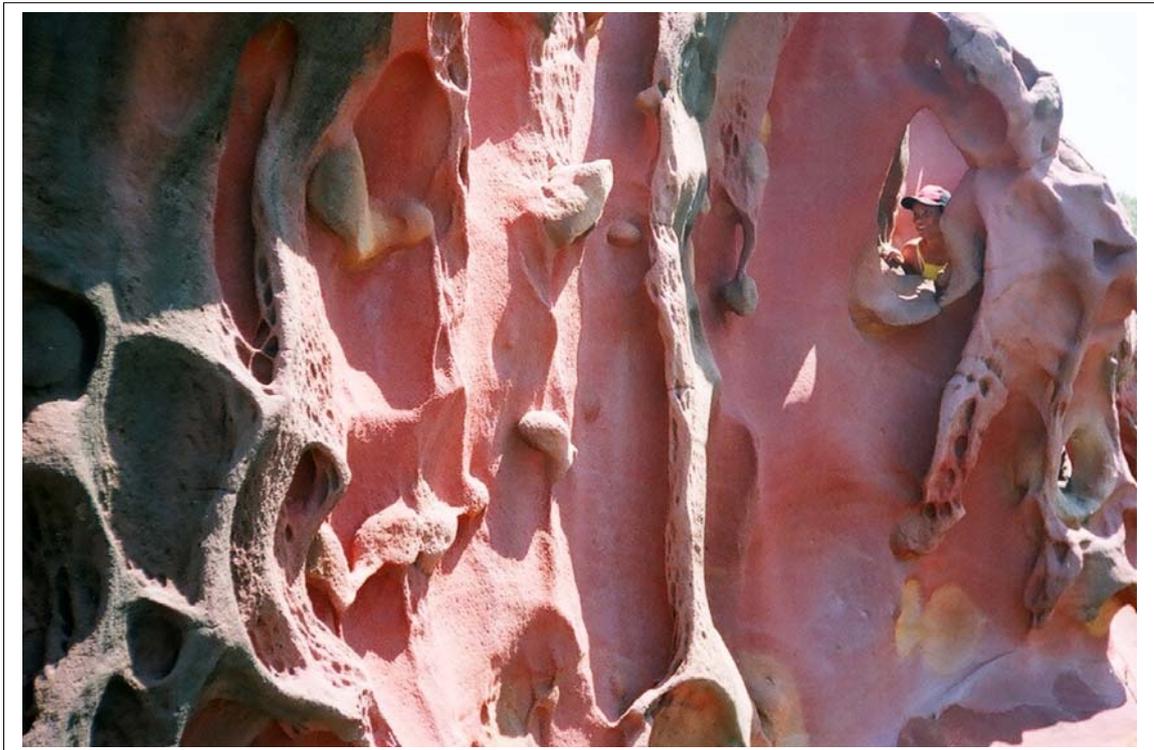


PSEUDOKARST EN ARENISCA DEL FLYSCH COSTERO EOCENO, GIPUZKOA

Pseudokarst in sandstone of the coastal Eocene flysch, Gipuzkoa



Carlos GALAN, José RIVAS & Marian NIETO.

Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi (SCA).

E-mail: cegalham@yahoo.es

(Septiembre 2007)

PSEUDOKARST EN ARENISCA DEL FLYSCH COSTERO EOCENO, GIPUZKOA

Pseudokarst in sandstone of the coastal Eocene flysch, Gipuzkoa

Carlos GALAN; José RIVAS & Marian NIETO.

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

(Septiembre 2007)

RESUMEN

Se presenta una descripción de formas pseudokársticas desarrolladas en arenisca de edad Eoceno, localizadas en el litoral de Gipuzkoa (País Vasco). Algunas muestran similitud con formas de superficie de karst en caliza, cuarcita y arenisca; otras son originales y típicas de esta litología. En la zona se encuentran sistemas de pequeñas cuevas y abrigos, con numerosas macro y microformas de características singulares. Los agentes que las producen son: meteorización química, erosión eólica, erosión marina, procesos clásticos y acción biológica. La meteorización transforma la roca compacta en friable e incoherente, por progresiva arenización o pérdida del cemento intergranular de la arenisca, un proceso comparable al que genera el karst en cuarcita. Los sistemas de cuevas poseen biotopos hipógeos con una peculiar fauna de invertebrados cavernícolas.

Palabras clave: Espeleología, pseudokarst, arenisca, geomorfología, bioespeleología, cuevas, abrigos y formas de superficie.

ABSTRACT

We present a description of pseudokarst forms developed in sandstone of Eocene age, located in the littoral of the Gipuzkoa Coast (Basque Country). Some of them present pseudokarst features resembling karst phenomena in limestone, quartzite and sandstone; others are original and typical of this lithology. In the area there are several rock shelters and cave systems with numerous macro and microforms of remarkable traits. Chemical weathering, eolic and marine erosion, breakdown processes and biological activity are the agents which produce such features. The weathering transforms the solid rock in incoherent, by progressive arenisation of the sandstone, a process comparable to quartzite karst formation. The caves present underground biotopes with a peculiar invertebrate cave-dwelling fauna.

Key words: Speleology, pseudokarst, sandstone, geomorphology, biospeleology, caves, shelters and superficial forms.

INTRODUCCION

Durante prospecciones para el estudio del MSS (Medio Subterráneo Superficial) en Gipuzkoa, se detectó la presencia de ambientes subterráneos transicionales en arenisca del flysch Eoceno (GALAN, 2001), en la zona costera entre Hondarribia (frontera con Francia) y Orio. Estos ambientes han sido progresivamente investigados desde 1987 y comprenden sistemas de cuevas y mesocavernas formadas por acción de la erosión marina, pluvial y eólica. Las partes más profundas y oscuras albergan una fauna de invertebrados comparable a la fauna cavernícola troglófila. Prospecciones recientes han revelado la existencia de muchos otros tipos de abrigos, cavidades y grutas, con curiosas macro y microformas, similares a las que presenta el karst en cuarcita. La morfología y fauna de estos ambientes será descrita en este trabajo.

El término "flysch" define una alternancia de estratos duros (de caliza o arenisca) con otros blandos (de lutitas y margas), formados en ambientes turbidíticos. El flysch Eoceno (Formación Jaizkibel) está formado por capas duras de arenisca, con intercalaciones de niveles delgados de lutitas. Esta serie descansa sobre otro flysch, de edad Paleoceno (Flysch de Gipuzkoa), constituido por areniscas, calizas y margas. En este trabajo nos referiremos a los afloramientos de areniscas Eocenas, de matriz carbonática.

La estructura es monoclinial y con buzamiento N. Debido a la plasticidad del flysch las rocas han sido plegadas desigual y enérgicamente. En algunos acantilados costeros, como en Igueldo, Isla de Santa Clara (San Sebastián) y a ambos lados de la entrada al puerto de Pasajes, el buzamiento es alto y los estratos adoptan una disposición subvertical (70° a 80° N-NW). Pero en amplias secciones de Jaizkibel e Igueldo el buzamiento es menor, generalmente comprendido entre 20° y 40° N. Son en estas zonas de menor buzamiento (que en la topografía de superficie forman cuevas, escarpes verticales, bloques, y lajas de roca plana que llegan hasta el mar) donde se encuentran los mejores ejemplos de pseudokarst, particularmente en la parte central de Jaizkibel.

En nuestra opinión, además del interés espeleológico y científico que posee esta especie de karst superficial en arenisca, sus rasgos son llamativos y estéticamente remarcables. El abrupto relieve del litoral guipuzcoano ha hecho que permanezcan poco conocidos. Diversas similitudes con el karst en cuarcita (de países como Venezuela, Brasil o Sudáfrica) sugieren que futuras investigaciones pueden poner al descubierto zonas con cuevas más extensas que las hasta hoy conocidas.

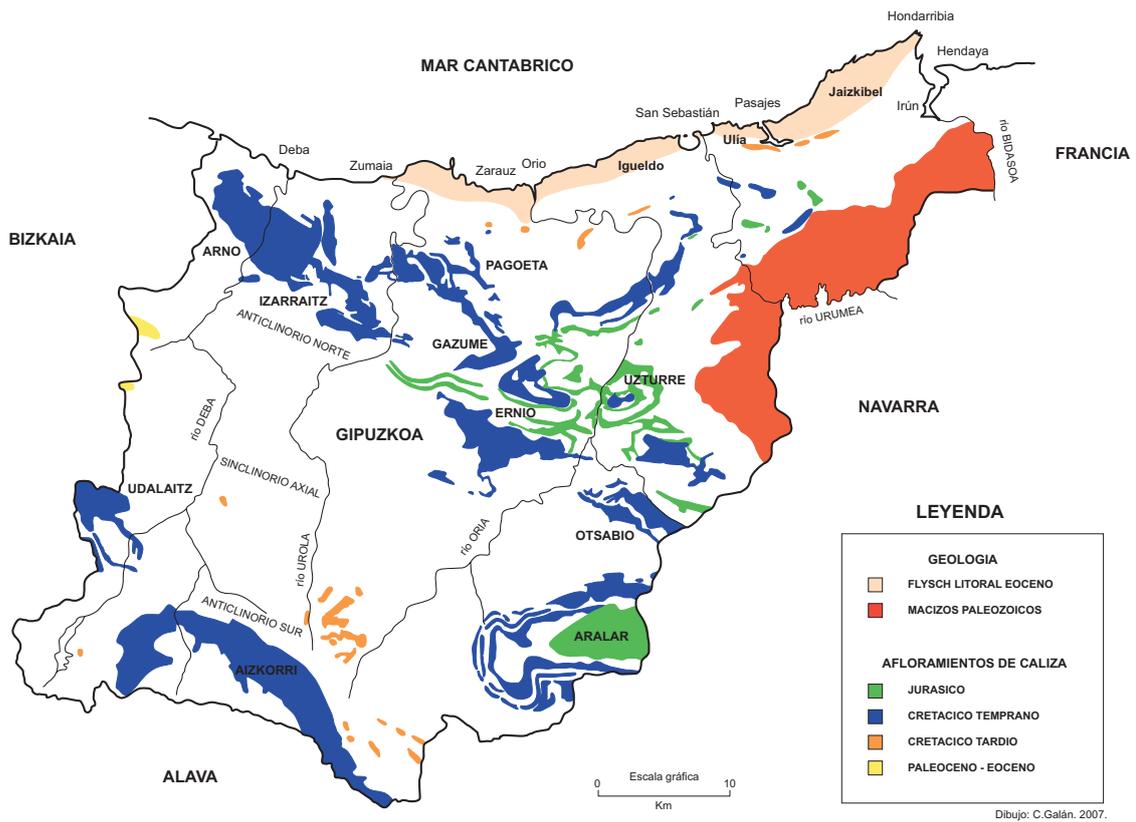


Figura 1. Localización en Gipuzkoa del Flysch costero Eoceno, macizos Paleozoicos y afloramientos de caliza.

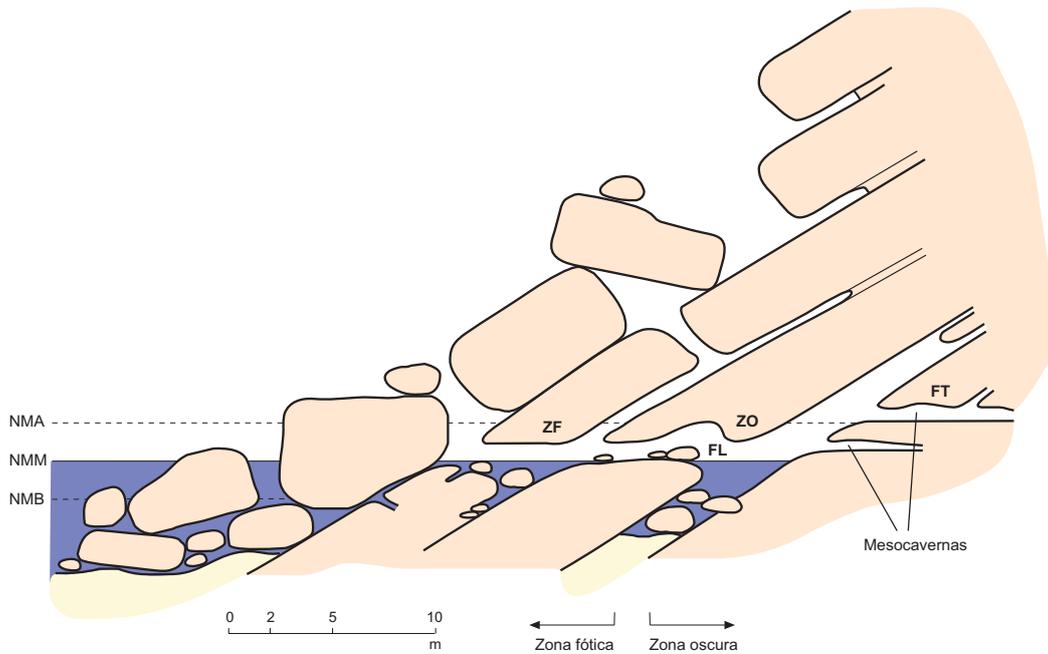


Figura 2. Bloques de desprendimiento, pequeñas cuevas y mesocavernas en arenisca del flysch costero Eoceno. NMM = Nivel medio del mar. NMA y NMB = Niveles de marea alta y baja, respectivamente. Fuente: GALAN (2001). ZF = Zona fótica. ZO = Zona oscura. FL = fauna litoral oscurícola. FT = fauna terrestre.



Dispositivo estructural de las areniscas del flysch costero Eoceno. Sobre amplios tramos del litoral de Jaizkibel los estratos más compactos de areniscas buzcan 30° hacia el N, formando lajas estructurales, que son recortadas de modo desigual por la erosión marina, originando numerosos escarpes de pocos metros entre estratos. El dispositivo facilita que los escarpes retrocedan al fracturarse los estratos por descompresión mecánica, generando numerosos bloques de desprendimiento que deslizan hasta la base de los taludes. En la intersección de fracturas y planos de estratificación la erosión normal puede llegar a formar sistemas de túneles y seudocavernas.



Formas de erosión eólica y meteorización superficial en areniscas del flysch costero Eoceno. Arriba: en el monte Ulía. Abajo y centro: en el litoral de Jaizkibel. Se aprecian cúpulas de erosión de forma semiesférica, en abrigos (arriba) y a la intemperie (debajo). En la foto central: estratos con fracturas tableadas, grandes nódulos en relieve y microlapiaz litoral (primer plano).



Estratos de arenisca de varios metros de potencia, con numerosos nódulos esféricos de diversos diámetros. En varios puntos se aprecian los nódulos en relieve, pero predominan ampliamente las concavidades semiesféricas producto del vaciado y desprendimiento de los mismos al progresar la meteorización de las areniscas.

ASPECTOS GEOGRAFICOS

La zona de estudio comprende los tramos centrales de los montes Jaizkibel, Ulía e Igueldo (Figura 1), con buzamiento bajo a medio, de en torno a 30° N, y similar pendiente topográfica. Son áreas con superficies aplanadas en cuesta monoclinas que descienden desde 550 m snm en Jaizkibel, y 300-400 m snm en Ulía e Igueldo, hasta el nivel del mar. El relieve es relativamente suave, sólo entallado por algunos valles longitudinales. En el litoral y flancos de algunos valles la erosión ha recortado desigualmente los estratos de roca más resistentes generando pequeñas paredes, escarpes verticales y pequeños cañones. Las rocas aflorantes son areniscas carbonáticas compactas, dispuestas en bancos gruesos. Los estratos intercalados de lutitas son de poco espesor y a menudo faltan en la parte superior de la serie.

En la zona sometida a la acción de las mareas y el oleaje, y también donde la erosión normal ha meteorizado los estratos blandos de lutita, las capas de arenisca descansan prácticamente unas sobre otras. En estas zonas es frecuente la fractura de los estratos de arenisca en bloques cúbicos de varios metros de lado. Por acción de la gravedad y erosión marina los bloques van siendo disgregados, generando escarpes en progresivo retroceso. Es generalmente en el entorno de este tipo de escarpes donde se presenta el mayor número de abrigos, grutas y pequeñas cuevas.

Aunque el drenaje en las areniscas es superficial, existen sectores donde el terreno es parcialmente permeable, constituyendo acuitards en los cuales circula cierto volumen de aguas subterráneas a través de la red de fisuras e intergranularmente, dando lugar a pequeños manantiales en las zonas bajas. Existen buenos ejemplos de ello en Ulía y Jaizkibel. Otro ejemplo adicional lo aportan diversos túneles que han sido excavados artificialmente con el objeto de interceptar las zonas de mayor permeabilidad y captar pequeños caudales. En GALAN (2001) se presenta el plano de un túnel de este tipo, de 40 m de longitud, situado en un flanco de Ulía. El túnel dispone de un canal que recoge el agua de infiltración, formando un pequeño río subterráneo, con fauna acuática cavernícola. No obstante, a pesar de que existe cierto grado de infiltración, la desagregación de la roca en arena y arcilla es poco propicia para la formación de cuevas.

Los procesos de meteorización de las rocas son facilitados por tratarse de zonas de clima atlántico próximas al mar. Las lluvias están bien repartidas a lo largo del ciclo anual y alcanzan valores de 1.700 - 1.800 mm/a. Los vientos predominantes del cuadrante NW aportan aire húmedo del mar, siendo zonas brumosas, con lloviznas frecuentes. La erosión marina en la costa es potente y las zonas litorales presentan acantilados y taludes en activo proceso de erosión y recorte, con frecuentes desprendimientos de rocas y retroceso de las pendientes.

ASPECTOS GEOLOGICOS

El tramo superior Eoceno del flysch costero ha sido denominado Formación Jaizkibel (CAMPOS, 1979). Entre Zarauz y San Sebastián la formación está incluida en el Eoceno inferior, pero al E de San Sebastián hasta Hondarribia, donde la formación alcanza su mayor potencia (superando los 1.000 m de espesor), la mayor parte de la serie es de edad Eoceno inferior pero la base de la formación alcanza el Paleoceno superior.

La Formación Jaizkibel forma un suave arco de concavidad al N que se extiende unos 40 km desde el Cabo Higer en Hondarribia hasta 10 km al W de Zarauz (Figura 1). Localmente, en San Sebastián y en Zarauz, el trazado del arco presenta dos zonas de convexidad N atribuidas a la interferencia de empujes tectónicos S-N de otras estructuras (empuje del Manto de corrimiento Aya-Zarauz-Aizarnazabal, empuje debido al anticlinal diapírico Recalde-La Florida) (JEREZ et al., 1971).

La Formación Jaizkibel se compone de potentes bancos de arenisca que presenta intercalados delgados niveles de lutitas. El grosor de los estratos de arenisca, de varios metros, aumenta de abajo hacia arriba. En la zona de estudio de este trabajo los estratos individuales de arenisca tienen 2 a 5 m de potencia. Litológicamente son areniscas cuarzosas de colores claros (blancas, ocreas y rosadas) y de cemento carbonático. Están formadas por un entramado de granos de cuarzo bien redondeados (o ligeramente angulosos), que pueden constituir hasta el 90% de la roca (siempre más del 80%), y cantidades menores de feldespatos. El tamaño medio de grano se hace mayor hacia la parte alta de la serie. Los estratos presentan mayoritariamente laminación paralela y laminación disturbada (= convoluted beds); también se observan estructuras formadas durante la compactación (discos y pilares) y diversas estructuras de corriente. Son frecuentes nódulos esféricos o bolas de arenisca más dura, de variable diámetro, desde unos pocos hasta más de 70 cm. Estos nódulos están rellenos de cuarzo de grano medio a grueso, con matriz carbonática, muy poca mica y glauconita. La erosión de los estratos con nódulos esféricos de arenisca da lugar a concavidades posteriormente suavizadas y retocadas por erosión eólica e hídrica. Intercalados entre los bancos de arenisca se encuentran niveles delgados de naturaleza arcillosa o margosa, con cierto grado de pizarrosidad. En ocasiones los niveles de lutitas son tan finos que los estratos de arenisca se apoyan prácticamente unos sobre otros.

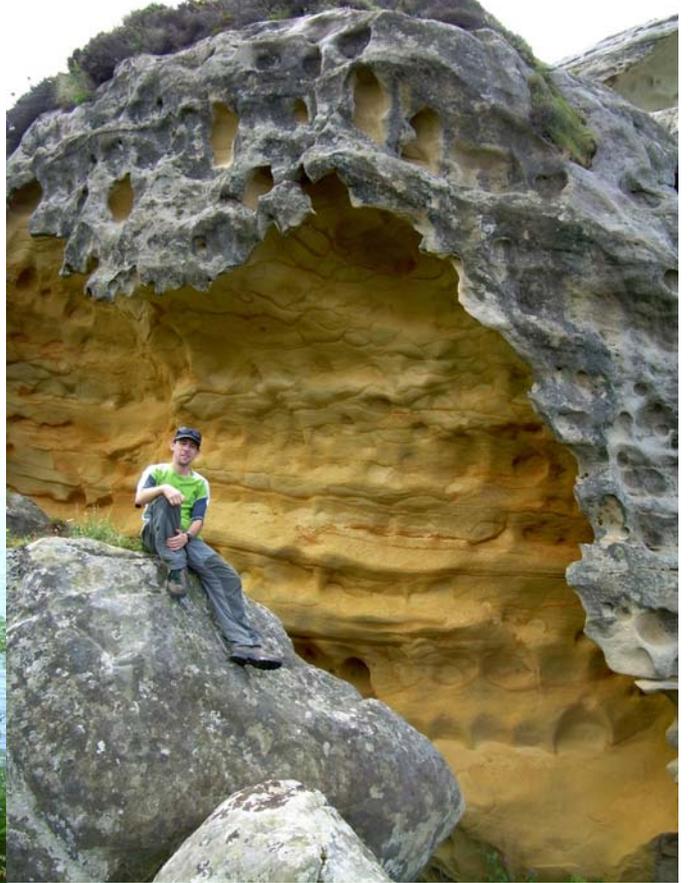
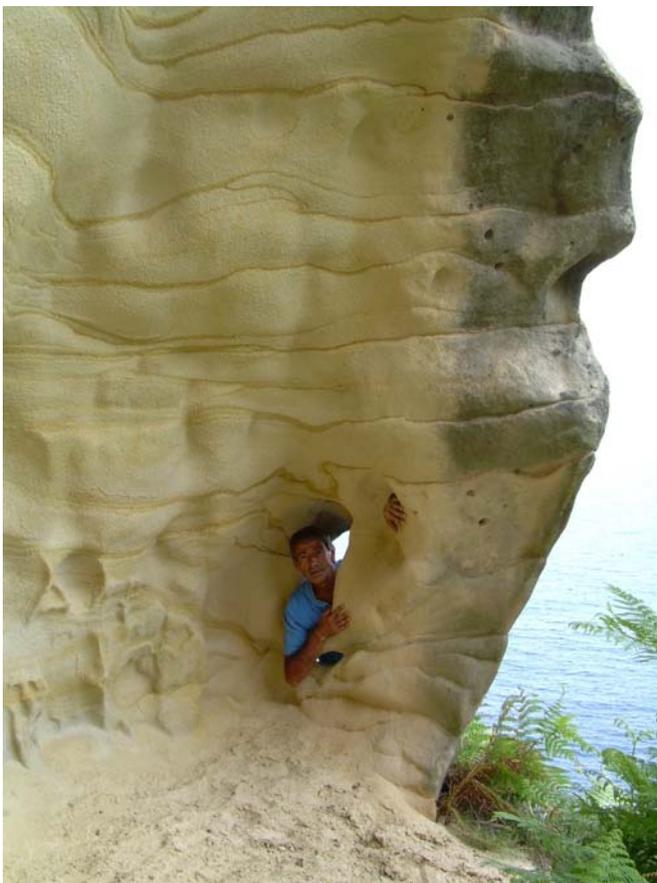
El flysch de arenisca es interpretado como un depósito de sistemas turbidíticos, según el modelo de MUTTI (1985), y ha recibido el nombre de "turbiditas terciarias de Guipúzcoa" (ROSELL et al., 1985). El "fenómeno turbidítico" ha sido definido como la erosión y resedimentación parcial o total de una plataforma (ROSELL, 1988). Las estructuras de corriente son muy frecuentes en la base de los estratos de arenisca y regionalmente muestran un patrón en abanico. La Formación Jaizkibel se originó por acumulación de material detrítico en la desembocadura de un profundo cañón submarino (KRUIT et al., 1972). El hecho de que la granulometría de las areniscas sea más gruesa hacia la parte alta de la secuencia, a la vez que aumenta



Formación de túneles y sistemas de incipientes pseudocuevas sobre fracturas y planos de estratificación. Puede apreciarse también otros detalles morfológicos: concavidades, nódulos, formas alveolares, vetas y dibujos laminares en la estructura primaria de las areniscas, puestos al descubierto al progresar la erosión eólica y la meteorización superficial. Las paredes claras están en avanzado estado de "arenización" o desagregación por pérdida del cemento intergranular, mientras que en la superficie que corona los estratos (superficies grises) la roca es sólida, muy compacta y resistente.



Abrigos y nichos o pequeñas grutas con numerosas geofomas. En la foto superior, alveolos en forma de hojaldres o celdas tipo panal de abejas. En la foto inferior delicados y extraños cortinajes, tanto adosados como separados de la pared (observe el brazo de la persona tras ellos) con morfología de cuerdas entrelazadas o ramas coralinoideas. El residuo de la meteorización en el suelo de los abrigos es un relleno de arena suelta. En la parte más externa y más expuesta a la intemperie se presentan numerosas pequeños alveolos en roca compacta. Nótese que algunos de estos abrigos están situados a cierta distancia y altitud con respecto al nivel del mar.



Tubos, agujeros y perforaciones en bóvedas y paredes de grutas y abrigos. En la foto superior un agujero en el techo (de 40 cm de diámetro) entrelaza dos abrigos superpuestos. En la inferior izquierda varios agujeros y perforaciones comunican la pared lateral de un abrigo con la superficie externa (nótese la arena del suelo, producto de la desagregación de la roca). En la foto inferior derecha la bóveda del abrigo posee numerosas perforaciones, tubos y agujeros que lo comunican con la parte externa; la superficie exterior, de tonos grises, es compacta, mientras que el interior del abrigo, de tonos ocres, presenta paredes en avanzado estado de "arenización".



Abrigos en forma de concha, de distinto tipo, con concavidades internas menores. En la superficie interior de los abrigos la roca está meteorizada y se desagrega con facilidad en arena. En la foto superior, un amplio abrigo poco profundo, con su interior meteorizado y protegido por la sólida parte externa, que lo rodea casi formando una cáscara. En la foto inferior la arenisca es de tonos ocres y rojizos, con depósitos de arena rosada en el suelo del interior del abrigo. Puede apreciarse un zorro que tiene su madriguera en una pseudo cueva entre los bloques del fondo del abrigo.

progresivamente el espesor de los bancos, indica que se trata de la parte media de conos de deyección submarinos; los fósiles hallados, claramente rodados, llevan a concluir que la acumulación se debió verificar a una profundidad variable entre 1.000 y 4.000 m, habiéndose depositado los materiales arenosos por corrientes de gravedad (CAMPOS, 1979).

La distribución de los materiales en el fondo de la cuenca Eocena adopta la forma de enormes conos de deyección. Las descargas, procedentes del N, coexisten con aportes turbidíticos axiales alimentados desde el E, pero éstos son reordenados por las imponentes masas de arenas aportadas por los cañones submarinos (CAMPOS, 1979). Este autor distingue en el área de estudio dos grandes conos de deyección submarino, uno oriental (sector del monte Jaizkibel), que comenzaría a formarse al final del Paleoceno superior y continuaría recibiendo aportes durante todo el Eoceno inferior, y otro, occidental (entre San Sebastián y Zarauz), cuya base se sitúa en el Eoceno inferior; aparte de estos dos es posible que existieran algunos otros menores, responsables de algunas otras intercalaciones de areniscas que se encuentran en el Flysch de Gipuzkoa.

Para VAN VLIET (1982) y ROSELL et al. (1985) es a finales del Eoceno inferior cuando los aparatos deltaicos alcanzan dimensiones mayores, al mismo tiempo que tanto las paleocorrientes como su composición petrográfica revelan ya una cierta influencia del área fuente, aunque se desconocen las plataformas de las cuales derivan los sistemas turbidíticos. La cuenca eocénica corresponde a un surco alineado de E a W donde las facies distales (profundas) se sitúan en la parte occidental (País Vasco). La cuenca del País Vasco es no obstante la peor conocida en la literatura geológica. Se desconoce actualmente donde se hallaban situadas las plataformas deltaicas, cuya destrucción y resedimentación originaría las turbiditas eocénicas del Arco Vasco. Por tratarse del sector de cuenca más abierto al océano, es probable que estas plataformas se hayan destruido por completo, lo cual al mismo tiempo explicaría el considerable desarrollo de sus sistemas turbidíticos (ROSELL, 1988).

PSEUDOKARST EN ARENISCA

Conviene precisar en primer lugar nuestra elección del término pseudokarst para el conjunto de formas que describiremos a continuación.

En la terminología clásica (HALLIDAY, 1960; GEZE, 1973; MONROE, 1970) se entendía que los *fenómenos kársticos* eran aquellos debidos a la disolución de rocas geológicamente solubles (como caliza y yeso) por las aguas cargadas de CO₂; mientras que los *fenómenos pseudokársticos* eran producto de acciones físicas (desintegración termoclástica, etc.) y químicas (hidrólisis de feldspatos, etc.) en rocas insolubles o muy poco solubles, como granito, gneis, esquistos y lavas, las cuales presentan formas análogas a aquellas de terrenos kársticos, como lapiaz, cavernosidades, etc. El término pseudokarst ha sido usado también para la descripción del lapiaz, campos de torres y formas relacionadas en cuarcita y arenisca; sin embargo, las formas tipo lapiaz no deben ser consideradas formas kársticas, bien se trate de rocas carbonáticas o silíceas (MARTINI, 1982); ellas son formas de superficie que pueden participar o no en el desarrollo de la topografía kárstica; el karst se caracteriza esencialmente por la desaparición de la morfología asociada al drenaje de superficie. Más aún, las formas tipo lapiaz pueden ocurrir en prácticamente cualquier roca, incluso basalto o granito (HOLMES, 1965; URBANI & SZCZERBAN, 1975). De igual modo, formas de disolución pueden presentarse en todo tipo de roca, sean estas más o menos solubles (GALAN, 1991).

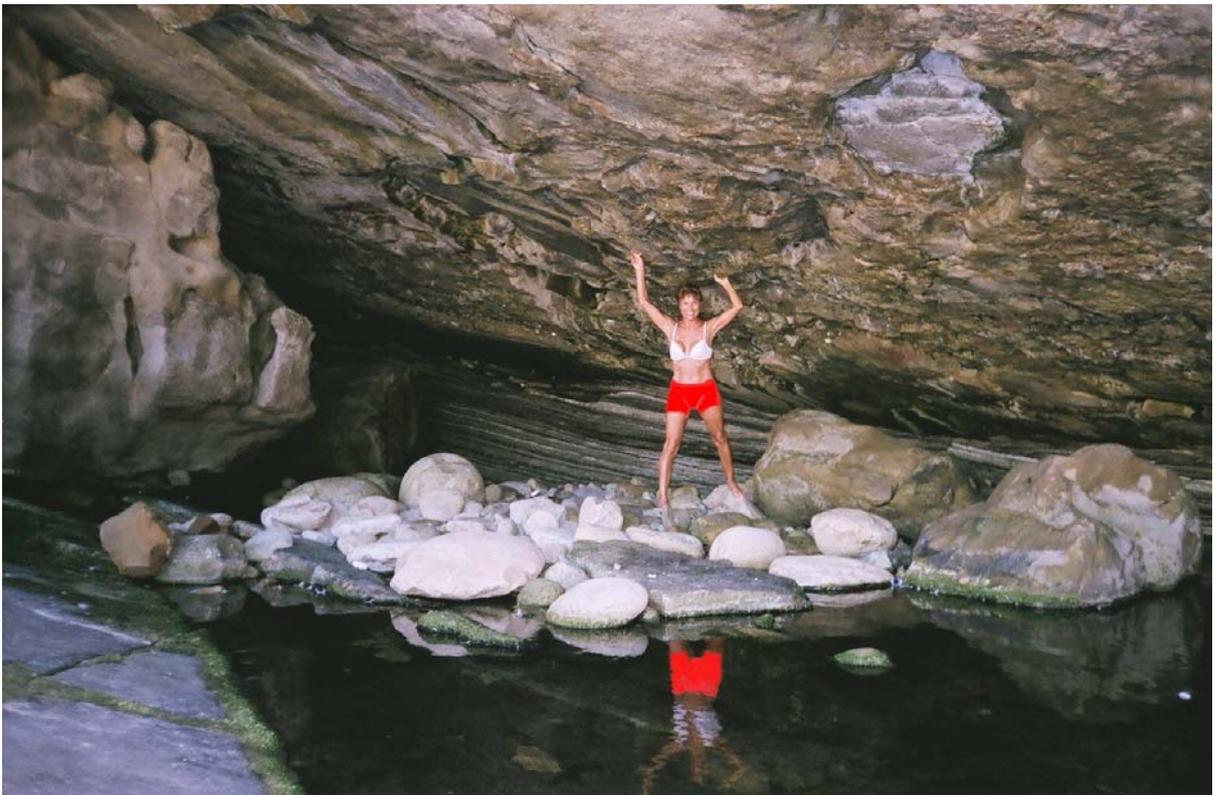
El karst se caracteriza por constituir un sistema de drenaje subterráneo, en el que intervienen procesos hidrogeológicos que generan una estructura subterránea y a la vez una morfología de superficie asociada (BAKALOWICZ, 1982). Lo esencial del karst reside en que se logre establecer un sistema de drenaje subterráneo que a la vez ocasione la desaparición más o menos completa del drenaje superficial, independientemente de la solubilidad de las rocas involucradas (GALAN, 1991). Las formas de superficie pueden ser consideradas kársticas o pseudokársticas en función de si existe o no un karst desarrollado.

En las últimas décadas, y particularmente con el progreso del conocimiento del karst en cuarcita (URBANI, 1981, 1986; GALAN & LAGARDE, 1988; GALAN & HERRERA, 2005, 2006), ha sido puesto de relieve que en el caso de rocas silíceas, como las cuarcitas del Grupo Roraima, en Venezuela y Brasil, pueden coexistir extensas zonas sin karst (con drenaje normal) junto a áreas locales intensamente karstificadas (con sistemas de drenaje subterráneo), mientras que las formas de superficie pueden ocurrir sobre ambas.

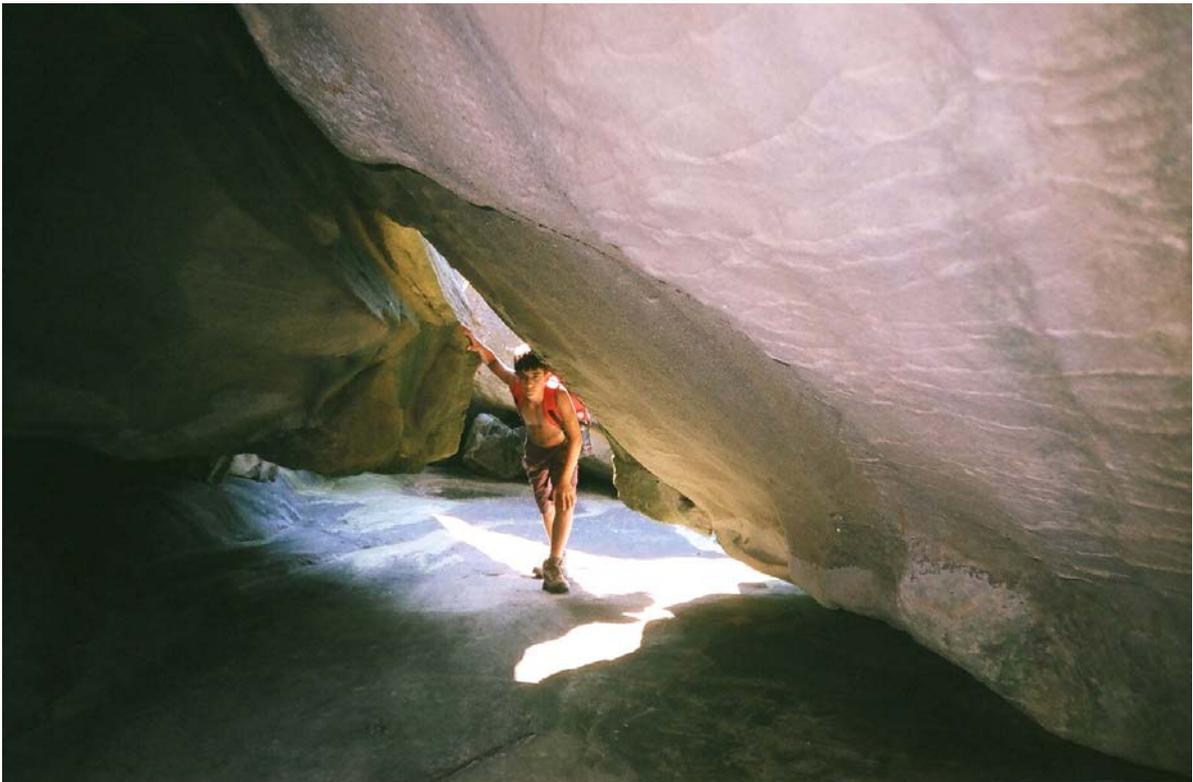
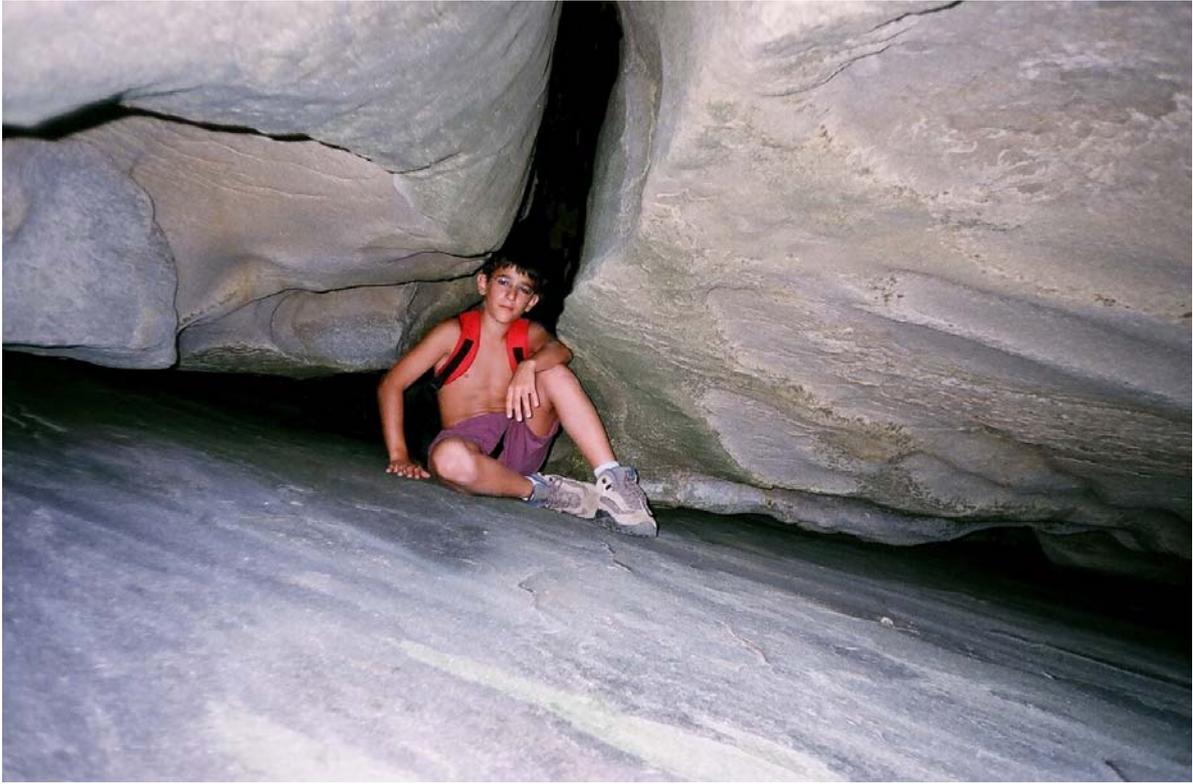
Nuestro caso se asemeja en varios aspectos al karst en cuarcita; tanto las areniscas de la Formación Jaizkibel como las cuarcitas del Grupo Roraima están compuestas mayoritariamente (más del 80% hasta el 96%) por granos de cuarzo, residiendo la principal diferencia en que la matriz o cemento intergranular es carbonático en el primer caso y silíceo en el segundo. La disolución puede verse facilitada en las areniscas, pero la remoción del material por disolución está restringida en ambos casos al 10-20% del volumen de roca; lo cual contrasta claramente con el karst clásico en caliza, donde la disolución generalmente afecta al 80% o más del volumen de roca. En la arenisca de la Formación Jaizkibel existen pequeñas cuevas y abrigos, numerosas macro y microformas de superficie, pequeñas circulaciones subterráneas, manantiales, etc., pero están faltando auténticas redes de drenaje subterráneo y cavernas asociadas. La morfología y topografía de superficie puede decirse que es normal. Por todo lo cual nos parece preferible utilizar el término pseudokarst. No obstante, somos de la opinión de que algunas geoformas resultan notables y originales en muchos sentidos.



Escarpes frontales y laterales que presentan los estratos de arenisca del flysch costero Eoceno. Los escarpes presentan numerosos abrigos, grutas y oquedades. En la foto inferior, un estrato resistente forma una laja litoral, en plano inclinado (siguiendo el buzamiento), donde descansan centenares de gaviotas. Los estratos superiores forman un escarpe vertical, de una decena de metros de alto, en retroceso por la acción de desgaste del oleaje y la erosión marina.



Amplio abrigo de erosión marina. La erosión marina ha desgastado delgados niveles intercalados de lutitas, de 2 m de potencia, formando un abrigo de más de 20 m ancho y 8 m de fondo, soportado entre estratos más resistentes de arenisca. Se puede observar en la imagen inferior grandes bloques redondeados por acción del oleaje en marea alta.



Sistemas de pequeñas cuevas, túneles, y corredores formados a expensas de los planos de debilidad de la roca. Las cavidades se desarrollan sobre diaclasas que fragmentan un estrato grueso superior y su intersección con un plano de estratificación. Un estrato resistente inferior, no fracturado, constituye el suelo.



Pequeñas grutas y oquedades formadas en la parte externa de una cornisa en un acantilado costero. La cornisa se desarrolla sobre un plano de estratificación y el estrato superior posee numerosas oquedades y alveolos producto de meteorización superficial y erosión eólica-hídrica. El acantilado externo alcanza más de 20 m de desnivel. Muchos abrigos poseen una parte interna más amplia que la boca de acceso (foto inferior), con laterales que a menudo presentan ventanas, agujeros y puentes de roca, que comunican el interior con la parte externa del escarpe. El diseño y colorido de los dibujos internos es llamativo. Nótese los depósitos de arena suelta, disgregada de las superficies internas, sobre repisas y suelo.

DESCRIPCION DE LAS FORMAS PSEUDOKARSTICAS

Estas comprenden un conjunto de formas de superficie y algunas otras parcialmente subterráneas, las cuales pueden ocurrir de modo independiente o asociadas. Separamos a efectos descriptivos las siguientes:

1. Abrigos de erosión marina. Existen de diversos tipos. Son formados por erosión marina, la cual actúa desgastando los estratos blandos (de lutitas y margas) o los planos de estratificación. Pueden llegar a formar abrigos amplios, de hasta más de 10 m de anchura y profundidad, y 2-3 m de altura, estando el techo y el suelo soportado por estratos resistentes de arenisca. En ocasiones interviene también la meteorización de los niveles de lutitas por corrientes de agua y flujos laminares que se infiltran entre los planos de debilidad de la roca. Se localizan en la orilla del mar, hasta donde alcanza la acción del oleaje.

2. Abrigos de erosión eólica-hídrica. Estos suelen localizarse a cotas más altas que los anteriores, fuera del alcance de las olas, desde 20 m hasta más de 250 m snm. Generalmente se presentan en la base de escarpes rocosos prominentes. Forman abrigos relativamente amplios (5 a 10 m de ancho y alto) pero de escasa profundidad (en torno a 2-4 m de fondo). En las superficies interiores de los abrigos se presenta la roca superficialmente arenizada, con los granos de cuarzo casi sueltos o que se desprenden por fricción con facilidad. Las superficies externas son en cambio sólidas, bien cementadas, a veces formando una especie de cáscara que protege la friable superficie interna. El color de la roca arenizada del interior de los abrigos es de tonos claros (blanco, ocre, rosado, anaranjado, amarillento, rojizo) y contrasta con el color gris de la roca externa. Presentan numerosas geoformas. Sus suelos están generalmente cubiertos de rellenos de arena fina producto de la meteorización de la roca.

3. Geoformas en abrigos. Las más comunes son formas alveolares o celdas tipo "panal de abejas"; recuerdan a los "tafoni" que presentan las areniscas en zonas áridas o desérticas, sometidas a la acción del viento. Su diversidad es enorme: existen pequeños alveolos, concavidades, formas con aspecto de panales de abejas, hojaldres (= box-work), formas coraloides y delicados cortinajes cordados, que recubren gran parte de su interior. Existen también concavidades y cúpulas (asociadas o no a la erosión de nódulos esféricos), agujeros, tubos, arcos y puentes de roca. Las formas cordadas parecen evolucionar por coalescencia de celdas: las quillas entre celdas van siendo perforadas a nivel de la pared, los agujeros se agrandan y acaban por dejar una trama con aspecto de cuerdas entrelazadas casi separada de la pared, la cual forma delicados encajes.

En las paredes internas se aprecian finos dibujos, debidos a la laminación y a la forma ondulada de las estructuras de corriente que contiene la roca, con líneas de distinto colorido. Los dibujos son muy diversos y de gran belleza estética. Existen también vetas, con silicificaciones locales y mayor contenido en hierro, según muestran los análisis hechos.

Las geoformas son más frágiles y disgregables en el interior de los abrigos y más compactas, cementadas y resistentes en sus bordes exteriores. Muchos abrigos no están orientados hacia el cuadrante NW, de donde proceden los vientos dominantes, sino por el contrario en las orientaciones más protegidas de la acción del viento, S y E. Por lo cual, aunque el viento puede intervenir en la remoción de los granos, la humedad atmosférica debe ser el principal agente de meteorización y alteración de la roca compacta. El interior de los abrigos es generalmente seco (o muy poco húmedo), por lo que la acción de películas o láminas de agua no parece comandar la alteración superficial y la excavación de formas.

4. Geoformas en paredes expuestas. En paredes expuestas a la intemperie, en escarpes verticales y grandes bloques de arenisca, pueden presentarse en menor grado formas parecidas a las anteriores. En estas predominan diversos tipos de alveolos, nichos, concavidades, grutas, nódulos en relieve positivo y formas semiesféricas producto del vaciado de los mismos. La roca superficial se presenta levemente arenizada.

También existen en algunas lajas de roca geoformas correspondientes a discos y pilares en relieve positivo, y numerosas microconcavidades. En la zona litoral expuesta al oleaje la arenisca experimenta un doble proceso: una disolución compleja por el agua de mar y una erosión mecánica por el choque de las olas (MAIRE, 1980). La zona supralitoral (= supratidal) está sometida a la acción de las salpicaduras de las olas; gracias a esta humectación, los microrelieves son muy acusados y llegan a constituir una especie de microlapiaz litoral.

Existen ejemplos de formas tipo copa, cubetas, vetas y láminas en relieve positivo, soportadas por silicificaciones locales que han resultado luego más resistentes a la erosión. También el hierro parece contribuir a la formación de estas cubiertas de espesor milimétrico. Esto sugiere que además de carbonatos de la matriz, la sílice y el hierro también pueden ser disueltos y removilizados, aunque sea en pequeñas cantidades.

5. Sistemas de fracturas, corredores y túneles. El buzamiento de los estratos y la erosión marina hacen que por descompresión se vea facilitada la apertura mecánica de fracturas. De este modo son generados escarpes y sistemas de fracturas abiertas. A expensas de esta red, y particularmente en la intercepción de diaclasas con planos de estratificación, pueden formarse sistemas de corredores, galerías y túneles, a veces cubiertos por bloques menores y parcialmente techados. Estos pueden incluir desde formas estructurales hasta otras retocadas y ampliadas por disolución y erosión.



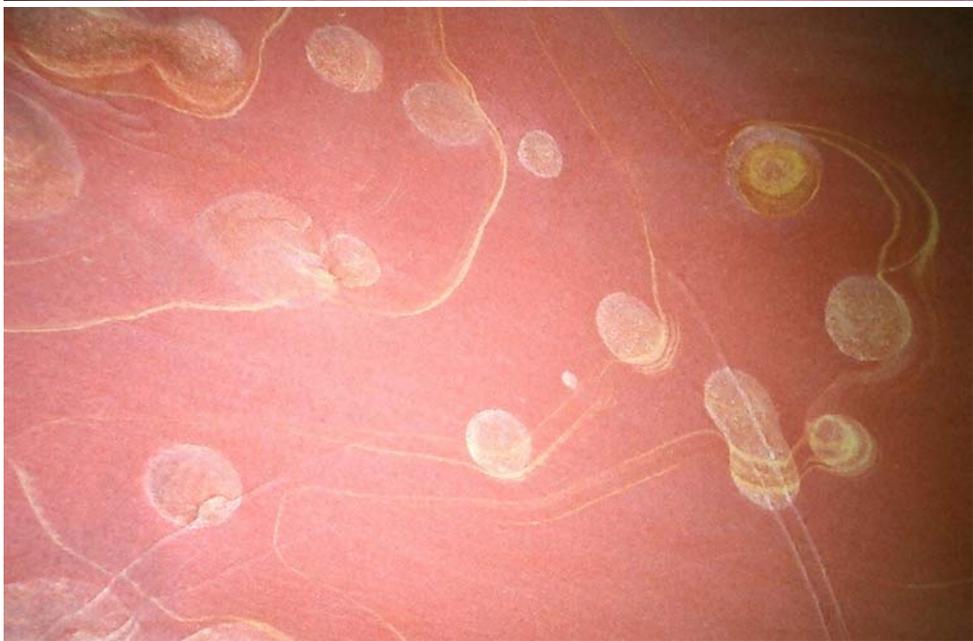
Relieve y vegetación del sector central de Jaizkibel. En la foto superior se aprecian los numerosos abrigos que se han formado a distintas alturas en los escarpes verticales de arenisca. Los grandes bloques sueltos del tope de la cresta también poseen infinidad de abrigos, grutas y formas de superficie.



Detalles de una pequeña gruta excavada en la parte superior de un bloque de arenisca. Nótese el monolito adyacente y abrigos inferiores con numerosas formas alveolares cubriendo sus paredes y techos. La gruta posee 2,5 m de diámetro interno. Se puede decir que la parte superior de la roca ha sido vaciada y sólo una delgada pared, a modo de cáscara, separa la gruta de la superficie externa.



Abrigos en arenisca de tonos rojizos, con curiosas geoformas en su interior. Contiene delicados dibujos, de distinto color, correspondientes a nódulos y finas laminaciones sinuosas, producto de corrientes de turbidez. El estrato superior contiene abrigos similares, pero en roca de color amarillo y naranja.



Detalles de los delicado diseños y coloraciones que adoptan las estructuras de corriente. El color de la roca caja en el interior de los abrigos contrasta fuertemente con las superficies grises externas.

6. Sistemas de cuevas. La disolución y corrosión a lo largo de fracturas y planos de estratificación ha generado sistemas de pequeñas cuevas y mesocavernas, algunas de ellas recorridas por hilos de agua que excavan marmitas y redondean el perfil de las secciones. Muchas cavidades de este tipo, de 10-20 m de desarrollo, se encuentran en la línea de costa, donde la diferencia de altura de las mareas (de hasta 4,5 m) y el oleaje contribuyen a la acción erosiva. Algunos ejemplos en Urberde (Igueldo) contienen redes de galerías subterráneas de varias decenas de metros de desarrollo, con zonas internas en oscuridad total (Figura 2).

En la zona central de Jaizkibel, a 60 m snm, localizamos una cueva hidrológicamente activa en el fondo de un vallecito recorrido por un pequeño arroyo. Su morfología es comparable a la de una cueva normal en caliza y su desarrollo total supera los 70 m. El caudal que recorre el valle se infiltra sobre un plano de estratificación. Inicialmente forma un abrigo (de 20 m de ancho, 5-8 m de fondo y 2 m de altura). Posee un lateral ascendente, de 10 m, por el que también ingresa algo de agua. Río abajo, el agua prosigue formando una cueva de 40 m de longitud. Esta galería en oscuridad (de 3 m de ancho x 1,5 m de alto) tiene suelos arenosos, y es recorrida por el río subterráneo hasta una obstrucción por colapso lateral de bloques. Se trata por tanto de una cueva-sumidero, formada por disolución y erosión.

7. Caos de bloques y cuevas de recubrimiento. Son simplemente cavidades y abrigos que quedan entre los espacios que dejan libres los grandes bloques desprendidos. Se sitúan preferentemente sobre un estrato resistente, en la base de los bloques. A veces están en continuidad con la parte externa de las cuevas, corredores y túneles antes citados (Ver Figura 2).

8. Pequeñas circulaciones subterráneas y surgencias. En las vaguadas y depresiones de algunas laderas las precipitaciones se infiltran y forman acuitards entre los materiales disgregados de la serie flysch. Pequeños volúmenes de agua circulan subterráneamente, a escasa profundidad con respecto a la superficie, y dan origen a manantiales en zonas más bajas. Dada la disposición monoclinial de los estratos, puede producirse infiltración y circulación de láminas de agua subterránea en muy diversos puntos y posiciones fisiográficas.

ORIGEN DE LAS FORMAS PSEUDOKARSTICAS

Los fenómenos descritos se desarrollan en los bancos más compactos de arenisca de la Formación Jaizkibel, donde los niveles de lutitas faltan o son muy delgados, reposando prácticamente unos estratos sobre otros. Se ubican en lajas costeras y escarpes de relieves prominentes. Se considera que los factores que han influido en la creación de estas formas son:

Meteorización química: Es el conjunto de procesos que disuelven, alteran y disgregan la roca, tornándola friable e incoherente, y facilitando la erosión y transporte posterior de los granos de cuarzo o fragmentos poco solubles de otros minerales. Actúa mayoritariamente sobre la matriz o cemento carbonático y en menor proporción sobre los granos silíceos. Varios procesos intervienen:

a) Disolución: La disolución de la matriz carbonática procede químicamente como en las calizas, por acción de las aguas meteóricas cargadas de CO₂ y ácidos del suelo. Pero además de actuar a través o a partir de discontinuidades de la roca (diaclasas y planos de estratificación), puede progresar intergranularmente. De este modo es disuelto el cemento. También puede ser disuelto cierto porcentaje de sílice. Aunque la tasa de solubilidad de la sílice es muy baja, lo interesante (como ha sido demostrado para el karst en cuarcita) es que su tasa de disolución es muy baja. Cuando el agua circula intergranularmente esta circulación es muy lenta debido a su viscosidad, y el agua puede permanecer subsaturada con respecto a la sustancia sobre cierta distancia sólo si la tasa de disolución es baja. Este es el caso para el cuarzo, pero no para la calcita (MARTINI, 1982). De este modo el cuarzo puede ser disuelto y evacuado en cierto porcentaje. Basta con que la disolución progrese hasta descohesionar los granos individuales de cuarzo para que entonces puedan ser removidos volúmenes mayores de roca.

La disolución del cemento carbonático es probada porque el residuo que queda en el suelo de los abrigos es de arena fina. La disolución parcial de la sílice, aunque no ha sido cuantificada, es probada porque también ocurre la reacción inversa de precipitación de sílice secundaria en vetas y geoformas en forma de láminas resistentes. No obstante, el volumen de material removido por disolución afecta a un porcentaje de roca mucho menor que en caliza, del orden del 10 al 20% del volumen total.

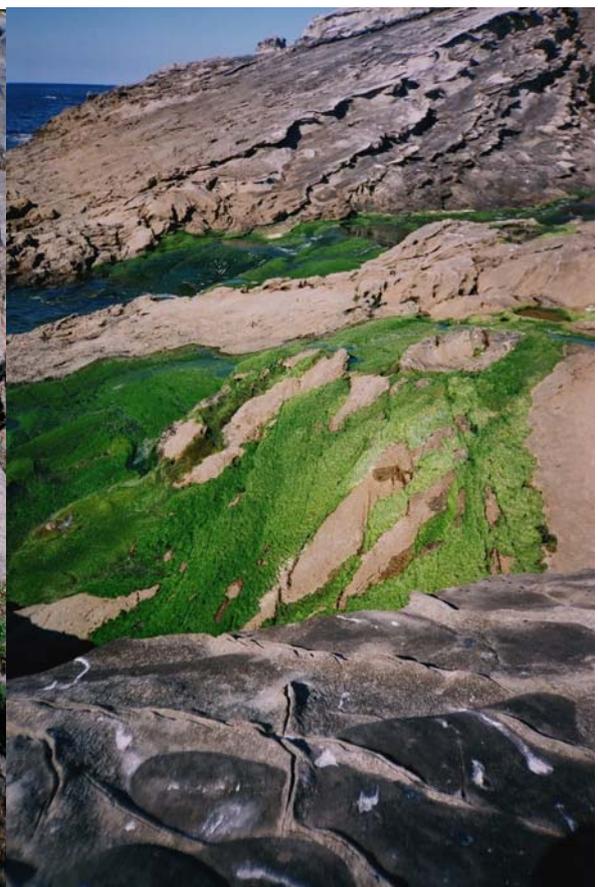
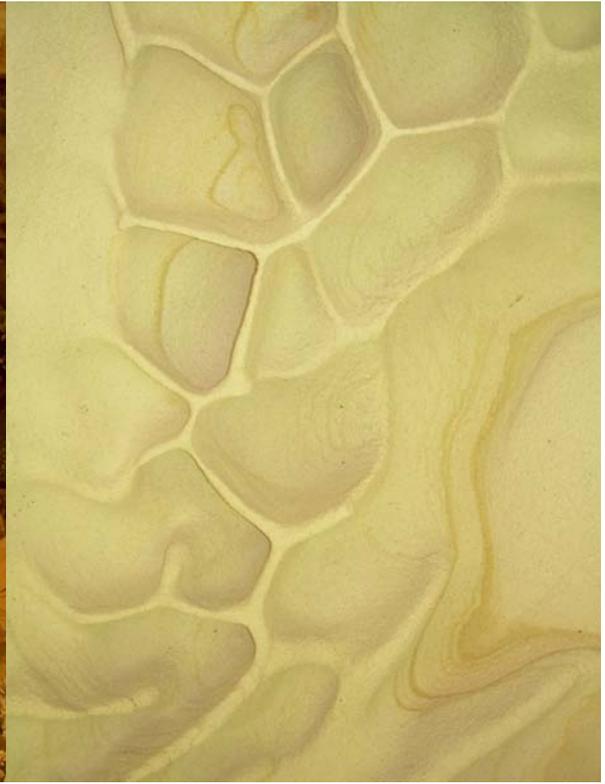
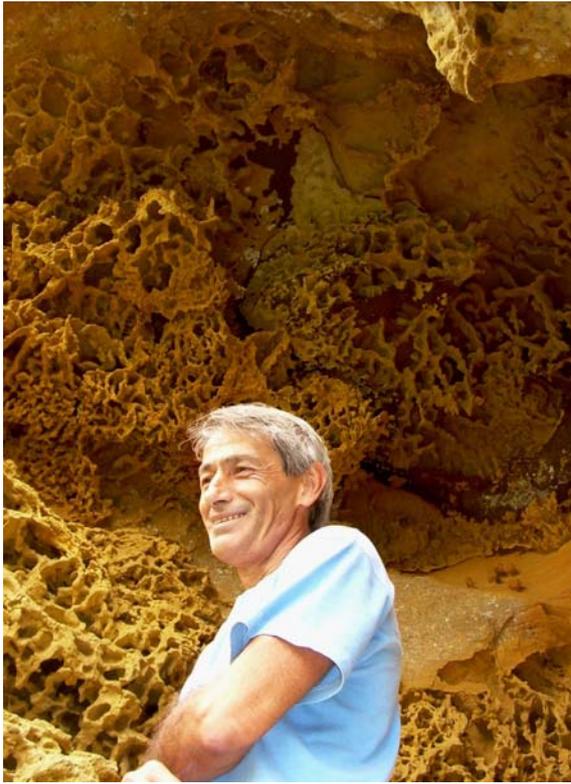
Las formas alveolares son muy diversas. Las de menor tamaño recuerdan a los tafoni, pero las que poseen grandes tabiques delgados y diseño poligonal son llamadas en la literatura inglesa "box-work" y usualmente se deben a vetas más resistentes que han quedado expuestas al erosionarse la roca caja; en este caso lo más probable es que haya habido silicificaciones a lo largo de fracturas, lo cual endureció esa parte de la roca, mientras que todo el resto es arenizado con más facilidad. La formación de alveolos y celdas en panal de abejas debe incluir fases de humectación, durante las cuales la disolución progresa, y fases de desecación o evaporación de las soluciones intergranulares, las cuales entonces permiten la retracción y formación de mallas de material recementado o no-disuelto; estas redes serán la base para que progrese la creación de quillas entre celdas. No obstante, además de la humectación-desecación, pueden influir otros factores, como:



Estratos de varios metros de potencia de arenisca de la Formación Jaizkibel, de distinta coloración. Los escarpes verticales que forma cada estrato en el flanco de un valle longitudinal poseen gran número de abrigos, de hasta más de 10 m de anchura, con multitud de geoformas. En la imagen superior puede apreciarse la surgencia de láminas de agua subterránea que manan de un plano de estratificación y deslizan sobre la laja costera, en época seca.



Cueva-sumidero de 70 m de desarrollo, formada por disolución. Un pequeño arroyo superficial ha disuelto la roca, a expensas de un plano de estratificación. Las aguas han excavado un amplio abrigo lateral, de 20 m de longitud (arriba), y luego forman una caverna, con una pequeña galería recorrida por la corriente subterránea. Las bóvedas poseen películas milimétricas de varios colores; incluyendo calcita y otros minerales secundarios.



Geoformas en abrigos y en el relieve externo. Arriba izquierda: red de pequeños alveolos tipo panal de abeja. A su lado, celdas amplias (20 cm de ancho y 5 cm de profundidad) separadas por aristas delgadas. Abajo izquierda: formas tipo cubeta, con silicificaciones milimétricas en relieve positivo. A su lado, formas similares, con una doble quilla, separando cubetas de color oscuro, a la orilla de uno de los múltiples arroyos que desaguan directamente al mar; las zonas verdes son tapices de algas litorales.



Algunos bloques forman auténticos cascarones huecos. Los abrigos y pequeñas grutas sólo están separados de la superficie externa por una delgada pared de roca, cementada y resistente. Su interior, con roca superficialmente arenizada, presenta numerosos dibujos y delicadas geoformas.

anisotropía de la roca; variaciones litológicas y texturales; variaciones en insolación y térmicas; haloclastia (= disgregación debida a sales aportadas por el aire húmedo); etc. Probablemente no haya un modelo simple que explique la diversidad de formas y no son conocidos los equilibrios geoquímicos y dinámicos que intervienen en la desagregación diferencial de la roca.

b) Alteración de los minerales: Los feldespatos y micas, incluidos en la arenisca en cantidades minoritarias, están expuestos a una alteración relativamente rápida, produciendo minerales de la arcilla. Estas fracciones finas son removidas con facilidad. Aunque se trata de un pequeño porcentaje, en relación al volumen de granos de cuarzo, la alteración de otros minerales contribuye también a la meteorización de la roca.

c) Procesos bioquímicos: Las superficies de arenisca expuestas tienen un color gris característico, debido a que están recubiertas por finas películas de diversas formas de vida (líquenes, algas, bacterias, etc.) las cuales posiblemente tengan también cierta influencia en la alteración de los minerales. Adicionalmente los suelos y vegetación que cubren a la arenisca, con cierta capacidad de almacenamiento de agua, aceleran los procesos de descomposición de la roca: al prolongar la presencia de agua, al producir ácidos orgánicos y por el efecto físico de desintegración debido a las raíces. Este conjunto de procesos, que actúan en la superficie, promueven la alteración de la roca y su ataque por otros agentes erosivos.

Erosión mecánica o Corrosión: Este fenómeno consiste en la erosión mecánica producida por el agua, especialmente cuando acarrea fragmentos de roca. La roca desagregada por meteorización química deja fragmentos casi sueltos que pueden ser removidos por las aguas de lluvia (y por las olas) que se infiltran a través de diaclasas y planos de estratificación. De este modo se van ampliando las fracturas y discontinuidades, por erosión mecánica. La erosión marina, que en el litoral del Mar Cantábrico es muy potente, puede desplazar fragmentos y bloques de roca de gran tamaño; su acción redondea las rocas sueltas y contribuye a la erosión de superficies y cavidades abiertas.

Procesos clásticos: Ya ha sido indicado que la descompresión de los estratos de roca en la vecindad de vacíos y escarpes facilita la apertura mecánica de fracturas y el colapso de bloques. La meteorización química a lo largo de planos de debilidad de la roca también contribuye a ello.

Erosión marina: Las mareas, vientos y fuertes olas impulsan repetidamente agua marina hasta cotas de 15 a 20 m snm. En la franja litoral las rocas son sometidas a una disolución compleja por el agua de mar y a una erosión mecánica por el choque de las olas (y las rocas que estas desplazan); la erosión socava los estratos más débiles y erosiona y recorta el litoral.

Erosión eólica: La distribución de los abrigos y paredes de arenisca meteorizada y con geoformas, sugiere que la acción del viento es indirecta. En este caso, con clima húmedo, no se trata del proceso clásico de tafonización, en el cual el viento transporta partículas de arena que impactan y erosionan las superficies rocosas. Creemos que el viento puede actuar en cierto grado por deflacción en el desprendimiento de granos de cuarzo de superficies ya arenizadas y descohesionadas, o también cuando su empuje hace circular los depósitos de arena del suelo de oquedades y abrigos. Pero su efecto mayor parece residir en que puede aportar humedad atmosférica que permite proseguir la disolución intergranular de la arenisca.

De hecho, aparte de las ya señaladas vetas de sílice secundaria, no hemos observado espeleotemas, lo que podría esperarse dado que el cemento es carbonático. Más bien, el hecho más llamativo es que la roca más arenizada se encuentra en el interior de los abrigos. El viento y la insolación en superficie pueden promover la evaporación de agua, y por tanto el cese de la meteorización química, mientras que el interior de los abrigos no está expuesto a estos efectos y el aporte de aire húmedo dificulta la evaporación e interrupción de los procesos de disolución intergranular y arenización de la roca. De todos modos no están claros los equilibrios responsables de estas situaciones ni de las geoformas encontradas. Sí parece claro que la acción del viento interviene en redondear y suavizar algunas superficies y formar nichos, arcos y puentes de roca.

Factores conjugados: Todos los factores mencionados pueden actuar simultáneamente o combinándose varios a la vez. Con los conocimientos presentes no es posible cuantificar la importancia relativa de cada uno de ellos.

FAUNA SUBTERRANEA

Las prospecciones efectuadas en los sistemas de cuevas excavados en la arenisca del flysch Eoceno han revelado que diversos organismos habitan las zonas oscuras de galerías y mesocavernas, algunas de ellas recorridas por pequeños ríos subterráneos y caudales de agua dulce. Los abrigos superficiales, en cambio, aunque resultan notables por sus geoformas, son de ambiente seco, desprovistos de fauna. Así que nos referiremos exclusivamente a las cuevas de tipo 6.

La fauna acuática de agua dulce hasta ahora identificada incluye hirudíneos Gnatobdellida Herpobdellidae: *Herpobdella* sp.; y crustáceos anfípodos Gammaridae: *Echinogammarus berilloni* Catta. Seguramente habrá muchas otras especies de microfauna (cladóceros, ostrácodos, copépodos, etc.), pero ésta no ha sido objeto de estudio.



Espectaculares geofomas, en el interior de abrigos, estéticamente de singular belleza. Las fotos cubren áreas de más de 2 m de ancho x 1,5 m de alto. Nótese la diversidad de diseños alveolares y en cúpulas coalescentes.



Espectaculares geoformas en paredes externas. Sobre un estrato de arenisca rosada la erosión por los agentes atmosféricos ha esculpido surcos, pilares, nódulos en relieve positivo, concavidades, arcos y puentes de roca, con los más extraños diseños, de sorprendente belleza.



Veteado de la roca, alveolos y celdas, en el interior de abrigos y pequeñas grutas. Escala de las fotografías: 2 m de ancho. Nótese en la foto inferior la delgadez que alcanzan algunas costillas entre celdas tipo box-work (su espesor es de milímetros y su profundidad de más de 20 cm). Puede apreciarse pequeños depósitos de arena en la parte interna de las celdas.



Ejemplos extremos de alveolos formando un auténtico hojaldre. Se trata de una gruta formada por la unión de tres abrigos en coalescencia, los cuales vacían casi completamente un peñón de roca de varios metros de diámetro. Las fotos muestran lados opuestos de dos de las cavidades que perforan el peñón y comunican entre sí. Externamente la roca es un cascarón resistente. Nótese la delgadez y profundidad de las láminas o costillas que separan los alveolos del lado inferior izquierdo.



La diversidad de diseños y coloridos en el interior de grutas y abrigos es enorme.
Un pseudokarst en arenisca, con espectaculares detalles.



Grueso banco de areniscas rosadas intercalado entre otros de color naranja claro. Se aprecian nódulos de coloración clara, laminaciones y oquedades producto del vaciado de otros nódulos. En superficie la roca es gris.

En cavidades en la zona intermareal son muy abundantes los crustáceos cirrípedos Thoracica: *Pollicipes cornucopia* (percebes), varias especies de Decapoda (cangrejos): *Pachygrapsus marmoratus* (Grapsidae), *Portunus puber* (Portunidae); y moluscos marinos, como: lapas *Patella vulgaris* (Patellidae), diversos caracoles litorales (Trochidae, Turbinidae, Littorinidae), mejillones *Mytilus edulis* (Mytilidae), etc. En realidad se trata de fauna común del litoral rocoso marino, y no puede considerarse cavernícola, ya que no presenta adaptaciones para la vida hipógea. No obstante penetra algunos metros en zona de penumbra, y en el caso de los percebes y cangrejos incluso en zonas de oscuridad acentuada.

Por encima del nivel de marea alta, en galerías en zona oscura (Figura 2), hemos hallado una fauna litoral compuesta por: moluscos prosobranquios (*Littorina*, *Thais*); poliquetos perforantes Terebellidae (*Terebella lapidaria*) y algunos más raros poliquetos errantes Nereidae; isópodos Sphaeromatidae (*Sphaeroma serratum*) y Ligiidae (*Ligia oceanica*).

En el ambiente terrestre, en zona de penumbra, hemos observado diversas especies troglóxenas de dípteros, opiliones y araneidos. Este ambiente es progresivamente más oscuro e isotérmico a medida que se profundiza. En galerías en oscuridad total hemos hallado representantes terrestres tales como: isópodos Oniscidae *Porcellio scaber*, pseudoescorpiones Neobisiidae *Neobisium maritimum* (Leach), y colémbolos Neanurinae *Anurida*, cf. *A. maritima*. Este ambiente es equiparable al biotopo litoclásico en caliza y contiene una fauna transicional entre los biotopos epigeos e hipógeos. Estos últimos, en zona oscura, contienen galerías y mesocavernas, con ambientes acuáticos y terrestres, los cuales albergan algunas formas equiparables a la fauna troglófila, como pseudoescorpiones *Neobisium maritimum* y colémbolos *Anurida* sp.

DISCUSION Y CONCLUSIONES.

En los apartados anteriores hemos descrito un conjunto de abrigos, grutas y cuevas en arenisca de cemento carbonático. Muchas de ellas con geoformas de características singulares.

Las formas alveolares descritas son en parte similares a los denominados "tafoni", un término ambiguo usado para describir alveolos en areniscas de la Isla de Córcega, pero posteriormente utilizado para formas análogas en los más diversos tipos de roca: granitos, gneis, esquistos, conglomerados, rocas volcánicas (COOK et al., 1993; MUSTOE, 1982; SUNAMURA, 1992). Estas formas de micromodelado ocurren preferentemente en zonas áridas y desérticas, y también en zonas costeras de clima mediterráneo. Han sido propuestas distintas hipótesis para explicar su origen, tales como: erosión eólica; deformación mecánica de la estructura de la roca; zonas de debilidad textural; hidratación y haloclastia, por crecimiento de cristales de yeso y halita; alteración alveolar; etc. (BIROT, 1981; EDESO, 1988; MAINGUET, 1972; MARTINI, 1978; MUSTOE, 1982; TWIDALE, 1982). La diversidad de casos refuerza la idea de que los tafoni son una forma convergente de procesos de meteorización diferencial, dependientes de variables condiciones litológicas y ambientales.

La estructura de los tafoni en arenisca suele ser explicada por alteración alveolar (= alveolar weathering), la cual procede del modo siguiente: Durante la estación lluviosa, el agua penetra cierta distancia a través de la porosidad de la roca y disuelve a su paso parte del cemento carbonático. Cuando el agua se evapora de la roca durante la estación seca de verano, parte del carbonato disuelto es conducido hacia la superficie, donde forma una dura zona externa o duricrust. El proceso de evaporación causa que el carbonato remanente en el interior de la roca se distribuya desigualmente, dando lugar a áreas blandas y duras, con bajo y alto contenido en carbonato, respectivamente. Si la superficie externa de la arenisca es erosionada, fracturada o rota, las partes suaves del interior se erosionarán más fácilmente que las duras, formando cavidades y las formas alveolares de los tafoni. Las delicadas estructuras en "panal de abejas", con intrincados patrones laberínticos de aristas y celdas, resultan de las diferentes tasas de erosión de las áreas duras y blandas en el interior de la arenisca. TWIDALE (1982) ha sugerido una evolución en varias fases. Ocurre primero una fase de crecimiento de una cavidad. Le sigue otra fase, anisótropa, donde la desagregación progresa en pequeños dominios, dando lugar a la formación de alveolos o formas coalescentes. La fase siguiente es de paralización de la desagregación, por la alteración de las condiciones ambientales del tafoni, generalmente por la apertura de ventanas, rotura de paredes laterales y ampliación del abrigo, a veces seguida de la destrucción de los tabiques que forman los alveolos. En la última fase se produce la destrucción del tafoni por pérdida de resistencia del bloque tafonizado.

El modelo teórico expuesto proporciona una explicación general aplicable a distintos casos y litologías. En nuestro caso, bajo clima húmedo atlántico, más que de una alternancia de verano-invierno creemos que en la arenisca de la Formación Jaizkibel ocurren fases alternas de humectación y desecación, durante las cuales la disolución intergranular de la matriz progresa o se detiene. No está claro el grado de penetración intergranular de las soluciones, o el modo en que son evacuadas las mismas, ya que hay ejemplos de cortes frescos de estratos por fracturas mecánicas recientes que muestran roca totalmente compacta en su interior. La presencia de zonas parecidas a duricrust es también localizada y su distribución inhomogénea. Tampoco resulta claro en el modelo porqué las áreas cementadas y endurecidas superficiales resultan luego más resistentes a la meteorización, en el supuesto de que el material cementante sea sólo carbonático. Debido a la alta solubilidad de la calcita, debería esperarse una rápida disolución en subsecuentes fases húmedas. En el caso de grandes alveolos u hojaldres de tipo "box-work" parece más probable que la malla dura corresponda a silicificaciones locales.

Tal vez la mejor explicación para la formación de mallas resistentes resida en el tiempo de contacto entre el agua intergranular y la roca, factor dinámico que permite o no realizar las reacciones de disolución; según su tasa de renovación, el agua intergranular disuelve y evacua en cierto grado los minerales cementantes, descohesionando la roca. En la superficie,



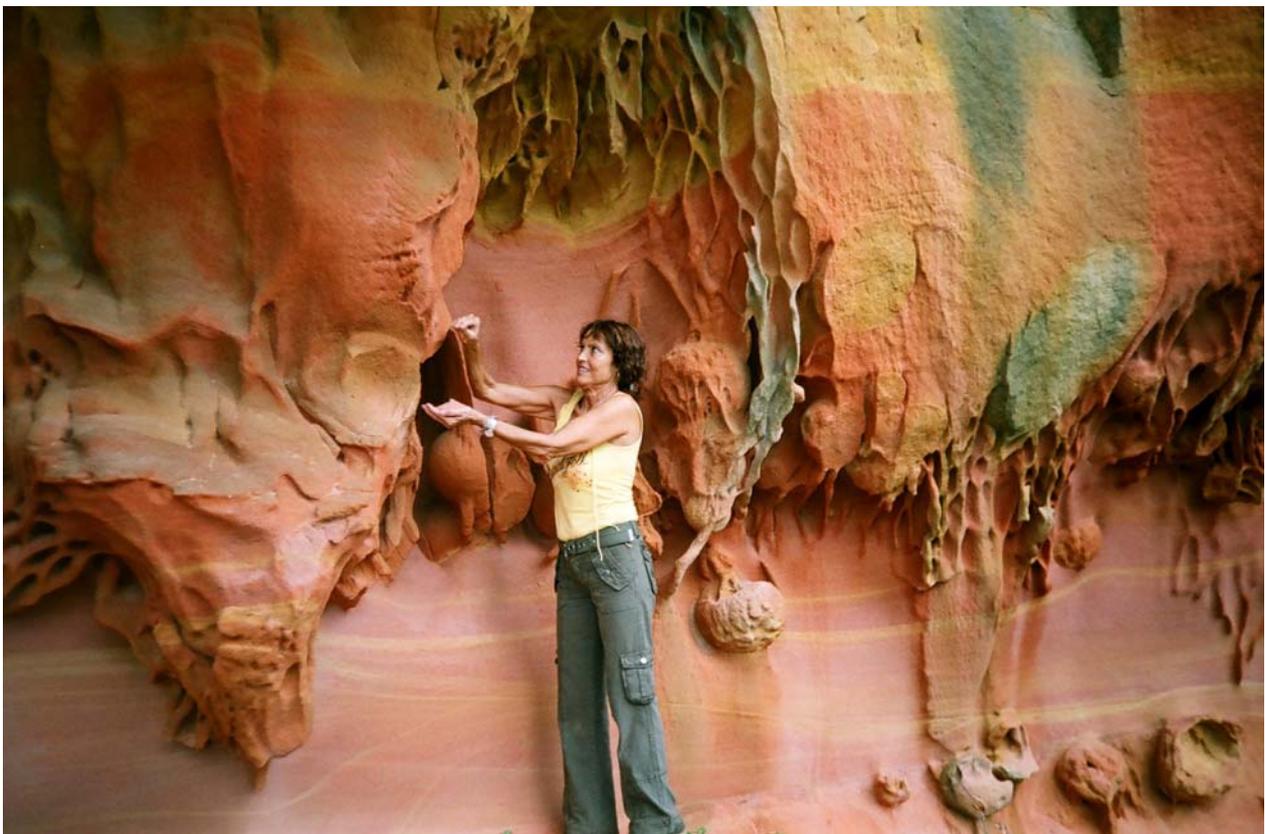
Escarpes verticales con sistemas de grutas, cuevas y abrigos. El acceso hasta algunos de ellos requiere escalada libre de cierta dificultad, debido a la verticalidad de algunos flancos, fragilidad de los salientes de roca arenizada y escasez de puntos de seguro. Algunos flancos superan desniveles de 25 á 40 m (foto inferior). Pero vale la pena el esfuerzo, porque muchas cavidades albergan geofomas de extraordinaria belleza estética (foto superior).



Abrigos superpuestos, escalonados en paredes verticales. Con numerosas geoformas, de colorido y morfología muy diversa, debido a la estructura primaria de la arenisca. Predominan formas tipo Box-work (formando paletas, hojaldres y redes laminares), pero también formas cordadas, discos y nódulos semiesféricos en relieve positivo.



Geformas en abrigos y grutas. Con diversidad de concavidades, aristas, celdas y laminaciones. Puede apreciarse depósitos de arena suelta, desprendida al progresar la meteorización de la roca.



Geofomas globulares y tipo box-work. De impactante efecto estético. Veteadas con laminaciones debidas a las estructuras de corriente de los sistemas turbidíticos, depositados a considerable profundidad en conos de deyección submarinos.

sometida a lluvia y evaporación intermitentes, la disolución es limitada a la lámina superficial. Adicionalmente pueden intervenir otros factores, como características litológicas y texturales de la arenisca adquiridas durante su diagénesis. Las evidencias de campo muestran la ocurrencia de una meteorización diferencial, con el resultado de una amplia gama y diversidad de geoformas (microlapias, formas alveolares tipo tafoni y box-work, oquedades de distinto tipo, abrigos, grutas y cuevas).

El agua de las soluciones puede proceder de la infiltración de aguas de lluvia, de agua retenida en los suelos y del aporte de masas de aire húmedo, que pueden contener cierta cantidad de sales por su proximidad al mar. La disolución, además de afectar al cemento carbonático, al progresar intergranularmente puede también disolver parte de la sílice de los granos de cuarzo y alterar cantidades minoritarias de feldspatos y micas, con la ocurrencia de reacciones geoquímicas complejas. Haría falta una detallada investigación para comprender los equilibrios químicos y dinámicos del proceso.

La rareza de características kársticas en arenisca, y más generalmente en rocas ricas en sílice, no es debida a la baja solubilidad de los minerales silíceos, sino al hecho de que la disolución procede intergranularmente. El proceso de arenización torna la roca compacta en friable, con los granos individuales de cuarzo casi descohesionados. Estos pueden entonces ser removidos fácilmente por acción del viento, aguas meteóricas y erosión marina. El resultado es un progresivo rebajamiento de superficie y no la formación de redes subterráneas.

Para que esto último ocurra deben actuar procesos que faciliten la creación de conductos y drenajes subterráneos, de modo que predominen sobre la erosión superficial. En el karst en cuarcita (y también en varios casos en arenisca) esto es logrado a través de tubificación o piping. A diferencia del karst en caliza, donde el 80% o más de la roca es evacuada por disolución, en el karst en cuarcita el mayor volumen corresponde a los granos de cuarzo removidos mecánicamente. Para que la remoción ocurra es necesario que actúen factores que permitan concentrar el flujo de las aguas subterráneas en una delgada zona. Normalmente esto es logrado por la existencia de alguna capa impermeable (karst de Black Reef & Wolkberg Group, Sudáfrica, in: MARTINI, 1982), por la existencia de niveles litológicamente débiles en la serie estratigráfica (karst en tepuys del Grupo Roraima, Venezuela, in: URBANI, 1981, 1986) o por una combinación de factores litológicos, hidrológicos y estructurales actuando conjuntamente (Sistema Roraima Sur, la mayor caverna del mundo en cuarcita, también en el Grupo Roraima, Venezuela, in: GALAN & HERRERA, 2005, 2006). Si la tubificación logra actuar, la excavación de sistemas de cuevas comienza entonces desde las surgencias y progresa subsecuentemente originando la topografía kárstica. Esta se caracteriza por la existencia de drenajes subterráneos y la desaparición casi completa del drenaje normal y su modelado de superficie acompañante. En el caso de la Formación Jaizkibel, el relieve en la región se muestra normal, con una red hidrográfica de superficie. No obstante hay innumerables ejemplos de pequeñas circulaciones subterráneas. Todo ello indica que las condiciones para la karstificación sólo se dan a pequeña escala, en la proximidad de superficie.

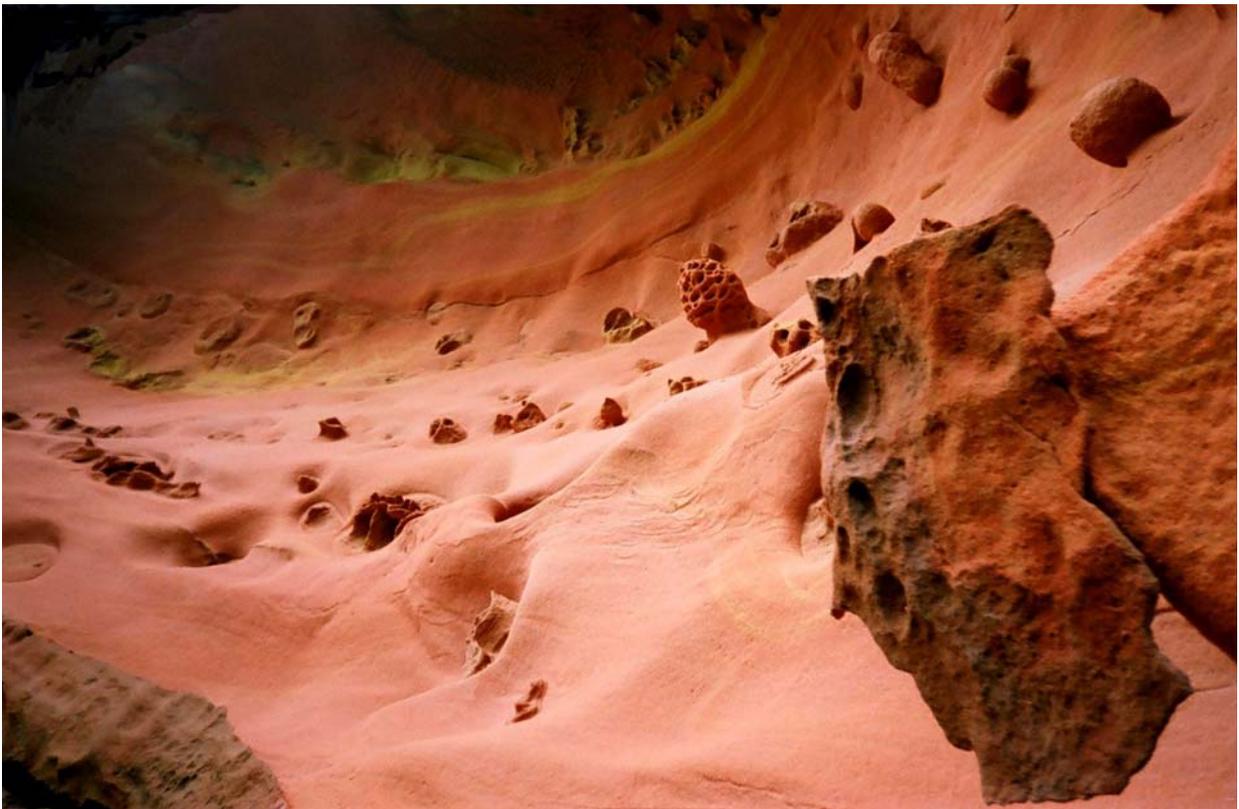
Las evidencias hasta ahora encontradas nos inclinan a considerar las formas descritas como un pseudokarst. Pero dejando abierta la posibilidad de que futuras prospecciones puedan poner al descubierto ejemplos localizados de cuevas mayores y circulaciones subterráneas de mayor extensión que las hasta ahora conocidas.

La fauna subterránea encontrada resulta también peculiar, por tratarse de ambientes litorales, con especies marinas, de agua dulce y terrestres, con al menos incipientes grados de preferencia y adaptación a los ambientes subterráneos someros (o transicionales) hasta ahora encontrados.

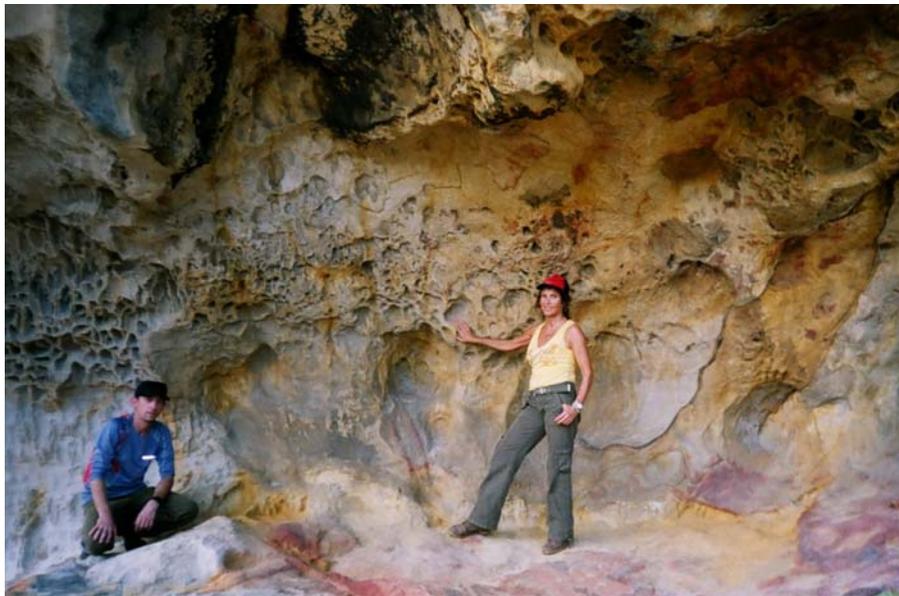
Si bien las grandes estructuras y formas que presenta la Formación Jaizkibel no se apartan de la morfología normal de los relieves en arenisca en otras partes del mundo, las pequeñas y variadas geoformas en abrigos y cavidades no dejan de constituir maravillas naturales, de gran originalidad y belleza estética, producto de la actividad modeladora de las fuerzas de la naturaleza sobre una también singular secuencia de imponentes masas de arenas aportadas por cañones submarinos a la cuenca Eocénica del Arco Plegado Vasco. Las fotografías que acompañan el trabajo son un pequeño exponente de ello. Consideramos en consecuencia que la región descrita en este trabajo incluye zonas de gran interés científico, geográfico y escénico, que sería conveniente conservar.

AGRADECIMIENTOS

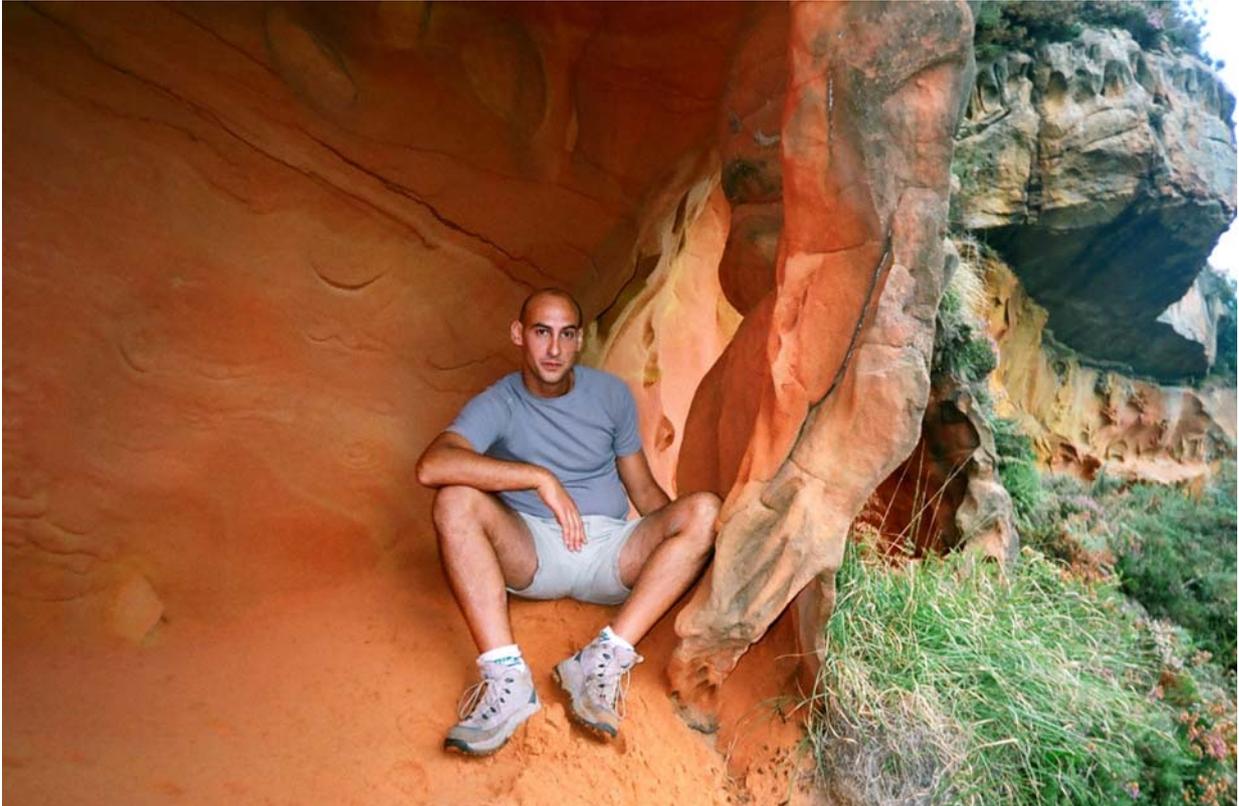
Agradecemos a Carlos Oyarzabal (SCA & Cementos Rezola - Italcementi Group) su colaboración en el análisis químico de varias muestras de la roca-caja. A Imanol Goikoetxea (SCA) y Franco Urbani (SVE) por sus observaciones y siempre útiles sugerencias. De modo especial agradecemos a Daniel Adrián Decon, por habernos acompañado desde hace años en salidas de reconocimiento en el litoral guipuzcoano y habernos indicado la existencia de algunos lugares prospectados durante el presente trabajo. Agradecemos también a todos los compañeros (de la SCA y colaboradores) que aportaron su contribución en alguna de las múltiples salidas realizadas, entre ellos a: Maider Carrascal, Pablo Roldan, Hugo Pérez Leunda, Carlos y Emma Oyarzabal, Malkoa y Gurea Zarandona.



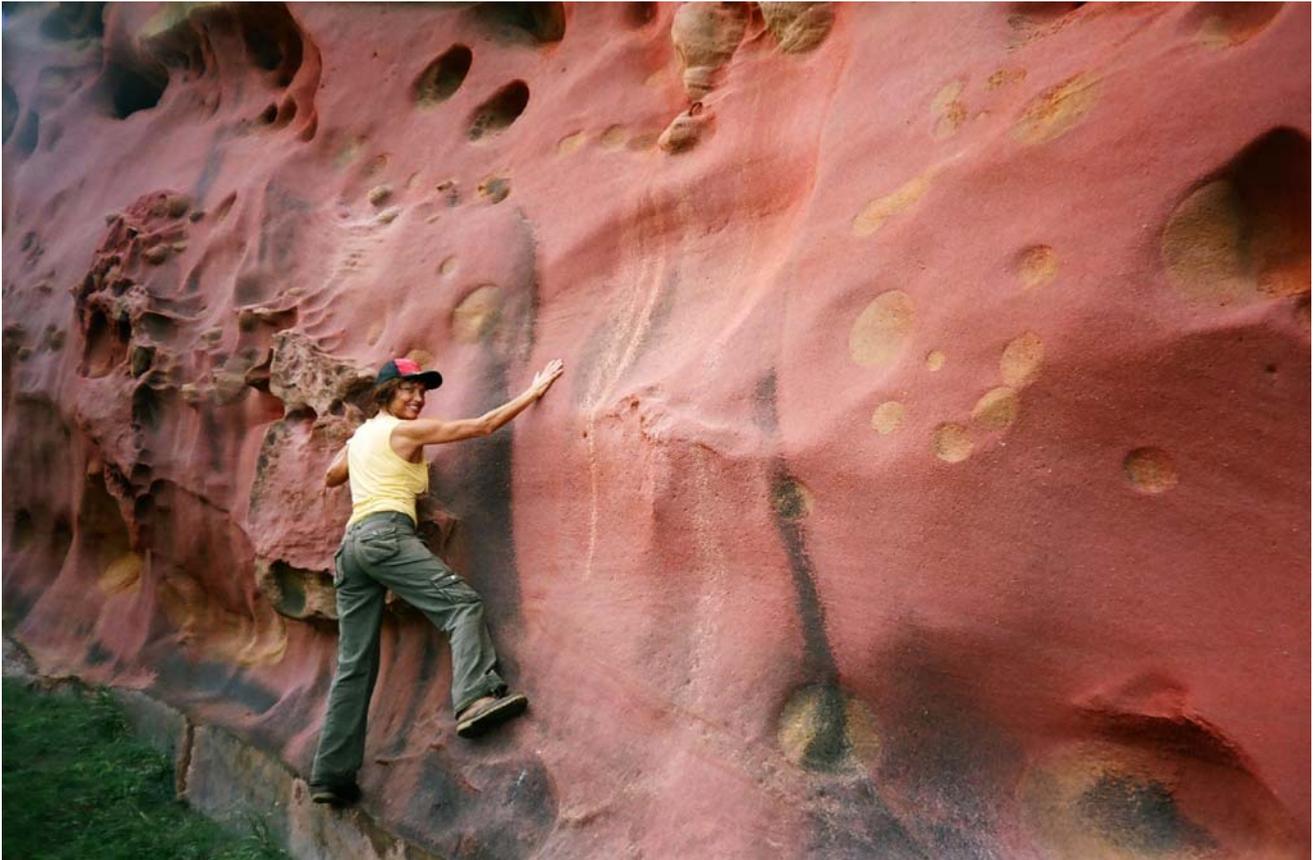
Detalles de geoformas en arenisca rosada, en el interior de cuevas. En la imagen superior, mallas tipo box-work, nódulos y laminación disturbada (= convoluted beds). En la inferior, diversos nódulos han quedado en relieve positivo, algunos de ellos (como el central, en forma de fresa) con progresiva formación de alveolos. Escala de las fotos: 2 m de ancho.



Bloques tafonizados, con diversidad de geofomas. Muchos bloques en la parte superior de la serie de arenisca están horadados y casi vaciados por infinidad de grutas, abrigos y pequeñas cuevas. En las imágenes superiores: geofomas alveolares y box-works en el interior de las grutas. En la imagen inferior la cubierta de los bloques posee geofomas variadas: redes de fisuras limitando placas con aspecto de caparzones de tortuga, en un bloque, y trama de concavidades producto del vaciado de nódulos esféricos, en otros bloques.



Sistemas de grutas y oquedades en escarpes verticales, sobre estratos de distinto colorido. En la imagen superior: abrigos de colores anaranjados, con puentes de roca, a lo largo de una cornisa. En la inferior: grutas y oquedades (ocres, rojizas y anaranjadas) colgados a distintas alturas a lo largo de un escarpe vertical.



Geoformas en escarpes verticales. Nódulos, oquedades, estructuras de corriente, vetas y láminas con silicificaciones. La diversidad de formas y coloridos es enorme: un pseudokarst de caracteres remarcables.

BIBLIOGRAFIA

- BAKALOWICZ, M. 1982. La genèse de l'acuífère karstique vue par un geochimiste. *Karst Larra* 82; Publ. Serv. Geol. Dip. Navarra: 159-174.
- BIROT, P. 1981. Les processus de érosion a la surface des continents. Masson. Paris.
- CAMPOS, J. 1979. Estudio geológico del Pirineo vasco al W del río Bidasoa. *Munibe, S.C.Aranzadi*, 31(1-2): 3-139.
- COOK, R.; WARREN, A. & A. GOUDIE. 1993. *Desert geomorphology*. UCL Press.
- EDESOS, J. M. 1988. Microformas en las areniscas eocenas de la formación Jaizkibel. *Lurralde. Investigación y espacio*, 11: 57-84.
- GALAN, C. 1991. Disolución y génesis del karst en rocas silíceas y rocas carbonáticas: un estudio comparado. *Munibe (Ciencias Naturales), Soc. Cienc. Aranzadi*, 43: 43-72.
- GALAN, C. 2001. Primeros datos sobre el Medio Subterráneo Superficial y otros habitats subterráneos transicionales en el País Vasco. *Munibe (Ciencias Naturales), Soc. Cienc. Aranzadi*, 51: 67-78.
- GALAN, C. & J. LAGARDE. 1988. Morphologie et évolution des cavernes et formes superficielles dans les quartzites du Roraima. *Kartologia*, 11-12: 49-60.
- GALAN, C. & F. HERRERA. 2005. Le système Roraima Sud au Venezuela: La plus grande cavité du monde creusée dans les quartzites. *Spelunca, FFS, nº 99 - Septiembre 2005*: 17-22.
- GALAN, C. & F. HERRERA. 2006. El sistema Roraima Sur, Venezuela, y la formación del karst en cuarcitas. *Bol. SEDECK*, 6: 18-27.
- GEZE, B. 1973. Lexique des termes français de spéléologie physique et de Karstologie. *Ann. Spéléol.*, 28(1) : 1-20.
- HALLIDAY, W. R. 1960. Pseudokarst in the United States. *Nat. Spel. Soc. Bull.*, 22: 109-113.
- HOLMES, A. 1965. *Principles of physical geology*. Nelson Ed., London & Edinburgh, 1288 pp.
- JEREZ MIR, L.; ESNAOLA, J. & V. RUBIO. 1971. Estudio Geológico de la Provincia de Guipúzcoa. *Mem. IGME (Inst. Geol. y Min. España)*, Tomo 79, Madrid, 130 pp + Fotograf.
- KRUIT, C.; BROUWER, J. & P. EALEY. 1972. A Deep-Water Sand Fan in the Eocene Bay of Biscay. *Nature Physical Science*, 240: 59-61.
- MAINGUET, M. 1972. Le modelé des gres. Problèmes généraux. I. *Geographique National*. Paris.
- MAIRE, R. 1980. *Éléments de Karstologie physique*. Spelunca, FFS, Special nº 3, 1980 - Nº 1 supplément, 56 pp.
- MARTINI, I. P. 1978. Tafoni weathering, with examples from Tuscany, Italy. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 22(1): 44-67.
- MARTINI, J. 1982. Karst in Black Reef and Wolkberg Group quartzite of eastern Transvaal escarpment, South Africa. *Bol. Soc. Venezol. Espeleol.*, 10(19) : 99-114.
- MONROE, W. H. 1970. A glossary of karst Terminology. U. S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1999-K, 26 pp.
- MUSTOE, G. E. 1982. The origin of honeycomb weathering. *Geological Society of America*, 93:108-115.
- 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.
- ROSELL, J.; REMACHA, E.; ZAMARANO, M. & V. GABALDON. 1985. Serie turbidítica del Cretácico Superior del País Vasco. *Bol. Geol. Min.*, 96: 361-366.
- SUNAMURA, T. 1992. *Geomorphology of rocky coasts*. Chichester. John Wiley & sons: 302 pp.
- TWIDALE, C. 1982. *Granite landforms*. Amsterdam. Elsevier: 372 pp.
- URBANI, F. 1981. Karst development in siliceous rocks, Venezuelan Guiana Shield. *Proc. 8th Inter. Congr. Speol.*, 2 : 548.
- URBANI, F. 1986. Notas sobre el origen de las cavidades en rocas cuarcíferas precámbricas del Grupo Roraima, Venezuela. *Interciencia*, 11(6): 298-300.
- URBANI, F. & E. SZCZERBAN. 1975. Formas pseudocársicas en granito rapakivi Precámbrico, Territorio Federal Amazonas. *Bol. Soc. Venezol. Espeleol.*, 6(12): 57-70.
- VAN VLIET, A. 1982. Submarine fans and associated deposits in the Lower Tertiary of Guipúzcoa (Northern Spain). *Thesis Doct., Univ. Utrecht, Netherlands*, 180 pp.