

Métodos de control biológico aplicados a escultura en madera

Algunos ejemplos en el IAPH



Muchas obras de interés histórico artístico están constituidas principalmente por materiales de naturaleza orgánica (pintura sobre tela o sobre tabla, tejidos, esculturas en madera,...). Estos materiales son fácilmente atacados por organismos y microorganismos heterótrofos.

Los fenómenos de alteración biológica o biodeterioro de las obras de arte se dan en función de las condiciones microclimáticas existentes, en particular la temperatura y la humedad relativa (H.R.), que favorecen el desarrollo de estos organismos y microorganismos.

Estas condiciones no son raras en los ambientes en los que normalmente se conservan estas obras; una H.R. superior al 65% asociada a una temperatura de 20°C o superior, es suficiente para causar el desarrollo de microorganismos (hongos). Así pues, los hongos junto a los insectos, son los agentes biológicos más frecuentes de las obras de arte que se suelen conservar en este tipo de ambientes.

Marta Sameño Puerto
Dpto. Análisis del IAPH

Cinta Rubio Faure
Dpto. de Tratamiento IAPH

CONDICIONES QUE FAVORECEN EL DESARROLLO DE LOS AGENTES BIOLÓGICOS

Los factores medioambientales, por tanto, juegan un papel decisivo puesto que las reacciones del metabolismo microbiano se verifican en el medio en el que existen las condiciones adecuadas (M. Vaillant Collot y N. Valentín Rodrigo, 1996):

La *luz* es esencial para los organismos fotosintéticos y ejerce determinados efectos sobre las células vivas y los microorganismos y, por tanto, sobre las reacciones biodegradativas.

El *aire*, en particular el oxígeno, favorece las reacciones de oxidación de las macromoléculas constituyentes de los materiales, no la actividad fisiológica de los organismos: aerobios (poseen requerimientos estrictos de O₂) y anaerobios (poseen requerimientos estrictos de ausencia de O₂). La actividad biodeteriorante depende de las características respiratorias de los microorganismos. La **ventilación** insuficiente es un factor decisivo para el desarrollo de éstos.

La *temperatura* es un factor indispensable para el desarrollo y la actividad de los organismos. El crecimiento y la reproducción de los seres vivos son el resultado de un conjunto de reacciones metabólicas interrelacionadas; para que éstas puedan darse, el organismo necesita una fuente de energía calorífica, aunque existen amplios rangos de tolerancia dependiendo del tipo de organismos.

La *humedad relativa* (H.R.) del aire. El agua es indispensable para las funciones vitales de todos los organismos. Todas las reacciones metabólicas requieren un ambiente acuoso.

La susceptibilidad al biodeterioro de una obra de naturaleza orgánica depende también de su **composición química**.

Los materiales de naturaleza orgánica se distinguen en materiales de origen vegetal (por ejemplo, el papel, la madera, la fibra textil de algodón, lino, ...) y materiales de origen animal (por ejemplo, la piel, el pergamino, la seda, la lana, ...).

La madera, desde el punto de vista histológico, está constituida por una serie de tejidos con función vascular (vasos y traqueidas), mecánica o de soporte (radios medulares, parénquima axial) y algunas células epiteliales que pueden excretar diversas sustancias resinosas (gimnospermas) y células parenquimáticas y secretoras (angiospermas). El porcentaje de los distintos componentes químicos de la madera como celulosa, lignina, y hemicelulosa, varía dependiendo de la especie. Además estos constituyentes químicos no se distribuyen uniformemente por todas las partes del tronco.

FACTORES BIOLÓGICOS DE DETERIORO

Como cualquier material de naturaleza orgánica, la madera está sujeta a una degradación natural que

depende de varios factores y, principalmente, de las condiciones ambientales a las que está sometida. Aunque, en general, la madera no se degrada sino que lo que se modifican son sus características de resistencia en el transcurso del tiempo. Los elementos estructurales de la madera "antigua" mantienen sustancialmente la misma resistencia que tenían en el momento en que se realizó la obra si no intervienen factores de degradación como organismos xilófagos, variaciones de humedad, acciones mecánicas, vibraciones, fuego, etc. (Luca Uzielli, 1989).

Los fenómenos de biodeterioro de la madera son causados por diversos organismos con características metabólicas diferentes. Los principales responsables del biodeterioro de la madera son organismos heterótrofos como hongos, bacterias, actinomicetos e insectos. Pocos de estos agentes de degradación tienen la capacidad de atacar todos los tipos de maderas, debido a su diferente composición química. La resistencia natural de la madera al deterioro, es decir la capacidad de resistir a los ataques de hongos e insectos, se denomina durabilidad. Así pues las diferentes especies leñosas pueden ser divididas en clases de durabilidad (G. Caneva, M.P. Nugari y O. Salvadori, 1994).

El deterioro de la madera, por tanto, no es innato al material sino que es debido al ataque por parte de agentes externos y sobre todo a agentes de naturaleza biótica (insectos, hongos, bacterias, etc.).

Microorganismos

La susceptibilidad que tiene una madera al ataque producido por microorganismos depende, sobre todo, de su contenido de humedad. La madera es un material higroscópico y su contenido de humedad está en equilibrio con la humedad relativa del ambiente. El ataque por parte de microorganismos se produce cuando el contenido de humedad es superior al 20% (M. Wainwright, 1995).

La alteración producida por los microorganismos en la madera es de diferentes tipos:

- Utilizan el soporte como sustrato donde poder desarrollarse, lo que ocasiona cambios en las propiedades físicas y estéticas de este material.
- Obtienen del material las sustancias nutritivas necesarias para su desarrollo gracias a la actividad enzimática que poseen.
- El material es dañado por la excreción de productos metabólicos intermedios o finales (ácidos y pigmentos que pueden deteriorar y colorear el sustrato).

Entre los microorganismos, los hongos son los principales agentes de deterioro de la madera que constituye las obras de arte, y éstos pueden desarrollarse tanto en su superficie como en su interior. La madera, tras el ataque fúngico, adquiere un aspecto y un color característicos (pudrición blanca, parda, cúbica o blanda). Los principales hongos responsables de la pudrición son Ascomicetos, Basidiomicetos y Deuteromicetos como *Alternaria*, *Coniothyrium*, *Humicola*, *Stemphylium* y *Stysanus*.

Insectos

Los insectos producen daños en la madera, al nutrirse de diversas sustancias, causando erosión superficial, orificios y galerías. Los daños más graves se observan en lugares de mayor humedad y temperatura óptima de 22°C.

De los insectos que viven a expensas de la madera existen diversas especies que pertenecen prevalentemente a algunas familias de escarabajos (Orden Coleoptera), como Anobiidae, Cerambycidae, Lyctidae, Curculionidae y de termitas (Orden Isoptera), como Kalotermitidae y Rhinotermitidae (Giovanni Liotta y Giovanni Leto Barone, 1989).

MÉTODOS DE CONTROL

El control del crecimiento de los agentes biológicos responsables del biodeterioro de las obras de arte, se encuentra dentro de las operaciones realizadas en las intervenciones de restauración. Sin embargo, no resulta fácil la eliminación de estas plagas e infecciones, debido a las interacciones que pueden producirse entre los distintos métodos utilizados y los materiales constitutivos de la obras de arte.

Previamente a la aplicación de un tratamiento, es necesario realizar una serie de ensayos: determinación de la eficacia y determinación de posibles interferencias con el soporte.

1. Métodos mecánicos

Estos métodos se basan en la remoción física de los agentes biodeteriorantes con instrumentos manuales (bisturí, espátula, cepillo, aspirador, etc.). Son comúnmente empleados por su simplicidad, sin embargo, tienen la desventaja de no dar resultados de larga duración, puesto que resulta muy difícil obtener una eliminación completa de la estructura vegetativa o reproductiva de la especie presente, a menos que se dañe gravemente el sustrato. Los métodos mecánicos pueden resultar muy útiles sobre todo si se combinan con métodos químicos.

2. Métodos físicos

Algunos de estos métodos se basan en el empleo de radiaciones electromagnéticas de alta energía, con acción biocida o nociva para los organismos tratados.

La *radiación ultravioleta* muestra una gran actividad germicida. Este tipo de radiación se suele utilizar para la esterilización de superficies, utensilios y objetos. Tiene efecto fotoquímico, lo que ocasiona una excitación electrónica que causa la ruptura de enlaces químicos. En la madera se produce un blanqueamiento de la superficie y, en el caso de que exista policromía, una fotooxidación.

Los *rayos gamma* son radiaciones electromagnéticas que poseen una frecuencia más elevada que los ultravioleta y por tanto, mayor actividad biocida. Dependiendo de las dosis aplicadas, estas radiaciones pueden ser letales para los microorganismos (10.000 Gy) y los insectos (500 Gy). Sus principales ventajas radican en su alto poder de penetración, no producen ningún fenómeno de radiactividad secundaria, no dejan residuos en los materiales irradiados, no alteran la policromía y se pueden tratar varios objetos a la vez. Como desventaja, en el caso de tratamientos repetidos, a largo plazo se produce una disminución de la resistencia mecánica del material (R. Ramiere, 1988).

3. Métodos biológicos

Son aquellos que utilizan especies parásitas o antagonistas que actúan contra una especie específica limitando su crecimiento.

4. Métodos químicos

Biocidas

Son sustancias químicas que se utilizan para eliminar el crecimiento de especies biológicas indeseables. La acción biocida contra microorganismos se llama desinfección y contra organismos macroscópicos como insectos, se llama desinfestación.

Por otro lado, el sufijo *cida* significa eliminación total del organismo, mientras que *stático* se usa cuando simplemente se inhibe el crecimiento o se impide la multiplicación del organismo (M. Vaillant Callol y N. Valentín Rodrigo, 1996).

Los biocidas pueden ser clasificados dependiendo de:

- su naturaleza química (orgánicos e inorgánicos),
- los organismos a eliminar (bactericidas, fungicidas, algicidas, herbicidas e insecticidas),
- su modo de acción,
- y su uso o formulación.

Atmósferas controladas. Gases inertes

La aplicación de productos biocidas, como la fumigación con gases (óxido de etileno, bromuro de metilo, fosfinas, etc.), puede ocasionar graves problemas de toxicidad en las personas que los usan y alteraciones en las propiedades físico químicas de los materiales que constituyen las obras de arte.

Como tratamiento alternativo, se propone la aplicación de un gas inerte (argón o nitrógeno) en un sistema herméticamente cerrado, en cuyo interior se deposita el objeto infestado. Es necesario llevar el control de ciertos factores ambientales: temperatura, humedad relativa y concentración de oxígeno. Se han realizado investigaciones en laboratorio que indican que una atmósfera de gas inerte, aplicada a baja concentración de oxígeno, produce una anoxia completa en todas las fases del ciclo biológico de especies de insectos destructores de bienes culturales (N. Valentín, 1994).

El objetivo es eliminar por completo cualquier plaga de insectos y disminuir el desarrollo de microorganismos aerobios que se encuentren alterando el material tratado.

Estos gases no son tóxicos y son estables, por lo que no producen alteraciones físico químicas en las obras de arte.

Tratamiento de desinfección aplicado en el Cristo de los Vaqueros

El crucificado de los Vaqueros, talla en madera policromada, es obra atribuida a Francisco Antonio Gijón, contratada en el año 1667 con la Hermandad de la Virgen de Escardiel de la localidad sevillana de Castilblanco de los Arroyos. Es una talla de tamaño menor que el natural (120 cm.), representando a Cristo muerto después de recibir la lanzada.

La madera utilizada para la realización de la imagen se identificó en el laboratorio, mediante el microscopio óptico, como *Cedrela sp.*, familia : *Meliaceae*. El estado de conservación de la talla con respecto al soporte es muy deficiente, siendo uno de los principales problemas la infección por hongos xilófagos. Los hongos se detectaron inicialmente en la parte posterior del sudario, donde el soporte se hacía visible por la pérdida de los estratos de policromía existente en uno de los pliegues inferiores del mismo (ver figuras 1 y 2).

El aspecto que presentaba la madera en esta zona denotaba un fuerte deterioro, recordando su apariencia y comportamiento al de la madera quemada: color negro, falta de consistencia, falta de cohesión y por lo tanto fácilmente disgregable; todas ellas características de la acción de los hongos causantes de la pudrición de la madera. Este tipo de hongos se nutre de la celulosa y hemicelulosa, componentes junto con la lignina de la pared celular. El ataque produce consecuentemente pérdida de las propiedades físicas y mecánicas, al mismo tiempo que un oscurecimiento de la madera, al quedar como residuo la lignina y los componentes secundarios (J. A. Rodríguez Barreal).

La talla ha sufrido a lo largo de su historia varias intervenciones que la modifican formalmente. Una de ellas consiste en la aplicación de yeso que modela nuevas formas, camuflando y completando la pérdida de soporte producida por la pudrición, aunque es probable que el yeso, por absorción de humedad, haya favorecido el desarrollo de los microorganismos. La eliminación del yeso hace visible el gran estado de deterioro del soporte, ya que en general la madera ha perdido parte de sus propiedades mecánicas, incluso en aquellas zonas aparentemente no afectadas.

Para determinar el tipo de microorganismo y su capacidad de proliferación, se tomó una muestra de la zona del sudario. Se realizó un cultivo en el que se observó el crecimiento de una serie de colonias de hongos y, tras su estudio al estereomicroscopio y al microscopio óptico, se determinó el género *Alternaria* (ver figura 3).



Fig. 1 y 2



El estudio de las diferentes formas de vida que se encuentran alterando una obra de arte, es la base para la posterior selección del método más adecuado para su erradicación.

Los sistemas de desinfección por impregnación no ofrecen la garantía de llegar a operar en la totalidad del soporte afectado, por el propio sistema de aplicación y las características constitutivas de este tipo de obra. No obstante se hicieron pruebas con un biocida: cloruro de benzalconio (Preventol R.80 -Bayer,

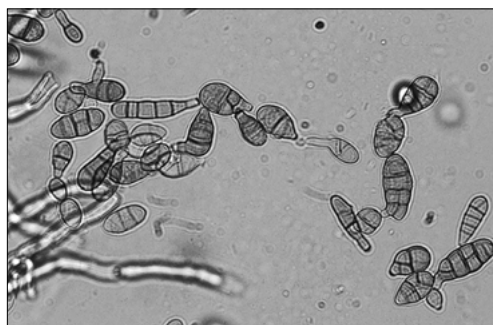


Fig. 3 y 4



Neo Desogen - Ciba Geigy), que demostraron su eficacia puntualmente, no observándose interferencias con el material constitutivo en el caso del primero, mientras que el segundo manchaba la madera. El Preventol R.80 se aplicó al 1% en alcohol etílico.

Como método concluyente se optó por la aplicación de radiaciones electromagnéticas. La talla se irradió con rayos gamma, siendo necesario para este tipo de hongos una dosis letal de 50-5.000 Gy. La radiosensibilidad de los organismos vivos es específica de cada especie. Cuanto más evolucionada sea una especie menor será la dosis letal requerida. Por otro lado el estado de desarrollo de los individuos también influ-

ye en su radioresistencia. En una misma especie, la radiosensibilidad está en función del estadio de su ciclo de vida. Por ejemplo, en el caso de los hongos las esporas son mucho más radioresistentes que el micelio (R. Ramiere, 1988).

En esta imagen el tiempo de exposición fue de 2 horas 30 minutos, el isótopo utilizado fue ^{192}Ir , con una actividad de 20 Ci y colocado a una distancia de 1 m.

Tratamiento de desinsectación con gases inertes

Al realizar el estudio del estado de conservación de una obra puede darse el caso de que esté seriamente dañada por causa de una plaga de insectos xilófagos. Esta infestación es fácilmente reconocible visualmente. Se observan orificios de salida y galerías, las cuales aparecen cubiertas de fibras de la madera (virutas), serrín y excrementos (J. D. Bletchly, 1967).

Es necesario determinar si la plaga que está afectando al soporte presenta o no actividad, lo cual se pone de manifiesto por la acumulación de polvo o serrín y por la aparición de orificios con restos frescos en primavera-verano.

Tras el estudio de este tipo de degradación es evidente la necesidad de adoptar una serie de intervenciones para evitar la extensión del ataque biológico, siendo el más idóneo el tratamiento con gases inertes.

La desinsectación de la obra se realiza depositando el objeto contaminado en una bolsa de plástico de baja permeabilidad fabricada por termo sellado, adecuándola a las dimensiones del objeto (ver figura 4). Dentro de la bolsa de plástico se deposita un termohigrómetro para controlar la humedad relativa y la temperatura durante el tratamiento. Si se trata de materiales expuestos a cierta humedad, es conveniente humidificar el gas utilizado en los tratamientos. Con esto se evitan descensos bruscos de la humedad relativa en el interior de las bolsas durante la fase de barrido.

La duración del tratamiento viene determinada por el tipo de insecto a eliminar:

Bibliografía

BLETCHLY, J. D., TD, BA, BSC, FIBIOL, FRES, FIWSC (1967). *Insect and marine borer damage to timber and woodwork. Recognition, prevention and eradication*. Her Majesty's Stationery Office, London.

CANEVA, G., M. P. NUGARI, O. SALVADORI (1994). *La Biología nel Restauro*. Nardini Editore, Firenze.

LIOTTA, GIOVANNI Y GIOVANNI LETO BARONE (1989). Metodología per la salvaguardia delle strutture lignee di interesse storico-artistico degli attachi degli insetti xilofagi. *Il restauro del legno*. Nardini editore, Firenze. Vol. 2, p.p. 215-233.

RAMIERE, R. (1988). "Les principes généraux de la désinfection par irradiation gamma. Application à la désinsectisation des objets en bois". *Patrimoine culturel et alterations biologiques*. Poitiers.

RODRÍGUEZ BARREAL, J. A. *Micosis de la madera cortada y puesta en servicio*. Fundación Conde de Salazar. E. T. S. De Ingenieros de Montes. Madrid.

UZZIELLI, LUCA (1989). Valutazione tecnologica del degrado e degli interventi di risanamento in una struttura lignea antica: l'esempio di una copertura seicentesca del Castello del Valentino, a Torino. *Il restauro del legno*. Nardini editore, Firenze. Vol. 1, p.p. 191-199.

VAILLANT CALLOL, M. Y VALENTÍN RODRIGO, N. (1996). *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro*. Ministerio de Educación y Cultura, Madrid.

VALENTÍN, N. (1994). "Comparative Analysis of Insect Control by Nitrogen, Argon and Carbon Dioxide in Museum, Archive and Herbarium Collections". *International Biodeterioration & Biodegradation* 32. Elsevier, Science Limited, England, pp. 263-278.

WAINWRIGHT, M. (1995). "Los hongos como agentes de biodegradación y biodegradación". *Introducción a la Biotecnología de los Hongos*. pp. 115-142. Acibia, S.A., Zaragoza.