

*films: Origin and significance in the conservation of works of art*, Milano, 1989, p. 317-326.

*I International Symposium the Oxalate Films: origin and significance in the conservation of work art*, Milano, 25-26 octubre 1989.

*II International Symposium the Oxalate Films in the Conservation of Works of Art*, Milano, 25-27 març 1989.

I. D. JENKINS & A. P. MIDDLETON, "Paint on the Parthenon Sculptures". *The Annual of the British School of Archeology at Athens*, 87 (1988), p. 183-207.

W. E. KRUMBEIN, "Color changes of building stones and their direct and indirect biological causes", *Proc. 7th Int. Cong. Deterioration and Conservation of stone*, Lissabon: LNEC, 1992, p. 443-452.

W. E. KRUMBEIN, *Zum Begriff Patina, seiner Beziehung zu krusten und versrbungen und deren Auswirkungen auf den Zustand von Monumenten, Jahresberichte aus dem Forschungsprogramm Steinerfall-Steinkonservierung* (eds Projektleitung). Berlin: Ernts & Sohn, 1993, p. 215-229.

W. E. KRUMBEIN & K. JENS, "Biogenic rock varnishes of the Negev Desert (Israel), an ecological study of iron and manganese transformation by cyanobacteria and fungi", *Oecologia*, 50 (1981), p. 25-38.

W. E. KRUMBEIN & T. WARSCHIED, "Patina-Ein schillernder Begriff - Biologisch beschleunigte Alterung mineralischer Werkstoffe und Baudenkm\_ler", *Geowissenschaften*, 10 (1992), p. 274-276.

W. E. KRUMBEIN & C. URZÌ, "Biologically induced decay phenomena of antique marbles Some general considerations", a *The conservation of monuments in the Mediterranean Basin, Proc. 2nd Int. Symp.*, Genève: Musée d'Art et d'Histoire Naturelle, 1993, p. 219-235.

L. LAZZARINI & O. SALVADORI, "Reassessment of formation of the patina called scialbatura", *Studies in Conservation*, 34 (1989), p. 20-26.

R. A. LEFÈVRE, M. GRÉCOIRE, M. DERBEZ & P. AUSSET, "Origin of sulphated grey crust on glass in polluted urban atmosphere: stained glass windows of Tours Cathedral (France)", *Glass Science and Technology*, 71 (3) (1998), p. 75-80.

F. C. LOUGHNAN, *Chemical weathering of the silicate minerals*, New York: Elsevier, 1969.

C. URZÌ, W. E. KRUMBEIN & T. WARSCHIED, "On the question of biogenic colour changes of mediterranean monuments (Coating-crust-microstromatolithepatina-scialbatura-scin-rock-varnish)", a *The conservation of monuments in the mediterranean basin, Proc. 2nd Int. Symp.*, Genève: Musée d'Art et d'Histoire Naturelle, 1993, p. 397-420.

C. URZÌ, W. E. KRUMBEIN, C. CRISEO, A. A. GORBUSHINA & U. WOLLENZIEN, "Are colour changes of rocks caused by climate, pollution, biological growth or by interactions of the three?", a *Conservation of stones and other materials*, London: E & FN Spon, Chapman & Hall, 1993, p. 279-286.

C. URZÌ, P. SALAMONE, F. DE LEO & M. VENDRELL, "Microbial diversity of Greek quarried marbles associated to specific alterations", a *Proceedings of Sth Euromarble Workshop*, Roma, 1997, p. 35-40.

C. URZÌ & M. REALINI, "Colour changes of Noto's Calcareous sandstone as related with its colonization by microorganisms", *International Biodeterioration and Biodegradation*, 42 (1998), p. 45-54.

C. URZÌ, M. GARCIA-VALLÈS, M. VENDRELL-SAZ & A. PERNICE, "Biomíneralisation processes on rock surfaces observed in field and in laboratory conditions", *Geomicrobiology Journal*, 16 (1999), p. 39-54.

J. M. VALERO, *La alteración cromática en la piedra arenisca*. San Sebastián, 2000 (tesis doctoral inédita).

A. L. WATCHMAN, "Age and composition of oxalate-rich crusts in the northern territory, Australia", *Studies in Conservation*, 36 (1991), p. 24-32.

## Desarrollo y evolución de pátinas sobre monumentos de piedra en la cuenca mediterránea.<sup>1</sup>

*En este artículo se comparan las pátinas localizadas sobre superficies arquitectónicas y las desarrolladas en canteras y peñascales de la cuenca mediterránea. Se discute su origen y se aportan datos sobre la composición y estructura de unas y otras. Los autores concluyen que muchas de las pátinas actualmente visibles sobre monumentos tienen un origen biogénico y son el producto de una biomíneralización asociada a la presencia de bacterias.*

Màrius Vendrell-Saz; Grup PATRIMONI-UB, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Depósitos Minerales de la Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona.

### LAS ROCAS EN CONDICIONES SUBAÉREAS: EROSIÓN FÍSICOQUÍMICA

Las rocas se pueden considerar como un conjunto de minerales con diferente disposición, con más o menos espacios entre ellos (porosidad), con uniones distintas, etc. Éstas, en condiciones subaéreas pueden sufrir diferentes procesos que las pueden cambiar. Este conjunto de fenómenos y condicionantes forma parte del llamado ciclo geológico, que incluye procesos de erosión, sedimentación, orogénesis, entre otros.

Cuando las rocas afloran en superficie, empiezan los cambios, como por ejemplo la erosión. Se trata de un conjunto complejo de fenómenos químicos, físicos y biológicos resultado de la interacción entre los minerales formadores de las rocas y los parámetros ambientales.

Los procesos físicos que provocan la erosión son escasos, con incidencia limitada. Dos ejemplos de ello son el impacto de partículas (arena) arrastradas por el viento en los climas desérticos, áridos y semiáridos; y la gelifracción propia de climas fríos y ambientes de alta montaña.

Por el contrario, el abanico de efectos de naturaleza química que intervienen en la erosión es más amplio, implicando fenómenos de disolución (restringido a los minerales que contienen enlaces polares: haluros, sulfatos, carbonatos) y sobre todo, fenómenos de hidrólisis. En éstos últimos, la polaridad de la molécula de agua juega un papel importante, su presencia sobre las superficies de los minerales (especialmente los silicatos) altera el equilibrio de cargas de los poliedros de coordinación más cercanos a la superficie, lixivia algunos de los cationes asociados a la estructura de los minerales afectados, y la transforma en nuevos minerales, normalmente filosilicatos del grupo de las arcillas (Loughnan, 1969).

Es decir, minerales (silicatos) con enlaces fuertemente covalentes y, por tanto, con una elevada estabilidad mecánica, se transforman en otros (arcillas) con enlaces de baja energía y en consecuencia, fácilmente eliminables mecánicamente (lluvia, viento...). Por otro lado, los minerales arcillosos presentan una elevada capacidad para absorber agua y, por tanto, facilitan la acumulación de ésta sobre la superficie meteorizada, con lo cual aumenta la cinética de la hidrólisis sobre los minerales formadores de la roca afectada. Se trata, pues, de un proceso que se autoalimenta, aunque siempre condicionado por el clima, el microclima (a escala métrica) y la geometría de la superficie afectada.

De modo indicativo, podemos citar como ejemplo la hidrólisis de los feldspatos potásicos de una arenisca silíceica (la llamada piedra de



Montjuïc), colocada en posición vertical, durante los últimos quinientos años ha sido inferior a 400µm, en relación con los granos de cuarzo (SiO<sub>2</sub>) supuestamente no afectados por la hidrólisis (figura 1). Por el contrario, la misma roca, pero en condiciones de acumulación de agua, por un mal funcionamiento de un canalón, ha sido afectada por el mismo proceso hasta una profundidad superior a los 3 mm en un período de tiempo similar.

## LAS PÁTINAS EN LA CUENCA MEDITERRÁNEA: ASPECTOS MACROSCÓPICOS

Las rocas expuestas al aire libre adquieren, con el tiempo, una pátina que modifica, de forma variable, su color original. Este proceso de "patinado" se produce tanto en afloramientos naturales de roca, como en las superficies arquitectónicas. Tanto es así, que el aspecto más familiar de los monumentos antiguos es con cierta pátina que da un valor añadido de "antigüedad" al monumento, a la vez que le cambia el color.

Llegados a este punto, es necesario tratar de definir el concepto de pátina, a menudo no demasiado claro o interpretado de forma diversa. Según Urzì et al. (1992), las pátinas son el conjunto de cambios naturales que se producen en la superficie de un objeto de arte; no obstante, este término ya lo usó por primera vez, según Vasari, Leonardo da Vinci. Para este artículo consideraremos las pátinas en un sentido amplio, es decir, cualquier alteración cromática de la superficie de una roca, dando lugar a un depósito neoformado de composición diferente o no de la roca del sustrato.

### Superficies arquitectónicas

Si nos limitamos a las superficies de los monumentos y en cuanto al color, se pueden reconocer dos tipos de pátinas. Unas de color anaranjado que recubren la mayoría de las superficies verticales, y unas de oscuras, casi negras, que se encuentran en zonas relativamente protegidas de escorrentías o formando chorros siguiendo las líneas por donde circula el agua selectivamente (figura 2). Este patrón de distribución y cromatismo de las pátinas sobre los monumentos y también en los afloramientos rocosos se repite a lo largo de toda la cuenca mediterránea con una gran constancia.

El origen de estas pátinas localizadas sobre los monumentos ha sido sometido a una larga controversia. Por un lado, hay autores que defienden su origen artificial como antiguos tratamientos de la piedra, para preservarla o bien por uniformidad cromática (Borselli et al., 1990; Franzini et al., 1984; Jenkins y Middleton, 1988; Gratziu, 1989; Lazzarini y Salvadori, 1989, entre otros); mientras que otros defienden su origen natural asociado a la actividad biológica (Del Monte y Sabbioni, 1983, 1987; Del Monte, 1990; Watchman, 1991; Krumbein, 1992; Krumbein y Warscheid, 1992; Urzì et al., 1992, 1993). La realización de dos congresos internacionales específicos sobre el tema (1989 y 1996) no ha solucionado la controversia y la discusión sigue abierta.

Se podría creer que la microestructura y la composición química de las pátinas tendrían que aportar luz al tema, no obstante los mismos hechos y evidencias experimentales son interpretados por uno y otro colectivo de científicos de forma distinta. La presencia de oxalatos, para citar un ejemplo, puede interpretarse como una biomineralización o productos de degradación de las proteínas utilizadas como aglutinante de las antiguas pinturas.

### Afloramientos naturales

En el caso de los afloramientos naturales, incluyendo las canteras abandonadas y los cortes originados por obras de infraestructura, se pueden reconocer pátinas similares en geometrías que muestran ciertos paralelismos con las de los edificios. Así, por ejemplo, en canteras

abandonadas, grutas y peñascales (figura 3) se pueden encontrar pátinas anaranjadas en las zonas con más insolación y poco lavadas por el agua, y pátinas negras en los sitios con escorrentías fuertes. Se trata, pues, del mismo patrón de distribución que en el caso de los monumentos.

A lo largo de este artículo, se comparan las pátinas localizadas sobre superficies arquitectónicas y las que se han desarrollado de manera natural en canteras y peñascales, se discute su posible origen y se aportan datos sobre la composición y estructura de unas y otras, sin la pretensión de intervenir en la controversia natural/ artificial. Los datos que aquí se presentan se han obtenido a lo largo de varios años de investigación específica sobre este aspecto, en el marco de distintos proyectos de investigación y convenios de colaboración con empresas e instituciones. Los monumentos y afloramientos naturales estudiados se pueden observar en el mapa que se presenta en la figura 4 y representan un abanico relativamente amplio de puntos distribuidos a lo largo de la cuenca mediterránea.

## PÁTINAS COLOREADAS

En este apartado se presentan los resultados de la investigación sobre las pátinas de color que se encuentran sobre los monumentos y los afloramientos naturales. Se excluyen a propósito los cambios cromáticos debido a la presencia de biofilms sobre la roca y se limita la discusión a las pátinas que representan un depósito (nuevos materiales) sobre los sustratos de roca.

### Color

En cuanto al color, y como ya se ha mencionado, existen pátinas naranja y otras prácticamente negras, bastante uniformes a lo largo de la cuenca mediterránea.

Se han ejecutado medidas de reflectancia difusa en un número elevado de muestras de pátinas de color anaranjado, y a partir de estos datos se han calculado las coordenadas cromáticas CIE1931, y los atributos de color por el iluminante standard C. La figura 5 muestra la representación sobre un diagrama cromático de algunas de las medidas efectuadas, y se puede observar que la longitud de onda dominante (la medida del tono del color) es la misma para todas ellas. Las diferencias de saturación y luminosidad se tienen que atribuir al estado de la superficie (que afecta a las medidas de reflectancia), y al aspecto más o menos oscuro de las pátinas. Pero, en cualquier caso, se demuestra la uniformidad cromática, lo cual podría sugerir un colorante único.

### Textura

El estudio microscópico de láminas delgadas de pátinas procedentes de varios monumentos, pone de manifiesto que se trata de un depósito monolaminar o multilaminar, formado por niveles, de tamaño de grano de cristal diferente, con color y grosor ligeramente variables.

Las imágenes de la figura 6 corresponden a muestras de distintos monumentos. En muchos casos parece que existe un patrón de distribución de los niveles relativamente uniforme. De modo secuencial, podríamos describir un nivel micrítico (calcita de grano muy fino) de color naranja (en sección transversal) directamente en contacto con la roca; sobre la cual hay un nivel microespartítico (de tamaño de grano de cristal superior a las 10 µm), de color más claro, que en algunos casos tiene estructura microstromatolítica (véase figura 6 a), con presencia de conjuntos de cristales de calcita (CaCO<sub>3</sub>) dispuestos radialmente (véase figura 6 b) y en algunos casos, dos y hasta tres, generaciones de cristales. El análisis de este tipo de microestructura hace pensar en una bioconstrucción; en algunos casos se ha podido detectar la presencia de algas asociadas al núcleo de éstas.

Se ha podido constatar, a lo largo de estos estudios, que esta secuencia es independiente del substrato donde se desarrolla, sea carbonático, silíceo, vidrio o mortero, para citar algunos ejemplos.

En las muestras procedentes de zonas protegidas de escorrentías se han determinado, en todas ellas, la presencia de una capa de cristales de yeso formando el nivel más externo. Su color es negro y se ha atribuido a la presencia de cenizas volantes procedentes de motores de explosión (Camuffo, 1984, 1986; Fassina, 1988; Lefèvre et al., 1989), puesto que su desarrollo en medios urbanos es bastante espectacular. No obstante, también aparecen desarrolladas en medios rurales sin contaminación atmosférica, presentando incluso estructuras estromatolíticas, hoy por hoy su origen no tiene una explicación clara (figura 7). En cuanto a su color, se discutirá más adelante.

La figura 8 muestra diferentes láminas delgadas de muestras procedentes de canteras y peñascales en las que se reconocen pátinas con estructuras multilaminares, iguales a las desarrolladas en la superficie de los monumentos.

## Composición

La composición de estas pátinas, tanto en superficies naturales como en monumentos, es constante a lo largo de toda la zona estudiada. Mayoritariamente se trata de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), aunque en todas ellas se ha determinado también la presencia de oxalatos de Ca (las dos formas mono- y di-hidratada, whewellita y weddellita, respectivamente), y ocasionalmente fosfatos de Ca (normalmente hidroxilapatito), además de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) localizado en la capa más exterior, en la cual también se pueden hallar pequeñas cantidades de cuarzo y arcillas, que se pueden interpretar como partículas atmosféricas atrapadas por la superficie.

De acuerdo con los análisis efectuados en pátinas que sólo contienen la primera capa micrítica, ésta es la que parece contener oxalatos. El hecho que estas pátinas se hayan estudiado mayoritariamente cuando se han desarrollado sobre mármol, asociado a que el mármol está construido por calcita, hace que a menudo se hayan descrito como "pátinas de oxalato", interpretando que la calcita determinada es propiamente la del substrato.

Como ya se ha citado anteriormente, hemos determinado que la composición de estas pátinas es independiente de la naturaleza del substrato sobre el que se desarrollan, incluyendo los que son exclusivamente silicatados por ejemplo (granito, en el caso de la catedral de la Seu d'Urgell, o la arenisca silíceo-piedra de Montjuïc del monasterio de Sant Cugat del Vallès). Este hecho excluye la posibilidad de que se trate de transformaciones de la roca sobre la cual se hallan y que se tengan que interpretar como depósitos de procedencia externa.

Las imágenes de rayos X ("mappings") correspondientes a la distribución de los distintos elementos químicos mayoritarios (figura 9) confirman la composición ya citada, aunque la acumulación de cuarzo y arcillas (Si asociado a Al y K) se limita a una capa ubicada en la parte más exterior del conjunto de la pátina, lo cual sugiere que se trata de polvo atmosférico acumulado en un momento determinado de formación de las pátinas, tal y como ya se ha apuntado.

Otro fenómeno observado en las pátinas ha sido la emisión de catodoluminiscencia en relación con las rocas de los substratos, especialmente cuando éstas son carbonáticas (calcita). La emisión luminiscente de las capas de calcita de las pátinas es de color rosado, diferenciada de la emisión de la roca subyacente (figura 10). El análisis espectral de estas emisiones muestra una curva con dos máximos centrados en 380nm y 630 nm (figura 11). De éstos, el

último está claramente atribuido a la presencia de  $\text{Mn}^{2+}$  en las posiciones de  $\text{Ca}^{2+}$  en la estructura de la calcita, lo cual sugiere que las condiciones de formación de la calcita de la pátina son distintas de la calcita del substrato (Blázquez et al., 1987; Garcia-Vallès et al., 1998).

Si se determina la pérdida de intensidad de los dos máximos detectados en función del tiempo durante la excitación de la muestra por el bombardeo de electrones, se obtienen curvas como las que muestra la figura 12. En éstas, la pérdida de intensidad del pico correspondiente al  $\text{Mn}^{2+}$  se puede considerar normal, mientras que el otro tiene una pérdida excesivamente rápida porque se trata de un defecto de la red cristalina. Una posibilidad es que se trate de una emisión debida a la presencia de materia orgánica, que se quemaría rápidamente por el bombardeo de electrones.

Los análisis efectuados por cromatografía de gases en pátinas anaranjadas procedentes de la catedral de la Seu d'Urgell muestran la presencia de carotinoides (Krumbein, 1993) como materia orgánica asociada a la pátina y, probablemente, responsable del color. Todo ello concuerda con el hecho de que no se hayan encontrado óxidos de hierro como elementos cromóforos, ni por difracción de rayos X, ni a partir de los espectros Mössbauer efectuados en algunas de las muestras.

Si el color de las pátinas anaranjadas se debe a la presencia de carotinoides, como lo sugieren estos análisis, y éstos se encuentran asociados a los espacios intercristalinos de los minerales formadores de cada nivel, todo ello explicaría el color más intenso (más saturado) de las capas con tamaños de cristal micríticos, respecto a otras con tamaño de cristal mayor. En todo caso, este aspecto requiere profundizar en esta investigación desde otro punto de vista.

En cuanto a las pátinas negras, recientes investigaciones (Valero, 2000) han demostrado que su color no se debe a la presencia de partículas atmosféricas (presentes en ínfimas cantidades) sino que se atribuye a la melanina DHN, lo cual se relaciona claramente con hongos negros. No obstante, el origen del yeso de estas capas sigue siendo una incógnita, a pesar de su atribución clásica a la transformación del substrato por la lluvia ácida en un proceso exclusivamente inorgánico.

## Actividad biológica

La mayoría de las pátinas están colonizadas por microorganismos, desde bacterias hasta hongos y algas, según las condiciones ambientales y/o microambientales a las que estén sometidas. En muchas de las muestras estudiadas se pone de manifiesto la presencia de organismos colonizando las pátinas (figura 13), así como la presencia de carotinoides. No obstante, no es una evidencia de que exista una relación causa-efecto entre unos y otros. Probablemente lo que se observa es una colonización posterior a la formación de la pátina.

La presencia de microorganismos sobre las superficies de la roca (incluyendo las pátinas) ha sido largamente documentada (Del Monte, 1990; Diakumaku et al., 1994, 1995; Krumbein y Jens, 1981; Krumbein y Urzì, 1993; Garcia-Vallès et al., 1996 a, 1996 b, 1997 a, 1997 b; Urzì y Realini, 1998), así como la capacidad mineralizadora en cultivos de laboratorio de muchos de estos microorganismos aislados de las muestras estudiadas (Urzì et al., 1997, 1999; Garcia-Vallès et al., 2000).

En los casos de pátinas desarrolladas recientemente, como las aisladas en la cantera de Noto, abandonada hace unos cuarenta años, se ha encontrado una pátina anaranjada formada por una mucosidad de bacterias que producen calcita *in situ*, así como en condiciones de laboratorio (Urzì et al., 1999). Asimismo, en la cantera de mármol de



Belevi (Turquía) se ha determinado, asociado a depósitos laminares de calcita (pátinas), la presencia de algas unicelulares, bacterias tipo *Cocci* (causan el color amarillo-anaranjado) y algunos hongos del género *Cladosporium* y *Aspergillus* (García-Vallés et al., 2000). Por tanto, sin que eso signifique que las pátinas tienen un exclusivo origen biológico, al menos queda demostrada la capacidad de los microorganismos para producir los minerales que encontramos en las pátinas.

## DISCUSIÓN

De los datos expuestos se puede llegar a la conclusión que existe una gran uniformidad en las pátinas que se desarrollan sobre las superficies de las rocas en condiciones subaéreas en la cuenca mediterránea, tanto en las que aparecen en medios naturales como en las encontradas en superficies arquitectónicas, aunque son independientes de la naturaleza del substrato donde se desarrollan. La uniformidad afecta al color, las texturas y las composiciones.

Por otro lado, las pátinas y las superficies de las rocas son colonizadas por microorganismos, cuya capacidad biomineralizadora ha quedado claramente demostrada. Incluso en algunos casos como la cantera de Noto, parece más evidente una relación causa-efecto entre éstos y la mineralización que forma las pátinas, aunque en otras no es posible demostrarlo.

La textura multilaminar, y especialmente la microestromatolítica, que presentan muchas de las pátinas estudiadas parece sugerir un origen biogénico en un porcentaje elevado de pátinas. No obstante, en otras existen dudas razonables y su posible origen antropogénico, que no debe ser excluido. Cabe decir, también, que en otros casos no presentados aquí, se han estudiado recubrimientos claramente artificiales (por ejemplo los de la catedral de Ciutadella, en Menorca), en los cuales se ha determinado la presencia de óxidos de hierro como colorantes y su textura se diferencia de las expuestas (figura 14).

Por tanto, los autores de este artículo se inclinan a pensar que buena parte de las pátinas actualmente visibles sobre monumentos en los cuales no se han practicado intervenciones de limpieza, tienen un origen biogénico y son producto de una biomineralización asociada a la presencia de bacterias (entre otras posibilidades). Sin que esta afirmación excluya otros orígenes para otros casos, algunos de los cuales son bastante evidentes, mientras que otros precisan de una investigación más profunda.

## FIGURAS

1- Fotografía de una lámina delgada de una arenisca de Montjuïc colocada en posición vertical en una de las fachadas de la iglesia de Santa María del Mar de Barcelona, donde se observa la hidrólisis de los feldspatos en relación con los de cuarzo que no están afectados (zona central de la fotografía). Sobre el conjunto se aprecian restos de un recubrimiento negro formado por cenizas volantes.

2- Catedral de la Seu d'Urgell, parte posterior. Se observan zonas con recubrimientos anaranjados (las más lavadas) y negros (las más protegidas).

3- Vista general de un frente de explotación abandonado en una cantera de mármol de Carrara (Italia). Se observa el desarrollo de distintos tipos de pátinas, especialmente una zona con pátinas anaranjadas.

4- Mapa del Mediterráneo donde se localizan algunos de los monumentos y afloramientos estudiados.

5- Diagrama cromático CIE1931 correspondiente a medidas de color realizadas sobre distintas pátinas, donde se refleja la uniformidad en la longitud de onda dominante (el mismo tono).

6 a- Secuencia estromatolítica de una pátina correspondiente a la Torre de Pisa (Italia).

6 b- Disposición radial de los cristales de calcita. Esta fotografía corresponde a una imagen de SEM de una pátina desarrollada sobre granito en la catedral de la Seu d'Urgell.

7- Secuencia estromatolítica desarrollada en la fachada de Santa María de Montblanc.

8- Pátina anaranjada desarrollada en un frente de cantera de mármol abandonada de Belevi (Efeso, Turquía).

9- Mapas de rayos X con la distribución de diferentes elementos mayoritarios en una pátina de la catedral de la Seu d'Urgell.

10- Fotografía de una sección de un mármol correspondiente a la cantera de Carrara con pátina desarrollada, donde se aprecia la catodoluminiscencia de la pátina carbonática.

11- Análisis espectral de la catodoluminiscencia de las distintas pátinas desarrolladas sobre una piedra caliza de la fachada de la catedral de Tarragona.

12- Variación de intensidad de los dos picos de la emisión de la figura anterior en función del tiempo.

13 a- Imagen donde se aprecia la actividad actual sobre la pátina. Esta biocolonización (puntitos negros) está producida por hongos del grupo *Dematiaceae* correspondiente a la fachada de la portada del monasterio de Sant Cugat del Vallès.

13 b- La bioactividad actual penetra hacia el interior de la pátina y de la roca, como es el caso de esta pátina desarrollada sobre la fachada de la catedral de Tarragona. Se pueden observar las estructuras negras botrioidales en la pátina y los filamentos negros (hifas) que rodean algunos de los cristales de la matriz de la roca.

14- Recubrimiento artificial laminado correspondiente a un encalado de la catedral de Menorca.

## NOTA

<sup>1</sup> La traducción de este artículo del catalán al castellano ha sido realizada por Miquel Mirambell Abancó.