

Análisis de biodeterioro. Infestaciones y su erradicación

NIEVES VALENTÍN

Unidad de Biodeterioro del IPHE

1. Introducción

Los retablos con soporte de madera son susceptibles de degradarse por numerosas especies de insectos y microorganismos que encuentran en la obra de arte un hábitat adecuado para su desarrollo. En todos los casos, el factor que incide con mayor intensidad en el mecanismo de biodeterioro es la humedad.

Un contenido de agua en la madera superior al 20%, propicia el desarrollo de bacterias, mohos, y los llamados hongos de pudrición, los cuales contribuyen a la proliferación de insectos. Los grupos de bacterias celulolíticas alcanzan una importancia considerable en los mecanismos de biodeterioro, debido a su actividad enzimática. Los hongos, son responsables de alteraciones físicas y químicas de la celulosa, a su vez producen agua metabólica, retienen humedad ambiental y en definitiva aumentan el contenido de agua del soporte. No obstante, los insectos son los que ocupan el lugar más relevante entre los agentes biodegradantes de maderas, tanto estructurales como las que han servido de soporte para la ejecución de obras de arte.

En líneas generales, la problemática relacionada con la biodegradación de retablos, se ha venido abordando de forma puntual sin contemplar las características de los edificios que las albergan y el impacto de los factores medioambientales y geográficos del área donde están ubicados. Por consiguien-

te, en numerosas ocasiones, las soluciones se han dirigido de forma parcial a subsanar el deterioro concreto de la obra de arte, sin corregir las causas que han ocasionado las alteraciones.

El presente artículo se ha centrado en la problemática más frecuente relacionada con el biodeterioro en retablos, la infestación de la obra de arte y su erradicación. Se describe una metodología que pretende establecer los riesgos de alteración en el material artístico y en el edificio. Así mismo, se contemplan técnicas y criterios de intervención.

La humedad incide directamente en la etiología y en el asentamiento de los insectos. Está relacionada con aspectos arquitectónicos y estructurales del edificio. En edificios históricos, subsanar los problemas de humedad, representa una labor compleja que requiere un estudio integral para evaluar y conocer su procedencia.

Las humedades de capilaridad en los muros son frecuentes, su presencia alarma porque son fácilmente detectables, a través de las manchas que ocasionan y de la presencia de sales. El riesgo se acentúa cuando el nivel freático del subsuelo es alto.

Las humedades de condensación han sido poco consideradas, sin embargo, pueden ocasionar graves problemas en maderas que están en contacto con materiales de diferente capacidad térmica y que se ubican en edificios con fuertes oscilaciones térmicas, ciclos día-noche y períodos estacionales.



Figura 1. Alteraciones producidas por anóbidos.

Los deterioros de la red de distribución de agua, de canalones y gárgolas suelen ser frecuentes y deficientemente reparados.

El aporte de agua de lluvia debe ser controlado por su implicación en la presencia de goteras en cubiertas, filtraciones de agua en ventanas, puertas y muros.

La temperatura contribuye a la instalación de las plagas y al desarrollo de los insectos. Los anóbidos habitualmente tienen un ciclo de vida de 1-2 años, no obstante, pueden tener hasta dos generaciones en un período de 8-14 meses, cuando colonizan madera situada en un edificio con calefacción y humedad. Las termitas se ubican en lugares donde las temperaturas no descienden de 0 °C. Además, la temperatura favorece el crecimiento de hongos que son útiles para el desarrollo de especies como el *Xestobium rufovillosum*.

La luz puede llegar a ser un factor indeseable para muchos insectos, tales como, *Lepisma saccharina*, *Thermobia doméstica* y esencialmente para las termitas, *Reticulitermes lucífugus*.

La ventilación es un factor esencial para prevenir el ataque de plagas. Estabiliza la humedad relativa ambiental, reduce el contenido de agua de la madera y evita la formación de humedades de condensación. También el tipo de madera y las características de la superficie influye considerablemente. Las superficies rugosas acumulan polvo, con huevos de insectos adheridos y conidios de hongos.

Finalmente, la falta de mantenimiento del edificio, las restauraciones inadecuadas y la limpieza escasa o nula de la obra de arte, contribuyen al deterioro y hace que incluso micromamíferos como roedores, se sumen al grupo de agentes biológicos que pueden causar daños irreparables en el Patrimonio Histórico.

2. Métodos de análisis para el diagnóstico de alteraciones de origen biológico

Un examen pormenorizado del retablo y del edificio es imprescindible para establecer un diagnóstico de bioalteraciones que nos permita diseñar un plan integrado de control de plagas. En general, deben abordarse diferentes etapas:

2.1. Examen del retablo. La toma de muestras

Inicialmente, debe realizarse un examen visual de la obra para seleccionar las zonas alteradas, y proceder al aislamiento de los insectos en cualquier fase de su ciclo biológico. Debe inspeccionarse principalmente, el reverso del retablo y la madera sin policromía ya que la presencia de componentes metálicos inhibe el desarrollo de microorganismos y plagas. Aislar ejemplares adultos,

suele ser una tarea difícil, especialmente cuando se trata de madera expuesta a temperatura, inferior a los 18 °C. A bajas temperaturas, los insectos minimizan su actividad, y las técnicas de detección de insectos en madera, basadas en emisión acústica, ultrasonidos o en mediciones de CO₂ emitido en la respiración de los insectos, no producen resultados satisfactorios.

Con frecuencia, en el caso de coleópteros, sólo es posible aislar de la madera, fragmentos de adultos, restos de larvas, o exubias. La identificación a nivel de especie tanto de esos fragmentos, como de los huevos detectados en los materiales infestados, no siempre es posible por los métodos de taxonomía clásica. Como consecuencia, es preciso recurrir a las observaciones de los daños producidos, tipos de orificios, y galerías, diámetro de los mismos y sección, circular, oval, etc., aspecto morfológico de los gránulos de serrín, morfología de los excrementos y huevos aislados, etc. El tipo de madera atacada es otro factor a considerar para estudiar la interrelación insecto-madera. El conjunto de todos estos datos, nos da una idea del tipo de plaga, pero resulta difícil identificar correctamente el insecto a nivel de especie, lo cual es necesario para analizar los mecanismos de biodeterioro y prever la eficacia del tratamiento de desinsectación.

Afortunadamente, durante los últimos años las técnicas de biología molecular aportan nuevas herramientas para identificar con extraordinaria precisión la identidad de un insecto a partir de un pequeño fragmento del mismo, cualquiera que sea la fase de su ciclo biológico.

La biología molecular permite manipulaciones genéticas. La capacidad de los insectos para atacar la celulosa, radica en la presencia de bacterias simbióticas que albergan en su intestino. Las bacterias proporcionan al insecto

to sustancias nitrogenadas que extraen de la madera y que son necesarias para su desarrollo. En este sentido, es posible la modificación de genes responsables de la producción de enzimas en las bacterias que posibilitan la digestión de la celulosa. Como consecuencia, por medio de la ingeniería genética sería factible; alterar convenientemente, el mecanismo de biodegradación de especies xilófagas, en ensayos de pesticidas y/o tratamientos no-tóxicos.

En un edificio histórico, además del retablo, es importante inspeccionar otros objetos incluyendo el mobiliario, cortinajes, alfombras, libros, lienzos, que hayan podido ser el origen, o que acentúen la extensión de la infestación.

2.2. Inspección del edificio. Trampas para la detección de insectos

La toma de muestras de insectos en el edificio tiene como objetivo conocer las vías de entrada de las especies deteriorantes y los riesgos potenciales de reinfestación una vez eliminados los insectos de la obra de arte.

En un edificio histórico, además del retablo, es importante inspeccionar otros objetos incluyendo el mobiliario, cortinajes, alfombras, libros, lienzos, que hayan podido ser el origen, o que acentúen la extensión de la infestación.

Los métodos más comunes para detección y aislamiento de insectos en estado adulto en el edificio se basan en la instalación de trampas adhesivas que atrapan insectos rastreros, básicamente. Las trampas adhesivas se han venido empleando rutinariamente en edificios con riesgo de infestación. Deben depositarse en zonas estratégicas próximas a puertas, ventanas, zonas aisladas y húmedas. Es conveniente, revisarlas con frecuencia ya que cuando se de-

posita una capa de polvo sobre la trampa, no es posible la captura. La recogida de insectos atrapados en las trampas permite la clasificación del insecto, aunque dificulta su manipulación para estudios taxonómicos completos. Por otra parte, hay que considerar que no siempre los responsables mayoritarios del biodeterioro, adultos o imagos, son atrapados por este sistema. Los insectos pueden permanecer en estado de larva, o pupa en el interior de un soporte durante largos períodos de tiempo (entre uno y ocho años), dependiendo de la especie, los nutrientes y las condiciones ambientales. En ese caso, las trampas adhesivas no son eficaces.

Las feromonas se han utilizado también para detectar insectos xilófagos. El uso de las feromonas se basa en la utilización de sustancias químicas sintetizadas en laboratorio que atraen a los machos de insectos de especies concretas. El principal problema que presentan es su alta especificidad. Aun en el caso de especies estrechamente emparentadas como *Anthrenus verbasci*, *A. flavipes* y *A. sarnicus*, las feromonas que producen tienen escaso o ningún poder de atracción cruzada (Pinninger, 1996). Su síntesis en laboratorio es difícil y costosa. La cantidad de feromona debe ir relacionada con el volumen de la sala a inspeccionar. Otra cuestión a tener en cuenta, es que los objetos artísticos se impregnan del olor de la feromona y actúan atrayendo al propio insecto deteriorante. Un problema añadido es que las feromonas sexuales sólo las produce uno de los dos sexos. En la naturaleza, normalmente, es la hembra la que las emite para atraer a los machos. Igualmente, en el caso de feromonas sintéticas, sólo acudirán a las trampas individuos del mismo sexo, machos. Por todos estos motivos, la utilización de trampas cargadas con feromonas en edificios históricos es

complicada. No obstante, pueden ayudar a localizar focos de infestación cuando se sospecha o se tiene la certeza del ataque de una determinada especie.

2.3. Insectos frecuentemente aislados en retablos españoles y en edificios históricos

En Europa, se han aislado numerosas especies de insectos implicados en el deterioro de las obras de arte. En líneas generales, se ha comprobado que existe una similitud en cuanto a las familias de insectos xilófagos. Por el contrario, en América Latina, aunque el grado de infestación y la biodiversidad es mayor, se precisa mayor información sobre la identificación taxonómica y la fisiología de las especies deteriorantes de carácter local.

Los insectos que se han detectado con mayor frecuencia en los retablos españoles ejecutados en escultura policromada, se indican en la tabla 1. También se incluyen especies aisladas en el edificio y que afectan a objetos de carácter mueble tales como, mobiliario, textiles, papel, pergamino, cueros, etc.

Los grupos pertenecientes a la familia Anobiidae se han encontrado en maderas de pino, roble, cerezo, castaño. Los Lyctidae, *Lyctus brunneus*, deterioran maderas de frondosas blandas. En la familia Cerambycidae, *Hylotrupes bajulus*, prefiere maderas de coníferas, pino y abeto. Otro cerambicido *Hesperophanes cinereus*, ataca madera de frondosas, haya, acacia, álamo, nogal, castaño. Los Dermestidae, aunque son plagas minoritarias en retablos, se pueden detectar en maderas con adhesivos de los que se nutren habitualmente. La tabla 2 muestra la susceptibilidad de diferentes maderas a ser atacadas por los grupos más representativos de xilófagos.

Las termitas subterráneas, entre ellas, la especie *Reticulitermes grassei*, suponen el mayor riesgo para los retablos y edificios de nuestra Península. Tanto *Reticulitermes grassei* como el coleóptero *Hylotrupes bajulus*, se consideran especies muy peligrosas porque atacan gravemente las estructuras de madera del edificio y las obras de arte. Durante los últimos años las plagas de *Reticulitermes grassei* se han incrementado peligrosamente afectando grandes extensiones de la costa mediterránea, cantábrica y el interior de la Península. Ciudades como Sevilla, Córdoba o Toledo, sufren de forma recurrente ataques de este tipo de insecto en sus edificios.

En retablos, las zonas más afectadas por termitas suelen ser las traseras y los elementos de madera que sirven de anclaje al muro. Con frecuencia, para subsanar este problema se recurre a la sustitución de la madera infestada, por elementos metálicos, los cuales, además de ofrecer un aspecto antiestético, pueden sufrir procesos de corrosión que acentúen el deterioro de la madera. Además, son incompatibles con la naturaleza del soporte celulósico de las obras de arte. Sin duda, la madera húmeda es el mejor reclamo para termitas.

Actualmente, los tratamientos de erradicación de termitas se basan en la aplicación de cebos con productos químicos sintetizados en laboratorio, que inhiben el crecimiento de estos insectos. Entre los productos químicos más conocidos, se encuentra el hexaflumuron que es un insecticida de efecto retardado. Las termitas como insectos sociales, viven distribuidas en castas con determinados comportamientos dentro del ecosistema que habitan, las obreras toman la madera impregnada de hexaflumuron y la distribuyen para alimentar al resto de la colonia, la cual morirá de forma progresiva.

El hexaflumuron inhibe la síntesis de la quitina que es el elemento principal del exo-

TABLA 1. INSECTOS COMÚNMENTE AISLADOS EN MATERIALES HISTÓRICOS DEPOSITADOS EN EDIFICIOS HISTÓRICOS

Orden	Familia	Especies	Materiales	
Thysanura	Lepismatidae	<i>Lepisma saccharina</i> <i>Thermobia domestica</i>	Papel Edificio	
Isoptera	Rhinotermitidae	<i>Reticulitermes lucifugus</i> *	Materiales orgánicos	
	Kalotermitidae	<i>Cryptotermes brevis</i>	Materiales orgánicos	
Psocoptera	Liposcelidae	<i>Liposcelis divinatorius</i>	Papel	
Coleoptera	Anobiidae	<i>Anobium punctatum</i> <i>Ernobius mollis</i> <i>Lasioderma serricorne</i> <i>Nicobium castaneum</i> <i>Oligomerus ptilenoides</i> <i>Stegobium paniceum</i> <i>Xestobium rufovillosum</i>	Madera estructural Objetos en madera Papel, textiles	
		Cerambycidae	<i>Hylotrupes bajulus</i>	Madera estructural Objetos en madera
		Lyctidae	<i>Lyctus brunneus</i>	Madera, papel
		Dermestidae	<i>Anthrenus coloratus</i> <i>Anthrenus flavipes</i> <i>Anthrenus verbaci</i> <i>Attagenus brunneus</i> <i>Attagenus pelli</i> <i>Dermestes lardarius</i> <i>Trogoderma angustum</i>	Lana, Pergaminos Cueros Madera con adhesivos
		Ptinidae	<i>Mezium affine</i> <i>Ptinus fur</i>	Papel Objetos con hongos
		Tenebrionidae	<i>Tribolium castaneum</i>	Textiles
Lepidoptera	Tideidae	<i>Tinea pellionella</i> <i>Tinneola bisselliella</i>	Textiles Edificio	

* En España, *Reticulitermes grassei*, según análisis de ADN.

esqueleto del insecto. De este modo, cuando el insecto realiza las mudas no tienen posibilidad de fabricar una nueva cutícula, no se forma el esqueleto del adulto y, por consiguiente se interrumpe la fecundación y la puesta de huevos, desapareciendo la colonia.

En principio, para detectar la presencia de la plaga se usan muestras de pasta de celulosa humedecida con agua. Este material, se sitúa sobre puertas, ventanas y zócalos para atraer a los insectos. Las zonas bajas y las altas del edificio son particularmente sensibles debido a la posible incidencia de las humedades de

TABLA 2. SUSCEPTIBILIDAD DE LAS MADERAS A DIFERENTES TIPOS DE INFESTACIÓN

Madera	Anobiidae	Cerambycidae	Lictidae	Rhinotermitidae
Abeto	S	S	R	S
Castaño	S	S	S	S
Cerezo	S	S	R	S
Chopo	S	S	MS	S
Ciprés	MS	S	R	S
Encina	S	S	S	S
Fresno	S	S	R	S
Haya	R	S	MS	S
Nogal	S	S	S	S
Olmo	S	S	S	S
Peral	S	S	S	S
Pino	S	S	R	S
Roble	S	S	MS	S
Tilo	S	S	MS	S

S = Susceptible.

MS = Moderadamente susceptible.

R = Resistente.

Figura 2. Deterioros producidos por termitas *Reticulitermes*.

capilaridad a partir del suelo y de las cubiertas respectivamente. Posteriormente, cuando se han localizado las vías de entrada de los insectos se sustituye la pasta de celulosa por muestras de madera impregnadas en hexaflumuron como cebo. Las probetas de madera tratadas, también pueden enterrarse formando un cinturón perimetral en torno al edificio. Periódicamente, se revisan las muestras usadas como cebos para observar si han sido comidos por los insectos, realizándose un mapeo que muestre las vías de acceso de las termitas. El control de la efectividad del tratamiento debe hacerse regularmente durante un período mínimo de 3 a 5 años.

Otro método de detección consiste en la aplicación de diferentes sensores sobre la obra de arte, que detectan las vibraciones producidas por los insectos. Las señales son amplificadas y recogidas en un ordenador cuyo programa informático permite estimar el seguimiento del ataque de la plaga.

3. Eliminación de insectos por métodos no tóxicos

En retablos, se han venido utilizando durante décadas, tratamientos de desinsectación con productos químicos tóxicos tales como organoclorados, lindano, organofosfatados. Se ha comprobado, que estos productos producen generalmente, alteraciones de las propiedades físico-químicas de los materiales históricos. También pueden producir alteraciones en la salud de las personas que los aplican y de los profesionales relacionados con el Patrimonio Histórico, por lo que muchos de ellos han sido prohibidos.

Como alternativa, se vienen empleando procedimientos no tóxicos que incluyen atmósferas transformadas y choques térmicos. Las metodologías de aplicación se basan en



Anóbido adulto.



Larva de anóbido.



Dermestido adulto.



Larva de dermestido.



Lictido adulto.



Larva de lictido.



Cerambycido.

Madera infestada por *Hyloterpes*.

investigaciones pluridisciplinares que muestran la mortalidad de las principales especies de xilófagos cuando se someten a la acción combinada de temperatura, humedad relativa, concentración de oxígeno y tiempo de exposición. Paralelamente, algunos autores han puesto en marcha tratamientos de erradicación de insectos empleando exclusivamente choques térmicos, con altas o bajas temperaturas.

En todos los casos, se han encontrado especies resistentes tanto a cambios térmicos como a atmósferas con bajo contenido en oxígeno, lo que indica que es necesario investigar la fisiología de especies tolerantes en mayor profundidad para seleccionar los parámetros que optimicen su eliminación.

Atmósferas con bajo contenido en oxígeno

Para la desinsectación de objetos históricos se procede a su instalación en el interior de una burbuja de plástico de baja permea-

bilidad al oxígeno. Posteriormente, se reemplaza el aire del interior de la burbuja por un gas inerte, nitrógeno, hasta que la concentración de oxígeno desciende a niveles inferiores al 0,1-0,2%. La temperatura, humedad relativa y la concentración deben ser controladas durante todo el tratamiento.

Los análisis previos de laboratorio, han mostrado que existen coleópteros tales como *Hyloterpes bajulus*, *Lasioderma serricorne* y *Anthrenus verbasci* que son altamente tolerantes a concentraciones muy bajas de oxígeno. Esa tolerancia se ve favorecida por una alta humedad relativa. La tabla 3 muestra las condiciones que se han aplicado para eliminar poblaciones de insectos en bienes culturales.

El nitrógeno se encuentra fácilmente disponible en industrias de gases industriales. Para la desinsectación de objetos históricos, se han venido utilizando botellas o cilindros de nitrógeno que son difíciles de manipular, debido a su tamaño y peso. Los tratamien-

Figura 3. Insectos identificados con mayor frecuencia en retablos.

TABLA 3. CONDICIONES AMBIENTALES Y CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO PARA ALCANZAR UNA MORTALIDAD COMPLETA EN DIFERENTES ESPECIES

Insectos	Temperatura (°C)	HR (%)	O ₂ (%)	Tiempo (días)		
<i>Hylotrupes</i>	20	35-60	0,03	24		
	25	35-60		14		
	20	60-80		40		
	25	60-80		30		
<i>Anobium</i> <i>Lasioderma</i> <i>Lyctus</i> <i>Nicobium</i> <i>Oligomerus</i> <i>Stegobium</i> <i>Xestobium</i> <i>Anthrenus</i> <i>Attagenus</i>	20	35-60	0,05	20		
	25	35-60		15		
	20	60-80		30		
	25	60-80		15		
	<i>Cryptotermes</i>	20		35-60	0,2	15
		25		35-60		10
		20		60-80		25
		25		60-80		18

tos en burbujas de tamaño superior a 4 m³, que se construyen para obras de gran formato, requieren muchas botellas de nitrógeno. Este proceso es costoso y requiere que se desmonte el retablo.

El nitrógeno puede suministrarse también en tanques de nitrógeno líquido de diferente capacidad. El nitrógeno líquido se gasifica para obtener nitrógeno gas de alta pureza: 99,999%. Los contenedores de nitrógeno líquido son difíciles de manejar *in situ* debido a su peso elevado y a su tamaño. No obstante, proporcionan grandes caudales y su coste es reducido.

Generadores de nitrógeno.

El equipo Veloxy®

Los generadores industriales de nitrógeno pueden trabajar en flujo continuo durante todo el tratamiento. Sin embargo, la princi-

pal limitación es su caudal de flujo que es inversamente proporcional a la pureza del gas.

El equipo Veloxy® cubre el vacío que existe en los equipos de desinsectación para obras históricas. Produce un caudal significativo y alta pureza inferior al 0,2%. El aparato permite la separación de nitrógeno de los otros componentes del aire por medio de un complejo sistema de membranas de fibras poliméricas. Veloxy® va acoplado a un compresor de aire que proporciona aire presurizado. De este modo, el oxígeno y los componentes minoritarios del aire son filtrados a través de las paredes de las fibras produciendo un flujo de nitrógeno de alta pureza. El equipo ha sido validado en un proyecto, Save Art, financiado por la Comisión Europea (ENV4-CT98-0711) para desinsectación de muebles, escultura policromada, libros, colecciones de historia natural y colecciones de gran formato.

Ventajas

- Es de fácil uso.
- Es seguro para los profesionales relacionados con los bienes culturales, para el medio ambiente y para el público en general.
- El coste por tratamiento se reduce considerablemente, excluyendo el coste inicial del equipo.
- Trabaja en flujo continuo, por lo que se puede aplicar para desinsectar objetos de gran formato.
- Al ser transportable se puede utilizar para tratamientos *in situ* evitándose riesgos de deterioros por el transporte.

Desventajas

- El compresor puede ser ruidoso.
- El mantenimiento de Veloxy® y del compresor debe ser controlado.

Para diseñar un tratamiento de desinsectación es preciso:



Figura 4. Tratamientos de desinsectación de grandes formatos utilizando gases inertes.

- a) Identificar el tipo de insecto.
- b) Establecer el tiempo mínimo de exposición en función de:

- Tamaño de la pieza.
- Tipo de insecto.
- Características estructurales y técnica artística del material infestado.
- Temperatura.
- Humedad relativa.

En el caso de objetos de gran formato, debe procederse al encapsulado de la obra de la forma más hermética posible. Para ello, se emplean plásticos de barrera de baja permeabilidad al oxígeno u otros materiales que consigan un aislamiento del medio ambiente.

Cuando, los objetos quedan encapsulados en burbujas de grandes dimensiones, se recomiendan fuentes alternativas de nitrógeno, tales como tanques de nitrógeno líquido que proporcionen inicialmente grandes caudales de gas para la bajada inicial de oxígeno. Posteriormente, se puede aplicar un flujo menor y continuo de nitrógeno suministrado con

generador durante un período apropiado según el tipo de insecto y las condiciones de temperatura, humedad y la naturaleza de la madera de la obra. Los tratamientos de retablos deben ser siempre dinámicos.

En líneas generales, las condiciones de desinsectación se pueden circunscribir a las siguientes orientaciones:

- Temperatura en un rango: 23-25 °C.
- Humedad relativa en un rango: 50-60%.
- Concentración de oxígeno: 0-0,1%.
- Tiempo de exposición: de 4 a 8 semanas dependiendo del tipo de insecto y tamaño de la obra.

En las desinsectaciones realizadas con Veloxo® no se ha observado un decrecimiento de la humedad relativa en el interior de la burbuja tan acusado como en el caso del nitrógeno gas, procedente de las botellas, rangos o tanques de nitrógeno líquido. Ello es debido a que el nitrógeno proporcionado por el equipo, procede del aire tomado por el compresor. El aire posee un determinado

porcentaje de humedad considerablemente más elevado que el que tiene el nitrógeno suministrado por tanques de nitrógeno y que puede oscilar entre 1 y 5%. El efecto de la anoxia y la eficacia del tratamiento pueden incrementarse utilizando una humedad relativa baja en un rango de 45-60%, temperatura de 23-25 °C. Estas condiciones favorecen la desecación de los insectos.

Tratamientos por choque térmico

Existen diferentes procedimientos para la eliminación de insectos por medio de choques térmicos. Para ello, se someten las piezas artísticas a altas o bajas temperaturas durante un tiempo corto de exposición. En el caso de aplicaciones con bajas temperaturas, las piezas se someten a un rango que puede variar entre -10 y -30 °C.

El efecto de la temperatura depende del tiempo de exposición, del tipo de insecto y de la fase del ciclo de vida del insecto. En el caso de los materiales históricos, la mayoría de las especies pueden erradicarse cuando se someten a una temperatura entre 0 y -34 °C durante 12 horas y 5 días. En el caso de las termitas se requieren -34 °C; los anóbidos precisan -30 °C y -25 °C para los dermestidos.

En el caso de tratamientos con altas temperaturas, los objetos infestados se exponen a 50-60 °C durante un máximo de 24 horas. Obviamente, estas temperaturas pueden producir contracciones y dilataciones indeseables, especialmente en objetos fabricados con materiales de distinta naturaleza. No obstante, se ha observado que, en casos de graves emergencias, estos procedimientos pueden ser útiles y económicos para eliminar un caso de infestación severa. Los objetos siempre deben ser encapsulados en una bolsa de plástico para evitar el efecto de pérdida del contenido de agua, de la madera por efecto de la tempera-

tura. Las proteínas, tanto de los insectos como de los materiales pueden degradarse a partir de 55 °C. En estas condiciones se ha comprobado que la temperatura en un rango de 50 a 75 °C tiene un efecto letal durante un tiempo corto de exposición. Los anóbidos pueden ser eliminados a 50 °C durante 12 horas.

Hasta el presente, la eficacia y viabilidad de los tratamientos por choque térmico para desinsectación de retablos es cuestionable.

Resumen. Pautas y criterios

Todo tratamiento de desinsectación debe enmarcarse en un plan integral de control de plagas que contemple:

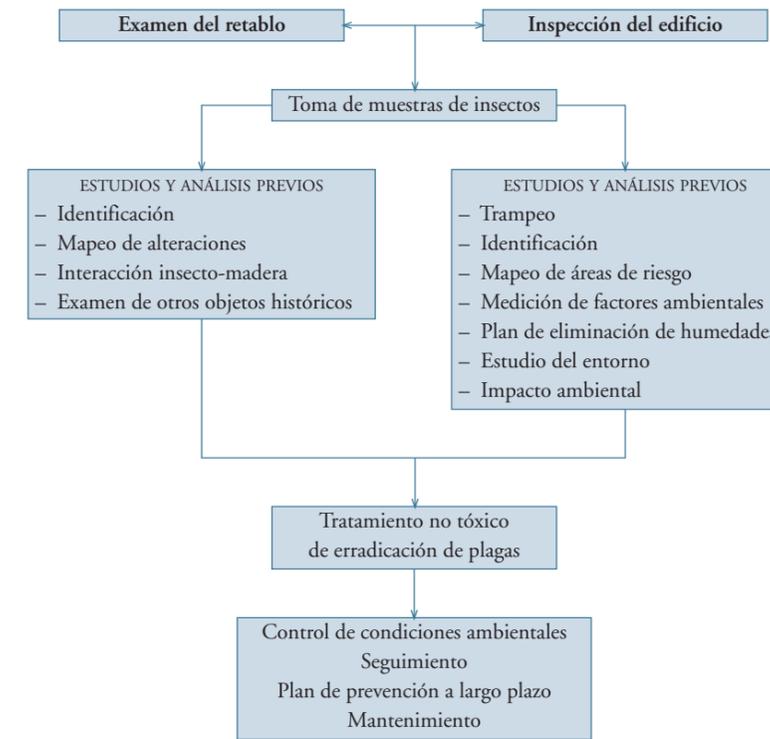
En el retablo

- Identificación de los agentes destructores del material artístico. Mapeo de daños.
- Diagnóstico y evaluación de las causas que han producido los deterioros.
- Incidencia de la humedad en la conservación de los materiales que componen la obra.
- Diseño de un tratamiento no tóxico y no destructivo para desinsectar el retablo, a ser posible, sin desmontar.
- Eliminación de plantas y flores ornamentales.
- Efectuar un seguimiento de la obra desinfestada.

En el edificio

- Análisis del medio ambiente. Mediciones básicas de temperatura, humedad relativa, iluminación, ventilación, evaluación de contaminantes químicos y biológicos. Calidad del aire.
- Identificación de las plagas que afectan al edificio. Mapeo que incluya vías de entrada y riesgos potenciales de reinfestaciones.

GRÁFICO 1. SÍNTESIS DE ACTUACIONES



- Identificación y diagnóstico de las alteraciones en otros objetos; mobiliario, libros, alfombras, tapices, lienzos...
- Establecer los medios eficaces para detener los riesgos e infestaciones de los objetos en función del coste, disponibilidad de medios y de profesionales.
- Eliminación de fuentes de humedad:
 - Facilitar la ventilación.
 - Drenar el agua.
- Sustitución de madera sin valor histórico, húmeda e infestada por materiales compatibles, resistentes al ataque de plagas y estéticamente apropiados.
- Consolidación de la madera.
- Examen del entorno del edificio. Incidencia del paisaje y de zonas ajardinadas próximas al edificio.
- Establecer un plan de prevención de riesgos a largo plazo con inspecciones periódicas.

- Proceder a la limpieza utilizando siempre aspiración evitando vías húmedas.
- El mantenimiento y esencialmente la limpieza de los edificios es uno de los trabajos prioritarios dentro de la prevención. Es imprescindible garantizar los parámetros adecuados de temperatura, humedad y ventilación.

Actualmente, disponemos de nuevas tecnologías que nos permiten realizar con precisión diagnósticos de alteraciones y diseñar soluciones altamente eficaces. No obstante, debe tenerse en cuenta que la Conservación del Patrimonio Histórico, requiere un enfoque multidisciplinar con actuaciones rigurosamente coordinadas. Paralelamente, representa un compromiso que vincula a profesionales, políticos, en muchos casos autoridades eclesíásticas, educadores y público en general.

Bibliografía

- FLORIAN, M-L. E. (1994): *Heritage Eaters. Insects and Fungi in Heritage Collections*. Londres, James & James.
- HANLON, G.; DANIEL, V.; RAVENEL, N., y MAEKAWA, S. (1992): *Dynamic system for nitrogen anoxia of a large museum objects: A pest eradication case study in biodeterioration of cultural properties*, Proceedings of the 2nd International Conference on Biodeterioration of Cultural Properties. Yokohama, ICBCP, págs. 387-396.
- KOESTLER, R. J., y MATHEWS, T. (1994): «Application of anoxic treatment for insect control in manuscripts of the library of Megistri Laura, Mount Athos, Greece», en *Actes des Deuxièmes Journées International d'Etudes de l'ARSAG*. París, ARSAG, págs. 59-62.
- MAEKAWA, S., y ELER, K. (1996): *Large-scale disinfection of museum objects using nitrogen anoxia*, 11th Triennial Meeting. Preprints of ICOM Committee for Conservation. París, ICOM, págs. 1-6.
- MICHALSKI, S. (1993): *Relative humidity: a discussion of correct/incorrect values*, 10th Triennial Meeting. Preprints of ICOM Committee for Conservation. París, ICOM, págs. 624-629.
- REICHMUNTH, C.; UNGER, W.; BLASUM, H.; PIENING, P. RONDE-HENR, y PLARRE, H. (1993): *Nitrogen flow fumigation for the preservation of wood, textiles and other organic materials from insect damage*, International Conference on Controlled Atmospheres and Fumigation in Grain Store. Winnipeg, 21-26 de junio de 1992. Jerusalén, Caspit Press, págs. 121-128.
- RUST, M. K.; DANIEL, V.; DRUZIK, J., y PREUSSER, F. (1996): «The feasibility of using modified atmospheres to control insect pests in museums», en *Restaurator*, 17, págs. 43-60.
- SELWITZ, C., y MAEKAWA, S. (1998): «Inert gases in the control of museum insect pest», en *Research in Conservation*. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute, págs. 50-55.
- STRANG, T. J. K. (1992): «A review of published temperatures for the control of pest insects in museums», en *Collection Forum*, 8, págs. 41-67.
- STRANG, T. (1995): *The effect of thermal methods of pest control on museum collections*, Preprints of 3rd International Conference on Biodeterioration of Cultural Properties. Bangkok, ICBCP, págs. 199-212.
- UNGER, A.; UNGER, W., y REICHMUNTH, C. (1992): The fumigation of insect-infested wood sculptures and paintings with nitrogen. in *biodeterioration of cultural properties*, Proceedings of the 2nd International Conference on Biodeterioration of Cultural Properties. Yokohama, ICBCP, págs. 440-446.
- VALENTÍN, N. & PREUSSER, F. (1990): «Insect control by inert gases in museum, archives and libraries», en *Restaurator*, 11, págs. 22-33.
- VALENTÍN, N. (1993): «Comparative analysis of insect control by nitrogen, argon and carbon dioxide in archive and museum collections», en *Int Biodeter Biodegr*, 32, págs. 263-278.
- VALENTÍN, N.; BERGH, J. E.; ORTEGA, R.; ÅKERLUND, M.; HALLSTRÖM, A., y JONSSON, K. (2002): *Evaluation of a portable equipment for large scale de-infestation in museum collections using a low oxygen environment*, 13th Triennial Meeting. Preprints of ICOM Committee for Conservation, 1. París, ICOM, págs. 96-101.