

LOS LÍQUENES Y LA DEGRADACIÓN/ CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

Gamboa Osorio, J.P., Lago González, A., Nieto Iglesias, J., Núñez Estévez, B., Núñez
González, C.

jessicag14@gmail.com; agatalala@hotmail.es; javinietoiglesias@gmail.com;
bernabenunez16@gmail.com; carmennunez97@hotmail.com

Alumnos 2º Grado en Biología

Facultad de Biología

Universidad de Vigo.

Profesora de la materia:

Aida García Molares

Resumen

Los líquenes son organismos simbiotes formados a partir de la asociación de algas procariotas o eucariotas y hongos. Son organismos pioneros, capaces de asentarse sobre casi cualquier tipo de sustrato. En este trabajo trataremos los efectos perjudiciales de su instalación sobre los materiales de edificios y monumentos, su papel en la conservación o deterioro del patrimonio arquitectónico, además de los factores ambientales que condicionan la aparición de las especies más frecuentes. También se tendrán en cuenta las técnicas de limpieza y conservación aplicadas sobre los diferentes materiales de construcción, así como los factores que se deben tener en cuenta a la hora de valorar la eliminación de la flora líquénica de las superficies.

Abstract

Lichens are symbiotic organisms made up by the association between prokaryotic or eukaryotic algae and fungus. Lichens are pioneer organisms that are able to settle on almost any kind of substratum. This assessment will address the damaging effects of their settlement on buildings and monuments, their role in architectural heritage conservation or deterioration and the environmental factors that determine the spawn of the more common species. In addition, there will be considered the cleaning and conservation techniques used on the different building materials, and the factors that we should take into account in order to assess whether or not the lichenic flora should be removed from surfaces.

Los líquenes son organismos pioneros

Los líquenes son asociaciones simbióticas, por lo general, entre ascomicetes y algunos géneros de algas verdes o cianobacterias. Los miembros fotosintéticos de estas asociaciones suministran los nutrientes orgánicos y, a su vez, el hongo los protege de condiciones ambientales extremas. Los miembros fotosintetizadores se denominan fotobiontes y pueden pertenecer a diversos grupos de algas: cianobacterias, clorófitas y en algún caso algas pardas. Los hongos se denominan micobiontes y en el 98% de los casos son ascomicetes (Paz y Burgaz, 2009). El papel del micobionte en este tipo de asociación simbiótica, en la mayor parte de los casos, es el de formar la estructura del líquen que se conoce como talo y, el fotobionte lleva a cabo el papel de nutrición (Paz y Burgaz, 2009). Las asociaciones simbióticas son uniones entre individuos de diferentes especies que benefician a los dos

organismos implicados; la dependencia puede ser tan fuerte que ninguna de las dos especies es capaz de sobrevivir sin la otra. Estudios recientes demuestran que en muchas especies, además de los componentes anteriormente reseñados está presente un basidiomicete unicelular del género *Cystobasidium*. El equilibrio de esta asociación reside en las aportaciones que tanto hongo como alga proporcionan respectivamente. En el caso del alga su desarrollo se ve favorecido por el ambiente más estable que le proporciona el micobionte y el hongo no cubriría sus requerimientos nutricionales sin las aportaciones orgánicas del proceso fotosintético del fotobionte (Fig. 1).

Los líquenes han sido capaces de colonizar casi cualquier tipo de medio, desde rocas hasta superficies metálicas. Barreno y Pérez Ortega (2003a) defienden que la liquenización podría interpretarse como una de las vías de colonización del medio terrestre por parte de seres heterótrofos, gracias a la adquisición secundaria de autotofía.

Según el aspecto que presenta la morfología del talo, se pueden diferenciar seis biotipos de líquen: fruticulosos, foliáceos, gelatinosos, de talo compuesto, escumulosos y crustáceos o incrustantes. En este documento nos centraremos en los líquenes de tipo crustáceo, más exactamente los que crecen en las rocas denominados líquenes saxícolas; los líquenes epilíticos crecen sobre la superficie rocosa mientras que los endolíticos se desarrollan en su interior.



Figura 1. Líquen crustáceo, *Diploschistes scruposus*, grisáceo recuerda ceniza sobre roca (fuente: <http://www.visoflora.com/photos-nature/photo-dip>)

Los líquenes crustáceos se caracterizan por estar fuertemente unidos al sustrato, carecen de córtex inferior y no pueden desprenderse sin romper una parte del medio en el que crecen. Este tipo de líquenes se sujetan al sustrato por medio de la médula o de un hipotalo (Barreno y Pérez Ortega, 2003b). Entre los crustáceos se pueden diferenciar los que crecen en superficies leñosas, roca o sobre hojas persistentes.

Los talos liquénicos tienen una serie de características fisiológicas que los diferencian de los hongos no liquenizados: son poiquilohidros adaptados al medio atmosférico desecante, tienen un crecimiento lento y gran longevidad, el micobionte adquiere los hidratos de carbono a partir de los sintetizados por el fotobionte y son capaces de desarrollarse en situaciones extremas. Ello lleva implícito una fisiología muy concreta y original, así como un ajuste de las estructuras anatómicas y morfológicas relacionadas con su funcionamiento. Los talos pueden soportar de forma repetida periodos de humectación y desecación sin que se desnaturalicen las proteínas de membrana de los simbioses o sin fallos en el funcionamiento de las mitocondrias o de los plastos (actuando de forma similar a como lo hacen los briófitos).

Se consideran organismos pioneros; los líquenes han sido capaces de colonizar hábitats adversos y de forma variada y eficaz debidos, en la mayor parte de los casos, a los mecanismos de reproducción que poseen.

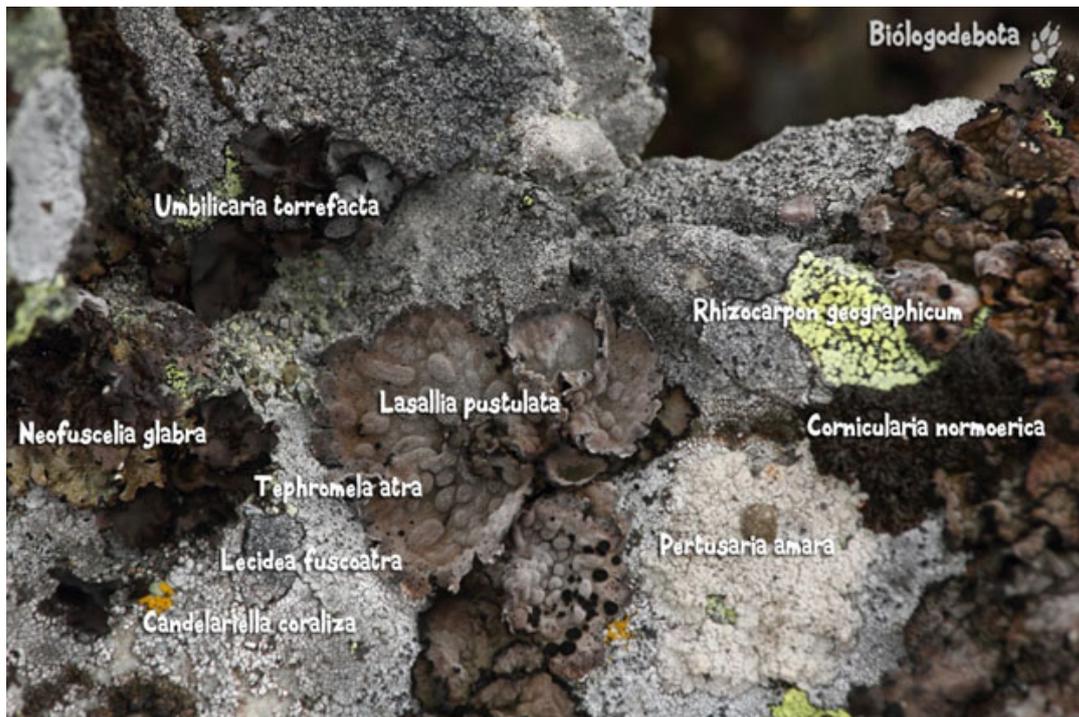


Figura 2. Roca silíceas totalmente cubierta por líquenes, muestra de la gran diversidad líquénica en un pequeño espacio de roca (fuente <http://biologodebota.blogspot.com.es/>)

La reproducción asexual es el único mecanismo reproductivo que garantiza que el alga y el hongo se diseminen en conjunto. El mecanismo más extendido es el de la fragmentación del talo, aunque la forma más ventajosa es la diseminación de isidios o soledios, propágulos exclusivos de líquenes en zonas costeras, todavía más susceptibles a la alteración (Carballal et al., 2001) e incluso uno de estos trabajos se refiere a la reciente colonización por parte de los líquenes en un edificio de reciente construcción, el Centro de Arte Contemporáneo de Galicia, en Santiago de Compostela (Silva et al. 1997).

Procesos de descomposición de la roca que desencadenan

Es indudable que los líquenes descomponen la roca; esto lo sabemos debido a las evidencias que en ella dejan al ser retirados. Los que generan un efecto más notable son los líquenes crustáceos, endolíticos o epilíticos, ya que se adhieren fuertemente al sustrato y lo alteran de forma mecánica y química.

La acción mecánica se basa en la meteorización física de la roca. El talo del líquen penetra en los granos minerales de la roca a medida que va creciendo; esto hace que los granos minerales se vayan disgregando. El volumen de los talos que provocan la disgregación puede ser variable, las modificaciones de la humedad del ambiente, dependiendo de la época del año, son la causa de la variación de su volumen, debido a la donde se encuentran ambos simbioses. Los isidios y soledios se desprenden del líquen por acción del viento, agua o el roce de algún animal y se dispersan en el ambiente. Cuando alcanzan un lugar donde las condiciones de temperatura, humedad, luminosidad y sustrato son idóneas, comienza a crecer un nuevo ejemplar. Precisamente es su facilidad para reproducirse lo que dificultan su eliminación.

Por otro lado, los líquenes se consideran organismos pedogénicos, ya que transforman el sustrato rocoso en el que se instalan al extraer los nutrientes para su desarrollo permitiendo el establecimiento de otros organismos vegetales sobre su superficie. Esta capacidad es el origen de las alteraciones en monumentos y fachadas de las ciudades, que producen un enorme gasto en métodos de prevención y limpieza. En este trabajo nos referiremos especialmente a todos los procesos degradativos de la roca, su repercusión sobre la arquitectura y, del mismo modo, a los procesos de limpieza y conservación de monumentos arquitectónicos.

En Galicia se han realizado varios estudios relacionados con los procesos de biodeterioro causados por los líquenes. Cabe destacar, entre entre tratados realizados sobre edificios construidos en roca granítica, que incluye varias iglesias (Silva *et al.*, 1997), algunas de ellas situadas capacidad de los talos para retener agua; esto es especialmente importante en los talos de los líquenes crustáceos endolíticos pues provoca que los granos minerales de la roca se remuevan haciéndolos más vulnerables a cualquier tipo de meteorización, lo cual conduce inevitablemente a la disgregación de la roca. En ciertos casos, el talo engloba a los granos minerales dejando una mayor superficie de la roca expuesta a cualquier tipo de degradación biogeoquímica.

En cuanto a la acción química, se debe fundamentalmente al efecto del agua; esta acción se ve acelerada por la meteorización física de la roca, ya que está más expuesta por la disgregación de los granos minerales. También la propia respiración celular, debido a la liberación de dióxido de carbono, produce un efecto acidificante sobre la roca, aunque podría considerarse casi despreciable en comparación con los ácidos orgánicos liberados por el componente fúngico del líquen.

El ácido oxálico es el principal producto ácido que excreta el hongo, aunque no se produce por todos los líquenes y depende mucho del tipo de sustrato sobre el que se desarrolla. La interacción de la roca con el ácido oxálico da lugar a la formación de oxalatos, en especial oxalato cálcico, que forman pátinas de diferentes colores, dependiendo del tipo de roca sobre la que se asientan. Las pátinas se producen debido a la escasa solubilidad de los oxalatos, aunque también influyen las condiciones ambientales. Además del oxalato cálcico, en la interacción líquen-sustrato, también se pueden generar oxalatos férricos, magnésicos, cúpricos y manganésicos.

En ocasiones no es fácil reconocer si la pátina que se observa sobre la roca es una capa de protección dada intencionadamente para la conservación de la roca o el producto de su interacción con el organismo vivo. Para averiguarlo habría que estudiar si la pátina está presente en capas más profundas.

Los líquenes producen diferentes sustancias polifenólicas exclusivas de la simbiosis; que forman parte de las denominadas sustancias liquénicas. A pesar de su escasa solubilidad y su pH no muy ácido tienen la capacidad de formar complejos con los iones metálicos que obtienen del sustrato; los líquenes están considerados como los productores más eficaces de agentes quelantes.

A pesar de los procesos de degradación física y química que ejercen sobre la roca, los líquenes también pueden llevar a cabo acciones beneficiosas: protegen la piedra de ciertos contaminantes en estado gaseoso, de la cristalización de las sales al reducir la evaporación actúan a modo de barrera contra el viento, las gotas de la lluvia y los cambios de temperatura.

Considerando estos factores, en las rocas graníticas no está muy claro hasta qué punto los líquenes alteran o protegen la roca. En el mármol y en las calizas sí se aprecia un mayor grado de degradación. Algunos autores consideran que los líquenes no degradan los monumentos y resto de obras de arte, sino que los consideran como un valor estético añadido.

Diferencias detectadas en función de las características de las rocas

Los líquenes son capaces de vivir sobre una gran variedad de superficies, naturales y artificiales. Las superficies minerales sobre las que se asientan varían enormemente en su composición y características. Las diferentes especies de líquenes saxícolas muestran preferencia a la hora de asentarse en determinados tipos de roca (Barreno y Pérez-Ortega, 2003a).

La composición química es uno de los factores más importantes de discriminación (Fig. 3). Los líquenes obtienen gran parte de los macro y micronutrientes por vía aérea o a través del agua que fluye sobre el talo, pero el sustrato también es una importante fuente de iones, como el Ca^{+2} , que obtienen por métodos de meteorización física y química de la roca. Como consecuencia, la concentración de Ca^{+2} en el sustrato es un importante factor discriminatorio. Las especies que viven sobre rocas de naturaleza calcárea, como mármoles y calizas, son muy diferentes de aquellas que viven sobre rocas de naturaleza silíceas, como los granitos o esquistos.



Figura 3. *Dimelaena oreina*, líquen sobre rocas silíceas en la cuenca mediterránea (fuente: <http://elrincondelrio.blogspot.com.es/>)

Los géneros *Lecanora* y *Placynthium* se desarrollan sobre sustratos calcáreos, entre los que se incluyen el hormigón, los cementos y las argamasas. Por el contrario, los géneros *Umbilicaria*, *Xanthoparmelia* y *Pseudephebe* prefieren sustratos de naturaleza silíceas.

Otros elementos como el hierro y el magnesio de una roca también condicionan el desarrollo de los líquenes.

Las características físicas entre las que se encuentra dureza, porosidad y facilidad de exfoliación de la roca, determinan la velocidad de crecimiento del talo. La dureza de una roca condiciona la capacidad del talo para la obtención de iones y, por tanto, puede ralentizar el crecimiento del líquen. La porosidad influye en la capacidad de retención de agua, que juega un importante papel en la discriminación de especies. La exfoliación y estabilidad de una roca determinan la permanencia de los talos y, en consecuencia, su longevidad.

El color influye sobre la cantidad de energía que la roca capta de la radiación solar y, por consiguiente, provoca variaciones en la temperatura del sustrato.

El pH del sustrato afecta a la formación de iones lo que influye en varios aspectos de la biología del líquen, como la alteración química de la roca. Las rocas calcáreas tienen un pH básico mientras que las rocas silíceas tienen un pH ácido. Esta diferencia es el principal motivo por el que presentan comunidades de líquenes muy diferentes (Fig. 4).



Figura 4. *Lobothallia radiosa*, líquen desarrollado sobre rocas calcáreas (fuente: <http://biomoncayo.blogspot.com.es>)

También se ven afectados por el clima de la región. El volumen de precipitaciones y la temperatura a lo largo del año condicionan su velocidad de crecimiento.

Podemos decir en, conclusión, que las características físicas y químicas de las rocas y de otros sustratos minerales ejercen una fuerte influencia sobre las poblaciones de líquenes que viven sobre o dentro de ellas, al igual que las condiciones climáticas de las regiones en las que se desarrollan.

Procedimiento de limpieza de edificios y monumentos

En los trabajos de recuperación y puesta en valor de edificios históricos o monumentos pertenecientes al patrimonio cultural de una región, la limpieza de las superficies cobra un interés particular: esta es una



Figura 5. Fachada de la catedral de Santiago, donde se aprecia la colonización por parte de líquenes (fuente: <https://www.flickr.com/photos/88068852@N05/10648350934>)

operación delicada e irreversible que no da la posibilidad de corregir errores y puede dañar irreparablemente las superficies, por lo que debe afrontarse con todas las precauciones posibles (Fig. 5).

Debe controlarse cada fase del proceso de limpieza, ha de ser graduable y selectiva, pudiéndose eliminar exactamente lo que se desea; tampoco debe originar sustancias agresivas que condicionen la durabilidad y conservación de las superficies, como por ejemplo sales solubles o expansivas. Además, no debe producir modificaciones, microfracturas o fuertes abrasiones sobre la superficie limpia, pues podría acelerar el deterioro debido al aumento de la porosidad superficial ya que todos los procesos físico-químicos de alteración de los materiales se encuentran directamente vinculados a la porosidad. También es importante señalar que la limpieza debe eliminar en lo posible toda la materia orgánica, pues la presencia de residuos orgánicos facilitará la colonización de otros microorganismos (Fig. 6).



Figura 6. Monumento recién limpiado (fuente: <http://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/221/58-Rosato.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

El crecimiento de seres vivos sobre la piedra puede llegar a producir daños de diversa consideración. El problema de las colonias de biocolonizadores es que, aunque suelen ser fáciles de eliminar, si permanecen las condiciones favorables para su desarrollo vuelven a aparecer al cabo de un corto tiempo. La única solución es un mantenimiento periódico (Fig. 7).

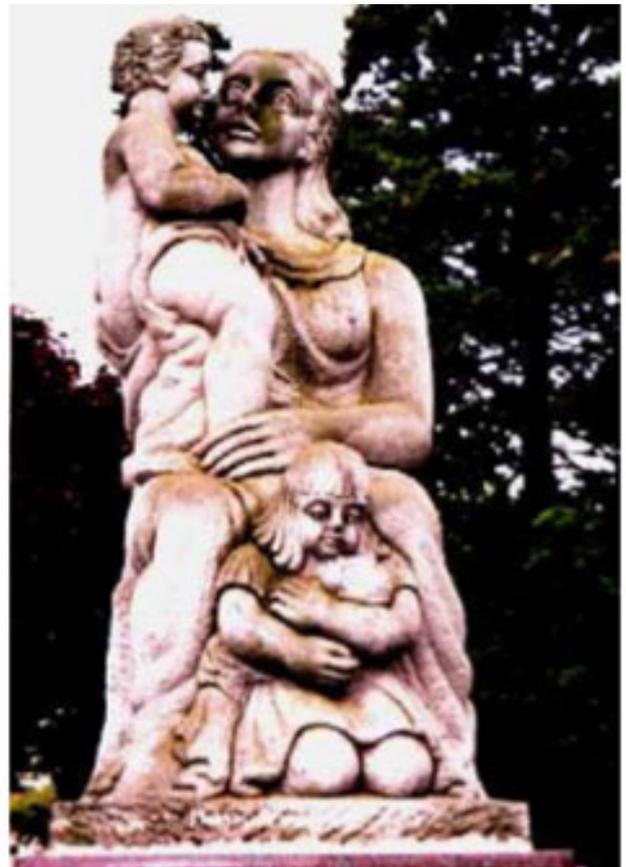


Figura 7. Monumento un año después de la limpieza (fuente: <http://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/221/58-Rosato.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

En todos los casos, la limpieza, al igual que las demás tareas de restauración y conservación, debe ser realizado por personal especializado, que conozca los límites y posibilidades del método empleado, porque, aunque la técnica elegida debe ser adecuada, el éxito de la limpieza depende más de la pericia de los operadores.

En algunos casos, inicialmente debemos plantearnos la conveniencia de eliminar la cubierta liquénica, porque como bien se ha mencionado anteriormente, el daño que producen podría ser compensado por su papel protector, ya que bajo su superficie se genera una capa de humedad constante, además de suministrar un cierto efecto hidrofugante. La desaparición de los líquenes puede favorecer el crecimiento de otro tipo de microorganismos, como las bacterias, debido a la supresión de la competencia, dándoles la oportunidad de colonizar la superficie expuesta y más porosa dejada por el líquen. También puede ocurrir que al suprimir la capa de líquenes, la superficie alterada quedase expuesta a la intemperie, siendo más susceptible a la meteorización. También pueden actuar como protección contra los agentes contaminantes atmosféricos potencialmente nocivos para los materiales constitutivos del sustrato. Por esta razón, en muchos casos, debe plantearse la posibilidad de aplicar tratamientos de consolidación. En consecuencia, no existen normas generales para actuar frente a estas colonizaciones debiendo considerarse las ventajas e inconvenientes en cada caso concreto.

Son varios los métodos de control para evitar el biodeterioro del patrimonio arquitectónico; se suele seleccionar el más adecuado en función del material y el tipo de organismo que lo colonizan.

El control de los factores ambientales solo es posible en el caso de las estatuas. En el caso de edificios es importante evitar que los materiales se mojen, o que por lo menos no permanezcan húmedos largo tiempo, ya que el agua es el suministro habitual de nutrientes para los microorganismos. El método preventivo debe efectuarse siempre como complementario a otros, y de hecho, son varios los autores que lo consideran como un primer paso para eliminar los factores que favorecen o aceleran el biodeterioro.

Hay una gran cantidad de métodos que se emplean para la limpieza de monumentos y edificios, pero muchos de ellos no resultan suficientemente eficaces. Uno de estos métodos es la eliminación mecánica de los organismos, consiste en la remoción manual de las estructuras liquénicas; su baja efectividad se debe a que, generalmente, no se eliminan totalmente los organismos, sino únicamente la parte superficial, permitiendo que permanezcan las estructuras que crecen en profundidad y, por tanto, dándole la oportunidad de reproducirse de nuevo (Fig. 8). Pese a su baja eficacia como método de limpieza propiamente dicho, tiene una función útil en la rutina de mantenimiento y en los primeros pasos de limpieza, especialmente cuando es necesario reducir la biomasa para luego proceder con otros tratamientos.



Figura 8. Herramienta mecánica para el repicado de las juntas. Fuente: <http://polipapers.upv.es/index.php/loggia/article/view/3561/3791>

Para la eliminación de los líquenes también se ha utilizado el hidrolavado; este tratamiento no es especialmente recomendable. En hidrolavado se utilizan aparatos que usan presión variable y boquillas que generan un chorro helicoidal que impacta tangencialmente sin dañar la superficie. Cuando la superficie se encuentra colonizada por líquenes, en muchos casos el hidrolavado no resulta suficiente, especialmente cuando presentan sorelios e isidios, ya que este tipo de propágulos se dispersan en el ambiente por acción del viento y del agua. En consecuencia, al aplicar el hidrolavado se elimina el líquen, pero se diseminan los propágulos, que volverán a colonizar esa superficie rápidamente, y otras ubicadas en las proximidades. En estos casos, es recomendable eliminar los líquenes mediante la acción de biocidas (el tratamiento más utilizado hoy en día). Los biocidas son un grupo heterogéneo de agentes químicos cuya aplicación proviene de disciplinas que nada tienen que ver con la restauración, como pueden ser la medicina o el sector agrario. Estos compuestos actúan directamente matando por contacto, aunque también pueden interferir en los procesos metabólicos, inhibiendo la síntesis de aminoácidos, proteínas, lípidos, etc. De esta forma diferenciamos los agentes biocidas, si matan a los organismos, y denominamos biostáticos, si inhiben su crecimiento. Los dos problemas fundamentales que pueden ocasionar estos compuestos son el deterioro de la piedra (alteración química, cambio de color, cristalización interna de residuos salinos) y su toxicidad.

La elección del método a emplear debe hacerse cuidadosamente, tratándolo como un tema de gran importancia, seleccionando aquel o aquellos que mejor se adecúan al problema. Por ejemplo, en el caso de un sustrato colonizado simultáneamente por líquenes que ejercen una acción destructora y por líquenes que actúan como protectores, se debe elegir un método que permita destruir a los primeros y que no afecte a los segundos. El biocida a utilizar debe cumplir ciertos requisitos: no sólo debe ser efectivo y tener acción selectiva contra los microorganismos (líquenes, en nuestro caso), sino que además no debe afectar al material, tanto en forma directa o dejando depósitos sobre él. Puede acudir a geles básicos (como la aplicación de apósitos de AB57), sales de amonio cuaternario, n-etil-isotiazolinona o efectuar tratamientos con formol diluido en agua, lo que facilita posteriormente su remoción con medios mecánicos o manuales.

Algunos de los procedimientos utilizados en la limpieza de monumentos en Europa contra las colonias de líquenes son hipoclorito de litio en solución acosa al 2%, seguida de la aplicación de un detergente neutro, para terminar con un tratamiento a base de triazina, que puede generar sales peligrosas, por lo que hay que tomar las debidas precauciones (García de Miguel, 2009)

El uso de biocidas siempre implica un riesgo de manipulación y para el medio ambiente derivado de su toxicidad. Su eficacia se ve limitada en el tiempo, por lo que un buen programa de mantenimiento constituye el biocida más seguro y eficaz.

Medidas de prevención para impedir el desarrollo de algas y líquenes:

Las algas verdes (el verdín de los monumentos y sillares) se desarrollan sobre materiales calizos y en ambientes húmedos, donde forman sustratos ricos en materia orgánica, favorables a la retención de polvo y humedad, favoreciendo los procesos de alteración químicos. Los líquenes se fijan preferentemente sobre superficies rugosas y son más abundantes en ambientes no contaminados, iluminados y bien ventilados. El grado de modificación que sufren los materiales varía, de forma más o menos gradual, desde la superficie expuesta hacia su interior. Además de los métodos de limpieza anteriormente expuestos, se recomienda aplicar medidas de restauración y prevención de las superficies limpias (Tabla 1).

Tabla 1. Intervención: metodología y resultados

Metodología Y Resultados			
Lesión	Causa	Actuación	Resultado
Pérdida de material	Humedad	Preconsolidación (silicato de etilo) Hidrofugación (elementos expuestos) Patinado (hidróxido de cal)	Estabilización de la piedra. Protección de la fábrica. Entonación de paramentos.
	Acción del hielo		
	Contaminación atmosférica (yesificación)		
	Presencia de mortero de cemento Pórtland	Sustitución por mortero tradicional de cal	Saneado de las juntas de sillares.
Suciedad	Residuos de combustibles fósiles	Limpieza de costra negra (mecánica, láser, química)	Control de los procesos de deterioro de la piedra.
	Biodepósitos		
	Vegetación, costra biogénica	Tratamiento biocida (sales cuaternarias)	

Las primeras propuestas de actuación deben dirigirse a reducir la humedad y la contaminación. Para ello, es importante efectuar el drenaje del subsuelo y reparación de cubiertas.

En cuanto a los trabajos de rejuntado, en primer lugar se eliminan las zonas reintegradas en las intervenciones anteriores con mortero de cemento o de resina, al igual que se elimina el polvo, el hollín, materiales orgánicos e incluso los morteros descompuestos o degradados. Los trabajos de repicado se pueden realizar antes o después de la limpieza. Y tras la realización de algunas pruebas con métodos manuales y mecánicos (el material degradado se elimina hasta alcanzar el material sano), se ha llegado a la conclusión de que estos últimos son más precisos.

A continuación, las caras internas de la sillería se desengrasan con disolventes (alcohol tricloroetileno, etilo) y se humedecen con el fin de prepararlos adecuadamente para el rejuntado posterior. Para empezar, se humedece la superficie con agua desionizada; sobre ella se aplica el mortero base con espátula, pasando una esponja al empezar su fraguado para conseguir una superficie más rugosa y de mejor adherencia a la capa de mortero de acabado. Luego, tras humedecer de nuevo la superficie con agua desionizada, se ejecuta el mortero de acabado final y, cuando éste inicia su fraguado y se presenta "tirante", se cepilla la superficie de las juntas antes de que se cure el mortero con el fin de sacar el grano y conseguir la textura adecuada. Ha de identificarse el tipo de mortero original (tabla 2) para realizar los ensayos compositivos con el objetivo de reponerlo en aquellas juntas donde ha sido eliminado o en casos en que se haya usado la junta resaltada, puesto que este tipo de junta actúa como soporte ante una acumulación de polvo y contaminación (origen de graves degradaciones). Para ello, se realiza una "junta enrasada cóncava" evitando así la retención de agua y, por tanto, la aparición de pátina biogénica (biodeterioro), y la formación de costra negra.

Tabla 2. Mortero: Algunos tipos de mezclas y proporción (H: hidráulicos AH: aéreo o hidráulico A. Aéreo)

H	Tipo	Componentes	Relación	Usos
AH	Calcáreo	Cal: Árido	1:1	Enlucidos
AH	Calcáreo	Cal: Árido	1:2	Revoques
AH	Calcáreo	Cal: Árido	1:3	Muros de ladrillo.
AH	Calcáreo	Cal: Árido	1:4	Muros de mampostería.
AH	Mixto bastardo	Cemento: Árido	Cal: 1:2:6	Obras corrientes
AH	Mixto bastardo	Cemento: Árido	Cal: 1:1:6	Muros cargados, impermeables.
AH	Mixto bastardo	Cemento: Árido	Cal: 1:1:8	Muros poco cargados.
AH	Mixto bastardo	Cemento: Árido	Cal: 1:1:10	Cimientos
AH	Mixto bastardo	Cemento: Árido	Cal: 1:1:12	Revoques impermeables.

En lo que respecta a la consolidación, el material utilizado es un agente consolidante líquido que debe penetrar profundamente en la piedra, mejorando su cohesión interna, la adhesión entre las partes dañadas y aquellas no alteradas. La finalidad del consolidante es reducir la porosidad del material, para disminuir su susceptibilidad al ataque químico del agua y a su vez la colonización de organismos (líquenes y algas). Se recomienda usar un consolidante compuesto por ésteres etílicos del ácido silícico y polixiloxanos oligoméricos, disueltos en aguarrás mineral para un óptimo grado de absorción hasta el núcleo sano de la piedra. Los ésteres etílicos reaccionan y se transforman en el gel de sílice y alcohol etílico. Muchos de los productos utilizados comúnmente como consolidantes tienen propiedades hidrorrepelentes hidrofugantes, lo que les confiere un efecto protector.



Figura 9. Consolidación de la laceria en Las Torres de Serrano en Valencia. Fuente: <http://polipapers.upv.es/index.php/loggia/article/view/3561/3791>

La consolidación sobre sillares depende del estado de conservación en que se encuentren. Las aplicaciones del consolidante se realizan con el soporte totalmente seco y el producto se deja actuar durante un tiempo hasta que complete su reacción. Para después proceder a la hidrofugación (Fig. 9).

Se utilizan productos químicos hidrofugantes que, sin cambiar el aspecto del monumento, evitan la penetración del agua en los poros de la piedra, ralentizando los fenómenos de degradación. Sin embargo, estos productos tienen una duración limitada en el tiempo, y necesitan mantenimiento periódico que garantice su eficacia. Para seleccionar el tratamiento de hidrofugado más idóneo, se deben ensayar in situ o en laboratorio varios productos hidrofugantes, y se determinan distintas propiedades para su evaluación (ganancia de peso, profundidad de penetración del producto, cambio de color, ángulo de contacto y permeabilidad al vapor de agua). El modo de aplicación es también un parámetro a tener en cuenta en el proceso; puede ser por nebulización de la superficie, aplicado por impregnación (para asegurar su penetración en la piedra y el cierre de la porosidad aparente superficial) o directamente con un rodillo y en varias manos consecutivas; este último sistema garantiza mayor penetración del hidrofugante en el soporte. Para que el tratamiento sea aceptable, el producto aplicado debe proteger la piedra del agua de la lluvia y de la humedad del ambiente, manteniéndola al mismo tiempo permeable frente a la humedad que pueda proceder de su interior. Es importante que no altere el aspecto de la piedra y su estabilidad cromática.

Un programa de mantenimiento debe contemplar como mínimo los siguientes aspectos:

- Control de las vías de drenaje del agua, de la humedad en la piedra y del biodeterioro.
- Estado y evolución de los elementos consolidados y adheridos.
- Valoración de la capacidad hidrorrepelente.
- Evolución del aspecto de la superficie: grado de limpieza, aparición de disgregaciones.

Bibliografía

- Alexopoulos, C. J., Mims, C.W. y Blackwell, M. (1996) *Introductory Mycology*, 4ª edición, New York. John Wiley & Sons, Inc.: 382-391.
- Alonso, F. J.; Esbert, R. M.; Ordaz, J. y Vázquez, P. (2006) Análisis del deterioro en los materiales pétreos de edificación. *ReCoPaR*, 3: 23-32. Recuperado de: [http:// polired.upm.es/ index.php/recopar/article/download/2131/2209](http://polired.upm.es/index.php/recopar/article/download/2131/2209) [consultado el 4 de diciembre del 2016].
- Barreno, R. E., y Pérez-Ortega, S. (2003a) *Biología de los líquenes*. Oviedo. KRK ediciones. Recuperado de: http://www.uv.es/barreno/Biologia_de_los_liquenes.pdf, [consultado el 9 de diciembre del 2016]
- Barreno, R. E. Y Pérez-Ortega S. (2003b) *Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos, Asturias*. Oviedo. Grafinsa: 83-89.
- Caneva, G., Nugari, M. P., y Salvadori, O. (2000) *La Biología en la Restauración*. Guipúzcoa. Edita Nerea.
- Carballal R., Paz-Bermúdez G., Sánchez-Biezma M.J., Prieto B. (2001) Lichen colonization of coastal churches in Galicia: biodeterioration implications. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 47: 157-163.
- De Paz, G.A., y Burgaz, A. R. (2009) *Líquenes epifíticos del Hayedo de Montejo de la Sierra (Madrid)*, Madrid. Editorial Universidad Complutense. Recuperado de: <https://revistas.ucm.es/index.php/BOCM/article/download/.../6539> [consultado el 9 de diciembre del 2016].

- Esbert, R.M., Rojo, A., Alonso, F.J., Mateos, F., Ordaz, J., y Valdeón, L. (2004) La restauración de la torre y el claustro de la catedral de Oviedo. Oviedo. Ediciones Nobel.
- García de Miguel, J.M. (2009). Tratamiento y conservación de la piedra, el ladrillo y los morteros. Madrid. Edita Consejo General de la Arquitectura Técnica de España.
- Nash III T. H., editor (2008) Lichen biology. Cambridge University Printing House: 236-241 (2ª edition).
- León, R. V. (2015) Análisis de la acción alterante de los líquenes sobre materiales pétreos de edificios de la ciudad de Toluca. México D.F. Universidad Autónoma de México. Tesis doctoral (inédita).
- LEMIT (Laboratorio de entrenamiento multidisciplinario para la investigación tecnológica) (2002) Hidrolavado de superficies colonizadas por líquenes en monumentos y edificios históricos. Recuperado de: <http://digital.cic.gba.gov.ar/bitstream/handle/11746/221/58-Rosato.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [consultado el 9 de diciembre del 2016].
- M. Brodo I. y Duran Sharnoff S. (2001) Lichens of North America, Yale University Press, New Haven y Londres, 45, 47, 50.
- Mileto, C., y Cervera Arias, F. (2003). La restauración de las Torres de Serranos de Valencia. Logia, Arquitectura y Restauración 14-15: 114-143. Recuperado de: <http://polipapers.upv.es/index.php/loggia/article/view/3561/3791> [consultado el 9 de diciembre del 2016].
- MNCN (Museo Nacional de Ciencias Naturales) (2013) Es posible reducir la cantidad de biocidas utilizados para combatir el biodeterioro de monumentos. Recuperado de: http://www.mncn.csic.es/InformacinGeneralContacto/Blog_Biodeterioro_y_accion_de_biocidas/seccion=1235&idioma=es_ES&id=2013021415580001&activo=12.do [consultado el 9 de diciembre del 2016]
- Negros, A. D. C. (2010). ANEXO II. El abrigo de ciervos negros (Moratalla, Murcia). Murcia. Tres Fronteras Ediciones.
- PRIETO, B. (1996). Biodeterioro de rocas graníticas. Contribución de los líquenes al deterioro del patrimonio monumental construido. Universidad Santiago de Compostela. Tesis doctoral (inédita).
- Puy-Alquiza, M. J., Gómez Peralta, M., Miranda-Avilés, R., Reyes-Zamudio, V., Salazar-Hernández, M., y Ordaz Zubia, V. Y. (2015). El rol de las comunidades de líquenes en el deterioro superficial de su substrato rocoso: estudio de la interfase líquen-roca en dos monumentos históricos de la ciudad de Guanajuato, México. Acta Universitaria, 25(4): 35-47.
- Silva B., Prieto B., Rivas T., Sanchez-Biezma M. J., Paz G. y Carballal R. (1997) "Rapid Biological Colonization of a Granitic Building by Lichens". International Biodeterioration & Biodegradation 40: 263-267.