

**NOTAS GEO-BIOLÓGICAS SOBRE UNA ANTIGUA MINA DE HIERRO EN ALONSOTEGI
(BIZKAIA, PAÍS VASCO).**

Geo-biological notes on an old iron mine in Alonsotegi (Biscay, Basque Country).



Carlos GALÁN; Marian NIETO; Juliane FORSTNER; Agustin GOZATEGI & Ainhoa MINER.
Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

NOTAS GEO-BIOLÓGICAS SOBRE UNA ANTIGUA MINA DE HIERRO EN ALONSOTEGI (BIZKAIA, PAÍS VASCO).

Geo-biological notes on an old iron mine in Alonsotegi (Biscay, Basque Country).

Carlos GALÁN; Marian NIETO; Juliane FORSTNER; Agustin GOZATEGI & Ainhoa MINER.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Noviembre 2022.

RESUMEN

Las galerías de mina a menudo interceptan vacíos subterráneos a distintas escalas y pueden ser re trabajadas por las aguas de infiltración. Las minas abandonadas, una vez cesada su explotación, pueden ser colonizadas por organismos cavernícolas, tanto procedentes de superficie y medios transicionales, como del medio hipógeo profundo, en distintas litologías. Trabajos recientes en minas en Gipuzkoa en terrenos Paleozoicos no-kársticos han resultado de gran interés, con el hallazgo de especies troglobias de antiguo origen, así como otras troglófilas, raras en cuevas en el karst clásico en caliza. Esto ha conducido a ampliar la investigación biológica en minas, comunmente relegada a un segundo plano de interés en relación con las cuevas naturales. Dada la importancia que tuvo la minería de hierro en Bizkaia (País Vasco), decidimos prospectar alguna mina con niveles ricos en carbonatos de hierro (siderita-ankerita) incluidos en calizas de edad Cretácico temprano de la zona próxima a Bilbao. Los trabajos efectuados permitieron encontrar diversas espeleotemas y organismos cavernícolas, siendo de destacar el hallazgo en las aguas subterráneas de la mina de una población numerosa de crustáceos anfípodos troglófilos. El trabajo describe la cavidad y su fauna, discutiendo diversos aspectos de su ecología e hidrogeología.

Palabras clave: Minas de hierro, Hidrogeología, Espeleotemas, Biología subterránea, Ecología, Invertebrados, Quirópteros.

ABSTRACT

Mine galleries often intersect underground voids at different scales and can be reworked by seepage water. Abandoned mines, once their exploitation has ceased, can be colonized by cave organisms, both from the surface and transitional environments, as well as from the deep hypogean environment, in different lithologies. Recent works in mines in Gipuzkoa in non-karstic Paleozoic terrains have been of great interest, with the discovery of troglobitic species of ancient origin, as well as other troglophiles, rare in caves in classic limestone karst. This has led to expanding biological research in mines, commonly relegated to the background of interest in relation to natural caves. Given the importance of iron mining in Biscay (Basque Country), we decided to prospect a mine with levels rich in iron carbonates (siderite-ankerite) included in early Cretaceous limestone in the area near Bilbao. The work carried out allowed us to find various speleothems and cave organisms, being the discovery in the underground waters of the mine of a large population of troglophilic amphipod crustaceans. The work describes the cavity and its fauna, discussing various aspects of its ecology and hydrogeology.

Keywords: Iron mines, Hydrogeology, Speleothems, Subterranean biology, Ecology, Invertebrates, Chiroptera.

INTRODUCCIÓN

El medio hipógeo comprende cavernas, sistemas de vacíos y drenajes subterráneos en distintas litologías, no sólo el karst clásico en caliza. Las cavidades artificiales, como sondeos, túneles y minas, al perforar la roca interceptan los sistemas de vacíos preexistentes, y pueden ser poblados por animales cavernícolas. Muchas galerías de minas, una vez cesada la actividad extractiva, con el paso del tiempo y la infiltración de las aguas van remodelando los espacios subterráneos, siendo estos susceptibles de ser colonizados por distintas formas de vida.

Se puede decir que las galerías abandonadas comparten con las cuevas naturales un conjunto de características: su oscuridad total, alta humedad relativa, ausencia de plantas verdes, circulaciones hídricas subterráneas, formación de espeleotemas y rellenos sedimentarios, y cierto contenido de materiales orgánicos, constituyendo de este modo un nuevo habitat, de reciente creación, que puede ser colonizado por microorganismos y animales cavernícolas.

En forma paralela a otros habitats de reciente formación, bien sea por procesos naturales (como en el caso de nuevas islas producto de erupciones volcánicas) o artificiales (creación de arrecifes artificiales a partir de pecios en el mar o el caso de túneles y minas en tierra), las nuevas áreas van siendo pobladas por seres vivos, en sucesiones que se inician a partir de la colonización desde ecosistemas próximos, bien desde superficie o bien desde el medio hipógeo profundo.

Las redes de mesocavernas, fisuras y vacíos menores, en distintos tipos de rocas, pueden contener vida, hasta a considerable profundidad en el subsuelo. En perforaciones en el medio continental se han encontrado bacterias quimiolitótrofas hasta a más de -5.000 m snm de profundidad. Alrededor del 70% de las bacterias y arqueas de la Tierra viven en el subsuelo y los últimos datos científicos sugieren que el total de la biomasa en el subsuelo de la Tierra es mayor que la existente en la superficie. En fracturas de la roca han sido hallados protozoos, nemátodos y microartrópodos, hasta a -2,8 km snm de profundidad, por ejemplo, en minas de Sudáfrica (Galán, 2021). Por ello, al perforar las rocas del subsuelo, las minas constituyen ventanas que permiten la observación de los organismos que habitan en los sistemas de vacíos subterráneos y desde estos pueden pasar a colonizar las galerías artificiales excavadas. El tamaño de los organismos guarda relación con el tamaño de los vacíos habitables, y así por ejemplo muchas especies de la fauna acuática intersticial pueden desplazarse por las aguas subterráneas a través del karst y rocas compactas fisuradas en distintas litologías (Vandel, 1964; Galán, 1993; Galán & Herrera, 1998).

La actividad metabólica de los microorganismos (principalmente bacterias) puede dar lugar a procesos de meteorización y destrucción de la roca-caja y a la formación de nuevos minerales secundarios o espeleotemas. Ello se suma a la acción principal del agua sobre la roca, ya que en la medida en que se perforan nuevas galerías en su interior, se incrementa la infiltración, se amplían las fisuras de roca y se produce la captura y formación de sistemas de drenaje subterráneo, que desaguan hacia las galerías de mina. De este modo se crea un sistema subterráneo en roca inicialmente compacta, que, aunque en su origen es artificial, progresivamente va adquiriendo características que lo asemejan a cavidades naturales, en variable grado.

En Gipuzkoa y Norte de Navarra nosotros hemos encontrado interesantes ejemplos de fauna cavernícola en minas en distintas litologías. Puede tratarse de minas que interceptan cuevas y simas naturales en caliza, túneles en areniscas o en conglomerados, minas en filones metalíferos de hierro, galena argentífera y/o zinc, tanto en terrenos calcáreos como en litologías no-kársticas (Galán, 2001, 2003, 2006, 2017, 2018, 2020, 2021, 2022; Galán & Nieto, 2016, 2020, 2022; Galán et al., 2004, 2012, 2014, 2016, 2017, 2020, 2021). Algunas de estas minas son de considerable antigüedad, pero en su mayoría se trata de galerías subterráneas excavadas en los últimos 100-150 años. Particularmente interesante resultaron los hallazgos de fauna troglobia de antiguo origen en minas que explotaban filones de hierro en terrenos Paleozoicos no-kársticos (Galán, 2020, 2021).

La ocurrencia de fauna cavernícola en minas, al igual que en cavidades en litologías no-calizas, ha ido progresivamente aportando interesante información sobre la vida en el subsuelo, en distintas litologías. Particularmente en el País Vasco la minería de hierro ha tenido una gran importancia en su historia económica desde tiempos antiguos, a través de toda la Edad Media, y destacando en los dos últimos siglos la minería asociada a la industria sidero-metalúrgica de Bizkaia. Los Altos Hornos de Bizkaia fueron la mayor empresa de España desde finales del siglo 19 y primera mitad del siglo 20, contribuyendo de modo sustancial al desarrollo sidero-metalúrgico de Europa (Pérez Goikoetxea, 2003). Por ello nos pareció de interés efectuar alguna prospección en minas bizcaínas, de las que no contábamos con datos, y que podrían aportar información adicional de interés geo-biológico.

CONTEXTO GEOLÓGICO Y MINERO

La zona minera de hierro en Bizkaia alcanza una extensión de 24 km entre Basauri y Cantabria. Las mayores mineralizaciones de hierro se encuentran encajadas en calizas de edad Cretácico temprano y se agrupan en dos franjas más o menos paralelas que corresponden con los flancos N y S del Anticlinal de Bilbao. Su génesis ha estado sometida a diferentes interpretaciones. No todos los yacimientos pertenecen a la misma tipología, pero podrían clasificarse en dos grupos, las masivas y las filonianas. Las masivas corresponden a reemplazamientos de las calizas. Son masas de siderita (FeCO_3) albergadas en las calizas (CaCO_3), con ankerita, calcita y algunos sulfuros. Los volúmenes involucrados en el reemplazamiento pueden ser muy variables.

Las filonianas son también muy abundantes. Los filones presentan orientación preferente NW-SE y se asocian a fracturas de escala regional. Pueden presentar potencias desde centimétricas a métricas (filones explotables). La mineralogía es similar a la que presentan las mineralizaciones masivas: siderita, cuarzo, ankerita y como minerales accesorios sulfuros.

Sobre su génesis puede decirse que, cuando las calizas estaban ya sedimentadas y compactadas, pero no deformadas por las fases compresivas Alpinas, a favor de las fracturas y planos de estratificación se introdujeron soluciones hidrotermales, capaces de transportar los cationes disueltos. De este modo suministraron el hierro, produciendo el reemplazamiento del catión Ca^{++} por el catión Fe^{++} , formando siderita y ankerita. La mayor parte de los filones con mineralización representan el relleno de las propias fracturas por las que ascendieron los fluidos hidrotermales.

Durante el proceso de plegamiento, y asociado al ascenso y erosión de los sedimentos suprayacentes, las rocas mineralizadas entraron en contacto con el oxígeno ambiental provocando alteración en las zonas superficiales, lo que generó la transformación de los minerales carbonatados (siderita principalmente), en óxidos e hidróxidos de hierro (hematita, goethita y limonita), cuyo contenido en hierro y la facilidad de su tratamiento metalúrgico es muy superior.

Durante las primeras épocas de explotación minera se produjo una doble ventaja competitiva. Por una parte los minerales más ricos en hierro (óxidos e hidróxidos) se explotaron a cielo abierto y por otra no era necesario un tratamiento previo para su incorporación a los altos hornos. En años posteriores, ya bien entrado el siglo 20, empezaron a explotarse los carbonatos, cuya extracción se producía a mayor profundidad, en muchos casos mediante minería subterránea, y además era necesario su tratamiento mediante hornos de calcinación para poder enriquecer su contenido en hierro y evitar problemas metalúrgicos.

Las calizas en que se encuentran las mineralizaciones de hierro están en general altamente karstificadas y presentan numerosas cavidades naturales. Particularmente en la región de Galdames la karstificación y profusión de cavidades es notable, albergando cuevas muy extensas y con galerías de gran volumen interno, como el Complejo Atxuriaga, que comprende seis cuevas interconectadas con 28 km de galerías y -486 m de desnivel (Fernández, 2004), algunas de ellas interceptadas también por galerías mineras. La concentración de sulfuros asociados al mineral de hierro es alta y con el tiempo y el agua el azufre puede generar ácido sulfúrico tornando las aguas más agresivas y disolviendo mayores volúmenes de roca, lo que explicaría el gran tamaño y volumen que han alcanzado muchas de las galerías naturales del karst de Galdames (Fernández, 2004).

La mina de Alonsotegi objeto de este trabajo se desarrolla en cambio en un cuerpo metalífero de menor entidad, y no conecta con cuevas naturales. La explotación minera cesó al parecer a mediados del siglo 20, por lo que ha dispuesto de un lapso de 70 años para alcanzar sus rasgos actuales, los cuales recuerdan al ambiente hipógeo propio de cuevas naturales. Este tipo de minas posee muy diversas espeleotemas, dado que la diversidad de rocas y minerales fuente es considerable. Su profusión y desarrollo por lo general involucra films y espeleotemas de desarrollos milimétricos, aunque pueden cubrir amplias superficies. El escaso tiempo dispuesto para su formación se manifiesta también a nivel faunístico, con predominio de especies troglófilas y cavernícolas poco especializados, en proceso de colonización y adaptación a los nuevos ambientes subterráneos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los muestreos de fauna fueron efectuados mediante observación detallada y capturas directas, usando malla de plancton en los cuerpos de agua, pero sin empleo de cebos atrayentes. El material colectado fue estudiado en laboratorio bajo microscopio Nikon. Varias muestras de la roca-caja y espeleotemas fueron también caracterizadas por sus propiedades físico-químicas y analítica DRX. Fueron tomadas fotografías a color con una cámara digital (Canon IXUS 130), a fin de ilustrar los principales rasgos de la cavidad.

RESULTADOS

La cavidad objeto de estudio es conocida como Mina Mintetxu o Mina de hierro de Alonsotegi y está situada a 2,2 km al SSE de la localidad de Alonsotegi, en el valle de Ordaola, que entalla el flanco W del monte Pagasarri. Las coordenadas ETRS89, UTM 30N de la boca de la Mina Mintetxu son: E: 501.890; N: 4.786.210; altitud: 140 m snm. La boca se sitúa en un recorte del terreno a unos 20 m por encima del nivel del arroyo Ordaola en ese tramo. Teníamos la referencia de que se trataba de una antigua galería minera, no muy profunda, recorrida por un pequeño arroyo subterráneo.

El terreno geológico constituye un afloramiento de calizas Urgonianas en bancos métricos, con rudistas y corales, de edad Aptiense (Cretácico temprano), las cuales presentan un buzamiento medio de 60°SW, y contienen filones con niveles ricos en carbonatos de hierro (siderita-ankerita), vetas de cuarzo y venas con cristalizaciones de pirita, ankerita, calcita, goethita y siderita. La roca-caja del filón de siderita excavado por la mina posee un alto contenido en oxi-hidróxidos de hierro (goethita, hematita, limonita), sulfuros, y trazas de aluminio, zinc, manganeso y cobre.

DESCRIPCIÓN DE LA CAVIDAD

La boca de la cavidad se abre en un recorte del terreno o socavón de suelo plano, de 30 m de ancho y alto, a unos 20 m de altitud sobre el nivel del río externo, en la cota 140 m snm. El recorte tiene también otros pequeños abrigos o bocaminas colgadas en la pared vertical. El pórtico de acceso (inicio de la zona techada) tiene forma de U invertida, de 20 m de alto, y presenta en su interior la boca descendente de la galería principal y un lateral colgado en una cornisa (lateral 3).

La galería principal, al inicio descendente, da paso a una amplia galería, de 12-15 m de diámetro, que prosigue en horizontal, con un bypass elevado, y una galería inferior subhorizontal por donde circula un pequeño río subterráneo. Tras dos pequeños destrepes de 2-4 m la galería prosigue hacia el NW a lo largo de 120 m ganando en altura, para alcanzar la zona terminal, donde un descenso en rampa con coladas de -8 m, y con una cascada vertical de -4 m, conduce a una poza inferior que, tras un corto tramo, lleva a una poza o lago sifonante terminal, en la cota -20 m. La galería presenta áreas con distintas coloraciones (blancas, rojizas, amarillas, ocre y negras), debidas a los diversos minerales presentes en la roca-caja y a la ocurrencia de delgados films de espeleotemas, principalmente coladas de calcita, oxi-hidróxidos de hierro, sulfuros, ópalo-CT, y carbonatos hidratados de Cu y Zn.

Aparte de esta amplia galería principal, la mina presenta dos laterales de importancia (1 y 2) y el ya citado lateral 3 en una cornisa de la boca. Las galerías de mina que pudieran existir bajo la poza de la cota -20 se encuentran inundadas, completamente sumergidas bajo el nivel piezométrico, en concordancia con los niveles de base locales del río exterior.

Remontando el tramo final desde el fondo hacia el exterior encontramos primero el lateral 1, que se dirige hacia el N, luego al NE y por último hacia el NW. Tras un primer tramo o entrante amplio, el lateral 1 parece cerrarse, pero a nivel del suelo un estrecho laminador permite seguir reptando a lo largo de 20 m, para luego continuar a gatas, con techo bajo, unos 40 m adicionales, hasta un codo donde la galería gana en altura y permite seguir de pie. Más que una galería de techo bajo este lateral es una galería de suelo alto, con rellenos de sedimentos que en algunos puntos casi colmatan el conducto, de bóveda en horizontal..

Presenta una ampliación lateral con suelos de desecación poligonales en parte concrecionados por calcita y algunas pequeñas espeleotemas parietales de oxi-hidróxidos de hierro. Poco después la galería describe un giro, con una colada estalagmítica sobre la cual ingresa un aporte de agua, procedente de una pequeña galería inundada de techo bajo. Tras pasar una ampliación con un derrumbe la galería gira hacia el NW en un tramo de 2 m de altura, con sección en U invertida, cuyas paredes y bóvedas están soportadas por un revestimiento de ladrillos rojos con cementaciones, y pequeñas estalactitas isotubulares de calcita en su bóveda. Se alcanza así una zona con el suelo inundado, donde detuvimos la exploración, pero dicha galería prosigue. En conjunto el lateral 1 totaliza 140 m de desarrollo.

Más hacia el exterior, también en el lado N de la galería principal, se presenta el lateral 2, de algo más de 100 m de recorrido. Por este lateral ingresa a la galería principal de la mina el pequeño curso de agua que la recorre. Así que partiendo de la galería principal, bajo la zona en bypass, su desarrollo es ligeramente ascendente y sinuoso, en dirección NW. El lateral 2 tiene 2,5-3 m de diámetro, con secciones en U invertida o con su bóveda inclinada a expensas del buzamiento. Su suelo está surcado por el cauce del pequeño arroyo, el cual ha depositado en algunos tramos coladas de calcita. En las paredes aflora la roca caja, con algunas espeleotemas dispersas de calcita y de hematita. Su parte final está cerrada por una pared cementada de ladrillos, de 1,5 m de alto, tras la cual la galería prosigue un tramo adicional de techo progresivamente más bajo, donde detuvimos el recorrido.

El lateral 3 es una galería colgada en el pórtico de acceso, amplía pero de escaso fondo. Para llegar a ella hay que escalar una pendiente de +6 m. El lateral es sólo un abrigo en penumbra, ligeramente ascendente, de 10 m de diámetro y otro tanto de largo, y carece de continuación.

Las galerías exploradas en la cavidad totalizan 400 m de desarrollo y 28 m de desnivel (-20 m; +8 m). Pero presentan varias continuaciones no-exploradas, especialmente la galería inundada que prosigue en el fondo del lateral 1. De igual modo, el fondo de la galería principal parece proseguir y tener continuidad en galería sumergida bajo el nivel del sifón.

La roca-caja está constituida por carbonatos de hierro (siderita-ankerita) y oxi-hidróxidos de hierro (goethita, hematita, limonita). Contiene numerosas venas de cuarzo y un elevado contenido en sulfuros. El cuarzo a menudo presenta maclas con cristales de ankerita y pirita. La goethita a su vez presenta cierto contenido en sílice y aluminio, así como trazas de zinc.

Los films de espeleotemas forman coladas que recubren las paredes sobre áreas extensas, pero con espesores milimétricos. Predominan las coladas blancas de calcita y de calcita en capitas alternas con ópalo-CT, coladas negras, amarillentas, ocre y rojizas de goethita, limonita y hematita, pequeñas espeleotemas isotubulares de calcita y, por último, en pequeñas áreas, flujos coloidales verdes y azules de malaquita y de hidrozinca. Ver detalles de la cavidad y sus espeleotemas en Figuras 01 a 30.

FAUNA CAVERNÍCOLA

El ambiente subterráneo en el interior de la mina es isotérmico y de alta humedad relativa, con temperatura ambiente de 12°C y temperatura del agua de 10°C. Sus rasgos ambientales son similares a los de cuevas naturales en caliza, pero con una mayor cantidad y variedad de minerales, así como una gran diversidad de espeleotemas de distintas composiciones y poco habituales en cuevas en caliza.

A pesar de las amplias dimensiones de la galería principal y presencia de vegetación criptogámica en el pórtico de acceso, el interior de la cavidad carece de restos orgánicos vegetales.

En la cavidad encontramos un ejemplar de quiróptero *Rhinolophus ferrumequinum* Schreber (Rhinolophidae), el cual se encontraba descansando en el laminador inicial del lateral 1. Pero en distintos puntos de las galerías hay restos dispersos de guano de quirópteros, en su mayoría seco y antiguo. Dada la gran altura del techo de la galería principal es probable que otros ejemplares se encontraran en la cueva, pero no resultarían visibles. Igualmente es probable que otras especies de quirópteros puedan frecuentar la cavidad en distintas épocas del año. En todo caso ello comprueba el hecho conocido de que muchas galerías abandonadas de mina pueden servir y sirven de lugar de refugio y descanso para quirópteros.

La fauna de invertebrados comprende en primer lugar caracoles terrestres troglófilos *Oxychilus helveticus cantabricus* (Westerlund) (Zonitidae) que probablemente aprovechan detritos en la zona de entrada y a lo largo de las orillas del río subterráneo. También observamos dispersos algunos dípteros, poco abundantes, tales como *Rhymosia fenestralis* Meigen (Mycetophilidae), *Limnobia nubeculosa* (Meigen) (Limnobiidae), e *Hypocera flavimana* (Meigen) (Phoridae); algunos de ellos en letargo estacional y otros de hábitos fungívoros, que pueden aprovechar esporas y micelios de hongos.



Figura 01. Pórtico de 20 m de altura de la mina de Alonsotegi, con entrada descendente y galería colgada (lateral 3).

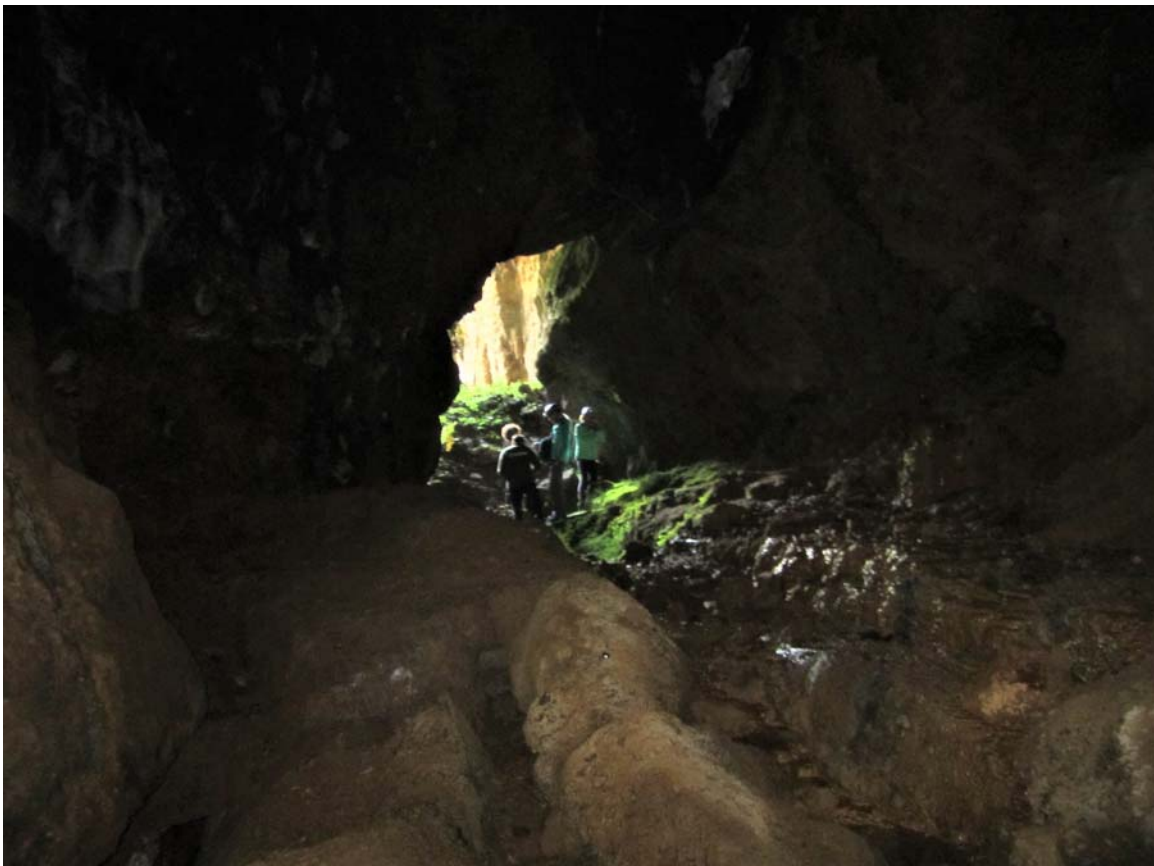


Figura 02. La galería principal de la mina de hierro, con la entrada descendente (vista hacia el interior y exterior).
Nótese la presencia de vegetación criptogámica, limitada a la zona de entrada en penumbra.



Figura 03. Galería inferior del bypass, con pequeñas estalactitas y coladas estalagmíticas de calcita.



Figura 04. Espeleotemas ocres de oxi-hidróxidos de hierro (goethita, hematita, limonita) junto a otras de calcita. Por la parte inferior de la galería circula un pequeño río subterráneo.



Figura 05. Delgados films de espeleotemas blancas de calcita, rojizas de oxi-hidróxidos de hierro y grises de ópalo-CT, recubriendo las paredes. Algunas de ellas, analizadas por DRX, muestran capas alternas de calcita y ópalo-CT.

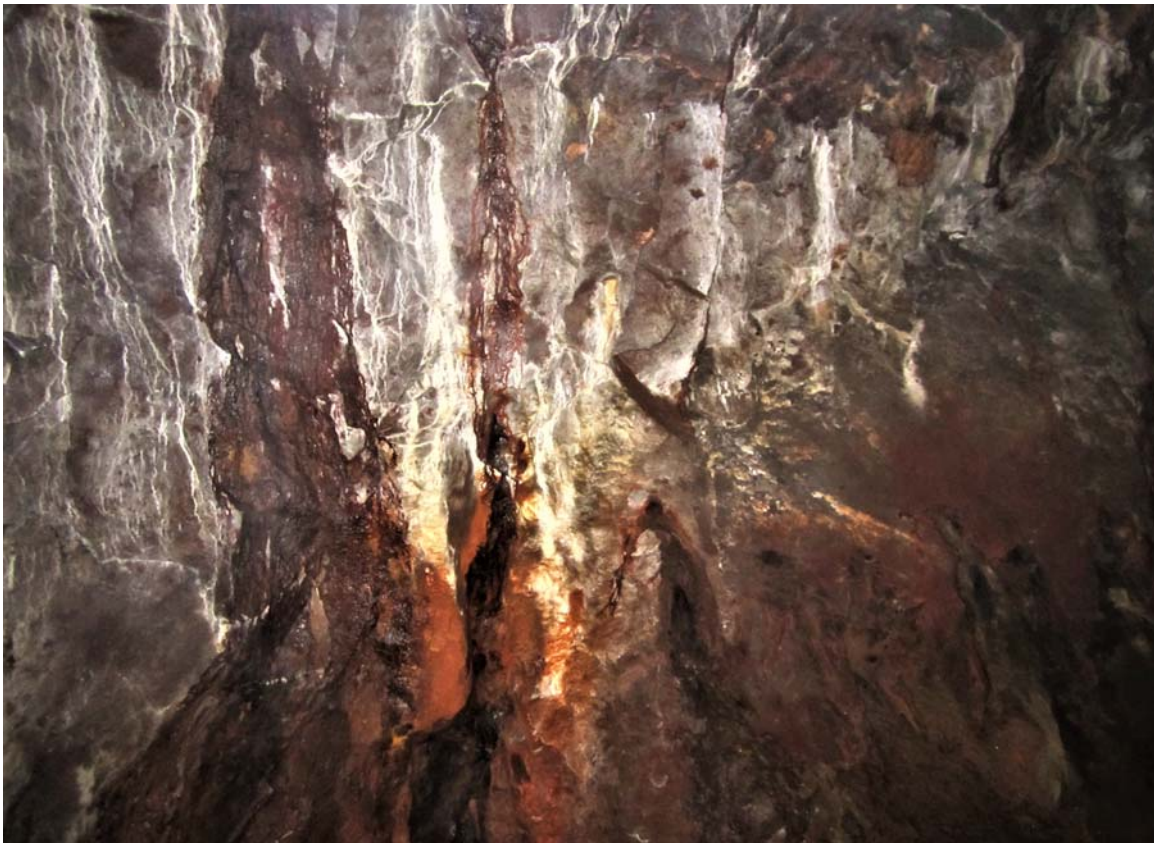


Figura 06. Diversidad y contraste de colores en las espeleotemas que recubren la roca-caja de siderita de la mina. Predominan los oxi-hidróxidos de hierro, de colores ocres, rojizos y negro, con los blancos de la calcita.



Figura 07. Resalte con pequeña cascada y recubrimientos de espeleotemas en las paredes de la galería principal.



Figura 08. Colectando fauna acuática en pozas y remansos del río subterráneo que recorre la galería principal.



Figura 09. Espeleotemas de oxi-hidróxidos de hierro y de calcita sobre la toca-caja de las paredes de la mina.



Figura 10. Flujos coloidales negros y rojizos de goethita que cristalizan como espeleotemas, junto a otras de calcita.



Figura 11. Espeleotemas de oxi-hidróxidos de hierro, calcita y sulfuros, de contrastantes coloraciones.



Figura 12. Espeleotemas de minerales de hierro y sulfuros metálicos.



Figura 13. Río subterráneo en el tramo final de la galería principal con coloridas espeleotemas y minerales (arriba); y rampa de -8 m, cascada y poza-sifón terminal (cota -20 m) (debajo). Imágenes de la web: j0zean.blogspot.com.

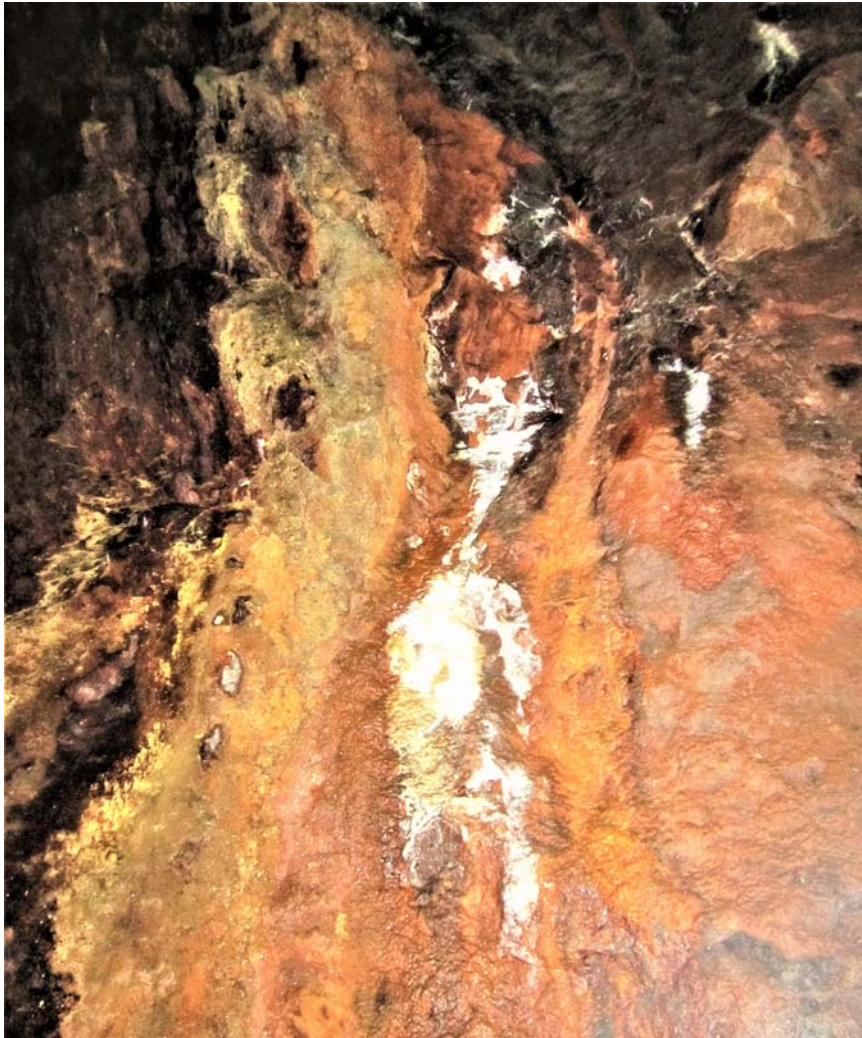


Figura 14. Espeleotemas de calcita y goethita en las paredes de la cascada de -4 m, con poza inferior.



Figura 15. Detalle de espeleotemas de óxidos de hierro y resalte vertical con poza de agua en la galería principal.



Figura 16. Quiróptero *Rhinolophus ferrumequinum*, laminador y largo arrastradero con sedimentos en lateral 1.



Figura 17. Detalle de suelos de desecación poligonales y espeleotemas de oxi-hidróxidos de hierro en ampliación del lateral 1.



Figura 18. Bifurcación en codo del lateral 1, con colada estalagmítica y galería de techo bajo sobre la colada.



Figura 19. Parte central del lateral 1, por donde ingresa un pequeño hilo de agua, con pequeñas espeleotemas de calcita y vetas de cuarzo en la roca-caja.



Figura 20. Segundo codo en el lateral 1 y tramo con revestimiento de ladrillos cementados y espeleotemas de calcita.



Figura 21. Espeleotemas isotubulares de calcita en el tramo cementado y continuación inundada de la galería.



Figura 22. Lateral 1, con suelo de sedimentos y algunas espeleotemas de oxi-hidróxidos de hierro, y saliendo del laminador hacia el tramo que conecta con la galería principal de la mina.



Figura 23. Delgados films de espeleotemas de goethita, hematita, calcita y ópalo-CT. Los óxidos de hierro recubren también y colorean con delgadas películas los guijarros del cauce del río subterráneo.



Figura 24. Espeleotemas blancas y grises de calcita y ópalo-CT junto a otras rojizas y negras de goethita (arriba). Remontando pequeña cascada con coladas estalagmíticas en la parte central de la galería principal (debajo).



Figura 25. Galería principal en la zona del bypass, con espeleotemas de calcita, y tramo inicial del lateral 2.



Figura 26. Lateral 2, con delgados films de espeleotemas negras de goethita y otros más claros de calcita y ópalo-CT (arriba). El curso del río subterráneo que ingresa por el lateral 2, con coladas de calcita en su cauce (debajo).



Figura 27. Lateral 2, con algunas espeleotemas de hematita y curso de agua subterráneo (arriba). Detalle de coladas estalagmíticas de calcita, con gours, en el lado Sur de la galería principal próxima al pórtico de entrada (debajo).

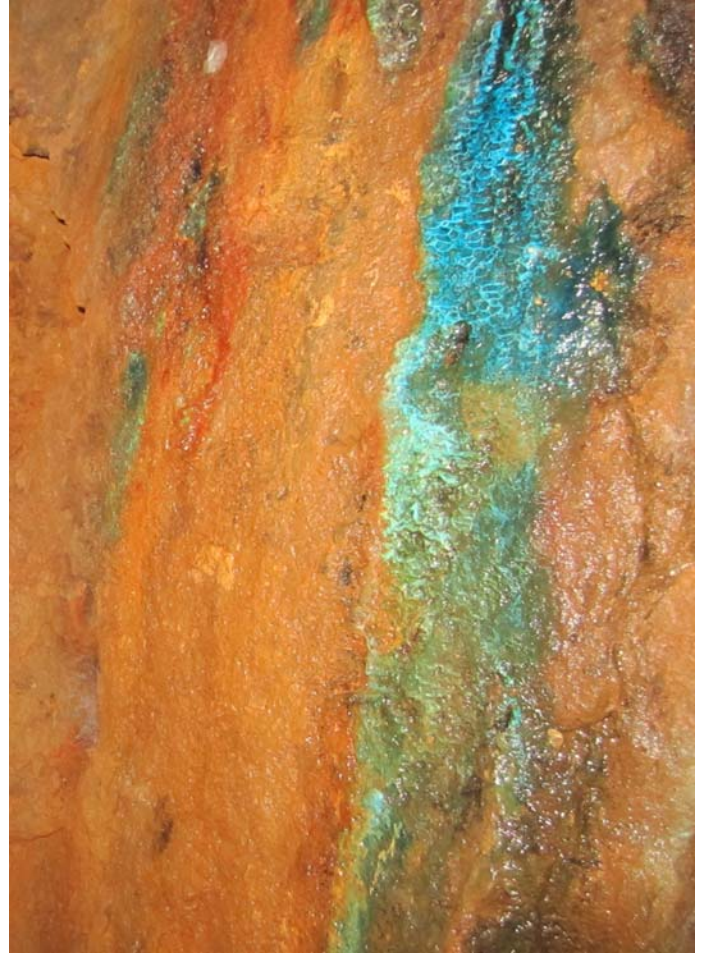


Figura 28. Espeleotemas verdes y azules de malaquita e hidrozincita, en forma de flujos con microgours.



Figura 29. Detalle de espeleotemas verdes con malaquita mayoritaria y azules de hidrozincita. Su formación es debida a la presencia de trazas de Cu y Zn, respectivamente, entre los minerales de la roca-caja.

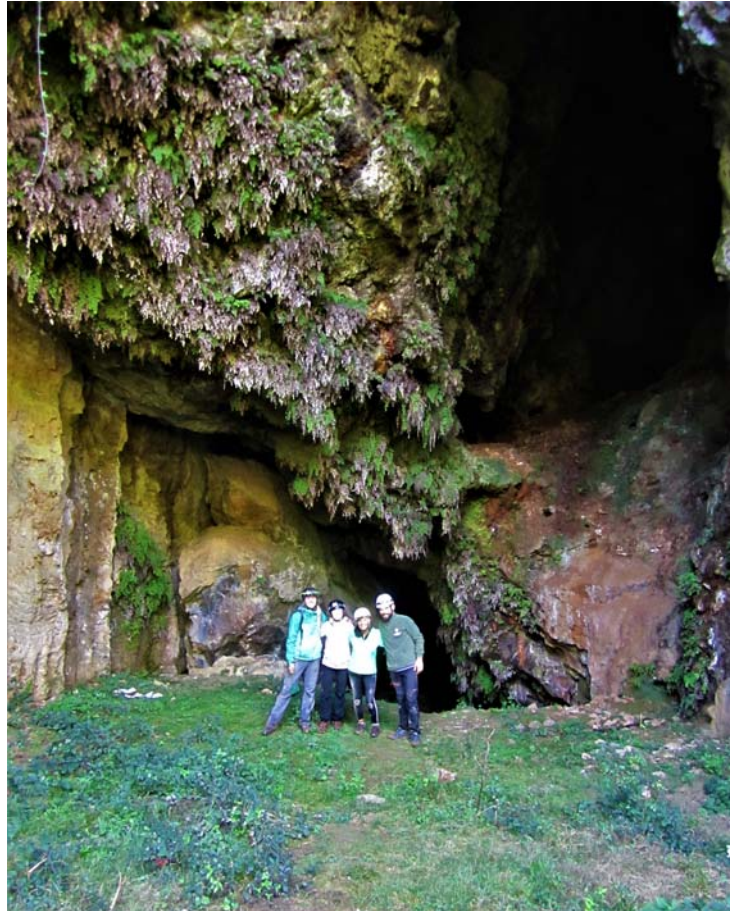


Figura 30. Pórtico de acceso, con galería colgada del lateral 3 y vistas hacia la boca desde el interior y desde el exterior, con el grupo explorador y la galería colgada del lateral 3 a la derecha de la boca principal.

En la parte central de la galería del río encontramos un ejemplar larvario de dipluro Campodeidae (posiblemente adscribible al género *Litocampa*) y varios ejemplares del quilópodo *Lithobius validus vasconicus* Chalande (Lithobiidae), especie troglófila y predatora. Su presencia sugiere que deben habitar en la cavidad otras especies de artrópodos sobre los cuales pueda preñar, tal como ácaros, colémbolos, coleópteros. etc., pero no observados por nosotros durante la prospección. Suponemos que con empleo de cebos atrayentes podría encontrarse en la cavidad mayor cantidad de especies. No obstante, a simple vista, la cavidad parece muy pobre en especies y en número de ejemplares (casi azoica) en lo que respecta a la fauna terrestre.

No ocurre en cambio lo mismo para la fauna acuática, ya que en las pozas del arroyo subterráneo habita una numerosa población del anfípodo troglófilo *Echinogammarus berilloni* Catta (Gammaridae). Esta especie es muy común en el País Vasco, tanto en ríos superficiales como en ambientes subterráneos, donde de hecho muchas cuevas sostienen poblaciones numerosas. Es una especie termófila, oculada, y los adultos más grandes llegan a alcanzar 11-14 mm de talla. Se alimenta de epidermis vegetales, bacterias, cianofíceas y partículas detríticas muy pequeñas, de todo tipo; aunque no suele atrapar presas vivas, eventualmente puede ser muy carnívora u oportunista. En la mina habita a todo lo largo del río subterráneo, en pozas y remansos, donde deambula y nada sobre el lecho de roca y sedimentos finos, cerca del sustrato. De cuerpo comprimido lateralmente, generalmente nada en paralelo al fondo. La especie completa su ciclo de vida en la mina, donde se encuentran tanto adultos como juveniles de pequeña talla. Ello sugiere que las corrientes de agua que ingresan a la mina constituyen el aporte fundamental de materia orgánica y nutrientes para el ecosistema hipógeo. Sin duda, aunque no apreciable a simple vista, estas aguas deben contener una abundante microfauna de crustáceos diminutos (cladóceros, ostrácodos, copépodos), así como microalgas y materia orgánica particulada y disuelta. Los depósitos en las orillas del cauce de microfauna y materiales orgánicos pueden eventualmente servir también de alimento para invertebrados terrestres de hábitos detritívoros y micrófagos.

Aunque la prospección biológica efectuada es de naturaleza preliminar (y sin empleo de cebos atrayentes) resulta contrastante la pobreza de fauna terrestre en la mina en comparación con la abundancia de fauna acuática. Cabe también señalar que la zona de entrada en penumbra sólo fue someramente observada; de realizarse una prospección detallada, seguramente se encontraría en ella especies adicionales de fauna troglóxena y troglófila (de grupo tales como araneidos, opiliones, diplópodos e insectos).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La prospección de esta mina de hierro en Alonsotegi (Bizkaia) ha aportado diversos datos de interés hidrogeológico y biológico. De modo preliminar destaca la constitución de un nuevo o naciente ecosistema hipógeo, en proceso de formación en un corto lapso de tiempo. No sólo se han establecido circulaciones hídricas subterráneas (que inundan por completo los niveles inferiores de galerías) sino que las aguas de infiltración y la reactividad de las soluciones han dado origen a un conjunto relativamente diverso de espeleotemas, muchas de ellas de rasgos singulares e inhabituales en cuevas en caliza.

El ambiente hipógeo ha ido siendo poblado por diversos organismos, de modo desigual. Contrasta al respecto la pobreza de fauna terrestre en comparación con la acuática. La presencia de minerales de hierro, sulfuros, óxidos y silicatos podría aportar metales pesados en solución, pero este no parece ser un factor que contribuya o explique la diversidad biológica encontrada, ya que en caso de presentarse elementos o sustancias con cierta toxicidad para los seres vivos, estas afectarían en mayor medida a la fauna acuática, que es por el contrario la más abundante en la mina.

Probablemente el ambiente terrestre, por la disposición de las galerías, recibe menores ingresos de C y N orgánicos que el medio acuático, resultando menos rico en recursos tróficos para sostener a los invertebrados cavernícolas terrestres.

No obstante la cavidad sirve de refugio para quirópteros, y presenta diversas especies troglófilas, destacando la ocurrencia de caracoles *Oxychillus* y quilópodos *Lithobius* predadores. La presencia de estos últimos sugiere que debe haber muchos otros macroinvertebrados terrestres que no ha sido posible encontrar mediante prospección directa, salvo varias especies de dípteros y tysanuros Campodeidae.

El medio acuático por el contrario sostiene una abundante población de anfípodos troglófilos *Echinogammarus* (Gammaridae). De modo comparado, la presencia de *E.berilloni* en ecosistemas de muchas otras cuevas y minas está asociada al de muchas otras especies de meiofauna y microfauna de varios órdenes de crustáceos acuáticos cavernícolas, además de anfípodos. Esto sugiere que se trata de un medio más rico en materia orgánica y nutrientes, y que por lo tanto resulta de más fácil colonización y poblamiento por organismos acuáticos.

Las aguas de infiltración que ingresan a la mina pueden proceder del arroyo Ordaola, pero también de la infiltración dispersa de las precipitaciones sobre el afloramiento de caliza con filones de siderita. Los crustáceos acuáticos parecen constituir un grupo con gran facilidad de desplazamiento sobre rocas fisuradas, con vacíos y microespacios hipógeos. No obstante, la fauna encontrada, aunque incluye especies troglófilas, no parece proceder de un medio hipógeo profundo en los filones de hierro o en la caliza adyacente, sino de ambientes transicionales más superficiales o francamente epígeos.

Lo que indica que puede presentarse una gran diversidad de situaciones en la colonización de galerías artificiales de minas. El escaso tiempo dispuesto para colonizar las nuevas galerías artificiales es un factor a tener en cuenta, que puede intervenir en la heterogeneidad faunística encontrada, tal como también ocurre para la formación de espeleotemas.

Desde un punto de vista filosófico puede concebirse una continuidad de vacíos, a distintas escalas, en el volumen de rocas compactas fisuradas. Y por lo tanto puede pensarse que extensas redes de vida pueblan esos sistemas de hábitats subterráneos, haya o no en ellas macrocavernas accesibles desde superficie. En tal caso, al perforar galerías artificiales, simplemente se interceptará un hábitat preexistente, permitiendo que las especies presentes, desde tiempos incluso muy anteriores, extiendan sus distribuciones sobre los nuevos territorios creados por la acción del hombre.

Pero no siempre existe esa continuidad, y con mayor frecuencia el medio hipógeo es del todo inhomogéneo. La estructura, tectónica, litología e historia geológica de la región involucrada, no sólo resulta inhomogénea sino que con frecuencia presenta múltiples particularidades. Y así, junto a áreas intensamente karstificadas o acribilladas por redes de vacíos y microespacios, pueden existir bloques compactos extensos, carentes de ellos, y por consiguiente azoicos. Obviamente el ingreso de aguas de infiltración a través de las discontinuidades de las rocas encajantes, tenderá a incrementar la disolución y erosión de los materiales, organizando sistemas de drenaje subterráneo, que evolucionarán jerarquizando las redes de vacíos excavados. A tenor de las condiciones de carga hidráulica y mecánica, los procesos anteriores se van limitando a medida que aumenta la profundidad en el subsuelo. En este sentido, los límites para la vida en el subsuelo de la Tierra son por demás variables, y permanecen en gran parte desconocidos. Las investigaciones más recientes apuntan que los límites absolutos para la misma aún no han sido encontrados, y se amplían continuamente.

Las perforaciones artificiales, tal como las galerías de minas, permiten obtener nuevos datos sobre la vida en el subsuelo, a tenor de las características de las litologías involucradas, su posición geomorfológica y geográfica, y según la existencia de vacíos o volúmenes habitables en ellas.

Los resultados obtenidos en la mina de hierro de Alonsotegi constituyen un nuevo ejemplo, puntual, muy limitado y con rasgos propios. Pero agregan algunos datos originales y amplían el conocimiento sobre minas de hierro en afloramientos de caliza y sobre su fauna hipógea, hidrogeología y mineralogía de espeleotemas.

AGRADECIMIENTOS

A tres revisores de la Sociedad de Ciencias Aranzadi, Centro de Ecología del IVIC (Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas) y Biosphere Consultancies (United Kingdom) por la revisión crítica del manuscrito y sus útiles sugerencias.

BIBLIOGRAFIA

- Fernández, I. 2004. El Complejo Atxuriaga. La cueva de mayor desarrollo de Euskadi. Memoria 2004. Sociedad Espeleológica BURNIA, Galdames, pp: 24-39.
- 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 hábitats subterráneos transicionales en el País Vasco. Munibe Cienc.Nat., 51: 67-78.
- Galán, C. 2003. Fauna cavernícola, hidrogeología y mineralogía de espeleotemas en una mina-cueva de Leiza (Navarra). Dpto. Obras Públicas, Transporte y Comunicaciones, Gobierno de Navarra, 14 pp + 12 lám. fotograf. + Pág. Web SCA, 26 pp.
- Galán, C. 2006. Fauna hipógea y poblaciones bacteriales de la sima y río subterráneo de mondmlch de Alzola (Gipuzkoa). Pág. web aranzadi-science.org., Archivo PDF, 14 pp.
- Galán, C. 2017. Espeleotemas azules de hydrozincita y smithsonita en antiguas minas de galena argentífera (cuenca del río Urumea). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 29 pp.
- Galán, C. 2018. Quirópteros e invertebrados colonizando una pequeña mina de yeso en calizas arrecifales masivas. Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 21 pp.
- Galán, C. 2020. Hallazgo del anfípodo stygobio *Niphargus cismontanus* Margalef, 1952 en un nivel freático interceptado por una mina de hierro y galena argentífera en el macizo granítico Paleozoico de Peñas de Aia (Gipuzkoa, País Vasco). Publ.Dpto.Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 25 pp.
- Galán, C. 2021. La minas de Karrika en esquistos de edad Paleozoico y su fauna cavernícola (Oiartzun, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 46 pp.
- Galán, C. 2021. Notas sobre fauna cavernícola de los túneles y cuevas en arenisca de Gran Kanto (Pasaia, Formación Jaizkibel). Publ. Dpto. Espeleo. S.C.Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 36 pp.
- Galán, C. 2021. Procesos de colonización de hábitats hipógeos artificiales: Biología subterránea de túneles en conglomerados bajo la fortaleza de Arkale (Oiartzun, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleo. S.C.Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 29 pp.

- Galán, C. 2021. Hallazgo de anfípodos y opiliones troglobios en minas en terrenos Paleozoicos no-kársticos (en el País Vasco) y sus implicaciones en Ecología subterránea y evolución de la Fauna cavernícola. Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 41 pp.
- Galán, C. 2022. Exploración de una surgencia y canalización subterránea en el acantilado de Elgorri txiki (monte Ulía, San Sebastián). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 40 pp.
- Galán, C. & F. Herrera. 1998. Fauna cavernícola: ambiente, especiación y evolución (Cave fauna: environment, speciation and evolution). Bol. Soc. Venezol. Espeleol., 32: 13-43.
- Galán, C. & M. Nieto. 2016. Nuevo hallazgo de espeleotemas de chrysocolla, malaquita y goethita-limonita en una antigua mina en pizarras Paleozoicas, en la cuenca del río Leizarán. Publ.Dpto.Espeleol. SCAranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 27 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. 2022. Biología subterránea e hidrogeología de una cueva-mina de 487 m en calizas dolomíticas negras del Lías (Jurásico) en el monte Gazume (País Vasco). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 36 pp.
- Galán, C.; D. Peña & M. Nieto. 2004. Las minas de Anoeta y su fauna cavernícola asociada (macizo de Ernio, País Vasco). Pág. web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 14 pp.
- Galán, C.; J.M. Rivas & M. Nieto. 2012. Notas sobre espeleotemas, biología y paleontología de las minas y mesocavernas de Burusburu e Illaratzu 2 (valle del Araxes, karst de Otsabio). Pag web aranzadi-sciences.org. Archivo PDF, 20 pp.
- Galán, C.; J. Rivas & M. Nieto. 2014. Minas y cuevas de Elama (Artikutza): Hidrogeología, fauna y evolución. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 62 pp.
- Galán, C.; J. Rivas & M. Nieto. 2014. Cuevas, simas, túneles y minas en caliza y esquistos Paleozoicos: cuenca de Artikutza. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 38 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; I. Herraiz & A. Miner. 2016. Nuevos datos sobre antiguas minas de hierro en pizarras Paleozoicas: Merku 2 (cuenca del río Leizarán). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 38 pp.
- Galán, C.; J.M. Rivas & M. Nieto. 2017. Notas sobre la fauna cavernícola de la Mina Txindoki Norte (karst de Aralar, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 20 pp.
- Galán, C.; M. Nieto, A. Miner & J. Forstner. 2017. Notas sobre fauna y espeleotemas en la Mina de los Alemanes y Minas de Txangoa (Navarra). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 21 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 & G. Albisu. 2021. Exploración de los túneles en arenisca de Costa Txiki y Pasaia 3, con notas geo-biológicas (Formación Jaizkibel, Pasaia, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 36 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; I. Herraiz & A. García. 2021. Simas y minas de Elkomen txiki (monte Gazume): hidrogeología y fauna cavernícola. Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 30 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & I. Herraiz. 2021. Notas geo-biológicas sobre las minas de zinc de Azulegi (Coto minero de Régil). Publ. Dpto. Espeleo. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 32 pp.
- Pérez Goikoetxea, E. 2003. Burdingintza Triano eta Galdamesko mendietan. Minería de hierro en los montes de Triano y Galdames. Dip. Foral de Bizkaia. Instituto de Estudios Territoriales de Bizkaia. 213 p.
- Vandel, A. 1964. Biospéologie: La Biologie des Animaux cavernicoles. Ed. Gauthier-Villars, Paris, 619 p.