

DEGRADACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO EN YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS

Natalia Pérez Ema¹

¹ CEI Campus Moncloa, UCM-UPM. (Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, UPM e Instituto de Geociencias, IGEO (CSIC, UCM)).

natalia.perez@upm.es

RESUMEN: El estudio de los procesos de alteración de la piedra que forma parte del patrimonio cultural goza ya de una larga tradición y de amplios conocimientos consensuados por la comunidad científica. Sin embargo el material pétreo procedente de yacimientos arqueológicos padece unas alteraciones y procesos de degradación particulares. Estos yacimientos a diferencia de los edificios históricos, han permanecido bajo tierra, en la fase de enterramiento, durante varios siglos en la mayoría de los casos, una particularidad que condiciona irremediablemente las características de la piedra y su estado de conservación tras la excavación. En este artículo se hace un análisis de las particularidades que definen el estado de conservación del material pétreo en contextos arqueológicos, para luego analizar el caso de algunos de los sitios arqueológicos más emblemáticos del conjunto emeritense, prestando especial atención a los agentes de deterioro de tipo antrópico.

PALABRAS CLAVE: degradación, yacimiento arqueológico, Mérida, excavación, factores antrópicos.

SUMMARY: The study of alteration processes of the stone material from cultural heritage has already established a long history and an extensive knowledge agreed by the scientific community. However the stone material from archaeological sites suffers particular degradation processes. These sites, unlike historic buildings, have remained buried for centuries in most cases, a peculiarity which inevitably affects the condition and characteristics of the stone and its state of conservation after excavation. In this paper an analysis of the particular characteristics that define the state of conservation of stone material in archaeological contexts is done, analysing then the case of some of the most emblematic archaeological sites of Merida ensemble, with special attention to the anthropic degradation factor.

KEYWORDS: degradation, archaeological site, Merida, excavation, anthropic factors.

1. INTRODUCCIÓN

La degradación de la piedra supone la pérdida de sus características primitivas y, por lo tanto, un proceso continuo hacia su destrucción, no obstante se pueden tomar las medidas adecuadas para protegerla de lesiones de tipo físico, mecánico, químico y antrópico, lo que permitirá ralentizar el progreso del deterioro. A nivel geológico se da un desequilibrio termodinámico por el que cual el material tiende a adaptarse de forma natural a los niveles energéticos de la superficie terrestre, mucho menores que los de su contexto de creación (Mingarro, 2000). Existe pese a ello una gran dificultad de entender, más aún de predecir, los procesos de alteración, sobre todo a largo plazo, debido a la enorme variedad de factores que intervienen a lo largo del tiempo y del espacio (Doehne et al., 2010).

2. CICLO VITAL DEL MATERIAL PÉTREO ARQUEOLÓGICO

Las fases que describen la vida de los materiales arqueológicos suponen diversos procesos de transformación del material, que en el caso arqueológico son singulares (Carrera Ramírez, 2010; Barrio Martín, 2012) y su conocimiento es determinante a la hora de realizar un correcto diagnóstico. Dicha fases se describen a continuación.

2.1. FASE DE ELABORACIÓN O MANUFACTURA

Desde la extracción en cantera hasta su uso como elemento estructural u ornamental, las alteraciones propias de esta fase se deben a esfuerzos mecánicos intensos que pueden derivar en procesos de fisuración y fractura. La descompresión que sufre el material en el proceso de extracción en cantera puede generar tensiones residuales que posteriormente se

sumen a las cargas recibidas en el edificio.

2.2. FASE DE USO

Engloba varios factores relativos a la edificación y uso, donde los materiales se ven sometidos a esfuerzos y procesos continuos de desgaste. También influyen factores derivados del medio geográfico en el que se ubica, el diseño y la orientación, reparaciones durante su vida útil, etc. La orientación del edificio condiciona en mayor o menor la exposición a agentes climáticos como la lluvia, el viento, zonas de sol y umbría, y con ello un estado de conservación diferencial, en relación con los ciclos de humectación-desecación y calentamiento-enfriamiento (Smith et al., 2008). Prueba de ello es la mayor degradación sufrida en las esquinas y salientes de muchas construcciones, o erosión en su caso, más evidente en las tallas y elementos ornamentales.

La distribución de las cargas en el edificio es un factor a estudiar, un desequilibrio en este sentido es causa probable de daños de tipo mecánico, sobre todo en elementos horizontales o sobrecargados, y punto frágil del edificio. Además, el material utilizado en edificación también será determinante, aparte del propio material pétreo, el de los morteros y elementos de fijación (grapaspas, zunchos, etc.).

El uso y mantenimiento del edificio durante su aprovechamiento influirá en algunos aspectos de su conservación de forma puntual y localizada, en función de factores muy variados; presencia de agua en zonas ajardinadas y patios, averías y reparaciones, incendios y movimientos del terreno, etc.

Hay que tener en cuenta que todas ellas, aunque sean consideradas como degradación, nos hablan de la vida del objeto de estudio, y por lo tanto han de

conservarse en la medida de lo posible, privilegiando su valor documental.

2.3. FASE DE ABANDONO Y ENTERRAMIENTO

Las estructuras pierden su uso originario y comienza una nueva dinámica de alteraciones durante un periodo indeterminado de tiempo, en el cual se da desde el expolio y aprovechamiento de los materiales constructivos, al avance hacia el estado de ruina, hasta su progresivo enterramiento. En esta fase el material pasa a un nuevo ambiente, lo que Gaël de Guichen denomina contenedor ambiental (A.A.V.V., 1986), y con ello comienza una nueva fase de adaptación al enterramiento, en el que se da una dinámica de equilibrio entre el material y el suelo.

Este medio se caracteriza por su homogeneidad y estabilidad, con escasos cambios cíclicos, caracterizado, en mayor o menor medida según el contexto, por unas variables fijas generales (Porto Tenreiro; 2000):

- ausencia de luz;
- temperatura estable, se dan cambios estacionales que solo afectan notablemente en superficie aproximadamente 1 m de profundidad, pero a partir de 5 a 6 m los cambios son mínimos (Op.cit., 1986);
- la presencia de humedad suele ser constante, sin grandes fluctuaciones, dependiendo del nivel freático y la presión hidrostática;
- bajo nivel de O₂ salvo en las capas externas, limitando las reacciones de oxidación-reducción;
- presencia continua de sales solubles procedentes del terreno que penetran profundamente en materiales porosos por capilaridad transportadas por el agua;
- la contaminación del suelo es variable, en general encontramos compuestos de nitrógeno, amonio o hi-

drocarburos;

- las presiones estructurales también ocasionan desgaste, fracturas, deformaciones y desplazamientos bajo tierra;
- los animales y las raíces de la vegetación, el biodeterioro en general, es uno de los agentes más agresivos de lesiones mecánicas en yacimientos arqueológicos;
- microorganismos que ocasionan pudrición en material orgánico en el proceso de humificación; y pH variable, en relación con lo anterior.

El tipo de suelo, compuesto por conglomerados minerales (comúnmente sílice, entre otros) y orgánicos (procedentes de los ciclos de degradación y síntesis de la materia orgánica, fundamentalmente anhídrido carbónico, nitratos, fosfatos, etc.) es determinante para la conservación de los materiales. Un suelo ácido es más agresivo que uno básico, el primero genera procesos de degradación y descohesión del material pétreo, el segundo, gruesas costras de carbonatos.

Las características físicas del terreno (textura, permeabilidad, estructura o capacidad de retención de agua) y químicas (composición del suelo, elementos orgánicos e inorgánicos, pH, sales solubles) serán las que definan las alteraciones y estado de conservación en el momento de excavación y exposición al nuevo medio aéreo. Los suelos impermeables permiten unas mejores condiciones de conservación, mientras que los más permeables favorecen la circulación de agua que reactiva procesos de degradación, sobre todo en material orgánico, pero también procesos de hidrólisis, disolución y erosión de los inorgánicos. Si se alcanza el máximo nivel de saturación del sistema poroso se da una situación de extrema fragilidad del material pétreo causado por una hidrólisis extensiva cuando entra en juego el oxígeno, en cambio en un

ambiente anaerobio, se alcanza un equilibrio estable no perjudicial mientras persista (Cirujano et al., 2001).

2.4. FASE DE EXCAVACIÓN

El material pétreo se verá menos afectado por este cambio de medio que el material orgánico, y su degradación será más lenta y progresiva, pero inevitable igualmente. En el caso de los bienes muebles se puede tratar de minimizar ese impacto con la actuación del restaurador desde el mismo momento de extracción y la posibilidad de control de las condiciones ambientales. Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones es imposible controlar las condiciones que rodean al patrimonio inmueble que permanece in situ, debido al altísimo coste que ello supone (proyectos de cerramiento y control ambiental de yacimientos arqueológicos). En otros casos se ejecuta un re-enterramiento de las estructuras, una vez documentadas y analizadas, pero, además de no darse frecuentemente, no se evita el daño del cambio de medio, aunque si se atenúa y se evitan otros daños futuros de la fase de exposición post-excavación.

Además de las causas naturales, se pueden dar durante esta fase lesiones, fundamentalmente de tipo mecánico, derivadas de una inadecuada metodología de excavación, como golpes, arañazos, fracturas, desplazamientos, deformación o eliminación de elementos protectores, entre otras.

2.5. FASE POST- EXCAVACIÓN

O fase de exposición al medio aéreo, en la que se dan alteraciones propias de todo elemento expuesto al medioambiente. Este ambiente es heterogéneo e inestable, a diferencia del medio subterráneo (Op. Cit., 2000):

- continuas fluctuaciones de temperatura y humedad, diaria y estacional, lo que favorece el biodeterioro y acelera todas las alteraciones químicas;
- presencia de gases reactivos: O₂, CO₂, O₃, SO₂, entre los más comunes, Incrementa todas las formas de deterioro, incluyendo las biológicas y químicas;
- radiación solar variable, extrema en muchos casos, favorece el crecimiento biológico (microorganismos, vegetación e insectos);
- las fluctuaciones de temperatura y humedad, así como la radiación solar, por su efecto secante, favorecen la cristalización de sales solubles (eflorescencias, sub-eflorescencias y cripto-eflorescencias), ocasionando daños de tipo físico y mecánico, más acusado aún en el caso del material previamente enterrado, puesto que estas sales solubles han penetrado profundamente. Las sales insolubles, como los carbonatos, pueden formar costras duras en superficie;
- exposición a agentes físicos variados, etc.

Los problemas derivados de la exposición al medioambiente han sido ampliamente estudiados, identificándose las causas/ factores, y los mecanismos/ procesos de degradación, o lo que es lo mismo, el por qué y el cómo. Además estos procesos se manifiestan mediante indicadores que permiten su reconocimiento en la labor de diagnosis. Hay que distinguir entre la meteorización, como transformación natural del material pétreo que conlleva mecanismos de disgregación física y la descomposición química, y que se da de forma inevitable, a largo plazo, tanto en cantera como en edificación, y alteración, que tiene lugar a medio-corto plazo y viene causada por la acción de diversos elementos del ambiente en que se encuentra (Alonso et al., 2006).

En resumen, y en relación a lo anteriormente expuesto, existen unas causas de deterioro intrínsecas, que son aquellas propias del material pétreo y deter-

minan el proceso de meteorización y la relación con los agentes externos, pero también con parámetros como la alterabilidad y durabilidad como material estructural. Por consiguiente, la composición química y mineralógica, las características petrográficas y las propiedades físicas y mecánicas. En el pasado se ha tendido a pensar que la degradación de la piedra se debía exclusivamente a la exposición, fuera de su naturaleza original, a los agentes externos, es decir, que comenzaba cuando se extraía el material de cantera para su manufactura, con el cambio de medio. Sin embargo la roca tiene memoria y acumula en su estructura los efectos de su proceso de formación y exposición a la superficie terrestre (Smith et al., 2008), y también los derivados del periodo de enterramiento.

Mientras que entre las causas de deterioro extrínsecas, están las ambientales (el agua, la temperatura, la sensibilidad al ataque de sales, la composición natural del aire, viento, contaminación atmosférica) y las de origen biológico y antrópico, que se comentan a continuación.

3. ESTUDIO DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS CONJUNTOS DEL TEATRO ROMANO Y CASA DEL MITREO DE MÉRIDA

En este punto se describen las causas e indicadores del deterioro que afectan al conjunto monumental del Teatro romano y, aunque en menor medida, a la Casa del Mitreo, para analizar los efectos que las distintas fases, pre- y post-excavación, han tenido en el material pétreo que compone sendos bienes arqueológicos. El estudio se basa únicamente en el examen visual y documental.

3.1. CAUSAS E INDICADORES DEL DETERIORO

- extrínsecas: *ambientales*

Características del contexto geográfico:

Mérida goza de un clima mediterráneo continental de influencia atlántica que se caracteriza por sus altas temperaturas en verano, con máximas que en ocasiones superan los 40°C, e inviernos suaves con mínimas que rara vez bajan de los 0°C, con una media anual de 17,3 °C (promedio entre 2006 y 2010) (Fuente: AEMET). El régimen de precipitaciones medio es escaso siendo diciembre y enero los meses de mayor aportación, con lluvias intensas ocasionales, y existiendo ciclos periódicos de sequía.

Los daños ocasionados por ciclos de hielo-deshielo son puntuales. Más graves pueden ser los daños ocasionados por las fluctuaciones térmicas, la elevada temperatura estival y la insolación, así como los fuertes contrastes noche-día que se dan, fundamentalmente en el periodo invernal.

La ciudad de Mérida se asienta en la cuenca del Guadiana, concretamente entre este río y su afluente el Albarregas, el nivel freático del Guadiana se encuentra a poca profundidad por lo que la humedad del terreno está garantizada.

Esta cercanía a cuencas fluviales también caracteriza el tipo de suelo denominado Luvisol, propio de valles aluviales. Son ricos en arcillas en los estratos más profundos o subsuelo, debido al lavado de estos compuestos desde los estratos más superficiales. Son ricos en bases (si bien la superficie se encuentra normalmente completa o parcialmente descalcificada, por lo que a menudo muestra una reacción ligeramente ácida), así como en aluminio y hierro. Los Luvisoles tienden a volverse más ricos en arcillas de expansión con un encogimiento hacia el extremo seco, según se aleja de la fuente fluvial. Como conse-

cuencia, la presión en la superficie de los elementos enterrados se vuelve fuerte en estas zonas.

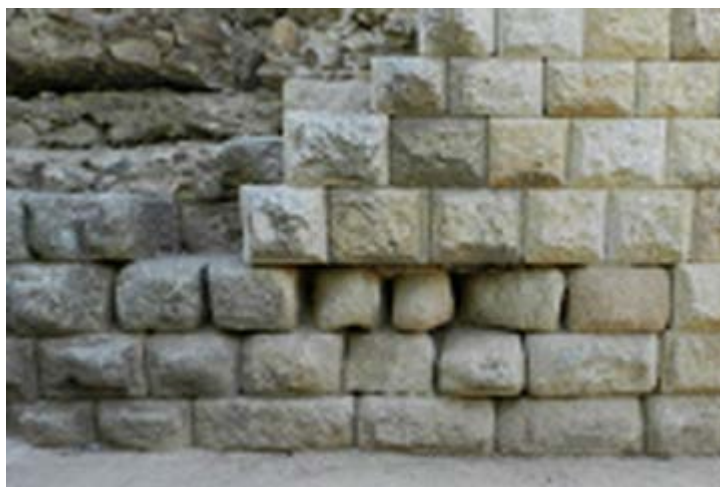
Además de los aportes de agua al terrero aluvial existe en la provincia de Badajoz, y concretamente bajo Mérida, una gran reserva de agua subterránea. Por todo ello podemos deducir que a pesar de ser una región más bien seca en cuanto a precipitaciones se refiere, el aporte de humedad desde el terreno es considerable. Las radiaciones solares son especialmente intensas en esta zona, lo que, unido a la humedad natural del terreno, provoca frecuentes efectos de condensación del agua, o rocío, en la superficie de los elementos expuestos.

La humedad, ya sea procedente del medio ambiente, de la lluvia o por ascensión capilaridad, supone uno de los más graves problemas para el conjunto del Teatro, y es origen de multitud de patologías.

En el perímetro exterior del graderío el deterioro del granito por efecto de la humedad de ascensión capilar es notable, se puede observar que en la

primera hilada de la base de cimentación los sillares tienen los bordes redondeados y presentan un tono algo más oscuro que el resto (Figura 1), esto se debe al ascenso de la humedad del terreno, al tratarse de piedras poco porosas asciende por los huecos de las juntas generando este efecto de degradación y redondeamiento (García de Miguel; 2009). El ennegrecimiento superficial de gran parte de los sillares de este perímetro exterior coincide con zonas de escorrentías, debido al aporte pluvial fundamentalmente (Figura 2). Además, la erosión va borrando el acabado almohadillado de dichos sillares.

En las galerías que recorren el graderío internamente el mayor problema es la humedad derivada del agua de filtración, procedente del agua de lluvia acumulada en la parte externa del graderío superior. El agua se infiltra por las juntas entre sillares, formando escorrentías, y consecuentemente la formación de pátinas biogénicas (algas y musgos) sobre los sillares de granito (Figura 3).



1. Efecto de redondeamiento en los sillares de granito del paramento exterior del graderío.



2. Ennegrecimiento y erosión de los sillares almohadillados de granito del perímetro exterior.

La orchestra está pavimentada con losas de roca caliza, que imitan mármol, aunque con propiedades menos resistentes al deterioro que éste último. En los meses de invierno, con picos de lluvia abundante, esta zona se inunda formando una piscina (Figura 4), lo que evidencia un deficiente drenaje del terreno en este punto. Esto puede deberse a cambios en la fase de post-excavación, bien en las propiedades del terreno, bien por la urbanización del entorno que afectó al drenaje original.

La humedad es también el factor ambiental de mayor degradación en el frente de escena. El agua de lluvia incide directamente sobre el material generando abundantes escorrentías en numerosos puntos de la fachada y muro de mampostería. El agua se acumula en los elementos sobresalientes horizontales, por ello las marcas que generan dichas escorrentías

son especialmente visibles en las cornisas de mármol blanco y zonas laterales (Figuras 5 y 6).

El efecto del agua de lluvia se manifiesta también en la disolución y erosión de otros elementos horizontales ornamentales salientes como las cornisas del frente escénico, donde se aprecia una notable erosión de los bordes. En la intervención de 1996 se instalaron goterones en el entablamento superior, pero se han deteriorado perdiendo su función original, sin embargo no se instalaron en las cornisas del orden inferior, agravando este efecto (Figura 6).

La ascensión capilar de agua del terreno se filtra entre las juntas de los sillares de granito que conforman el podio (Figura 7). A largo plazo podría dar lugar a ya visto efecto de redondeamiento de los bordes del sillar.



3. Galería de acceso al frente de escena, lateral este.



4. Inundación de la orchestra.

La presencia de agua favorece el transporte de las sales y su cristalización en la superficie (Figura 7). Por otra parte, la humedad favorece el proceso de oxidación de las grapas de hierro originales utilizadas para la fijación de las placas de mármol. En la figura 8 se pueden observar los daños que produce el hierro al oxidarse, proceso caracterizado por la corrosión laminar y formación de productos de corrosión que acaban rompiendo el material pétreo en forma de grietas y fracturas. En la intervención ejecutada por Agora S.L en 1996 se estabilizó, o ralentizó, el proceso de oxidación mediante la aplicación de taninos y resinas acrílicas protectoras sin embargo sus efectos fueron limitados.

- extrínsecas: *biodeterioro*

Animal: Como es habitual en todo centro urbano, se da una presencia de aves, especialmente dañinas

son las palomas, cuyas deposiciones generan suciedad y alteraciones de tipo químico debido a la reacción del ácido úrico con el material pétreo, pero también encontramos cigüeñas que han asentado sus nidos directamente sobre algunos restos arqueológicos de la ciudad, como el Acueducto de San Lázaro, con el consiguiente daño mecánico.

La presencia de insectos y arácnidos es especialmente notable en algunas áreas, como cornisas y pinturas murales, respectivamente, así como gatos, que dejan olor a orín varias zonas del recinto del Teatro.

Vegetal: La presencia de vegetación es continua, tanto en el entorno circundante a los monumentos como en las propias estructuras (Figura 8). El caso del recinto del Teatro romano es el más grave, por su continuo estado de exposición a la intemperie, si bien en la Casa del Mitreo, aunque cubierto por una



5. Escorrentías por agua de lluvia en las cornisas del basamento.



6. Marcas de escorrentías en las cornisas de mármol blanco, estas marcas son características de superficies tratadas con productos hidrofugantes (ICOMOS, 2008)

estructura protectora, también encontramos biodeterioro provocado por el crecimiento de vegetación. La humedad favorece el crecimiento de vegetación menor en zonas puntuales. La proliferación de musgos y líquenes es progresiva y generalizada, pero solo abundante en las zonas orientadas hacia el norte.

Microorganismos: Líquenes, musgos y algas son los microorganismos más extendidos. En los años noventa la colonización biológica del frente escénico era notable, y su eliminación fue uno de los principales objetivos de la intervención ejecutada en 1996 (VV.AA, 1996). Aunque se aplicó un compuesto biocida (sales cuaternarias de amonio), el efecto de estos productos es limitado en el tiempo y la progresiva colonización de las estructuras del frente de escena es un riesgo probable. Además, la suciedad y los excrementos de palomas motivan también el crecimiento de microorganismos, agravado en las zonas de umbría y recovecos resguardados del efecto lavado de lluvia (como en cornisas y capiteles). Encontramos algas de color pardo sobre la superficie de

los mármoles blancos de cornisas y capiteles (Figura 9). La presencia de microorganismos en la superficie marmórea se debe fundamentalmente a dos causas: por un lado el aporte de materia orgánica (excrementos de paloma), que proporcionan nitrógeno y fósforo; por otro la presencia de humedad retenida en fisuras, macroporos y recovecos.

- extrínsecas: *antrópicas*

Influencia de la fase de pre-excavación. Expolio: Los trabajos sistemáticos de excavación en el Teatro comienzan en 1910 dirigidos por José Ramón Mélida y Maximiliano Macías (Figura 10). Con anterioridad los restos arqueológicos, diseminados por toda la ciudad, habían sido objeto de un grave y continuo proceso de expolio de los materiales constructivos. Esta labor de expolio se puede apreciar en la summa cavea del teatro (Figuras 2 y 11), (lo que se había denominado hasta entonces las Siete Sillas) que fue despojada del revestimiento de sillares graníticos de forma continuada. Éstos fueron reaprovechados

47



6 bis. Filtraciones de agua entre las juntas del basamento



7. Eflorescencias salinas en diversos puntos del basamento del frente escénico

en otros edificios de la ciudad, dejando el núcleo de hormigón romano al aire en toda la zona que había permanecido al descubierto.

Esta falta de uniformidad, por exposición diferencial, en las condiciones de conservación del área al aire con respecto a la enterrada se manifiesta mostrando una desigualdad notable en el estado de conservación de cada una; las partes que han permanecido al aire son más frágiles y el material más deleznable, y muestran una pátina superficial oscurecida por la acción continua de los agentes naturales.

Como ya se ha mencionado, la excavación arqueológica supone un cambio traumático para el material tras un largo periodo de enterramiento, pasando del equilibrio del medio subterráneo a la inestabilidad del medio aéreo. En este sentido yacimientos, como la Casa Basílica, en el recinto del Teatro, o la Casa del Mitreo, excavada en los años sesenta del siglo XX, cuentan con elementos especialmente frágiles con respecto, tanto al proceso de excavación como a la exposición al medio aéreo, como son las

numerosas pinturas murales y mosaicos.

Uso y turismo: Entre los agentes de deterioro actualmente más dañinos, y con consecuencias más graves, está la acción antrópica, directa o indirecta, causadas por los nuevos usos y funciones de las estructuras arqueológicas.

Esto es especialmente evidente en el caso del Teatro romano, donde se celebra anualmente el Festival de Teatro Clásico, el que cada año se realizan diversas actuaciones para un aforo de, aproximadamente, 3000 personas. No solo el tránsito de los espectadores -en el caso de la grada superior el público se sienta directamente sobre los restos originales de opus caementicium (el resto del graderío, cuenta con reposición de piedra artificial, estructuras de fibra de vidrio y poliestireno o instalaciones temporales de sillas o gradas de madera), causando serios procesos de degradación-, además las instalaciones de los equipos de luces y sonido, o el impacto acústico de los conciertos que tienen lugar en el teatro du-



8. Plantas menores crecen entre las grietas y huecos en los que se acumula la suciedad y la humedad



9. Microorganismos sobre la superficie del mármol

rante el mismo festival, son fuente de graves lesiones de tipo mecánico. El peso de estos equipos genera fuertes tensiones y presiones en las estructuras romanas. Los focos son fuente de calor intenso puntual generando procesos continuos y extremos de fluctuación de la temperatura y con ello de contracción y dilatación del material, con las consecuentes tensiones mecánicas. También gran parte de los materiales y productos de restauración se degradan rápidamente bajo estos focos de luz, como las resinas sintéticas.

Por otra parte los turistas se sientan frecuentemente a descansar, o se apoyan, sobre los mármoles del zócalo, cornisas de mármol blanco y placas de revestimiento de mármol rosado, éste último especialmente degradado. Aunque los empleados de mantenimiento del Consorcio de Mérida, trabajan para limitar este tipo de acciones.

Este problema no afecta al área de la Casa del Mitreo, que cuenta con una pasarela elevada para el recorrido turístico, conservando los restos fuera del contacto directo con los visitantes.

Intervenciones de restauración: Las intervenciones

de restauración han sido muchas y muy variadas, centradas inicialmente en los conjuntos más monumentales y con metodologías propias de la reconstrucción arquitectónica, muy agresivas para el caso particular del material arqueológico. Además se han ido superponiendo diversos tratamientos sobre un material ya de por sí frágil, este caso es evidente en la Casa del Mitreo, donde las pinturas murales y mosaicos, así como las estructuras, han sido objeto de continuas intervenciones, incluyendo un proyecto de desrestauración para eliminar elementos dañinos de las restauraciones de los años sesenta y setenta.

Con respecto al Teatro, que incluye el área del Peristilo y la Casa Basílica, ha sido objeto de numerosas y continuas intervenciones desde las obras de reconstrucción del frente escénico y graderío iniciadas en los años 20 (Figura 10) y finalizadas en los años setenta, hasta la actualidad. Las primeras intervenciones se centran, como hemos mencionado, en la reconstrucción arquitectónica, caracterizadas por el uso de cemento y hormigón armado, o grapas metálicas para la fijación de fragmentos pétreos (Menéndez Pidal, 1968, 1973).

Las contraindicaciones en el uso del cemento en general, y del hormigón armado en particular, fueron



10. Obras de restauración en el primer orden del Teatro (Fuente: Archivo Loty – 07600 del IPCE)



11. Imagen de las Siete Sillas antes de las excavaciones iniciadas en 1910 (Imagen: Barroso Martínez et. al., 1998)

visibles tempranamente tras la generalización de su uso en procesos de anatilis a partir de los años 30. Ello no impidió que siguiese utilizándose, ya no solo para la consolidación estructural, también en otros tratamientos más propios de la restauración arqueológica, como soporte de mosaicos, protección de coronaciones de muros o consolidación de bordes en revestimiento de paramentos. Las propiedades de resistencia y durabilidad propias del cemento portland han motivado que haya sido durante años el aglomerante por excelencia para restauración, sobrelvalorándose en detrimento de los aglomerantes tradicionales (cal, yeso o arcilla).

El gran problema derivado del uso del cemento, como material de restauración, es la gran diferencia que existe entre sus propiedades físico-químicas y las de los morteros tradicionales presentes en la obra (Almagro Gorbea, 1992):

Su indudable mayor resistencia hace que sea un material acentuadamente más rígido que el material sobre el que se asienta, esta diferencia de elasticidad crea una zona de grandes tensiones entre ambos materiales que desencadena la separación y rotura, así como la disgregación del mortero tradicional (Fig. 12).

La diferencia en el coeficiente de dilatación térmica entre cemento y piedra o ladrillo puede ser del orden del doble, el fraguado del cemento es exotérmico, con un elevado desprendimiento de calor. Las diferencias de temperatura se traducen en fuertes tensiones internas que pueden generar fisuras y grietas, que además del daño mecánico, permitirán el acceso de humedad hacia el interior.

Entre las propiedades del cemento esta también su elevada densidad y alta conductividad térmica, que favorecen la condensación de humedades en su interior. A ello hay que añadirle su escasa permeabilidad al vapor de agua. Este caso es especialmente apreciable en la sala del Tablinum, en Casa Basílica. Se han dado graves problemas de humedades procedentes del terreno, agravados por la impermeabilidad del cemento con el que se consolidó el mosaico en los años 70, y que impedía la transpiración, generando la desviación del agua hacia los muros laterales y degradando gravemente el zócalo y las pinturas murales (Figura 13). Para evitar mayor deterioro en 2011 se ha recurrido a una solución provisional eliminando el soporte hormigón, consolidando los bordes del mosaico con un mortero sintético y cubriendo



12. Daños provocados por la aplicación de morteros de cemento sobre las columnas graníticas del peristilo en Casa del Mitreo



13. Daños en el zócalo de la habitación del tablinum, Casa Basílica, por el desvío de humedad hacia los muros laterales



14. Degradación del mortero que revistía el falso plinto del segundo orden

las lagunas con gravilla lavada, lo que permite la respiración del mosaico.

Además de los daños físicos, la composición química del cemento es mucho menos estable, contiene iones libres y sales solubles que migran hacia el interior del sistema poroso de la fábrica, cristalizando allá donde desemboquen. Se han localizado en el basamento del frente de escena sales procedentes de la degradación de los morteros de revestimiento del plinto del segundo orden que se transportaban hacia las zonas bajas por medio de escorrentías (Figuras 7 y 14).

Los anclajes, llaves o grapas de hierro sufren el mismo proceso de degradación por corrosión por el contacto con la humedad y que supone la creación de nuevos productos sobre la superficie del elemento que provocan su aumento de tamaño y dilatación, con ello lesiones mecánicas; grietas, fisuras y rotura, además de manchas de óxidos y otros compuestos derivados de la corrosión. El uso de grapas de hierro ha derivado en numerosas fracturas, e incluso des-

prendimiento de fragmentos, en las cornisas, molduras y capiteles (Figura 15).

Además, las resinas epoxídicas utilizadas para la adhesión de fragmentos marmóreos del entablamento y columnata han perdido sus propiedades por el efecto de envejecimiento, causado principalmente por la acción de las radiaciones solares y el consecuente efecto de foto-oxidación (Melo et al., 1999) (se han documentado en los últimos años desprendimientos de fragmentos marmóreos) (Figura 16).

- causas intrínsecas

Características de los materiales constructivos: la arquitectura pública de Augusta Emerita, la más abundante y monumental, incluye, dos puentes, teatro, anfiteatro, circo, varios acueductos, el Templo de Diana, etc. Es una arquitectura constituida por materiales comunes, primordialmente granito, pero también diorita y cuarcita (Pizzo; 2010). También la arquitectura doméstica hace uso de estos materiales, así como ladrillo. El segundo material más abundante en la arquitectura emeritense es el mármol, como

Recientemente (Junio de 2014) se han eliminados estos morteros y han sido sustituidos por un revestimiento nuevo con mortero de cal.



15. Fracturas en cornisas del orden superior por efecto de la oxidación de las grapas de hierro utilizadas como sistema de fijación al plinto.

16. Fragmento de mármol desprendido de un capitel del segundo orden en el frente de escena.

material estructural, en revestimientos y elementos ornamentales, así como esculturas.

El granito es una roca ígnea cristalina rica en sílice, lo que le confiere un carácter predominantemente ácido, mientras que el terreno, como hemos mencionado, es rico en bases. Su resistencia mecánica y baja alterabilidad se debe en gran medida a su textura, compactación de sus granos, y reducida porosidad (porosidad de tipo fisural).

Es un material excepcionalmente abundante en el entorno de Mérida, donde se han documentado numerosas canteras a una distancia media no superior a 12 km (Pizzo; 2007).

El tipo de granito predominante es de tono grisáceo, grano medio a grueso con inclusiones de megacrístales de feldespato potásico. La roca está alterada desde la explotación debido a la oxidación de la biotita y tinciones de tono ocre y rojizo en los feldespatos. Esta oxidación puede haberse producido también por efecto de humedad de filtración del terreno en la fase de enterramiento. Sin embargo esta tinción no disminuye sus cualidades.

Los aparejos son mayoritariamente de opus quadratum con sillaría de granito colocada en seco sobre un núcleo de opus caementicium (con inclusiones de fragmentos de diorita), así como opus mixtum (sillaría de granito y ladrillo). Para asegurar la estabilidad de los bloques era común el empleo de grapas (cuando se trata de unión de sillares de una misma hilada horizontal) y clavijas o espigas (cuando se trata de hileras superpuestas) generalmente de hierro, bronce o plomo (Duran; 1990). Se han encontrado restos de estas grapas y las mortajas aún visibles en el Teatro. Los metales se alteran especialmente durante la fase de enterramiento y posterior excavación por lo que apenas se han conservado algunos pocos de estos elementos de fijación.

El aporte continuo de humedad provoca la hidrólisis de los feldespatos del granito (los compuestos más frágiles del granito, por donde suele iniciarse el proceso de degradación), convirtiéndolos en minerales de arcillas y provocando la disgregación granular del material al quedar liberados los granos de cuarzo y mica. La descomposición de los feldespatos se intensifica en medios ácidos y contaminados, factores que se dan en Mérida, si bien con intensidad baja.

Algunos de los sillares de granito sufren la exfoliación de las capas superficiales como se aprecia en la Figura 17a, este tipo de deterioro se asocia a la anisotropía propia del material (en relación con el proceso de formación geológica) (Freire-Lista; 2015), a su orientación en obra y al ascenso de humedad capilar. Otros, sufren procesos graves de erosión superficial (Figura 17b) y de arenización en algunos sillares, esto último muy evidente también en el caso del vecino Anfiteatro.

En lo que respecta a la arquitectura doméstica, dadas las características de resistencia y durabilidad del granito, pero también a las condiciones más humildes y el pragmatismo de estas construcciones, se documenta su uso en las zonas tradicionalmente más expuesta del edificio, como esquinas o portadas, así como en la pavimentación (por su elevada resistencia a la abrasión) y zócalos (por su baja porosidad). Mientras los alzados suelen utilizar el ladrillo y el hormigón.

Como en el caso anterior la proximidad de zonas de explotación de mármol condiciona su uso. La provincia lusitana contaba con una de las zonas de mayor riqueza de mármol de toda la Península, conocida como la Ossa Morena con numerosas canteras de gran calidad que incluso exportaban a otras regiones del Mediterráneo. Entre estas canteras destacan las del anticlinal de Estremoz donde se encuentran aún

hoy diferentes variedades cromáticas de mármol (Fusco, Mañas; 2006), desde los tonos rosados del zócalo hasta los grises utilizados en las columnas de los órdenes del frente escénico del Teatro, donde se da una gran variedad de tipologías procedentes de diversas canteras de la provincia. Son mármoles de origen dolomítico de grano medio y fino (Mañas; 2012).

El mármol es una roca de origen metamórfico compuesto mayoritariamente por carbonato cálcico cristalizado. Como el granito, es una piedra resistente y poco porosa (porosidad laminar similar al granito), es decir, poco alterable. Sin embargo su composición hace que sean más sensibles al ataque ácido, como el de la lluvia ácida y los consecuentes mecanismos de disolución cárstica. El primer indicador de los efectos de la disolución cárstica es la pérdida de brillo de las superficies pulidas, volviéndose progresivamente mates. Esta alteración ha sido documentada y analizada en los mármoles del teatro romano, (García de Miguel; 2009) y es especialmente visible en los fustes de la columnata.

Los diferentes agentes de deterioro vistos (especialmente agua y excrecencias de palomas) afectan

de manera desigual a los tres tipos de mármol documentados en el frente escénico, por lo que se deduce que son factores intrínsecos a cada tipo los que condicionan los diversos procesos. A continuación se detallan los indicadores del deterioro para cada uno de ellos:

- **Mármol blanco:** los tonos crema son los más utilizados para la decoración del frente, pudiéndose encontrar en arquivoltas y cornisas del entablamento así como capiteles y basas de la columnata. Es una piedra muy compacta, homogénea (con pocas impurezas) y poco porosa.

Los indicadores de alteración más comunes en esta variedad son la disgregación granular (Figura 18), localizado principalmente en las zonas más salientes de cornisas, y por lo tanto, en las zonas más expuestas.

- **Mármol gris:** esta variedad aparece en la zona sur del anticlinal y se caracteriza por su tono gris con bandeados en tonos blancos, y viceversa. Las encontramos en todas las columnas del frente escénico, así como en las placas de revestimiento que cubren el podio. La degradación en las placas de revestimiento



17a. 17b. Vano de acceso a las galerías en la versura oriental, deplacación frontal de los sillares de granito y erosión de las zonas más expuestas.



18. Cornisa de mármol blanco en el podio del frente escénico, degradación por disgregación granular.

se da en forma de exfoliación de las capas más superficiales (Figura 19), causada por una elevada esquistosidad con origen en el proceso de metamorfismo de enterramiento que dio origen a la formación rocosa, y, al igual que en los granito de la Figura 17, también está relacionado su orientación en obra en combinación con el ascenso de humedad capilar.

Las columnas del orden superior son las más afectadas por la desprotección de esta zona, en algunos casos las inclusiones de compuestos de hierro se han oxidado dejando marcas de color rojizo y un aspecto costroso del área de la veta (Figura 20).

- **Mármol rosa:** procede de las canteras de Alconera. Se trata realmente de una caliza con aspecto marmóreo, de color rosado y violáceo con vetado blanco. Hoy día se encuentra como revestimiento en el zócalo del frente escénico, conservándose la mayor parte de las placas de recorrido en planta.

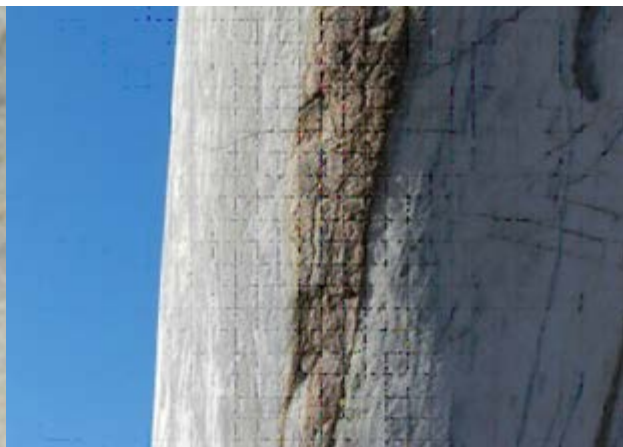
Esta piedra se ve afectada por exfoliación laminar (Figura 21), probablemente causada por la combinación de los factores anteriormente mencionados, a saber, la anisotropía del material, su orientación en obra y la humedad de ascensión capilar.

El aparejo de ladrillo, opus testaceum, tiene, también, un papel destacado en la arquitectura de Augusta Emerita. El ladrillo manifiesta los procesos de alteración característicos del material cerámico, condicionado por su elevada porosidad y variable resistencia según la composición y proceso de fabricación/cocción. Es especialmente sensible al ataque por sales (procedentes del terreno, del aire o de los diferentes materiales constructivos) y a las heladas. El periodo de enterramiento es también muy dañino para el material cerámico, se ha podido modificar la composición original del ladrillo y desencadenarse procesos de corrosión, disolución o formación de nódulos de compuestos secundarios (manganeso, por ejemplo) derivados de la infiltración de agua del terreno (Fort et. al.; 2012). De forma general el material cerámico procedente de contexto arqueológico suele aparece, tras la excavación, con gruesas costras de carbonatos de difícil eliminación.

Otros muros de ladrillo sufren una degradación característica derivada del uso de morteros de junta excesivamente rígidos e impermeables, lo que provoca la deplacación del frontal del módulo de ladrillo (Figura 22). La humedad de ascensión capilar no encuen-



19. Exfoliación superficial en las placas de revestimiento marmóreo del podio en el frente escénico.



20. Degradación de las marcas de vetado.

tra más salida que por la zona frontal del ladrillo, ya que el mortero no permite la transpiración vertical. En este caso se trataría de una alteración causada en origen, durante la fase de construcción.

4. CONCLUSIONES

La excavación arqueológica desencadena multitud de procesos de degradación condicionados tanto por las condiciones de la fase anterior como por las características geográficas y ambientales del entorno. Esta desigualdad en las condiciones de conservación se manifiesta mostrando una diferencia notable en el estado de los materiales pétreos. Las partes que han permanecido al aire más tiempo son más delezna- bles y muestran una pátina superficial oscurecida por la acción continua de los agentes naturales.

Hay que destacar la gran cantidad de factores que influyen sobre los yacimientos arqueológicos, siendo su conservación una tarea compleja, que requiere de estudios multidisciplinares y continuidad. En este

sentido, una labor continua de mantenimiento pre- viene el desarrollo de algunas alteraciones, y por lo tanto, evita la ejecución de acciones más interven- cionistas, como la aplicación de tratamientos, no siempre adecuados.

La humedad y el crecimiento biológico son espe- cialmente problemáticos en el caso de los yacimien- tos arqueológicos excavados y en condiciones de in- temperismo (la situación más habitual). Sin embargo hay que tener siempre en cuenta la naturaleza de los materiales, es decir, los factores intrínsecos, lo que demanda un mayor esfuerzo técnico, al requerir di- versos análisis para la caracterización petrofísica del material. Existen en la actualidad multitud de técni- cas portátiles y no destructivas que permiten la re- realización de ensayos in situ sin recogida de muestra, un avance que ayuda notablemente en el periodo de examen y diagnóstico.

Entre las alteraciones de origen antrópico destacan las alteraciones derivadas del uso del cemento Port- land y anclajes de hierro, pero también es necesaria



21. Exfoliación laminar del mármol rosa, situado únicamente en los zócalos del podio



22. Muro norte de ladrillo en la versura oriental, deplacación frontal de los módulos de ladrillo causado por la incompatibilidad con el mortero original de junta.

una reflexión sobre el uso moderno que se le da a estas estructuras, teniendo en cuenta que, cuando se trata de patrimonio arqueológico, debe prevalecer también su valor documental, además del artístico-cultural.

Es interesante analizar los cambios en el entorno de los conjuntos analizados, entre la fase pre-excavación y la post-excavación, que han dado lugar a un contexto distinto al original en el que los factores de degradación se han transformado.

A modo de conclusión se puede afirmar que, si bien el conjunto arqueológico de Mérida, por su extensión y variedad cada yacimiento presenta un estado de conservación propio, se da cierta homogeneidad en el estado de conservación general de los distintos bienes. La conservación de los materiales es buena en términos generales, y uno de los mayores agentes de deterioro actualmente es la acción antrópica, directa o indirecta. Las intervenciones de conservación y restauración han sido continuas y numerosas, realizadas en ocasiones con metodologías agresivas propias de la construcción arquitectónica más que de la restauración arqueológica.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación está siendo financiada por el Programa PICATA de CEI Campus Moncloa, así como a los programas GEOMATERIALES (S2009-MAT1629) y GEOMATERIALES 2 (S2013/MIT-2914) financiados por la Comunidad de Madrid y Fondos Estructurales (FSE y FEDER), y coordinados por el Instituto de Geociencias (CSIC, UCM); y al grupo de investigación "Análisis e Intervención sobre Patrimonio Arquitectónico" (AIPA) (ETSAM) de la UPM, así como al grupo de investigación de la Universidad Complutense de Madrid "Alteración y conservación de materiales pétreos del patrimonio" (ref. 921349).

Agradecimientos especiales a todo el personal del Consorcio Ciudad Monumental de Mérida, especialmente a María Paz Pérez Chivite, Pedro Dámaso Sánchez Barrero y a su director Miguel Alba. Así mismo agradecemos al Museo Nacional de Arte Romano de Mérida su colaboración, en especial al departamento de conservación y restauración. Gracias finalmente a Juan Aguilar de Ágora S.L.

Bibliografía

- A.A.V.V. (1986), *La conservazione sullo scavo archeologico: con particolare inferimento all'area di conservazione archeologica*, ed. Centro di Conservazione Archeologica, Roma.
- Alcalde Moreno, M.; Villegas, R. (1996) "Guía para el estudio de la alteración de la piedra de los monumentos y de medidas de conservación". PH Boletín15, IAPH, pp. 62-67
- Almagro Gorbea, A., (1992), "Los aglomerantes tradicionales en restauración", *Técnicas tradicionales de construcción y patrimonio*, Actas de las primeras jornadas, Zaragoza, pp 11-30.
- Alonso, J., Esbert, R. M^a, Ordaz, J. y Vázquez, P., (2006), "Análisis del deterioro en los materiales pétreos de edificación", *ReCoPaR*, revista electronica No. 3, Septiembre.

- Barroso Martínez, Y. y Morgado Portero, F. (1998) Desde las siete sillas... La recuperación del Teatro Romano de Mérida. Mérida: Consorcio de la Ciudad Monumental, Histórico-Artística y Arqueológica de Mérida.
- Barrio Martín, J. (2012) “Nuevos enfoques y criterios de restauración y conservación del patrimonio arqueológico”, en Colección Cuadernos solidarios 9 Universidad, Género y Desarrollo Ensayos en torno al patrimonio cultural y desarrollo sostenible en Chile y en España. Juan Blánquez, Sebastián Celestino y Lourdes Roldán (UAM-CSIC, España) Patricio Bernedo y Olaya Sanfuentes (PUC, Chile)(Coords.). UAM Ediciones.
- Carrera Ramírez, F. (2010), “Conservación de materiales arqueológicos pétreos”, Actas de los XX Cursos Monográficos sobre el Patrimonio Histórico (Reinosa, julio 2009), Universidad de Cantabria, pp. 135-158.
- Charola, E. A.; McNamara, Ch.; Koestler, R. J. (2011), Biocolonization of Stone: Control and Preventive Methods: Proceedings from the MCI Workshop Series. Smithsonian Contributions to Museum Conservation, no. 2. URL: <https://repository.si.edu/handle/10088/16617>
- Cirujano Gutiérrez, C y Laborde Marqueze, A. (2001) “La conservación arqueológica”. Revista Arbor CLXIX, Julio-Agosto, pp 691-709.
- Doehne, E. y Price, C.A., (2010), The Stone Conservation. An Overview of Current Research, Second Edition, Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Durán Cabello, R. (1990) “Sobre el opus quadratum del teatro romano de Mérida y las grapas de sujeción”. CuPAUAM. 17-1990, pp. 91-120
- Fusco, A.; Mañas, I. (2006) Mámoles de Lusitania. Catálogo de la exposición. Museo Nacional de Arte Romano-Caja San Fernando.
- García de Miguel, J.M. (2009) Tratamiento y conservación de la piedra, el ladrillo y los morteros: En monumentos y construcciones. Ed. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, 686 p.
- Mañas, I. (2012) “Marmora de las canteras de Estremoz, Alconera y Sintra: su uso y difusión”. En El marmor en Hispania: explotación, uso y difusión en época romana. Virginia García-Entero (Edición científica), UNED.
- Melo, M.J., Bracci, S., Camati, M., Chiantore, O. y Piacenti, F., (1999) “Photodegradation of acrylic resins used in the conservation of stone”, Polymer Degradation and Stability, vol. 66, No. 1, pp. 23-30.
- Menéndez-Pidal, J. (1968) Proyecto de obras de conservación en el Teatro romano de Mérida (Badajoz). Archivo del IPCE, SIGNATURA: PI 0718.06

Menéndez-Pidal, J. (1973) Proyecto de obras de conservación en el Teatro romano de Mérida (Badajoz). Archivo del IPCE, SIGNATURA: PI 0722.02

Mingarro, F. (2000), "Procesos de degradación de la piedra en el Patrimonio Histórico". Patrimonio Histórico de Castilla y León, Año I, Número 2 (Julio-Agosto-Septiembre), Fundación del Patrimonio Histórico de Castilla y León.

Fort, R. y Pérez-Monserrat, E. (2012) La Conservación de los geomateriales utilizados en el patrimonio. Programa Geomateriales, Instituto de Geociencias (CSIC-UCM).

Freire-Lista, D., Fort, R. Varas-Muriel, M.J. (2015) "Freeze-thaw fracturing in building granites". Cold Regions Science and Technology 113 40-51

Pizzo, A. (2007) "El aprovisionamiento de los materiales constructivos en la arquitectura de Augusta Emerita. Las canteras de granito". En Los procesos constructivos en el mundo romano: Italia y provincias orientales: (Certosa di Pontignano, Siena, 13-15 de noviembre de 2008) / coord. por Stefano Camporeale, Hélène Dessales, Antonio Pizzo, pp. 571-588. ISBN 978-84-00-09279-5

Pizzo, A. (2010) Las técnicas constructivas de la arquitectura pública de Augusta Emerita. Anejos de Archivo Español de Arqueología LVI, Mérida.

58

Porto Tenreiro, Y. (2000) "Medidas Urgentes de Conservación en Intervenciones Arqueológicas". CAPA 13. Criterios e Convencións en Arqueoloxía da Paisaxe. Ed. Universidad de Santiago de Compostela. URI: <http://hdl.handle.net/10261/5632>. ISBN: 84-699-3845-2

Smith, B.J., Gómez-Heras, M. y Mc Cabe, S. (2008) "Understanding the decay of stone-built cultural heritage", Progress in Physical Geography 32(4), pp. 439-461.

Vergès-Belmin, V. (Coord.) ICOMOS-ISCS. (2008, 2010) Illustrated glossary on stone deterioration patterns / Glossaire illustré sur les formes d'altération de la pierre.

VV.AA (1996) Teatro Romano. Proyecto de intervención en el escenario. Mérida. Consejería de Cultura, Junta de Extremadura.