

ESTUDIO ALTEROLOGICO DE LA ARENISCA SOPORTE DE LAS PINTURAS Y GRABADOS DE LA ROCA DELS MOROS DE EL COGUL (LLEIDA)

C. SANCHO (1), J. L. PEÑA (2), M. P. MATA (1)
&
J. R. GONZALEZ (3)

(1) Dpto. Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza.

(2) Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza.

(3) Servei d'Arqueologia del Institut d'Estudis Ilerdencs. Lleida.

Resumen. La Roca dels Moros de El Cogul constituye un abrigo natural, a favor de un bloque areniscoso deslizado, en el que son frecuentes las microformas y productos resultantes de la meteorización de la arenisca soporte y que, al menos parcialmente, afectan a diferentes tipos de pinturas rupestres y grabados de gran interés. Las características climáticas semiáridas y la niebla junto con la susceptibilidad alterológica de la arenisca favorecen el desarrollo de tafoni, escamas, eflorescencias, concreciones carbonatadas, costras de alteración y pátinas o barnices de ennegrecimiento. Estas formas y productos de alteración están relacionados con la funcionalidad cíclica de procesos de haloclastismo y con la fijación en la superficie de la arenisca de sustancias de diversa naturaleza.

Palabras clave: Depresión del Ebro, meteorización de areniscas, haloclastismo, pátinas de ennegrecimiento, pinturas y grabados prehistóricos.

Abstract

The Roca dels Moros de El Cogul is a cliff-foot cave in a sandstone slided block. It is characterized by extensive weathering features damaging prehistoric rock paintings and carvings. The semiarid climate and the high frequency of foggy days together with the sandstone weathering susceptibility provide the development of tafoni, flakes, salt crystals, carbonate concretions, weathering crust and black rock coating or varnish. This weathering products are related with the cyclic activity of salt weatering and with the accumulation on the surface sandstone of several materials.

Key words: Ebro basin, sandstone weathering, salt weathering, black rock coatings, prehistoric rock paintings and carvings.

1. Introducción

En el valle del río Set (Les Garrigues, Lleida), como consecuencia de la alternancia de niveles areniscos y arcillosos y de la alteración de los primeros, son frecuentes los abrigos o zonas protegidas en escarpes y laderas. Algunos de ellos, como la Roca dels Moros d'el Cogul, han sido utilizados por el hombre en diferentes momentos de la prehistoria y en sus paredes aparecen diferentes tipos de pinturas rupestres y grabados.

Las pinturas de este abrigo han sido objeto de numerosos estudios (Alamagro, 1952) por el gran interés que presentaban dentro del conjunto de las manifestaciones pictóricas peninsulares. En el friso se localizan 52 figuras humanas y de fauna pintadas en colores rojo y blanco con estilo naturalista-estilizado y algunas con trazados esquemáticos. Además hay unos 250 signos grabados, en alfabeto ibérico y latino y algunos grabados de fauna. En las excavaciones efectuadas en la base de la balma aparecieron materiales cerámicos de fines del Neolítico-Edad del Bronce y romanos, considerándose una cronología de ocupación entre 7000 y 100 a.C.

Por otro lado, en el interior del abrigo aparecen frecuentes microformas y productos resultantes de la meteorización de la arenisca soporte y que, al menos parcialmente, afectan a los restos pictóricos. Ante esta situación ha existido, en numerosas ocasiones, cierta preocupación tanto por el estado de conservación de las pinturas como por el estudio los procesos de alteración que afectan a las mismas y a la roca soporte.

Aunque son muy frecuentes los trabajos sobre el estado de alteración de rocas utilizadas en monumentos arquitectónicos y los procesos alterológicos que las degradan, los trabajos sobre la conservación del legado artístico en afloramientos rocosos naturales son más escasos. En relación con pinturas rupestres, Valle et al. (1979) estudian el deterioro de las existentes en la Cueva de Altamira (Cantabria) y Benito et al. (1993) analizan la alteración de las areniscas del Parque Cultural de Albarracín, en la provincia de Teruel y su influencia en la conservación de las pinturas representadas en sus abrigos. Otro tipo de manifestaciones artísticas que han sido objeto de estudios alterológicos son los grabados en rocas. Campbell (1991) realiza una clasificación de la intensidad de la meteorización que afecta a la arenisca soporte de los grabados históricos del Parque Writing-on-stone de Alberta en Canadá. Por otro lado, Peña & Sancho (1992) analizan las formas y productos alterológicos que aparecen sobre la arenisca con grabados prehistóricos de Mas de N'Olives en el valle medio del Segre. Finalmente, Sjöberg (1994) valora el estado alterológico de superficies con grabados de la Edad del Bronce en el suroeste de Suecia, indicando las causas que favorecen la meteorización de la roca soporte.

2. Área de estudio

La Roca dels Moros está situada (Fig. 1) en el sector oriental de la Depresión del Ebro o Depresión Central Catalana. Esta zona se compone de un conjunto de relieves estructurales separados por valles fluviales estrechos y paralelos que descienden desde la Serra de la Llena hacia el río Segre. El más importante de estos valles es el Set que presenta una amplia y ramificada red afluyente con frecuentes rellenos cuaternarios.

El río Set atraviesa en este sector los sedimentos detríticos oligocenos que se depositaron en la cuenca terciaria del Ebro formando parte de un dispositivo en abanico aluviales cuyas fases más proximales se sitúan en los márgenes de la Cordillera Costera Catalana (Fm. Conglomerados del Montsant) y las más distales en las áreas margoarcillosas del Plà de Lleida y del Plà d'Urgell (Fm. Urgell) y series carbonatadas de la Fm. Tàrraga, Fm. Calizas de Castellans, Almatret y Mequinensa (Riba et al., 1983). El valle medio del Set pertenece a la zona deposicional intermedia de facies fluviales del Sistema Scala Dei (Allen et al., 1983; Cabrera et al., 1985). Se trata de bancos de areniscas y microconglomerados con estructuras canaliformes que alternan con tramos de arcilla y niveles carbonatados.

Desde el punto de vista geomorfológico (Fig. 1), la incisión fluvial del río Set en las series alternantes mencionadas ha dado lugar a relieves estructurales horizontales, modelados en plataformas y mesas escalonadas y algunos cerros testigos aislados. Al mismo tiempo, algunos paleocanales areniscos han sido exhumados, presentando trazados serpentiformes y generando en ocasiones depresiones cerradas. Por otro lado, aparecen diferentes valles de fondo plano con rellenos holocenos que compartimentan notablemente el relieve dominado por las litologías duras.



Figura 1. Mapa geomorfológico del entorno de El Cogul. 1: Escarpes estructurales de areniscas. 2: Relieves de paleocanales. 3: Barrancos de incisión. 4: Valles de fondo plano. 5: Conos de deyección. 6: Río Set. 7: Núcleo de población (Geomorphological map of El Cogul area. 1: Structural scarps on sandstones. 2: Palaeochannel reliefs. 3: Drainage network. 4: Infilled valleys. 5: Alluvial fans. 6: Set River. 7: Village).

Las cornisas de las plataformas y mesas de areniscas y microconglomerados presentan fuertes rupturas de pendiente, con taludes más suaves a su pie modelados en los tramos arcillosos. El contacto entre ambos tipos de formaciones favorece la conformación de abrigos por socavado basal, muy abundantes en estos valles. Las fracturas ortogonales que afectan a las areniscas, junto a este socavamiento basal determinan la separación y posterior caída de bloques por acción de la gravedad. En consecuencia, el modelado de detalle de las laderas de estos valles se caracteriza por la presencia de numerosos bloques desprendidos (Peña, 1983), uno de los cuales es precisamente la Roca dels Moros de El Cogul (Fig. 2).

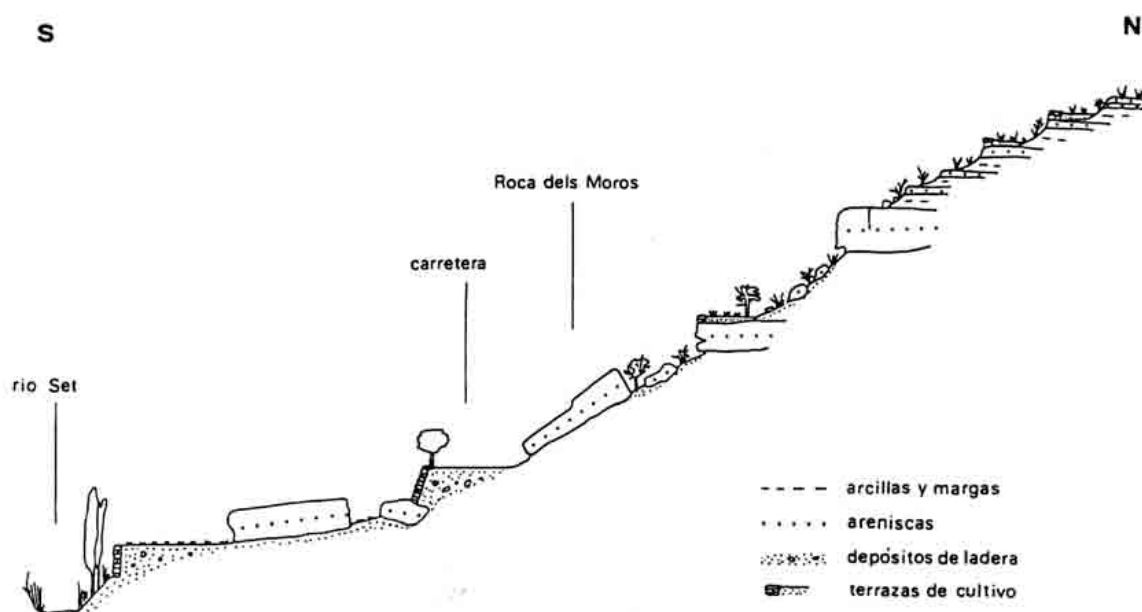


Figura 2. Localización del abrigo de la Roca dels Moros en el perfil de la ladera
(Location of Roca dels Moros cliff-foot cave on the slope profile).

La roca que contiene el abrigo con pinturas rupestres está situada en la orilla derecha del río Set a menos de 1 km de El Cogul (Fig. 1) y a unos 6 km de L'Albagés, ambas localidades en el valle del Set, y a una altura de 280 m sobre el nivel del mar. Desde las cornisas situadas inmediatamente encima, la roca se desplazó ladera abajo por gravedad deslizándose sobre las arcillas, por lo que son frecuentes los signos de cizallamiento sufrido por los materiales lutíticos infrayacentes. El resultado es un gran bloque rocoso imbricado 40° hacia el Sur que ocupa la parte baja de una ladera junto con otros bloques desprendidos de la cornisa (Fig. 2). La Roca quedó a unos pocos metros por encima del lecho fluvial y manteniendo una posición inclinada según la pendiente original de desplazamiento. Esta roca, al igual que en las cornisas y demás bloques de areniscas cercanos, presenta un buen desarrollo de las formas de alteración fisicoquímica propia de las rocas granudas.

3. Objetivos y metodología

El principal objetivo del trabajo consiste en el estudio alterológico de la arenisca de la Roca dels Moros de El Cogul y su incidencia en la conservación y visualización de los grabados y pinturas existentes en el interior de la misma.

Para analizar el funcionamiento de los procesos de meteorización que afectan a la arenisca es necesario avanzar en una serie de aspectos relacionados, en primer lugar, con el análisis de los factores climáticos y ambientales del entorno del abrigo y con las características de la arenisca que controlan la susceptibilidad de la misma ante la meteorización. Por otro lado, este tipo de trabajos previos se complementan con la caracterización de las formas y productos alterológicos resultantes de la interacción entre los factores climáticos-ambientales y las peculiaridades de la propia arenisca.

La información climática y ambiental se ha obtenido mediante la elaboración de los datos suministrados directamente por diferentes estaciones meteorológicas del entorno de El Cogul (principalmente L'Albagès) y a partir de la información reseñada por Pomar & Porta (1983) para la zona meridional de Lleida.

Para conocer la susceptibilidad ante la meteorización de la arenisca del abrigo y las características de las microformas y de los productos de alteración se han analizado cualitativa y cuantitativamente una serie de parámetros característicos de diferentes muestras seleccionadas en el interior del propio abrigo. Las características texturales de la arenisca se han analizado con el microscopio petrográfico de polarización. El análisis mineralógico se ha realizado mediante difracción de rayos-X. Algunas características químicas de la arenisca se han determinado a partir del análisis mediante electrodos selectivos de iones y espectrofotometría de las soluciones obtenidas al colocar la muestra molida de arenisca en contacto con agua destilada. El procedimiento y la fórmula de cálculo utilizados en la determinación del índice de vacíos corresponden a las normas establecidas por la I.S.R.M. (1972). Por lo que se refiere a los productos de alteración, se han caracterizado mineralógicamente mediante la utilización de difracción de rayos-X y micromorfológicamente mediante lupa binocular y microscopio electrónico de barrido, que a su vez incorporaba un espectrómetro de dispersión de energía de rayos-X (EDAX). También se han realizado medidas geométricas de las principales formas de alteración y de las discontinuidades estructurales que afectan a la roca.

4. Características climáticas

El medio climático en el que se localiza el valle medio del río Set pertenece al tipo mediterráneo continental mesotérmico. Se caracteriza por la presencia de inviernos fríos y veranos muy cálidos, alta amplitud térmica anual (superior a los 19°) y precipitaciones escasas. Como datos de referencia podemos utilizar los de L'Albagés, a sólo 6 km en el mismo valle y a una altura ligeramente superior (368 m).

La temperatura media anual, basada solamente en 5 años de observación, es de 14.9°, oscilando las temperaturas medias entre 5.3° (Enero) y 25.1° (Agosto), por lo que la amplitud media es de 19.8°. Las temperaturas extremas de L'Albagés oscilan entre 44° (Agosto 1987) y -12° (Enero 1985). En este sentido un dato interesante se deriva de la posibilidad de que existan heladas durante algunos períodos del año. Para esta comarca Pomar & Porta (1983) señalan que el riesgo de heladas frecuentes alcanza desde 21 de Noviembre al 22 de Marzo y poco frecuentes desde 27 de Octubre al 24 de Mayo.

Partiendo de los datos de 30 años de observaciones de L'Albagés, las precipitaciones anuales son 432.5 mm, aunque se caracterizan por su irregularidad interanual ya que las cantidades oscilan entre 282 mm (1990) y 675 mm (1972). Los máximos principales corresponden a primavera y otoño, sin que el verano sea completamente seco debido a las tormentas ocasionales. Los días de lluvia al año se elevan a una media de 61.6, oscilando entre 36 y 96 según los años. Otro meteoro que presenta gran interés es la niebla ya que tiene gran importancia desde principios de Noviembre a la primera quincena de Enero, pudiendo haber períodos con niebla continua durante 15-20 días, en especial a finales de Diciembre-primeros de Enero.

Por otro lado, Pomar & Porta (1983) evalúan la diferencia entre precipitaciones y ETP entre los 348,4 mm (índice de Thornthwaite) y los 965 mm (índice de Penman), lo cual es un buen indicativo del fuerte déficit hídrico general de la comarca, especialmente en verano en que la aridez es extrema. El elevado valor de la evapotranspiración está relacionado directamente con la intensidad de la insolación alcanzada, sobre todo en los meses veraniegos. En este sentido, aunque no se tienen datos directos de las horas de sol reales del área de Cogul, se pueden tomar como referencia los calculados empíricamente por Pomar & Porta (1983). Como datos medios mensuales aproximativos se puede indicar que las horas de insolación en otoño son 154 al mes. Este dato se incrementa ligeramente en invierno hasta 171 horas al mes y se dispara hasta 285 horas de sol en los meses de primavera y 305 horas al mes en verano.

5. Alterabilidad de la arenisca

Las propiedades de la arenisca que controlan su alterabilidad se han establecido de una forma simple mediante la caracterización de una serie de parámetros de carácter mineralógico, textural y estructural de la propia roca.

La Roca dels Moros de El Cogul aparece desarrollada a favor de un banco de areniscas de unos 3 m de potencia. Se trata de una arenisca de grano grueso en general con microconglomerados y geometrías canaliformes en la base. Esta arenisca se clasifica como una arenita lítica o litoarenita según la clasificación de Pettijohn (1957). Desde el punto de vista mineralógico (Fig. 3) está compuesta fundamentalmente por calcita, dolomita, y cuarzo, y en menor proporción por filosilicatos. También se han encontrados indicios de sulfatos tipo hexahidrita. Desde el punto de vista microtextural esta arenisca presenta un esqueleto heterométrico compuesto fundamentalmente por granos subredondeados de calcita y dolomita y subangulosos de cuarzo. Los contactos entre granos son planares, llegando en ocasiones a ser cóncavo-convexos. Normalmente los granos de cuarzo y dolomita se incrustan en los de calcita. La matriz de tipo arcillosa es muy escasa. El grado de cementación de la arenisca no es muy alto, su naturaleza es calcítica y se presenta como mosaicos macrocristalinos, recrecimientos sintaxiales o como cemento microcristalino. Por último, es frecuente la existencia de granos de cuarzo con contornos corroídos y de agradaciones de los bordes de granos de calcita micrítica a dolomita.

COMPOSICION MINERALOGICA

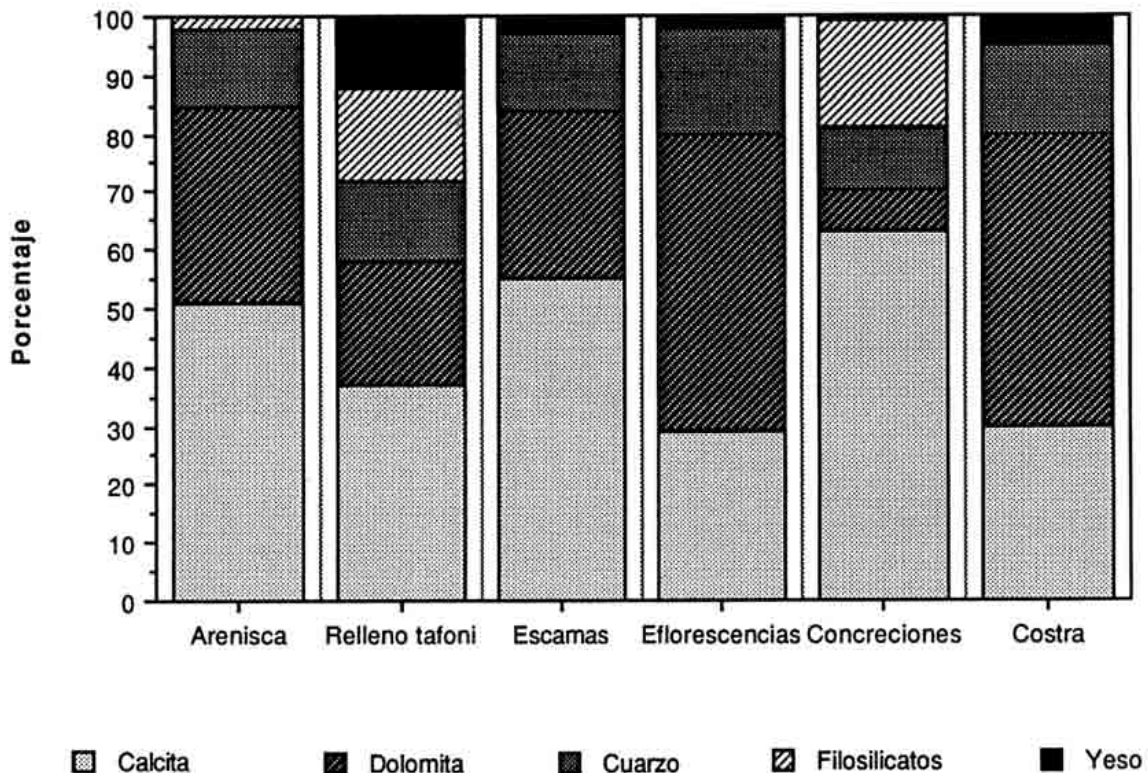


Figura 3. Mineralogía obtenida mediante difracción de rayos-X de la arenisca y los diferentes productos de alteración de la Roca dels Moros de El Cogul (Mineralogy of sandstone and weathering products using X-ray diffraction).

El sistema poroso de la arenisca se puede caracterizar a partir de la determinación del índice de vacíos de la misma mediante absorción rápida de agua. Se trata de una forma de aproximación al conocimiento del máximo contenido en agua de saturación o absorción libre de agua que puede alcanzar la arenisca, de manera que este parámetro constituye una medida de la porosidad abierta de la roca. Los porcentajes observados para diversas muestras de arenisca oscilan entre 4.9 y 6.1, con valores medios en torno a 5.5, dependiendo fundamentalmente de la granulometría de la muestra. Se trata por tanto de una arenisca con una red de macroporos interconectados relativamente importante.

También se ha determinado el contenido químico de la solución resultante de la extracción de sales de la arenisca (Fig. 4), debido a su gran incidencia en la alterabilidad de la arenisca. El valor de la conductividad eléctrica es bajo, alcanzando los 0.17 dS/m a 25° C. En los aniones el orden de abundancia es bicarbonatos > sulfatos > cloruros, mientras que en los cationes la ordenación observada es sodio > calcio = magnesio > potasio.

pH			7.82		
Conductividad Eléctrica			0.17 dS/m a 25° C		
Aniones meq/l	Bicarbonatos	0.90	Cationes meq/l	Calcio	0.40
	Cloruros	0.45		Magnesio	0.43
	Sulfatos	0.70		Sodio	0.50
	Nitratos	0.00		Potasio	0.08

Figura 4. Composición química de la solución procedente del lavado de la arenisca de El Cogul molida en una relación 1:5 (Chemical analysis of the sandstone-water solution in a 1:5 ratio).

Por otro lado la discontinuidades estructurales desarrolladas en la arenisca también inciden directamente en la posible alterabilidad de esta roca. Sobre la superficie superior de la capa que da lugar al abrigo se ha observado una red de diaclasas de espaciado métrico pero que afectan a toda la parte del voladizo del abrigo. La dirección principal de fracturación es Sur-Sureste.

6. Microformas y productos de alteración

En el abrigo de la Roca dels Moros de El Cogul son frecuentes las microformas y los productos de alteración (Foto 1). Su distribución es muy irregular de manera que en la mitad izquierda del abrigo los indicios de alteración son mucho más importantes que en la parte derecha, en la que aparecen las pinturas y grabados. El grado de meteorización mucho más intenso de la zona izquierda coincide con una orientación mucho más meridional (180°) que la mitad de la derecha (N 130° E). Verticalmente también se observa una clara tendencia, ya que la meteorización de la roca es más intensa en el techo de la cavidad y en el voladizo que en la base.

Las principales microformas de alteración observadas en el interior del abrigo son los **tafoni** (Foto 1). Aparecen en la parte izquierda y superior de la pared del abrigo de Cogul. Se trata de tafoni aislados de escala centimétrica, cuya distribución y ordenación aparece controlada por la laminación interna de la propia arenisca. La densidad de la tafonización es muy alta. Desde el punto de vista morfométrico se trata de formas bastante equidimensionales, y por tanto asimilables a geometrías semiesféricas. En la base de los tafoni aparece un residuo arenolimoso que procede de la disgregación granular o arenización existente en el interior de las microcavidades. El análisis mineralógico de este relleno (Fig. 3) muestra que, además de los componentes detectados en la arenisca, aparece en una proporción muy importante el yeso (12 %). Por lo que se refiere a los productos de alteración se han analizado descamaciones, eflorescencias, concreciones, costras y pátinas o barnices de coloraciones oscuras.



Foto 1. Aspecto general de la parte izquierda del abrigo, en la que se observan diferentes microformas y productos de alteración. 1: Tafoni. 2: Escamas. 3: Eflorescencias. 4: Concreciones carbonatadas. 5: Costras de alteración. 6: Pátina de ennegrecimiento. El voladizo se encuentra afectado por un sistema de fracturas a través de las cuales percola el agua. En la parte inferior derecha se observan algunos grabados. (Left side of the Cogul cliff-foot cave where several weathering products can be observed: 1: Tafoni. 2: Flakes. 3: Salt crystals. 4: Carbonate concretions. 5: Weathering crust. 6: Black rock coating or varnish. The caprock is affected by joints through which water can percolate. Note the rock carvings on the lower-right side).

Las **escamas** son frecuentes en el entorno de la zona tafonizada, en el voladizo (Foto 1) y en el extremo inferior derecho por debajo de las pinturas. Se trata de láminas planas o curvas que se van desprendiendo de la superficie de la arenisca. La mineralogía de las mismas es similar a la de la arenisca aunque desaparecen los filosilicatos y se encuentra yeso en proporciones pequeñas (Fig. 3). Mediante el microscopio electrónico se observa que las escamas están compuestas mayoritariamente por cristales de carbonatos, siendo frecuentes las asociaciones inequigranulares de calcita. También aparecen moldes impresos de pequeños cristales romboédricos de dolomita sobre otros mayores de calcita. Llama la atención la actividad microbiológica detectada en las caras internas de estos productos de alteración, ya que se han observado diversos microorganismos asentados sobre componentes mineralógicos carbonatados de las escamas. Finalmente también se han identificado acumulaciones de granos de polen adheridas a las superficies de la roca.

Las **eflorescencias salinas** se localizan preferentemente en el techo del abrigo (Foto 1) fijadas a la roca soporte, siendo muy difícil separar estas sales del resto de la arenisca. En consecuencia el análisis mineralógico indica una composición bastante parecida a la observada en las escamas, si bien vuelve a destacar la presencia de yeso junto al elevado porcentaje de dolomita (Fig. 3). El yeso neoformado de las eflorescencias se caracteriza, micromorfológicamente, por aparecer como reticulados de cristales prismáticos (Foto 2) o bien como agregados de cristales tabulares en rosetas.

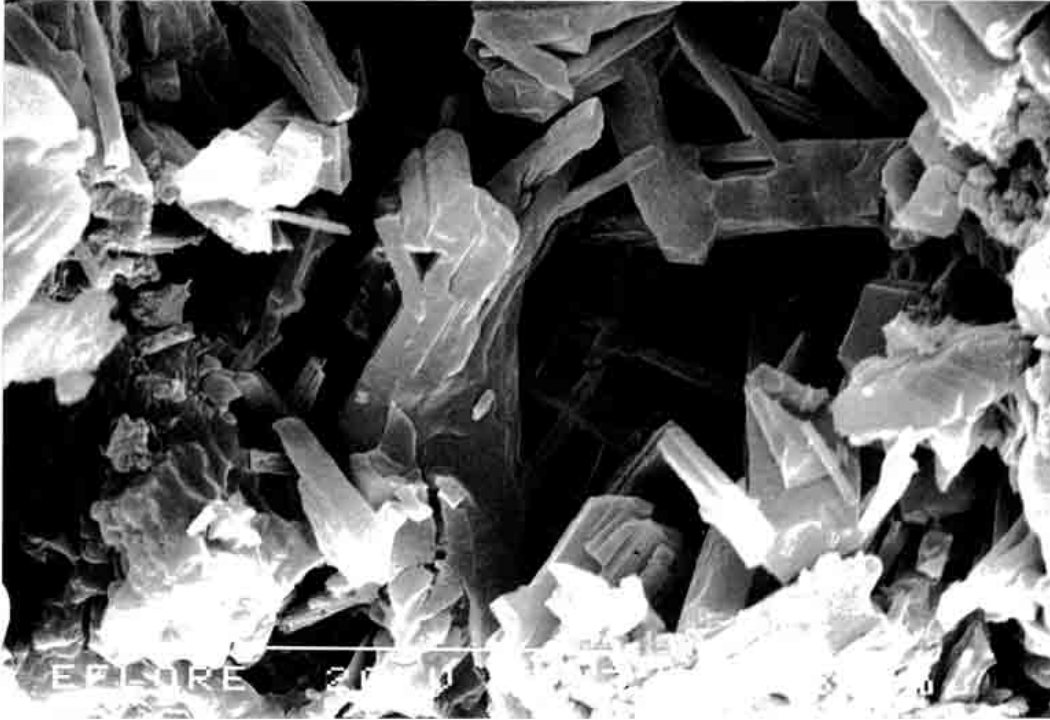


Foto 2. Entramado de cristales prismáticos de yeso (M.E.B.).
(Scanning electron microscopy image showing prismatic gypsum crystals).

Las **concreciones** forman capas delgadas de color blanquecino adheridas a la arenisca en el techo del abrigo. Se trata de láminas más o menos compactas de material en la superficie de la arenisca, resultado de una precipitación de carbonatos ligada a soluciones acuosas que descienden fundamentalmente por las grietas de la arenisca (Foto 1). Está compuesta, desde el punto de vista mineralógico, casi exclusivamente por calcita (Fig. 3), destacando también la cantidad de filosilicatos. Este carbonato, microscópicamente, aparece como asociaciones inequigranulares de cristales irregulares.

En el reborde frontal del voladizo (Foto 1) se observan **costras de alteración**. Se trata de láminas más o menos compactas resultantes de la transformación superficial del sustrato. La composición mineralógica difiere poco de la arenisca, aunque aparece el yeso como componente diferenciador (Fig. 3). Suelen presentar un grosor de escala milimétrica y, a veces, favorecen el desarrollo de ampollas llegando a separarse de la roca formando grandes huecos internos. Se han observado diferentes morfologías de granos de calcita y de yeso. Son frecuentes los granos de polen, los restos orgánicos de insectos y algunas partículas que parecen restos de carbón adheridas a la costra. También se han identificado mallas de filamentos de hongos que desarrollan su actividad en la propia costra. Generalmente se encuentra, al menos de forma parcial, recubierta por una pátina de ennegrecimiento.

Además de estos productos de alteración propiamente dichos, adquiere una gran importancia la aparición de una **pátina de ennegrecimiento** que se extiende por casi todo el abrigo con excepción de la zona afectada por la tafonización. La pátina de ennegrecimiento aparece tanto sobre la superficie de la propia arenisca como sobre las concreciones y costras analizadas anteriormente (Foto 1). Desde el punto de vista micromorfológico esta pátina desarrolla un recubrimiento pelicular de los componentes minerales

de la arenisca que ofrece un aspecto botroidal o arriñonado (Foto 2), resultado de una microtopografía muy irregular. En la superficie de estas formas aparecen posibles partículas de polvo y otras carbonosas. También se han reconocido esférulas que pueden corresponder a diatomeas adheridas en la cara externa, junto con otros microorganismos que desarrollan su actividad sobre los componentes minerales de la roca. En otras ocasiones estas microesferas han sido identificadas con cenizas volantes procedentes de la combustión de hidrocarburos. También se ha observado, puntualmente, la precipitación de yeso posterior a la pátina ocupando los huecos o zonas deprimidas de la microtopografía resultante. Esta pátina de ennegrecimiento presenta un aspecto algo brillante y puede corresponderse con algún óxido o hidróxido amorfo fijado sobre los granos minerales calcínicos de la roca, dando lugar a la geometría subredondeada externa. Composicionalmente, la espectrometría de dispersión de energía de rayos-X indica la presencia de elementos como magnesio, aluminio, silicio, calcio, potasio, hierro, escandio, azufre y molibdeno (Fig. 5). También es probable que existan titanio, cromo y manganeso, si bien la concentración de estos elementos se encuentra rayando el límite de detección del microscopio electrónico (5%), lo que dificulta su identificación con total seguridad. Por tanto podemos considerar estas pátinas como resultado de la fijación de sustancias químicas que daría lugar a la aparición de pseudobarnices junto con la acumulación de partículas de diversa naturaleza.

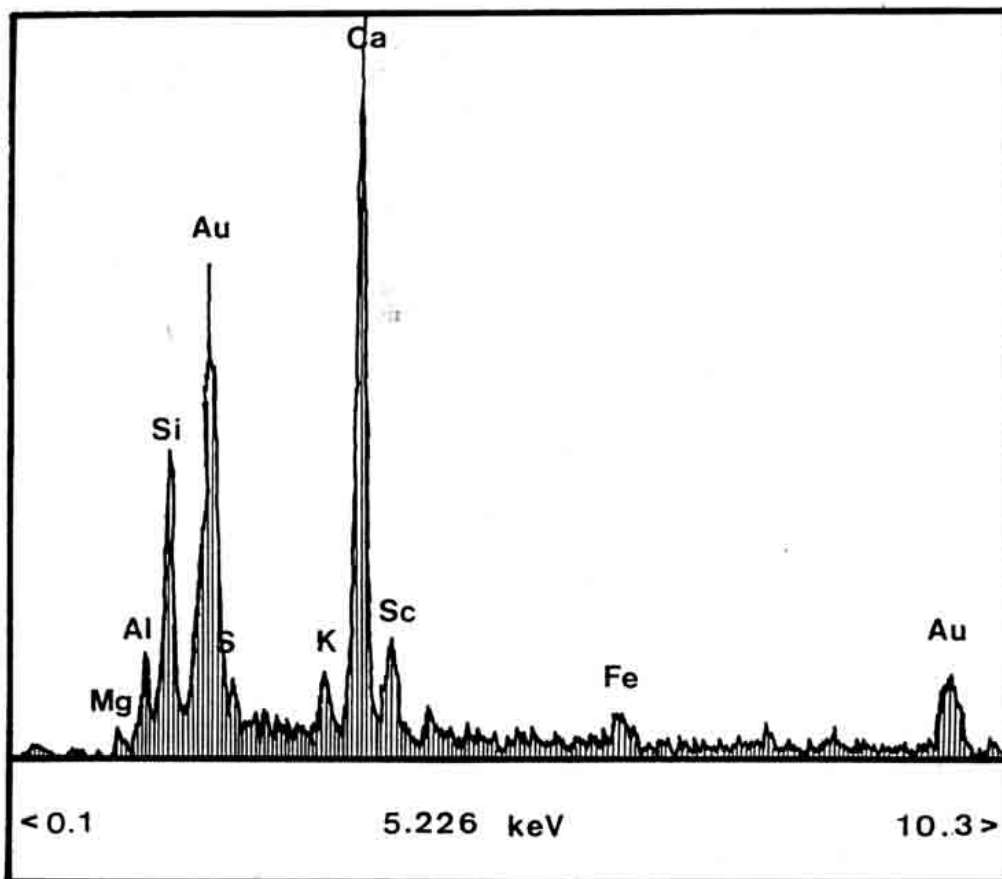


Figura 5. Microanálisis de la pátina de ennegrecimiento o barniz a partir del espectro de dispersión de rayos-X (EDAX) fijada sobre la Roca del Moros (El oro detectado "Au" corresponde al recubrimiento de metalización). Energy dispersive X-ray analysis of black rock coating or varnish (The "Au" correspond to mercenary coating).

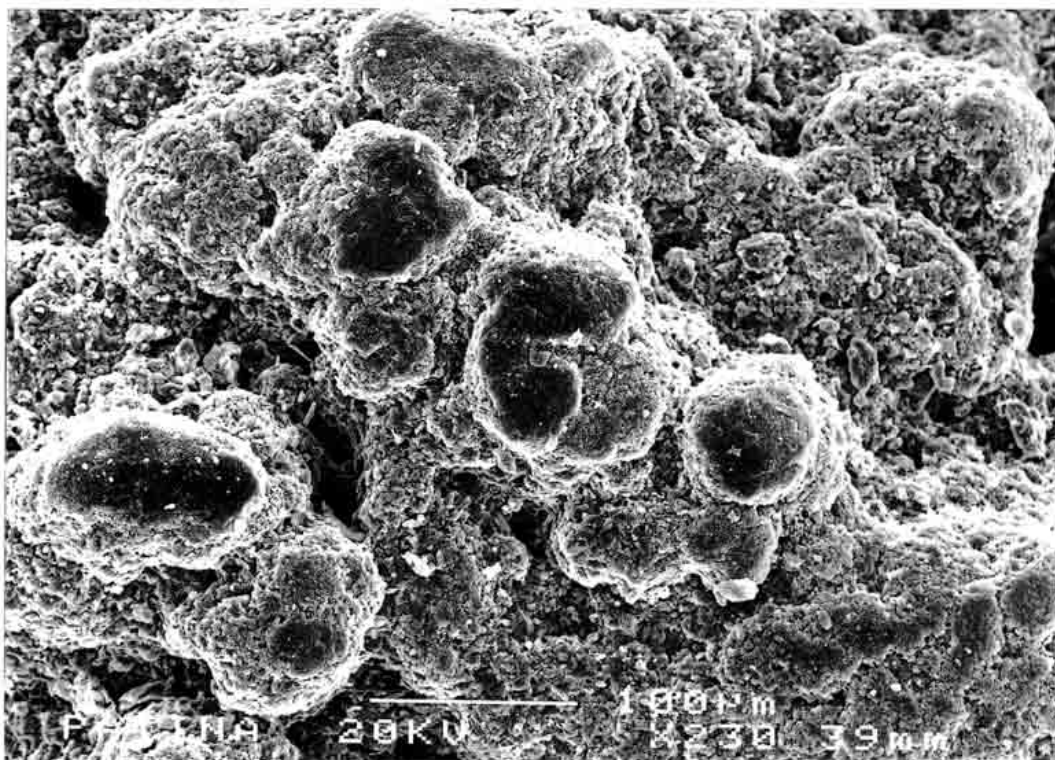


Foto 3. Aspecto que presenta en el microscopio electrónico de barrido la textura botroidal de la pátina de ennegrecimiento (M.E.B.). (Scanning electron microscopy image showing the botryoidal micromorphology of black rock coating or varnish).

Por otro lado, es posible realizar alguna aproximación al desarrollo cronológico de esta pátina de ennegrecimiento o barniz adherido a la roca si consideramos la edad de las pinturas y grabados y las relaciones de estas señales con la pátina. En efecto, parece claro que cuando se realizaron las pinturas la pátina apenas se encontraba ennegrecida. Sin embargo, en el tiempo en el que se realizan los grabados la pátina se encontraba ya bastante desarrollada. Con posterioridad a los mismos parece que las diferentes sustancias han continuado acumulándose pero de una manera más ralentizada, que se manifiesta por un menor grado de ennegrecimiento.

7. Procesos de alteración

El análisis de las características ambientales y climáticas del entorno del abrigo de Cogul junto con el estudio de la propia arenisca y de las formas y productos de alteración resultantes permite deducir la actividad de una serie de procesos de meteorización.

7.1 Meteorización físico-química

Los principales procesos de meteorización físico-química están relacionados con la acción de la humedad sobre la arenisca. El vapor de agua de las nieblas frecuentes en el área o de los días de lluvia puede ser absorbida por la arenisca debido a las características texturales de la piedra. No parece que la humedad del suelo que ascienda por capilaridad desarrolle un papel importante. Hay que recordar el valor relativamente alto del índice de vacíos que favorece la introducción y circulación del agua dentro de la arenisca. Una vez en el interior de los poros de la misma este agua puede activar diferentes procesos alterológicos. Por otro lado, la existencia de temperaturas elevadas y de insolaciones importantes facilitan la extracción del agua del interior de la arenisca. Por tanto es posible la funcionalidad de un conjunto de mecanismos cuya actividad está directamente relacionada con la ciclicidad de los mismos.

7.1.1 *Crioclastia*

Debido a la posibilidad de que se produzcan heladas en la zona durante un número de días importante es necesario considerar la posible actividad de ciclos de hielo-deshielo. No obstante la actividad de dichos procesos no debe ser muy importante ya que no aparecen formas ni productos de alteración relacionados con estos mecanismos, que consisten en la fracturación física de la roca como consecuencia de la presión generada en el paso de agua líquida a hielo en el interior de la arenisca.

7.1.2 *Disolución del cemento y del esqueleto de la arenisca*

El reconocimiento petrográfico de la arenisca muestra la presencia de cementos carbonatados y granos de calcita en el esqueleto que suponen más de la mitad del total composicional de la roca. Por otro lado, el agua de lluvia contiene 1.45 gr/l de CO₂ (Carrol, 1970) lo que favorece la disolución de la calcita. En estas circunstancias la presencia de agua en el interior de la arenisca puede disolver en pequeñas proporciones tanto el cemento como el esqueleto calcáreo de la roca. Este hecho queda corroborado con los análisis químicos correspondientes a la solución extraída de la arenisca molida, donde los bicarbonatos presentan un valor de 0.90 meq/l, siendo el anión más frecuente. Este proceso debilita la estructura de la roca y favorece, en consecuencia, la descementación de la misma, por disgregación de los componentes del esqueleto de la roca. El mecanismo, conocido también con el nombre de arenización o desintegración granular, consiste en el desmoronamiento de una roca granuda, dando lugar a cristales o fragmentos individuales (Cooke & Warren, 1973). El producto resultante aparece acumulado, fundamentalmente, en la base de los tafoni.

Por otro lado hay que considerar que la carga química carbonatada que puede alcanzar el agua en el interior de la arenisca queda acumulada en la superficie de la roca cuando, en etapas posteriores, se produce la desecación de la arenisca favoreciendo el bombeo de las soluciones hídras hacia el exterior y la precipitación química de costras carbonatadas en la superficie. También se han observado concreciones en el interior del abrigo en relación con las fisuras que afectan al voladizo de la cavidad, de manera que el agua que percola por las mismas se puede cargar en iones procedentes de los elementos calizos y precipitarlos en torno a las líneas de salida del agua. □

7.1.3 *Humectación y secado*

Los mecanismos de humectación y secado y su incidencia son poco conocidos aunque nadie duda de su importancia en la alteración de las rocas (Ollier, 1984). Estos procesos en combinación con la presencia de películas minerales de naturaleza salina que revisten la superficie alterada favorecen la creación de descamaciones. Evidentemente la ciclicidad de los procesos de humectación y secado en la zona de El Cogul está controlada climáticamente. Mientras que la humectación está ligada a la humedad atmosférica en forma de niebla, la lluvia infiltrada desde la parte superior del abrigo y el ascenso capilar desde el suelo, la desecación se debe fundamentalmente a la temperatura alcanzada en la superficie de la roca relacionada con la insolación, que favorece la migración del agua hacia el exterior.

7.1.4 *Haloclastismo*

La presencia de sales, fundamentalmente yeso, en casi todos los productos alterológicos hace suponer que la actuación de los procesos de meteorización salina son los más importantes. El papel del haloclastismo en la alteración de las rocas ha sido analizado por numerosos autores (Evans, 1969-70). Desde el punto de vista regional destacaremos los trabajos realizados en la Depresión del Ebro por Tena et al. (1984) sobre la influencia de la cristalización de sales en la meteorización física de diversos materiales y por Sancho & Benito (1990) que analizan el papel del contenido en sales en la meteorización de las areniscas de la Fm. Peraltilla, en el Anticlinal de Barbastro.

La eficacia de estos procesos de haloclastismo va a depender, entre otros factores, del tipo de sal y del clima. Conviene indicar que en estos procesos intervienen tanto la cristalización como la hidratación de las sales (Fahey, 1986). De entre las posibles sales que aparecen en los productos de alteración de las areniscas del abrigo de El Cogul conviene destacar el yeso, tanto por la presión ejercida como consecuencia de su cristalización como por la posibilidad de deshidratarse para pasar a anhidrita. El origen

de este yeso hay que buscarlo en la propia arenisca, ya que por un lado, la difracción de rayos X indica la presencia de trazas de sulfatos y, por otro, los iones sulfato y calcio se encuentran en la solución obtenida a partir de la arenisca fresca molida. No obstante, el azufre puede tener también un origen atmosférico, procedente de las emisiones de SO₂ y SO₃, que al disolverse en agua atacan a los carbonatos de la arenisca produciendo sulfato de calcio que cristaliza como yeso (Esbert & Marcos, 1984). La fijación del azufre en los mecanismos de sulfatación puede relacionarse también con la actividad de microorganismos (Pavía, 1994).

Desde el punto de vista climático, Sperling & Cooke (1985) señalan que la tasa de disgregación por haloclastismo se acelera cuando el rango de temperaturas diurnas es muy alto y la humedad relativa es muy baja. También se ha comprobado experimentalmente que la presencia de sales en el agua intensifica los procesos de hielo-deshielo (Williams & Robinson, 1981; McGreevy, 1982). En el ámbito de El Cogul se reconocen tanto una fuerte oscilación térmica diaria durante todo el año, como la posibilidad de algunas heladas en los meses de invierno.

Por último, es necesario tener en cuenta que no se pueden separar unos mecanismos de otros ya que actúan de manera simultánea. Los procesos de haloclastismo que tienen lugar en las paredes del abrigo llevan asociados fenómenos de humectación y secado que funcionan conjuntamente. Además de la aparición de escamas, costras y eflorescencias, tiene lugar la presencia de microformas tipo tafoni, cuyo desarrollo está relacionado con la disgregación granular y la descamación (Sancho & Gutierrez, 1990).

La dinámica natural de los ciclos de humectación y secado y de haloclastismo se ha visto acelerada por la utilización de agua para visualizar mejor las pinturas. En efecto, durante muchos años se ha mojado intencionadamente el friso con las pinturas y grabados para resaltarlos. Este hecho presenta una gran incidencia sobre una mayor velocidad de alteración de la arenisca debido a dos aspectos, ya que se multiplican el número de ciclos de los procesos alterológicos, por un lado, y se utiliza agua que tiene una carga química importante y por tanto se introducen sales en la propia roca, por otro. Este hecho también ha podido contribuir a una peor calidad visual de estas manifestaciones pictóricas.

7.2 Meteorización biológica

Aunque no se han analizado en detalle, es conveniente considerar los posibles efectos alterológicos relacionados con la actividad biológica de diferentes microorganismos instalados en la arenisca del abrigo de El Cogul, si bien la contribución de estas acciones biogénicas a la alteración global de la arenisca parece escasa. Estos microorganismos, que se han detectado principalmente en las escamas y costras, aparecen como elementos individuales o como entramados de filamentos. Este tipo de meteorización se relaciona con la extracción de nutrientes por parte de los microorganismos de los minerales que componen la roca (Ollier, 1984). Los mecanismos bioalterológicos principales se relacionan con la acidólisis ligada a la secreción de ácidos orgánicos por hongos, algas y líquenes. Concretamente, la acción de hongos filamentosos desencadena principalmente la secreción de ácidos orgánicos (oxálicos, cítricos y glucónicos) que pueden causar una meteorización importante en la roca como consecuencia de una liberación importante de cationes y la formación de sales orgánicas (De la Torre et al, 1993).

7.3 Fijación de partículas en la superficie

La aparición y desarrollo de la pátina o barniz de ennegrecimiento se relaciona con fuentes externas, de manera que los elementos composicionales se han transportado desde el exterior hasta la roca como material particulado o en solución (Oberlander, 1994). El modo de acumulación de este residuo no se conoce totalmente, de manera que se ha recurrido a explicarla mediante mecanismos de fijación físicoquímica o bien procesos de fijación microorgánica (Watson, 1989). No obstante además del material del barniz precipitado químicamente, propiamente dicho, existe otra fracción detrítica (polvo, hollín, humos, polen, diatomeas, ...) cuya acumulación coadyuba a la suciedad de las paredes del abrigo. Los mecanismos por los cuales las partículas sólidas de estas pátinas se ponen en contacto con la superficie de la arenisca son la lluvia, la humedad, los aerosoles y la conductividad térmica de la propia roca (Esbert & Marcos, 1984). En La Roca dels Moros de El Cogul la aparición de estas pátinas debe de relacionarse con la fijación de partículas de polvo, polen, hollín, etc. y de compuestos químicos como óxidos de manera ininterrumpida a lo largo de miles de años, en unas condiciones ambientales en las que juega un papel

fundamental la repetición periódica de ciclos de humectación y secado. Este hecho parece determinante en la fijación de los barnices.

Ya se ha indicado que en la actualidad la fijación del barniz parece poco activa, si bien continúa la acumulación superficial de partículas que van disminuyendo la visualización de los paneles pictóricos. Este incremento del deterioro visual parece haberse disparado en el último siglo coincidiendo con una mayor actividad antrópica industrial y agrícola. El origen de estas partículas que se están fijando sobre las pinturas y grabados puede ser muy diverso, de manera que el polvo puede estar en relación con la pista sin asfaltar que pasa por la base del abrigo o con las diferentes labores de remoción agrícola del suelo en las inmediaciones. Otra actividad conectada con la fijación de partículas pueden ser los procesos de combustión y, en especial, la quema sistemática de neumáticos, aceites, etc. en los meses de primavera para proteger los frutales de la helada en los llanos leridanos, emitiendo a la atmósfera gran cantidad de partículas de humo que pueden ser adheridas a la arenisca.

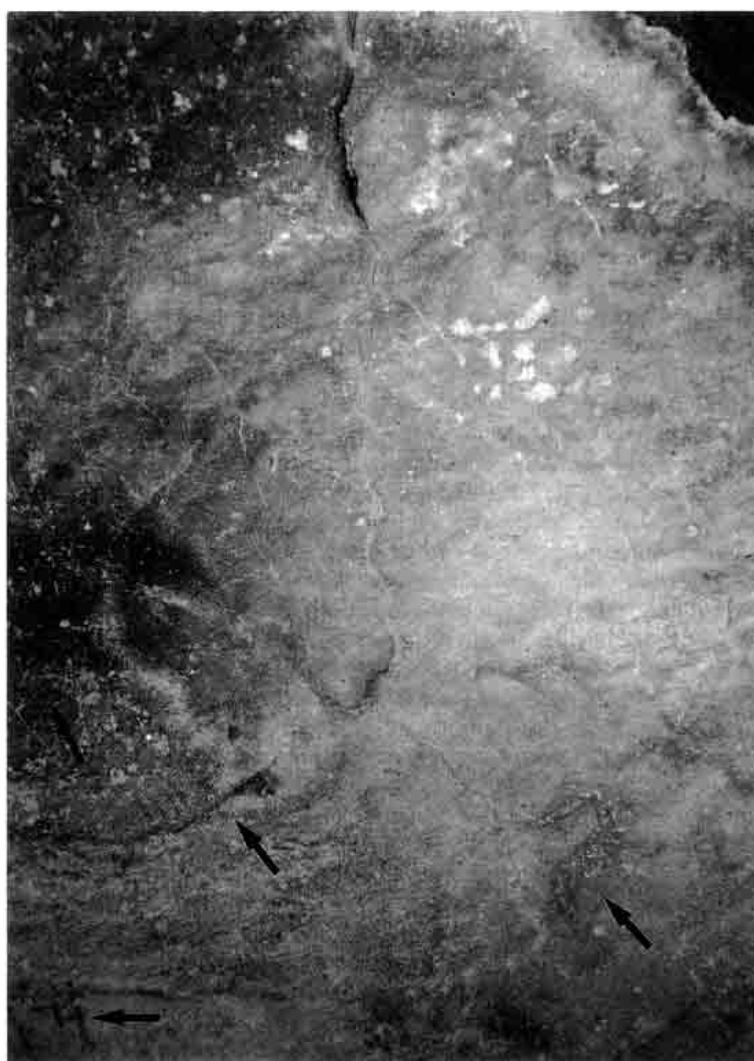


Foto 4. Parte superior del panel de pinturas, afectada por un conjunto de grietas y fracturas a través de las cuales es posible la percolación de agua y la acumulación de algunos precipitados de carbonato. También se observan algunas descamaciones de escasa importancia y el ennegrecimiento debido a la pátina. (Upper part of the rock paintings affected by rock fractures. The water can be infiltrated through these rock fractures producing carbonate precipitation. In addition, flakes and black rock coating or varnish affecting the rock paintings and carvings are shown).

8. Estado de las pinturas y grabados

Se ha indicado que en el interior del abrigo podemos separar dos zonas en función del grado de alteración presente en la arenisca. Afortunadamente las pinturas aparecen en la mitad derecha poco alterada por lo que el grado de conservación es bastante satisfactorio. El grado de insolación distinto de ambas zonas motivada por su orientación parece jugar un papel importante en esta diferenciación. No sabemos si en la zona más alterada existieron pinturas anteriormente habiendo desaparecido en la actualidad por el desmoronamiento de la arenisca. En cualquier caso parece que existe un avance de la alteración de arriba a abajo y de izquierda a derecha, que amenaza la superficie mejor conservada que soporta las pinturas. En el sector de las pinturas y grabados, tan solo se han observado pequeñas descamaciones (Foto 4) de escasa relevancia y varias grietas o fracturas que afectan al panel de los grabados y pinturas y que facilitan la aparición de algunos precipitados de carbonato en el entorno de las mismas (Foto 4). Finalmente existen en alguna de las pinturas una serie de picotazos antrópicos causados intencionadamente.

En cualquier caso, si bien la zona ocupada por pinturas y grabados presenta un buen estado de conservación, parece que cada vez la visualización de los mismos es más deficiente, aunque tal vez sea un problema de percepción, dado que los testimonios escritos más antiguos seguramente hacen referencia a las características de las pinturas una vez mojadas. De todas las formas dicha dificultad progresiva en la observación de los restos pictóricos de El Cogul parece que está relacionada con la fijación de la pátina de ennegrecimiento (Foto 4) que afecta a casi todo el interior del abrigo, y que en la actualidad continúa su desarrollo. Ya se ha indicado que aunque la fijación de precipitados químicos ligados a barnices en la superficie de la arenisca no es muy activa en los tiempos recientes, parece ser que en el último siglo, como consecuencia de las diferentes actividades antrópicas se ha intensificado la acumulación de partículas de naturaleza diversa (polvo, microorganismos, hollín, etc.) sobre la arenisca que dificultan la observación de las pinturas y grabados.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Institut d'Estudis Ilerdencs y efectuado con autorización del Servei d'Arqueologia de la Direcció General del Patrimoni Cultural del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya.

Referencias bibliográficas

- Allen, P., Cabrera, L., Colombo, F. & Matter, A. (1983): Variations in fluvial style on the Eocene-Oligocene fluvial fan of the Scala Dei Group, SE Ebro Basin, Spain. *Journal Geological Society London*, 140, 133-146.
- Almagro, M. (1952). *El covacho con pinturas rupestres de Cogul (Lérida)*. Instituto de Estudios Ilerdenses, 93 p. Lérida.
- Benito, G., Machado, M.J. & Sancho, C. (1993): Sandstone weathering processes damaging prehistoric rock paintings at the Albarracín Cultural Park, NE Spain. *Environmental Geology*, 22, 71-79.
- Cabrera, L., Colombo, F. & Robles, S. (1985): Sedimentation and tectonics interrelationships in the Paleogene marginal alluvial systems of the S.E. Ebro Basin. Transition from alluvial to shallow lacustrine environments. En Mila, M.D. & Rossel, J. (Eds.). *6th European Regional Meeting*. Excursion Guidebook, 393-492.
- Campbell, I. A. (1991): Clasificación de rock weathering at Writing-On-Stone Provincial Park, Alberta, Canada: study in applied geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 701-711.
- Carroll, D. (1970): *Rock weathering*. Monographs in Geoscience. Plenum Press; 203 p.
- Cooke, R.U. & Warren, A. (1973): *Geomorphology in Deserts*. B.T. Batsford Ltd; 394 p.
- De la Torre, M.A., Gómez, G., Vizcaino, C. & García, M.T. (1993): Biochemical mechanisms of stone alteration carried out by filamentous fungi living in monuments. *Biogeochemistry*, 19, 129-147.
- Esbert, R.M. & Marcos, R.M. (1984): Incidencia de los factores ambientales en los mecanismos de alteración de las piedras de la Catedral de Oviedo. *I Congreso Español de Geología*, 635-646.

- Evans, I.S.** (1969-70): Salt crystallization and rock weathering: a review. *Revue Géomorphologie Dynamique*, 19, 153-177.
- Fahey, B.D.** (1986): A comparative laboratory study of salt crystallization and salt hydration as potential weathering agents in deserts. *Geografiska Annaler*, 68 A, 107-111.
- I.S.R.M.** (1972): *Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties (Doc. n° 2)*. Commission on standardization of laboratory and field tests, 81-94. International Society for Rock Mechanics.
- McGreevy, J.P.** (1982): Frost and salt weathering: further experimental results. *Earth Surface Processes and Landforms*, 7, 475-488.
- Oberlander, T.M.** (1994): Rock varnish in deserts. En Abrahams, A.D. & Parsons, A.J. (Eds.). *Geomorphology of Deserts Environments*, 106-119. Chapman and Hall.
- Ollier, C.** (1984): *Weathering*. Logman, 270 p.
- Pavía, S.** (1994): *Material de construcción antiguo de Logroño y la Rioja Alta: petrografía, propiedades físicas, geología y alteración*. Ciencias de la Tierra, 17, 247 p. Instituto de Estudios Riojanos.
- Peña, J.L.** (1983): Dinámica reciente de vertientes en el valle medio del Segre (zona de Anya-Artesa de Segre, prov. de Lérida). *VIII Coloquio de Geógrafos Españoles*, 123-130.
- Peña, J.L. & Sancho, C.** (1992): Formas y productos alterológicos de la arenisca con gravados de Mas de N'Olives. *I Congrés Internacional de Gravats rupestres i Murals*. Lleida.
- Pettijohn, F.J.** (1957): *Sedimentary rocks*. Harper & Brothers, 718.
- Pomar, J. & Porta, J.** (1983): Climatología. En Porta, J. et al. (Dir.). *Els sòls de Catalunya*. Area meridional de Lleida. 22-46. Generalitat de Catalunya.
- Riba, O., Reguant, S. & Villena, J.** (1983): Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca terciaria del Ebro. *Libro Jubilar J.M. Rios*, T. II, 131-159. I.G.M.E.
- Sancho, C. & Benito, G.** (1990): Factors controlling tafoni weathering in the Ebro basin (NE Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 34, 165-177.
- Sancho, C. & Gutierrez, M.** (1990): Análisis morfométrico de la tafonización de la arenisca de Peraltilla (Anticlinal de Barbastro, Depresión del Ebro): influencia de los factores mineralógico-texturales. *Cuaternario y Geomorfología*, 4, 131-145.
- Sjöberg, R.** (1994): Diagnosis of weathering on rock carving surfaces in northern Bohuslän, Southwest Sweden. En Robinson, D.A. & Williams, R.B.G. (Eds.). *Rock weathering and landform evolution*, 223-241. John Wiley & Sons.
- Sperling, C.H.B. & Cooke, R.U.** (1985): Laboratory simulation of rock weathering by salt crystallization and hydration processes in hot, arid environments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 10, 541-555.
- Tena, J., Mandado, J. & García, J.** (1984): Influencia de la recristalización de sales en los procesos de meteorización subaérea en el valle del Ebro. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 10, 189-200.
- Valle, F.J., Moya, J.S. & Cendrero, A.** (1979): Montmorillonite: cause of deterioration of rock paintings at Altamira Cave. *MASCA Journal*, 1, 36-38.
- Watson, A.** (1989): Desert crust and varnishes. En Thomas, D.G.S. (ed.). *Arid Zone Geomorphology*, 25-55. Belhaven Press.
- Williams, R.B.G. & Robinson, D.A.** (1981): Weathering of sandstone by the combined action of frost and salt. *Earth Surface Processes and Landforms*, 6, 1-9.