

Degradación de materiales pétreos

Màrius Vendrell

Patrimoni 2.0 consultors

Abstract

Stone materials used in the construction and decoration of buildings, gardens and historic sites are subject to erosive processes like natural rock outcrops, with the added benefit of the particular circumstances that may occur in buildings where they are in contact with other materials. This text summarizes the mechanisms of alteration of these materials. The physical and chemical processes and mechanisms, natural or induced by man, that affect the stability of heritage materials are presented, including a brief summary of the effects of biological activity, both erosive and constructive.

Key-words: stone, cultural heritage, degradation, weathering

Resumen

Los materiales pétreos empleados en la construcción y decoración de edificios, jardines y sitios históricos están sometidos a procesos erosivos como los afloramientos rocosos naturales, con el añadido de las circunstancias particulares que pueden ocurrir en los edificios, donde están en contacto con otros materiales. En este texto se resumen los mecanismos de alteración de estos materiales. Se presentan los procesos y mecanismos físicos y químicos, naturales o inducidos por el hombre, que afectan a la estabilidad de los materiales patrimoniales, incluyendo un breve resumen de los efectos de la actividad biológica, tanto erosiva como constructiva.

Palabras clave: piedra, patrimonio, degradación, alteración.

1. Introducción

Las piedras empleadas en la construcción de edificios, monumentales o no, como cualquier otro material, están sometidas a procesos de alteración de los componentes que las forman, igual como ocurre en la naturaleza, donde las rocas se ven afectadas por la erosión. Aun así, en obra tienen lugar otros procesos, además de los naturales: interacción con otros materiales de construcción, uso, humedades añadidas, etc. Que el resultado de estos procesos sea más o menos rápido y apreciable a la escala histórica de tiempo determina la durabilidad de una piedra una vez puesta en obra. En una primera aproximación es posible considerar la degradación de los materiales de construcción diferenciando los procesos que ocurren a la escala macroscópica de aquellos que tienen lugar a escala microscópica, frecuentemente mucho más devastadores que los primeros.

2. Procesos macroscópicos

Por efectos macroscópicos podemos considerar los que afectan a un conjunto de elementos, con poca a nula dependencia de la naturaleza de estos. Ejemplos de ello serían los efectos mecánicos de rozamiento, impactos, tensiones estructurales, etc., que ocasionan desgaste, fisuras, roturas... En general se trata de eventos ocasionales o rutinarios, perfectamente delimitados en el tiempo y el espacio.

Los efectos producidos a causa de movimientos estructurales del edificio, una explosión, impactos debidos a manipulación errónea de cualquier máquina, el desgaste de la circulación de personal, incendios, terremotos, etc. alteran los materiales afectados ocasionando daños fácilmente relacionables con la causa que los produce.

En este apartado deberían considerarse los daños causados por exceso de carga sobre el elemento, de modo que si esta supera los límites resistentes del material en las condiciones de recepción del esfuerzo (compresión uniaxial,

torsión, flexo-torsión...), este se fisurará y, eventualmente, romperá por las discontinuidades que representan las fisuras. En este texto no se tratarán específicamente este tipo de daños porque quedan fuera del alcance propuesto.

3. Procesos microscópicos

Se entiende por procesos microscópicos aquellos que afectan a los granos que forman los materiales pétreos o a la cohesión entre estos (sean una roca, cerámica o mortero). Son procesos que ocurren a la escala micrométrica o incluso inferior, alteran la composición de los granos formadores o la estabilidad de cada uno de ellos en relación con sus vecinos inmediatos. Sus efectos, aun actuando a una escala tan pequeña, pueden ser importantes y en ocasiones producen daños significativos que limitan drásticamente la durabilidad de los materiales.

Los daños producidos a esta escala dependen de diversos factores:

- a) intrínsecos al propio material, como la composición mineralógica del mismo, pero sobre todo es importante la textura (tamaño y orientación de los granos que lo forman, espacios entre ellos – porosidad -, etc.)
- b) extrínsecos al material, como su colocación en obra, los materiales inmediatamente cercanos, geometría – posición respecto la vertical -, ejecución de obra, acabado superficial, etc.
- c) ambientales: clima, microclima, orientación geográfica, etc.

De ahí se deduce que un mismo material se comportará de manera diversa según su colocación en obra, condiciones ambientales, etc. a la vez que en igualdad de condiciones, es probable que dos materiales distintos reaccionen de modo específico según sus características. Ello impide establecer generalizaciones de aplicación universal y cada caso requiere un análisis específico, aunque la degradación es relativamente predecible y es posible establecer, a priori, incluso antes de su colocación en obra, unos criterios de durabilidad según el material de que se trate y las condiciones de colocación.

4. Mecanismos de degradación

Aquí se presentan, de modo muy sucinto, los principales procesos físicos, químicos y biológicos que intervienen en la degradación de los materiales pétreos. No se pretende una guía exhaustiva de interpretación de la alteración de los materiales, sino explicar brevemente los mecanismos, a través de los cuales actúan diversos procesos que generan daños en los materiales pétreos de construcción. Aunque se presentan clasificados de cierto modo, se quiere hacer hincapié en la complejidad de los mecanismos y en las interacciones y sinergias que se establecen entre ellos. No es posible imaginar la actuación de un único proceso, sino que suelen combinarse entre ellos y los efectos de uno pueden facilitar la acción de otros, estableciendo las mencionadas sinergias que convierten la degradación de un material en un proceso complejo que requiere un análisis específico.

4.1. Ataque químico

La acción química sobre los materiales de construcción está prácticamente limitada a la acción del agua, cuya molécula polar resulta activa frente a gran parte de los minerales formadores de las rocas y otros materiales pétreos como la cerámica, los morteros y el hormigón. Otros reactivos, a parte del agua, son accidentales y no se consideran en este texto. Sin embargo, el agua es capaz de disolver algunos compuestos, reaccionar con otros mediante los gases o fases disueltas o por sí misma. Dichos mecanismos se describen brevemente a continuación.

La disolución afecta sólo a minerales que tengan un producto de solubilidad significativo, que en términos prácticos queda casi limitado al yeso, que forma parte de algunas piedras, así como de algunos acabados superficiales. El yeso se disuelve 2,23 g/l a 20°C, de modo que en condiciones exteriores de escurrimiento de agua de lluvia o rocío puede perder sección por disolución y por tanto, su durabilidad es limitada, aunque existen casos de uso de yeso en acabados exteriores de elevada durabilidad (Mallorca o Albarracín, por ejemplo) a causa del tipo de tratamiento superficial o de los componentes minoritarios asociados al yeso. La disolución propiamente dicha de la mayoría de los principales minerales formadores de materiales pétreos es prácticamente despreciable.

La acción más importante del agua es la hidrólisis; este es un mecanismo vinculado a la polaridad de la molécula de agua, que desestabiliza el equilibrio (ya de por sí inestable) de los átomos de la superficie de diversos minerales (principalmente silicatos), dando lugar a la transformación de los mismos y la formación de otros minerales, principalmente arcillas. La cinética del proceso a la escala histórica del tiempo, es lenta, aunque puede verse acelerada

por una geometría constructiva que facilite la retención y acumulación de agua y por la presencia de iones de gran tamaño disueltos en el agua (SO_4^{2-} , NO_x , etc.), con lo que fácilmente puede entrar en sinergia con otros procesos y alcanzar velocidades de degradación significativas.

4.2. Procesos físicos

Se quiere dar a entender por este tipo de procesos aquellos vinculados exclusivamente a mecanismos físicos, sin que tenga lugar alteración alguna de la composición química del conjunto o de alguno de los componentes del mismo. Por lo tanto, se limitarán a unos pocos procesos que se describen a continuación.

- Gelifracción: es un proceso bien conocido, sobre todo en climas con inviernos fríos, causado por la dilatación del agua al congelarse. La lluvia o el rocío dan lugar a la entrada de agua en las fisuras y los poros de la piedra y al helarse crea tensiones que ocasionan la rotura del elemento afectado. La presión ejercida es enorme y el proceso produce importantes pérdidas de sección, dependiendo de la textura del material. Por ejemplo, rocas con poros de gran tamaño, como el travertino, apenas se ven afectadas por gelifracción porque el agua no llega a llenar totalmente cada poro y aunque las paredes de los mismos estén mojadas, hay espacio para la dilatación sin que se produzcan tensiones entre los componentes; sin embargo, en piedras con poros de pequeño tamaño, estos se llenan totalmente de agua, que al dilatar fractura la pieza afectada.

- Dilatación térmica: la mayoría de los materiales dilatan al aumentar la temperatura y contraen cuando esta disminuye. Este fenómeno se compensa en la construcción mediante la formación de juntas de dilatación que absorban el incremento de longitud causado en momentos de fuerte calor, así como la presencia de juntas de mortero que absorben la dilatación de los sillares sin afectación evidente. La ausencia o mal diseño de la construcción puede generar la rotura en los materiales a causa de las tensiones creadas con la dilatación.

En realidad, las rocas dilatan porque lo hacen los granos de los minerales formadores de las mismas, los cuales, a su vez, suelen tener un comportamiento térmico anisótropo y no dilatan lo mismo en todas las direcciones. En algunos casos, como la calcita, la anisotropía es tan acusada que, al aumentar la temperatura, en una dirección dilata, mientras que en otra contrae. En mármoles de tamaño de cristal grande este fenómeno facilita el desprendimiento de los granos superficiales y la consecuente pérdida de sección, es el proceso que en Italia se conoce expresivamente como *marmocotto*.

- Dilatación hídrica: se trata de un proceso asociado a la presencia de arcillas en roca. Si la piedra las contiene, al mojarse su zona superficial, estas adsorben agua y expanden, creando tensiones respecto de la zona interior seca, que pueden dar lugar a la formación de un sistema de fisuras paralelas a la superficie o a la disgregación de los granos que forman la piedra. La intensidad de este proceso depende del tipo de arcilla y de su cristalinidad. Las fisuras generadas facilitan el desprendimiento de escamas paralelas a la superficie exterior, sea cual sea la forma de esta, fenómeno frecuente en algunas rocas sedimentarias, normalmente blandas debido a su contenido en arcillas.

- Oxidación de hierros empotrados: no es un proceso intrínsecamente asociado a la propia piedra, sino a elementos metálicos (especialmente de hierro) alojados para el anclaje de otros materiales. Es bien conocida la expansión del hierro al oxidarse debido al incremento de volumen que implica la reacción. La capacidad expansiva de un hierro depende mucho de su proceso de fabricación, así la forja tiene un buen comportamiento al exterior, mientras que los perfiles laminados en caliente (hierro pudelado) expanden extraordinariamente y rompen la piedra en la que están empotrados. Existe una amplia variedad de tipos de hierro que soportan distintamente condiciones ambientales, entre ellos la gama de aceros inoxidable, cuya resistencia a ambientes agresivos es muy superior a los aceros convencionales.

- Deformación bajo presión: imaginemos un elemento de piedra de aplacado de ciertas dimensiones y relativamente delgado. Bajo la tensión creada por su propio peso es posible su deformación sin llegar a la rotura. Este es un proceso que ocurre a escala microscópica debido al deslizamiento de unos granos respecto de los vecinos a través de los contactos entre bordes de grano (que en realidad son superficies de inestabilidad a escala atómica). Bajo estas condiciones, la lámina de piedra puede tener cierto comportamiento deformable, ocasionalmente con la aparición de microfisuras (muchas veces invisibles a simple vista) que facilitan la deformación.

4.3. Actividad biológica

La superficie de las piedras es susceptible de ser colonizada por microorganismos de distintos grupos, especialmente bacterias, hongos, algas unicelulares y líquenes. Que estos puedan adaptarse mejor o peor a la superficie de una piedra depende de las condiciones ambientales regionales (clima), las microambientales (la zona donde está el elemento, orientación geográfica, relación con el edificio –zona de sombra o insolación –, posición respecto la vertical, etc.), así como de la bioreceptividad de la propia piedra. Esta, a su vez, está fuertemente condicionada por del sistema poroso (capacidad de absorción y retención de agua), por la composición de la piedra (mayor o menor contenido en arcillas capaces de adsorber agua), de la rugosidad superficial (acabado del elemento), etc.

De modo genérico, es posible afirmar que una piedra porosa, especialmente con poros pequeños capaces de retener agua, será más bioreceptiva que una sin apenas poros o con poros de gran tamaño. A su vez, la rugosidad superficial incrementa la capacidad de retención de agua y, a la vez, la de instalación de colonias de organismos, que necesitan el agua (aun en pequeñísimas cantidades para vivir). Por idéntica razón, una posición cercana a la horizontal estará mucho más colonizada que una vertical, y una zona soleada, menos que una de sombra, al menos en climas áridos o semiáridos. Muy frecuentemente, las orientaciones norte y sur en un mismo edificio presentan aspectos bien diferenciados debido a la presencia selectiva de distintos ecosistemas de microorganismos.

Hay que considerar que algunos microorganismos precisan muy poca cantidad de agua para su desarrollo. Piedras en climas desérticos son colonizadas por bacterias adaptadas a este ambiente, dando lugar al llamado barniz del desierto. Además, algunos hongos pueden desarrollar estrategias de supervivencia consistentes en adoptar una morfología resistente a condiciones poco favorables a la espera que estas cambien lo suficiente como para el desarrollo metabólico de la totalidad del organismo. Hongos negros del grupo *Dematiaceae* forman colonias que penetran algunas micras en la superficie de la piedra excavando sus propios nichos ecológicos, donde se ubican sin actividad metabólica perceptible; es, sin duda, una estrategia de supervivencia.

La presencia de colonias de microorganismos afecta algo más que la simple estética que implica el cambio de color. La estrategia de supervivencia de muchos de estos consiste en perforar la piedra hasta, en ocasiones, algunos milímetros de profundidad, alterando la porosidad de la zona más superficial y facilitando un nivel de agresividad mayor del que presentaría la superficie sin colonizar. Esta penetración facilita el mantenimiento de los organismos adheridos a la piedra, así como la búsqueda de mejores condiciones, algo alejadas de la insolación superficial.

En zonas de elevada pluviosidad es posible que la hidrólisis de los componentes de la piedra produzca una cantidad suficiente de arcillas para la instalación de musgos, cuyo desarrollo precisa de un micro-suelo vegetal, aunque sea a escala milimétrica sobre superficies planas, fisuras o recovecos que facilitan la acumulación de arcillas producidas por la hidrólisis de los componentes de la piedra o aportadas por el aire (gran parte del particulado atmosférico son arcillas). Si la acumulación es suficientemente grande, es posible observar el desarrollo de plantas superiores, con hojas y raíces, cuyo crecimiento ocasiona problemas importantes debido a la presión que ejercen en la zona de crecimiento.

Los microorganismos que colonizan las rocas formando un biofilm (continuo o no) pueden erosionar la piedra, como se ha mencionado antes. Pero asociada a su capacidad erosiva, tienen la de forman minerales, dando lugar al crecimiento de cristales que, en ocasiones, pueden llegar a formar una costra de espesor significativo. Prácticamente minerales de todos los grupos (carbonatos, sulfatos, silicatos, fosfatos, óxidos, etc.) se han citado como productos de la actividad metabólica de microorganismos.

4.4. Cristalización de sales

Las sales que se disuelven en agua pueden circular en solución siguiendo los desplazamientos de esta y donde evapora, cristalizan. Cuando esto ocurre en interior del sistema poroso, según el tamaño de los poros, se ejerce una presión sobre sus paredes (presión de cristalización) que puede acarrear la disgregación de los granos de la piedra. El origen de las sales puede ser diverso y complejo, desde mal funcionamiento del sistema de evacuación de aguas residuales, que suele dar lugar a nitratos alcalinos, hasta el escurrimiento de agua de lluvia que lixivia algunos materiales (por ejemplo, cemento) para ocasionar el desarrollo de sulfatos alcalinos, por no citar explícitamente la sal marina. El problema suele ser complejo y requiere un análisis de la naturaleza de las sales, de la cinética del agua en el interior de los materiales de construcción y de los posibles orígenes de esta, sean del subsuelo, de los propios materiales de construcción o del spray marino en casos muy cercanos a la costa.

Por su parte, el grado de afectación de una piedra depende, en gran manera, de la configuración de su sistema poroso. Poros muy grandes no suelen dar otros problemas que los meramente estéticos, mientras que piedras con menos poros, pero más pequeños, pueden disgregarse debido a que la presión ejercida sobre las paredes de los poros puede ser importante. Además, obviamente, la propia naturaleza de la piedra ejerce, a su vez, cierto control sobre su comportamiento ante este tipo de problema.

5. A modo de corolario

Los materiales pétreos de construcción (naturales –rocas- o artificiales) están sometidos a procesos erosivos, como ocurre en los afloramientos de la Naturaleza, eventualmente acelerados por las condiciones particulares a las que se pueden ver sometidos. Si esta erosión es perceptible a la escala histórica del tiempo (el siglo como unidad temporal), la denominamos degradación, alteración o cualquiera de los posibles sinónimos del término. En este texto se ha tratado de resumir los mecanismos que dan lugar a los procesos de alteración, así como la cinética de los mismos, que en definitiva redundan en una pérdida más o menos rápida del patrimonio histórico.

Y aunque el concepto de “patrimonio histórico” es relativamente reciente, no va mucho más allá del siglo XIX, la voluntad de preservar, conservar, alargar la vida útil y estética de los edificios (patrimoniales o no) es ancestral y a lo largo de la historia el hombre ha aplicado técnicas de protección y mantenimiento de los edificios, algunos porque eran su casa, otros porque tenían una especial representación o valoración social. Y con la excepción de algunas construcciones especialmente relevantes, a lo largo de la historia se ha construido con el material local, con las rocas cercanas, fueran estas buenas, malas o regulares. Y por esto, la tradición vernácula de cada zona ha desarrollado en cada momento estrategias de protección y embellecimiento de los edificios, muchas de las cuales se han perdido, abandonado o simplemente, olvidado en nombre de una estética no siempre basada en el rigor histórico.

En los últimos decenios se ha argumentado la aceleración de la degradación de los materiales pétreos ocurrida en los últimos 150 años relacionada con la polución urbana e industrial como consecuencia de la revolución industrial iniciada a finales del siglo XVIII, según la región que se considere. El análisis de la interacción roca-atmosfera en diversos ambientes no parece dar un soporte sólido a esta afirmación que, por menos, podría ser cuestionable. ¿Y si resulta que se han abandonado las acciones de protección de la edificación histórica y ahí radica la innegable aceleración de la degradación patrimonial? Quizás, colectivamente, no estemos haciendo las cosas lo suficientemente bien...

Bibliografía

- Ashurst, J., & Ashurst, N. (1988). *Practical Building Conservation: Stone Masonry*. English Heritage.
- Blazquez, F.; Calvet, F. and Vendrell-Saz, M. (1995), Lichenic alteration and mineralization in calcareous monument of NE Spain, *Geomicrobiology Journal*, Vol. 13, pp. 223-247.
- Doehne, E., & Price, C. A. (2010). *Stone Conservation: An Updated Overview*. Getty Conservation Institute.
- Fitzner, B., & Heinrichs, K. (2002). "Damage diagnosis on stone monuments—weathering forms, damage categories and damage indices." *International Journal for Restoration of Buildings and Monuments*, 8(5), 507-532.
- Krumbein, W. E.; Urzì, C.; Vendrell-Saz, M. (1997), From the quarry to the Museum Atmospheric saecular organic pollution influencing the cultural heritage, *European Cultural Heritage News Letters (ECHNLR)*, Vol. 10 , pp 62-66
- Price, C. A. (1996). *Stone Conservation: An Overview of Current Research*. Getty Conservation Institute.
- Rodríguez-Navarro, C. & Doehne, E. (1999). "Salt weathering: Influence of evaporation rate, supersaturation and crystallization pattern." *Earth Surface Processes and Landforms*, 24(3), 191-209.
- Siegsmund, S., & Sneathlge, R. (Eds.) (2014). "Stone in Architecture: Properties, Durability." *Earth Sciences Series*. Springer.
- Smith, B. J., & Gomez-Heras, M. (2006). *Weathering and Durability of Stones in Built Environments*. Geological Society of London.
- Török A., Licha T., Simon K., Siegsmund, S. (2011), Urban and rural limestone weathering; the contribution of dust to black crust formation, *Environ Earth Sci* 63:675–693
- Turkington, A. V., & Paradise, T. R. (2005). "Sandstone weathering: A century of research and innovation." *Geomorphology*, 67(1-2), 229-253.
- Urzì C., Garcia-Valles M., Vendrell M. and Pernice A. (1999). Biomineralization processes on rock and monument surfaces observed in field and laboratory conditions. *Geomicrobiology J* 16:39–54.
- Winkler, E. M. (1994). *Stone in Architecture: Properties, Durability*. Springer.