

**Pseudokarst en arenisca de la Formación Jaizkibel (flysch Eoceno de Gipuzkoa):
cavidades, geformas, analítica de espeleotemas y paramoudras, fauna cavernícola.**



NOTA EDITORIAL

Para 2009 presentamos dos trabajos divulgativos que resumían lo hasta entonces conocido sobre el pseudokarst en arenisca de la Formación Jaizkibel, sus cavidades, geoformas y paramoudras:

Galán, C.; M. Nieto & J. Rivas. 2009. Pseudokarst en arenisca del flysch Eoceno de Gipuzkoa. Audiovisual en Power point, S.C.Aranzadi, Dpto. Speleol., Didactic conference for public lectures, 39 láminas + PDF document 39 pp.

Galán, C.; M. Molia & M. Nieto. 2009. Paramoudras en arenisca de la Formación Jaizkibel. Audiovisual en Power point, S.C.Aranzadi, Dpto. Speleol., Didactic conference for public lectures, 15 láminas + PDF document 15 pp.

Durante los cuatro últimos años, hemos estudiado nuevas cavidades y puntos de interés geológico y hemos efectuado análisis detallados mediante espectroscopía de transmisión de alta resolución sobre espeleotemas (4 trabajos), paramoudras (4 trabajos), y procesos de reactividad química, difusión y convección, propios de sistemas complejos (tres trabajos), los cuales tienen lugar en el interior del acuífero intergranular en la arenisca y generan los patrones hallados en las geoformas. Ello nos ha llevado a formular nuevas hipótesis y avanzar en una interpretación general que integra el conjunto de datos anteriores. Un resumen didáctico actual fue presentado en la Conferencia dictada por Carlos Galán en la sede de la S. C. Aranzadi en San Sebastián el 22-11-2012 para la Exposición sobre el Flysch de la Costa Vasca (Fundación Luberri & CPIE - Littoral de la Côte Basque) con Audiovisual en Power point, cuya versión en PDF presentamos a continuación.



Karst y Pseudokarst



Sistema Roraima Sur, la mayor caverna del mundo
en cuarcitas: 11,2 km



Surgencias en el Salto
Ángel, 1.007 m

Terminología clásica (HALLIDAY, 1960; GEZE, 1973; MONROE, 1970)

Fenómenos kársticos : producto de la disolución de rocas geológicamente solubles (como caliza y yeso) por las aguas cargadas de CO_2 .

Fenómenos pseudokársticos: producto de acciones físicas y químicas (desintegración termoclástica, hidrólisis de feldspatos, etc.) en rocas insolubles o muy poco solubles, como granito, gneis, cuarcitas, esquistos y lavas. Pueden presentar formas análogas a aquellas del karst, como lapiaz, cavernosidades, etc.

Terminología moderna (HOLMES, 1965; URBANI & SZCZERBAN, 1975; MARTINI, 1982; URBANI, 1986; GALAN & LAGARDE, 1988; GALAN, 1991):

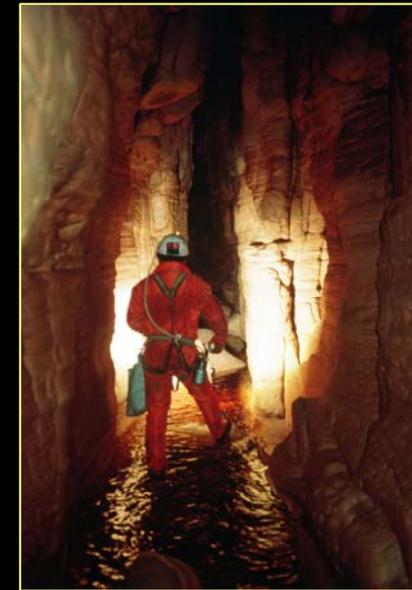
(BAKALOWICZ, 1982): El karst se caracteriza por constituir un sistema de drenaje subterráneo, en el que intervienen procesos hidrogeológicos que generan una estructura subterránea y a la vez una morfología de superficie asociada. Las formas de disolución o el lapiaz pueden ocurrir en todo tipo de rocas, sean estas más o menos solubles.

(GALAN, 1991): 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.

Últimas décadas: con el progreso del conocimiento del **karst en cuarcita**, en países como **Venezuela, Brasil, o Sudáfrica** (URBANI, 1981, 1986; GALAN & LAGARDE, 1988; GALAN & HERRERA, 2005, 2006; MARTINI, 1982), ha sido puesto de relieve que en el caso de rocas silíceas, 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.

Las areniscas de Jaizkibel presentan similitudes con el karst en cuarcita

1. Tanto las areniscas de la Formación Jaizkibel como las cuarcitas de los Escudos de Guayana, Brasil y Sudáfrica están compuestas mayoritariamente (más del 80% hasta el 96%) por granos de cuarzo.
2. La principal diferencia es que la matriz o cemento intergranular es carbonático en el primer caso y silíceo en el segundo.
3. La remoción de roca por disolución está restringida en ambos casos al 10-20% del volumen de roca. En el karst clásico en caliza, la disolución afecta al 80% o más del volumen de roca.
4. En la arenisca de Jaizkibel existen pequeñas cuevas, abrigos, numerosas macro y microformas, pequeñas circulaciones hídricas, manantiales, etc., pero están faltando auténticas redes de drenaje subterráneo y cavernas asociadas. Por todo lo cual es preferible utilizar el término Pseudokarst. No obstante, algunos tipos de geoformas son nuevos para la Ciencia y muchas otras resultan notables a nivel mundial y originales en muchos sentidos.



Karst en cuarcita:

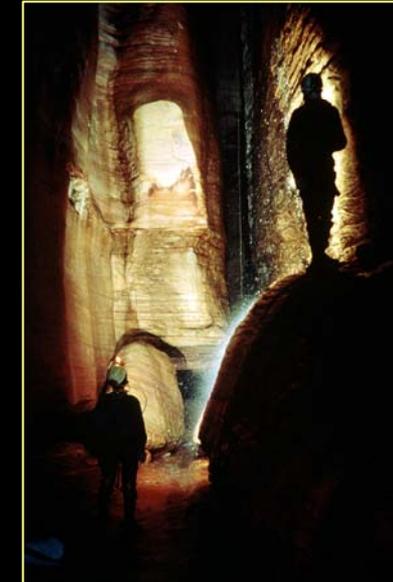
Hasta 1970 se pensaba que no era posible la formación del karst en cuarcita.

Hoy se conocen grandes simas y cuevas en esta litología, de hasta 11 km de desarrollo y -670 m de desnivel.



1. Abismo Guy Collet (AM, Brasil) -671m
2. Gruta do Centenario (MG, Brasil) -484m
3. Gruta da Bocaina (MG, Brasil) -404m
4. Sima Aonda (Bo, Venezuela) -383m
5. Sima Auyantepuy Noroeste (Venez.) -370m

1. Sistema Roraima Sur (Venezuela) 11.200m
2. Gruta do Centenario (MG, Brasil) 4.700m
3. Sima Auyantepuy Noroeste (Venez.) 2.950m
4. Sima Aonda Superior (Venezuela) 2.158m
5. Sima Aonda (Bo, Venezuela) 1.880m



Formación Jaizkibel: Flysch de edad Eoceno

Flysch: alternancia de estratos duros (de caliza o arenisca) con otros blandos (de lutitas y margas), formados en ambientes turbidíticos.

El flysch en general está constituido por sedimentos depositados en zonas abisales, presentan estratos alternos plano-parallelos y gran continuidad lateral. Incluyen rocas producto de la decantación de materiales en suspensión (lluvia pelágica), tales como lutitas, margas y calizas; y rocas producto de corrientes de turbidez (turbiditas), principalmente de composición arenosa.

Formación Jaizkibel: capas duras de arenisca, de matriz carbonática, con intercalaciones de lutitas.

Estructura: monoclinal y con buzamiento N. Debido a la plasticidad del flysch las rocas han sido plegadas desigualmente. Los mejores ejemplos de Pseudokarst se presentan en zonas de buzamiento medio (20° a 40° N), en las secciones centrales de Jaizkibel, Ulía e Igueldo.

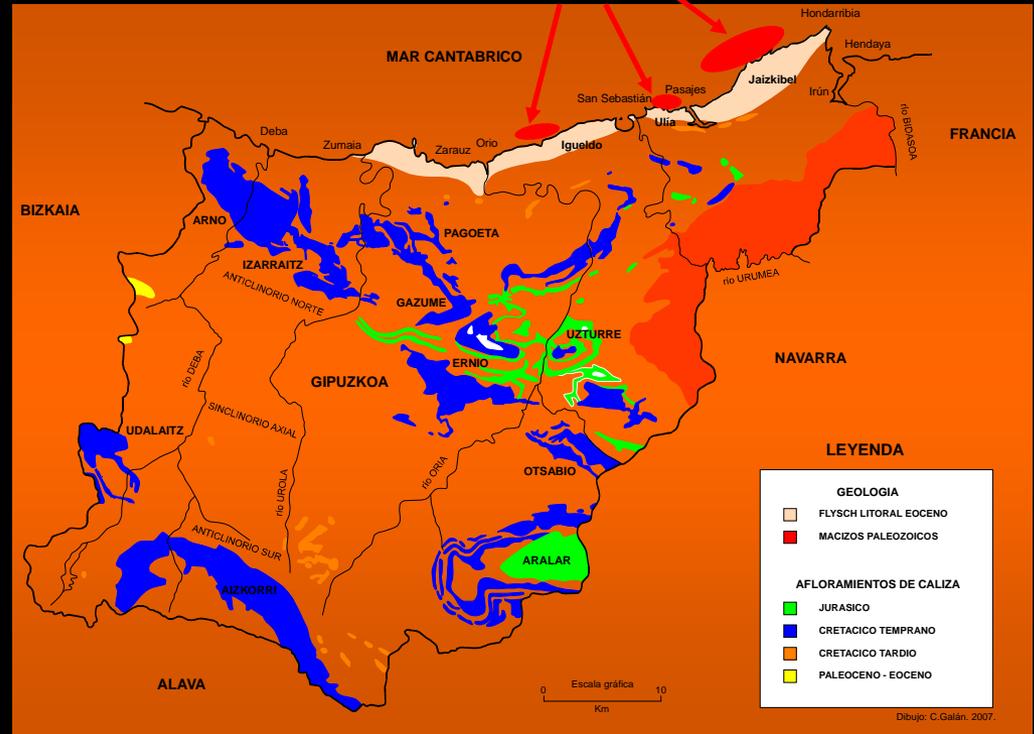
Prospecciones: comenzaron en 1987 con estudios del MSS (Medio Subterráneo Superficial) en Gipuzkoa (GALAN, 2001). Se detectaron ambientes subterráneos transicionales en las areniscas del flysch, los cuales comprenden sistemas de cuevas y mesocavernas formadas por meteorización química y erosión. Las partes más profundas y oscuras albergan una fauna de invertebrados comparable a la fauna cavernícola troglófila de las cuevas en caliza.

Interés espeleológico y científico:

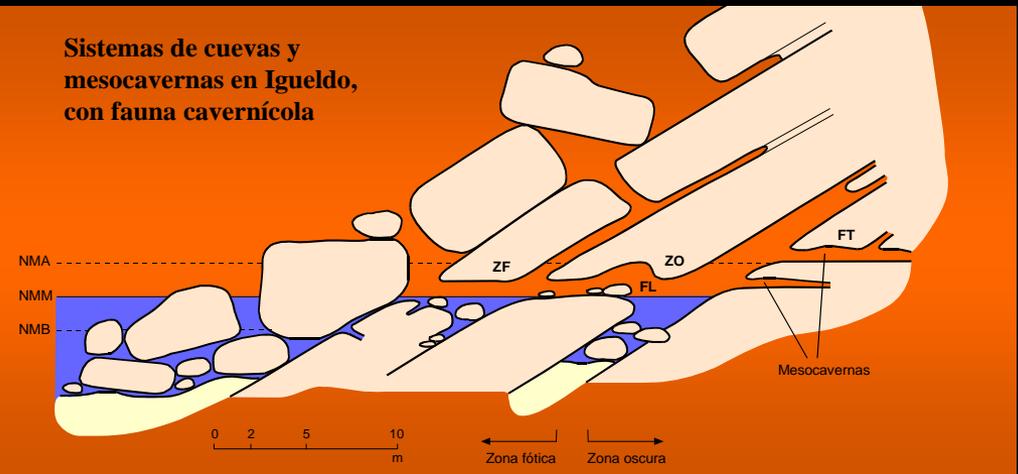
el pseudokarst en arenisca y sus cuevas poseen un gran interés, con rasgos originales de esta litología, estéticamente **remarcables a nivel mundial**.

Similitudes con el karst en cuarcita sugieren que futuras investigaciones pueden poner al descubierto cuevas más extensas que las hasta hoy conocidas.

Pseudokarst en arenisca



Sistemas de cuevas y mesocavernas en Igueldo, con fauna cavernícola



Origen de cuevas en arenitas:

Disolución intergranular, tubificación (= piping), procesos de reactividad química - difusión y convección multicomponente, erosión, etc.

Condicionamiento previo

Litología / Edad

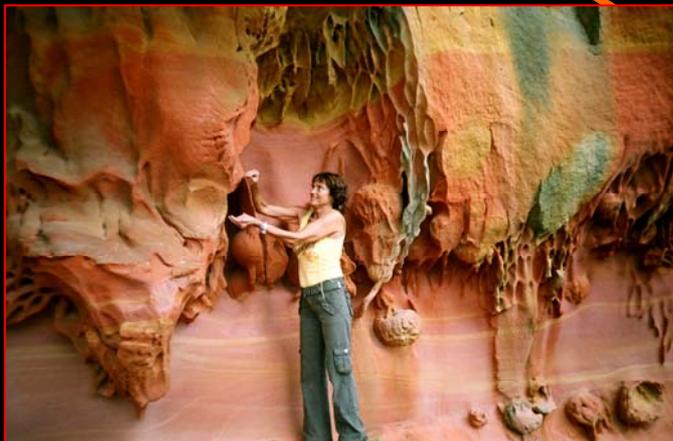
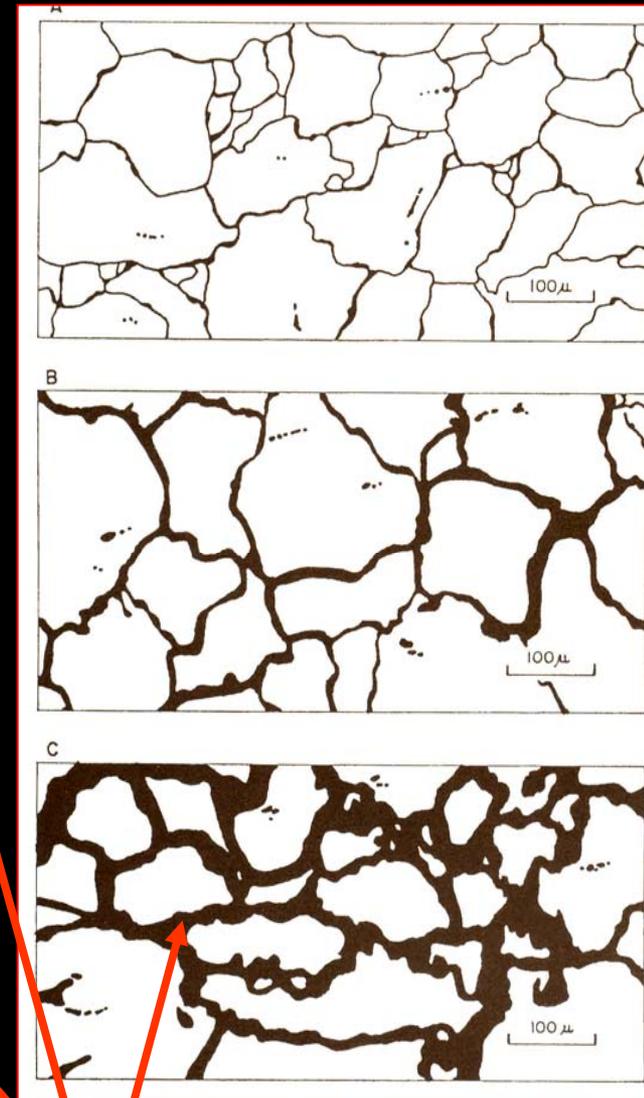
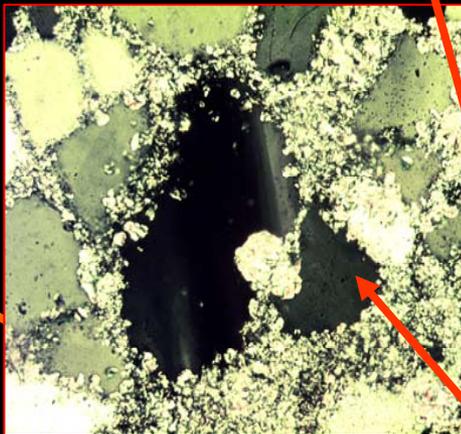
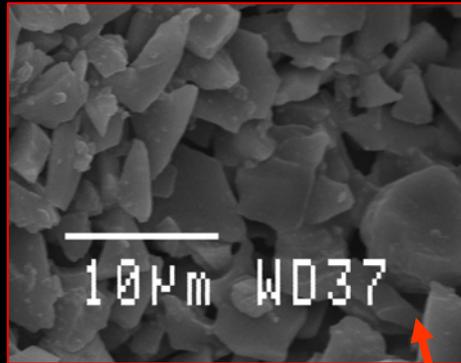
Topografía / Relieve / Tiempo

Hidrología / Condiciones estructurales

Procesos no-lineales

Dinámica de Sistemas Complejos

Cuarcita Grupo Roraima



Arenisca Formación Jaizkibel

Arenización: debida a disolución del cemento intergranular, sobrecrecimientos de cuarzo o minerales intersticiales

SEDIMENTACIÓN SUBMARINA - FLYSCH - CORRIENTES DE TURBIDEZ

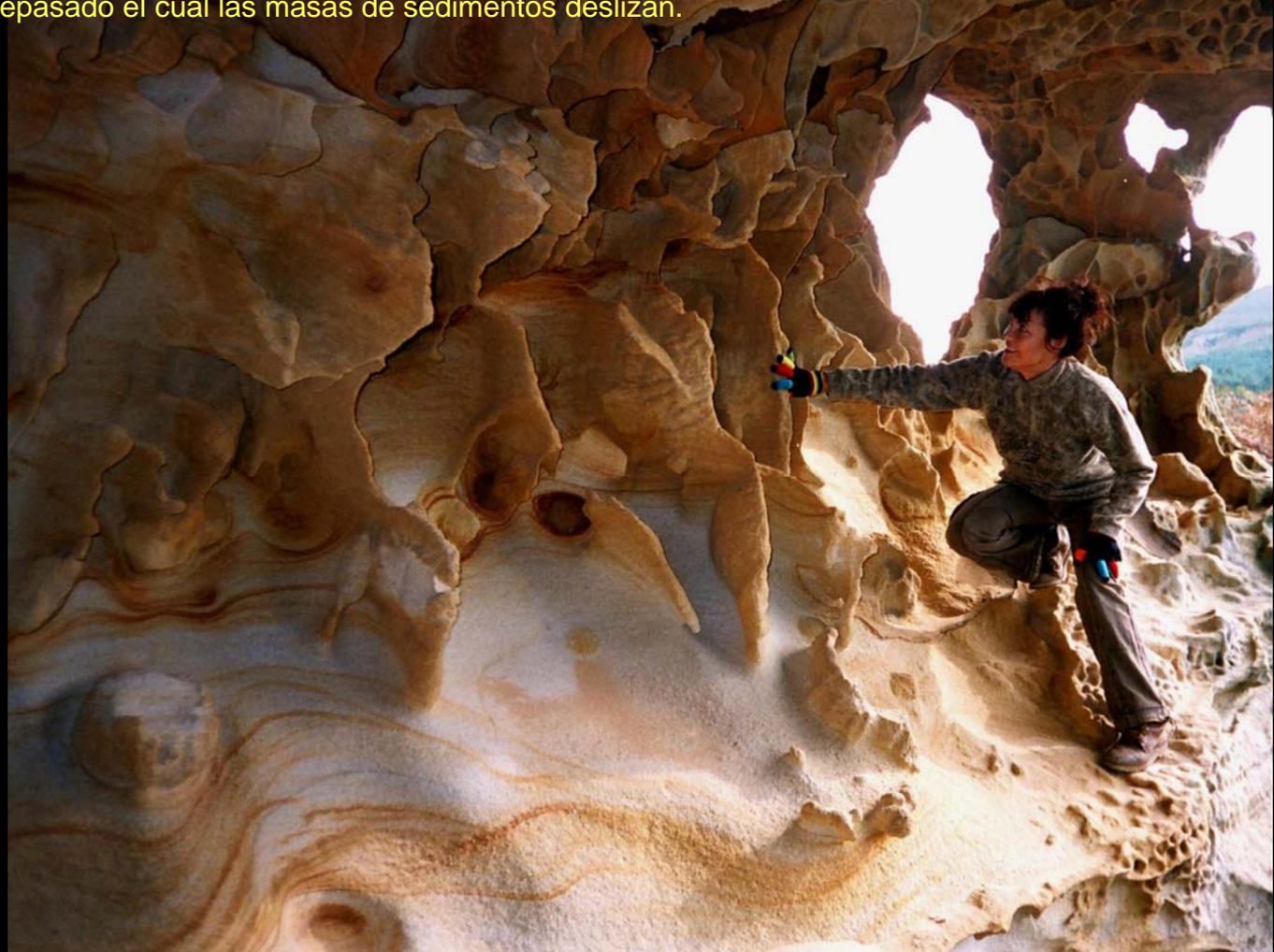
La **sedimentación submarina** conocida como **flysch** ocurre en zonas abisales. Los sedimentos son de dos grandes tipos: depositados por suspensión (o lluvia pelágica) y transportados por acción de la gravedad (turbiditas).

Las corrientes de turbidez y otros flujos gravitatorios ocurren cuando masas de sedimentos, que descansan inestablemente sobre el borde de la plataforma continental o del talud, comienzan a deslizar hacia abajo.

La composición, textura, tasa de acumulación y condiciones del entrapamiento del agua en los poros, determina un ángulo crítico, de entre 1 y 7 grados, sobrepasado el cual las masas de sedimentos deslizan.

Las **corrientes de turbidez** consisten en suspensiones de material sedimentario en el agua marina, que constituyen un fluido de densidad substancialmente mayor que la del agua marina ordinaria que lo rodea.

Una vez formadas adquieren velocidades de 70 km/h y gran capacidad de transporte de material sedimentario. Las corrientes se inician generalmente en el borde exterior de la plataforma continental y arrastran materiales allí depositados a las profundidades oceánicas, donde forman **abanicos de deyección submarinos** (HOLMES, 1965; PETZALL, 1967; KEMPE, 1981).

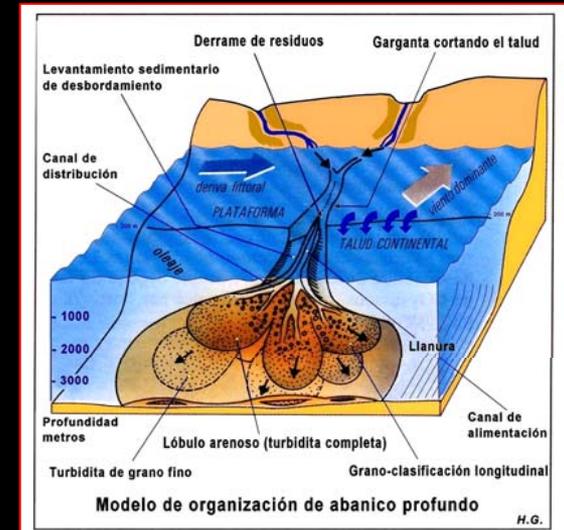


ABANICOS DE DEYECCION SUBMARINOS

Muestran una gran variedad de facies sedimentarias, depositadas en sus diferentes partes:

- (1) El abanico interno representa la porción más proximal y actúa como el vehículo alimentador del conjunto;
- (2) El abanico medio representa la parte media y es muy rica en sedimentos arenosos; numerosos **lóbulos** se desprenden de las bifurcaciones de los canales distribuidores, generalmente dispuestos en formas entrelazadas;
- (3) El abanico externo, que corresponde a la parte distal, recibe los sedimentos mas finos.

Los **lóbulos** contienen numerosas formas linguoides, festoneadas y con volutas o enroscadas (convoluted beds), además de **laminaciones**, formas lenticulares, nódulos esféricos y **concreciones**. Masivamente los sedimentos muestran una gradación, pero localmente ésta se ve disturbada por los remolinos que ocurren en el interior de las corrientes, sobre todo en las zonas de más alta energía (KEMPE, 1981; COCKS & PARKER, 1981).



TURBIDITAS

Los materiales transportados por las corrientes de turbidez son denominados **turbiditas**. El depósito generalmente adopta una **disposición en abanico** (KEMPE, 1981; COCKS & PARKER, 1981).

Las turbiditas muestran una **gran variedad de facies sedimentarias**, según las partes del abanico submarino en que son depositadas. En las turbiditas es frecuente la formación de muy diversas **estructuras de corriente**.

Las turbiditas están compuestas por sedimentos de **grano relativamente grueso**. Estos depósitos, están interestratificados con limos y arcillas de aguas profundas (hemipelágicos y pelágicos) así como por sedimentos retrabajados por las corrientes de fondo (contornitas).

La **frecuencia** con que se generan las corrientes de turbidez son variables. Las partes proximal y media de abanicos submarinos activos pueden emplazar capas turbidíticas aproximadamente una vez cada 10 años, mientras que las partes distales del abanico reciben y emplazan una corriente turbidítica una vez cada 20.000 años como promedio (BOGSS, 1995).

Cuando las turbiditas han litificado forman **estratos paralelos**, desde unos pocos milímetros hasta 15 m de espesor.



EL FLYSCH EOCENO DE GIPUZKOA

El flysch de areniscas Eocenas de Gipuzkoa ha sido interpretado como un depósito de sistemas turbidíticos (JEREZ et al., 1971; MUTTI, 1985; ROSELL, 1988; ROSELL et al., 1985), definido por la erosión y resedimentación parcial o total de una plataforma. Las **estructuras de corriente** son muy frecuentes en la base de los estratos y regionalmente muestran un patrón en abanico.

CAMPOS (1979) distinguió 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 Orio**), cuya base se situaría en el Eoceno inferior y se extendería hasta el Eoceno medio. Para ROSELL et al. (1985) la entera secuencia de areniscas es de edad Eoceno medio.

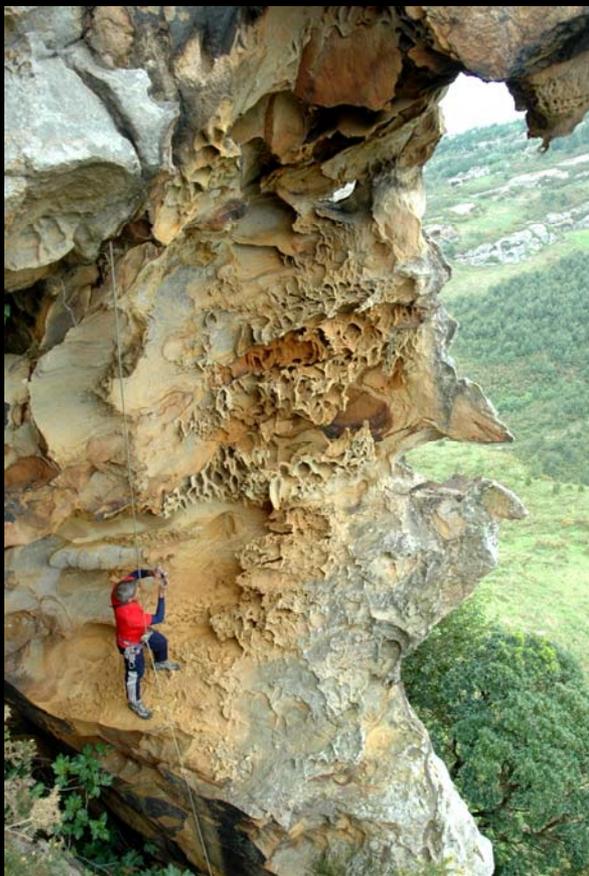
La **granulometría de la arenisca** es más gruesa hacia la parte alta de la secuencia, a la vez que aumenta progresivamente el espesor de los bancos. Esto indica que **se trata de la parte media de abanicos** submarinos; los fósiles hallados, claramente rodados, llevan a concluir que la acumulación se debió verificar a una profundidad variable entre 1.000 y 4.000 m.

Los mejores ejemplos de **Pseudokarst** se presentan en **sectores con estratos gruesos y compactos de arenisca**, de grano grueso, los cuales se apoyan prácticamente unos sobre otros, y forman en el relieve **abruptos escarpes y acantilados costeros**.



LAS ARENISCAS DEL FLYSCH EOCENO

La cuenca eocénica pirenaica corresponde a un surco alineado de E a W, donde las facies distales (profundas) se sitúan en la parte occidental (País Vasco). Sus sistemas turbidíticos alcanzan 1.500 m de espesor (VAN VLIET, 1982; ROSELL, 1988). Las reconstrucciones paleogeográficas sugieren que la región formaba parte del **margen meridional de un macizo europeo** (Plateau de Las Landas). **Las descargas procedían del Norte** y se produjeron en la desembocadura de cañones submarinos (ROBLES et al, 1988; KRUIT et al, 1972). Los materiales arenosos, con disposición en abanico, recibieron aportes axiales, menos masivos, que resultaron reordenados suturándose lateralmente con las masas de arenas.



Las **areniscas** del flysch Eoceno son de colores claros (blancas, amarillas, anaranjadas, rojizas) y están compuestas por un entramado de granos de cuarzo, que constituye hasta el 90% de la roca, y una matriz o cemento carbonático que incluye cantidades minoritarias de feldespatos y micas. El tamaño de grano se hace mayor hacia la parte alta de la serie a la vez que aumenta el espesor de los estratos (JEREZ et al., 1971; CAMPOS, 1979). **Es precisamente en los bancos más compactos, de grano medio a grueso, donde el Pseudokarst presenta su mayor desarrollo, con numerosas cavidades y geoformas.**



Es sabido que las arenas son generalmente los sedimentos menos alterados por diagénesis y particularmente por compactación. La mayor modificación durante la diagénesis o transformación del sedimento en roca, suele ser el resultado de procesos de cementación o eventualmente recristalización; mientras que los efectos de compactación y metasomatismo son poco importantes en las areniscas (PETZALL, 1967; COCKS & PARKER, 1981).



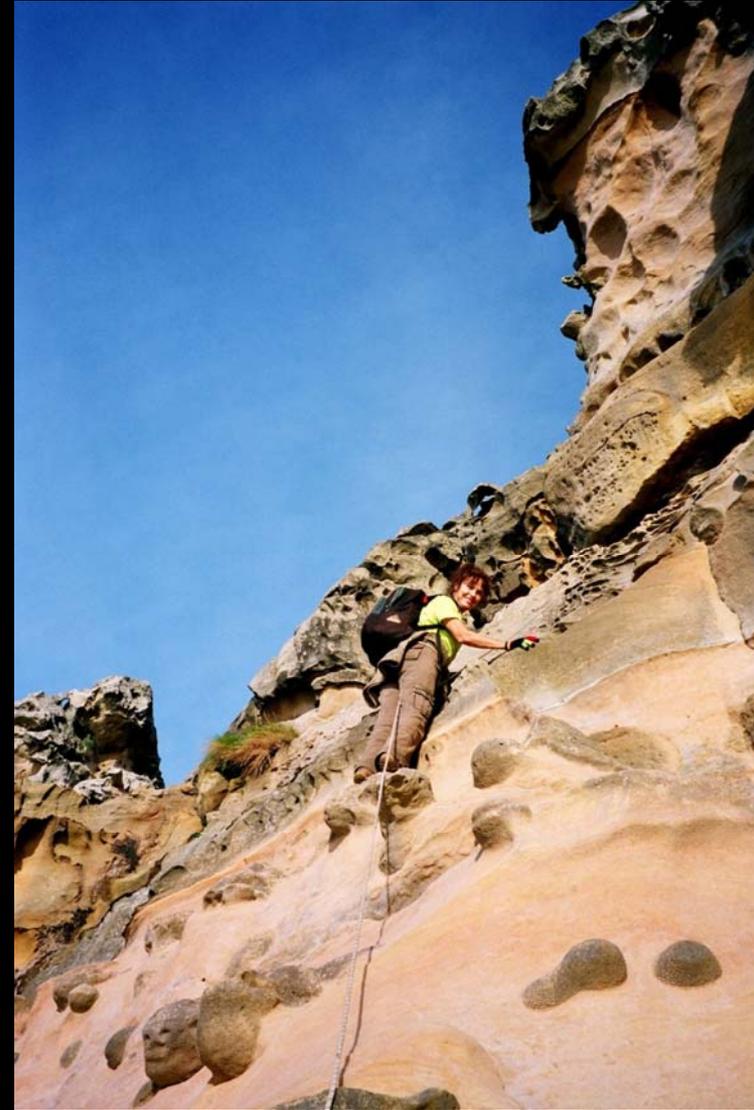
Pseudokarst en bancos gruesos de arenisca, los cuales forman en el relieve **escarpes abruptos**, de desarrollos kilométricos.





Cavidades y Geoformas.

Gran número de cavidades se localizan en escarpes verticales de difícil acceso, que requieren técnicas de escalada y speleo para acceder a las mismas.





Acceso a cavidades colgadas en acantilados y escarpes verticales

Pseudokarst en arenisca

Uso de técnicas de espeleología vertical





para acceder a cavidades colgadas con notables geofomas





Descensos que conducen a aéreas cornisas con ocultas cavidades





**Prospección de acantilados en Ulía,
Punta Atalaya,
con interesantes cavidades, geformas
y Proparamoudras**





El descenso de acantilados permite explorar parajes ocultos e inaccesibles que pueden albergar muchas otras cavidades, abrigos y geoformas.

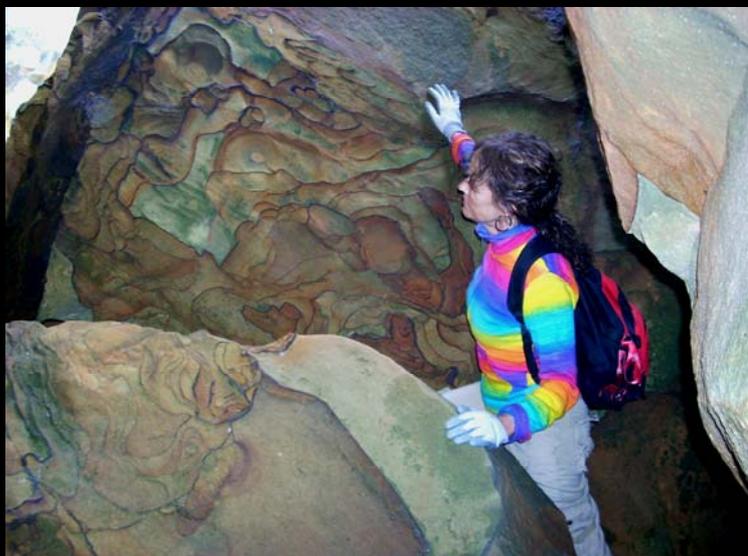


DESCRIPCION DE FORMAS PSEUDOKARSTICAS

Microlapiaz litoral

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.

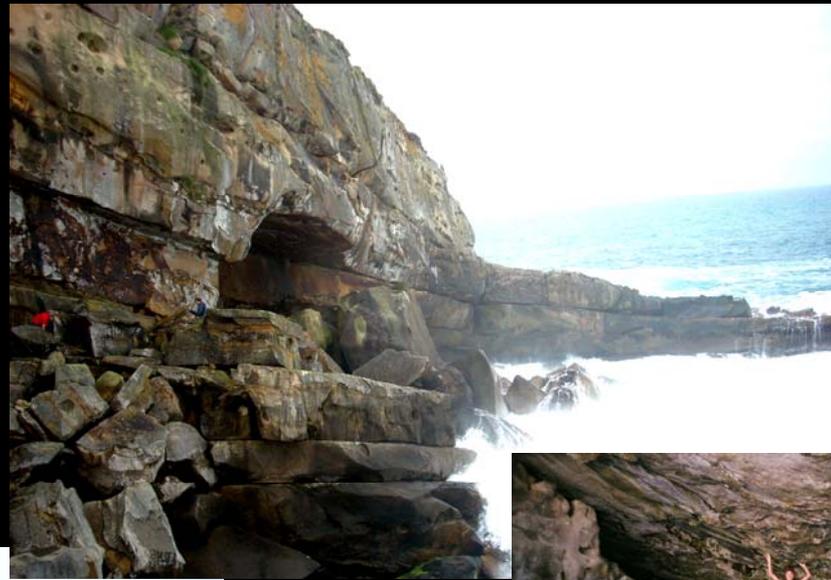
La disolución deja en relieve positivo ejemplos de geoformas tipo copa, cubetas, vetas y láminas, **soportadas por silicificaciones locales**, las cuales han resultado más resistentes a la erosión. También el hierro parece contribuir a la formación de estas cubiertas de espesor milimétrico. Esto sugiere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



DESCRIPCION DE FORMAS PSEUDOKARSTICAS

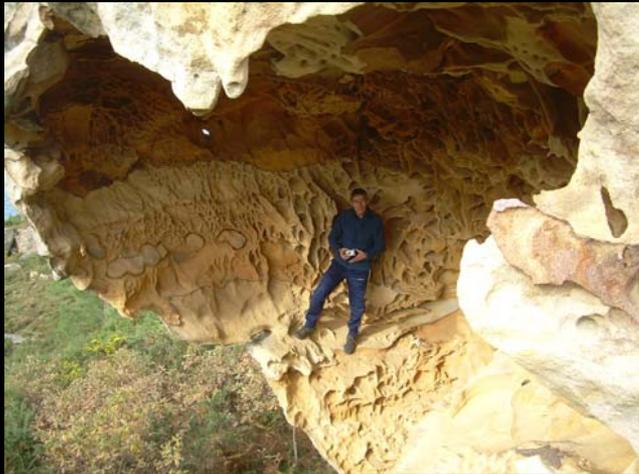
Abrigos de erosión marina

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 2-5 m de altura, estando el techo y el suelo soportado por estratos resistentes de arenisca. Algunos se producen por colapso, debido a la descompresión mecánica de la roca.



Cavidades epidérmicas

Se localizan a cotas más altas que los anteriores, fuera del alcance de las olas, desde 20 m hasta más de 250 m snm. Generalmente forman grutas y abrigos amplios (5 á 10 m de ancho y alto) pero poco profundos (2-4 m de fondo). Sus partes internas pueden alcanzar gran altura, estando cerradas por paredes y tabiques laterales y superiores, donde con frecuencia se presentan puentes de roca, columnas, tubos y ventanas laterales. **En su superficie interna la roca está arenizada, con los granos de cuarzo casi sueltos, los cuales 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, 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.

Su formación es debida a procesos de disolución del cemento intergranular.



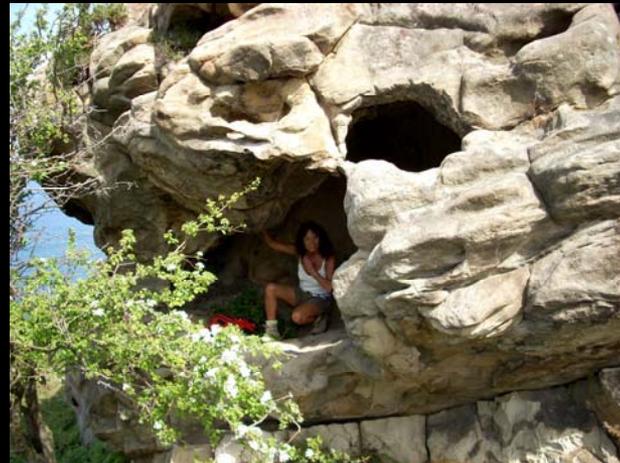
Son cuevas cuyas bocas son de pequeño diámetro, y dan paso a salas mucho más espaciaosas, a menudo con prolongaciones. Estas se localizan preferentemente en el estrato superior de escarpes verticales y pueden evolucionar hasta vaciar éstos casi por completo, dejando sólo una especie de cascarón hueco, con delgadas paredes fuertemente cementadas.

Habitualmente albergan geofomas (formas alveolares y coraloides, celdas en panal de abejas, boxworks y formas cordadas), en ocasiones de grandes dimensiones y cubriendo las superficies internas de las cuevas.

Es común que las salas internas presenten conductos tubulares (galerías) y ventanas, de pequeño diámetro, en comunicación con otras salas anexas o con la superficie. Por su posición fisiográfica, su cobertura superficial está fuertemente recementada por carbonatos, ya que queda expuesta a insolación y a condiciones alternas de humectación-deseccación.



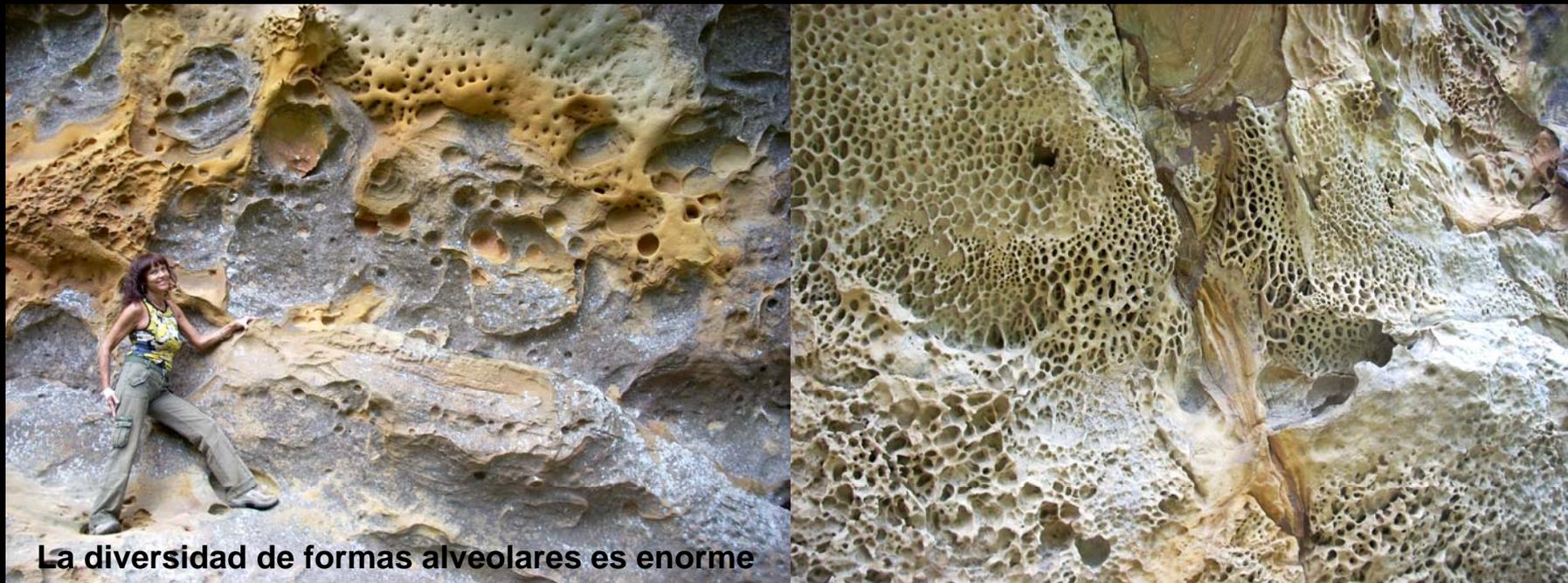
Cavidades en burbuja y cascarones huecos



Geoformas en abrigos y pequeñas cuevas

Las más comunes son formas alveolares o celdas tipo “panal de abejas” (**honeycomb cells**); recuerdan a los “tafoni” que presentan las areniscas en zonas áridas o desérticas. Su diversidad es enorme: existen pequeños alveolos, concavidades, formas con aspecto de panales de abejas, hojaldres (= **box-works**), formas coraloides y delicados cortinajes cordados, que recubren gran parte de su interior.

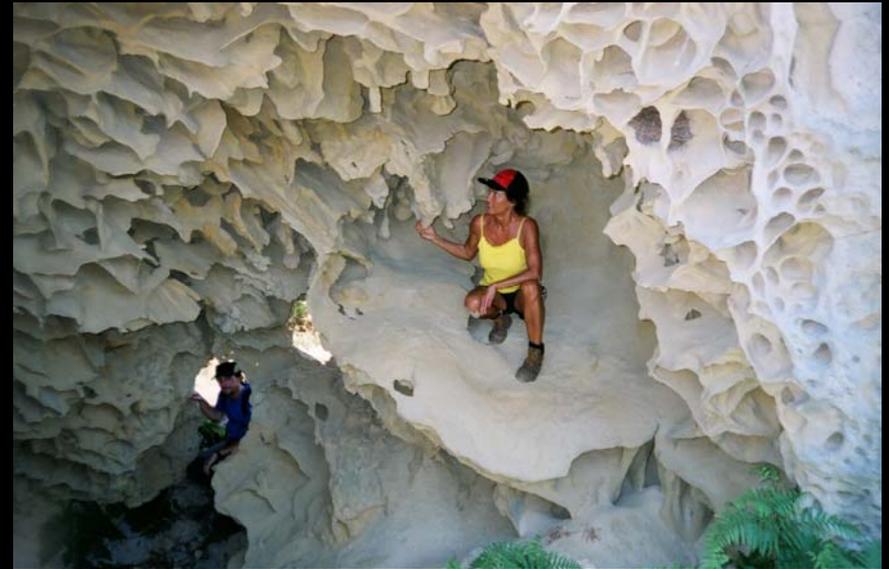




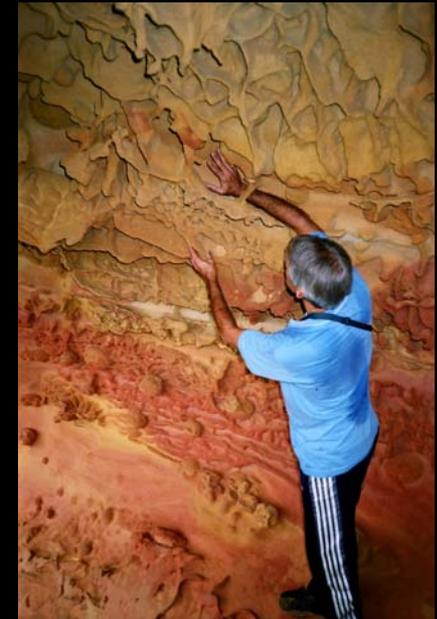
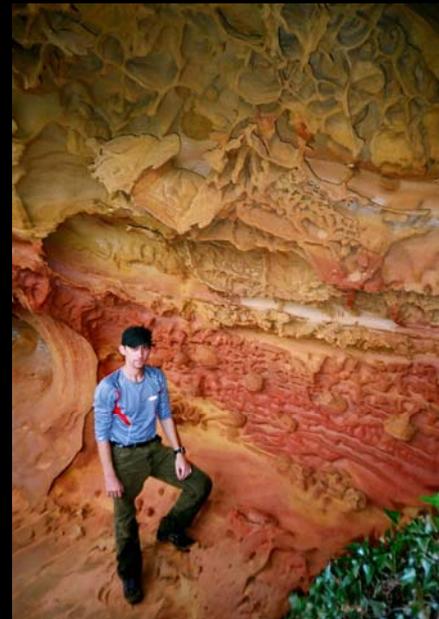
La diversidad de formas alveolares es enorme



Box-works: Geofomas con aspecto de hojaldres gigantes, mucho mayores que las pequeños formas alveolares y celdas en “panal de abejas”. Están formados por tabiques o quillas muy delgados, que separan celdas profundas y amplias. Están soportados por silicificaciones locales, que otorgan a las mallas entre celdas suficiente cohesión y consistencia. Su diversidad es enorme, ya que a veces están asociados a discos y otras estructuras de corriente, y alcanzan tamaños considerablemente grandes.

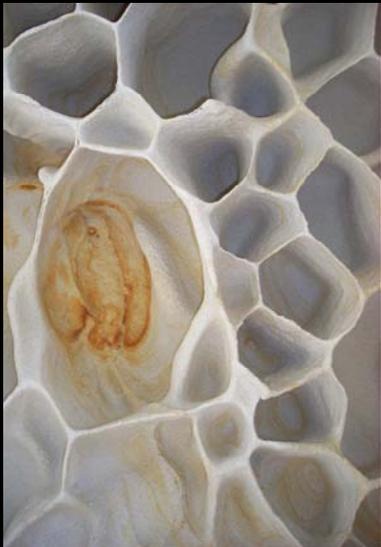


Los boxworks gigantes y formas cordadas presentes en el Pseudokarst de la Formación Jaizkibel son **únicos y nuevos para la Ciencia**. Otras geofomas constituyen los mejores ejemplos a nivel mundial.

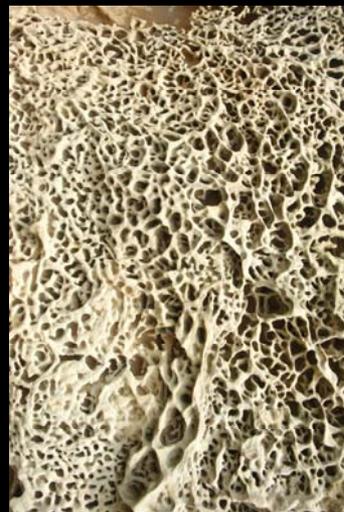




Box-works. Celdas hexagonales y poligonales soportadas por **silicificaciones locales**, debidas a su vez a procesos de reactividad química, difusión y convección.



Geoformas cordadas: 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. **Estas geoformas son nuevas para la Ciencia.**



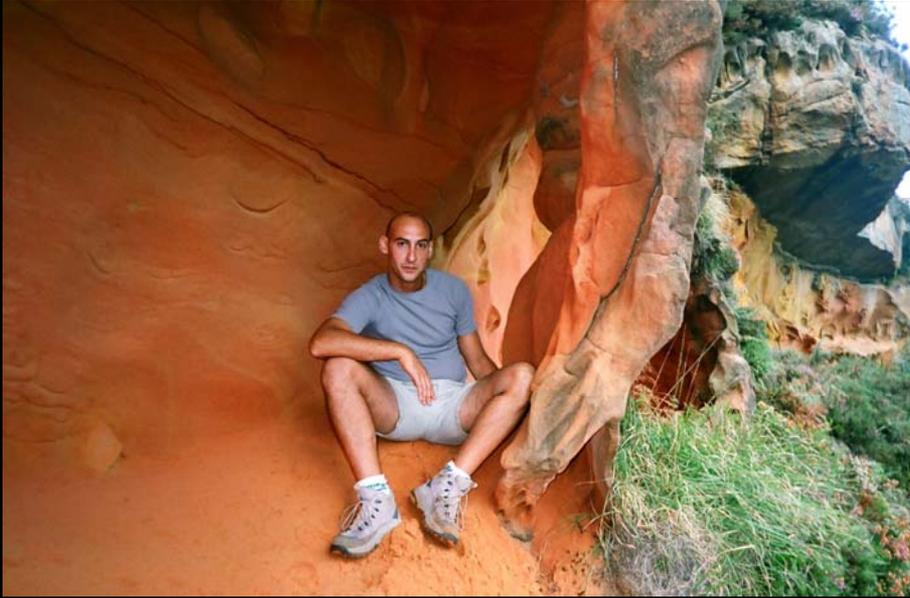
Estructuras de corriente y Figuras de intercepción.

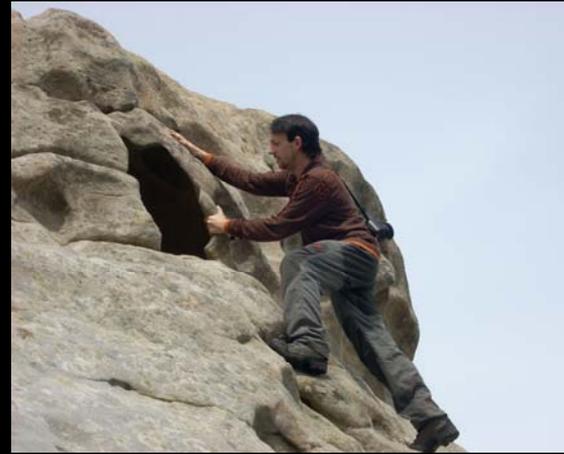
En las paredes internas de las cuevas se aprecian finos dibujos, debidos a la laminación y a la forma ondulada de las estructuras de corriente que contiene la roca, con líneas de distinto colorido. Los dibujos son muy diversos y de gran belleza estética.



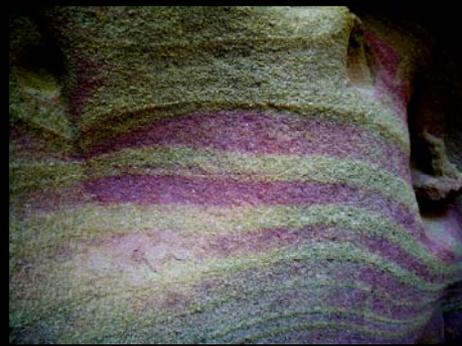
Estructuras de corriente, laminaciones y coloración de las arenas.

Los dibujos, de formas onduladas, contienen ejemplos de laminación paralela, disturbada, convulvata, concéntrica, rizada y otras formas. Las laminaciones a menudo interceptan concreciones, nódulos y geoformas de distintos tipos, con el resultado de impactantes diseños.





Las cuevas del Pseudokarst son **ventanas** que nos permiten apreciar la estructura primaria de la arenisca, sus laminaciones, estructuras de corriente, color de las arenas y de minerales movilizados por la disolución intergranular.





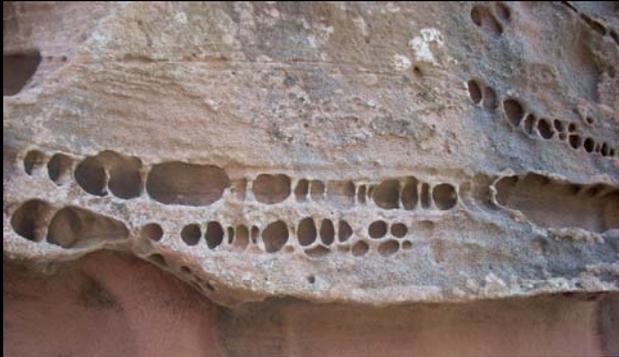
BANDEADOS Y ANILLOS DE LIESEGANG

Son debidos a procesos de difusión, convección y precipitación rítmica, en bandas alternas, que involucran principalmente a óxidos de hierro.

Ocurren en bandeados irregulares en el interior de cavidades y en la roca-caja arenizada, pero también en forma concéntrica en las gangas de Paramoudras.

El hierro puede difundir a partir de láminas y concreciones durante el proceso kárstico de disolución intergranular, el cual involucra soluciones multicomponentes. Es otro indicador de procesos no-lineales que generan diseños fractales.





Cintas troqueladas
escritura cifrada en la roca



La intersección de geformas de disolución intergranular y estructuras de corriente produce en las paredes de las cuevas los más extraños diseños. Algunas recuerdan signos cuneiformes de un arcano pasado. Escritura que el agua intergranular labra con el tiempo en la roca: mensajes ocultos de la naturaleza para recordar a quienes la exploran lo efimero de la condición humana.





Bandas de Moebius, de paradójicas y etéreas estructuras.

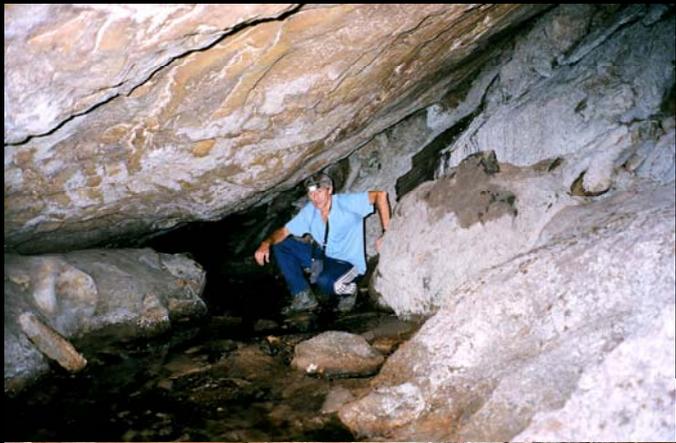


Cuevas hidrológicamente activas. Son cavidades recorridas por corrientes de agua subterránea, de morfología comparable a las del karst clásico en caliza. El ejemplo más conspicuo que hemos encontrado en Jaizkibel es una cueva de 85 m de desarrollo, la cual posee películas milimétricas de **espeleotemas de silicatos de aluminio, magnetita, hematita, ópalo-A, yeso y goethita..**



JK-07 Green Cave





Espeleotemas. A través de análisis por espectroscopía Raman, difracción de rayos X (DRX) y espectrometría por dispersión de energía (EDS) se identificaron recubrimientos cristalinos blancos de silicatos de aluminio amorfo, espeleotemas negras compuestas por magnetita y hematita, coloides de goethita y superficies con una base naranja de cuarzo detrítico recubiertos por cristales grises a negros de ópalo-A. En forma minoritaria se detectaron otros elementos, tales como: bario, magnesio, aluminio y titanio. Varias de estas espeleotemas resultan **novedosas a nivel mundial**.





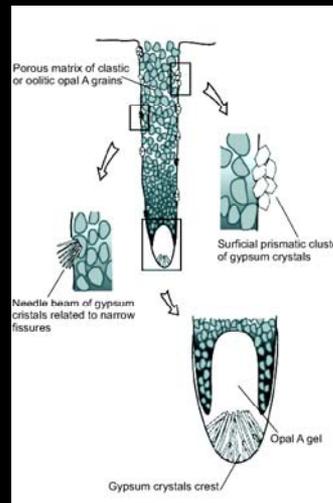
Espeleotemas con una base tubular de ópalo-A y terminaciones distales de yeso tipo wisklers. (Esquema abajo). JK-07 Green Cave.



Estalagmitas de magnetita. JK-07 Green Cave.



En Ulúa se presentan espeleotemas similares en túneles artificiales que interceptan mesocavernas con fauna cavernícola troglobia

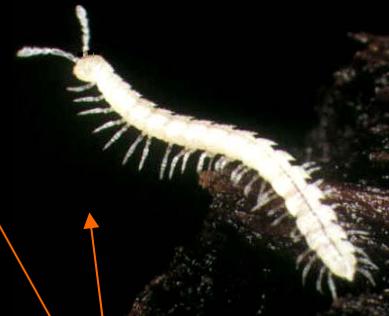


La disolución a lo largo de fracturas y planos de estratificación genera **sistemas de simas, pequeñas cuevas y mesocavernas**. Algunas de ellas son recorridas por hilos de agua y presentan galerías en oscuridad total, también con espeleotemas y, sobre todo, con fauna cavernícola de gran interés.



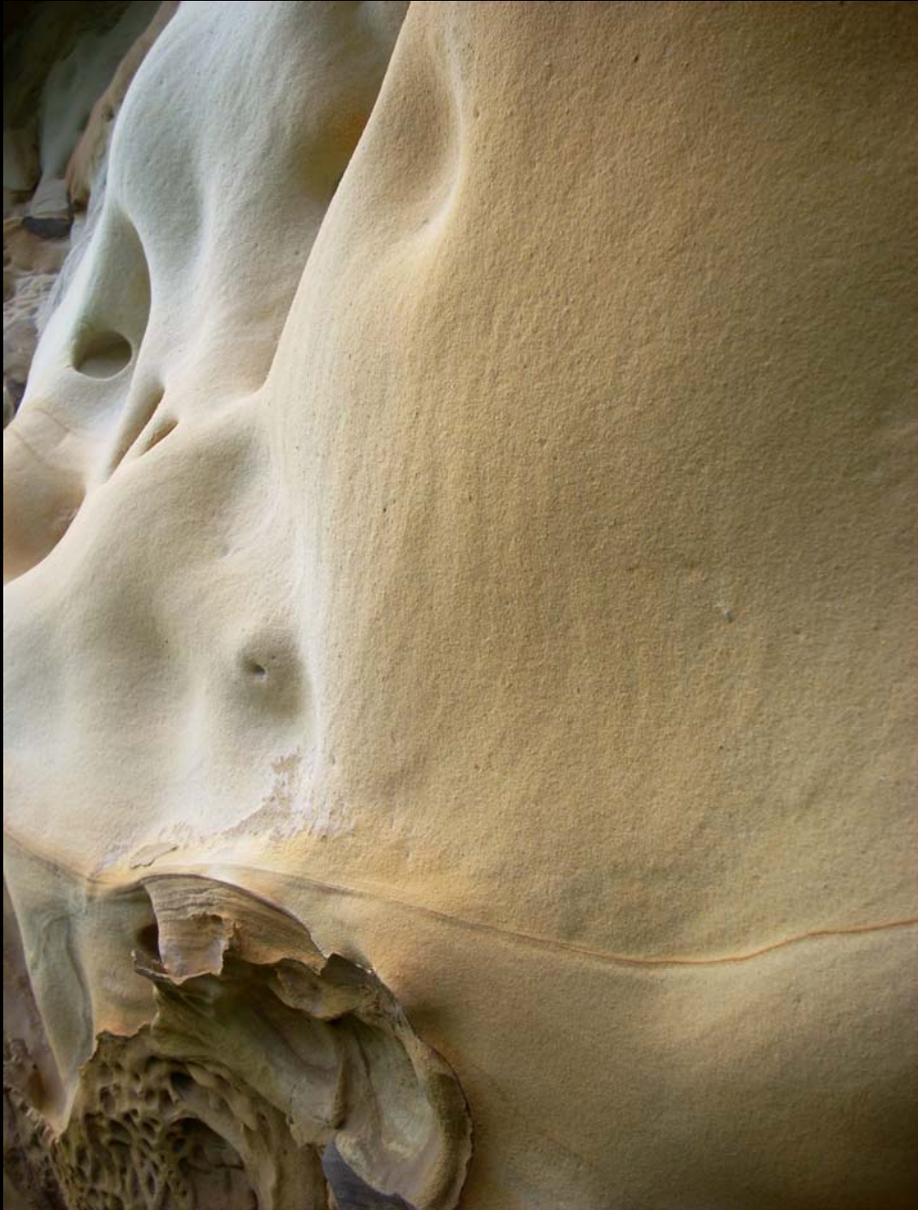
FAUNA CAVERNÍCOLA

En Igueldo y Ulía hay sistemas de cuevas y mesocavernas en la zona litoral, con cursos de agua dulce, habitados por una fauna cavernícola troglófila y troglobia. Incluye especies acuáticas de hirudineos (Gnatobdellida), anfipodos *Pseudoniphargus vasconiensis* Notenboom (Hadziidae) y diversos copépodos.



La fauna terrestre (anfibia) incluye a pseudoescorpiones *Neobisium maritimum* (Neobisiidae), colémbolos *Anurida maritima* (Neanurinae), diplópodos *Mesoiulus cavernarum* Verhoeff (Iulidae), isópodos Oniscidae, opiliones y araneidos.

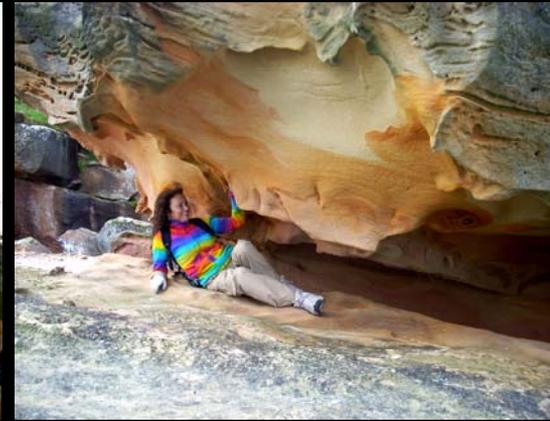
La Cueva del Elefante está colgada en un abrupto acantilado. Alberga algunas de las más curiosas geoformas: suaves superficies arenizadas con restos de envolturas de concreciones esféricas, cuyas formas se asemejan a cráteres lunares.



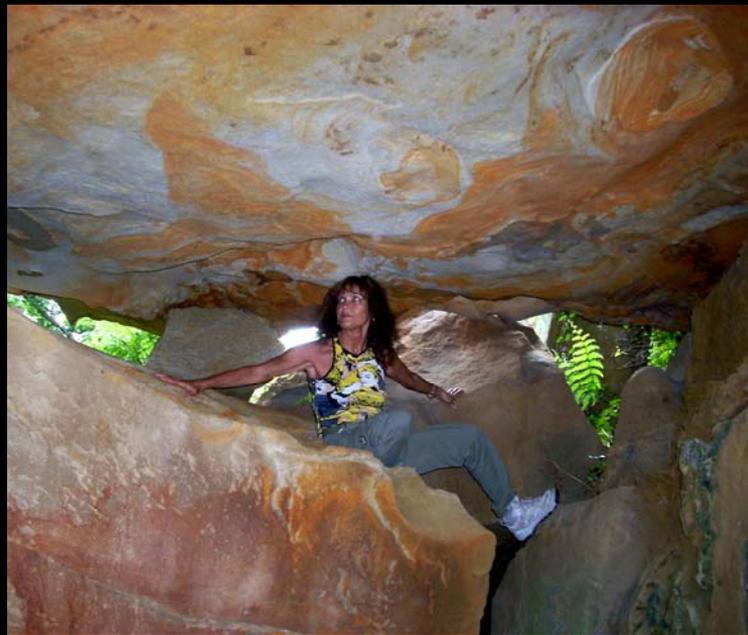
Sistemas de fracturas, corredores y túneles. El buzamiento de los estratos y la erosión marina hacen que por descompresión se vea facilitada la apertura mecánica de fracturas. De este modo son generados corredores, galerías y túneles, a veces cubiertos por bloques menores y parcialmente techados. Estos pueden incluir desde formas estructurales hasta otras retocadas y ampliadas por disolución y erosión.



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 otras cuevas, corredores o túneles.



Dolinas y sistemas bajo bloques. Cuevas de recubrimiento



ORIGEN DE CAVIDADES Y GEOFORMAS PSEUDOKARSTICAS

(1) **Meteorización química:** Conjunto de procesos que disuelven, alteran y disgregan la roca. **Comprende:**

- **Disolución del cemento carbonático**, que progresa intergranularmente, además de a partir de fracturas. **Es el FACTOR FUNDAMENTAL.**
- **Disolución de los granos de sílice**, en forma minoritaria, posible por la baja tasa de disolución del cuarzo.
- **Alteración de otros minerales**, como feldspatos y micas, incluidos en la arenisca en pequeñas cantidades.
- **Procesos bioquímicos**, debidos a films superficiales de cianobacterias, microorganismos del suelo y vegetación, los cuales aceleran la descomposición de la roca al prolongar la presencia de agua y producir ácidos orgánicos.



(2) **Erosión mecánica o Corrosión:** La roca desagregada por meteorización química deja fragmentos casi sueltos que pueden ser removidos por las aguas de lluvia (y por las olas). La erosión marina, muy potente en el litoral del Mar Cantábrico, puede desplazar fragmentos y bloques de roca de gran tamaño.

(3) **Procesos clásticos:** Debidos a la descompresión de la roca en la vecindad de vacíos y escarpes.

(4) **Erosión eólica:** Su acción es indirecta. Bajo clima húmedo, no se trata del proceso clásico de tafonización, por deflacción. Pero el viento puede facilitar la remoción de granos de cuarzo de superficies ya arenizadas y descohesionadas. No obstante, su efecto mayor reside en que aporta humedad atmosférica que permite proseguir la disolución intergranular de la arenisca.

(5) **Factores conjugados:** Todos los factores mencionados pueden actuar de modo combinado.





En el pseudokarst de Jaizkibel encontramos patrones de **estructuras disipativas** y formas inusuales en hidrogeología del karst, propios de **sistemas complejos, no-lineales**.

Pseudokarst Jaizkibel Sistemas complejos

Los sistemas complejos no pueden ser comprendidos desde el análisis de sus partes, sino desde el contexto del todo mayor como sistema. La comprensión de la no-linealidad ha comportado un importante cambio de énfasis, del análisis cuantitativo al cualitativo.

Los datos sobre espeleotemas y boxworks demuestran que en la arenisca de Jaizkibel la disolución intergranular genera **soluciones multicomponentes**, cuya reactividad química es propia de sistemas complejos, donde se producen fenómenos de **difusión, convección, precipitación, y autoorganización**, con un resultado de geformas desconocidas para el karst clásico en caliza y para el karst en cuarcita.



Se trata de sistemas químicos **situados** en la frontera entre el mundo morfológico de la simetría orgánica y el de la simetría cristalina inorgánica. **Las soluciones contienen** carbonatos, sílice, oxi-hidróxidos de hierro y aluminio, y otros elementos en pequeñas cantidades (sulfatos, silicatos, etc.). Su reactividad química genera patrones ordenados (algunos de ellos similares a **biomorfos**, otros con diseños **fractales**). En el karst en caliza habitualmente sólo tratamos con soluciones de carbonatos. En el karst en cuarcita con soluciones silíceas. En la arenisca de Jaizkibel (de cemento carbonático) el sistema es multicomponente en su química y mineralogía. Los procesos de disolución (y precipitación) en el interior del acuífero adquieren por tanto mayor complejidad, la cual, a través de varios pasos, puede generar patrones de celdas poligonales, alveolos, bandas de coloración, y una gran diversidad de **geformas, desconocidas para el karst clásico y para el karst en cuarcita**.



La naturaleza es inexorablemente no-lineal. Los fenómenos no-lineales dominan mucho más el mundo inanimado de lo que creíamos y constituyen a la vez un aspecto esencial de los patrones en los sistemas vivos. En el mundo no-lineal, el cual incluye la mayor parte del mundo real, simples ecuaciones deterministas pueden producir una gran riqueza y variedad de comportamientos. Por otro lado, un comportamiento aparentemente desordenado y caótico puede dar lugar a estructuras ordenadas y hermosos patrones.



- La red intergranular de vacíos en el pseudokarst de arenisca se desarrolla y amplía progresivamente, formando un acuífero intergranular. Por lo tanto, se trata de un sistema dinámico. La propia circulación subterránea determina el progreso de la disolución y ampliación de la red de cavidades.
- Para que la roca sea evacuada generando celdas, es necesario que la disolución y remoción de los granos progrese a partir de una red formada previamente por precipitación, recementación y/o no-disolución de parte del cemento que une los granos, y es a partir de tales patrones que se originan los **boxworks**.
- Así, ocurre primero una formación de patrones de roca recementada o no disuelta, a partir de los cuales se generan los patrones subsiguientes de geoformas.

El volumen karstificado resulta inhomogéneo y evidencia la **creación de patrones internos** (que inicialmente no existían). Hay ejemplos de cortes frescos por fracturas mecánicas, en la roca adyacente a cavidades, los cuales muestran roca homogénea en su interior. En el caso de boxworks, la presencia de una malla dura, con patrones hexagonales o poligonales, corresponde a silicificaciones que no existían previamente en la roca, y que han sido formados durante la evolución del sistema, al alcanzarse puntos críticos de inestabilidad (puntos de bifurcación), que marcan cambios de los cuales emergen nuevas formas de orden. Tales inestabilidades solo se dan en sistemas disipativos, operando lejos del equilibrio, y **constituyen procesos de auto-organización en medio inorgánico**.

- Es evidente que la disolución intergranular ha trabajado sobre **sistemas sílice-carbonato, hierro-carbonato, y otros sistemas complejos**. Esto, de por sí, introduce posibilidades de reactividad química mayores que en el karst clásico.
- La formación de patrones en celdas hexagonales o poligonales, y bandeados paralelos y concéntricos, indican la ocurrencia de fenómenos análogos a los que se producen por difusión y convección en los **modelos de Turing y Bénard - Marangoni** (Simoyi, 1999; Galán & Nieto, 2010). Muy probablemente su detonante procede del acoplamiento entre la precipitación de la sílice y la de carbonatos.



DIFUSIÓN Y CONVECCIÓN MULTICOMPONENTE

El paso de una fase isótropa de crecimiento de una cavidad, a otra fase anisótropa de formación de patrones en pequeños dominios, es el resultado de un proceso de **autoorganización**, por mecanismos disipativos que actúan en un momento determinado de la evolución de un sistema abierto, lejos del equilibrio. Su posterior desarrollo conduce a la formación de **boxworks**. La desigual cementación de la roca no viene así dada de antemano, sino que es debida a ondas de actividad química, de cuyo comportamiento coherente emergen de modo espontáneo celdas y vórtices de circulación que generan los patrones hallados, y que han dejado su impronta en la roca como macroformas. **Algo desconocido para el karst clásico y el karst en cuarcita.**

Otras geoformas: Son comunes en abrigos **nódulos, vetas y concreciones** con alto contenido en sílice secundaria, óxidos de hierro y óxidos de aluminio. Pueden formar láminas y costras duras; otras veces resultan arenizadas y erosionadas.



Cannonballs y Sandstone logs: En arenisca en todo el mundo son comunes las concreciones esféricas llamadas “bolas de cañón” y formas cilíndricas con aspecto de troncos de madera, de hasta varios metros de largo. La dos fotos superiores de la izquierda son ejemplos de Dakota del Norte (USA). Su cemento es carbonático y están más fuertemente cementadas que la arenisca adyacente.



Dentro de cuevas y abrigos pueden resultar arenizados



En **Jaizkibel** y **Ulía** son extraordinariamente abundantes cannonballs de hasta 1 m de diámetro. Generalmente lo que se observa son las concavidades vaciadas donde estuvieron, aunque hay algunos buenos ejemplos de bolas en relieve positivo y algunos mucho más raros de troncos o logs.



**Paramoudras: *Batichnus paramoudrae* e ichnotaxa nuevos para la Ciencia.
Los ejemplos mejor preservados y más espectaculares a nivel mundial.**



PARAMOUDRAS (Resumen didáctico). Son **concreciones silíceas** de gran tamaño organizadas en torno a las trazas fósiles (**ichnofósiles**) de tubos de organismos marinos (**poliquetos abisales** y, tal vez, **pogonóforos**). Los Paramoudras sólo han sido hallados en el Norte de Europa, en creta y margas de edad Cretácico (Mesozoico). Diversos ejemplos de *Bathichnus paramoudrae* superan los 10 m de longitud y el mayor ejemplar encontrado alcanza 29 m. En el caso del **Pseudokarst** de la **Formación Jaizkibel** se desarrollan en condiciones inusuales, ya que se trata de **areniscas carbonáticas**, depositadas por corrientes de turbidez en ambientes abisales, de **edad Eoceno (Cenozoico)**. Adoptan las más caprichosas formas: esféricas, cilíndricas, serpentiformes, en forma de senos, falos, ánforas, esponjas, o conjugadas en esculturas de extraño diseño que recuerdan a gusanitos articulados, tortugas, focas, etc. **Sus características y diseños** resultan **notables** a nivel mundial. Igualmente se trata de los ejemplos mejor conservados a nivel mundial.



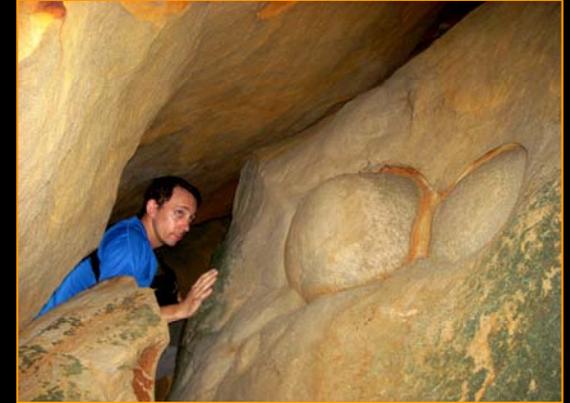
LAS FORMAS PREDOMINANTES EN JAIZKIBEL SON ESFERICAS Y CILINDRICAS

Muchas formas que recuerdan a senos que afloran del suelo son la extremidad semiesférica de Paramoudras cilíndricos que se hunden en el sustrato verticalmente. Sus desarrollos pueden ser horizontales, verticales y oblicuos.



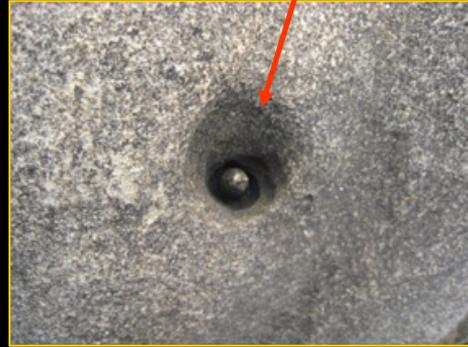
En IGUELDO hay también algunos EJEMPLOS NOTABLES de PARAMOUDRAS de hasta 4,5 m de extensión horizontal.

Destaca particularmente un ejemplo del ichnofósil *Bathichnus paramoudrae* en sección longitudinal, en el que pueden verse tramos del cordón axial central y numerosas cortas ramificaciones. Otros ejemplos muestran figuras articuladas complejas.

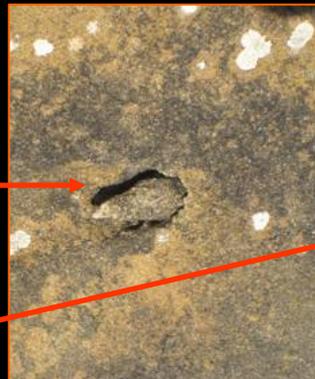


Pero la mayor diversidad se presenta en JAIZKIBEL, en zonas de Pseudokarst. En las cuevas y abrigos puede verse la base inferior o raíces de Paramoudras que penetran en el sustrato, con desarrollos espaciales laterales de cierta amplitud, los mayores de 8 m.

Los **PARAMOUDRAS** están constituidos por: (1) un **CORDÓN CENTRAL** de pequeño diámetro (5-7 mm), (2) las trazas fósiles de **TUBOS** de poliquetos marinos (paredes de 1 mm de espesor) y (3) la **CONCRECIÓN SILÍCEA** envolvente.

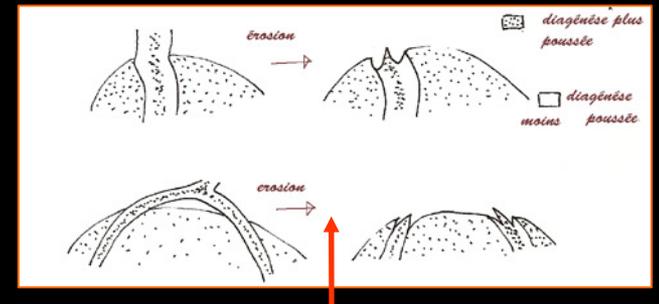


Las concreciones se desarrollan a lo largo de los tubos axiales, los cuales terminan en superficie en **orificios** a menudo con prominentes **espículas**. En otros casos expuestos en cortes naturales se aprecia su correspondencia con los **cordones centrales**.



Las **ESPÍCULAS** constituyen el elemento **MÁS ENIGMÁTICO** de los Paramoudras de Jaizkibel.

Aunque en Jaizkibel son comunes los orificios con espículas, constituyen el **primer reporte de tales estructuras a nivel mundial**. Destaca particularmente ejemplos de una especie de collar o **anillo** de unión entre la base de la espícula y la continuación del cordón, por lo que pudiera tratarse de restos de estructuras fosilizadas de la región cefálica de los poliquetos o de opérculos con que cerraban sus tubos, quedando abiertas varias posibilidades



Destaca también el hallazgo de **orificios con dos espículas**, lo que interpretamos como remanente erosional de **tubos con bifurcaciones en Y ó en T invertida**.

Los Paramoudras de Jaizkibel pueden tener 2-3 m de desarrollo vertical y hasta 6-8 m de desarrollo subhorizontal. En el caso de formas esféricas llegan a alcanzar más de 1 m de diámetro.

Las concreciones silíceas de los Paramoudras se caracterizan por la presencia de orificios, en posición axial, y estructuras tubulares perforantes, las cuales muchas veces se prolongan en el sustrato más allá de la concreción envolvente.



El conjunto litificado como Paramoudras, durante una diagénesis temprana en el sedimento (cuando el resto de las arenas estaba inconsolidado) adopta diseños tanto sencillos (esferas, cilindros) como complejos (figuras que recuerdan animales).

Los Paramoudras están bien delimitados con respecto al sustrato de arenisca carbonática adyacente. A veces están completamente rodeados de unas envolturas arcillo-arenosas o gangas de separación, más blandas, con abundante contenido en óxidos de hierro y óxidos de aluminio.

Mientras las concreciones silíceas no presentan estructura concéntrica, en las gangas de separación, de colores amarillentos, ocre y rojizos, pueden presentarse bandeados paralelos y anillos de Liesegang.



Las hipótesis más probables para explicar la formación de Paramoudras son debidas a ZILJSTRA (1995) y CLAYTON (1986).

Ambos casos suponen que los Paramoudras son formados por concrecionamiento en torno a galerías o tubos de organismos que excavaban los sedimentos arenosos. Las concreciones son generadas por procesos físico-químicos a lo largo de un gradiente redox, en el que ocurre primero la disolución y precipitación de la calcita, y luego la epigénesis de la calcita en sílice, dando origen al concrecionamiento silíceo.

A: Hipótesis de ZILJSTRA (1995).

B: Hipótesis de CLAYTON (1986).

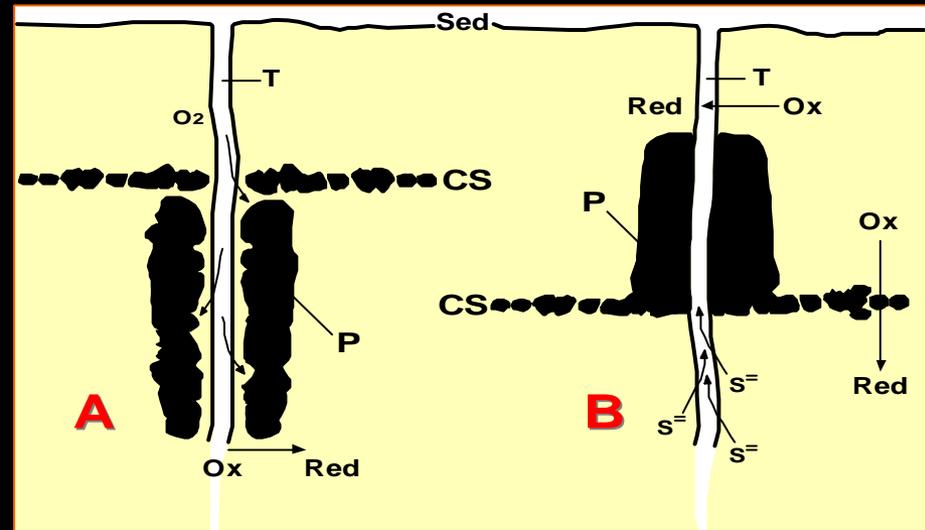
Concreciones silíceas en negro sólido. Las flechas Ox > Red indican los gradientes redox.

P = concreciones silíceas de los Paramoudras. CS = último lecho de concreciones silíceas.

Sed = superficie del sedimento. T = Tubos.

Las flechas curvas indican el tránsito de oxígeno (O_2) desde el tubo o madriguera hacia el sedimento (en A) o de sulfuros (S^{2-}) desde el sedimento hacia los tubos.

(Fuente: BRETON (2006), modificado).



Tanto desde una perspectiva diagenética (TOYTON & PARSONS, 1990; JUIGNET & BRETON, 1997) como geoquímica (CLAYTON, 1986; ZILJSTRA, 1995) cada vez resulta más claro que la silicificación de la concreción ocurre en una fase temprana y el papel preponderante es debido a la disolución de la calcita y precipitación de sílice en la frontera entre una zona oxidada superficial del sedimento y la zona profunda anóxica, rica en sulfuros. Las dos hipótesis, más que opuestas, son complementarias.

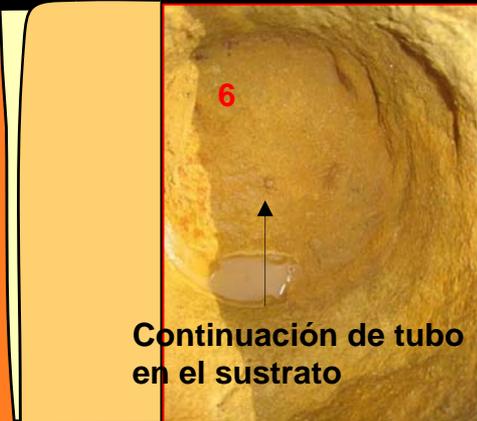
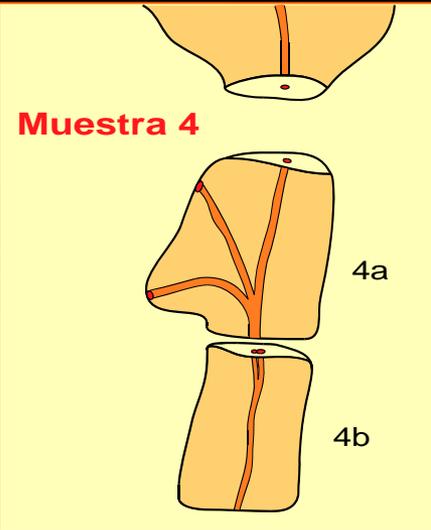


En el caso de los Paramoudras de Jaizkibel, nosotros creemos que el concrecionamiento ocurrió en zona reductora, pero sin descartar la ocurrencia de emisiones de sulfuro de hidrógeno, ya que la cuenca Eocena del País Vasco fue una activa zona de rifting (durante la apertura del Golfo de Bizkaia), la cual fue seguida por fases compresivas durante la orogénesis pirenaica. Actualmente la zona de estudio está situada en una zona geológicamente compleja, entre la cordillera de subducción del margen noribérico y la cadena de colisión de los Pirineos. Por lo que la ocurrencia de fases de actividad geotérmica, con **emisiones hidrotermales y de sulfuro de hidrógeno**, no es descartable.

En algunos sectores son predominantes Paramoudras esféricas de gran tamaño. En otros, las formas cilíndricas, a menudo con ramificaciones y bifurcaciones de distintos tipos. La diversidad de formas es enorme. El cemento silíceo de las concreciones las hace más resistentes a la erosión pluvial y marina (muy potente en el Cantábrico) que el sustrato de arenisca adyacente.



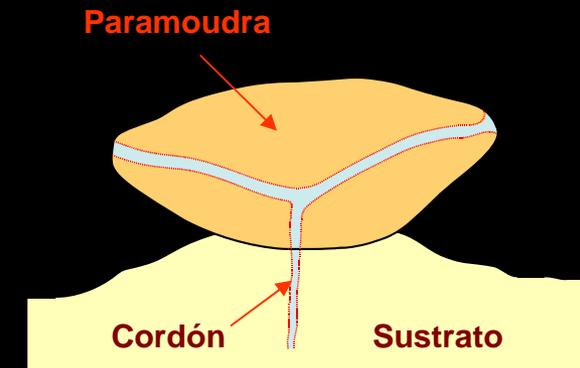
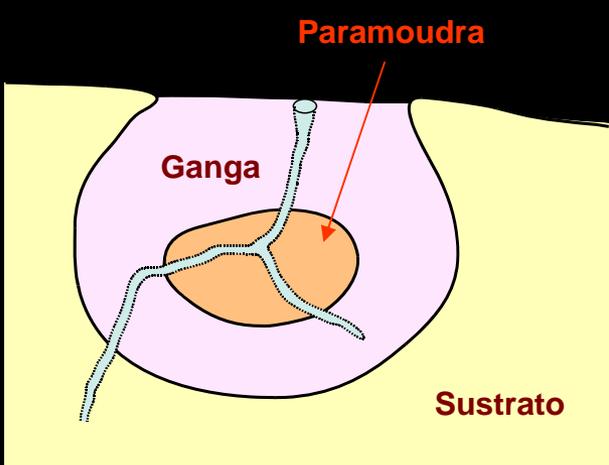
Algunos ejemplos de cortes experimentales muestran el desarrollo de los tubos en los Paramoudras de Jaizkibel. Son frecuentes bifurcaciones en Y y en T, simples y en posición inversa, ramificaciones que sugieren sucesivas gemaciones, trazados en U y helicoidales, y prolongaciones de los tubos a través de las gangas envolventes.



Otros ejemplos de cortes experimentales en Paramoudras de Jaizkibel.

En la **muestra 18**, la excavación de un remanente de ganga puso al descubierto trazas del tubo y luego un Paramoudra esférico (oval) totalmente incluido en la ganga arcillo-arenosa. El tubo del ichnofósil atravesaba el Paramoudra, con bifurcación en Y invertida, y sus ramas proseguían hasta el sustrato inferior.

La **muestra 12** corresponde a Paramoudras con forma de “**balón de rugby**”, los cuales poseen dos orificios con espícula en superficie. Su extracción y corte muestra bifurcación en Y, con la rama central del cordón hundiéndose en el sustrato.



Los análisis por SEM y EDX muestran que las tres partes de los Paramoudras (CONCRECIÓN, TUBO, y CORDÓN CENTRAL) son muy parecidas.

La trama mayoritaria es de granos de cuarzo (con pequeños fragmentos detríticos de otras rocas) unidos mayoritariamente por un cemento silíceo (sílice autigénico), con cantidades minoritarias de carbonato de calcio y trazas de otros elementos (aluminio, potasio, sodio, magnesio, hierro, cloro).

El microanálisis EDX muestra un enriquecimiento en cloro y aluminio en la parte interna del tubo, en relación a la concreción externa.

Los TUBOS tienen una composición compleja, con muchos elementos químicos.

Los análisis Raman y XPS muestran zonas verdosas compuestas de glauconita:

$(K, Na)(Fe^{3+}, Al, Mg)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$. mineral microcristalino de hábito laminar que cristaliza en el sistema monoclinico.

Existen variedades ricas en aluminio (aluminio-glauconita) y en sodio (sodio-glauconita). Las muestras de Paramoudras son ricas en aluminio y potasio, siendo muy pequeñas las cantidades de hierro y sodio.

Eventualmente podrían contener también fragmentos detríticos de feldespato potásico en forma de fonolita y pequeñas cantidades de óxido de hierro.

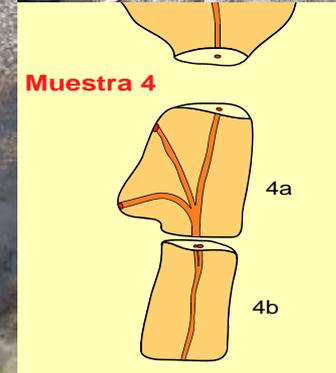
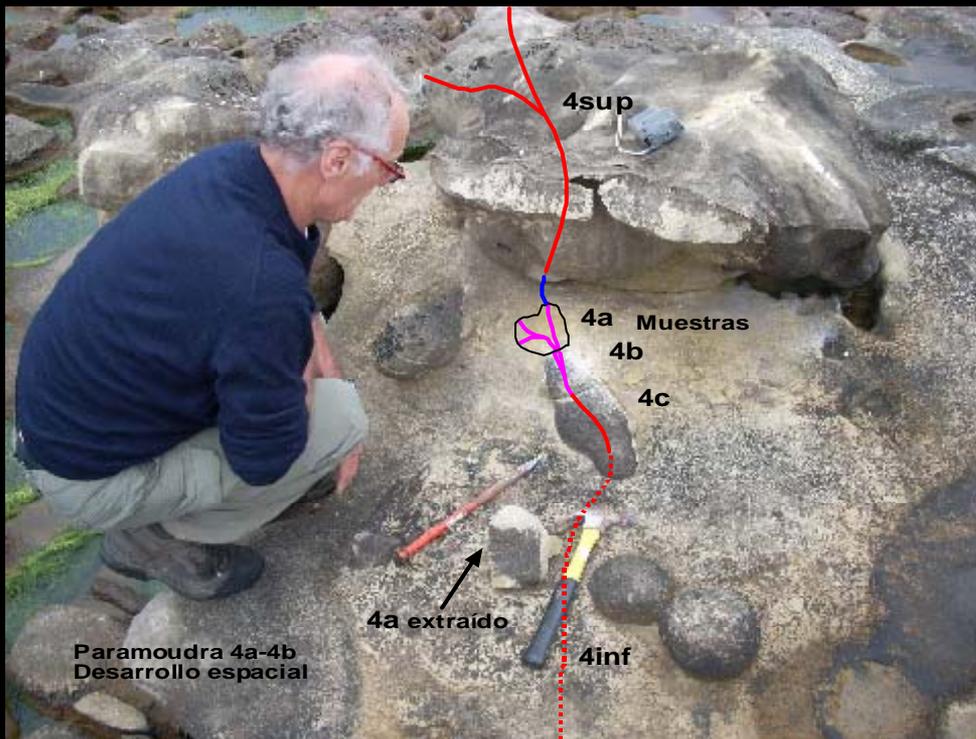
ANALÍTICA de PARAMOUDRAS

mediante:

Espectroscopía Raman
Espectroscopía por fotoelectrones de rayos X (XPS)
Microscopio electrónico de barrido (SEM)
y microanálisis EDX,

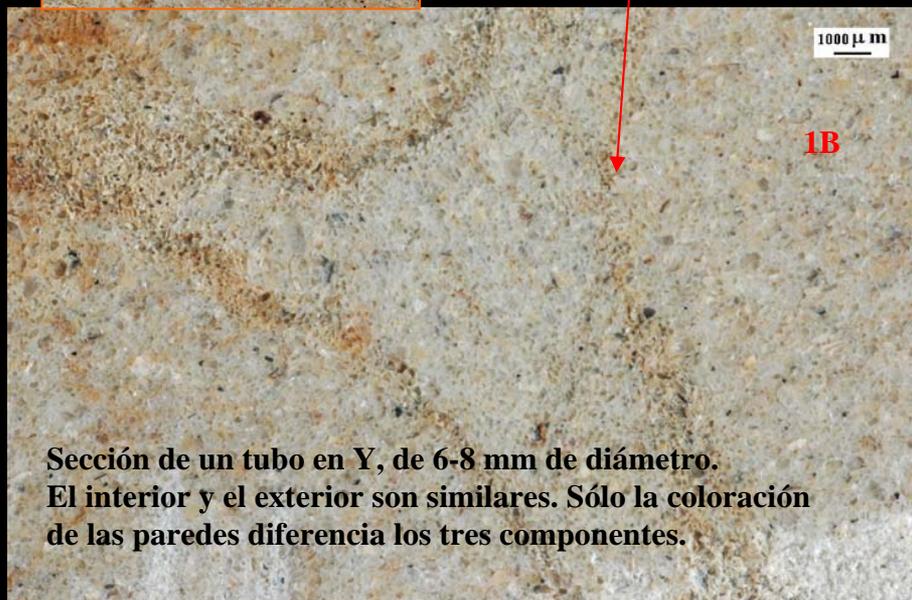
En las **ESPÍCULAS** encontramos una mayor cementación de sílice secundaria (sílice autigénico) y carbonato de hierro en forma de siderita.

En dos de las muestras se encontraron **INCLUSIONES NACARADAS** de aragonito, correspondientes a fragmentos de conchas de caracoles marinos.

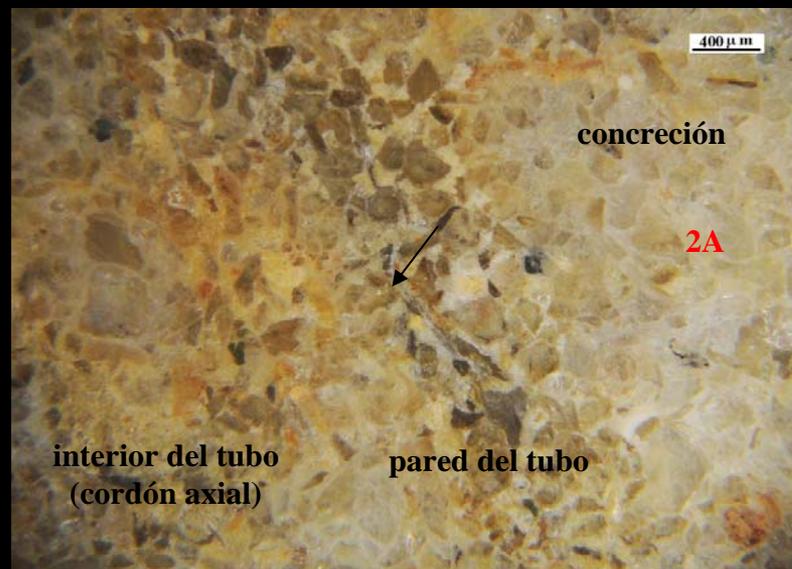


ANALÍTICA en SECCIÓN CONTINUA

Mediante espectroscopía Raman, XPS y microfotografía.



Con mayor magnificación. En 2A se aprecia una línea blanca muy fina (contorneada de cristales verdes) la cual parece corresponder a la verdadera pared del tubo, en torno a la cual se agregan partículas más pigmentadas. Los colores rojizos sugieren la presencia de óxidos de hierro.



ANALÍTICA de PARAMOUDRAS

Raman y Microfotografías pared de tubos.

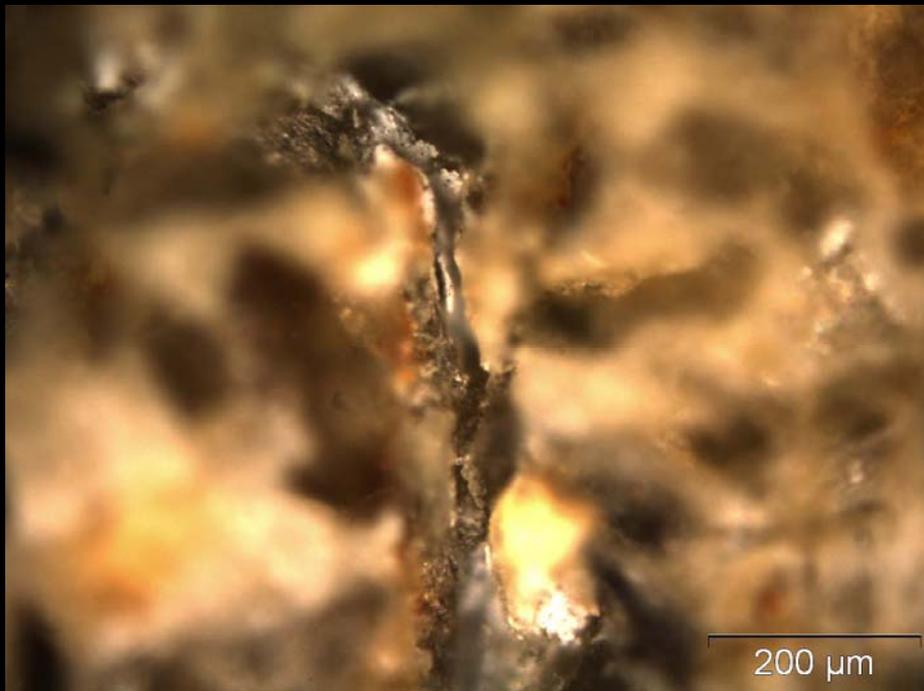
Las imágenes corresponden a la muestra anterior y están enfocadas en la línea blanca (arriba) y agregados granulares a su alrededor (debajo).

Con mayor magnificación puede apreciarse la línea blanca (una especie de fisura o película de 20-30 μm de espesor) está rodeada de agregados de cristales verdes. Las dos imágenes son de la misma área. A mayor aumento se observó que los cristales verdes son agregados de partículas menores de glauconita. Las zonas blancas brillantes constituyen el cemento silíceo.

Los análisis Raman, centrados en los cementos, muestran que el cemento de la concreción está formado mayoritariamente por óxido de silicio (sílice autigénico) mientras que las paredes de los tubos contienen agregados de glauconita, en torno a láminas de carbonato cálcico en forma de calcita.

La concreción silícea que conforma los Paramoudras y sus tubos está formada básicamente por granos de cuarzo y pequeñas cantidades de otros minerales detríticos, cementados por sílice autigénico, conteniendo eventualmente y en menores proporciones siderita, calcita, aragonito y óxidos de hierro. Las paredes de los tubos, no constituyen un cuerpo homogéneo perfectamente diferenciado sino que contienen agregados granulares más finos, con alto contenido de glauconita, óxidos de hierro y calcita.

Es muy probable que los tubos originales de los poliquetos marinos estuvieran fabricados con materiales orgánicos (una especie de pergamino o sustancias quitinosas segregadas por los organismos) reforzados con algo de calcita y aglutinaciones de fragmentos detríticos menores, lo que otorgaría a las paredes de los tubos un grado alto de consistencia y flexibilidad,



La diversidad de Paramoudras en Jaizkibel resulta notable. Han sido identificados icnofósiles afines a los siguientes taxa: *Bathichnus paramoudrae* Bromley, Schultz & Peake, 1975; *Bathichnus* isp.; *Caletichnus complicatus* Breton, 2006; *Felderichnus multiturbatae* Breton, 2006; *Megagyrolithes ardescensis* Gaillard, 1980; *ParatISOa contorta* Gaillard, 1972. Y existen muchos otros nuevos para la Ciencia, en espera de ser adecuadamente descritos.



Aunque han sido efectuados análisis de muestras con técnicas analíticas ultra finas, en el plano **mineralógico** y **geoquímico** restan muchas incógnitas por dilucidar. Básicamente han sido hallados **cementos silíceos** en las concreciones y cordones centrales, **glauconita** en los tubos, y **óxidos de hierro y aluminio** en las gangas, pero los Paramoudras y sus tubos contienen muchos otros minerales (algunos muy raros), cuya caracterización y proceso de formación presenta interesantes interrogantes.

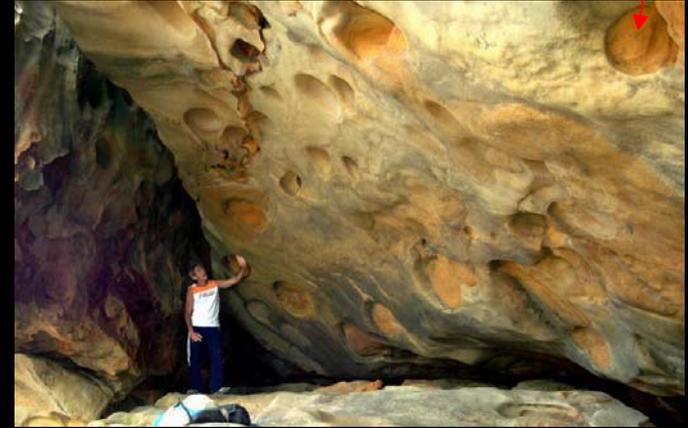


Analítica de tubos, inclusiones y gangas.

Las trazas de los tubos de Paramoudras atraviesan las gangas envolventes e incluso penetran en el sustrato inferior o adyacente.

GANGAS: composición arcillo-arenosa (con cuarzo, micas y minerales de la arcilla), a menudo con estructuras concéntricas ricas en óxidos de hierro y aluminio, donde son frecuentes anillos de Liesegang. Sus coloraciones son típicamente amarillentas, rojizas y ocres. A veces hay láminas duras intercaladas con alto contenido en hierro. Las gangas, de variable dureza y compactación, son siempre comparativamente mucho más blandas y menos resistentes que los Paramoudras en sí y el sustrato adyacente. Los tubos de los Paramoudras atraviesan estas gangas, pero la coloración verdosa característica de sus trazas (debida a la presencia de glauconita) cambia y habitualmente los tubos incluidos en las gangas tienen una coloración gris claro hasta blanco grisáceo.

En algunos sectores se encuentra en el sustrato orificios aislados en forma de embudo, semejantes a los de Paramoudras en forma de seno. Su excavación mostró que poseían cordones. El tubo es más oscuro que su centro y poseen una granulometría similar a la del sustrato. Penetran verticalmente 5 cm y pasan a estar rellenos de una sustancia blanca pulverulenta de grano fino. La analítica Raman mostró que la sustancia blanca es anatasa (dióxido de titanio). La anatasa es un polimorfo con otros dos minerales: el rutilo y la brookita. Todos ellos de igual composición química, TiO_2 , pero diferentes estructuras. La anatasa en la naturaleza es por lo general un mineral secundario, derivado de otros minerales portadores de titanio. Junto a la presencia de anhidrita en otras muestras, sugiere la ocurrencia de fenómenos hidrotermales con deposición de anhidrita asociada a depósitos metalíferos,



El espectro Raman del material más pigmentado alrededor de la sustancia blanca, mostró la presencia de cristalitos de cuarzo, junta a silicatos de magnesio, óxidos de hierro en forma de magnetita, y aragonito. Posee además fluorescencia atribuible a sustancias orgánicas.



Otra muestra, que atraviesa la ganga envolvente de un Paramoudra oval, mostró que la ganga contenía cuarzo, silicatos de magnesio, óxidos de aluminio en forma de aluminita, compuestos del azufre en forma de sulfatos o sulfuros, y algo de aragonito. En la traza del tubo sólo se aprecia algo de cuarzo y óxidos de aluminio en forma de aluminita, mientras que el cordón difiere de la ganga principalmente por contener anhidrita (sulfato de calcio anhidro) y mayor contenido de óxidos de aluminio y cuarzo. La anhidrita (sulfato de calcio anhidro) sólo se encuentra en el espectro del cordón.

Otros curiosos ejemplos



La **muestra de un Paramoudra oblongo (N° 7)** poseía en superficie una depresión ciega, mientras que al corte se aprecia un cordón (no verde sino marrón). La traza del cordón al alcanzar el sustrato inferior posee abundante SiO_2 , y una pequeña cantidad de aragonito en el tubo, la cual falta en el sustrato de roca adyacente. Posee además una inclusión nacarada compuesta de aragonito, correspondiente a un molusco fosilizado.



La traza del cordón de un Paramoudra estrellado al penetrar en el sustrato, mostró que el tubo posee un alto contenido de sulfato de calcio en forma de anhidrita (CaSO_4) y una cantidad menor de aragonito, mientras que la roca adyacente tenía cierto grado de cementación silícea. Estos ejemplos se dan en una zona con paramoudras atípicos (decapitados, estrellados, multiperforados) cerca de un contacto con lutitas.

Se puede interpretar que la composición química de los tubos y cordones cambia fuera de los Paramoudras, al penetrar en la roca-caja, con alto contenido de anhidrita (en un caso) y aragonito en sus cementos. La no detección de calcita en el sustrato adyacente a los Paramoudras estrellados o totalmente incluidos en una ganga sugiere que el sustrato más próximo a ellos está también re-cementado por sílice secundaria,

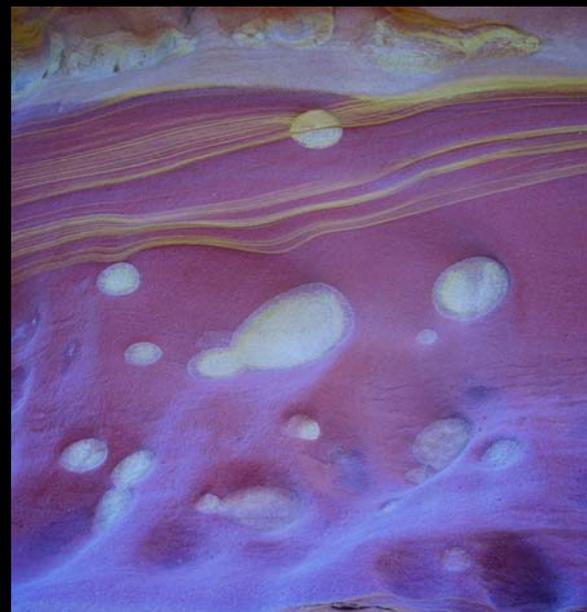


Analizamos también un Paramoudra esférico desprendido del sustrato, de 20 cm de diámetro, sin orificio en superficie y sin trazas de cordón en su interior.

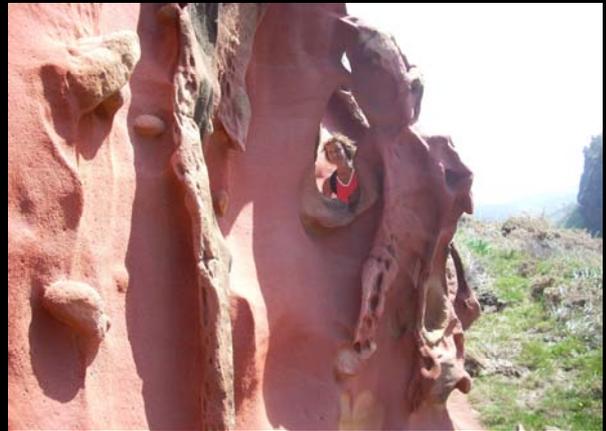
El cemento de la muestra poseía un alto contenido en SiO_2 (sílice autigénico) y unas cantidades menores de aragonito y calcita. El espectro Raman es muy parecido al de la muestra de la espícula de un Paramoudra en forma de seno, con granos de cuarzo fuertemente cementados por sílice secundaria y una cantidad menor de carbonato de calcio, con una pequeña proporción de este bajo la forma de aragonito.

Aparentemente, el que no se conserven trazas de un tubo con glauconita puede deberse a un menor contenido en materia orgánica, o a que el corte no secciona un tramo claro de la traza del tubo, como lo sugiere el que en otros casos sólo hallamos trazas fragmentarias, pero no continuas.

Geoformas en paredes expuestas. Generalmente son FORMAS RESIDUALES de lo que antes fueran cuevas y abrigos. Normalmente conservan vestigios de rebordes protectores tales como viseras de techo, tabiques y ventanas laterales.



La ciudad encantada. Algunos parajes de Jaizkibel albergan geoformas con diseños de cuentos de hadas.

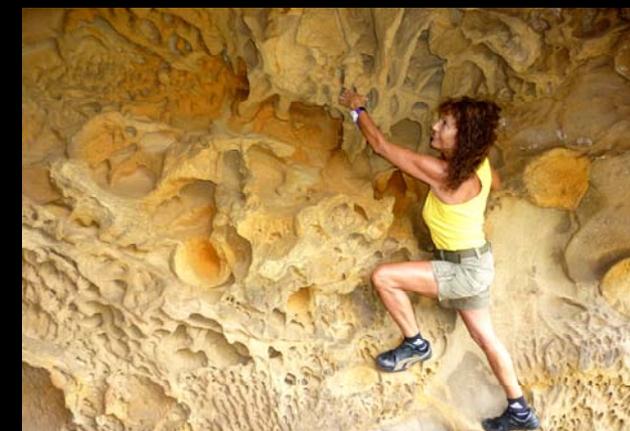




En los **acantilados de Ulía** se presentan paisajes ruiformes, con abrigos, cuevas y geofomas



En el pseudokarst de Ulía existen cuevas hidrológicamente activas, cuevas fósiles, concreciones, nódulos y geofomas, entre ellas box-works gigantes.



**Acantilados, cañones, cuevas, abrigos, geoformas... Un remarcable Pseudokarst en arenisca.
De extraordinario valor científico, cultural y didáctico. Además de valores sociales, estéticos y espirituales intangibles.**



Biotopos de superficie en geformas del pseudokarst

Las cavidades suministran abrigo a muy diversas especies. En la naturaleza hay redes dentro de redes, múltiples interacciones entre los seres vivos, las rocas, la atmósfera y los océanos.



LA PUNTA DEL ICEBERG:

Más de 220 cavidades y puntos de interés geo-biológico estudiados.

PRÓXIMOS OBJETIVOS: Proseguir las exploraciones en el Pseudokarst de Jaizkibel, sus cuevas y geoformas.

Ampliar las investigaciones en las siguientes áreas:

1. Fauna hipógea y biología de organismos.
2. Analítica de PARAMOUDRAS.
3. Analítica de BOXWORKS y GEOFORMAS CORDADAS, en diversas cuevas y abrigos.
4. Mineralogía de ESPELEOTEMAS en cuevas hidrológicamente activas.



AGRADECIMIENTOS: Este y otros trabajos que desarrollamos desde la Sociedad de Ciencias Aranzadi han contado con la desinteresada colaboración de numerosas personas e instituciones. Agradecemos entre otros a:

Franco Urbani. Director de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, de la Universidad Central de Venezuela (UCV & SVE).

Francisco F. Herrera & Ascanio Rincón. Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC & SVE).

Carlos Oyarzabal & colaboradores. S.C. Aranzadi & Laboratorio de Química. Cementos Rezola- Italcementi Group.

Ksénia Turlakova & B. Bollotte, Laboratoire de Analyses et Contrôles Chimiques de CTG - Italcementi Group, en Guerville, France.

Carolina Vera Martin. Dpto. de Biomateriales y Nanotecnología de Inasmet - Tecnalia & S.C. Aranzadi..

Adrián Intxaurreandieta & José C. García Alonso. Dpto. Tecnológico de Inasmet - Tecnalia.

Eric Leroy, Pierre Gaudon & Jean Marie Taulemesse. Centre des Matériaux de Grande Diffusion, Ecole des Mines d'Alès, France.

Luis Viera. Ichnología & dinosaurios, Dpto. Geología Sociedad de Ciencias Aranzadi & Museo de Paleontología de La Rioja.

Esteve Cardellach. Unidad de Cristalografía y Mineralogía, de la Universidad Autónoma de Barcelona.

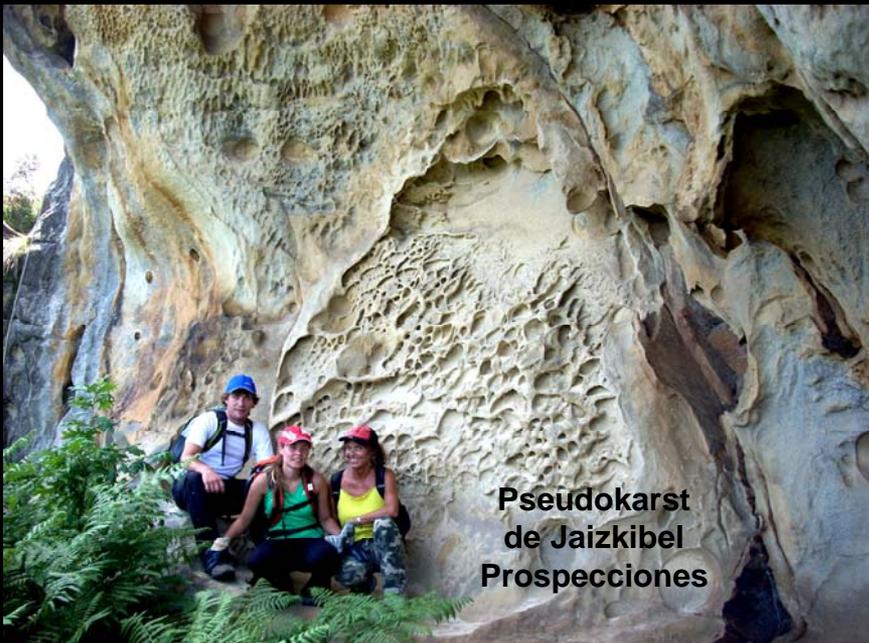
Adolfo Eraso. Cátedra de Hidrogeología, de la Universidad Complutense de Madrid & International Speleological Union (UIS).

Juan M. González Grau & colaboradores. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, IRNAS-CSIC, Sevilla.

Juan A. Zaragoza. Departamento de Ecología, Universidad de Alicante & Grupo Ibérico de Aracnología - CSIC.

De MODO ESPECIAL, por su aporte en los trabajos de campo, a los integrantes y colaboradores del Dpto. Espeleología S.C. Aranzadi:

Marian Nieto, Jose M. Rivas, Iñigo Herraiz, Michel Molia, Marider Balerdi, Aize García, Daniel Arrieta, Brian Recht, Olatz Zubizarreta, Hugo Pérez Leunda, Malkoa Zarandona, Jose Mari Beobide, Loli Nieto, Izaskun Katarain, Pablo Roldan Intxusta, Imanol Goikoetxea.



**Pseudokarst
de Jaizkibel
Prospecciones**



**Exploraciones
subterráneas**



**Estudio de Paramoudras,
Espeleotemas y Geoformas**

**ESKARRIK ASKO
THANK YOU
GRACIAS
MERCİ
OBRIGADO**

Fauna cavernícola



C. Galán.
Dpto. Espeleología
Sociedad de Ciencias Aranzadi
2012