

TEMA 4

**ALTERACIONES ESPECÍFICAS
DE LA ESCULTURA EN PIEDRA**

Asignatura: Metodología de Conservación y Restauración de Escultura I
(materiales pétreos)

Curso: 2018-2019

Grado: Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural

Departamento: Pintura y Conservación-Restauración

Facultad: Bellas Artes

Universidad Complutense de Madrid

ÍNDICE

Introducción

1. Alteraciones de tipo físico
 - 1.1. Factores térmicos
 - 1.2. Factores hídricos
 - 1.3. Acción del hielo
 - 1.4. Acción del viento
 - 1.5. Factores biológicos
 - 1.6. Cristalización e hidratación de las sales
 - 1.7. Otros factores de tipo físico
2. Alteraciones de tipo químico
 - 2.1. Disolución
 - 2.2. Hidratación
 - 2.3. Hidrólisis
 - 2.4. Oxidación y reducción
 - 2.5. Contaminación atmosférica
3. Alteraciones de tipo biológico
 - 3.1. Acción animal
 - 3.2. Bacterias
 - 3.3. Algas
 - 3.4. Hongos
 - 3.5. Líquenes
 - 3.6. Musgos
 - 3.7. Plantas superiores
4. Bibliografía

INTRODUCCIÓN

La **alteración** puede definirse como el conjunto de procesos de índole físico, químico, físico-químico, biológico,..., frecuentemente simultáneos, que actuando sobre las rocas tienden a establecer el equilibrio entre los integrantes de ésta y el medio ambiente en que se encuentran.

En términos generales, los efectos de la alteración de las rocas deberían ser poco perceptibles por la lentitud con que se suceden; no obstante, y como consecuencia del progresivo incremento en el empleo de combustibles fósiles y la consecuente liberación de contaminantes atmosféricos, la degradación de las rocas, sobre todo en ambientes urbanos e industrializados, ha evolucionado en el último siglo de forma evidente.

Aunque en la práctica es casi imposible aislar un agente como único responsable de la destrucción de la piedra, los principales **factores de alteración** pueden dividirse para su estudio en dos grandes grupos:

- Factores intrínsecos: inherentes a la propia roca.
- Factores extrínsecos: derivados de fuentes externas.

Factores intrínsecos

▪ La **composición mineralógica y química** de una roca determinará su futura alteración, pues la mayoría de los minerales no son estables en las condiciones medioambientales del monumento por encontrarse alejados de las condiciones de presión, temperatura, PH,... en que fueron formados. Estos minerales tenderán a alcanzar formas más estables a través de diferentes mecanismos, especialmente en presencia de agua: hidrólisis, disolución, hidratación, etc.

Las rocas con componentes férricos pueden experimentar fenómenos de oxidación; y las que tienen en su composición minerales muy diferentes, como por ejemplo el granito, pueden sufrir anisotropías dilatométricas.

▪ **Propiedades físicas.** Dentro del conjunto de las propiedades físicas hay que señalar: la resistencia a la compresión, flexión, tracción,... así como la dilatación volumétrica, hinchamiento por absorción de agua, etc.

▪ **Propiedades petrográficas:** tamaño de grano, tipo y grado de cementación, compacidad, estratificación, estructura y defectos cristalinos.

▪ Otro factor importante es la **porosidad**, que es un factor intrínseco de gran incidencia en todos los procesos de alteración donde interviene el agua, pues ésta discurrirá con mayor o menor facilidad según sea más o menos porosa la piedra.

Factores extrínsecos

Son los factores ambientales asociados al medio ambiente que rodea al monumento. Pueden ser de origen tanto natural como antropogénico.

▪ **Factores naturales:** son los factores de tipo térmico, hídrico, eólico, contaminantes naturales, que pueden ejercer sobre la roca una acción de tipo física o química.

▪ **Factores antropogénicos:** son los causados por la actividad humana, y en ellos se incluyen los contaminantes atmosféricos provenientes de la industrialización.

Como anteriormente hemos indicado, es muy difícil aislar el agente responsable de la degradación de la piedra, por lo tanto, y para mayor comprensión de las alteraciones, las vamos a dividir en:

- Alteraciones de tipo físico.
- Alteraciones de tipo químico.
- Alteraciones de tipo biológico.

1. ALTERACIONES DE TIPO FÍSICO

Los factores de tipo físico fundamentales son los producidos por los cambios de temperatura, la acción del hielo y del viento, la composición de aire y los agentes biológicos (plantas y animales).

1.1. Factores térmicos

Su acción depende de la magnitud y frecuencia de las oscilaciones térmicas debidas a las radiaciones solares. Las oscilaciones térmicas más acusadas -cambios diurnos a nocturnos que pueden variar de 60 a 70°C- pueden ejercer un importante efecto sobre rocas cuyos minerales integrantes presentan diferentes coeficientes de dilatación térmica. En este sentido, el cuarzo y la calcita, dos de los minerales petrográficos más importantes presentan comportamientos térmicos extremos:

El cuarzo es uno de los minerales con mayor coeficiente de dilatación volumétrica. Con incrementos de 40° C puede generar tensiones de hasta 540 Kg/cm². El mecanismo inverso genera una marcada contracción durante el enfriamiento que puede fisurar los granos si éste es demasiado brusco. Por ejemplo: el granito.

La calcita es uno de los mejores ejemplos de anisotropía dilatométrica, presentando dilataciones y contracciones en diferentes sentidos según el eje cristalográfico. El proceso puede generar marcados efectos en mármoles, como por ejemplo, la deformación plástica que puede aparecer sobre losas delgadas de este material.

Una roca constituida por minerales distintos en direcciones diferentes, al ser sometida a la acción de los rayos solares, experimenta un importante calentamiento, mientras que por la noche se enfría. La constante dilatación y contracción de la estructura cristalina de los minerales dará lugar a la “fatiga” o ruptura del material que se traducirá en procesos de fragmentación y disgregación.

1.2. Factores hídricos

Los factores hídricos, en estrecha relación con la porosidad, inciden indirectamente en la mayor parte de los mecanismos de alteración, tanto de tipo físico (heladas, presión de cristalización de las sales, hidratación, conductividad térmica,...) como en las reacciones químicas. En los minerales de tipo arcilloso, que pueden aparecer en areniscas y calizas, se pueden dar casos de expansión volumétrica, como consecuencia de la absorción hídrica.

Las posibles fuentes de humedad son de cuatro tipos:

- Higroscopicidad.
- Condensación.
- Capilaridad.
- Lluvia.
- Fuga.

Los procesos de alteración que produce el agua son los siguientes:

- Transporte de sustancias nocivas (sales, ácidos,...).
- Disolución de los componentes de la piedra.
- Hidratación de los componentes de la piedra.
- Transformación de los componentes de la piedra.
- Alteraciones cromáticas.
- Erosión de las superficies.
- Favorece el ataque biológico.
- Favorece el fenómeno de hidrólisis.

1.3. Acción del hielo

La transformación en hielo del agua contenida en los poros ejerce un notable efecto de ruptura que supera en muchos casos la resistencia a tracción de la roca. El paso de agua a hielo supone un aumento de volumen de aproximadamente el 9% y una expansión lineal del orden del 3%, por lo tanto, con este nuevo aumento, la roca sufrirá grandes tensiones en el sistema capilar con unas presiones que pueden alcanzar los 500 Kg./cm². Este fenómeno se refleja en las descamaciones superficiales de la piedra, debidas a tensiones diferenciales entre el estrato exterior (congelado) y los substratos (no congelados).

El hielo no sólo actúa en los poros, el agua introducida en grietas y fisuras, una vez congelada, da lugar al aumento de éstas, que en fases más avanzadas provocarán el desprendimiento de materia -“efecto de cuña”-.

Los efectos de la acción del hielo se manifiestan de distintas formas:

- Disgregación superficial generalizada, que suele ser más frecuente en los materiales cerámicos y pétreos de poros finos.
- Fisuras.
- Escamas y esfoliaciones.
- Ampollas, muy frecuente en piedras blandas.
- Alveolización, formación de pequeñas cavidades, generalmente profundas e interconectadas. Se produce en piedras de alta porosidad.
- Croclastia, rotura y exfoliación del material por efecto del hielo. Es el llamado efecto cuña, que produce roturas muy limpias haciendo desprender grandes trozos de roca.

1.4. Acción del viento

El viento ejerce una acción erosiva, al incidir constantemente sobre las rocas, pues transporta partículas de arena que producen abrasión sobre la piedra (“alveolización” de la roca).

También, favorece la penetración de la lluvia, y con ella, las sales solubles. Más tarde, la incidencia del viento provocará la evaporación del agua y las sales cristalizarán.

1.5. Factores biológicos

Derivados de la presencia de bacterias, algas, musgos, líquenes, plantas superiores y animales (especialmente palomas). Ejercen una acción físico- química, retienen la humedad, producen alteraciones cromáticas y, en el caso de las plantas superiores, su deterioro físico es notable, pues pueden llegar a producir grandes grietas como consecuencia del crecimiento de las raíces.

1.6. Cristalización e hidratación de las sales

Aunque el proceso de cristalización de las sales es un proceso físico-químico, las alteraciones que producen son, sobre todo, de tipo mecánico, por lo tanto incluiremos su estudio en el apartado 3. de este tema.

La cristalización de las sales afecta a las rocas, piedras de construcción, morteros, ladrillos, pinturas murales,... y todo tipo de materiales porosos empleados en la construcción de monumentos, siendo uno de los más frecuentes y efectivos agentes de deterioro.

Origen de las sales: Las sales pueden estar presentes en los propios materiales de construcción por su composición original o porque absorbieron agua del subsuelo. Aunque también se forman a partir de compuestos presentes en la atmósfera (tanto natural como contaminada), a partir de productos generados en procesos de metabolismo orgánico (subsuelo) y que ascienden por capilaridad y como subproductos de determinados materiales empleados en restauración.

La cristalización de las sales depende del tipo de porosidad de la piedra. Si ésta tiene un gran porcentaje de poros grandes, el crecimiento de los cristales frenará pronto, y al ser los poros grandes será más difícil que los cristales presionen contra las paredes de las oquedades. En cambio si la roca tiene mayor número de poros pequeños, los cristales crecerán llenando los poros mientras los capilares pequeños aporten agua.

Proceso: Las sales son transportadas en forma de soluciones acuosas diluidas que penetran y circulan a través del sistema poroso de los materiales, concentrándose y acumulándose cuando el agua se evapora y después, cristalizando en forma de: costras más o menos compactas en general de composición diferente al sustrato sobre el que se asientan (sales insolubles como el carbonato cálcico o calcín y el sulfato cálcico o yeso), eflorescencias o depósitos de pequeño grosor y en general debidos a sedimentación de partículas y/o

reacción superficial de la roca y criptoflorescencias o subflorescencias, crecimiento de cristales en el sistema poroso interno de la roca, generando tensiones internas con importantes efectos disruptivos -arenización de la roca-.

Los mecanismos de deterioro relacionados con la cristalización de las sales son muy complejos, estando fuertemente condicionados por las condiciones termohigrométricas del medio: las sales cristalizan cuando el agua se evapora y también cuando la humedad relativa del aire desciende.

Tipos de sales: Su naturaleza es muy variable.

- Sales insolubles: hidróxidos (Fe, Al, Mg), fosfatos.
- Sales poco solubles: sulfatos (Ca, Na, Mg, K), carbonatos (Ca, K)
- Sales solubles: silicatos, salen lentamente formando un velo blanco; nitratos (Na, K, Ca) forman, en general, espesas eflorescencias fácilmente eliminables; cloruros (Na, Mg, Ca) frecuentes en atmósferas marinas.

1.7. Otros factores de tipo físico

- Naturales: inundaciones, terremotos, erupciones volcánicas,...
- Antropogénicos: incendios, guerras, vibraciones por tráfico rodado,...
- Factores de uso. Ligados a la construcción, uso y mantenimiento del edificio. Son los relacionados con las técnicas de extracción en cantera, corte y talla¹, ejecución del edificio, mantenimiento del mismo, tratamientos de conservación inadecuados, etc.
- Factores de tensión. Son los relacionados con la función estructural de la piedra en el monumento o edificio, la distribución de las cargas y el peso de los elementos arquitectónicos. También puede haber cargas accidentales de muebles, objetos, nieve,... y cargas periódicas como las producidas por la lluvia, el viento, el granito, etc. Como consecuencia de los factores de tensión se pueden producir desplazamientos entre unos elementos y fisuras y grietas en otros.
- Factores de incompatibilidad. Interacciones físico-químicas entre diferentes materiales, dilataciones diferenciales, hinchamientos de espigas o vástagos metálicos,... causadas por diferentes coeficientes de expansión térmica entre materiales en contacto.

2. ALTERACIONES DE TIPO QUÍMICO

En estos mecanismos intervienen el aire y el agua, que juega un papel fundamental actuando directamente como solvente o en forma de soluciones ácidas originadas a partir de diversos contaminantes.

¹ La textura dejada por la herramienta puede condicionar su durabilidad futura.

2.1. Hidratación

La hidratación, desde el punto de vista físico, es la asunción de agua por parte de las moléculas de los minerales de la piedra, lo que comporta un aumento de volumen, con la consecuente pérdida de éste durante la deshidratación, lo que favorece la descohesión, pulverización y fisuración.

Desde el punto de vista químico, la hidratación es una destrucción del mineral por la presencia de agua y su posterior reorganización o neoformación en otro mineral: la anhidrita (sulfato cálcico sin agua) cristaliza al tomar dos moléculas de agua (hidratación) y se reorganiza en forma de yeso.

2.2. Disolución

La disolución es un caso especial o extremo de hidratación, cuando un componente, el agua, está en mucha mayor proporción que el otro, el sólido; al primero se le llama disolvente y al segundo soluto.

Cuando la acción del agua es prolongada, la piedra es disuelta con la presencia, además, del dióxido de carbono. La disolución afecta sobre todo a las rocas carbonatadas (calizas, dolomías y mármoles), aunque su proceso disolutivo es lento y está determinado por la resistencia de los minerales de la piedra.

La disolución de carbonatos es un caso especial, ya que la calcita es escasamente soluble en agua pura, pero se acelera el proceso de disolución en presencia de ácido carbónico (CO_2) el cual forma bicarbonato cálcico, muy soluble. El bicarbonato cálcico puede migrar o precipitar nuevamente en forma de calcita formando concreciones o costras superficiales de aspecto blanquecino.

2.3. Hidrólisis

La hidrólisis afecta a los silicatos complejos (feldespatos) y a los aluminosilicatos, - componentes de las rocas graníticas, de los ladrillos, cementos, etc.- los cuales se descomponen por acción del agua. En las primeras fases los diferentes minerales son atacados por soluciones ácidas y progresivamente son transformados en una sucesión de minerales secundarios (minerales de arcilla) en función del mineral original y de las condiciones ambientales. El resultado final es la “caolinización” de los feldespatos.

En una segunda fase, la microdivisión y la hidrólisis se intensifican por filtraciones de soluciones y, los minerales secundarios se destruyen, dejando sólo la mica blanca, el cuarzo y algo de feldespato alcalino (arenización de la roca). Para que se produzca esa transformación hacen falta altas temperaturas y abundancia de agua.

2.4. Oxidación y reducción

Los procesos de oxidación se dan, sobre todo, en rocas que contengan en su composición minerales de hierro. El hierro es oxidado por el oxígeno del aire en combinación con la humedad, dando lugar a óxido de hierro.

Los procesos de oxidación suelen implicar variaciones cromáticas y cambios volumétricos importantes. Son especialmente patentes cuando actúan sobre vástagos o anclajes de hierro introducidos en las rocas de construcción, donde fisuran y fracturan la roca. La oxidación supone una paulatina transformación de metal en mineral, dando lugar a la formación en la superficie metálica de óxidos e hidróxidos de hierro, que van acompañados de un aumento de volumen que suelen producir fracturación y desprendimientos en la roca.

2.5. Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica es el factor de alteración más destructivo, especialmente en medios urbanos o industrializados, aunque sin el agua como vehículo de penetración de los contaminantes en el sistema poroso, sus efectos serían mínimos.

El resultado de la contaminación puede ser tan ligero que apenas modifique la piedra, pero la acción de la contaminación atmosférica acumulada a lo largo del tiempo sobre la piedra es muy considerable.

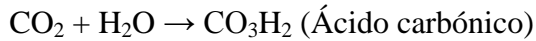
Los principales contaminantes atmosféricos son los gases y los aerosoles.

2.5.1. Gases

Como consecuencia de los procesos de combustión, son emitidos a la atmósfera una serie de productos contaminantes, en forma de gases. Los principales gases son el dióxido de carbono, los ácidos de azufre y los de nitrógeno.

- **CO₂**: El dióxido de carbono o anhídrido carbónico es un componente natural de la atmósfera, aunque cuantitativamente variable. Su concentración varía de las zonas no industrializadas (0,034%) a las industrializadas (0,27%). El origen es la mala combustión de combustibles fósiles como el carbón. Interviene en la formación del ácido carbónico, muy importante en los procesos de alteración de las rocas carbonatadas.

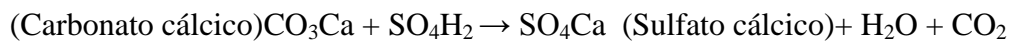
El proceso es el siguiente: al disolverse, en el agua de lluvia el CO₂ (muy soluble en agua) se transforma en ácido carbónico, que favorece la conversión del carbonato cálcico de la piedra en bicarbonato que, al ser soluble, puede migrar con la humedad por el interior de los poros (criptoflorescencias), o bien, quedarse en la superficie e irse lavando, poco a poco, con el agua de lluvia. La evaporación de agua de la solución formada, puede conducir a la recristalización del carbonato cálcico formándose una costra sobre la superficie, o recristalizar en el interior produciendo tensiones internas.



Su principal efecto tiene lugar sobre calizas y dolomías, en presencia de agua, al disolver los carbonatos cálcicos y magnésicos, constituyentes de dichas rocas.

• **SO₂ y SO₃**: Los óxidos de azufre son los responsables de la formación del ácido sulfúrico, uno de los más eficaces agentes de deterioro, actuando sobre rocas carbonatadas (calizas, dolomías, mármoles, areniscas con cemento calcáreo,...) y sobre los morteros de cal generando sulfato cálcico (sulfatación).

El origen del dióxido de azufre es, principalmente, la combustión del carbón y del petróleo. El azufre está presente en el carbón y el petróleo como impureza, así, durante los procesos de combustión es emitido a la atmósfera, en forma de SO₂. Posteriormente, el dióxido de azufre en suspensión, se mezcla con las gotas de lluvia y con la ayuda de agentes catalizadores (sales metálicas) y del agua se transforma en ácido sulfúrico. Cuando estas gotitas ácidas son depositadas sobre la superficie de la piedra, transforman el carbonato cálcico en sulfato cálcico (yeso). Esta es la llamada “lluvia ácida”.



La formación de yeso (sulfín) comporta un notable aumento de volumen, creando costras sulfatadas y favoreciendo la aparición de fisuras, descamaciones y deplacaciones al tener un coeficiente de dilatación térmica superior al de la piedra calcárea.

• **NO_x**: Los óxidos de nitrógeno proceden de los escapes de vehículos automotores, procesos de combustión de la industria de acero, petroquímicas, centrales termoeléctricas, fertilizantes nitrogenados, etc.

Los óxidos de nitrógeno son también importantes en el deterioro de materiales calizos, pues al descargarse en una atmósfera saturada de vapor de agua puede dar lugar a la formación de ácido nítrico, y consecuentemente de nitrato cálcico, que es fácilmente lavable por el agua de lluvia por lo que sólo en zonas protegidas quedarán eflorescencias.

Por otro lado el ácido nítrico es muy oxidante y decolorante, por lo que “limpia” las fachadas por disolución.

2.5.2. Aerosoles

A consecuencia de la exposición a las atmósferas industriales se depositan sobre la piedra sustancias sólidas –aerosoles- formando una costra porosa que condensa y retiene los gases y la humedad del aire.

Los aerosoles son partículas microscópicas que pueden tener diferente origen: polvo, sales de cloruro (de origen marino), metales, carbones,..., y que pueden actuar como catalizadores de otras reacciones. Se encuentran en suspensión en el aire, y, por acción de las corrientes térmicas y de aire, se depositan tanto en superficies verticales como horizontales. De esta manera se van configurando costras densas y compactas, constituyendo un elemento extraño que cierra los poros de las piedras, contribuyendo al aumento de salinidad y facilitando las reacciones químicas y físicas. La ubicación de este depósito se constata en zonas resguardadas de la lluvia, es decir, las que no sufren un “lavado meteorológico”.

Los depósitos alcanzan espesores y formas variables, que van desde la simple estratificación de polvo, a depósitos superficiales poco coherentes pero adheridos al soporte, y en su fase final, son incrustaciones homogéneas, muy compactas y fuertemente adheridas al sustrato pétreo.

La deposición de la costra sobre la superficie afecta a la piedra en dos fases:

1. Ataque superficial. La piedra se transforma regularmente, de fuera a dentro, formando una costra dura e impermeable de yeso mezclado con hollín y polvo. Sobre las piedras que no son muy porosas, esta costra puede adherirse fuertemente y resultar hasta cierto punto protectora, pues es resistente a los vapores industriales.

2. La segunda fase se caracteriza por la rotura de la costra, debido a la infiltración de soluciones salinas en el interior de la piedra. La superficie se vuelve pulverulenta y la costra se deforma y termina desprendiéndose dejando al descubierto el interior, sensible y erosionable por la lluvia y el viento. La piedra queda entonces en un estado sumamente vulnerable y puede terminar prácticamente descohesionada.

La rotura de la costra puede deberse también a la tendencia de ella al espesamiento y endurecimiento acentuando así la diversidad del comportamiento mecánico y térmico entre ésta y la piedra del estrato inferior. La costra, al ser negra, absorbe mucho más los rayos solares, produciéndose un mayor grado de dilatación, que trae consigo la disgregación del material pétreo inferior.

3. ALTERACIONES DE TIPO BIOLÓGICO

Constituyen un conjunto de procesos físicos, químicos, físico-químicos, ejercidos por numerosos organismos: bacterias, actinomicetos, hongos, algas, líquenes, musgos, plantas superiores, aves (palomas), murciélagos,...

Entre los procesos físicos hay que señalar el crecimiento de las raíces de las plantas superiores. Los procesos químicos son muy variados y complejos: producción de ácidos, formación de oxalatos, sulfatación de origen bacteriano, descomposición de excrementos generando amoníaco,...

3.1. Acción animal

De todas las acciones de tipo animal, destacamos a las aves, y entre ellas a las palomas y cigüeñas, cuyos excrementos producen degradaciones químicas debidas al ácido fosfórico, úrico y nítrico que contienen y que provoca la corrosión de los metales y disgregación paulatina de materiales con cemento calcáreo.

Por otra parte, la “palomina” o “guano”, excremento de las palomas, atasca a menudo los sistemas de evacuación de aguas de las cubiertas, de forma que ésta se desborda por la fachada en forma de escorrentía.

Debemos mencionar también el efecto negativo que tienen las hormigas y los topes que esponjan y remueven cimentaciones, soleras, etc., y evidentemente preparan la acción química por la penetración de agua.

3.2. Bacterias

Las bacterias son organismos de estructura simple y primitiva, con células carentes de núcleo y de corpúsculos, y que necesitan de materia orgánica para constituirse. Los géneros más comunes son *Bacillus*, *Arthribacter*, *Micrococcus* y *Brevibacterium*.

Se desarrollan en ciertas zonas, donde las condiciones son favorables, es decir, altos contenidos de humedad y temperaturas entre 20 y 30° C. Debido a su acción bioquímica causan: disgregación, aumento de porosidad y pulverulencia. Se desarrollan mejor en rocas calcáreas o de cementación calcárea.

Dentro de la gran familia de las bacterias, las más conocidas son:

* Bacterias sulfúricas. Asociadas a la presencia de azufre, dentro de la piedra, bajo la forma de compuestos reducidos u óxidos. Éstos son oxidados por las bacterias y transformados en ácido sulfúrico y en sulfatos (yesos). El azufre, al combinarse con el calcio de la piedra, en presencia de agua, origina yeso. El azufre puede tener dos procedencias: del suelo (por capilaridad) y de la superficie (contaminación).

* Nitrobacterias. Asociadas a la presencia de nitrógeno. Las más importantes oxidan el amoníaco presente en el agua de lluvia, el polvo, excrementos, etc., transformándolo en ácido nitroso y nítrico, compuestos que reaccionan descomponiendo el carbonato, con lo que se produce la liberación de CO₂ que las bacterias necesitan para su estructura celular, y produciendo nitrato cálcico. El aporte de amoníaco procede del suelo por capilaridad o de la contaminación atmosférica.

3.3. Algas

Las algas, que normalmente se encuentran sobre los monumentos, son organismos unicelulares, provistos de clorofila en su mayoría y, generalmente, se pueden reconocer a simple vista, ya que pueden producir pátinas de diferentes colores dependiendo de los pigmentos fotosintéticos que tengan. El crecimiento por lo general no es uniforme y con frecuencia forma rayas siguiendo las áreas de humedad. Su presencia es más aparente en las fachadas orientadas al norte de los edificios.

Aunque, en principio, pueden colonizar cualquier tipo de piedra, se desarrollan más sobre piedras calcáreas y morteros de cal y arena. Son frecuentes, también, sobre pinturas murales.

Las algas *epilíticas* (actúan sobre la superficie de la piedra) contribuyen a retener el agua en el muro y producen ácidos como el aspártico, cítrico, oxálico,... Las *endolíticas* (penetran en el sustrato de la piedra) disuelven los carbonatos, penetrando en el interior y formando microcavidades.

Aunque durante el tiempo seco las algas mueren, las esporas subsisten y vuelven a crecer y desarrollarse rápidamente tan pronto como las condiciones meteorológicas son favorables.

3.4. Hongos

Dentro de los hongos, los más frecuentes son los *actinomicetos*, que se desarrollan sobre tejidos vivos, y los hongos *heterotróficos*, es decir, de nutrición orgánica. Los podemos encontrar sobre materia orgánica vegetal o animal, tipo albúminas, grasas o glúcidos, transformando sus compuestos celulares y generalmente asociados a otros organismos como bacterias y algas.

En los monumentos se producen depósitos en zonas residuales (excrementos de aves, restos vegetales,...) que forman una capa lo suficientemente rica en carbono para el desarrollo de numerosos organismos. Esta capa, también acumula la humedad necesaria para su crecimiento.

Las pigmentaciones producidas por los micelios de los hongos entrañan un cambio de coloración en las partes expuestas de la piedra. Los ácidos liberados por hongos y mohos (oxálico, cítrico, acético, etc.) forman compuestos de calcio, hierro, sales, etc. Las hifas penetran en la piedra caliza produciendo secreciones que atacan a la dolomía y a la calcita.

A veces, la causa directa de la presencia de estos organismos es la proximidad de elementos de madera enmohecida. Los micelios que contiene la madera, son transportados a la piedra, donde se desarrollan y penetran profundamente.

3.5. Líquenes

Los líquenes son organismos resultantes de la unión de un alga y un hongo, esto les confiere una naturaleza resistente a las condiciones climáticas adversas. El hongo ocupa el lugar primero y el alga se distribuye, más tarde, entre las hifas del hongo, protegiéndose así de la sequedad. Luego crecerá como si fuera un solo individuo.

Los líquenes ejercen sobre la piedra un acción mecánica y otra química, la primera se traduce en tres aspectos: 1º un revestimiento que supone una variación cromática en gran parte de la superficie, 2º una disgregación de la superficie y 3º un efecto de cuña a medida que van creciendo y las hifas van penetrando dentro del sustrato. Con respecto a la acción química, producen soluciones de ácido carbónico y oxálico, derivadas de su metabolismo, de gran poder corrosivo.

3.6. Musgos

Los musgos son organismos pluricelulares y fotosintéticos capaces de colonizar grandes superficies de piedra. Necesitan grandes porcentajes de humedad que adquieren del agua de lluvia, ya que los musgos tienen una capacidad limitada para absorber el agua del sustrato.

A diferencia de las algas y líquenes que pueden desarrollarse sobre la piedra desnuda, los musgos necesitan para vivir depósitos de humus, producidos por la acumulación de algas muertas, por ejemplo.

Producen tanto una acción mecánica como química. En cuanto a la acción mecánica, sus *rizoideas* (filamentos que fijan la planta al suelo y absorben el agua y las sustancias minerales) disgregan la roca en superficie.

Esta disgregación de la roca, junto con el humus producido cuando el musgo muere, preparan a la roca para una posterior colonización por plantas superiores, especialmente en los salientes de los edificios donde se acumulan los excrementos de pájaro.

3.7. Plantas superiores

Deterioran la piedra, no sólo por la acción mecánica producida por el crecimiento de las raíces, que se traduce en la aparición de fisuras y ensanchamiento de juntas, sino por la acción química, que se deriva de los ácidos húmicos que éstas segregan y que actúa sobre el carbonato cálcico.

4. BIBLIOGRAFÍA

ALCALDE, M, VILLEGAS, R, VALE, J.F y MARTÍN, A. (1990). *Diagnosis y tratamiento de la piedra: I. La alteración de la piedra en monumentos. II. Consolidantes e hidrófugos. Productos para el tratamiento de los materiales pétreos.* Monografía nº 400. Madrid: ICCET-CSIC.

CABRERA GARRIDO, J. M. (1973). *Alteración y conservación de materiales pétreos en los monumentos.* Tesis doctoral. Madrid: Universidad Autónoma.

LABORDE MARQUEZE, A. (2013). *Criterios de intervención en materiales pétreos. Proyecto Coremans.* Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Subdirección General de Documentación y Publicaciones.

MARTÍN PÉREZ, A. (1990). *Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de piedras de interés histórico artístico.* Madrid: Fundación Ramón Areces.

NAVARRO GASCÓN, J. (2013). *Diagnosis, alteraciones y evaluación de tratamientos en calizas y areniscas.* Instituto del Patrimonio Cultural de España.

SNEYERS, R. (1965). También muere la piedra. *El Correo de la UNESCO*, enero 1965.

VV.AA. (1996). *Degradación y conservación del Patrimonio Arquitectónico.* Madrid: Editorial Complutense.

VV.AA. (1997). *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos.* Barcelona: Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona.



bellasartes
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID