

BIODETERIORO DE LOS MATERIALES DE ARCHIVOS Y MUSEOS. CONSERVACIÓN Y PREVENCIÓN

Nieves Valentin. Instituto Cultural de España

INTRODUCCION

La contaminación microbiológica en libros y documentos puede representar un grave problema que afecta tanto a la conservación del soporte, como a la calidad del aire del archivo o biblioteca donde estos bienes culturales se encuentren ubicados.

Con frecuencia, los edificios que albergan colecciones de libros o fondos documentales, poseen instalaciones cuyas condiciones ambientales son inadecuadas, a ello suele añadirse un escaso o incorrecto mantenimiento. El resultado conlleva la proliferación de microorganismos y de insectos. En todos los casos, los dos factores primordiales que desencadenan el desarrollo de los agentes biológicos están relacionados con la humedad y la falta de ventilación.

Es conocido que la humedad relativa en combinación con parámetro temperatura, es uno de los factores más peligrosos en la conservación del Patrimonio Histórico. La medición de ambos factores son ya una práctica rutinaria en muchas instituciones que albergan bienes culturales. No obstante, existe otro agente, la ventilación, que aún teniendo una incidencia decisiva en la prevención del biodeterioro, ha sido un aspecto poco investigado y poco controlado, tanto en edificios históricos como en los de nueva creación. Durante los últimos años, este problema de climatización se ha tratado de corregir con la implantación sistemática del aire acondicionado.

En principio, los equipos de aire acondicionado estaban destinados a proteger los bienes culturales de los agentes contaminantes químicos y biológicos. Su objetivo era reducir el impacto las condiciones ambientales desfavorables sobre los materiales históricos y en gran medida contribuir al confort de las personas. No obstante, en la práctica, se viene constatando, que la implantación del aire acondicionado puede llevar asociado efectos adversos que deben ser controlados.

Entre los problemas que se plantean se incluye, un inadecuado mantenimiento, debido tanto a falta de personal como al escaso presupuesto. El aire acondicionado suele

representar un coste elevado para muchas instituciones. También puede producir efectos nocivos en la salud de algunos trabajadores y alteraciones en las propiedades físico - químicas de los materiales, especialmente, cuando el flujo de aire que se obtiene es excesivo o insuficiente, y/o cuando solo se usa durante los periodos de actividad laboral.

Tanto la ausencia de ventilación en una sala o depósito, como una climatización inadecuada puede ocasionar la multiplicación de hongos y bacterias que degradan los materiales históricos. También supone un riesgo potencial de infecciones para las personas relacionadas con el cuidado o el uso de estos bienes.

Durante los últimos años, se ha tratado de explorar sistemas de ventilación, sencillos, económicos y de fácil aplicación en depósitos o almacenes expuestos a alta humedad y moderada temperatura. Los equipos mas eficaces estaban basados en el uso de ventiladores con sensores de temperatura y humedad. Su objetivo consistía en evitar fluctuaciones significativas de los parámetros ambientales producidas a corto plazo. Además se trataba de decrecer el desarrollo de microorganismos tanto en el aire como en los objetos.

Se ha observado, que para decrecer de forma significativa el grado de contaminación por hongos y por bacterias, es preciso determinar el número mínimo de renovaciones de aire en la sala o depósito. Ello depende del volumen y del flujo de aire que exista en dicho recinto.

El análisis microbiológico del aire es fundamental para establecer el riesgo potencial que existe para la salud de las personas y para la conservación de las colecciones. En este caso, los microorganismos pueden ser utilizados como bioindicadores de la situación de riesgo de las condiciones ambientales.

También debe considerarse, que con frecuencia, el desarrollo de hongos en materiales históricos, lleva asociado la presencia de diferentes familias de insectos que los utilizan como nutrientes.

La erradicación de los agentes biológicos siempre vincula al edificio, a las colecciones de libros o fondos documentales y requiere un plan de mantenimiento integral a largo plazo.

LA CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

Es evidente, que los hongos y bacterias están siempre presentes en el aire. No obstante, demos tener en cuenta que los niveles de riesgo de actividad y multiplicación, vienen determinados, por el contenido de humedad de los materiales, la humedad relativa, la temperatura del ambiente y la renovación del aire en un almacén, sala o depósito. Un fenómeno aislado no implica necesariamente un riesgo de contaminación. Por el contrario, para que el biodeterioro de un material se active, deben conjugarse diferentes factores que actúan de forma combinada.

Una renovación de aire adecuada en una sala con una alta humedad relativa 70-75%, puede mantener los objetos históricos libres de biodeterioro. Por el contrario la ausencia de ventilación y una humedad relativa ambiental de 55-60% puede favorecer el desarrollo de hongos y bacterias en materiales higroscópicos y con presencia de polvo. Paradójicamente, se ha comprobado que el aire acondicionado puede permitir el desarrollo de micelios fúngicos en las propias rejillas de salida de aire. Ello es debido a la producción de condensaciones frías. Asimismo, puede servir de distribución de contaminantes microbianos en las dependencias de un edificio, produciendo alteraciones en los materiales y en la salud de las personas.

Para la eliminación de hongos y bacterias, se ha venido recurriendo al uso de productos químicos fungicidas y bactericidas aplicados por imprimación, baño o por gas en cámaras de fumigación. Se ha publicado en numerosos trabajos que los biocidas producen en mayor o menor grado, cambios en las propiedades físico-químicas de los soportes y son agentes capaces de ocasionar graves problemas de salud y del medio ambiente. Como consecuencia, se ha tratado de minimizar el uso de productos químicos tóxicos y se han potenciado el desarrollo de sistemas que controlan o modifican el medio ambiente, con la finalidad de establecer un ecosistema que induzca la supresión de la multiplicación celular y de la actividad microbiana.

Métodos de erradicación de microorganismos con productos químicos tóxicos.

Dentro de los métodos de desinfección de bienes culturales, se han aplicado numerosos procedimientos. A continuación se indican algunos de los productos usados con mayor frecuencia.

Timol. Es el producto mas accesible que se ha venido utilizando habitualmente en forma cristalina como sólido sublimable. Diversos estudios indican que no elimina las esporas de hongos ni las células bacterianas. Puede ocasionar alergias e irritación en las vías respiratorias. Se le atribuyen efectos cancerígenos.

Otros químicos como el ortofenilfenol (OFF), tienen un amplio espectro como fungicida y bactericida. El OFF se ha utilizado ampliamente como biocida aplicado a bienes culturales. También se ha incorporado a productos de restauración, adhesivos sintéticos y colas animales. Puede despolimerizar algunos adhesivos. Deteriora los textiles y el papel produciendo cambios de color y envejecimiento de los materiales. No obstante, su toxicidad es menor que la de otros fungicidas incluyendo el pentaclorofenol. Es soluble en etanol. La sal sódica del ortofenilfenol es soluble en agua y presenta mayor grado de toxicidad que el ortofenilfenol.

El formaldehído. Se ha aplicado frecuentemente por nebulización, tiene un poder de penetración escaso. Tiene un efecto fungicida limitado y no tiene eficacia como insecticida. Es un buen fijativo del material celular, por ello se considera muy tóxico. Tiene efectos cancerígenos. Los tratamientos con formaldehído se aplican a alta humedad relativa para impedir que se polimerice y que pueda precipitar sobre los materiales tratados formando un depósito blanco. Un producto similar, el paraformaldhehido es un sólido sublimable utilizado como desinfectante. Se comercializa en pastillas de 1 gramo y se utilizan 3-5 gr/m³ aplicados en bolsas de plástico herméticamente cerradas y expuestas a una temperatura de 25°C aproximadamente. Con ello se favorece la sublimación. Tiene un factor de riesgo de toxicidad similar al del formaldehído. Los materiales proteicos tratados con formaldehído pierden flexibilidad. Por ello, nunca deben emplearse como desinfectante de pergaminos, cueros, pieles y sedas. Incrementa el proceso de corrosión de las tintas ferrogálicas, ya que es un corrosivo enérgico de los metales.

El pentaclorofenol, ha sido muy utilizado como fungicida de libros, textiles madera etc. Se ha observado que ataca a los metales y consecuentemente a los pigmentos. Degrada la celulosa del papel y de la madera. Es altamente tóxico por inhalación y por contacto con la piel, por lo que no está registrado como fungicida en muchos países.

El oxido de etileno. Ha sido el fumigante mas utilizado. Produce riesgos de alteración de los soportes. Puede reaccionar con los grupos sulfidrilos, de las

proteínas, y con los carbonilos e hidroxilos de las celulosas, ocasionando alteraciones de las estructuras de los polímeros. También reacciona con compuestos metálicos, especialmente con el cobre. Actualmente no se emplea debido a su alta toxicidad. Tiene efectos cancerígenos.

Etanol. Se ha comprobado que una disolución de etanol al 70% en agua destilada, actúa como fungicida de muchos hongos celulósicos y proteicos. El etanol elimina los mohos por deshidratación. El carácter fungicida del producto es menor cuando se aplica etanol absoluto al 100%. Su efecto como bactericida no es muy amplio, por ello para aumentar su eficacia como microbicida y en caso de soportes peligrosamente contaminados, suele recomendarse preparar una disolución de etanol al 70% a la que se le incorpora 0.1% de ortofenilfenol. Este preparado se aplica por imprimación, pulverización o baño. Se considera el tratamiento más efectivo y moderadamente tóxico de los químicos expuestos.

Existen tratamientos de desinfección que utilizan antibióticos (estreptomicina, actinomicina etc) y/o enzimas (lisozima, tripsina, etc.). Su mayor ventaja es que no son tóxicos. Su mayor inconveniente es que tienen un espectro de acción muy pequeño, por lo que existen numerosas especies microbianas que no son eliminadas por estos productos. Son costosos.

La ventilación como procedimiento no tóxico de control.

Para paliar los problemas de alteración química de los soportes y de toxicidad, se viene recurriendo a la instalación de sistemas de ventilación mecánica destinados al control de las condiciones ambientales. Con ello, se pretende evitar fluctuaciones significativas de los parámetros de temperatura y humedad relativa, causantes de la multiplicación de hongos y bacterias. Asimismo, se consigue decrecer el contenido de agua de los soportes que facilitan la multiplicación celular de agentes biodegradantes. El resultado es la parada y el descenso de contaminantes microbianos tanto por metro cúbico de aire como por cm^2 de superficie de un objeto.

Este procedimiento puede extrapolarse al ámbito de la descontaminación de materiales históricos, si se combina con un adecuado sistema de limpieza. Este procedimiento puede adaptarse para ser aplicado en caso de desastres como inundaciones, o daños puntuales ocasionados por goteras o filtraciones en el edificio.

La infestación de los bienes culturales.

Las plagas como agentes destructores de los materiales históricos, representa un problema complejo de erradicar que implica un examen pormenorizado del edificio y de su entorno.

Los insectos que afectan con mayor intensidad a los archivos y bibliotecas, se incluyen dentro de los grupos de Coleópteros (las familias *Anobiidae*, *Dermestidae*, *Lyctidae*, son las llamadas carcomas), Lepidopteros (familia *Tineidae*, polillas) y los Isopteros, termitas. Con relación a los coleópteros, anobidos y lictidos y dermestidos, el mayor peligro lo representan las larvas, los adultos se alimentan de polen, de néctar o puede que no se alimenten durante su vida.

En el grupo de los anobidos, los orificios por los que emerge el adulto, en el caso de *Anobium punctatum* tienen un diámetro de 1-2 mm. Los *Xestobium rufovillosum* producen orificios de salida mayores, con tamaños comprendidos entre los 3-5 mm de diámetro. Las galerías se encuentran rellenas de serrín y restos de excrementos, que en el caso de *A. punctatum* tienen forma de huso alargado y en el caso de *X. rufovillosum* tienen forma lenticular. Debajo de los agujeros de emersión aparecen acumulaciones de serrín. Las especies de *Xestobium* y *Anobium* producen serrín con tacto granuloso.

La familia *Dermestidae*. presenta una o varias generaciones al año, aunque si las condiciones son buenas, se suceden las generaciones continuamente. Destruyen aquellos bienes culturales que contengan materiales de naturaleza proteica, esencialmente sedas, cueros, pergaminos, adhesivos utilizados en la restauración, colecciones naturales, etc.

Los lictidos son coleópteros de tamaño comprendido entre los 2 y los 5 mm, de forma alargada y aplanada. Pueden presentar un color pardo, pardo rojizo. A veces la cabeza puede tener distinto color que los élitros. Las antenas, que se insertan entre los ojos, son alargadas, con una maza terminal.

Las polillas mas comunes corresponden a la Familia *Tineidae*. Son mariposas con las alas lanceoladas y las posteriores presentan una franja ancha de flecos. La larva se desarrolla dentro de un estuche de seda que lleva siempre consigo en sus desplazamientos y que oculta pegando excrementos y pequeños trozos del sustrato. Viven sobre sustancias vegetales o animales y pueden llegar a ocasionar

daños considerables. Estos consisten en orificios irregulares de 1-2 mm de diámetro.

Dentro de las termitas la familia Rhinotermitidae (termitas subterráneas) son las más frecuentes en nuestra península. Construyen sus nidos principales en la tierra, o en la madera húmeda en contacto con la tierra. La luz les perjudica mucho debido a su falta de pigmentación. Por todo ello, se ocultan en el interior de túneles que construyen, por los que se trasladan fácilmente y donde conservan su humedad manteniéndose ocultas de la luz. Solo el rey y la reina poseen alas para desplazarse durante el vuelo nupcial. Están pigmentados para protegerse de la luz. Las obreras y soldados no tienen alas, ni están pigmentados a excepción de la cabeza de los soldados que necesitan salir de los nidos para defender las colonias. Destruyen todo tipo de material orgánico, especialmente, si está húmedo y contaminado por microorganismos. Una humedad baja contribuye a disminuir sensiblemente la colonización de un soporte por termitas.

Para su eliminación, se usan productos inhibidores del desarrollo de estos insectos, por ejemplo el hexaflumuron, no es tóxico para las personas y tiene un efecto retardado. Se prepara en forma de cebo, el cual es consumido por las termitas obreras. Mediante el intercambio de alimentos, toda la colonia acaba siendo eliminada. El hexaflumuron, inhibe la síntesis de la quitina. De este modo, cuando la termita muda, la nueva cutícula no se forma y sin esta piel que le sirve a la vez de esqueleto el insecto no puede vivir.

Los termitas de la madera seca, *Cryptotermes brevis*, tienen los nidos principales en el propio edificio y llegan a las salas a través de la madera de los muebles o de los túneles construidos a lo largo de las paredes. Son muy frecuentes en el área del Caribe y en las costas de California. En España solo se ha descrito en las Islas Canarias.

Los métodos utilizados en la lucha contra los insectos que deterioran los bienes culturales son, en muchos casos, sistemas en los que se utilizan sustancias tóxicas. Éstas se vienen utilizando desde hace mucho tiempo. Plinio en el año 52 a. C., sugería el uso de productos sulfurosos para tratar casas infestadas por piojos.

Los tratamientos que se han venido utilizando con mayor frecuencia en el ámbito de la desinsectación de las colecciones históricas y que incluyen diferentes métodos.

Desinsectación con productos tóxicos

Existen en el mercado muchos productos químicos que eliminan los insectos por su toxicidad. No obstante, muchas de estas sustancias pueden reaccionar con los materiales de los objetos tratados pudiendo variar sus propiedades físico-químicas, producir cambios en pigmentos y tintes, corrosiones y manchas, entre otras muchas alteraciones. Estas alteraciones pueden ser ocasionadas por el propio producto, o por el disolvente o por la mezcla de los dos.

También debe considerarse, que las piezas tratadas pueden absorber o quedar impregnadas de residuos del producto, lo que hace peligrosa su manipulación sin una limpieza o aireación previa, que en algunos casos puede ser muy larga, especialmente cuando se trata de libros o legajos que son muy absorbentes. Se ha descrito que materiales tratados hace tiempo con naftaleno y diclorodifeniltricloroetano (DDT), han dado problemas de salud muchos años después.

Bendiocarbano. (Ficam). Su fórmula es 2,2-dimetil-1,3-benzodioxol-4-il metilcarbamato. Presenta problemas derivados de su uso con agua a causa de sus productos de hidrólisis, la metilamina es muy inflamable y un gran disolvente de sustancias orgánicas. En dos tintes rojo disperso se producen ligeras decoloraciones

Bromuro de metilo. (Bromometano. Met-o-gas. Terr-o-gas, Maltox). Afecta a materiales tratados o que contengan azufre (goma, piel, pelo, pluma, cuero, lana, rayón de viscosa, papel, papel fotográfico, etc.), altera algunos pigmentos japoneses en polvo, metales y pigmentos de plomo. Manchas marrones en la madera. Su utilización debe limitarse a emergencias donde no se pueda utilizar otro método. Los disolventes pueden tener efectos sobre las piezas que el producto puro no tiene.

Diclorvos. (DDVP, Diclorfo, Vapona, Vaponita, Nuvan). 2,2-diclorovinil-dimetilfosfato. Produce cambios de color en los textiles. Corrosivo para el acero templado, el hierro y el hierro negro. Ataca el bronce, el cobre y la plata. Produce pátina sobre el zinc, estaño y plomo. Ablanda gomas, resinas y plásticos. Ataca tintes rojo ácido y disperso. Debido a su pequeña presión de vapor, su penetrabilidad es pequeña y además se ha comprobado ineficaz contra los huevos de los insectos.

Fosfina. (Fostoxin). Fosfuro de hidrógeno. Puede provocar corrosiones en el cobre, aleaciones de cobre, plata y oro. En general reacciona con todos los metales. También con el azul ultramarino. Es un gas muy peligroso a los 200 ppm. Fumigante de

mercancías agrícolas, no se recomienda su uso en museos, contra polillas, pieles o muebles. Inflamable. El límite mínimo de explosión es del 1,79% en aire. Poca solubilidad en agua y grasas. Espontáneamente inflamable en presencia de difosfuro de hidrógeno, reacciona violentamente con el oxígeno, nitratos y con los halógenos.

Lindano.- Gammaexano. Es potencialmente peligroso para objetos atacables por ácidos. Deteriora las propiedades físico-químicas del papel y de algunas tintas. Muy peligroso para la salud.

Piretrinas.- Efectos adversos sobre los materiales tratados desconocidos. Posibilidad de daños por parte de los solventes. Es uno de los insecticidas más seguros por su relativa poca toxicidad, aunque se han descrito neuralgias en personas con prolongada exposición. Son muy inestables y suelen combinarse con otros insecticidas y compuestos de soporte.

Paradiclorobenceno. 1,4-dicloro benceno. Afecta al blanco zinc, litopone y pigmentos encarnados y celulósicos de acetato. Encoge el poliestireno. Los plásticos como el estireno, algunas gomas y resinas se ablandan. Decoloración del azul ultramarino y algunas tintas. Amarillea el papel. Disuelve las grasas. Es más volátil que el naftaleno. Es más efectivo, aunque los problemas son más serios por la rapidez con que se evapora, lo que puede llevar a concentraciones muy altas.

Métodos no tóxicos de detección, captura y erradicación de insectos

Trampas de feromonas y adhesivas

Un método sencillo y práctico consiste en la aplicación de trampas de feromonas o de trampas adhesivas que permiten identificar las plagas y su localización.

El uso de las feromonas consiste en la utilización de compuestos de atracción sexual, se basa en la utilización de estos compuestos para atraer al insecto hacia mecanismos letales o para facilitar la atracción de una especie concreta. Se utilizan con frecuencia feromonas sintética. Existen trampas con feromonas para capturar especies determinadas de anóbidos, dermestidos y ciertos lepidopteros. De este modo se puede prever el riesgo de infestación en un edificio.

El mercado proporciona también trampas adhesivas, que se sitúan en zonas de riesgo, principalmente, en sótanos, ventanas y puertas. Son eficaces para capturar insectos rastreros y valorar su incidencia en el deterioro de los materiales históricos.

El Choque Térmico

Consiste en aplicar temperaturas extremas e incluyen técnicas de congelación y de alta temperatura.

La utilización de métodos térmicos para la desinsectación de los objetos históricos, data de fechas anteriores a los años cuarenta. Se trata de someter las piezas a temperaturas extremas para los insectos. Normalmente suelen ser del orden de los 60°C en el caso de utilizar altas temperaturas y entorno a los -20 y -30°C para tratamientos por congelación.

Alta temperatura

Está documentado que aplicar a un objeto, temperaturas de 55°- 60°C, es suficiente para acabar con todos los estadios de desarrollo de la mayoría de las plagas en un tiempo corto. No obstante, entraña graves problemas derivados de la dilatación diferencial en objetos compuestos por materiales diferentes o el reblandecimiento de colas, resinas o pinturas que puedan contener. Aparte de estos cambios, existe el problema de la pérdida de humedad del objeto que, por este motivo, puede sufrir daños. Por otro lado, el calor actúa como catalizador acelerando las reacciones químicas de degradación de los materiales. Por ejemplo en el papel de mala calidad, un incremento de temperatura de 5°C dobla su velocidad de deterioro. Además, a temperaturas más altas, esta velocidad aumenta más rápidamente.

Las alteraciones podrían afectar a resinas, barnices y adhesivos pueden reblandecerse. Las pieles, maderas y textiles, podrían sufrir dilatación – contracción. El papel puede amarillear.

El mayor riesgo afecta a objetos fabricados con materiales heterogéneos

Baja temperatura

Una temperatura de 0°C produce un estado de latencia en muchos insectos, en algunas especies llega a ser letal. En la práctica, el sistema idóneo es trabajar entre los -30° y los -40°C. Hay insectos que no llegan a congelarse a temperaturas por debajo de 0°C, ya que incrementan la concentración de azúcares y glicerol en sus tejidos, bajando así su punto de congelación. Otros toleran la congelación, controlando la formación del hielo en sus tejidos mediante la síntesis de una nucleoproteína especial en su sangre. La congelación tiene lugar de -5° a -10°C en los fluidos extracelulares, mientras que las células se encuentran protegidas de la deshidratación y del daño del hielo por la producción de azúcares y glicerol. Estas

especies pueden permanecer así durante meses y reactivarse cuando las temperaturas vuelven a subir. En trabajos publicados, individuos de *Anobium*, emergieron de huevos sometidos a -30°C . Estos insectos necesitan también un periodo de aclimatación a las bajas temperaturas, de forma que si la bajada es muy rápida no les da tiempo a protegerse y se congelan. El aspecto negativo, es que una bajada brusca de temperatura pueden dañar los materiales históricos.

Con este tratamiento, es esperable que se produzca un endurecimiento y la pérdida de flexibilidad de los compuestos con polímeros, los cuales se vuelven mucho más frágiles. También pueden darse condensaciones sobre la pieza, tanto al enfriarla como al introducirla en una habitación con la temperatura más alta, lo que originaría que el objeto se humedeciese, con los riesgos que esto entraña. Por ello es importante, mantener la pieza en una bolsa de plástico y evitar instalar la pieza congelada en una habitación a temperatura ambiente, cuando ha terminado el tratamiento.

Las alteraciones que se producen con mayor frecuencia afecta a materiales como, pinturas, cerámica, vidrio, metales y especialmente los cloruros de polivinilos (PVC), se vuelven quebradizos. Otras alteraciones podrían producir daños que incluyen:

- Desnaturalización y/o depolimerización de estructuras de algunos soportes
- Dehidrogenación de los ácidos grasos

La madera muestra una contracción reversible, ya que puede ser compensada por la absorción de agua durante el enfriamiento. En textiles y fibras no están descritos fenómenos adversos. La eficacia depende del tipo de insecto, de la fase de su ciclo biológico, naturaleza, tamaño del material, tiempo de exposición al tratamiento y HR% del ambiente.

Microondas

Se basa en un incremento de temperatura que es mortal para los insectos, pero que puede afectar a los materiales con moléculas polares y con metales.

El efecto inmediato es la producción de calor. El mayor calentamiento, se produce en el interior de la pieza de madera. Se ocasiona un decrecimiento del contenido de agua del soporte y como consecuencia una contracción del material, la cual se compensa por una

dilatación producida por la subida de temperatura. El mayor riesgo puede implicar deformaciones y fisuras.

Otras alteraciones pueden estar relacionadas con:

- El agua constitutiva de los materiales (madera, papel).
- Los componentes metálicos en madera, papel, textil
- Ablandamiento de adhesivos
- Volatilización de resinas
- Posible deterioro de materiales con moléculas polares

Atmósferas inertes

La aplicación de atmósferas transformadas con gases inertes, se basa principalmente en la utilización de gas nitrógeno. Este gas inerte, se aplica en una bolsa o burbuja de plástico de barrera donde los objetos están depositados.

El nitrógeno se encuentra fácilmente disponible en industrias de gases industriales. Para la aplicación de desinsectación de objetos históricos, se utilizan botellas o cilindros de nitrógeno que son difíciles de manipular debido a su tamaño y peso. Los tratamientos en burbujas de tamaño superior a 4 m³, o los tratamientos de colecciones de numerosos objetos, requieren muchas botellas de nitrógeno. Este proceso es costoso y peligroso.

Para facilitar la aplicación de las atmósferas inertes, se ha diseñado un sistema de desinsectación de obras de arte, por medio de generadores de nitrógeno, entre ellos el equipo Veloxy®, proporciona ambientes con bajas concentraciones de oxígeno. Es un equipo portátil que trabaja *in situ* produciendo volúmenes de nitrógeno suficientes para abordar tratamientos en burbujas de gran tamaño o de colecciones con numerosos objetos históricos.

El sistema Veloxy® ha sido utilizado para tratar diferentes tipos de maderas infestadas con insectos correspondientes a la familia Dermestidae, Lyctidae, Anobiidae, y Cerambycidae.

Los generadores de nitrógeno incluyen dos tipos: generadores industriales que producen un flujo de alto pero su pureza mínima está en torno al 2%. Estos equipos no son prácticos para trabajar *in situ* en museos, archivos o bibliotecas. En segundo lugar, el mercado dispone de pequeños generadores que producen óptima pureza de nitrógeno

pero suministran un caudal pequeño de nitrógeno, lo cual es insuficiente para tratar la mayoría de los objetos artísticos. La principal limitación de los generadores de nitrógeno es su caudal de flujo que es inversamente proporcional a la pureza del gas.

En este sentido, 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. También lleva acoplado un humectador para proporcionar al nitrógeno la humedad adecuada en función de la naturaleza del material a desinsectar

Este procedimiento, 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. El aparato, 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. La mayor desventaja se relaciona con su mantenimiento. Debe ser rigurosamente controlado. Otro inconveniente es el ruido que produce en compresor.

Cuando se detecta una infestación es preciso identificar el tipo de insecto y 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 ambiente
- Humedad relativa ambiental

Cuando se produce una infestación, además de erradicar la presencia de los agentes biológicos en los objetos, es necesario incluir un programa que contemple:

- Inspección del edificio puertas, ventanas, zócalos, sótanos, cubiertas
- Localización de áreas de riesgo de entrada de los insectos

- Examen de otros objetos como, estanterías, armarios, sillas, mesas
- Aplicar correctamente las renovaciones de aire /hora en las salas o depósitos.
- Seguimiento de condiciones ambientales

- Mantener los objetos alejados de las superficies frías
- Instalar trampas
- Sellar ranuras en el edificio, vitrinas, armarios
- Tratar los objetos infectados / infestados
- Diseñar un plan de mantenimiento que integre un adecuado plan de limpieza

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, la biología aplicada a la conservación de los bienes culturales, ofrece una herramienta apropiada para valorar prevenir y controlar el riesgo de deterioro de las colecciones históricas y de su entorno.

Publicaciones

- Florian, M.L.E. (1994). *Heritage Eaters. Insects and Fungi in Heritage Collections.* London: James & James
- Hanlon, G., Daniel, V., Ravenel, N. & 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: 387-96.* Yokohama: ICBCP
- Maekawa, S. & Eler, K. 1996. Large-scale disinfestation of museum objects using nitrogen anoxia. *11th Triennial Meeting. Preprints of ICOM Committee for Conservation: 1-6.* Paris: ICOM.
- Michalski, S. 1993. Relative humidity: a discussion of correct/incorrect values. *10th Triennial Meeting. Preprints of ICOM Committee for Conservation: 624-629.* Paris: ICOM.
- Selwitz, C. & Maekawa, S. 1998. Inert gases in the control of museum insect pest. In *Research in Conservation: 50-55.* Los Angeles: The Getty Conservation Institute.

- Strang, T.J.K. 1992. A review of published temperatures for the control of pest insects in museums. *Collection Forum* 8: 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*: 199-212. Bangkok: ICBCP.
- Unger, A., Unger, W. & 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*: 440-446. Yokohama: ICBCP
- Valentín, N. & Preusser, F. 1990. Insect control by inert gases in museum, archives and libraries. *Restaurator* 11: 22-33.
- Valentín, N., Bergh, J.E., Ortega, R., Åkerlund, M., Hallström, A. & 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: 96-101. Paris: ICOM
- Valentín, N. ; García R.: “El biodeterioro en el Museo”, in *La Conservación del Patrimonio Artístico. Arbor* (1999) pp. 85-107
- Valentín, N.; Garcia, R.; Ibañez, J. L.; & Maekawa, S. Air ventilation for arresting microbial growth_Quatrièmes journées internationales d’Etudes de l’ARSAG. Paris:139-150. (2002)
- Valentín, N. "Biodeterioro. Infestaciones y su erradicación” En *Retablos. Bienes Culturales*. Ed. IPHE. Nº 2: 175-186 (2003)
- Vaillant, M., Domenech, M. T., Valentín, N. “Una mirada hacia la conservación preventiva del Patrimonio Cultural” Ed. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia (2003)
- Valentín, N. "Insect infestation in Museums". In *Molecular Biology and Cultural Heritage. Proceedings of the International Congress on Molecular Biology and Cultural Heritage*. Ed. Balkema Publishers. Seville. Spain. (2003).
- Valentín, N. "Microbial contamination in Museum collections. Organic materials".*Molecular Biology and Cultural Heritage. Proceedings of the International Congress on Molecular Biology and Cultural Heritage*. Ed. Balkema Publishers. Seville. Spain. (2003)
- Valentín, N. Biodeterioro en “Prevención del Biodeterioro en Archivos y Bibliotecas”. *Bienes Culturales. Instituto del Patrimonio Histórico Español*. 24-25 de junio de 2004. Nº 5 Anexo. :30-33. (2005)