

ACTUALIZACIÓN DE DATOS SOBRE LAS MAYORES CAVIDADES EXPLORADAS EN ARENISCA DE LA FORMACIÓN JAIZKIBEL (PAÍS VASCO).

Update of data on the largest cavities explored in sandstone of the Jaizkibel Formation (Basque Country).



Carlos GALÁN.

Laboratorio de Bioespeleología, Sociedad de Ciencias Aranzadi.

ACTUALIZACIÓN DE DATOS SOBRE LAS MAYORES CAVIDADES EXPLORADAS EN ARENISCA DE LA FORMACIÓN JAIZKIBEL (PAÍS VASCO).

Update of data on the largest cavities explored in sandstone of the Jaizkibel Formation (Basque Country).

Carlos GALÁN.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

Enero 2023.

RESUMEN

La arenisca de la Formación Jaizkibel forma parte de una secuencia de turbiditas abisales de facies flysch y edad Eoceno, que alterna estratos gruesos de arenisca carbonática con intercalaciones delgadas de lutitas. En esta arenisca se desarrollan procesos de karstificación y se han formado acuíferos subterráneos y numerosas cavidades (simas, cuevas y abrigos).

En la cadena litoral de los montes Jaizkibel, Ulía e Igueldo, hemos explorado a lo largo de dos décadas más de 400 cavidades. La mayor de ellas alcanza 258 m de desarrollo de galerías y -70 m de desnivel. Así mismo se han explorado túneles de hasta 1,6 km de desarrollo que atraviesan la serie de arenisca e interceptan aguas subterráneas y vacíos menores. Los datos obtenidos han sido objeto de publicaciones previas, pero estaba faltando efectuar una síntesis de conjunto, que presentamos en este trabajo.

Palabras clave: Karst en arenisca, Espeleología Física, Topografía, Geomorfología, Hidrogeología, Ecología.

ABSTRACT

The sandstone of the Jaizkibel Formation forms part of an abyssal turbidite sequence of flysch facies and Eocene age, which alternates thick strata of carbonate sandstone with thin shale intercalations. Karstification processes develop in this sandstone and underground aquifers and numerous cavities (chasms, caves and shelters) have been formed.

In the coastal chain of the Jaizkibel, Ulía and Igueldo mountains, we have explored over two decades more than 400 cavities. The largest of them reaches 258 m of gallery development and -70 m of unevenness. Likewise, tunnels of up to 1.6 km of development have been explored that cross the sandstone series and intercept groundwater and minor voids. The data obtained have been the subject of previous publications, but an overall synthesis was lacking, which we present in this paper.

Keywords: Karst in sandstone, Physical Speleology, Topography, Geomorphology, Hydrogeology, Ecology.

INTRODUCCION

El medio subterráneo comprende cuevas y sistemas de vacíos en distintas litologías, entre ellas arenisca, donde puede formarse un karst con acuíferos, cavidades y drenajes subterráneos comparables a los que ocurren en el karst clásico en caliza (Galán, 1993, 20013). Como contexto general cabe señalar que la arenisca estudiada forma parte de una secuencia de turbiditas abisales, de facies flysch y edad Eoceno, que alterna estratos gruesos de arenisca carbonática con intercalaciones delgadas de lutitas. La secuencia predominantemente arenosa, de edad Eoceno inferior a medio, ha sido denominada Formación Jaizkibel y ha sido descrita por diversos autores (Campos, 1979; Kruit et al, 1972; Mutti, 1985; Rosell, 1988; Van Vliet, 1982; Galán, 2001, 2013; 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. Su posición litoral y estructura monoclinas determina que presente un conjunto de rasgos singulares.

El proceso fundamental que comanda la formación de cavidades en esta litología es la disolución intergranular de la arenisca, que afecta tanto al cemento carbonático como parcialmente a los granos de cuarzo. Pero intervienen también otros procesos, como la tubificación o piping, procesos clásicos por descompresión mecánica de la roca-caja y colapso de bloques, y diversos procesos de erosión normal y marina. Esto ha conducido a la formación de gran número de cavidades (simas, cuevas y abrigos), así como a la génesis de múltiples geoformas, de rasgos excepcionales. Algunas de ellas resultaron nuevas para la Ciencia y únicas en el mundo, tal como borworks gigantes, bandas de Moebius, geoformas cordadas, estructuras de Penélope, laminaciones diversas y bandeados de Liesegang de sorprendentes diseños.

En el interior de las cavidades también se presentan espeleotemas originales o con combinaciones minerales novedosas, como aquellas constituidas por silicatos de aluminio, cuarzo y oxihidróxidos de hierro, formas botroidales de ópalo-A y espeleotemas tubulares de ópalo-A con terminaciones distales de yeso. Destaca de modo especial la ocurrencia de paramoudras o concreciones silíceas desarrolladas en torno a las trazas fósiles (ichnofósiles) de organismos abisales marinos (principalmente poliquetos y tal vez pogonóforos). Estos constituyen los ejemplos más espectaculares y mejor preservados a nivel mundial. La arenisca de Jaizkibel también presenta una gran profusión de concreciones carbonáticas (esféricas y planares) y distintos tipos de nódulos.

El hábitat hipógeo en estas cavidades contiene especies y ecosistemas cavernícolas muy diversos, ya que se extiende desde el litoral marino hasta el medio continental (terrestre y acuático) a altitudes de hasta 400 m snm. La fauna hasta ahora hallada y estudiada comprende más de 100 taxa cavernícolas, en distintas categorías ecológicas, incluyendo especies troglobias y troglófilas muy especializadas, así como especies marinas no o raramente reportadas para el karst clásico en caliza. Los aspectos biológicos serán objeto de una síntesis separada (en preparación) y no serán tratados aquí. Sólo incluimos algunos datos ecológicos globales. Tal vez el aspecto más significativo a destacar es que, si bien las cavidades individuales accesibles son de pequeñas o moderadas dimensiones, en conjunto constituyen un hábitat subterráneo de gran extensión y singulares rasgos.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo es una revisión y síntesis de datos previos, obtenidos mediante sucesivas exploraciones en la cadena litoral de los montes Jaizkibel, Ulía e Igueldo-Mendizorrotz. En el acceso a muchos parajes con cuevas, a cavidades colgadas en acantilados y en la exploración de simas, se utilizaron técnicas de escalada y de espeleología vertical. Los levantamientos topográficos fueron efectuados con instrumental de precisión Suunto. En todas las cavidades se tomaron fotografías para ilustrar sus principales rasgos.

RESULTADOS

Las exploraciones en la arenisca de la Formación Jaizkibel se iniciaron en los años 80's en el litoral de Igueldo, extendiéndose luego a Ulía y Jaizkibel. Los primeros trabajos publicados datan de 2001 y refieren la existencia de procesos kársticos, cavidades y fauna cavernícola en la arenisca del flysch Eoceno de la Formación Jaizkibel (Galán, 2001). Pero particularmente se desarrollaron con mayor intensidad al ir descubriendo en la parte central de Jaizkibel enclaves con numerosos abrigos y cavidades, con notables geoformas, espeleotemas, paramoudras, y también túneles que interceptan acuíferos subterráneos, así como muy diversas especies de fauna, variablemente cavernícola. A partir de 2007 van siendo publicados numerosos trabajos, ofreciéndose una síntesis de los estudios y datos obtenidos hasta 2013 en: Galán (2013). Para ese momento las mayores cavidades conocidas alcanzaban 170 m y 105 m de desarrollo espacial de galerías.

Las exploraciones prosiguieron, descubriéndose nuevos sistemas de simas, cuevas marinas, enclaves en acantilados costeros, cuevas hidrológicamente activas y otras con biotopos anquihalinos, largos túneles artificiales de captación y trasvase de aguas, lo que aportó a su vez nuevos conjuntos de datos hidrogeológicos y faunísticos. Para finales de 2022 la mayor cavidad explorada es la Sima Tanbo 2, en el monte Jaizkibel, que alcanza 258 m de desarrollo y -70 m de desnivel (Galán et al, 2013). En Ulía la mayor cavidad explorada es la Sima de Punta Atalaya Norte, que posee 220 m de desarrollo y -50 m de desnivel (Galán & Forstner, 2017). En cuanto a cavidades artificiales, que perforan la serie de arenisca e interceptan pequeñas cavidades y acuíferos subterráneos (también conteniendo espeleotemas y fauna cavernícola), las mayores de ellas son el Túnel Pasaia 1 (de 1,6 km), el Túnel de Lezo (de 800 m), y la surgencia y Túnel de San Pedro, en Ulía (de 1,5 km).

Por los datos que actualmente poseemos es posible afirmar que en la arenisca de la Formación Jaizkibel ocurren procesos de karstificación y formación de cavidades. Estas son numerosas, pero de moderado desarrollo, y generalmente se forman bajo fuerte control estructural. El principal factor limitante lo constituye la litología de la serie flysch y el dispositivo estructural.

El modelado general del relieve local es debido a la erosión marina, que recorta el frente costero, y a la erosión normal de superficie, que meteoriza y desgasta preferentemente las rocas más blandas (lutitas y margas de la serie flysch). La meteorización de la arenisca a lo largo de diaclasas y planos de estratificación, unida a la disolución intergranular de la arenisca y a procesos de descompresión mecánica, fragmenta los estratos individuales en bloques cúbicos y lienzos de varios metros de lado. Por acción de la gravedad los bloques colapsan, generando escarpes frontales y laterales en progresivo retroceso.

El dispositivo estructural es monoclinal, con buzamiento generalizado hacia el Norte y deformaciones locales, debido a la plasticidad de las rocas del flysch. En general el buzamiento es alto, de 45° a 80°. El espesor de los estratos de arenisca es también variable, existiendo zonas con estratificación delgada junto a otras donde la arenisca se presenta en estratos gruesos, de varios metros de potencia, y con intercalaciones menores de lutitas, por lo que prácticamente unos estratos se apoyan sobre otros. Es en estas zonas, donde predomina la arenisca en estratos gruesos, donde ocurren los procesos de karstificación y espeleogénesis. Puede decirse por consiguiente que en la Formación Jaizkibel el karst se desarrolla de modo inhomogéneo, preferentemente en las zonas donde afloran secuencias potentes de estratos gruesos de arenisca.

Existe a su vez un alto número de cuevas de recubrimiento, bajo grandes bloques y tramos de estratos colapsados, en la base de los escarpes y en muchos puntos de la línea de costa, donde se desarrollan también pequeñas cuevas de disolución y mesocavernas. Todas ellas pueden ser retrabajadas posteriormente por la erosión pluvial y el oleaje en la franja litoral. Predominan en consecuencia las cavidades formadas a expensas de fracturas y planos de estratificación, las cuevas de recubrimiento bajo grandes bloques de colapso y sistemas de pequeñas cuevas y mesocavernas en continuidad con las anteriores. Por el contrario, donde los estratos de arenisca son delgados y donde predominan intercalaciones más importantes de lutitas y margas, se limita considerablemente tanto la infiltración como la espeleogénesis.

Aunque esta nota trata sobre los datos espeleométricos más destacables (las cavidades de mayores dimensiones), cabe señalar que muchas cavidades menores e incluso abrigos poseen rasgos geológicos y biológicos de gran interés científico. La Tabla 1 presenta una lista de las mayores cavidades en orden cronológico de exploración y estudio. Puede apreciarse que muchas cavidades mayores fueron exploradas tras la publicación de la síntesis presentada en Galán (2013).

Tabla 1. Listado de cavidades en orden cronológico de exploración.

Cavidad	Zona	Desarrollo	Desnivel	Año	Observaciones
Ulía Túnel	Ulía	40 m.	+2 m	2001	Cavidad hidrológicamente activa
Cueva de Urberde	Igueldo	50 m	+20 m	2001	Primeros reportes de fauna
Green cave (Cueva Verde). Jk 07	Jaizkibel	85 m	-8 m	2010	Topo 2005-2007. Espeleotemas
Cueva de la punta central de Bajo aundi	Ulía	82 m	-10 m	2013	Fauna cavernícola
Cueva del Castillo de San Telmo	Hondarribia	52 m	-10 m	2013	Espeleotemas
Cueva-fosa de la punta exterior de Elgorri	Ulía	55 m	-25 m	2013	Geoformas
Cueva Jaizkibel Centro. JkC1	Jaizkibel	145 m	-28 m	2013	Sistema JkC 170 m / -50 m
Cueva placa central de Igueldo	Igueldo	80 m	-25 m	2013	Sala de 40 m de diámetro
Cueva de la punta de Mako.	Igueldo	105 m	-30 m	2013	Bajo estrato colapsado
Sima Tanbo 2	Jaizkibel	258 m	-70 m	2013	Sistema de 400 m / -120 m
Cueva de Larretxiki	Igueldo	80 m	-17 m	2014	Cueva marina interestratos
Sima Jaizkibel Oeste JkW3	Jaizkibel	60 m	-25 m	2014	Sistema de 112 m / -50 m
Cueva mayor de Arlantz Este	Ulía	70 m	-12 m	2016	2017 Geo - 2022 Fauna
Sima del Acantilado Norte de Punta Atalaya	Ulía	220 m	-50 m	2017	Geoformas
Sima-Cueva del Acantilado Este de Monpás	Ulía	118 m	-40 m	2017	En acantilado de -60 m
Cueva marina de Elgorri aundi - Putakiya	Ulía	180 m	-7 m	2017	En acantilado de -50 m
Sima de Gaztarrotz	Jaizkibel	44 m	-18 m	2018	Sobre los acantilados rojos
Sima A de Urberde Oeste	Ulía	25 m	-7 m	2019	Sistema de 200 m / -22 m
Sima Txurtxipi	Jaizkibel	152 m	-28 m	2019	Fractura mecánica de 100 m
Sima de Altu (Bajo aundi Este)	Ulía	152 m	-25 m	2020	Fauna anquihalina
Túnel de Lezo (Galería Monatxo)	Jaizkibel	800 m	-4 m	2020	Túnel de trasvase de aguas
Túnel de Pasaia 01	Jaizkibel	1.600 m	-5 m	2020	Túnel de trasvase de aguas
Túnel de Kalaburtza	Jaizkibel	208 m	-2 m	2020	Colapsado 1/2 a los 90 m
Sima de Basotxiki 01	Jaizkibel	46 m	-12 m	2020	Sistema de 272 m / -74 m
Gran Kanto Sima-cueva 01	Jaizkibel	220 m	-32 m	2021	En acantilado de -50 m
Túnel de Pasaia 03	Jaizkibel	280 m	-1 m	2021	Túnel de trasvase de aguas
Cueva del Río (cabecera arroyo Martitxene)	Jaizkibel	74 m	-10 m	2021	Cavidad hidrológicamente activa
Usotaita 01 Cueva E1	Ulía	125 m	+22 m	2022	Cueva interestratos
Usotaita 01 Cueva E2	Ulía	80 m	-8 m	2022	Cueva de recubrimiento
Usotaita 01 Cueva W1	Ulía	38 m	+15 m	2022	Sistema de 118 m / +20 m
Usotaita 02 Cueva Grande	Ulía	80 m	+28 m	2022	Cueva interestratos
Usotaita 02 Cueva W	Ulía	40 m	-8 m	2022	Cueva de recubrimiento
Acantilado de Salto. Cueva-abrigo mayor	Ulía	50 m	+20 m	2022	Sistema de 200 m / +20 m
Surgencia - Túnel de San Pedro	Ulía	1.500 m	-4 m	2022	Bio. Espeleotemas.

Las mayores cavidades individuales alcanzan más de 200 m de desarrollo espacial y hasta -70 m de desnivel. Pero hay también conjuntos de cavidades que conforman sistemas de hasta 400 m de desarrollo de galerías y -120 m de desnivel. La Tabla 2 presenta una lista de las mayores cavidades individuales según su desarrollo.

Tabla 2. Listado de las cavidades naturales mayores de 80 m ordenadas según su desarrollo.

Cavidad	Zona	Desarrollo	Desnivel	Año	Observaciones
Sima Tanbo 2	Jaizkibel	258 m	-70 m	2013	Sistema de 400 m / -120 m
Sima del Acantilado Norte de Punta Atalaya	Ulía	220 m	-50 m	2017	Geoformas
Gran Kanto Sima-cueva 01	Jaizkibel	220 m	-32 m	2021	En acantilado de -50 m
Cueva marina de Elgorri aundi - Putakiya	Ulía	180 m	-7 m	2017	En acantilado de -50 m
Sima Txurtxipi	Jaizkibel	152 m	-28 m	2019	Fractura mecánica de 100 m
Sima de Altu (Bajo aundi Este)	Ulía	152 m	-25 m	2020	Fauna anquihalina
Cueva Jaizkibel Centro. JkC1	Jaizkibel	145 m	-28 m	2013	Sistema JkC 170 m / -50 m
Usotaita 01 Cueva E1	Ulía	125 m	+22 m	2022	Cueva interestratos
Sima-Cueva del Acantilado Este de Monpás	Ulía	118 m	-40 m	2017	En acantilado de -60 m
Cueva de la punta de Mako.	Igueldo	105 m	-30 m	2013	Bajo estrato colapsado
Green cave (Cueva Verde). Jk 07	Jaizkibel	85 m	-8 m	2010	Topo 2005-2007. Espeleotemas
Cueva de la punta central de Bajo aundi	Ulía	82 m	-10 m	2013	Fauna cavernícola
Cueva placa central de Igueldo	Igueldo	80 m	-25 m	2013	Sala de 40 m de diámetro
Cueva de Larretxiki	Igueldo	80 m	-17 m	2014	Cueva marina interestratos
Usotaita 01 Cueva E2	Ulía	80 m	-8 m	2022	Cueva de recubrimiento
Usotaita 02 Cueva Grande	Ulía	80 m	+28 m	2022	Cueva interestratos

Los túneles resultan de interés por varias razones. Al perforar la serie flysch permiten apreciar la disposición de los estratos y su litología sobre un gran espesor de rocas en el subsuelo (predominan los estratos de arenisca, pero con intercalaciones delgadas de lutitas y margas). Esta observación es posible siempre y cuando los túneles no estén revestidos de cemento y pueda verse la roca- caja. Esto ocurre en la mayor parte de los túneles de Jaizkibel, pero no así en el túnel de San Pedro, que está cementado en toda su extensión. Igualmente exploramos un túnel de 600 que perfora el monte Ulía de norte a sur en la zona de Mendiola y trasvasa aguas a un depósito de abastecimiento en Bidebieta (Donosti), pero éste está totalmente cementado y no aportó información que fuera de interés.

Los túneles, a lo largo de su recorrido, pueden interceptar cavidades naturales y mesocavernas así como acuíferos locales que filtran hacia las galerías de los túneles, incrementando los caudales de trasvase. Esto ocurre por ejemplo en los túneles de Pasaia y Lezo, que duplican su caudal entre el punto de entrada y el de salida. También, las pequeñas filtraciones hacia las galerías generan interesantes espeleotemas, a veces recubriendo largos tramos de las galerías. Y por último, han sido poblados por animales cavernícolas, bien a partir de sus bocas o bien a partir del medio hipógeo profundo, conteniendo especies troglófilas y troglóbias de gran interés. La Tabla 3 presenta un listado de los túneles mayores, siendo de destacar que todos ellos presentaron fauna cavernícola y espeleotemas curiosas.

Tabla 3. Listado de las cavidades artificiales (túneles) mayores de 200 m ordenadas según su desarrollo.

Cavidad	Zona	Desarrollo	Desnivel	Año	Observaciones
Túnel de Pasaia 01	Jaizkibel	1.600 m	-5 m	2020	Túnel de trasvase de aguas
Surgencia - Túnel de San Pedro	Ulía	1.500 m	-4 m	2022	Bio. Espeleotemas.
Túnel de Lezo (Galería Monatxo)	Jaizkibel	800 m	-4 m	2020	Túnel de trasvase de aguas
Túnel de Pasaia 03	Jaizkibel	280 m	-1 m	2021	Túnel de trasvase de aguas
Túnel de Kalaburtza	Jaizkibel	208 m	-2 m	2020	Colapsado 1/2 a los 90 m

La información obtenida muestra que la Formación Jaizkibel presenta acuíferos compartimentados, a distintas profundidades en el subsuelo. La espeleogénesis y formación de macrocavernas parece restringirse a la zona más superficial de los afloramientos de arenisca en estratos gruesos, siendo limitada la karstificación en profundidad. Imágenes de cavidades en Figuras 01 á 28.

ECOLOGIA SUBTERRÁNEA

Las cavidades exploradas poseen rasgos singulares y un marcado control estructural. La fauna es de naturaleza mixta y hábitos variablemente cavernícolas, propia de un ambiente gradacional por partida doble, entre el medio marino y el terrestre, y entre los ambientes de superficie y el medio hipógeo.

Aunque algunas cavidades se localizan hasta a 340 m snm de altitud, en su mayoría están en cotas menores, más próximas a la zona litoral y al nivel del mar, sobretodo numerosas cuevas de recubrimiento e interestratos al pie de los acantilados litorales o también muchos abrigos y pequeñas cuevas colgadas en escarpes sobre ellos. A través de los planos de estratificación o de fisuras emergen en muchos puntos pequeños caudales de agua dulce, que recorren las galerías de las cuevas y simas hasta alcanzar el nivel del mar, con sus zonas más bajas inundadas. Debido a la oscilación de las mareas, en los cursos de agua se encuentran charcos y pozas de agua dulce, anquihalinas, salobres y marinas. Su composición puede variar de modo irregular, tanto porque los caudales de agua dulce pueden ser temporales, como por el hecho de que la oscilación de las mareas y el fuerte oleaje pueden introducir agua salada al sistema, ya que las salpicaduras de las olas llegan a alcanzar más de 10 m. En la zona intermareal las pozas conservan agua salada, mientras que las pozas sobre el nivel de pleamar constituyen ambientes de agua dulce y anquihalinos, conformando una clina o zona gradacional para la fauna acuática y especies litorales.

Las cuevas en zona litoral a menudo presentan varias bocas de acceso y aberturas menores entre bloques, por las que penetra algo de luz, estando buena parte de la red de galerías en zona de penumbra (más o menos acentuada) y el resto en oscuridad total. El medio es progresivamente más oscuro e isotérmico a medida que se profundiza. Los organismos que habitan en estas cuevas quedan así protegidos de la radiación solar directa y de los extremos de sequía y bruscos cambios de temperatura experimentados en la superficie. El ambiente subterráneo mantiene una atmósfera húmeda, con frecuentes rociaduras llevadas por el viento y el oleaje. El agua de mar ingresa e invade durante las pleamares las galerías más bajas, existiendo zonas con marcados gradientes. Las galerías subterráneas pueden así contener comunidades de organismos terrestres y acuáticos, marinos y no-marinos, viviendo en estrecha proximidad. En zonas de penumbra son frecuentes los líquenes incrustantes y tapices de algas verdes y rojas.

La acción irregular del oleaje hace que muchas galerías puedan contener acumulaciones de algas marinas en descomposición y otros detritos aportados por las mareas, tales como restos de madera, vegetales y despojos de animales marinos depositados durante temporales o tormentas. Estos proveen una rica fuente de alimento para las comunidades de invertebrados, y no son proclives a la desecación como en la franja costera. Esto constituye un significativo aporte de biomasa autóctona hacia el ecotono terrestre costero. Las redes tróficas basadas en este ingreso pueden sostener inusuales altas densidades de artrópodos y otros invertebrados, incluyendo formas detritívoras, algívoras, carroñeras y predadores. Los ingresos de recursos marinos contribuyen de este modo a un inusual suplemento de nutrientes en un hábitat hipógeo normalmente muy pobre en recursos.

Las cuevas con pozas de agua y pequeñas circulaciones de aguas subterráneas son colonizadas y pueden contener una fauna acuática que es capaz de lidiar con fuertes variaciones de salinidad y contenidos de oxígeno disuelto. La fauna terrestre contiene también formas anfibias, que son capaces de soportar inundaciones periódicas durante varios días. El ingreso de materia orgánica procedente del medio continental, constituye un aporte adicional, que incrementa la diversidad del ecosistema hipógeo. La fauna en zona oscura contiene muchas especies troglófilas, capaces de completar su ciclo de vida en el hábitat hipógeo, incluyendo formas microftalmas y con diversos grados de depigmentación. Aunque hemos encontrado algunas especies troglobias, la mayoría de los invertebrados cavernícolas no parece presentar troglomorfismo, aunque sí adaptaciones especiales para lidiar con las variables condiciones de este dinámico hábitat transicional. Desde el punto de vista ecológico se trata de un medio de transición que representa una de las vías de colonización de las aguas subterráneas continentales para formas stygobias de origen marino (Juberthie, 1983; Galán, 1993; Vandel, 1964).

Es de destacar que dada la gran cantidad de cuevas interestratos y de recubrimiento, así como de mesocavernas inaccesibles para el ser humano, se trata de un medio hipógeo en arenisca de considerable extensión y habitado por fauna cavernícola. A la vez es un medio localmente eutrófico (muy rico en recursos tróficos), algo por demás infrecuente para el karst en caliza en clima templado (no así en zonas tropicales, mucho más ricas en recursos). Las macrocavernas hasta ahora exploradas en la arenisca de Jaizkibel suman más de 400 cuevas y simas catalogadas, de desarrollos decamétricos, e incluso un número mayor de abrigos y pequeñas cavidades. Lo que para la fauna constituye un hábitat por demás extenso.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La prospección de acantilados y zonas de difícil acceso en la arenisca de la Formación Jaizkibel ha permitido poner al descubierto acuíferos subterráneos, cuevas, simas y rasgos geológicos poco conocidos. Cabe señalar que aunque la mayor sima hasta ahora explorada tiene -70 m de desnivel, para el acceso a algunos enclaves litorales ha sido necesario equipar y descender con técnica de jumars acantilados de hasta -107 m de desnivel. Igualmente ha sido necesario utilizar técnicas de escalada y de espeleología vertical para acceder a cuevas y abrigos colgados en escarpes verticales. Esto da una idea de las dificultades que presenta la prospección en superficie, que a menudo requiere mayores esfuerzos que la exploración subterránea.



Figura 01. Empleo de técnicas de escalada y jumars para acceder a cavidades colgadas en paredes verticales y prospectar acantilados en busca de cavidades en la arenisca de la Formación Jazkibel.



Figura 02. Zona de Urberde, en Iguelo. Fue una de las primeras prospectadas y posee extensos sistemas de cuevas de recubrimiento bajo grandes bloques e interestratos, con espeleotemas, geofomas y fauna cavernícola.



Figura 03. Túnel de Ulía. Perforado para la extracción de agua, tras un derrumbe posee zonas en oscuridad total, con interesantes ejemplos de geformas y especies acuáticas y terrestres de fauna cavernícola. La perforación de túneles a menudo intercepta acuíferos kársticos compartimentados en la serie de arenisca.



Figura 04. Green Cave (Cueva verde) Jk 07. Es una cavidad hidrológicamente activa que aportó el hallazgo de interesantes y diversas espeleotemas, lo que prueba la ocurrencia de procesos de disolución en la arenisca y posterior precipitación de minerales secundarios formadores de espeleotemas.

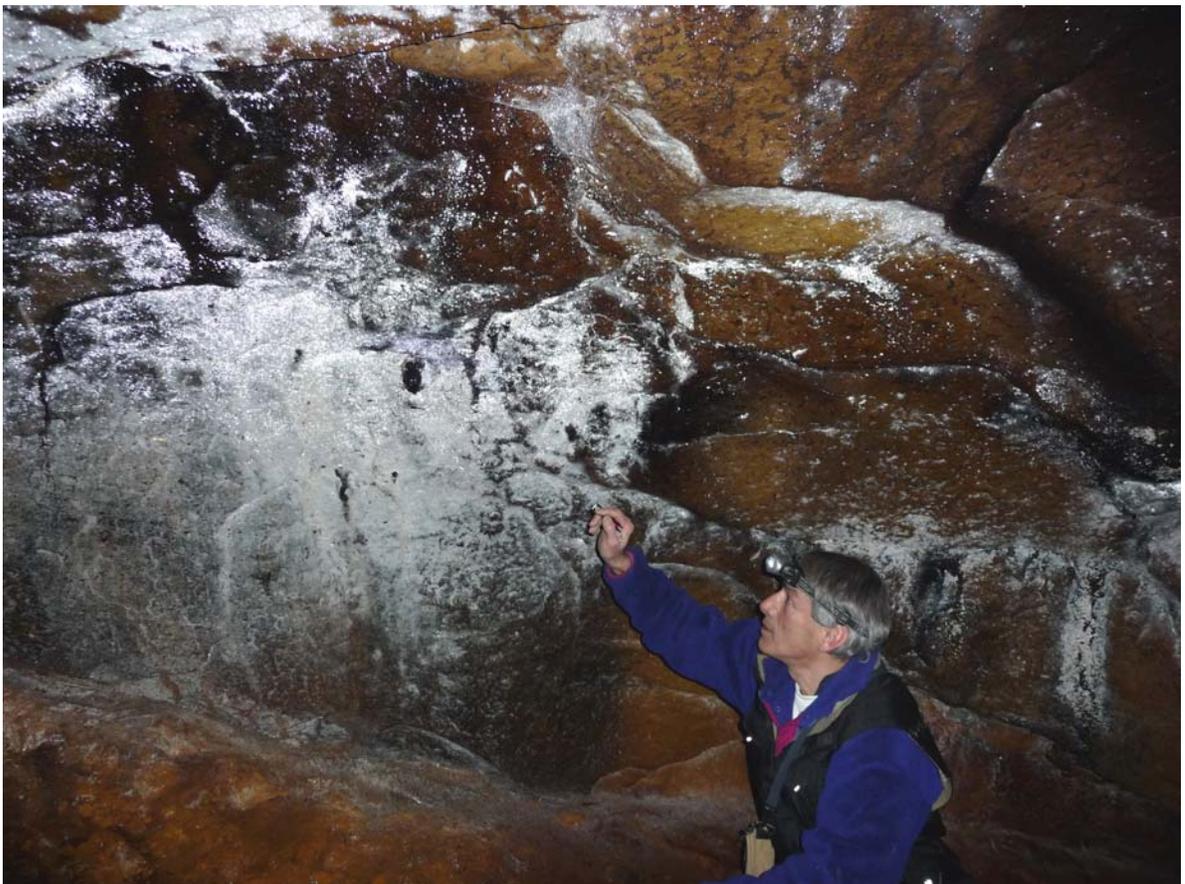


Figura 05. Galería del Río en Green Cave (Jaizkibel) con numerosos recubrimientos de espeleotemas blancas de silicatos de aluminio amorfo (alófano) y otras rojizas y negras de magnetita, hematita y goethita. La cavidad también posee curiosos ejemplos de espeleotemas de ópalo-A con terminaciones distales de yeso.



Figura 06. Cueva de la punta central de Bajo aundi, en el litoral de Ulía. Posee varias bocas, las inferiores abiertas a nivel del mar. Al ascender la marea, que alcanza una amplitud de 4,5 m en el litoral Cantábrico, el mar invade gran parte de las galerías inferiores. La fauna cavernícola incluye especies marinas, litorales y terrestres.

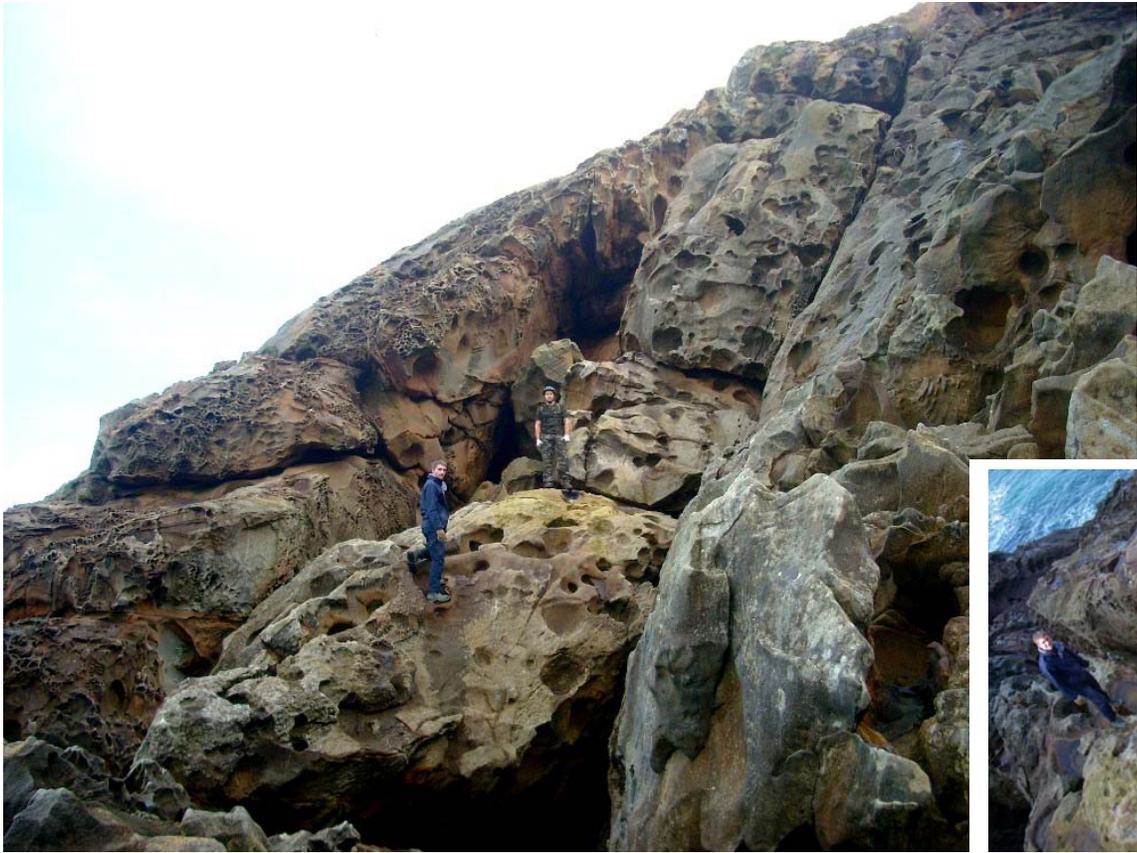


Figura 07. Cueva-fosa de la punta exterior de Elgorri (en Ulía). Posee entradas en sima y galerías superpuestas. El relieve externo presenta diversas cavidades, abrigos y notables geoformas.



Figura 08. Sistema Jaizkibel Centro JkC. De 170 m de desarrollo y -50 m de desnivel, con galerías fósiles y activas. Posee espeleotemas de calcita, ópalo y oxi-hidróxidos de hierro.



Figura 09. Cueva de la placa central de Igueldo, de 80 m de desarrollo y -25 m de desnivel. Posee una gran sala interna, de 40 m de diámetro, y en su parte más baja ingresa agua de mar.



Figura 10. La punta de Mako, al fondo, y la pared de acceso bajo el faro de Iguelo. La cueva de Mako se desarrolla bajo el estrato desprendido y fragmentado, inclinado a 45° (flechas rojas). El cruce hacia la cueva es complicado si hay oleaje.

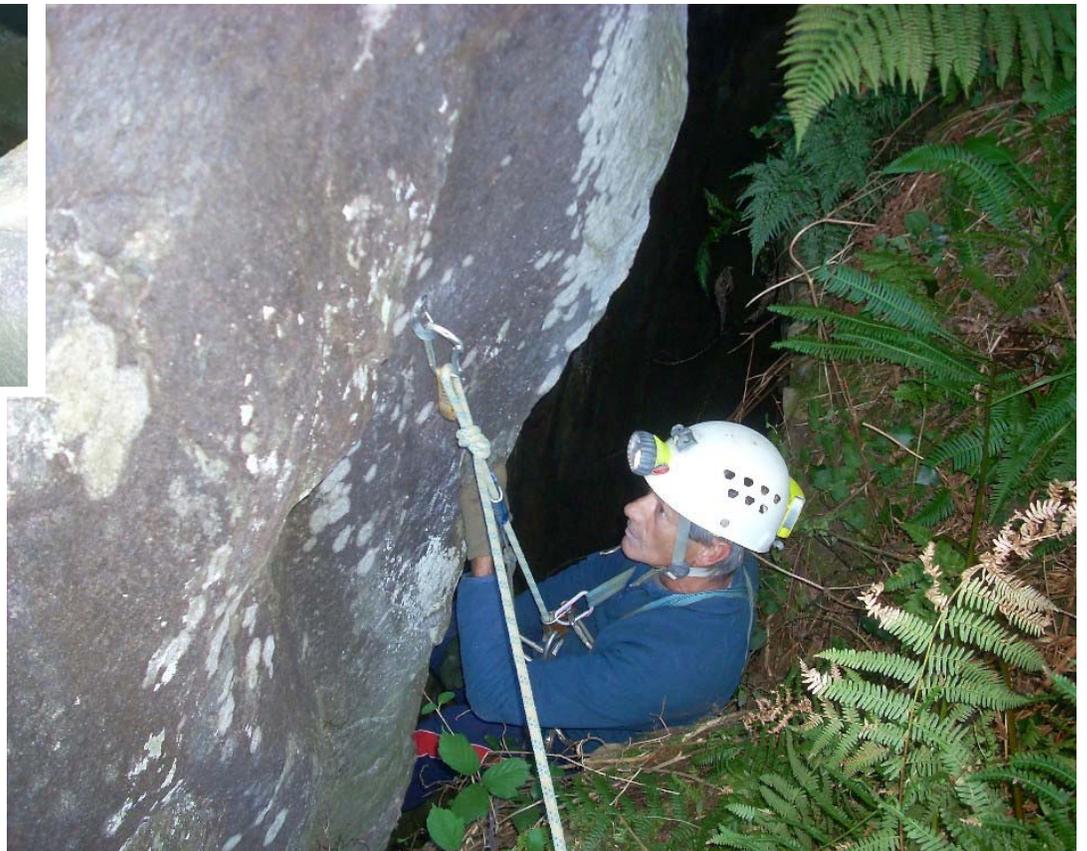


Figura 11. Sima Tanbo 2. Se desarrolla sobre un sistema de fracturas a lo largo de una placa de arenisca de fuerte inclinación. Presenta siete bocas en sima y totaliza 258 m de desarrollo y -70 m de desnivel.

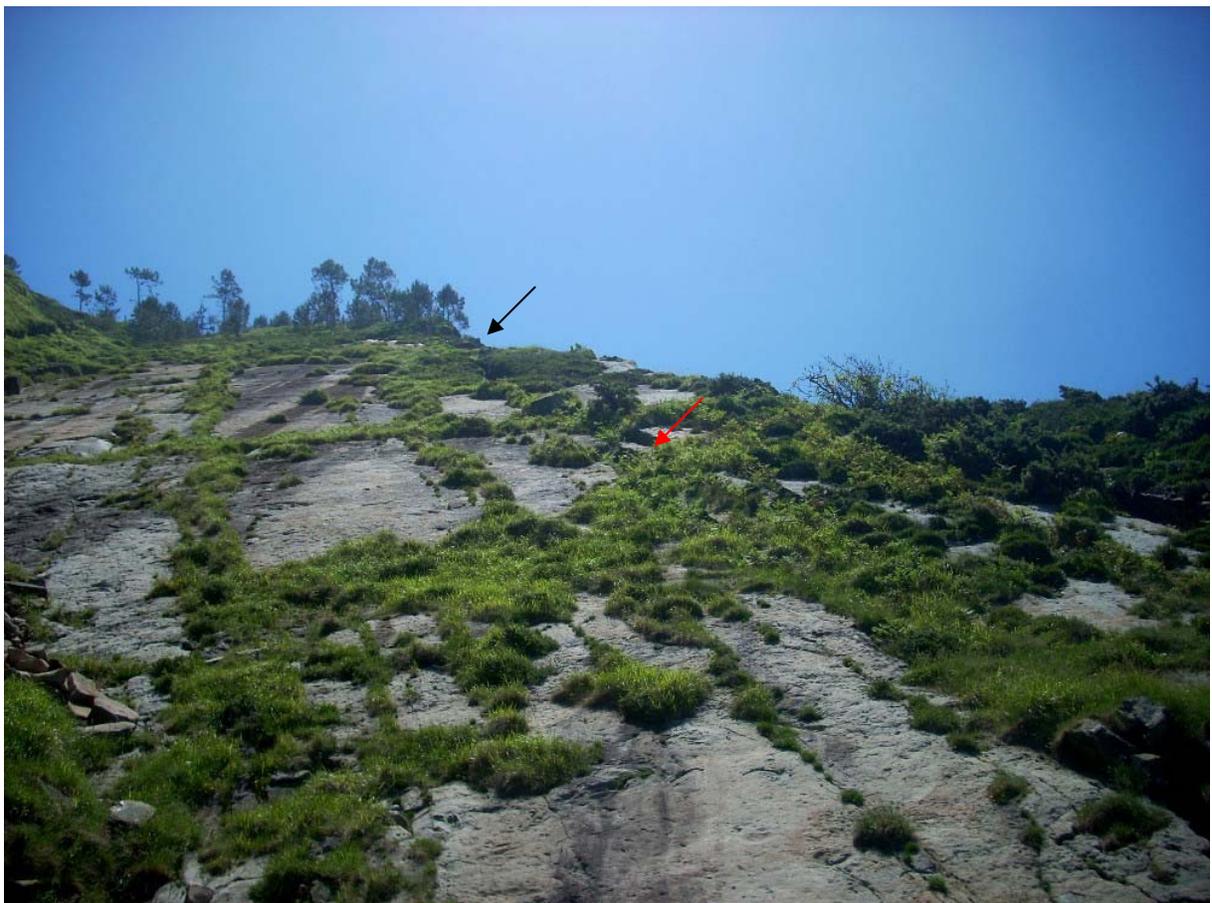


Figura 12. Parte inferior de la placa de Tanbo 2 con un conjunto de pequeñas cavidades sobre la continuación del sistema de fracturas (arriba). La flecha roja indica la posición de la boca inferior B7 y la negra la de B2. El sistema totaliza 400 m de galerías y se extiende sobre un desnivel de -120 m. Debajo: Vista de la placa desde su base.



Figura 13. Cueva de Larretxiki (en Igueldo), de 80 m de desarrollo y -17 m de desnivel. Posee dos bocas en sima. Por la inferior (arriba) penetra el agua de mar con las olas y al subir la marea. La superior (debajo) requiere también el uso de cuerda y da paso a una extensa sala bajo el estrato de techo, con agua de mar en su parte baja.



Figura 14. Sima del Acantilado Norte de Punta Atalaya, de 220 m de desarrollo y -50 m de desnivel. Descenso en rappel y ascenso en jumars de la vertical de acceso, bajo un estrato en extraplomo. En su base techada la cavidad prosigue hasta el mar bajo grandes bloques de recubrimiento.

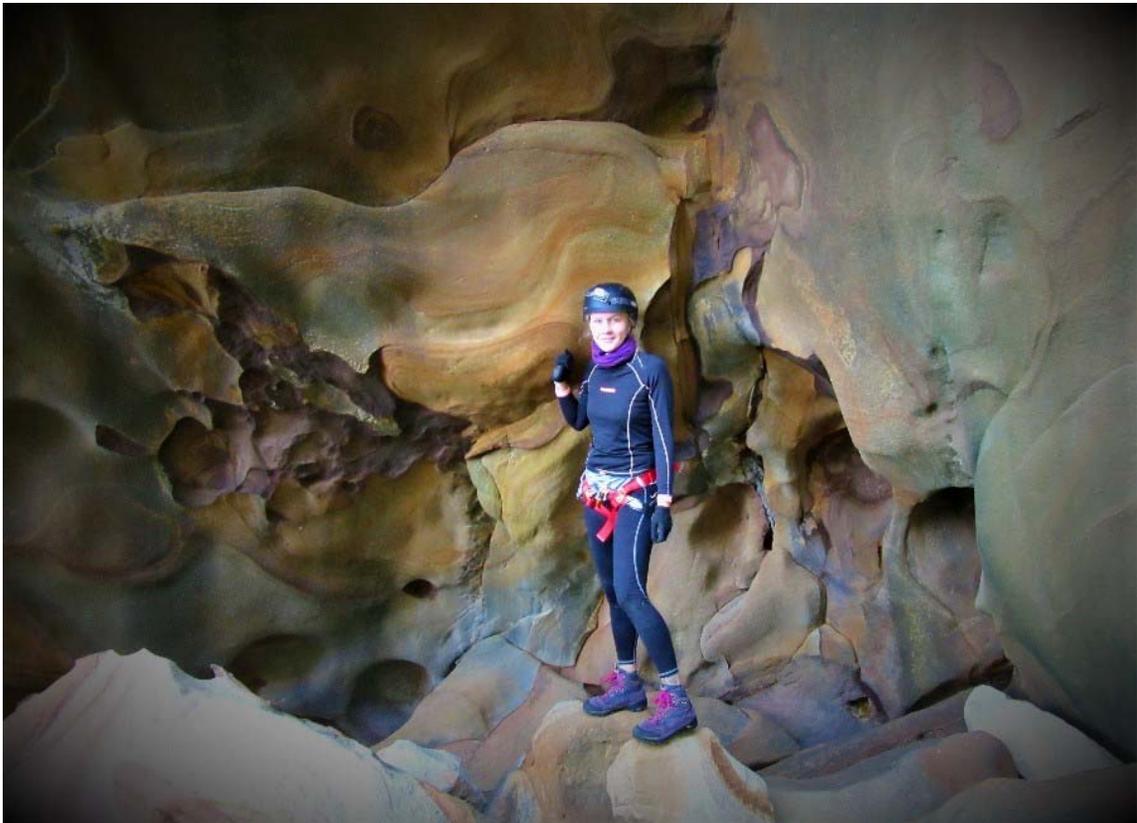


Figura 15. Sima del Acantilado Norte de Punta Atalaya. Galerías bajo grandes bloques de colapso, con numerosas geoformas y concreciones de óxidos y silicatos de hierro y aluminio. La cavidad, en su base, alcanza el nivel del mar.

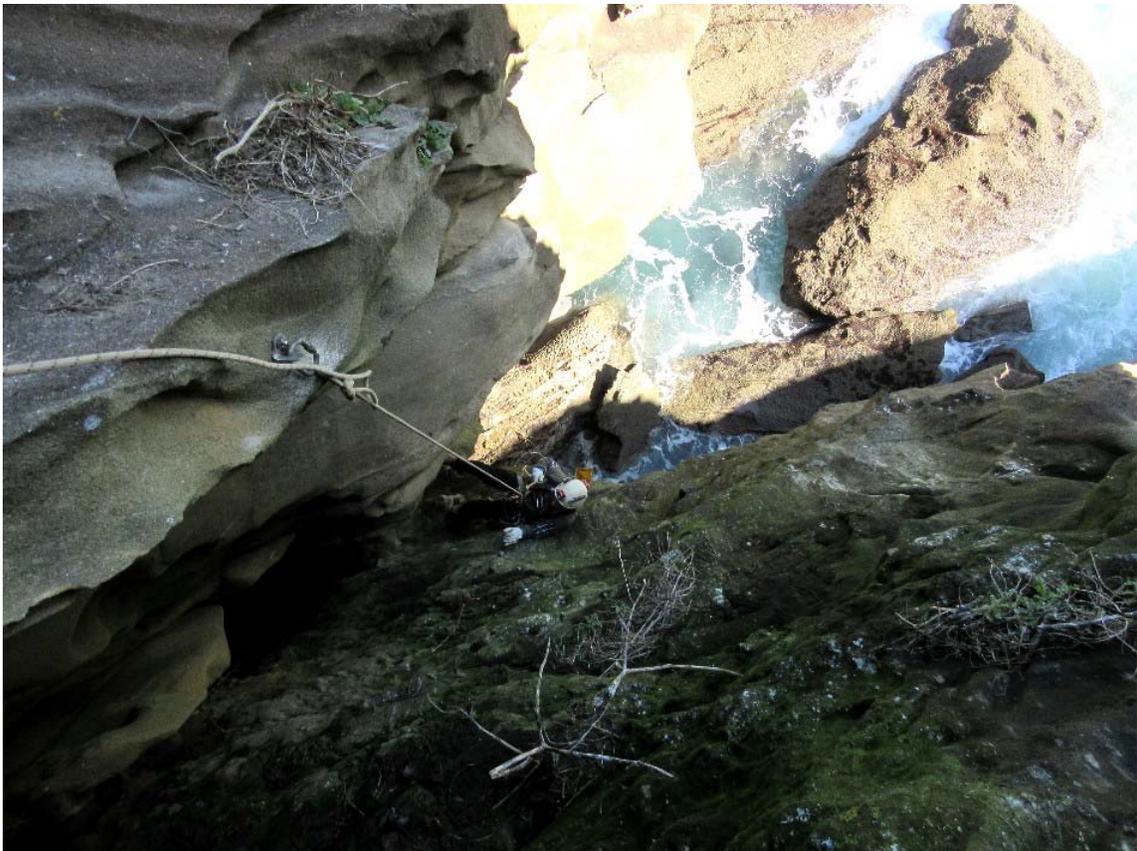


Figura 16. Sima-Cueva del Acantilado Este de Monpás, de 118 m de desarrollo y -40 m de desnivel. Instalando clavos con taladro y parabolts (en total, cuatro fraccionamientos) en la vertical de acceso, de 60 m de desnivel. El mar invade la parte baja de las galerías durante las pleamares y cuando hay fuerte oleaje. Alberga fauna cavernícola marina.



Figura 17. Cueva marina de Elgorri aundi - Putakiya, de 188 m de desarrollo y -7 m de desnivel. Descendiendo el acantilado de Elgorri aundi (de -50 m, arriba) para alcanzar la franja litoral donde se abren las bocas de la cueva (debajo) con galerías entre estratos gruesos de arenisca de trazado en paralelo.



Figura 18. Cueva marina de Elgorri aundi - Putakiya. Acceso nadando, con equipo ligero de buceo, para alcanzar una de las bocas abierta al mar (arriba). Y ascenso en jumars del acantilado tras la exploración, topografía, colecta de fauna y toma de datos en la cavidad (debajo), la cual alberga un interesante ecosistema hipógeo.

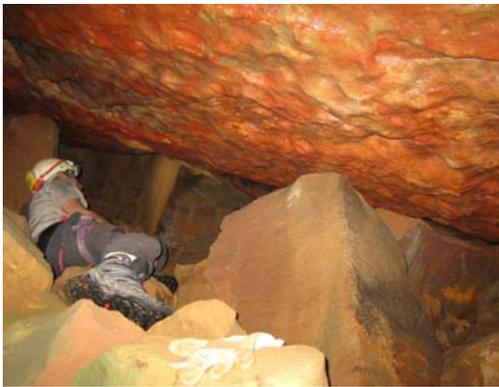


Figura 19. Sima de Altu, en el litoral de Ulía, de 152 m de desarrollo de galerías y -25 m de desnivel. La cavidad alberga biotopos anquihalinos, de agua dulce y terrestres, con una gran diversidad faunística.



Figura 20. Túnel de Lezo, de 800 m de desarrollo. Perfora el monte Jazkibel de N a S y tiene un canal de trasvase de aguas. La galería intercepta acuíferos subterráneos y tiene tramos con espeleotemas y fauna cavernícola.



Figura 21. Coladas estalagmíticas, gours y perlas de caverna en el Túnel de Lezo (arriba). Tramo inundado, con tubería colectora sumergida, en el Túnel Pasaia 03 (en el flanco N de Jaizkibel), de 280 m de longitud (debajo).



Figura 22. Parte central del Túnel Pasaia 01, de 1.600 m de longitud, con detalles de espeleotemas de oxi-hidróxidos de hierro y de calcita, y cubetas colectoras del agua que se infiltra en la galería al perforar acuíferos en la arenisca.



Figura 23. Gran Kanto Sima-cueva 01 (en Jaizkibel), de -32 m de desnivel y 220 m de desarrollo. Vertical de acceso sobre una placa costera y continuación interna de la sima. Posee una extensa sala con voluminosas espeleotemas de calcita en forma de largas banderas, estalactitas y estalagmitas.

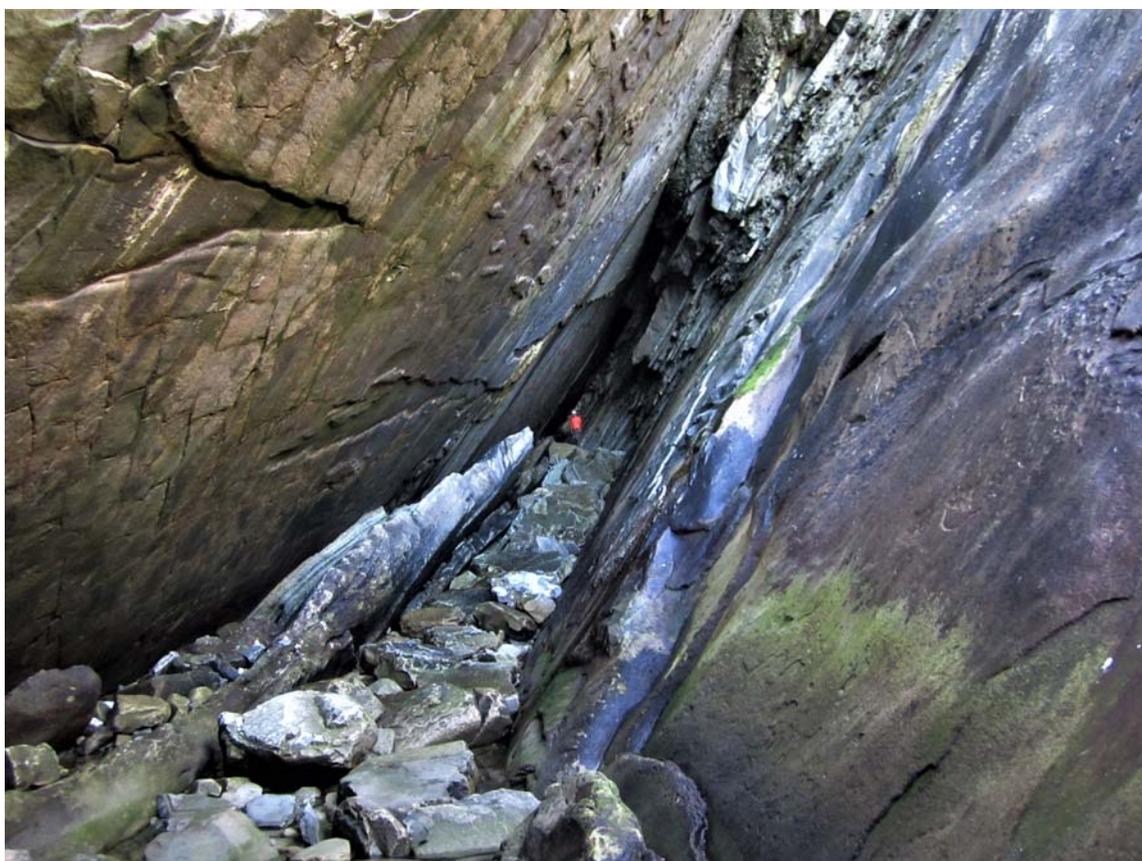
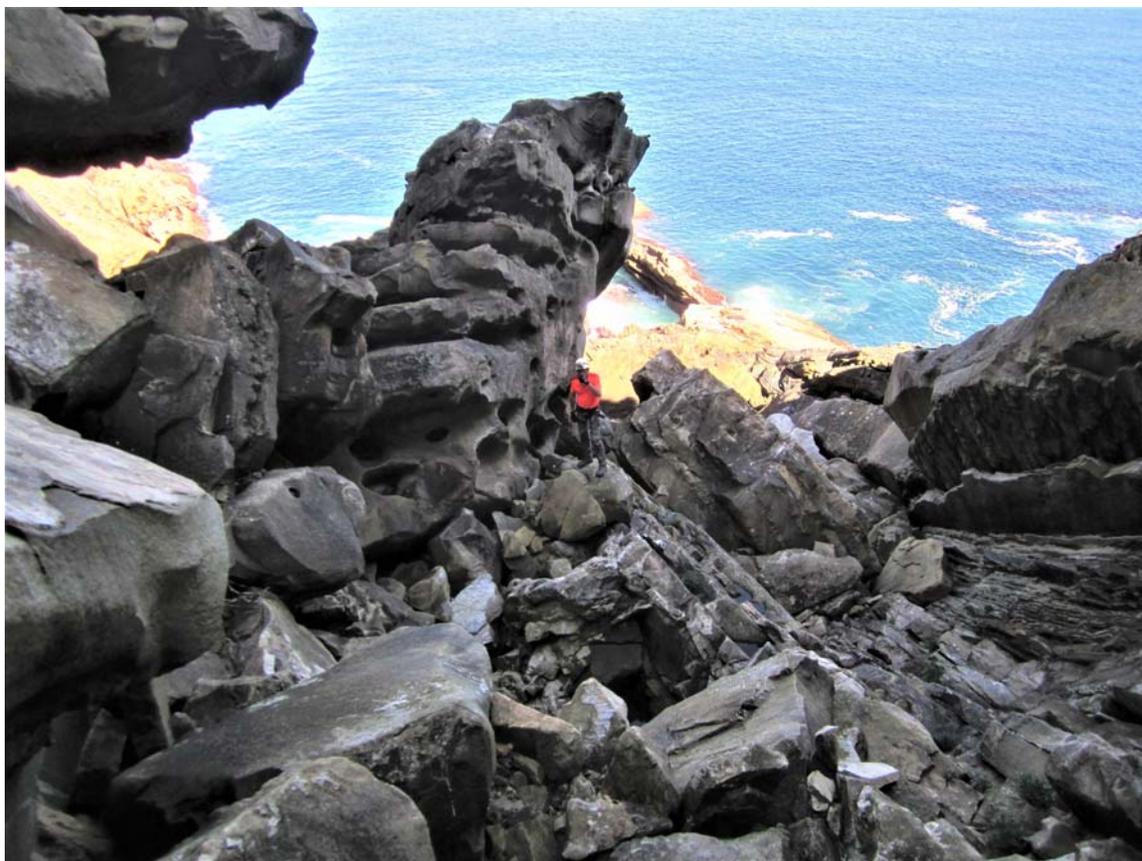


Figura 24. Enclave de Usotaita 01 (en Ulía), tras descender con cuerda un acantilado de -107 m de desnivel. Arriba: en el borde de una sima de -12 m. Debajo: Cueva Usotaita 01- E1, de 125 m de desarrollo y +22 m de desnivel. La cavidad posee biotopos anquihalinos, con fauna marina, de agua dulce y terrestre, muy diversa.



Figura 25. Gran boca de la cueva Usotaita 02, de 80 m de desarrollo y +28 m de desnivel (en Ulía), con numerosas geoformas (arriba). Cueva del Río (cabecera del arroyo Martixene, Jaizkibel), de 74 m de desarrollo y -10 m. Ambas cavidades poseen interesantes especies de fauna cavernícola.



Figura 26. En la arenisca de Jaizkibel hay numerosas pequeñas cavidades y abrigos colgados en cornisas en la base de escarpes verticales de desarrollos kilométricos, con notables geoformas, formadas por el avance de la disolución intergranular. En este caso, geoformas residuales y boxworks complejos sobre concreciones de arenisca.



Figura 27. Otro rasgo excepcional de la arenisca de Jaizkibel es la presencia de paramoudras: concreciones silíceas formadas en torno a las trazas fósiles (ichnofósiles) de organismos abisales marinos (principalmente poliquetos). Adoptan formas esféricas, cilíndricas y conjugadas en figuras complejas, de varios metros de desarrollo.



Figura 28. Cuevas de recubrimiento en el fondo de dolinas y depresiones, con espeleotemas y geoformas, entre ellas laminaciones y bandeados de Liesegang de sorprendentes diseños (arriba). Debajo: abrigos y grandes bloques de arenisca desprendidos de las paredes, los cuales muestran fragmentos de antiguas cavidades de disolución.

La Formación Jaizkibel presenta una permeabilidad muy variable, controlada principalmente por la litología y granulometría de los depósitos, el grado de alteración y la existencia de fracturas y juntas de estratificación. Los estudios realizados por el EVE para la unidad hidrogeológica del monte Jaizkibel estiman un coeficiente de infiltración del 55% de la lluvia útil, lo que supone un módulo de infiltración de 17 l/s/km². La unidad se caracteriza 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 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.

El funcionamiento de estos acuíferos es en general libre, 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). Investigaciones complementarias mediante sondeos efectuados por el EVE han mostrado que existen niveles colgados, con una deficiente conexión hidráulica entre los distintos acuíferos y manantiales, con flujos relativamente individualizados y compartimentados (EVE, 2000).

Así, aunque existe karstificación y formación de acuíferos compartimentados, predomina una hidrografía de superficie, con un relieve caracterizado por la ocurrencia de numerosos arroyos cataclinales, que siguen directamente el buzamiento N hacia el mar, lo que ha generado en la zona litoral una morfología de cerros en chevrons y placas con escarpes laterales.

La escasa ocurrencia de cavidades mayores o más extensas, en general está limitada y controlada por la presencia de lutitas y margas intercaladas en la serie, ya que éstas no son permeables y resultan removidas por la erosión normal. Esto a su vez propicia el aplastamiento y deslizamiento de los estratos gruesos de arenisca, y la apertura de fracturas y formación de escarpes por procesos clásticos de descompresión mecánica, con el consiguiente colapso de bloques. Procesos similares se ven también facilitados al avanzar la disolución intergranular ampliando la fisuración en los estratos individuales de arenisca.

Con todo ello queremos decir que la erosión y meteorización de superficie desmantela con facilidad cavidades previamente formadas, encontrándose testigos de ello en muchos bloques desprendidos y en paredes de escarpes. Las cuevas son formadas y destruidas en lapsos de tiempo mucho más cortos que en el karst clásico en caliza. Y de igual modo adquieren más amplitud los procesos de erosión y denudación de superficie.

Debido a que durante el último máximo glacial el nivel del mar estuvo 90 á 120 m más bajo que en la actualidad, planteamos como hipótesis que muchas cavidades antiguas pueden haber quedado sumergidas, colmatadas o destruidas durante los últimos 12.000-15.000 años, datando las cavidades hoy observables del último ciclo Holoceno de espeleogénesis, hasta el momento actual. Al tratarse de cavidades muy jóvenes y dada la geodinámica actual no es probable que se desarrollasen cuevas extensas.

No obstante seguimos explorando los afloramientos de arenisca y albergamos la esperanza de encontrar nuevas cavidades, tal vez mayores que las conocidas hasta hoy. Las reportadas en esta breve nota albergan rasgos geo-biológicos de interés científico y sólo por ello merece la pena proseguir su estudio, donde muchos detalles complejos restan por elucidar.

AGRADECIMIENTOS

A los miembros y colaboradores del Dpto. de Espeleología de la Sociedad de Ciencias Aranzadi (SCA) que nos acompañaron en las exploraciones del peculiar karst en arenisca, en especial para esta nota a: Marian Nieto, Juliane Forstner, Agustin Gozategi, Daniel Arrieta, David Arrieta, Garbiñe Albisu, José Rivas e Iñigo Herraiz. A dos revisores anónimos de la SCA 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.
- 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.; J. Rivas & M. Nieto. 2007. Notas suplementarias sobre formas pseudokársticas en arenisca del flysch Eoceno, Gipuzkoa. Lapiaz, nº 32: 20 pp. + Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 20 pp.
- Galán, C. & C. Vera Martín. 2010. Espeleotemas de cuarzo y silicatos de hierro y aluminio, en una cueva hidrológicamente activa en arenisca de Jaizkibel: Descripción general de la cavidad y caracterización por espectroscopía Raman y difracción de rayos X (DRX). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 12 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & J. Rivas. 2013. Cuevas y geoformas en Bajo aundi, Ulía (Pseudokarst en arenisca de la Formación Jaizkibel). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 32 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; D. Arrieta Echave; P. Di Bartolomeo & J. Cortizo. 2013. La cueva del castillo de San Telmo, Hondarribia, País Vasco (seudokarst en arenisca de la Formación Jaizkibel). Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 22 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. 2013. Un nuevo sistema de cuevas hidrológicamente activas en la arenisca de Jaizkibel, con espeleotemas de ópalo-A, calcita, y otros minerales secundarios. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 16 pp.
- Galán, C. 2013. Cuevas, geofomas y karstificación en areniscas Eocenas de la Formación Jaizkibel: Actualización de datos para Mayo de 2013. Conferencia Audiovisual Ayto. Hondarribia, Expo. Flysch C.Vasca. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 82 pp.
- Galán, C.; J. Rivas & D. Arrieta. 2013. Estructuras de Penélope, cuevas y geofomas en arenisca del flysch Eoceno, en el litoral de la placa central de Igueldo (Gipuzkoa, País Vasco). Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 28 pp.
- Galán, C.; J. Rivas & M. Nieto. 2013. Cuevas en arenisca y caliza arenosa en los acantilados del faro de Igueldo (San Sebastián, País Vasco). Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 31 pp.
- 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. & Dv. Arrieta Etxabe. 2014. Cuevas marinas en el flysch de Igueldo. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 30 pp.
- Galán, C.; P. Di Bartolomeo & M. Nieto. 2014. Notas sobre un grupo de dolinas y simas en rocas de arenisca (Jaizkibel oeste, Pasaia, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 16 pp.
- Galán, C. & D. Arrieta. 2016. Notas sobre cuevas en arenisca en los acantilados de Arlantz (Ulía, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 40 pp.
- Galán, C.; J. Forstner & M. Nieto. 2017. Algunos ejemplos de geofomas y espeleotemas extrañas encontradas en cuevas en arenisca en los acantilados del monte Ulía (País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 40 pp.
- Galán, C. & J. Forstner. 2017. Acantilado Norte de Punta Atalaya: sima y geofomas en arenisca (País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 40 pp.
- Galán, C.; J.M. Rivas & J. Forstner. 2017. Notas sobre la exploración de una cueva marina interestratos en Monpás (Ulía). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 26 pp.
- Galán, C.; J. Forstner & J.M. Rivas. 2017. Cavidades entre estratos de arenisca de la Formación Jaizkibel en el acantilado de Elgorri aundi (San Sebastián, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 30 pp.
- Galán, C. & J.M. Rivas. 2018. Sistemas de fracturas de descompresión, simas y depresiones en estratos de arenisca del litoral de Jaizkibel. Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 30 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & J. Forstner. 2019. Laberintos subterráneos y cuevas bajo bloques de arenisca (Urberde, litoral de Orío). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 41 pp.
- Galán, C. & J.M. Rivas. 2019. Exploración de una sima en arenisca formada sobre una fractura mecánica de 100 m de extensión (litoral de Jaizkibel, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 33 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.
- 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. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 30 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. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 40 pp.
- Galán, C. & M. Nieto. 2020. El túnel de Kalaburtza y su fauna cavernícola (Pasaia, arenisca de Jaizkibel). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 18 pp.
- Galán, C.; I. Herraiz & G. Albisu. 2020. El sistema de simas en arenisca de Basotxiki (Pasaia, Formación Jaizkibel). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 28 pp.
- Galán, C. 2021. Notas sobre fauna cavernícola de los túneles y cuevas en arenisca de Gran Kanto (Pasaia, Formación Jaizkibel). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 36 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. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 36 pp.
- Galán, C.; M. Nieto & G. Albisu. 2021. Biología subterránea de una cavidad hidrológicamente activa en arenisca (Monte Jaizkibel, Hondarribia, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 26 pp.
- Galán, C. & M. Nieto. 2022. Fauna cavernícola anquihalina en cuevas en arenisca en el litoral del monte Ulía (enclave de Arlantz, San Sebastián, País Vasco). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 40 pp.
- Galán, C. & A. Gozategi. 2022. Fauna hipógea litoral y marina en cavidades en arenisca en la punta de Usoitaita (Formación Jaizkibel, monte Ulía, San Sebastián). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 38 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; J. Daza & A. Gozategi. 2022. Punta de Usoitaita 2: cuevas en arenisca y fauna hipógea (Monte Ulía, San Sebastián). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 40 pp.
- Galán, C.; M. Nieto; J. Forstner & J. Daza. 2022. Acantilado de Salto: cuevas y fauna (Monte Ulía, San Sebastián). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 33 pp.
- Galán, C. 2022. Exploración de una surgencia y canalización subterránea en arenisca en el acantilado de Elgorri txiki (Monte Ulía, San Sebastián). Publ. Dpto. Espeleol. S.C. Aranzadi. Web aranzadi-sciences.org, PDF, 40 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.
- 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.
- Vandel, A. 1964. Biospéologie: La Biologie des Animaux cavernicoles. Ed. Gauthier-Villars, Paris, 619 p.