web aranzadi-sciences.org, PDF, 28 pp.
- Galán, C. & M. Nieto. 2020. Fauna cavernícola en un túnel de trasvase de aguas de 800 m de longitud en arenisca de edad Eoceno (Formación Jaizkibel, Lezo, Gipuzkoa). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 30 pp.
- Galán, C. & M. Nieto. 2020. El túnel de Kalaburtza y su fauna cavernícola (Pasaia, arenisca de Jaizkibel). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 18 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & G. Albisu. 2020. Fauna cavernícola en un túnel que atraviesa 1.600 m de espesor de arenisca de edad Eoceno en el monte Jaizkibel (Pasaia, Gipuzkoa, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 40 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & P. Di Bartolomeo. 2013. Notas sobre cuevas y geoformas en arenisca en la punta exterior de Elgorri, Ulía (Formación Jaizkibel). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 42 pp.
- Galán, C.; J.M. Rivas & M. Nieto. 2022. Hallazgo de concreciones tubulares de óxidos de hierro en arenisca en el monte Ulía (San Sebastián, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 25 pp.
- Margalef, R. & E. Balcells. 1951. Crustáceos interesantes de las aguas salobres de Guipúzcoa. *Munibe*, 2: 2 p.
- 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.
- Muxika, I.; J. Franco; A. Borja; A. Fontán; M. Revilla; O. Solaun; I. Tueros & V. Valencia. 2007. Estudio ambiental de la zona costera de Mompás y del estuario del río Oiartzun. Informe final elaborado por AZTI Tecnalia para el Dpto. de Desarrollo Sostenible, Diputación Foral de Gipuzkoa, y para Aguas del Añarbe. 178 pp.+Anexos.
- Vandel, A. 1964. Biospéologie: La Biologie des Animaux cavernicoles. Ed.Gauthier-Villars, Paris, 619 p.
- Van Vliet, A. 1982. Submarine fans and associated deposits in the Lower Tertiary of Guipúzcoa (Northern Spain). Thesis Doct., Univ. Utrecht, Netherlands, 180 pp.
- Viviendo, Blog. 2021. Estación de Bombeo de Aguas Residuales (EBAR) Herrera y Túneles de San Pedro (Contiene interesantes cortos videos y fotos de la surgencia y el túnel. <http://viviendoapesardelacrisis.blogspot.com/2021/08/estacion-de-bombeo-de-aguas-residuales.html>