

# Estructuras de corriente en turbiditas del flysch Eoceno. Pseudokarst en arenisca, Gipuzkoa (País Vasco).

Structures of current in turbidites in the Eocene flysch. Pseudokarst in sandstone, Gipuzkoa (Basque Country).



**Carlos GALAN; José RIVAS & Marian NIETO.**

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

E-mail: [cegalham@yahoo.es](mailto:cegalham@yahoo.es)

(Junio 2008)

# Estructuras de corriente en turbiditas del flysch Eoceno. Pseudokarst en arenisca, Gipuzkoa (País Vasco).

Structures of current in turbidites in the Eocene flysch.  
Pseudokarst in sandstone, Gipuzkoa (Basque Country).

**Carlos GALAN; José RIVAS & Marian NIETO.**

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

E-mail: cegalham@yahoo.es

(Junio 2008)

## RESUMEN

Se describen estructuras de corriente en turbiditas del flysch Eoceno de Gipuzkoa. Estas estructuras se localizan en cavidades de un pseudokarst desarrollado en areniscas cuarzosas de matriz carbonática. Se muestran también formas de interferencia que resultan de la intersección de las estructuras de corriente con la topografía de las cavidades y de otras geoformas. Se comenta y discute su origen, características y significado.

*Palabras clave:* Espeleología, pseudokarst, arenisca, corrientes de turbidez, geomorfología, cuevas, geoformas.

## ABSTRACT

Structures of current in turbidites in the Eocene flysch of Gipuzkoa are described. These structures are placed in cavities of a pseudokarst developed in quartzitic sandstone of carbonatic cement. We show as well shapes of interference which come from the intersection of structures of current with the topography of caves and other geoforms. Their origin, characteristics and meaning are discussed.

*Key words:* Speleology, pseudokarst, sandstone, turbidity currents, geomorphology, caves, geoforms.

## INTRODUCCION

En el litoral de Gipuzkoa, entre Hondarribia, San Sebastián y Orio, aflora una potente secuencia de flysch de edad Eoceno, compuesta básicamente de areniscas. El término "flysch" define una alternancia de estratos duros (de caliza o arenisca) con otros blandos (de lutitas y margas), formados en ambientes turbidíticos. La palabra flysch, de origen alemán, significa fluir o deslizarse. El origen de este tipo de sedimentación ha sido objeto de numerosas investigaciones y polémicas. No obstante hoy está claramente establecido (y aceptado) que los materiales que forman el flysch han sido depositados en zonas oceánicas profundas. Su génesis está relacionada con la formación de turbiditas, término que designa a los sedimentos depositados por corrientes de turbidez en zonas profundas del océano. En nuestro caso la serie flysch a la que haremos referencia, de edad Eoceno, está compuesta por gruesos estratos de arenisca (de 2 a 8 m de potencia), separados por intercalaciones de niveles delgados de lutitas.

En esta litología se desarrolla un pseudokarst en arenisca, con numerosas cavidades y geoformas. Las mismas se distribuyen en los bancos más compactos que ocupan la parte superior de la serie Eocena, sobre las partes centrales de los montes Jaizkibel, Ulía e Igeldo. En estos sectores los niveles de lutitas son muy delgados o faltan, reposando prácticamente unos estratos sobre otros. Así que se trata de un pseudokarst desarrollado básicamente en arenisca. Litológicamente son areniscas cuarzosas de cemento carbonático y de colores claros (blancas, amarillas, ocre y rosadas). Están formadas por un entramado de granos de cuarzo bien redondeados, que pueden constituir hasta el 90% de la roca (siempre más del 80%), y cantidades menores de feldespato y micas. El tamaño medio de grano se hace mayor hacia la parte alta de la serie. Los estratos de arenisca poseen numerosas cavidades con notables geoformas, entre ellas muy diversas formas alveolares y con facies de panal de abejas (honeycomb cells), hojaldres gigantes (boxworks), formas coraloides (coral-like forms) y tramas cordadas (chordate geoforms). Una amplia descripción de este pseudokarst, con datos representativos de los sistemas de cavidades y geoformas, fue expuesto en trabajos anteriores (GALAN, 2001; GALAN et al., 2007a, 2007b, 2008a, 2008b), donde se discutieron los distintos factores y procesos que han intervenido en su génesis. Pero además, en el interior de las cavidades, puede apreciarse algunos rasgos de la estructura primaria de las areniscas, principalmente debidos a las corrientes de turbidez, con distintas formas de estructuras de corriente, laminación disturbada y formas de compactación, como discos, pilares y nódulos esféricos. Debido a las distintas coloraciones que poseen las arenas que forman las areniscas, es posible apreciar diseños muy curiosos, de fascinante belleza y colorido. En otros casos la intersección de la geometría de las turbiditas con la topografía de cavidades y geoformas, da origen a



Estructuras de corriente en turbiditas del flysch Eoceno en el interior de una cueva. El ancho de las fotografías es de 2 m. Las laminaciones del estrato de arenisca, de distinto colorido, adoptan una disposición sinuosa pero en parte paralela, contorneando algunos nódulos e interceptando boxworks.



Detalles de estructuras de corriente de la lámina anterior. Nótese las suaves difluencias en algunos casos y también la continuidad de la laminación a través de nódulos de composición similar a la de la roca-caja.



Detalles de estructuras de corriente en las areniscas. La imagen superior tiene 2,5 m de ancho; la inferior 40 cm, aproximadamente.



Estructuras de corriente formando lóbulos festoneados en la pared arenizada de un amplio abrigo con geofomas alveolares. Nótese la existencia de nódulos arenizados y con geofomas. La imagen superior tiene 2 m de ancho; la inferior es un detalle, de aproximadamente 1 m de ancho.

dibujos de interferencia de sorprendente diseño. En esta nota haremos referencia a estos rasgos de las estructuras de corriente de las turbiditas, comentando su origen y principales características, e ilustrándolos en la medida de lo posible con fotografías.

Cabe señalar que el pseudokarst en arenisca que aquí tratamos posee similitudes con el karst en cuarcita (URBANI, 1981, 1986; GALAN, 1991; GALAN & LAGARDE, 1988) y con formas presentes en relieves de arenisca de zonas áridas o desérticas de otros lugares del planeta (HOLMES, 1965; COOK et al., 1993), pero en este caso ocurren bajo clima húmedo de tipo atlántico, con importantes lluvias bien repartidas a lo largo del año, con valores medios de 1.700-1.800 mm/a. Este pseudokarst posee un singular conjunto de rasgos propios, representando probablemente algunos de los mejores ejemplos en su tipo a nivel mundial.

## **CORRIENTES DE TURBIDEZ**

En la sedimentación submarina conocida en muchos textos como facies flysch los sedimentos son transportados bajo la influencia de la gravedad. El movimiento de los mismos ocasiona flujos altamente concentrados de sedimentos, soportados por diferentes mecanismos incluyendo turbulencia y corrientes de turbidez.

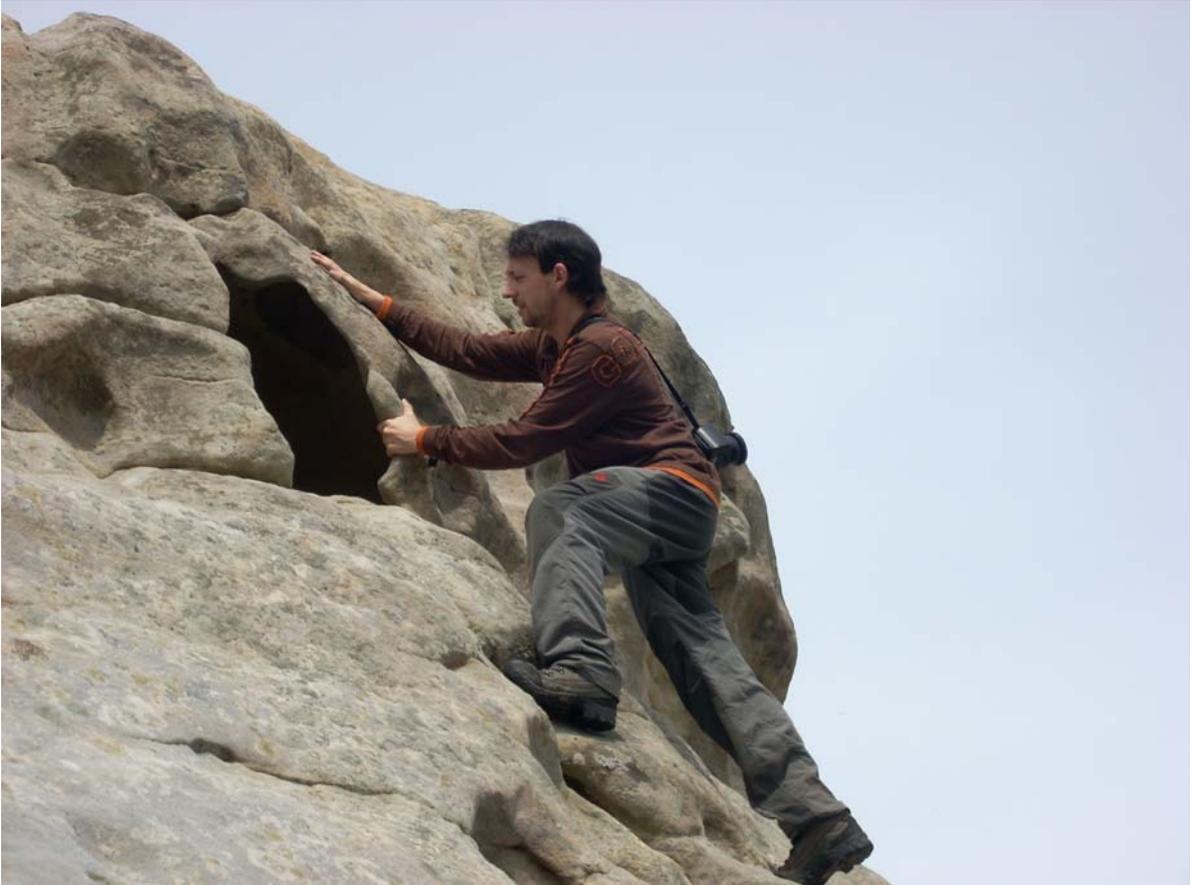
Las corrientes de turbidez y otros flujos gravitatorios ocurren cuando masas de sedimentos, que descansan inestablemente sobre la plataforma continental o el talud, comienzan a deslizar hacia abajo. Así pues, aún después de depositados los sedimentos en el medio marino, se pueden producir nuevos movimientos de transporte que modifican radicalmente las características del primer depósito. KUENEN & MIGLIORINI (1950) fueron los primeros en demostrar fehacientemente la existencia de corrientes de turbidez y explicar sus características. Previamente, era sospechada su existencia por las innumerables roturas que sufrían los cables submarinos transoceánicos. El análisis estadístico de las roturas sugería que debían ser desencadenadas por una especie de hipotéticas avalanchas las cuales descendían por el talud aumentando su volumen y velocidad. Los estudios y trabajos experimentales de Kuenen mostraron que estas corrientes de turbidez existían, eran frecuentes, y que en ellas el transporte de materiales se realizaba por suspensión y arrastre. No se trataba de una masa de agua como en las corrientes de superficie, que arrastra en su movimiento determinadas partículas, sino de una suspensión de agua y sedimentos la cual tiene unos parámetros mecánicos muy diferentes a los del agua de mar y, por lo tanto, se mueve en su interior conservando su individualidad, a la vez que arrastra en suspensión partículas mucho más voluminosas y pesadas de las que pueden mantenerse en el agua. Otros trabajos reconocieron la existencia de corrientes profundas que recorren el borde del talud, barriendo la superficie del mismo a velocidades considerables, de 10 á 25 cm/s, y originando rizaduras o ripple marks que por su forma sugieren la existencia de corrientes de velocidades incluso superiores (PETZALL, 1967).

El principal mecanismo para el transporte de masas de sedimentos pendiente abajo de la plataforma submarina y el talud, es la gravedad. La composición, textura, tasa de acumulación y condiciones del entrampamiento del agua en los poros, determina un ángulo crítico, generalmente comprendido entre 1 y 7 grados, a partir del cual las masas de sedimentos deslizan desde la plataforma. Los deslizamientos submarinos y las corrientes de turbidez son generados una vez sobrepasado dicho límite de estabilidad.

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. Estas nubes de sedimento submarinas, una vez formadas por algún movimiento turbulento de la masa de agua (o por deslizamientos o terremotos), se mueven en el sentido de la gravedad, adquiriendo considerables velocidades (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 (HOLMES, 1965; PETZALL, 1967; KEMPE, 1981).

Experimentalmente se ha demostrado que, al aumentar la proporción de material en suspensión se produce una transición rápida que pasa de la corriente de turbidez, que no es más que un líquido con un alto porcentaje de sólidos en suspensión, a un material pastoso cuyo movimiento es más bien de deslizamiento que de flujo. Los efectos de este deslizamiento a veces no pasan de formar micropliegues y otras distorsiones en pequeña escala en los estratos más próximos a la superficie, mientras que, en otros casos, el deslizamiento produce la fragmentación de estratos constituidos por sedimentos, produciendo acumulaciones de segmentos deformados de capas de arenas y arcillas que, evidentemente, constituyeron unidades estratigráficas antes del deslizamiento.

El proceso de transporte y sedimentación marina afecta a la forma de las partículas, produciendo en general una tendencia a aumentar su esfericidad y disminuir su diámetro, en función del tiempo durante el cual actúa sobre las partículas. Pero además se producen choques entre las partículas que son transportadas y entre éstas con otras que ya estaban sedimentadas. La característica universal de los sedimentos es su estratificación, que consiste en la separación, por planos más o menos paralelos, de acumulaciones de partículas más o menos bien seleccionadas, de otras, igualmente seleccionadas, pero de características distintas. En la sedimentación marina la tendencia a la selección es máxima. Esta ocurre generalmente por tamaño de grano, pero con frecuencia refleja también diferencias de densidad entre los minerales y aún diferencias de forma de los granos. Los movimientos en la masa de agua producen estructuras sedimentarias bien conocidas, tales como las marcas de oleaje, las rizaduras, la estratificación cruzada y las acumulaciones deltaicas. En la sedimentación de los materiales transportados por las corrientes de turbidez hasta las zonas oceánicas profundas, denominados turbiditas, el depósito generalmente adopta una disposición en abanico (KEMPE, 1981; COCKS & PARKER, 1981). Las turbiditas muestran una gran variedad de facies



Los afloramientos de arenisca en la región muestran una monótona coloración gris, producto de su meteorización superficial. Pero la existencia de cavidades permite observar en su interior la coloración de la roca y detalles de la estructura primaria de las areniscas, entre ellas muy diversas estructuras de corriente.



Las turbiditas del flysch Eoceno ofrecen una imagen dinámica de la energía y turbulencia a que estuvieron sometidas las arenas durante su transporte por las corrientes de turbidez y emplazamiento de los sedimentos sobre el fondo marino, a grandes profundidades. La existencia de cuevas en esta litología permite apreciar su disposición espacial.



La presencia de numerosas cuevas y abrigos actúa como "ventanas", permitiendo observar la coloración interna de las areniscas, mientras que en superficie la roca ha sido meteorizada con tonalidades grises.



El colorido de las laminaciones sinuosas en las areniscas de grano grueso a menudo es sorprendente.

sedimentarias, según las partes del abanico submarino en que son depositadas. Los abanicos submarinos, al igual que los deltas, pueden ser de muchos tipos y a menudo se encuentran asociados a la cabecera de un cañón o canal submarino, que esparce las masas de sedimentos hacia el fondo abisal. En las turbiditas es frecuente la formación de muy diversas estructuras de corriente.

## **TURBIDITAS**

Las turbiditas generalmente ocurren hacia abajo del declive que se encuentra en la desembocadura de los ríos y de los cañones submarinos, área donde pueden dislocarse y ponerse en movimiento grandes masas de sedimentos y deslizarse por gravedad. Los flujos de turbidez repetidos tienden a formar cuerpos en forma de abanicos submarinos. Estos abanicos normalmente se extienden en dirección perpendicular a la orientación de la cuenca, pero las expresiones topográficas en el piso de la misma pueden alterar tanto la orientación como la forma. En cuencas más profundas, las turbiditas pueden cubrir muchos kilómetros cuadrados y ser depositadas a 100 km o más del margen de la cuenca.

Las turbiditas están compuestas por sedimentos de grano relativamente grueso depositados por las corrientes de turbidez en aguas profundas, aunque a medida que se aleja de la fuente, el tamaño disminuye (índice de distalidad). Estos depósitos, caracterizados por la presencia de una fauna alóctona de poca profundidad, 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 las corrientes de turbidez son generadas y emplazadas en determinado lugar geográfico de la cuenca dependen de la naturaleza del área donde se genera la corriente turbidítica, proximidad entre el área de origen y el área de sedimentación, sismicidad y nivel relativo del mar. Las corrientes turbidíticas generadas por descargas de ríos durante los periodos de lluvia pueden sucederse varias veces al año. Las partes proximal y media de abanicos submarinos activos pueden recibir y 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).

Las turbiditas están compuestas mayoritariamente de rocas siliciclásticas, pero las partículas también pueden consistir en fragmentos de rocas ígneas, metamórficas, carbonatos y restos de organismos frecuentemente rotos y redepositados con ellos (COCKS & PARKER, 1981). Cuando las turbiditas han litificado forman estratos paralelos, cuya escala puede ir desde unos pocos milímetros a cerca de 15 m de espesor, y la traza de cada estrato individual puede ser seguida en el relieve a veces a lo largo de kilómetros.

Una de las más interesantes y variables secuencias sedimentarias ocurre a lo largo de los márgenes continentales activos, cuando el talud continental se extiende hacia abajo hasta una fosa. Sobre las arcillas que rellenan el fondo se encuentra una espesa secuencia de turbiditas arenosas y arcillosas. A lo largo de la base del talud corre el canal axial, de varios kilómetros de ancho, penetrado por los abanicos de cañones submarinos y acumulaciones de deslizamientos producidos por cicatrices al dislocarse o desplomarse los sedimentos que sobrepasaron los límites de estabilidad. Estos depósitos relativamente gruesos y heterogéneos son redistribuidos a lo largo de la fosa por corrientes que fluyen en una dirección axial. No es sorprendente que la tasa de sedimentación en las fosas sea mucho mayor que en las cuencas oceánicas, alcanzando 2000 mm cada mil años como promedio (KEMPE, 1981).

Los abanicos submarinos muestran una variedad de facies sedimentarias, depositadas en sus diferentes partes: el abanico interno representa la porción más proximal y actúa como el vehículo alimentador del conjunto; 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; por último el abanico externo, que corresponde a la parte distal, la cual recibe los sedimentos más finos. Los lóbulos contienen numerosas formas linguoides, festoneadas y con volutas o enroscadas (convoluted beds), además de laminaciones, formas lenticulares y nódulos esféricos. Masivamente los sedimentos muestran una gradación, pero localmente ésta se ve disturbada por los remolinos que ocurren en el interior de las corrientes de turbidez, sobre todo en las zonas de más alta energía (KEMPE, 1981; COCKS & PARKER, 1981).

## **ARENISCAS DEL 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 de material detrítico 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 Orío), 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 grosera 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 o conos de deyección submarinos; los fósiles



En el relieve de superficie, los estratos más compactos de arenisca pueden aflorar a lo largo de centenares de metros, dando origen a escarpes más o menos prominentes. En algunos de ellos se aprecia, incluso desde considerable distancia, la presencia de las bocas de abrigos y cavidades del pseudokarst, que contrastan por sus distintivas coloraciones y formas.



En el interior de cavidades, incluso de aquellas muy superficiales, se aprecia la forma de las estructuras de corriente que presentan las turbiditas, con nódulos y laminaciones de distinto tipo.



Detalles de estructuras de corriente, algunas de ellas interceptando otras geoformas del pseudokarst. Nótese cómo en algunos puntos se acumulan pequeños depósitos de arena fina, producto de la disolución intergranular y arenización de la roca.



La diversidad de diseños de las estructuras de corriente en el interior de las cavidades a menudo es sorprendente.

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 turbidez.

Según VAN VLIET (1982) y ROSELL (1988) 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). A diferencia de las subcuencas pirenaicas oriental y central, cuyo relativo confinamiento preservó parte de sus plataformas y sistemas turbidíticos, la subcuenca eocénica del País Vasco, situada al W de la Falla de Pamplona o de Bigorre, presenta buenos afloramientos tan solo a lo largo de la línea de costa, y por ello es la peor conocida en la literatura geológica. Se desconoce donde se hallaban situadas las plataformas, 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 explica el considerable desarrollo de sus sistemas turbidíticos, los cuales alcanzan 1.500 m de espesor. Las reconstrucciones paleogeográficas sugieren que la región formaba parte del margen meridional de un macizo europeo (Plateau de Las Landas), lo que explica la semejanza en la evolución sedimentaria entre ésta y la zona norpirenaica (ROBLES et al., 1988). KRUIT et al. (1972) señalan que las descargas detríticas procedían del Norte y se produjeron en la desembocadura de cañones submarinos; los materiales arenosos van a formar conos de deyección, con disposición en abanico, en los que las descargas coexistían con aportes turbidíticos axiales alimentados desde el Este; éstos aportes, menos masivos, serían absorbidos y reordenados suturándose lateralmente con las masas de arenas.

Las areniscas cuarzosas del flysch Eoceno de Gipuzkoa, como ha sido dicho al inicio de esta nota, están compuestas por un entramado de granos de cuarzo, que constituye hasta el 90% de la roca, y una matriz carbonática 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 estos bancos más compactos, de grano medio a grueso, donde el pseudokarst presenta su mayor desarrollo, con numerosas cavidades.

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, por lo general, en las areniscas (PETZALL, 1967; COCKS & PARKER, 1981). La cementación consiste en la formación de minerales en los intersticios del sedimento, lo que otorga rigidez al sedimento transformado en roca litificada al cementar los granos entre sí, a la vez que disminuye la permeabilidad y la porosidad. La recristalización comúnmente supone el cambio de una estructura microgranular o microcristalina a un agregado de cristales más gruesos, por disolución parcial y reprecipitación del material disuelto.

Los cementos autóctonos en las areniscas se forman a partir de tres fuentes principales: la disolución y reprecipitación de cuarzo, la descomposición de feldespatos, y la alteración o recristalización de arcillas detríticas y micas. Como componentes menores suelen incluirse carbonatos (procedentes de conchas y algas calcáreas) y minerales de hierro. Las variaciones de presión, temperatura y pH con la profundidad controlan la formación de estos cementos. La solución del cuarzo por presión usualmente conduce a su reprecipitación local como sobrecrecimientos (denominados syntaxiales) y es común en areniscas; ello ocasiona pérdida de porosidad tanto por reducción en volumen de los granos como por el crecimiento del cemento. La degradación de los feldespatos y la alteración de las micas ocasionan la formación de cementos de minerales arcillosos, usualmente caolinita en el caso de los feldespatos, e illita en el caso de las micas; estos cementos tienen el efecto no sólo de reducir la porosidad sino también la permeabilidad a un grado fuera de proporción con el volumen de cemento, ya que constriñen el flujo al precipitar en los estrechamientos de los pasajes que conectan unos poros con otros.

Los cementos alóctonos en las areniscas pueden reemplazar, desplazar o llenar los poros, y ellos son similares a los autóctonos: cuarzo, minerales de la arcilla, y carbonatos. La composición y paso de agua a través de los poros son por supuesto factores controlantes, pero el control global de ellos mismos es complejo y depende de una combinación de factores litológicos, estratigráficos, estructurales y tectónicos.

En nuestro caso las areniscas del flysch Eoceno poseen una trama de granos de cuarzo, redondeados a ligeramente angulosos, unida básicamente por un cemento carbonático. Y es precisamente la disolución intergranular del cemento, que ocurre actualmente en las rocas expuestas a la meteorización por las aguas de infiltración (en el medio continental), lo que genera su transformación en rocas friables, porosas y permeables, que se descohesionan por pérdida parcial del cemento, para dar origen a cavidades y geoformas pseudokársticas (GALAN et al., 2007a, 2007b). Aunque ellas están dispuestas en estratos en la secuencia del flysch, otros rasgos de su estructura interna debidas a las corrientes de turbidez se conservan prácticamente inalterados y son observables precisamente en las cavidades del pseudokarst. En esta nota no estudiamos dichos rasgos, ni tampoco pretendemos analizar los detalles de su formación, sino que meramente nos limitamos a describir sus características macroscópicas, apreciables en campo a simple vista, y que sin duda nos dan una idea y nos remiten a los efectos de las turbulencias submarinas a las que se debe su origen, cuando dichas arenas resultaron transportadas y emplazadas por las corrientes de turbidez. Sus distintivas coloraciones arrojan innumerables pistas sobre la amplitud y complejidad de las fuerzas a que estuvieron sometidas en el medio marino antes de su diagénesis y posterior emersión durante el levantamiento pirenaico.



Formas concéntricas de las turbiditas, puestas de relieve en un plano subvertical, en las paredes de abrigos. Sobre ellas, formas en pequeñas olas rizadas.



En las areniscas del flysch Eoceno pueden observarse otras geoformas, como láminas y vetas resistentes con silicificaciones locales o enriquecimientos en hierro, y formas almohadilladas o lobuladas de los abanicos submarinos.



Las estructuras de corriente incluyen numerosas nódulos esféricos, dispersos o en hileras, a veces de más de 50 cm de diámetro. Las laminaciones pueden contornearlos, formar capas concéntricas, o discurrir en paralelo a los mismos. Los nódulos, a menudo de similar composición al resto de la roca, pueden destacar como esferas en relieve positivo, pero también pueden ser arenizados o dar lugar a geoformas, con grados intermedios.



La estructura de las areniscas contiene incrustaciones de sílice y de oxi-hidróxidos de hierro, más resistentes a la erosión, que pueden quedar expuestas como remanentes erosionales en la superficie de las lajas costeras, pero también quedan expuestas en abrigos y cuevas al progresar la disolución intergranular y la arenización de la roca.

## **ESTRUCTURAS DE CORRIENTE OBSERVABLES EN CAVIDADES**

Los rasgos a los que haremos referencia son difíciles de apreciar en la mayor parte de los afloramientos de arenisca del flysch Eoceno, ya que estas rocas se presentan superficialmente meteorizadas con monótonas tonalidades grises, cuando no están simplemente recubiertas por los suelos o films de algas y líquenes. En cambio, en el interior de cavidades, se puede apreciar en toda su sorprendente belleza la disposición de las arenas, de distinto colorido, removidas y depositadas por las corrientes de turbidez. Estas estructuras de corriente forman delicados diseños y dibujos que la arenización de la roca permite apreciar.

Estas comprenden distintas laminaciones, generalmente sinuosas, a menudo convolutas, retorcidas o enroscadas (convoluted beds). Los remolinos y las formas sinusoides y onduladas pueden estar dispuestas vertical, horizontalmente, o con diversas inclinaciones. La topografía de las cavidades, a su vez sinuosa, intercepta los estratos, por lo que la observación corresponde al corte que la superficie interna de las cavidades produce sobre el volumen de roca. Las estructuras de corriente pueden entonces ser vistas en disposiciones subverticales a la vez que pueden ser seguidas lateralmente durante cierta distancia si las galerías profundizan más en la roca. Debido a que las cavidades normalmente son abrigos o cuevas de moderado desarrollo, el seguimiento lateral que puede hacerse de la disposición que tienen estas estructuras es limitado. Pero aún en este caso es muy ilustrativo de la complejidad que alcanzan las turbiditas, espacialmente. Así es posible interpretar la formación de numerosas ondas, remolinos, volutas, entrelazamientos, lóbulos, bifurcaciones, denticulaciones y formas prácticamente esféricas. En combinaciones extrañas y con curiosas formas y coloridos.

A veces se presentan variaciones en el tamaño de grano, pero en la generalidad de los casos las estructuras de corriente son apreciables en arenas de granulometría muy homogénea. Lo que indica que su disposición obedece más bien a la alta energía de las corrientes de turbidez y las ondas por ellas generadas.

Adicionalmente son muy frecuentes entre las arenas los nódulos esféricos de unos pocos a 70-80 cm de diámetro. 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 generalmente a concavidades posteriormente suavizadas y retocadas por erosión hídrica y eólica. Pero pueden quedar también expuestos en relieve positivo o incluso, cuando la disolución intergranular avanza, pueden ser modelados y esculpidos como el resto de la arenisca, dando lugar a geoformas o a dibujos circulares sobre las paredes.

En muchas cavidades es posible observar nódulos de composición arenosa similar a la de la roca que los rodea, pero separados de ella por capas concéntricas, más o menos finas, aparentemente con enriquecimientos en sílice y óxidos de hierro. Igualmente pueden presentarse láminas y vetas, más resistentes, con mayor contenido en óxidos de hierro y aluminio y menor contenido en sílice (GALAN et al., 2007b). En ocasiones las estructuras de corriente sinuosas se integran con las capas concéntricas en torno a los nódulos esféricos, con trazados complejos.

Adicionalmente, las estructuras de corriente interceptan o se ven interceptadas por geoformas alveolares de diversos tipos, al progresar la arenización de la roca en las paredes y bóvedas de las cavidades, dando lugar a esculturas donde la complejidad de formas y dibujos alcanza su máxima expresión, con originales y sorprendentes diseños.

## **CONCLUSIONES**

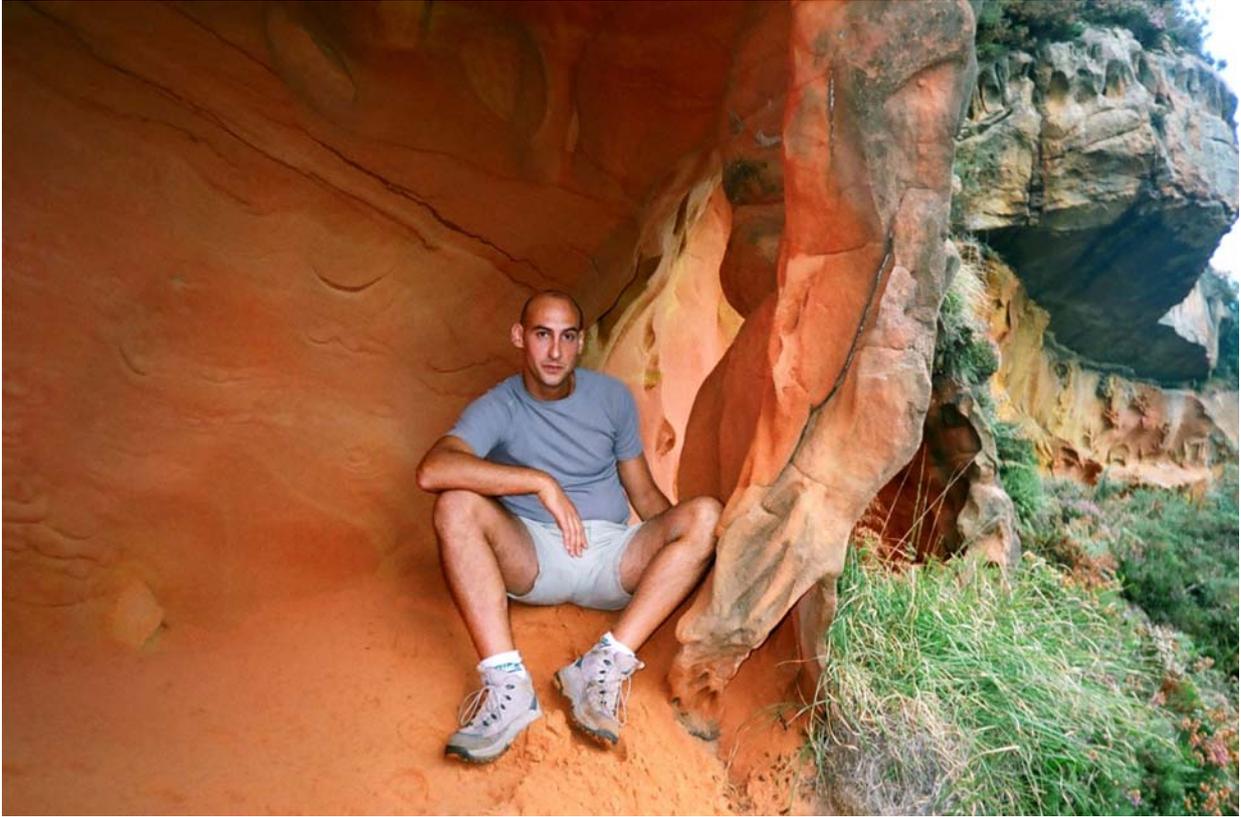
Las estructuras de corriente que presentan las turbiditas del flysch Eoceno ofrecen una imagen dinámica de la energía y turbulencia a que estuvieron sometidas las arenas durante su transporte por las corrientes de turbidez y emplazamiento de los sedimentos sobre el fondo marino, a gran profundidad, en la parte occidental de la cuenca eocénica pirenaica.

Su observación local es posible porque en estas areniscas se ha desarrollado un pseudokarst, en cuyas cavidades, formadas por procesos de disolución intergranular y arenización de la roca, quedan expuestos muy diversos rasgos de la estructura interna de las turbiditas, los cuales, de no mediar la existencia de las cavidades serían difícilmente observables.

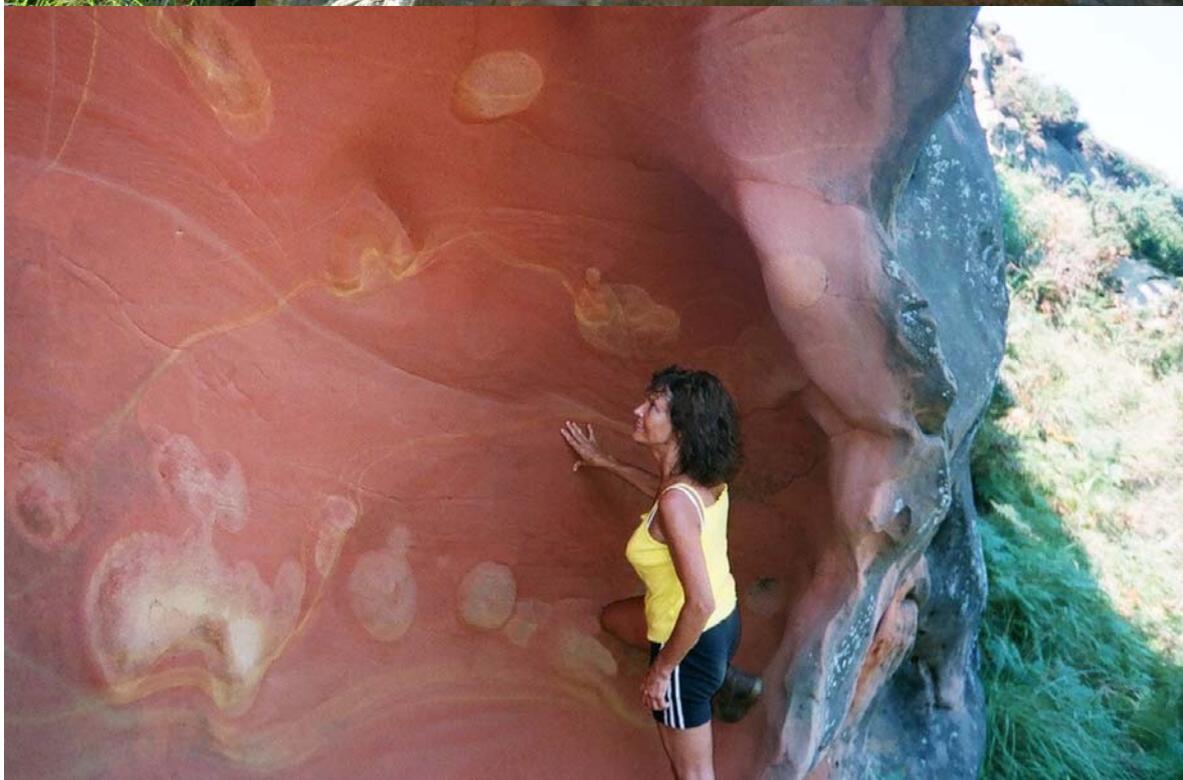
Los cementos carbonatados que rellenan los poros entre los granos de arena para formar las areniscas, son así removidos parcialmente por disolución intergranular, bajo condiciones aéreas posteriores, hasta descohesionar la roca compacta y generar cuevas y geoformas pseudokársticas de remarcables características. Estos procesos de disolución intergranular y meteorización de la roca, que van erosionando los estratos compactos de arenisca, permiten entonces apreciar muy diversas características de la estructura primaria de las turbiditas.

El desarrollo del pseudokarst actúa así como una ventana, que permite observar y comprender rasgos de las turbiditas, propuestos en modelos teóricos, plasmándolos de modo gráfico y con todo su dinamismo. Las estructuras de corriente muestran, con su diseño temporal "congelado" o petrificado, la acción de procesos físico-químicos que ocurrieron en el pasado, cuando estas secuencias de sedimentos arenosos se depositaron en los profundos fondos oceánicos.

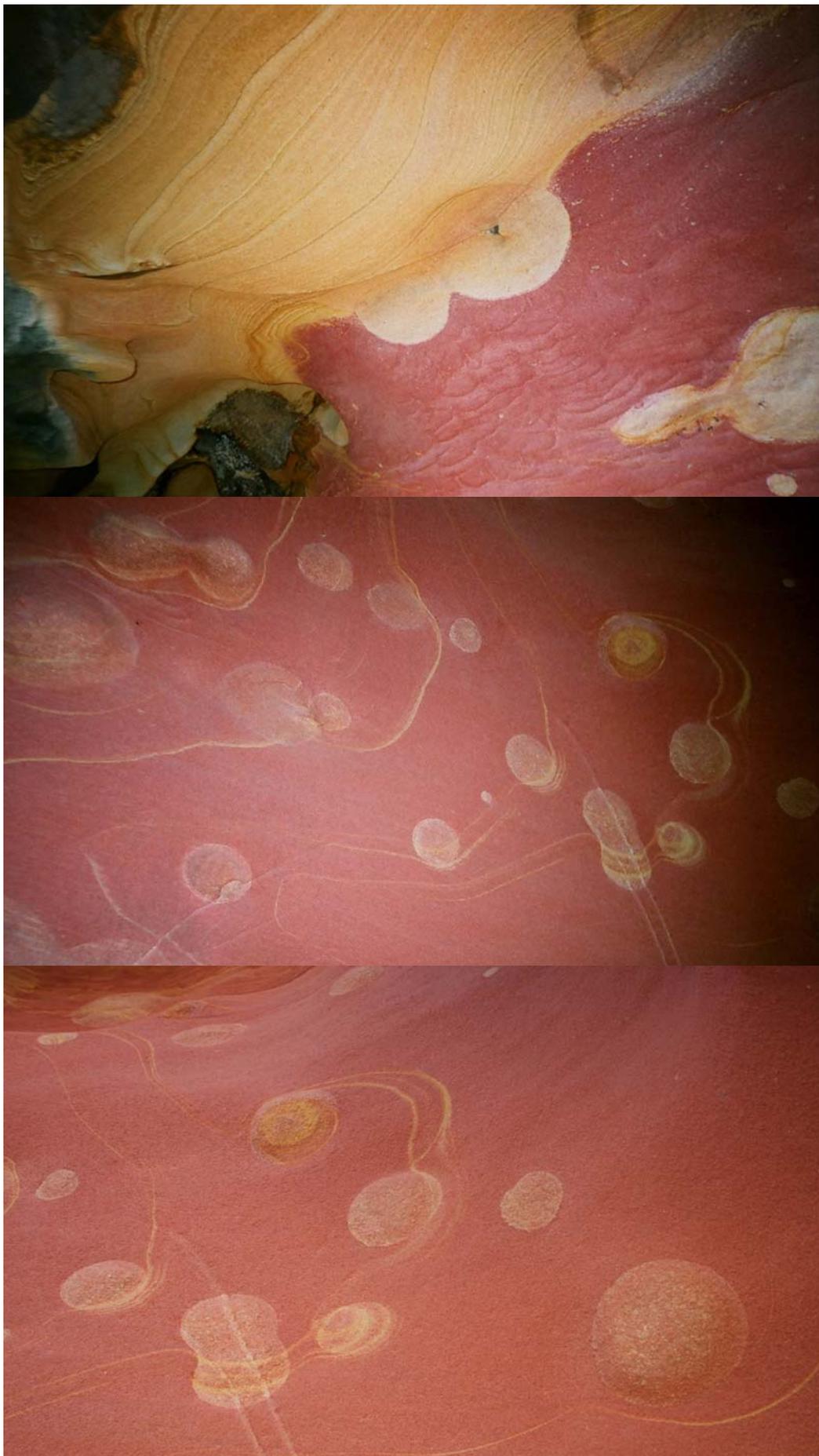
La nota que presentamos no pretende ser más que una descripción ilustrada, explicando el contexto en que se generaron estas curiosas figuras y diseños. La exploración de cavidades en arenisca abre un vasto campo de estudio que sorprende en cada ocasión con nuevos ejemplos. Nuestra mayor conclusión es que el pseudokarst en arenisca del flysch Eoceno, aúna a su interés geológico y espeleológico, ejemplos muy originales y didácticos, de singular belleza.



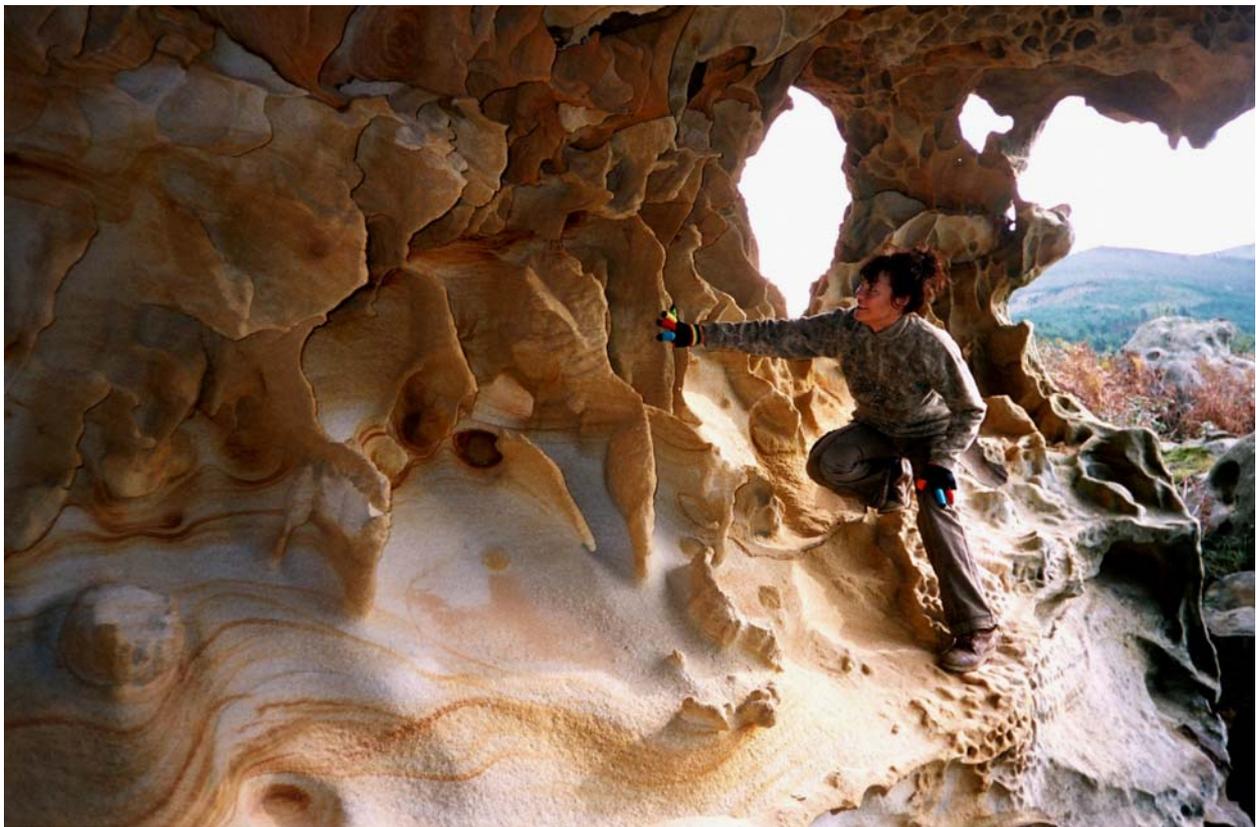
La diversidad de coloridos de las areniscas del flysch Eoceno es notable. A veces se trata de estratos distintos, pero en otras ocasiones son capas de un único estrato. La discontinuidad obedece a interrupciones y cambios que crean diastemas entre las sucesivas superficies de sedimentación, bien sea por variaciones de la energía de la corriente, quimismo del agua, oxigenación, actividad biológica, u otras causas. Nótese la interdigitación local entre capas en la imagen inferior.



Cavidades con estructuras de corriente en estratos superpuestos, de distintos colores.



Algunos diseños recuerdan partituras. Música de la naturaleza escrita en las rocas.



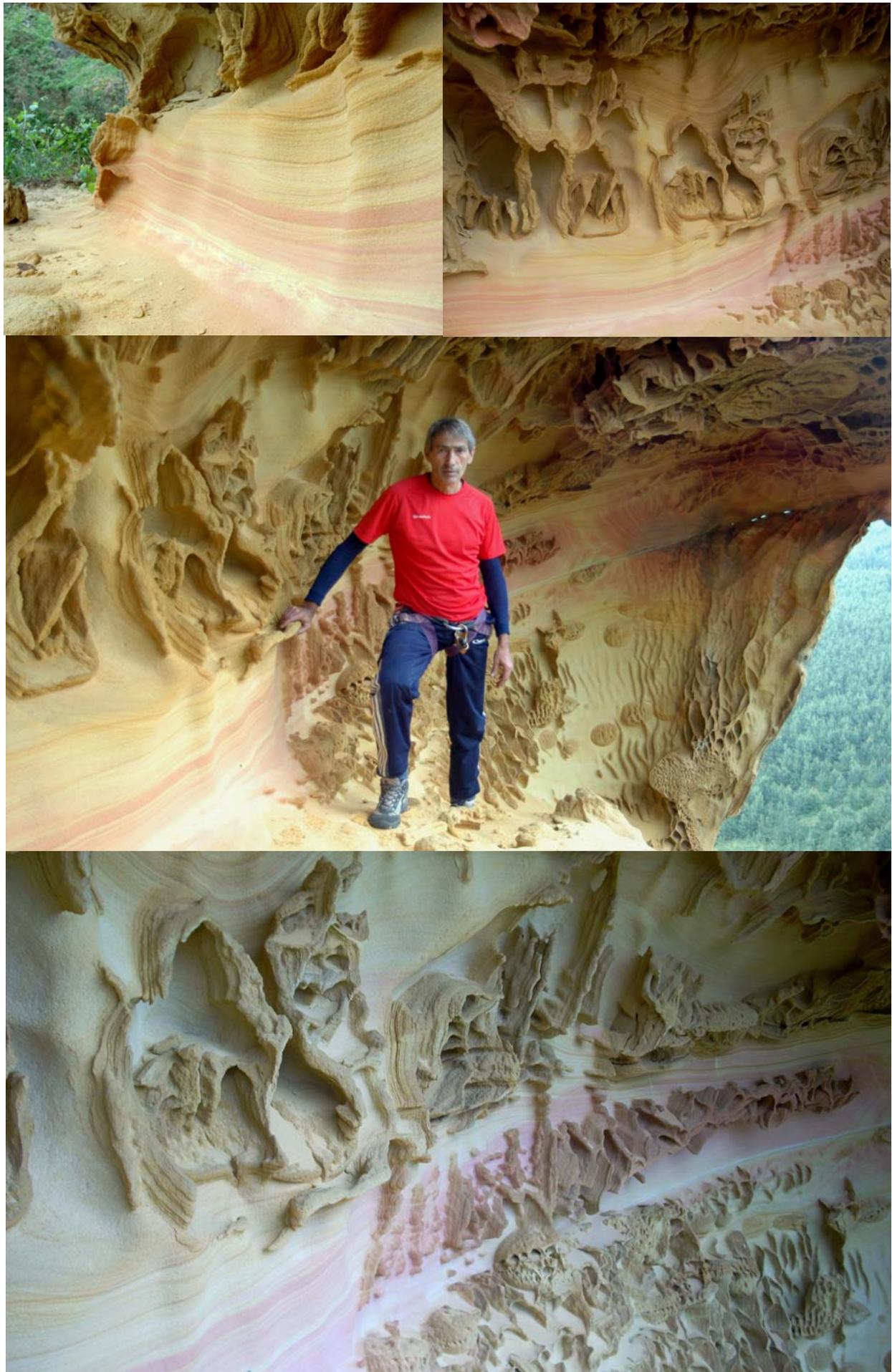
Las estructuras de corriente de las turbiditas interceptan en las paredes internas de las cavidades tramas de geoformas, entre ellas grandes boxworks, formando curiosas figuras y diseños de interferencia. Nótese la presencia de laminaciones cruzadas (imagen superior), sinuosas y entrelazadas (imagen inferior).

## AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos miembros, amigos y colaboradores, de la Sociedad de Ciencias Aranzadi o de otras instituciones, que de un modo u otro nos ayudaron en los trabajos de campo y de laboratorio, o nos aportaron comentarios críticos, sugerencias, bibliografía e informaciones de interés. Entre ellos queremos mencionar especialmente a Daniel Adrián Decon, Carlos Oyarzabal, Hugo Pérez Leunda, Iñigo Herraiz, Franco Urbani, e Imanol Goikoetxea, con los que estamos en deuda por su apoyo para el desarrollo de estos trabajos. Igualmente agradecemos a Anabella Besance por su continuada ayuda con las traducciones en inglés.

## BIBLIOGRAFIA

- BOGGS, S. 1995. Principles of Sedimentology and Stratigraphy. Ed. Prentice Halls Inc., London, 2ª Ed.
- 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.
- COCKS, L. R. M. & A. PARKER. 1981. The evolution of sedimentary environments. In: Cocks, L. R. M. *The Evolving Earth*. British Museum (Natural History), Cambridge Univ. Press, II (4): 47-62.
- 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.; J. RIVAS & M. NIETO. 2007a. Pseudokarst dans les grès du flysch littoral Éocène, Gipuzkoa, Pays Basque Espagnol. *Spelunca, FFS*, 109: 12 pp (en prensa). + Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 44 pp.
- GALAN, C.; J. RIVAS & M. NIETO. 2007b. Notas suplementarias sobre formas pseudokársticas en arenisca del flysch Eoceno, Gipuzkoa. *Lapiaz*, nº 32: 20 pp (en prensa). + Pag web aranzadi-sciences.org, Archivo PDF, 20 pp.
- GALAN, C.; J. RIVAS & M. NIETO. 2008a. Geoformas cordadas en arenisca del flysch costero Eoceno, Gipuzkoa. Pag. web SCA, Dpto. Espeleología, Apdo. Artículos de Consulta: <http://www.aranzadi-sciences.org>. Archivo PDF, 28 pp.
- GALAN, C.; J. RIVAS; M. NIETO & I. HERRAIZ. 2008b. Cañones, acantilados, escarpes y su relación con cavidades en arenisca (flysch costero Eoceno, Gipuzkoa). Pag. web SCA, Dpto. Espeleología, Apdo. Artículos de Consulta: <http://www.aranzadi-sciences.org>. Archivo PDF, 28 pp.
- 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.
- KEMPE, D. R. C. 1981. Deep ocean sediments. In: Cocks, L. R. M. *The Evolving Earth*. British Museum (Natural History), Cambridge Univ. Press, III (7): 103-120.
- KRUIT, C.; BROUWER, J. & P. EALEY. 1972. A Deep-Water Sand Fan in the Eocene Bay of Biscay. *Nature Physical Science*, 240: 59-61.
- KUENEN, P. & C. MIGLIORINI. 1950. Turbidity currents as a source of graded bedding. *Journal of Geology*, 58: 91-127.
- 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.
- PETZALL, W. 1967. Sedimentación marina. In: *Ecología Marina*. Margalef et al. Edit., Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Caracas, Cap. 2: 35-66.
- ROBLES, S.; V. PUJALTE & J. GARCIA-MONDEJAR. 1988. Evolución de los sistemas sedimentarios del Margen continental Cantábrico durante el Albiense y Cenomaniense, en la transversal del litoral vizcaíno. *Rev. Soc. Geol. España, Márgenes continentales de la Península Ibérica*, Vol. 1 (3-4): 409-441.
- 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.
- 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.
- VAN VLIET, A. 1982. Submarine fans and associated deposits in the Lower Tertiary of Guipúzcoa (Northern Spain). *Thesis Doct., Univ. Utrecht, Netherlands*, 180 pp.



Laminación paralela interceptando remanentes erosionales de otras geoformas. Algunos diseños parecen signos de una extraña escritura cuneiforme.



Escritura del agua intergranular en la roca. La naturaleza a veces deja mensajes ocultos para recordarnos lo efímero de la condición humana. Gracias, naturaleza.



La cueva del Elefante está colgada en un abrupto acantilado. Sus formas se asemejan a cráteres lunares, que interrumpen la suave textura de las paredes de arenisca. A veces conservan testigos de vetas y envolturas con silicificaciones y enriquecimientos de óxidos de hierro.



Capas concéntricas en torno a nódulos esféricos vaciados al progresar la arenización de la roca. Ello sugiere que muchos nódulos son formados no tanto por una distinta composición de su interior, sino por los enriquecimientos minerales que los envuelven. En la imagen inferior se aprecia la disposición de estructuras de corriente en forma de pequeñas olas.



Para concluir, imágenes de estructuras de corriente conteniendo concavidades, producto de la remoción completa de formas nodulares, y en torno a mallas de grandes alveolos o boxworks de diseño poligonal. El ancho de las imágenes es de aproximadamente 2,5 m. Su belleza estética habla por sí sola.