

Biodeterioro

del patrimonio histórico documental

ALTERNATIVAS PARA
SU ERRADICACIÓN Y CONTROL

Milagros Vaillant Callol



BIODETERIORO DEL PATRIMONIO HISTÓRICO DOCUMENTAL:
ALTERNATIVAS PARA SU ERRADICACIÓN Y CONTROL

MILAGROS VAILLANT CALLOL

RIO DE JANEIRO
MAST / FCRB
2013

Presidente da República
Dilma Vana Rousseff

Ministra da Cultura
Martha Suplicy

Presidente da Fundação Casa de Rui Barbosa
Manolo Garcia Florentino

Diretor Executivo da Fundação Casa de Rui Barbosa
Carlos Renato Costa Marinho

Diretora do Centro de Memória e Informação
Ana Maria Pessoa dos Santos

Chefe do Serviço de Preservação
Edmar Moraes Gonçalves

Chefe do Serviço de Editoração
Benjamin Albagli Neto

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação
Marco Antonio Raupp

Diretora do Museu de Astronomia e Ciências Afins
Heloisa Maria Bertol Domingues

Coordenadora de Documentação e Arquivo
Lucia Alves da Silva Lino

Revisão de textos
Ozana Hannesch / Edmar Moraes Gonçalves

Revisão das Referências Bibliográficas
Eloisa Helena Pinto de Almeida

Capa e Projeto Gráfico
Claudia Espíndola

Diagramação
Luci Meri Guimarães da Silva

Fotos
Acervo da autora
Acervo do LACRE/FCRB

Ficha catalográfica elaborada pela biblioteca do MAST

V131 Vaillant Callol, Milagros
Biodeterioro del patrimonio histórico documental : alternativas para su erradicación y control =
Biodeterioração do patrimônio histórico documental : alternativas para erradicação e controle.
– Rio de Janeiro : Museu de Astronomia e Ciências Afins; Fundação Casa de Rui Barbosa, 2013.
139, 139 p.: il.

Bibliografia: p.125-139

1. Acervo bibliográfico – Biodeterioração. 2. Acervo arquivístico – Biodeterioração.
3. Preservação de acervo bibliográfico. 4. Preservação de acervo arquivístico. I. Título.

CDU: 025.85

Presentación FCRB

Maria Luisa Ramos de Oliveira Soares¹

Este libro aborda un tema que siempre estuvo presente en la actuación práctica y teórica de las actividades de preservación de la Fundación Casa de Rui Barbosa: el biodeterioro de los bienes culturales.

El ataque de agentes biológicos a acervos culturales, que produce daños muchas veces irreversibles, es uno de los aspectos más contundentes de la preservación. Esto se debe a que el biodeterioro y sus mecanismos de acción constituyen problemas muy frecuentes a los que deben enfrentarse los conservadores-restauradores en los archivos, bibliotecas y museos, cuando los agentes biológicos provocan alteraciones fisicoquímicas, mecánicas y estéticas en los materiales, tornando necesaria la aplicación de tratamientos para su eliminación y control, muchas veces drásticos, con secuelas graves.

Creada en 1924, abierta al público en 1930 y declarada bien patrimonial por el Iphan en 1938, la Casa de Rui Barbosa tiene la misión de preservar el legado intelectual y material de Rui Barbosa – formado por su casa, jardines, biblioteca y archivo. A lo largo de su trayectoria, la institución empleó diferentes métodos y procedimientos para la preservación de su acervo patrimonial, buscando siempre actualizarse en relación a las prácticas y conceptos contemporáneos.

Una acción decisiva para su actuación en el campo de la preservación fue la creación, en la década de 1960, de núcleos de restauración y de microfilmación. Los conceptos de la época establecían la necesidad de iniciar el proceso de conservación por medio de intervenciones puntuales, valorizando la recuperación del objeto único, seleccionado aleatoriamente, sin diálogo con las acciones ambientales ni relación con el estado general del acervo.

1 Conservadora-restauradora, jefa del Sector de Preservación de la Fundación Casa de Rui Barbosa hasta febrero de 2010, cuando se jubiló de la institución.

En la década siguiente, gracias a la concesión de recursos de la Financiadora de Estudios y Proyectos (Finep) – a partir del proyecto elaborado en 1977 e implementado en los años 1978/1979 – se implantaron los Laboratorios de Conservación y Restauración de Documentos Gráficos (Lacre) y el de Microfilmación (Lamic). Respondiendo a objetivos específicos que caracterizan la flexibilidad administrativo-financiera de una Fundación, fue posible incentivar la formación de un sistema de preservación, conservación y restauración en el área del papel, participando activamente de estudios, programas y proyectos, tanto en el área ministerial como en otros sectores públicos y privados sensibles a la problemática. La calidad del nivel operacional fue garantizada a través del empleo de recursos tecnológicos y de métodos compatibles con los progresos alcanzados en centros internacionales.

En aquel momento, la ciencia de la conservación pasó a ser un factor fundamental en la elaboración de diagnósticos de tratamiento en acervos patrimoniales. El estudio en profundidad de las características de los materiales, los factores fisicoquímicos y biológicos y, fundamentalmente, el estudio de los climas (macro/micro), son considerados herramientas básicas para que el profesional conservador-restaurador pueda elaborar propuestas de intervenciones.

En este sentido, la Fundación viene empeñándose en establecer procedimientos en conjunto con diferentes centros de conservación y universidades (nacionales e internacionales), dando inicio a programas en el área de biodeterioro, especialmente a lo que se refiere a la identificación y definición de contaminaciones de materiales orgánicos en climas tropicales y sus implicancias en los procesos de intervenciones técnicas de conservación-restauración. En los últimos años, a través de cursos de especialización en Brasil y en el exterior, asesorías, convenios, visitas técnicas y, en especial, a través del estímulo del debate académico técnico-científico, fue posible reciclar y perfeccionar el equipo técnico, a fin de atender de modo más satisfactorio las nuevas demandas, no solo en el tratamiento de recuperación del acervo (acciones integradas de restauración), sino también para establecer los nuevos paradigmas de la conservación-restauración, por medio de acciones preventivas que articulen el acervo patrimonial y ambiental.

En este contexto de perfeccionamiento y actualización profesional, inicié en 2001 mi proyecto de doctorado en la Universidad Politécnica de Valencia,² en España. Entre muchas oportunidades, participé de un seminario sobre biología aplicada a la conservación-restauración de bienes culturales, cuando tuve la posibilidad de conocer a Milagros Callol, bióloga cubana, profesora doctora invitada del Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, por quien desarrollé una gran empatía profesional y afectiva, nutrida por largas y agradables conversaciones en las antecámaras del Departamento. La gentileza en su trato y su enorme curiosidad en relación a los procedimientos

² Universidad Politécnica de Valencia, España. Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. *La preservación del efímero*. Orientador: Prof.^a, Dr.^a Pilar Roig. Tesis defendida en 2006.

realizados en las instituciones culturales brasileñas nos llevaron a reflexionar sobre la posibilidad del desarrollo de un proyecto conjunto, basado en nuestras experiencias en Cuba y Brasil.

Como consecuencia, la profesora Milagros fue invitada por la Fundación Casa de Rui Barbosa a proponer un programa de investigación en el campo del biodeterioro, con el establecimiento de una metodología de identificación y definición de contaminaciones de materiales orgánicos en climas tropicales. La propuesta – que se desarrolló en dos períodos, en 2007 y 2008 – tuvo como principio complementar la formación de los conservadores-restauradores del Centro de Memoria e Información, haciendo énfasis en el estudio de los problemas ocasionados por agentes biológicos, su detección, diagnóstico y tratamientos alternativos. Su meta principal fue programar acciones de estudio, diagnósticos, identificación de métodos y técnicas aplicables a la conservación y restauración de la documentación gráfica constante del acervo bibliográfico de la Fundación, mediante la aplicación de metodologías apropiadas (estudio de caso).

A partir de 2009, la iniciativa fue ampliada hacia un conjunto de instituciones de preservación con sede en Río de Janeiro, compuesto por la Fundación Oswaldo Cruz, Archivo Nacional, Museo de Astronomía y Ciencias Afines, Archivo Público del Estado do Río de Janeiro y Fundación Biblioteca Nacional.

Esa cooperación resultó en la formación de un equipo de trabajo interinstitucional que viene siendo capacitado por medio de cursos y seminarios sobre los principios de la conservación preventiva. Como resultado, están siendo promovidos algunos cambios en el estilo de trabajo de los profesionales, introduciendo un nuevo abordaje de aspectos de la conservación preventiva en el cotidiano de las prácticas de preservación. El proyecto dio origen al Grupo Carioca de Conservación Preventiva, al que vienen adhiriéndose nuevas instituciones, y actualmente desarrolla estudios sobre planes de emergencia.

Al Archivo Público del Estado de Río de Janeiro, a la Fundación Oswaldo Cruz y al Museo de Astronomía y Ciencias Afines, con quienes realizamos esta publicación, nuestros sinceros agradecimientos. A la profesora Milagros, por su generosidad al compartir sus conocimientos académicos y experiencias de vida, nuestro cariño y amistad.

Presentación MAST

Ozana Hannesch³

Cuando, en 2009, el Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST fue invitado por la Fundación Casa de Rui Barbosa – FCRB para participar de una reunión para debatir el tema del biodeterioro, quedamos muy contentos, porque el trabajo en colaboración con otras instituciones es una tónica que está trayendo frutos a nosotros en el desarrollo de acciones de preservación de colecciones, tanto a nivel interno como externo.

El MAST se estableció en 1985, y en esta época ha tratado de implementar una estructura organizacional que le permitió tanto el tratamiento técnico de la colección museológica, como del archivo y de la biblioteca, que siguieron metodologías específicas para cada área, lo que no siempre es común en instituciones de esta naturaleza. Nuestra institución constituyo, siguiendo las iniciativas preservacionistas de los años 80, una pequeña sección para realizar procedimientos de conservación de documentos en papel, que fue encargada de orientar el trabajo de conservación-restauración de documentos históricos institucionales y de colecciones personales de científicos, los cuales hasta hoy están bajo la custodia del MAST. En este período, a pesar de una línea todavía intervencionista en la colección, había la preocupación por el medio ambiente de guardia y también por el uso y reproducción de los documentos; el establecimiento de normas para limpieza; el control biológico y monitoreo ambiental; así como hacía énfasis a la consulta y los usos apropiados de los fondos históricos.

Haciendo una revisión en la breve historia de la entidad en sus veintiocho años de existencia, encontramos nosotros frente a dos importantes acciones que iban más allá de sus muros. La primera en 1995, cuando en colaboración con el Museu da República, el MAST realiza un trabajo en conjunto con profesionales de otras instituciones brasileñas para escribir un documento conteniendo directrices para la preservación de colecciones institucionales, bajo el título: *Política de Preservação de Acervos Culturais*. La segunda, en 2006, cuando en colaboración con el Museu,

3 Conservadora-restauradora, responsable por el Laboratorio de Conservación y Restauración de Papel del MAST de abril de 2004 hasta enero de 2011. Coordinó el Grupo Carioca de Conservación Preventiva de octubre de 2010 hasta junio de 2012.

Villa-Lobos, el MAST publica la *Política de Segurança para Arquivos, Bibliotecas e Museus*, contando también con la ayuda de numerosos profesionales de otras instituciones. Esta última publicación fue un desmembramiento del Grupo de Trabajo sobre Seguridad de Colecciones – se reunieron en la elaboración de la Política de Preservación, antes citada –, tiendo su texto mucho más elaborado y ampliado, y llevando el foco para las responsabilidades de cada uno de los profesionales que trabajan con las colecciones, así como para la necesidad de diálogo y de conocimiento interno acerca de la prevención en todos los aspectos y niveles.

Con el libro de la profesora Milagros, el MAST está apoyando una iniciativa de la Fundación Casa de Rui Barbosa, una de nuestras instituciones colaboradoras. Entendemos que el tema del biodeterioro en colecciones culturales y la erradicación y el control de los agentes biológicos requieren un mayor número de publicaciones, para que sean conocidos y debatidos en las instituciones de América Latina, aún carentes de estudios especializados. Este estudio tiene un potencial de límites muy amplios, dependiendo de la naturaleza de las colecciones y de los agentes de deterioro, y necesita de inversión y aportes en investigación, formación profesional y aparatos actualizados. De otra parte, la priorización de diagnóstico de las colecciones y la inspección y la definición de los medios apropiados para el combate y control son tareas institucionales que no deben pasarse por alto. En este sentido, este libro tiene mucho a aportar y apoyar.

Así que la invitación de la FCRB, creemos, fue otra oportunidad que nos lleva a actuar a favor de la sensibilización y desarrollo de las instituciones de preservación del patrimonio cultural en Brasil. En carácter modesto, el grupo de trabajo sobre Biodeterioro se convirtió en el Grupo Carioca de Conservación Preventiva en 2010, haciéndose desde una perspectiva de equipo interinstitucional, que tiene como objetivo debatir y establecer procedimientos estandarizados de estudio, análisis y evaluación de las colecciones, los ambientes y entornos institucionales, con el fin de facilitar el crecimiento de todos los participantes bajo múltiples experiencias en conservación preventiva. Este Grupo Carioca tuvo en la figura de la Profesora Doctora Milagros Vaillant Callol la persona capaz de reunirlo, animarlo y, en muchos sentidos, conducirlo. Todos sus esfuerzos para llevar a cabo el trabajo se compensa con la creación de relaciones personales y profesionales entre nosotros.

Para el Grupo Carioca, la obra de la Profesora Milagros va más allá de esta publicación – de su deseo de verla editada en portugués y español. Creemos que muchas de las lecciones que están aquí, reflejan la persona simple y perspicaz que es. Por lo tanto, depositamos nuestros más sinceros agradecimientos por la familiaridad y orientación en el camino inicial de nuestro grupo de trabajo, que se centró en la reflexión sobre la conducta y directrices globales e inclusivas, que condujeran a una maduración en la participación de los profesionales y en nuestras percepciones institucionales, y se vieron especialmente favorecidos por la circulación de información, por el apoyo en la literatura actualizada y el mejor de las prácticas de trabajo que la Profesora Milagros amablemente compartió.

Agradecimientos

Siempre que escribo un trabajo de esta naturaleza, siento que tengo muchas instituciones y personas a quienes agradecer; mi lista es interminable. Pero hay instituciones a las que deseo referirme con carácter especial, de las que he recibido gran ayuda para el desarrollo de mi trabajo como docente y científica de la conservación del patrimonio cultural. Estas son:

La Unión de Escritores y Artistas de Cuba, de la que soy miembro;

La Fundación Casa de Rui Barbosa, con la cual inicié mi colaboración en Brasil;

La Casa de Oswaldo Cruz (Fiocruz), el Museo de Astronomía y Ciencias Afines, las que me han apoyado en el desarrollo de los programas de trabajo científico y docente en Río de Janeiro, así como el Archivo Nacional, el Archivo Público del Estado de Río de Janeiro y la Biblioteca Nacional, los que han participado en el Proyecto Cooperativo Interinstitucional de Conservación Preventiva para instituciones cariocas que atesoran bienes culturales.

Deseo agradecer a la Dra. Maria Luisa Ramos de Oliveira Soares por su ayuda y iniciativas que posibilitaron el inicio de mi colaboración con la Fundación Casa de Rui Barbosa.

Mi reconocimiento a la M.Sc. Cláudia Espindola por su colaboración en el trabajo de diseño, al MSc. Edgar Moraes Gonçalves y a la Especialista Ozana Hannesch por la valiosa ayuda brindada en la revisión de la edición en portugués.

Y en general a todos los que de alguna manera han contribuido en el desarrollo del presente trabajo.

La autora

Dedico este trabajo a la memoria de mis padres, a mi esposo, hermanos, hermanas, familiares, amigos y colegas, de quienes siempre he recibido un gran apoyo y valiosos consejos.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCION AL ESTUDIO DE LOS AGENTES BIOLOGICOS Y EL BIODETERIORO DE LAS COLECCIONES DOCUMENTALES	15
1.1	Consideraciones generales	15
1.2	Definiciones y conceptos importantes	18
2.	MATERIALES CONSTITUENTES DE LAS COLECCIONES DE ARCHIVOS Y BIBLIOTECAS	21
2.1	El papel como soporte	21
2.1.1	Composición	21
2.2	Elementos sustentados	23
2.2.1	Tintas	23
3.	FACTORES DEL DETERIORO DE LAS COLECCIONES DE ARCHIVOS Y BIBLIOTECAS	27
3.1	Consideraciones generales	27
3.2	Factores internos del deterioro	28
3.3	Factores externos del deterioro	29
4.	LOS AGENTES BIOLOGICOS EN EL DETERIORO DE LAS COLECCIONES DE ARCHIVOS Y BIBLIOTECAS	31
4.1	Consideraciones generales	31
4.2	Roedores	32
4.2.1	Ratones	32
4.2.2	Ratas	33
4.3	Insectos	34
4.3.1	Características principales de los insectos encontrados con frecuencia en los archivos y bibliotecas	37
4.4	Microorganismos	44
4.4.1	Bacterias	46
4.4.2	Actinomicetos	49
4.4.3	Hongos	49
4.4.4	Algas	54
4.4.5	Líquenes	55
5.	ACTIVIDAD DE LOS MICROORGANISMOS EN EL BIODETERIORO DE LAS COLECCIONES DOCUMENTALES	57
5.1	Consideraciones generales	57
5.2	Biodeterioro y microbiobiodeterioro	58
5.3	Tipos de daños	62

5.3.1 Daños físico-mecánicos	62
5.3.2 Daños químicos	63
5.3.3 Daños estéticos	63
5.4 Microbiodeterioro del papel	64
5.5 Transformaciones bioquímicas en estos procesos	67
5.5.1 Biodegradación de la celulosa	67
5.5.2 Biodegradación de la lignina	69
5.5.3 Biodegradación de las hemicelulosos	70
5.5.4 Biodegradación de los componentes de menor peso molecular	71
5.5.5 Biodegradación de las proteínas	72
6. POTENCIALIDADES PATOGENICAS DE LOS MICROORGANISMOS QUE HABITAN EN ARCHIVOS Y BIBLIOTECAS	75
6.1 Consideraciones generales	75
6.2 Patogenicidad	75
6.2.1 Factores relacionados con la patogenicidad	76
6.3 Infección	77
6.3.1 Vías de propagación de las infecciones	78
6.4 Difusión de los microorganismos en la naturaleza	79
6.4.1 Microfora del aire	79
6.4.2 Microflora de los depósitos de libros y documentos	81
7. METODOS DE LUCHA CONTRA PLAGAS Y INFECCIONES: NUEVAS TENDENCIAS	83
7.1 Consideraciones generales	83
7.2 Prevención	84
7.3 Medidas preventivas	86
7.3.1 Inspecciones periódicas	87
7.3.2 Vigilancia del ambiente	87
7.3.3 Higiene y mantenimiento de las colecciones y de los espacios	88
7.4 Métodos de erradicación y control alternativos aplicables	89
7.4.1 Control de roedores	89
7.4.2 Control de microorganismos y insectos	91
7.4.3 Las técnicas de la Biología molecular como una nueva alternativa al control del biodeterioro	117
8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	119

1

INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LOS AGENTES BIOLÓGICOS Y AL BIODETERIORO DE LAS COLECCIONES DOCUMENTALES

1.1 Consideraciones generales

Uno de los problemas fundamentales de la conservación en los momentos actuales es el gran volumen de materiales a conservar, así como la eficacia y el coste de los procedimientos a aplicar.

La conservación del patrimonio cultural es un problema de repercusión mundial, en el que inciden una amplia gama de factores físicos, químicos, biológicos, ecológicos, socioculturales y económicos, por lo que, necesariamente, debemos abordarla con un enfoque multidisciplinario y con el auxilio de las Ciencias de la Conservación. Dentro de esta problemática, las cuestiones relacionadas con el biodeterioro constituyen aspectos de gran importancia que requieren ser mucho más investigadas y divulgadas.

El biodeterioro es un proceso complejo y de difícil solución, ocasionado por los agentes biológicos que provocan alteraciones de diversa naturaleza en los objetos y colecciones de valor cultural, haciendo necesaria la aplicación de tratamientos drásticos para su eliminación y control, con los consiguientes perjuicios.

Puede tener diferentes causas, orígenes y manifestaciones. Ocurre de manera diferente en los materiales orgánicos y inorgánicos, por lo que en cada caso será necesario enfrentarlo de forma específica. Por ello, el conocimiento por parte de los conservadores, restauradores y todas aquellas personas relacionadas con la conservación del patrimonio cultural sobre las causas del deterioro de las colecciones, medios de erradicación, así como de los procedimientos terapéuticos y curativos alternativos aplicables en cada caso es una necesidad extremadamente importante.

Entre los agentes biológicos responsables de estos procesos debe ser considerado un amplio espectro de macro y microorganismos, entre los cuales los insectos y los hongos juegan un papel protagónico.

Estos no solo provocan daños a las colecciones, sino que su presencia en el ambiente de nuestras instituciones constituye un riesgo de infección para las personas que están en contacto con los objetos y materiales contaminados. Su actividad está directamente relacionada con sus potencialidades metabólicas, con la composición química de los materiales constituyentes de los objetos, con las características climatológicas de la zona o región donde las instituciones estén ubicadas y su ambiente interior, así como con el trabajo preventivo que en ellas se desarrolle.

La mayor parte de los libros y documentos que conforman el patrimonio histórico documental de la humanidad se conservan en los archivos y bibliotecas, instituciones que tienen entre sus funciones fundamentales la preservación de los materiales que en ellos se albergan y el compromiso social de legarlos al futuro (De la Torre, 1997). Dichos objetos se caracterizan no solo por su gran cantidad y diversidad, sino también por estar constituidos básicamente por macromoléculas orgánicas que son susceptibles a los procesos del biodeterioro.

La responsabilidad de preservar tal inmensidad y diversidad de objetos ha dado lugar a la búsqueda incesante de mecanismos más eficientes para conservar el patrimonio cultural de la humanidad, con un enfoque multi y interdisciplinario y el auxilio de las Ciencias de la Conservación.

Las Ciencias de la Conservación comienzan a finales del siglo XVIII con los trabajos de Klaproth sobre el estudio de la composición de una colección numismática (Tagle, 1999).

Las investigaciones sobre la Biología aplicada a la Conservación se inician en el siglo XX. En este sentido vale destacar los trabajos de A. Gallo⁴, R. Kowalick, P. Banks, F. Gallo y otros, pioneros en el estudio de los agentes biológicos que dañan el patrimonio cultural.

Afortunadamente en los últimos 50 años surge un interés creciente por el patrimonio cultural y su preservación, debido al cual estamos asistiendo a un cambio de mentalidad y actitud. La conservación tiende cada vez más hacia la prevención, desarrollando un enfoque más crítico y multidisciplinario, basado en una mejor comprensión de los mecanismos del deterioro de las colecciones y sus materiales constituyentes para evitar las causas potenciales de daños. En numerosos países se realizan grandes esfuerzos y se invierte en recursos humanos y financieros, con vistas a encontrar soluciones efectivas a los problemas que presenta el patrimonio histórico artístico en nuestras instituciones. En la actualidad muchas de ellas ya cuentan con laboratorios científicos.

4 Alfonso Gallo fundó el Instituto de la Patología del Libro de Roma, a mediados del siglo XX.

No obstante, vale destacar que muchas de las colecciones que conforman el patrimonio histórico documental y otros bienes culturales que atesoran, muchas instituciones están en constante amenaza y corren el riesgo de perderse por muchas razones. Lamentablemente, su futuro es incierto y no sabemos si sobrevivirán a los múltiples procesos del envejecimiento natural, o si perecerán por el fuego, las inundaciones, los desastres, las guerras y actos vandálicos (Manual, 1998). No podemos detener estos procesos; lo único que podemos hacer es asumir éticamente la responsabilidad de preservar aquello que hemos heredado de nuestros antecesores y que debemos legar a las futuras generaciones.

De entre las instituciones que atesoran bienes culturales, los archivos y las bibliotecas han sido históricamente las menos atendidas, hecho que ha repercutido negativamente en el cuidado y preservación de estas colecciones. Por ello, resulta necesario que los conservadores, restauradores, profesionales de las diversas disciplinas del saber, así como los empleados y directivos relacionados con el tema conozcan sobre los factores que rigen los procesos de envejecimiento y deterioro de estos materiales y cómo controlarlos.

Los materiales que albergan los archivos y bibliotecas van mucho más allá de libros y documentos. Los manuscritos, mapas, periódicos, sellos, fotografías, micropelículas, video grabaciones y materiales de audio que atesoran dichas instituciones incrementan día a día sus necesidades de preservación.

Entre las prioridades de muchas bibliotecas y archivos está la de encontrar la mejor forma para enfrentar el problema de los libros y documentos quebradizos, debido a los cambios introducidos en el proceso de fabricación del papel en el siglo XVIII y a la sustitución de la pasta de trapo por pulpa de madera, fenómeno descrito como “fuego lento”. No obstante, desde los finales del siglo XIX hasta la fecha, el volumen de libros, documentos y obras de arte elaboradas en papel ácido ha aumentado extraordinariamente y, lo que es peor aún, continúa prevaleciendo en el mundo la producción de papel ácido y de mala calidad. Esto constituye un reto para la conservación moderna. Por otra parte, si el deterioro de los materiales elaborados con papel ácido constituye el denominado “fuego lento”, el deterioro de los materiales especiales, tales como micropelículas y documentos de nuevo tipo, puede considerarse como “fuego rápido”. Estos materiales se vienen deteriorando con mayor rapidez y han recibido menos atención. Este es otro problema costoso y de difícil solución.

Según investigaciones recientes, aproximadamente el 60% de los libros y documentos que se conservan en los archivos y bibliotecas requieren de una atención especial. A ello habría que agregar que cada día aumenta el volumen de materiales dañados, por lo que en este momento lo más urgente es detener el deterioro progresivo de estas colecciones (Banks, 1983). De acuerdo con el artículo de Cunha, 1988, se calcula que cerca del 50% de los libros en la mayoría de las bibliotecas de los Estados Unidos requieren cuidado físico, y que un 20% ni siquiera pueden ser leídos, debido a la fragilidad de las páginas, sin que resulten irremediablemente dañados.

La mayor parte de las colecciones de libros y documentos que se conservan en los archivos y bibliotecas presentan daños físico-mecánicos, amarillamiento del soporte, problemas por oxidación y corrosión de las tintas, moteado, manchas de diferentes tipos y daños por agentes biológicos. Además, se encuentran almacenadas en condiciones inadecuadas en las instituciones, en lugares donde hay polvo, hollín, humedad, iluminación excesiva y han sido sometidas a tratamientos inadecuados.

Muchas de ellas presentan problemas que, incluso, no pueden ser resueltos con la restauración tradicional, por lo que la tendencia actual es la aplicación de los principios de la conservación preventiva. A todo ello habría que agregar los grandes deterioros ocasionados por las guerras, desastres y actos vandálicos..

1.2 Definiciones y conceptos importantes

Existen otras cuestiones, no menos importantes, que influyen en toda esta problemática, entre las que debemos considerar: la necesidad de incrementar la formación de los conservadores, restauradores y en general de todas las personas comprometidas con la conservación del patrimonio cultural, así como problemas de definiciones y conceptos importantes en nuestro ámbito.

Los conceptos *conservación*, *preservación*, *restauración* y *conservación preventiva* han suscitado controversias a lo largo de los años y han sido utilizados a menudo de forma confusa y poco precisa. Así, la corriente nórdica o anglosajona difería de la corriente sur o de tradición latina. En este sentido podemos mencionar las definiciones de la Asociación Latinoamericana de Archivos (ALA), el Instituto Americano de Conservación (AIC) y el Consejo Internacional de Museos (ICOM), entre otros.

El término *preservación*, según la Asociación Latinoamericana de Archivos (ALA), se refiere a las actividades asociadas con el mantenimiento de los materiales de archivos, bibliotecas y museos para su uso en la forma física original o en algún otro formato, y incluye diversos procedimientos que van desde el control del medio ambiente hasta los tratamientos de conservación. A su vez, esta es subdividida en *preservación preventiva* (conservación preventiva) y *preservación reparadora* (restauración). La conservación se refiere al tratamiento para estabilizar estos materiales, manteniendo su supervivencia durante el mayor tiempo posible en su forma original (Catálogo, 1998).

El punto de partida de ambas definiciones es la prevención, evitar o retardar el deterioro de las colecciones más que de los objetos individuales, atendiendo todos aquellos aspectos relacionados con el deterioro de los acervos, haciendo énfasis especial en los factores medioambientales.

En la actualidad se ha llegado a un consenso mayoritario en aceptar el concepto y definición promulgados por la corriente anglosajona. Según esta corriente, la conservación es un término utilizado para referirse a las actividades y técnicas encaminadas a prolongar la esperanza de vida de los objetos, mientras que la restauración tiene como objetivo primordial y exclusivo revalorizar el aspecto formal o estético de los objetos (Ogden, 2006).

La definición de conservación comúnmente aceptada es: conjunto de medidas y técnicas aplicadas de forma directa sobre los objetos o de forma indirecta sobre su entorno, imprescindibles para afrontar los daños reales o potenciales que estos puedan sufrir, para garantizarles una mayor esperanza de vida.

En cambio, la definición de restauración mayoritariamente aceptada es: conjunto de intervenciones de carácter facultativo aplicadas sobre un objeto y destinadas a revalorizar su aspecto formal y estético, a fin de facilitar su lectura, comprensión y contemplación (Bernades, 1997).

La conservación puede tomar dos caminos distintos, según los elementos o aspectos en los que se enfoque. Puede aplicarse sobre las causas o agentes del deterioro, o sobre los efectos o daños ya presentes. Si la acción conservativa se enfoca en las causas probables del daño, hablaremos de conservación preventiva; si la acción conservativa trata los efectos ya presentes, estaremos hablando de conservación curativa o terapéutica. Y así surge el siguiente concepto:

Conservación preventiva: Todas aquellas medidas aplicadas de forma directa sobre los objetos o sobre su entorno, encaminadas a evitar las causas potenciales de daños (Rose, 1992).

No obstante, a pesar de que la diferencia teórica de enfoque entre la prevención y la conservación curativa, en la práctica es difícil establecer su línea divisoria, ya que en muchos casos la acción de una y otra puede conjugarse y superponerse en una misma actuación. Muchas veces una intervención curativa supone al mismo tiempo una acción preventiva y viceversa.

Por lo tanto, para realizar una buena conservación preventiva será imprescindible elaborar un programa previo de actuación, adaptado a los lugares y a las colecciones a conservar.

La conservación preventiva, poco a poco, ha creado su espacio y identidad en el mundo de la protección del patrimonio cultural y ha ido englobando aspectos cada vez más variados. Por ello, su aplicación práctica supone una tarea multidisciplinaria en la que, lejos de todo dogmatismo, cada acción debe ir precedida de un exhaustivo análisis, registro de datos y control continuo de los sucesivos resultados, ya que cada intervención es un caso único y diferente.

Por ello, es imposible asignar esta tarea a un único responsable o especialista; más bien es necesario buscar la coordinación y articulación de las tareas entre distintos especialistas y así lograr un verdadero trabajo de equipo (García, 1999).

2

MATERIALES CONSTITUYENTES DE LAS COLECCIONES DE ARCHIVOS Y BIBLIOTECAS

En estos materiales encontramos dos tipos de constituyentes principales: el soporte o portador de la información y los elementos sustentados.

2.1 El papel como soporte

El papel que hoy día conocemos es una hoja delgada, hecha con pastas de materiales fibrosos, molidos, blanqueados y disueltos en agua, secados y endurecidos a través de procedimientos especiales. También se prepara la pasta de papel con pulpa de cáñamo, esparto, algodón, lino, bagazo de caña, paja de arroz y maderas. Sus aplicaciones son muy variadas: en el se escribe, imprime, dibuja y pinta, entre otros usos.

La variedad de papeles que existe en la actualidad se debe en gran medida a la diversidad de materias primas utilizadas en el proceso de fabricación, en el que ocupan un lugar importante las fibras de madera. En general, estos son de inferior calidad que el papel de trapo. También se fabrican papeles con mezclas de trapo y otros materiales fibrosos, en cuyo caso, las proporciones de la mezcla determinan la calidad del papel a obtener (Kraemer, 1973).

Las características del papel están relacionadas con: las condiciones de obtención, las características del encolado y la granulometría fijada en la fabricación, entre otros factores.

2.1.1 Composición

Los principales componentes del papel son la fibra o material fibroso y los aditivos funcionales: encolante, carga, abrillantadores ópticos y agentes consolidantes (Vaillant y Valentín, 1996; Gómez, 1998).

2.1.1.1 Fibra o material fibroso

La fibra o material fibroso es el material celulósico y componente mayoritario. Generalmente es de origen vegetal, pudiendo obtenerse a partir de fuentes muy diversas. Desde el punto de vista químico, contiene básicamente celulosa y en menor cuantía polímeros como lignina, hemicelulosa y otras macromoléculas, adheridas fuertemente a las estructuras fitotisulares. La calidad y cantidad de cada uno de estos componentes dependerá de la fuente de materia prima utilizada y del procedimiento aplicado para la obtención de la fibra.

El material fibroso deberá tener buena pureza química con alto contenido de alfa celulosa, baja proporción de grupos reductores (lignina y elementos inorgánicos), alta resistencia mecánica lograda mediante fibras fuertes, elevado grado de polimerización y alto nivel de resistencia de los enlaces interfibras. Estos requisitos pueden lograrse con una correcta selección del material fibroso así como con adecuados balance y control de los procesos de pulpeo, blanqueo y molido. Entre los materiales fibrosos más utilizados por la industria papelera, podemos citar:

- Algodón y lino: Ambos poseen altas pureza química y resistencia, así como elevado grado de polimerización.
- Coníferas (abeto, pino, etc.): Sus fibras son largas y resistentes, tienen bajo contenido de hemicelulosa y alto grado de polimerización.
- Maderas duras (álamo, eucalipto): Poseen fibras cortas, muchos elementos parenquimatosos, bajo grado de polimerización, alto contenido de lignina y hemicelulosa.

El papel moderno se elabora con fibras de madera, por lo que su durabilidad es muy inferior a la del papel antiguo.

2.1.1.2 Aditivos funcionales

Encolante: Son aditivos funcionales que se añaden para garantizar las propiedades deseadas en función de su uso. Pueden ser de origen vegetal, animal o sintético. Entre sus principales funciones están: aumentar la retención de las fibras, dar solidez a la hoja, aumentar la resistencia del papel y prevenir el corrimiento de las tintas utilizadas en la escritura. Existen varios tipos: Medio ácido (alumbre-colofonia) pH 4-5; medio neutro (alumbre-aluminato, encolante alquilico) pH 7-8.

Cargas o rellenos: Se trata de polvos minerales que se adicionan con el objetivo de mejorar las propiedades ópticas y abaratar el costo de producción. Son elementos metálicos, por ejemplo: caolín, carbonato de calcio, dióxido de titanio y de aluminio. Cuando su contenido es elevado, las propiedades mecánicas del papel se ven afectadas debido a que sustituyen los enlaces interfibras.

Abrillantadores óticos: Constituidos por sustancias que se añaden para aumentar la blancura y brillantez del papel. Son compuestos químicos que absorben la luz ultravioleta y que por tanto favorecen las reacciones fotoquímicas del material fibroso. Este tipo de sustancia no se puede utilizar en la elaboración de papeles permanentes.

A veces, según la utilización que va a tener el papel, se usan colorantes y otros aditivos como el almidón. Este último presenta varias dificultades: puede sufrir fácilmente hidrólisis, originándose grupos reductores ácidos y compuestos cromóforos, propiciando el ataque microbiano del papel.

Agentes consolidantes: Son sustancias que se utilizan como aglutinantes. Entre ellas podemos mencionar la gelatina, el acetato de celulosa y la carboximetilcelulosa.

- La gelatina es un buen adhesivo pero favorece el ataque microbiano y el amarillamiento del papel.
- El acetato de celulosa provoca hidrólisis ácida del material fibroso y, por lo tanto, del papel, provocando la pérdida de su blancura.
- La carboximetilcelulosa, por ser un derivado de la celulosa, no introduce factores nocivos y incrementa la durabilidad.

2.2 Elementos sustentados

2.2.1 Tintas

A través del tiempo, se ha utilizado una gran variedad de tintas que pueden ser, según su naturaleza, de origen vegetal, animal y mineral. En su composición intervienen diferentes ingredientes, que son los que finalmente definen sus propiedades y calidad.

Se conoce como tinta al líquido terso, que no contiene materia en suspensión, móvil, que se fija al soporte, dotado de un color intenso, durable, inodoro y de pH variable. Generalmente la tinta está constituida por un pigmento (al cual le debe su color), un diluyente (que posibilita su dispersión y fluidez), y un aglutinante (que le facilita la fijación al soporte, lo que se realiza mediante reacciones químicas catalizadas por la acidez) (Someillan, Gómez y González, 2006). La combinación de los ingredientes recién mencionados, a los que se suman otros como los espesantes, abrillantadores, colorantes, etc., origina los distintos tipos de tintas: caligráficas (escritura manual), de impresión (técnicas de impresión) y pictóricas (creaciones artísticas).

Las más antiguas (las tintas caligráficas, conocidas desde antes del año 2.500 a. de C.) provienen de Egipto y China, y estaban compuestas de negro humo mezclado con aglutinantes, como la goma arábica y la cola de pescado. Su durabilidad se debe a la calidad de sus componentes fundamentales, en especial el pigmento, por lo que son tintas

estables. Con algunos cambios en su composición, esta tinta se llevó a Europa y se utilizó en forma casi exclusiva hasta el siglo XV. Desde entonces, la tinta ferrogálica conocida desde la antigüedad, resurgió para tomar el lugar de la tinta china.

La tinta ferrogálica está compuesta de sulfato de hierro, ácido galotánico y un aglutinante, por lo general la goma arábiga disuelta en agua. El ácido galotánico es un tanino que se extrae de la nuez de galla, la cual se forma en el tronco del roble. La mezcla del tanino con el sulfato de hierro forma el tanato ferroso, el cual, cuando se aplica al papel, presenta una coloración débil. Con la absorción del oxígeno, el tanato de hierro se torna de color castaño oscuro. Por esta razón, para facilitar la escritura, es común la adición de colorantes en esta mezcla. La corrosión del papel, observada en muchos manuscritos con tintas ferrogálicas, se asocia, intrínsecamente, a sus componentes básicos.

Con el desarrollo tecnológico surgió la necesidad de conocer mucho más sobre las técnicas gráficas, porque conjuntamente con las tintas caligráficas se expandieron las de impresión. Los componentes de origen vegetal y animal se sustituyeron, en su gran mayoría, por sintéticos y a los componentes básicos se añadieron otros secundarios para atender a la gran diversidad de especificaciones, según su aplicación.

La anilina, base de los colorantes llamados sintéticos o artificiales, es un líquido grasiento, moderadamente soluble en agua, que se obtiene por la transformación de la bencina (nitrobencina, cloro bencina) durante la elaboración del carbón de piedra o del alquitrán de hulla aunque, antes de su industrialización, se obtenía del índigo (añil). Es un producto tóxico que recién obtenido es incoloro, pero al ponerse en contacto con el oxígeno toma una tonalidad amarilla oscura.

El abaratamiento y la capacidad de dar diferentes colores y tonalidades hicieron que los colorantes sintéticos desplazaran a los naturales. Sin embargo, en cuanto a la permanencia y durabilidad, los colorantes anilínicos perdieron su supremacía ante sus antecesores.

Las tintas de anilina poseen una cualidad sustancial que es la baja resistencia a la luz, lo que provoca la decoloración paulatina de los textos.

La tinta china, actualmente utilizada, es una continuación adaptada de la antigua fórmula. Sus propiedades son las mismas; con el pasar del tiempo se fija cada vez más al papel y su color negro es permanente. El grafito, al igual que el carbón, tiene características de resistencia con relación a la luz, al agua y a los microorganismos. Por ser inocuo al papel es aconsejable para anotaciones en documentos.

Las tintas de impresión se diferencian de las denominadas *de escribir* o *caligráficas* por sustituir el disolvente acuoso que las caracteriza por un medio graso, comúnmente denominado barniz, que actúa como vehículo de aplicación. Inicialmente se usaba aceite de linaza que fue sustituido por resinas sintéticas.

Estas tintas presentan permanencia, especialmente las de color negro porque utilizan pigmentos a base de carbono. Pueden clasificarse en tipográficas (para periódicos y tiradas de lujo), litográficas y offset, entre otras.

Las *pictóricas* se utilizan en miniaturas y iluminaciones. La mayoría de las tintas utilizadas en obras de arte son muy estables. Las miniaturas ilustran algunos de los códices medievales. La técnica empleada es el temple y, a veces, se combina con ornamentaciones de oro y plata, características de los manuscritos iluminados, siempre en pergamino o vitela y raramente en papel.

Desde el punto de vista de la conservación, se denomina tintas estables a aquellas que poseen equilibrio físico-químico ante factores ambientales y que son neutras en relación al soporte que las sustenta.

Las tintas inestables son aquellas que en su constitución intervienen elementos que provocan la alteración de la misma y/o la del soporte.

El conocimiento de la composición de las tintas y su estabilidad es un elemento importante a considerar a la hora de definir las prioridades de conservación de las colecciones, así como para determinar cuáles son los procedimientos a seguir en caso de que se necesite restaurarlas.

Actualmente se presta gran atención a la problemática de las tintas durables o permanentes, o sea, aquellas que sean químicamente estables, que no sufran alteraciones por las influencias de los factores externos y que no ocasionen daños a los soportes.

Los materiales utilizados con estos propósitos deberán ser estables, químicamente neutros, inocuos al soporte, insolubles en agua, solventes orgánicos y soluciones blanqueadoras, inescrribles, que produzcan un secado rápido y de fácil obtención.

Aunque se ha hecho mayor énfasis en el soporte papel por su carácter predominante en los materiales de bibliotecas y archivos tradicionales, debe decirse que las imágenes o documentos elaborados en soportes fotográficos, electrónicos, ópticos, cintas magnéticas, entre otros, al estar también constituidos por materiales orgánicos sintéticos, se encuentran expuestos a los mismos riesgos de las condiciones ambientales, la manipulación y otras causas deteriorantes.

Las micro formas, discos ópticos y magnéticos, fotografías y los medios audiovisuales, etc., también son afectados por factores endógenos, por lo que necesitan ser almacenados y utilizados adecuadamente para prevenir que desaparezcan prematuramente. Ya se prevé, por ejemplo, que los CDs y los disquetes tienen también un tiempo de vida actualmente establecido de entre 20 y 25 años.

3

FACTORES DEL DETERIORO DE LAS COLECCIONES DE ARCHIVOS Y BIBLIOTECAS

3.1 Consideraciones generales

La inmensa mayoría de las colecciones de libros y documentos que hoy en día se conservan en las bibliotecas y archivos han sido elaboradas en papel como soporte; incluso se calcula que el 94% de la información acumulada por el hombre ha sido escrita en dicho soporte, material de naturaleza orgánica en cuya composición encontramos una serie de sustancias del mismo origen, las que, por sus características químicas, son muy susceptibles a los procesos del deterioro, degradación, biodeterioro y biodegradación.

La poca durabilidad de los libros y documentos contemporáneos es notoria cuando la comparamos con la de los más antiguos.

Cuando observamos un libro o un manuscrito antiguo en deficiente estado de conservación podemos constatar que presenta varios tipos de daños al mismo tiempo, lo que nos demuestra que se trata de un fenómeno multifactorial.

De acuerdo con Novotny (2000), las principales amenazas de los materiales de archivos y bibliotecas pueden organizarse de la forma siguiente: la naturaleza del material, la manufactura, el ambiente en el cual se encuentran, el modo en que son manipulados, desastres naturales y tratamientos inadecuados ocasionados por el hombre. Las interacciones de todos ellos afectan a las propiedades de permanencia y durabilidad de los acervos documentales y conducen a la aparición de reacciones químicas, fisicoquímicas y biológicas, tanto a nivel macroscópico como estructural, las que están relacionadas con procesos degradativos del soporte y de los elementos sustentados.

Dichos procesos, casi siempre implican la reducción del grado de polimerización de la macromolécula o polímero celulósico, y pueden ser originadas por causas físicas, térmicas y biológicas, ocasionando cada una daños específicos. Estas son las reacciones de termodegradación (originadas por el calor y temperaturas elevadas), fotodegradación (las que producen la luz y sus diversas radiaciones) y biodegradación (ocasionadas por los agentes biológicos).

Vale destacar que las colecciones tradicionales de archivos y bibliotecas están constituidas, mayoritariamente, por un amplio espectro de materiales orgánicos, tales como papel, tela, pieles animales y adhesivos, entre otros, los que por su naturaleza higroscópica reaccionan de manera diferente frente a los factores del envejecimiento y deterioro. Por ello, para intentar evitar estos procesos, hacerlos más lentos y reducir el riesgo de destrucción definitiva de estas colecciones, resulta fundamental tomar determinadas medidas preventivas, entre ellas su manipulación cuidadosa y su estabilización en un ambiente apropiado. Estos procesos son inevitables; están regulados por leyes y principios científicos, muchos de los cuales son conocidos.

Son muchos los factores responsables del deterioro del patrimonio histórico documental. Estos pueden ser clasificados de diferentes formas (Clapp, 1974; Pribalov, 1982; Beck, 1992).

La clasificación más utilizada es organizarlos de acuerdo con el origen de los agentes productores del daño (Vaillant y Echevarría, 1994). En este sentido se organizan en dos grandes grupos: internos o inherentes y externos o extrínsecos.

3.2 Factores internos del deterioro

Los factores internos, también denominados “vicios inherentes”, son aquellos relacionados con el proceso de fabricación, entre ellos: tipo y calidad del material fibroso o pulpa utilizada, procesos y materiales para el encolado, cargas o rellenos, aditivos químicos, acidez y presencia de compuestos metálicos, entre otros (Talavera y Molina, 1988). Estos no pueden ser controlados, pues una vez elaborados los libros y documentos, no puede modificarse la forma y método por el cual fueron hechos.



Amarillamiento del soporte



Manuscrito con corrosión de la tinta



Deterioro por foxing



Deterioro por foxing

3.3 Factores externos del deterioro

Son aquellos relacionados con las condiciones ambientales y la ecología que rodea a los acervos documentales durante su uso, su manipulación y almacenamiento en las instituciones, durante toda su vida útil.

Entre ellos debemos destacar: humedad relativa, temperatura, iluminación, contaminantes atmosféricos, agentes biológicos, ventilación, procesos y tratamientos inadecuados, así como desastres y actos vandálicos. Estos factores, según la naturaleza de los agentes productores del daño, normalmente se clasifican en: químicos, físicos, mecánicos, biológicos y ecológicos (Vaillant y Valentín, 1996). Sobre ellos sí podemos actuar y los podemos modificar, estableciendo las condiciones adecuadas de acuerdo con los requerimientos de los materiales constituyentes.



Daños mecánicos del documento



Alteraciones estructurales del libro



Libro dañado después de mojado



Almacenamiento inadecuado

4

LOS AGENTES BIOLÓGICOS EN EL DETERIORO DE LAS COLECCIONES DE ARCHIVOS Y BIBLIOTECAS

4.1 Consideraciones generales

Los agentes biológicos constituyen, sin lugar a dudas, un serio problema en las instituciones que atesoran bienes culturales, en particular, en los archivos y bibliotecas.

Ellos juegan un importante papel en el biodeterioro de nuestras colecciones. Al mismo tiempo, su presencia en el ambiente institucional constituye un riesgo de infección para el personal expuesto a las colecciones contaminadas, lo que depende de las potencialidades patogénicas de estos agentes.

Se desarrollan en ambientes propicios, en especial donde la humedad relativa y la temperatura son elevadas. Su actividad biológica está relacionada con el lugar donde estén ubicadas las instituciones, con los materiales que en ellas sean conservados, así como con el trabajo que en ellas se desarrolle.

Entre los enemigos biológicos responsables de estos procesos debe ser considerado un amplio espectro de macro y microorganismos, que abarcan: aves, roedores, murciélagos, insectos y microorganismos (bacterias, algas, levaduras, hongos, líquenes), y a veces, plantas inferiores (Nyuksha, 1990). Ellos provocan el biodeterioro de los acervos documentales, mediante alteraciones químicas, mecánicas y cromáticas en los soportes, dependiendo de sus actividades metabólicas, al mismo tiempo que pueden causar diferentes tipos de problemas de salud del

personal que trabaja en las instituciones. Los daños observados con mayor frecuencia en los archivos y bibliotecas son los provocados por roedores, insectos y hongos.

Acerca de estos agentes debemos conocer los grupos que se caracterizan por el mismo tipo de ataque y algunas especies que han sido reportadas como potencialmente patógenas, lo cual nos permitirá tomar las precauciones necesarias para su eliminación y control rápidamente, en caso de que sean detectados.

4.2 Roedores

Los roedores⁵ comprenden casi el 40% de todos los mamíferos existentes. Pertenecen al orden *Rodentia*, el más numeroso, que comprende 1.711 especies pertenecientes a 35 familias que incluyen 389 géneros, muchos de los cuales son plagas muy graves para el hombre (Anderson y Knox, 1984). Pertenecen al grupo de los *Euterios*. Su rasgo anatómico más característico es su dentadura, con incisivos planos, cortados en bisel, de crecimiento continuo para desgaste. La forma y tamaño de las señales de sus dientes proporcionan una pista para la identificación de las especies.

Habitan en ambientes cálidos, húmedos y sombríos, por lo que los climas tropicales les son muy favorables. Invaden los depósitos a través de las puertas, ventanas, techos, pisos y túneles por ellos excavados. Casi siempre, acuden a los almacenes en busca de restos de alimentos y desperdicios existentes en estos locales.

Utilizan el papel, los tejidos y otros materiales orgánicos para construir sus nidos. Cuando invaden, si no son detectados y eliminados rápidamente, pueden ocasionar graves daños químicos y físico-mecánicos a las colecciones de valor cultural.

Además de los daños que estos agentes pueden ocasionar a los libros y documentos, también constituyen un peligro potencial en sentido epidemiológico, ya que transmiten 243 enfermedades fatales para el hombre, y cada año se producen casos de fiebre hemorrágica, hantavirus, triquinosis y otras afectaciones severas por el contacto con estos animales (Alfa Beta Sistemas, 2005). Los más frecuentes en América y Europa son los ratones y las ratas.

4.2.1 Ratones

El ratón doméstico *Mus. musculos L.* (Mallis) es el roedor más común en los museos, archivos y bibliotecas. Es de tamaño pequeño, color gris y suele vivir en el interior de viviendas y locales. Como todos los roedores son omnívoros,

5 Nombre genérico de determinados mamíferos, cuya característica principal es que tienen un único par de incisivos en cada mandíbula en forma de cincel y que utilizan para roer.

puede consumir cualquier tipo de alimento, y ingiere sólo unos tres gramos diariamente, pero en sucesivas y pequeñas tomas ubicadas en puntos diferentes. Tiene hábitos nocturnos. Suele aprovechar los huecos de las paredes, cartonajes y productos almacenados para construir sus nidos en el suelo o en sus madrigueras.

Sus poblaciones se multiplican rápidamente, aunque el crecimiento de las mismas se ve limitado por factores de refugios, alimentos y humedad disponibles (VV.AA., 2005). Cuando las condiciones les son favorables, debido a la falta de higiene en los locales o mala disposición de almacenes, se reproducen con rapidez, ocasionando contaminaciones de productos con orina y heces, con la posibilidad de transmisión de enfermedades tales como infecciones intestinales, ya que son portadores de salmonella. Al mismo tiempo, pueden ocasionar grandes pérdidas económicas, lo que hace necesario su control.

Esta especie es capaz de invadir cualquier tipo de edificación. Tiende a ocultarse y vive en el exterior durante todo el año, en un territorio situado a poca distancia del nido. La distancia que suele recorrer no supera un círculo de 9 metros de diámetro. Invade los inmuebles, particularmente en otoño en las regiones templadas. Es muy prolífico.

Cuando habita en el interior de los edificios se reproduce durante todo el año, pudiendo la hembra parir cada 50 días; pero cuando está al aire libre tiene períodos de celo, con momentos de auge en primavera y otoño. Alcanza la madurez sexual entre las 8 y 10 semanas.

Los machos son muy territoriales, motivo por el cual habrá que practicar métodos de lucha eficientes en los lugares donde se encuentren sus excretas.

Los daños que ocasionan en las colecciones están relacionados con la destrucción mecánica que provocan en los materiales, realizada para construir sus nidos. Estos pueden ser enormes, aún cuando la infestación no sea muy grande en cuanto al número de individuos. Depositán orina y excrementos sobre los objetos. Por otra parte, pueden roer el aislamiento de los cables eléctricos, ocasionando cortocircuitos y incendios.

En el curso de su actividad nocturna dejan huellas de su presencia, tales como heces (parecidas a granos de arroz teñidos), en los lugares por los que han pasado, marcas de dientes, agujeritos descoloridos en suelos y paredes, así como el olor acre de su orina, lo que permite su detección.

4.2.2 Ratas

Las ratas constituyen un peligro para todos los objetos y colecciones de valor cultural por su costumbre de roer los materiales que encuentran a su paso. Existen varias especies, las cuales pueden invadir los edificios en busca de alimentos y refugio. Las más frecuentes en las ciudades son *Rattus norvegicus* (Erxleben), (Were) y *Rattus rattus*.

Rattus norvegicus (Rata negra) es originaria de Asia Central. Es conocida comúnmente como rata noruega. Mide entre 35 y 45 cm. Las camadas nacen alrededor de 22 días después del apareamiento. Duerme durante el día y desarrolla su actividad por la noche. Daña papeles, libros, textiles, muebles y ropa, y come los alimentos almacenados. Vive en madrigueras bajo tierra, en basureros, alcantarillas y desagües. Es buena trepadora, saltadora, nadadora, buceadora y muy agresiva. Es una especie muy dañina, perjudicial y transmisora de muchas enfermedades.



Daño por roedor

Rattus rattus es originaria del Sudeste Asiático, principalmente, de las zonas boscosas. Es conocida comúnmente como rata de los tejados. En períodos anteriores, fue dividida en subespecies en función de la gran variación de colores en su pelaje, el cual varía desde el gris oscuro al negro, por lo que en la misma camada pueden ser encontrados animales de diferentes colores. Prefiere las frutas, las semillas y los granos, y cuando no puede encontrar estos alimentos se aleja. Tienen hábitos nocturnos, construyen nidos voluminosos con ramas y hierbas. Son buenas trepadoras y viven tanto en interiores como en exteriores.

Ocasionan graves daños a las colecciones documentales, ya que aunque no utilizan el papel como fuente de alimento, los usan para construir sus nidos, por lo que provocan en las mismas deterioro físico-mecánico de grandes magnitudes. Por otra parte, transmiten enfermedades al hombre.

Las enfermedades transmitidas por las ratas han sido estudiadas profundamente. Se incluyen: la peste, el tifus murino, la ictericia contagiosa, la fiebre por mordisco, la leptospirosis y la rabia (Bayer Environmental Science, 2005).

4.3 Insectos

Pertenecen a la clase *Insecta* y constituyen el grupo más grande dentro de los artrópodos⁶. De ellos han sido descritas al menos 900.000 especies. Se los denominan hexápodos, debido a que poseen seis patas.

⁶ Patas articuladas.

Constituyen el grupo más variado del reino animal. Se destacan los siguientes órdenes: *Lepidoptera*, *Orthoptera*, *Dictyoptera*, *Thysanura*, *Hymenoptera*, *Isoptera*, *Diptera* y *Coleoptera* (Astorga, 2003) como insectos bibliófagos.

Tienen el cuerpo dividido en cabeza, tórax y abdomen. Los caracteriza poseer mandíbula, antena, tres pares de patas y dos pares de alas (muchas especies). Son de tamaño variable: los más pequeños miden menos de 0,25 mm. de longitud, en tanto que otros pueden alcanzar los 30 cm. Poseen un exoesqueleto rígido cubierto de una sustancia proteico-quitinosa que les brinda sostén y protección; este puede ser muy duro como en los escarabajos, o blando como en los pececillos de plata. Debido a ello, no pueden crecer hasta alcanzar el estado adulto de la misma forma que lo hacen los vertebrados, por lo que deben mudar su envoltura sucesivamente (exuvia). Una vez que alcanzan la última capa, no crecen más.

Los insectos tienen órganos sexuales o gónadas cuando son adultos y algunas veces tienen los dos sexos; las hembras ponen huevos en gran número. Durante su desarrollo realizan metamorfosis, la que puede ser de dos tipos: incompleta o gradual (la más primitiva) y completa (Gallo, 1994).

Al igual que otros animales, los insectos necesitan el oxígeno del aire y expulsan dióxido de carbono. El aire penetra en el interior de cuerpo a través de los espiráculos y se distribuye por unos tubos rígidos que se ramifican, llamados tráqueas.

Están provistos de un aparato bucal masticador dotado de poderosas mandíbulas. Utilizan nervios para transmitir información desde y hacia los ganglios centrales. La información exterior se percibe a través de órganos sensoriales como los ojos y antenas. Un buen conocimiento de este sistema ayuda al diseño de pesticidas eficaces.

Algunos insectos como las abejas, las hormigas y las termitas (comejenes), viven en complejas estructuras sociales, en las que son distribuidas las diversas actividades necesarias para la alimentación, abrigo y reproducción de la colonia entre individuos adaptados para desempeñarlas.

Numerosas especies deterioran las colecciones documentales mediante daños físico-mecánicos y alteraciones cromáticas a los soportes que infestan. Están distribuidos por todo el mundo y viven en los más diversos ecosistemas, siendo más frecuentes en cantidad y variedad en los trópicos. Muchos de ellos son encontrados como contaminantes en obras y documentos, de los cuales han sido descritos alrededor de 70 especies, pertenecientes a varias familias y órdenes. Cada uno produce un tipo de erosión biológica de aspecto muy característico que permite su identificación.

La vía de acceso a las instituciones es a través de las puertas y ventanas. Pueden llegar a los almacenes adheridos al polvo, arrastrados por el viento o acompañando materiales contaminados. Su acción destructiva es muy intensa en los climas tropicales, donde las elevadas humedad y temperatura ambientales propician su desarrollo.

Muchas de las especies que habitan en los archivos y bibliotecas son cosmopolitas; otras, tienen especificidad por zonas geográficas determinadas. Poseen mecanismos de adaptación muy poderosos que les permiten sobrevivir en condiciones extremas, incluso en presencia de insecticidas, lo que los convierte en potentes enemigos.

Los grupos que encontramos con mayor frecuencia en los archivos y bibliotecas son metazoarios invertebrados de seis patas. Los más comunes son las cucarachas, trazas, polillas, brocas y piojos de los libros (Montanari, 1982). Desde el punto de vista de su desarrollo pueden ser divididos en dos grupos:

El primer grupo incluye: cucarachas (*Blattoidea*), pececillo de plata (*Thysanura*), piojo de los libros (*Corrodentia*), termitas (*Isópteros*). Estos sufren metamorfosis incompleta. Su estadio inicial es el huevo, a partir del cual, emergen las larvas.

- En las especies que los adultos no tienen alas, las larvas se desarrollan hasta que pasan directamente al estado adulto. Su ciclo de desarrollo es:



- En las especies que los adultos poseen alas, las larvas al madurar originan individuos llamados ninfas. Estas parecen adultos y se diferencian principalmente en el tamaño, ya que son considerablemente más pequeñas. Estas no tienen alas pues estos órganos comienzan a aparecer al final del estadio ninfal, en las especies que poseen estos órganos. En este caso el ciclo de desarrollo es:



El segundo grupo incluye: a los Coleópteros. Sufren metamorfosis completa. Del huevo emergen las larvas que son vermiformes, con un cuerpo blando recubierto con cerdas. Al final del período larvario, los insectos se transforman en pupas y luego pasan a adultos. Las familias de interés para nosotros son: polillas (*Anobiidae*) y escarabajos (*Dermestidae*). Tienen el siguiente ciclo de vida:



El periodo larvario es el más peligroso para los soportes, ya que las larvas consumen cantidades considerables de alimento.

Las pupas, con rasgos similares a los adultos, están envueltas en una túnica ligera que se rompe cuando pasan a su estadio superior; estas ni se mueven, ni comen; sus cuerpos blandos y pálidos oscurecen, y crecen sustancialmente hasta llegar al estado adulto.

Muchas especies de escarabajos y termitas son buenas voladoras y se dispersan fácilmente al atardecer, especialmente, en los días cálidos y húmedos, atraídas por las luces interiores. Estas invasiones son más frecuentes durante los meses de abril a julio, y con las lluvias. Otra vía usual es acompañando piezas contaminadas y materiales de embalajes infestados.

Algunas plagas insectarias viven dentro de las edificaciones durante años sin causar daños aparentes, hasta que llegan nuevas piezas y solo entonces comienzan a detectarse los primeros signos del deterioro.

El hecho de que existan grupos tan diversos, con ciclos de vida diferentes, complica el problema para los conservadores, pues hace más difícil su erradicación y control.

4.3.1 Características principales de los insectos encontradas con frecuencia en los archivos y bibliotecas

ORDEN: BLATTOIDEA
FAMILIAS: BLATTELLIDAE, BLATTIDAE
NOMBRE COMÚN: CUCARACHAS

Se conocen alrededor de 2.500 especies pertenecientes a este orden.

Viven en los climas cálidos, aunque algunas especies han comenzado a ser cosmopolitas y a extenderse a climas fríos. Suelen vivir en las habitaciones de las casas.

Estos ortópteros tienen una metamorfosis incompleta, pasando de huevo a ninfa y después a la fase adulta. Sus especies desarrollan una gran resistencia y crean defensas contra las condiciones adversas. Les gustan los lugares húmedos y sombríos. Proliferan, rápidamente, en almacenes y depósitos, donde son atraídos en busca de restos alimenticios. Cuando invaden provocan perjuicios a los materiales almacenados. Ocasionalmente causan daños superficiales en el papel y otros soportes orgánicos, así como en las encuadernaciones. Las especies encontradas con mayor frecuencia en los museos, archivos y bibliotecas son:

Blattella germanica L. (Cucaracha alemana)

Blatta orientalis L. (Cucaracha oriental)

Periplaneta americana (Cucaracha americana)

Tienen hábitos nocturnos y requieren alta humedad para vivir, razón por la cual, generalmente, residen cerca de fregaderos, baños, sótanos y desagües. Son capaces de trepar a través de superficies suaves como los vidrios. La duración del ciclo de vida varía de una especie a otra y se modifica dentro de cada una, dependiendo del medio en el cual se encuentren. Son omnívoras. Comen desechos animales y humanos. En relación a los materiales de archivos, prefieren papel, adhesivos, gomas, cueros y pergaminos. Producen erosiones superficiales con contornos irregulares y, ocasionalmente, manchas blanquecinas y agujeros en forma de coma en los soportes. Las manchas son producidas por el líquido fecal de estos insectos.



Biodeterioro ocasionado por cucarachas



Diferentes tipos de biodeterioro ocasionados por insectos

Esta familia incluye 200 especies. Estos insectos han sido encontrados en muchos países de climas templados, subtropicales y tropicales.

ORDEN: ZYGENTOMA (THYSANURA)
FAMILIA: LEPISMATIDAE OU
BRISTTELAIS
GÉNERO: *LEPISMA*
NOMBRE COMÚN: PECECILLO DE PLATA

La especie más difundida que infesta los materiales de archivos, bibliotecas y museos es *Lepisma saccharina*, L. (Pececillo de plata).

Vive en lugares húmedos ya que necesita cierta cantidad de agua para sobrevivir. Tiene hábitos nocturnos y durante el día se esconde detrás de la madera, pinturas y dentro de libros. La hembra deposita sus huevos (uno o, a lo sumo, tres) en escondites, fuera de su trayectoria. Las ninfas tienen la misma apariencia que los adultos y cuando empollan se diferencian de ellos en color y tamaño. La duración del ciclo de vida depende de las condiciones climáticas.

El pececillo de plata se alimenta de materiales que contienen almidón (por ejemplo los de base vegetal, adhesivos), constituyentes del papel y telas de algodón. Prefiere el papel hecho de celulosa pura y necesita pequeñas cantidades de proteínas, las que puede encontrar en insectos muertos y gomas de origen animal. Daña las fotografías destruyendo el papel y la gelatina. Este insecto produce erosiones superficiales irregulares, diferentes en tamaño a las ocasionadas por las cucarachas, ya que es mucho más pequeño.

ORDEN: CORRODENTIA
FAMILIA: LIPOSCELIDAE
GÉNERO: *LIPOSCELIS*
NOMBRE COMÚN: PIOJO DEL LIBRO

Este orden incluye cerca de 1000 especies. La encontrada con mayor frecuencia es *Liposcelis divinatorius* (Piojo del libro). Generalmente vive sobre materiales vegetales y animales; a veces es encontrado en documentos y páginas de libros, así como en encuadernaciones y estructuras de maderas, previamente dañadas por hongos. Se alimenta de

hongos y restos de otros insectos muertos. Esto explica por qué este insecto puede ser encontrado en el yeso de edificaciones reconstruidas y en áreas húmedas; también explica su ausencia en lugares secos y bien ventilados. Causa daños a los adhesivos del papel, herbarios y colecciones entomológicas, produciendo huecos finos y superficiales con contornos irregulares. Este tipo de erosión no es fácilmente detectable por un experto.

ORDEN: ISÓPTERA
FAMILIAS: MASTOTERMITIDAE
HODOTERMITIDAE
RHINOTERMITIDAE
TERMITIDAE
KALOTERMITIDAE
GÉNEROS: *RETÍCULITERMES*, *KALOTERMES*,
CRIPTOTERMES
NOMBRES COMUNES: TERMITAS
HORMIGAS BLANCAS

El orden Isóptera incluye cerca de 1800 especies distribuidas por todo el mundo. Su hábitat se extiende entre las latitudes 50°N y 45°S. De todas ellas, 130 son dañinas a las construcciones.

Dependiendo del lugar donde aniden, pueden ser organizadas en dos grandes grupos:

FAMÍLIA: RHINOTERMIDAE
ESPÉCIES: *RETICULITERMES LUCIFUGUS*
ROSSI
RETICULITERMES LUCIFUGUS
VAR. *SANTORENSIS*
RETICULITERMES FLAVIPE

- Termitas subterráneas: A este grupo pertenecen todas las familias, excepto las Kalotermitidae. Son aproximadamente 120 especies. Sus nidos son construidos en la tierra o madera húmeda en contacto con ella. Rhinotermitidae (*Retículitermes lucifugus*) es muy frecuente en

países del área mediterránea. Anidan en raíces de los árboles próximos a los edificios, maderas estructurales, incluso sobreviven sin contacto con la tierra.

FAMÍLIA: KALOTERMIDAE
ESPÉCIES: *KALOTERMES FLAVICOLIS*
CRIPOTERMES BREVIS

- Termitas de los bosques: Aquí se agrupan 13 especies de la familia Kalotermitidae. Los nidos son construidos en maderas previamente erosionadas por insectos.

Ambos grupos atacan las colecciones de libros y documentos. Llegan a los depósitos a través de la madera de los muebles o galerías construidas a lo largo de las paredes. La luz les es muy adversa, por lo que se resguardan en bloques y materiales compactos, ocasionando grandes daños, no observables en la superficie. Se alimentan de la celulosa; no obstante, prefieren las maderas, especialmente las suaves. Las que producen los efectos más destructivos son:

Kalotermes flavicolis raramente daña las colecciones documentales, pero sí otros bienes culturales. Las termitas, al igual que las abejas, avispas y hormigas, son insectos sociales, viven juntas, formando colonias bien organizadas. El número de individuos en una colonia varía de una especie a otra, oscilando entre 1000 y un millón. Dentro de las colonias pueden ser identificadas las castas reproductivas (rey, reina y reproductivas suplementarias) y las castas estériles (obreras y soldados). Su ciclo de vida se desarrolla de la siguiente forma:

HUEVO → NINFA → OBRERAS Y SOLDADOS

Las ninfas son similares a las obreras y sólo se diferencian de ellas en que son más pequeñas. Estos insectos ocasionan grandes daños en poco tiempo. Cavan huecos y galerías en los materiales que infestan.

Las termitas subterráneas son las más devastadoras y generalmente atacan obras en papel, así como documentos húmedos y contaminados por microorganismos.

Los Coleópteros constituyen un importante grupo de insectos que dañan libros, documentos y muchos tipos de obras, a veces masivamente.

La familia Anobiidae incluye 1.200 especies y la Dermestidae aproximadamente 1.000. Haciendo una clasificación porcentual de las infestaciones por ellos producidas, estos agentes causan el 90% de los daños de los bienes culturales en varios países. Su ciclo de vida es característico.

Ponen sus huevos en pequeños huecos o hendiduras en superficies irregulares de materiales como maderas y libros. Las larvas emergen de la superficie del huevo en contacto con el material y comienzan a cavar galerías. En el estado inicial de desarrollo, las larvas son muy pequeñas. Su tamaño se incrementa en etapas subsecuentes. Parte del material con el cual son construidas las galerías es comido, digerido y excretado. El diámetro de las galerías aumenta a medida que las larvas se desarrollan. Cuando las larvas se han desarrollado totalmente se protegen en una pequeña cámara más ancha que las galerías y ahí ocurre la transformación en pupas. Tan pronto como los insectos llegan al estado adulto, taladran la superficie que los separa del exterior, emergen, se aparean y ponen sus huevos después de cierto tiempo, el que varía de una especie a otra.



Excremento de termitas

ORDEN: COLEÓPTERA

FAMÍLIA: ANOBIIDAE
CERAMBYCIDAE (EM MADEIRAS)
DERMESTIDAE
LYCTIDAE
NICOBIDAE

GÉNEROS: *ANOBIUM*, *XESTOBIUM*, *HILOTRUPES*,
LYCTUS, *NICOBIUM*

NOMBRE COMÚN: ESCARABAJOS,
CARCOMAS (POLILLAS).



Daños por anóbidos

La familia Anobiidae está integrada por especies cosmopolitas que frecuentemente infestan archivos, bibliotecas y museos. Estas son: *Anobium punctatum* (carcoma de los muebles) *Stegobium paniceum* L. (carcoma de las drogas o escarabajo del pan), *Xestobium rufovillosum* y *Nicobium castaneum*, principalmente. La duración de su ciclo de vida varía de una especie a otra y puede ser modificado dentro de ciertos límites, dependiendo de las condiciones del medio externo.

La familia Dermestidae ataca, frecuentemente, pieles y pergaminos. Está integrada por especies muy cosmopolitas, siendo las siguientes las más encontradas:

Dermestes lardarius L. (Carcoma del toucinho)

Attagenus piceus L. (Carcoma de las alfombras)

Attagenus pellio L. (Carcoma de las pieles)

Anthrenus verbasci L. (Gorgojo de los tejidos)

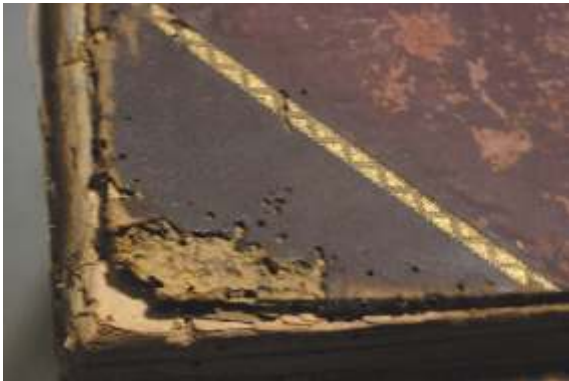
Anthrenus museorum L. (Gorgojo de los museos)

La familia Lyctidae está muy extendida en Europa. Los líctidos excavan galerías en sentido paralelo a la fibra de la madera y producen un aserrín harinoso, cuya textura es similar a la del talco. El diámetro de los orificios es pequeño, menor que 2-3 mm. *Lyctus bruneus* es una especie frecuente en climas mediterráneos.

Estos coleópteros realizan metamorfosis completa. Varían en cada región, en dependencia de las condiciones climáticas. El daño es causado casi exclusivamente por las larvas, las que hacen huecos de formas irregulares y galerías superficiales que contienen excrementos y desperdicios animales pulverizados. Al final de la etapa larval hacen cavidades más profundas, donde se depositan y endurecen.

Los Dermestidae dañan frecuentemente las pieles, encuadernaciones de pergaminos, adhesivos de origen animal, ropas de lana y seda. Destruyen colecciones entomológicas y comen materiales vegetales como papel, maderas y alimentos almacenados. En ocasiones dañan las redes eléctricas, provocando corto circuitos, por lo que resultan muy peligrosos en nuestras instituciones.

Cerambycidae se encuentra frecuentemente en maderas expuestas a climas mediterráneos. La especie más conocida en Europa es *Hylotrupes bajulus*. Su ciclo de vida es muy largo, pudiendo durar entre uno y ocho años, en dependencia de la temperatura. Los adultos tienen un tamaño de 10-20 mm. Producen orificios ovales de 5 mm., aproximadamente.



Libro con daños insectarios



Daños por insectos y bacterias

En la tabla 1 se explican los insectos encontrados con mayor frecuencia en los museos, archivos y bibliotecas.

TABLA 1

INSETOS FRECUENTEMENTE ENCONTRADOS EN MUSEOS, ARCHIVOS Y BIBLIOTECAS			
ORDEN	FAMÍLIAS	NOMBRE COMÚN	TIPOS DE DAÑOS
Blattoidea	Blattidae, Blattellidae	Cucarachas	Erosión superficial con contornos irregulares
Zygentoma (Tinasuro)	Lepismatidae	Pececillo de plata, trazas	Erosión superficial con contornos irregulares muy pequeños
Corrodentia	Liposcelidae	Piojo del libro	Diminutas abrasiones superficiales con contornos irregulares
Isóptera	Mastotermitidae Hodotermitidae Rhinotermitidae Termitidae Kalotermitidae	Termitas	Huecos profundos, galerías de trayectorias irregulares, erosiones
Coleóptero	Anobiidae Dermestidae Lyctidae Nicobidae	Polillas (carcomas), escarabajos	Túneles circulares, espirales que se extiende afuera hacia adentro. Orificios irregulares huecos profundos que contienen heces pulverizadas y excrementos
Fuente: Vaillant y Valentín, 1996.			

4.4 Microorganismos

Como su nombre lo indica, son organismos muy pequeños⁷, la mayoría de los cuales tienen dimensiones microscópicas (Frobisher, 1969). Sus células actúan como máquinas químicas perfectas porque poseen enzimas o catalizadores biológicos capaces de acelerar o retardar la velocidad de reacciones específicas. Se incluyen entre ellos organismos que difieren, ampliamente entre sí, en su forma, ciclo biológico y modo de vida (Pumarola et al, 1984). En dependencia de su estructura celular, pueden ser unicelulares, como las bacterias, levaduras, actinomicetos y protozoos, y los hay pluricelulares, entre ellos, muchas algas y ciertos hongos.

Todos los seres vivos se enfrentan con el problema de la supervivencia, la que se agrava en un ambiente desfavorable. Esta depende de la estructura, el comportamiento, la adaptabilidad de los organismos y de la sustitución de los individuos por medio de la reproducción. Por tanto, la fisiología y el desarrollo de los microorganismos deben ser considerados como la supervivencia, el crecimiento y la reproducción.

El ambiente natural de un organismo viviente es, por lo general, complicado y rara vez constante. En él muchos factores del ambiente están continuamente cambiando o fluctuando.

Por otra parte, los microorganismos pocas veces se encuentran solos, sino que están en competencia por el alimento, el oxígeno y el espacio vital con las diferentes especies. Los productos metabólicos de unos, pueden estimular o inhibir el crecimiento de otros. Las interacciones entre los componentes de una población mixta pueden ser muy complicadas.

Los saprofíticos, capaces de utilizar la materia orgánica muerta crecen, vigorosamente, y colonizan con rapidez los lugares apropiados. Las especies que no pueden competir con los organismos más fuertes, pero que pueden sobrevivir gracias a su capacidad de resistir las condiciones desfavorables, ocupan lugares menos ventajosos. De hecho, muchos parásitos prósperos crecen mejor en cultivos puros que en medios artificiales, pero en la naturaleza no pueden vivir fuera del huésped debido a la competencia con otros organismos.

Desde el punto de vista nutricional los microorganismos pueden ser autótrofos y heterótrofos. Los primeros no dependen de una fuente de carbono orgánico para nutrirse, como es el caso de los fotosintéticos y los quimiosintetizadores. Los segundos, que son la mayoría, precisan de una fuente de energía orgánica externa para llevar a cabo sus procesos vitales.

En cuanto a su comportamiento respiratorio, muchos son aeróbicos, ya que tienen estrictas necesidades de oxígeno; algunos son anaeróbicos, pues no precisan de este elemento, y otros son aeróbicos facultativos, ya que pueden vivir en ambas condiciones. Según sus características bioenergéticas y el rango de temperatura óptima para su crecimiento,

⁷ Organismos de pequeñísimas dimensiones que no pueden ser observados a simple vista.

pueden ser psicrófilos, mesófilos y termófilos, cuyas temperaturas óptimas de crecimiento están, aproximadamente, en los entornos de 0°-15° C, 25°-37° C y 40°-55° C, respectivamente. No obstante, existen excepciones (Jawetz, Melnick y Adelberg, 1983).

Algunos grupos se clasifican dentro del reino vegetal, ya que al igual que las plantas superiores poseen clorofila, tienen sus células contenidas en una membrana celulósica, muchas especies producen almidón como material de reserva y su nutrición es autótrofa. Sin embargo, un gran número de ellos pueden utilizar como fuente de energía las sustancias orgánicas del medio exterior, comportándose heterotróficamente.

La mayor parte de los protozoos son, claramente, animales. Algunos tienen clorofila, pero la ausencia de una membrana celular verdadera los separa de ese grupo.

Los virus se conocen esencialmente como agentes productores de enfermedades en las plantas, en los animales y en ciertas bacterias. Solamente pueden multiplicarse dentro de las células que infectan. Son más pequeños que las bacterias, por lo que no son visibles en el microscopio óptico. Su estructura y su organización son mucho más sencillas que la de la célula bacteriana y, a pesar de ello, poseen algunas características de los microorganismos, en especial el poder de multiplicación.

Las bacterias y los hongos tienen membrana celular durante la mayor parte de su ciclo biológico y, por consiguiente, se alimentan tomando el agua y las sustancias disueltas en el medio exterior, lo que realizan a través de la membrana celular intacta. Producen glucógeno como material de reserva. En general son heterótrofos y dependen, para cubrir sus necesidades energéticas, de un suministro externo del material orgánico apropiado.

Los hongos difieren de las bacterias en el tamaño relativamente grande de sus células, en su forma de crecimiento predominantemente filamentoso y en sus métodos de reproducción. Por otra parte, las bacterias son organismos unicelulares.

Algunos ambientes se han tornado más apropiados para el crecimiento de los microorganismos, en virtud de la acción de especies colonizadoras que separan los materiales más complicados y producen alimentos aprovechables para una amplia gama de organismos.

Los microorganismos, tanto los saprofíticos como los parásitos, son de importancia para el hombre. Los primeros atacan productos almacenados y pueden ocasionar serias pérdidas económicas. Los segundos pueden producir enfermedades al hombre, a los animales y a las plantas.

En general, los microorganismos se hallan difundidos en todos los ambientes y en todos los ecosistemas (Residori, Veca y Mate, 1986; Gallo, 1993). Se encuentran en el suelo, en el agua, en el aire, en las plantas, en los animales, en los productos alimenticios, en el organismo del hombre y en todos los objetos. Ellos y sus esporas viajan transportados por

el agua y por el viento, adheridos a partículas de polvo, tierra, etc. Poseen una gran capacidad para adaptarse a las condiciones del medio en el cual habitan, utilizan una amplia gama de sustancias para nutrirse y son capaces de subsistir en condiciones ambientales extremas, propiedad que les permite ejercer su actividad contaminante. Por ello, juegan un importante papel en el deterioro de casi todos los materiales, especialmente, los de origen orgánico.

Las colecciones documentales están compuestas por una gran diversidad de sustancias orgánicas, que sirven como elementos nutritivos a los microorganismos (Colin, 1997). En los libros, pinturas, estampas, papeles decorativos, fotografías, etc., los microorganismos encuentran diversas fuentes de alimentos (Kowalik y Sadurska, 1965; Valentín, 1974; Banks, 1983; Arruzzolo y Veca, 1991; Caneva, Nugari y Salvadori, 1994). La actividad de los microorganismos sobre los libros y documentos tiene doble efecto negativo. Por una parte, atacan a las sustancias que les sirven de alimentos, consumiendo las fuentes carbonadas como celulosa, colas, adhesivos y otros polímeros constituyentes del papel, obteniendo los nutrientes necesarios para su desarrollo y, en consecuencia, excretan productos tales como ácidos orgánicos y pigmentos, los que depositan sobre el soporte provocando su deterioro. Al mismo tiempo, su presencia puede provocar enfermedades al hombre que está en contacto con esos materiales contaminados (Staib, 1980; Bagés, 2003; Vaillant, 1999).

Existen muchos grupos de microorganismos que dañan los bienes culturales. De ellos, han sido identificadas más de 200 especies (Gallo, 1992).

4.4.1 Bacterias

Pertenecen a los Procariontes. Constituyen un grupo grande y muy variado. Con fines descriptivos, las organizan en tres subgrupos principales, que pueden distinguirse entre sí y de las algas verdes azuladas por una combinación de caracteres estructurales y fisiológicos. Estas son las Eubacterias, las Mixobacterias y las Espiroquetas, dentro de los cuales encajan la mayoría de los organismos que se suelen incluir entre las bacterias (Schlegel, 1997). Otros autores las agrupan en Eubacterias⁸ y Cianobacterias.

Existe otro grupo muy especial y considerado el más antiguo, las Archeobacterias (del griego *arkhaios* significa antiguo), constituido por organismos que, por sus características, se considera que conforman un dominio separado de las anteriores (*Archaea*). Estas, si bien lucen como bacterias, poseen características bioquímicas y genéticas que las alejan de las anteriores (Raciman y González, 2005). Son consideradas como “fósiles vivientes” pues crecen en hábitat que parecen corresponder con los que existieron en la Tierra primitiva. Actualmente este grupo se encuentra restringido a condiciones ambientales extremas como fuentes termales, depósitos profundos de petróleo, agua caliente, fumarolas

8 Comúnmente denominadas bacterias verdaderas, son las más abundantes y representativas.

marinas, lagos salinos, etc. Por su capacidad para vivir en dichos ambientes se las conoce como extremófilas; existen tres tipos: metanogénicas (generadoras de metano), halofílicas (se desarrollan en ambientes salinos donde existan concentraciones de cloruro de sodio superiores al 10%), y hipertermófilas (crecen a temperaturas elevadas, superiores a 80° C y pH extremadamente bajo).

Las bacterias pueden ser definidas como estructuras microscópicas, unicelulares, constituidas por una célula simple cuyo tamaño oscila entre 1-10 micras, aproximadamente, sin membrana nuclear diferenciada, que se multiplican por fisión binaria o bipartición sin mecanismos sexuales (Joklik, Willett y Amos, 1983). Algunas especies poseen pared celular, en tanto que otras no. Cuando son móviles, lo hacen gracias a estructuras filamentosas que poseen, denominadas flagelos, cuyo número y posición es variable y característica de cada especie.

Según su forma se clasifican en cocos (ovales o esferoides), bacilos (con forma de bastón o cilindros) vibriones (curvados, en forma de coma) y espirilos (en forma de espiral).

Los cocos tienen un tamaño de 0,5 a 1 micras de diámetro. Tienden a quedar agrupados después de la fisión binaria y según el número o formas en que lo hagan, formarán: diplococos, si la agrupación es en dos; si es en cadena forman un estreptococo y si es en un racimo irregular, forman un estafilococo. Esta propiedad tiene gran importancia desde el punto de vista taxonómico.

El ciclo de vida de las bacterias es muy simple y durante el mismo, la célula pasa por dos estadios ya que, normalmente, se reproducen por escisión binaria o bipartición en la cual, la célula madre da lugar a dos células hijas exactamente iguales.

En condiciones desfavorables, algunas bacterias sufren cambios, de los que resulta la formación de esporas intracelulares, que son acumulo de material nuclear en la célula de los que, ulteriormente, se desarrolla una membrana que la rodea. Esta es la fase de reposo de los bacilos y su germinación no ocurre hasta que reaparezcan, nuevamente, las condiciones favorables.

En forma de esporas las bacterias viajan transportadas por el viento y pueden mantenerse latentes por varios años. Son estructuras muy resistentes que les permiten colonizar y infestar muchos materiales.

De acuerdo con la fuente de la cual adquieren su energía, pueden ser clasificadas en autótrofas y heterótrofas. Las primeras obtienen la energía mediante la oxidación de compuestos inorgánicos como el amonio, los nitritos o los sulfuros y las fotosintetizadoras convierten la energía luminosa almacenada en carbohidratos; un grupo muy importante es el de las Cianobacterias.

La mayoría de las bacterias son heterótrofas, es decir que obtienen la energía necesaria para sus procesos vitales a partir de sustancias orgánicas del medio, tales como carbohidratos, proteínas, etc. Para llevar a cabo estas reacciones, ellas producen enzimas o catalizadores biológicos, que juegan un papel fundamental en el metabolismo microbiano, aunque por su bajo nivel de organización, sus enzimas son mucho menos activas que las de los hongos.

Algunas, establecen relaciones simbióticas, haciéndolo en forma mutualista y colaborando con el huésped. Otras, desarrollan una relación parasitaria y se convierten en patógenas, ocasionando enfermedades.

En cuanto a sus condiciones de vida, normalmente, se desarrollan a pH neutros en el rango 7-8 y temperatura entre 25° y 37° C, aunque algunas especies psicrofílicas toleran temperaturas de 0° C, y otras como las termofílicas resisten superiores a 45° C. Algunas excretan pigmentos y otras sustancias en el medio donde crecen. Todas estas características les confieren potencialidades como biodeteriorantes, aunque tienen mayor importancia en el orden epidemiológico (Nyuksha, 1983; Pasquariello, 1990).

En la tabla 2 se relacionan los géneros bacterianos encontrados como contaminantes de archivos, las fuentes de aislamiento, los metabolitos que produce y sus actividades deteriorantes.

TABLA 2

BACTÉRIAS CONTAMINANTES ENCONTRADAS EN ARCHIVOS Y BIBLIOTECAS			
GÉNERO	FONTE DE AISLAMIENTO	METABOLITOS QUE PRODUCE	ATIVIDAD DETERIORANTE
<i>Acinetobacter</i>	Papel, ambiente	Protease, amilase	Degradación de los componentes del soporte
<i>Bacillus</i>	Materiais orgánicos, ambiente	Amilasa, celulasa, ácidos orgánicos	Manchas violáceas, acidificación y deterioro de las fibras
<i>Cellvibrio</i>	Papel, cartão, têxteis	Protease, celulase, ácido acético	Decoloración, acidificación del soporte
<i>Lactobacillus</i>	Materiais orgánicos	Amilase, celulase, ácido láctico	Acidificación del soporte
<i>Micrococcus</i>	Materiais orgánicos, ambiente	Protease, lipase, celulase, ácidos orgánicos	Decoloración, acidificación del soporte
<i>Pseudomona</i>	Materiais orgánicos	Glucose oxidase [GOX], lipase, protease, ácidos orgánicos	Manchas pigmentarias amarillas, decoloración, acidificación
<i>Staphylococcus</i>	Papel, textiles, ambiente	Acidos lácticos y acéticos	Manchas amarillas y cremas y acidificación
<i>Streptococcus</i>	Papel, textiles, ambiente	Protease, ácidos láctico y acético	Acidificación y degradación del soporte
Fonte: Vaillant y Valentín, 1996.			

4.4.2 Actinomicetos

Los actinomicetos⁹ constituyen un grupo extenso de microorganismos, los cuales se hallan formando parte de la comunidad biológica de los más variados ecosistemas de la Tierra. Pertenecen a los *Procariontes*, con células filamentosas, que usualmente muestran cierto grado de ramificación verdadera (Sánchez, 2005). Su nombre se debe a las características radiales de sus colonias en medio sólido semejante a las de los hongos, asociado a su crecimiento en medio líquido, a la producción de micelio vegetativo aéreo, lo que hizo pensar, inicialmente, que se trataba de un grupo particular de hongos. Sin embargo, estudios posteriores han revelado que se trata de un grupo de bacterias de crecimiento micelar (Fernández y Novo, 1988), que vive, predominantemente, en el suelo.

Son gram-positivos, heterótrofos, inmóviles (excepto el género acuático *Actinoplanes*, que produce diminutas esporas flageladas en esporangios). Están unidos a las bacterias corineiformes y a las micobacterias, por una serie casi continua de formas de transición. Con algunas excepciones, son anaeróbicos. Pueden cultivarse en medios de cultivo sencillos.

Los actinomicetos presentan un típico crecimiento en colonia, pero no es comparable con el de las bacterias, puesto que no constituye la acumulación de muchas células, sino más bien de una masa ramificada de filamentos que se originan de una spora o de un fragmento de micelio. Están ampliamente distribuidos en el suelo, así como en las aguas estancadas, lodos y abonos orgánicos. De ellos, el género *Streptomyces* resulta uno de los más frecuentes. Otros también importantes son *Actinomyces*, *Micromonospora*, *Thermomonospora*, *Micropolyspora*, *Thermoactinomyces* y *Cropolyspora*. Este grupo no tiene gran participación en los procesos del biodeterioro de las colecciones de archivos y bibliotecas.

4.4.3 Hongos

Los hongos¹⁰ constituyen uno de los grupos de microorganismos más importante, numeroso y variado responsable del biodeterioro del patrimonio cultural y de las colecciones documentales en particular (Moretti y Robledo, 1983). Pertenecen a los Eucariontes y son organismos más desarrollados que las bacterias, aunque presentan similitud en sentido nutricional con muchas especies. El tamaño relativamente grande de sus células distingue al grupo de forma muy particular.

Todos los hongos son heterótrofos y en presencia de un suministro exterior de azúcares u otra sustancia orgánica, la mayoría exhibe una sorprendente capacidad biosintética. Producen una gran variedad de metabolitos, entre los se

9 Organismos que se caracterizan por su crecimiento con la formación de micelio aéreo.

10 Constituyen un grupo muy extenso de organismos, de los que han sido descritas más de cien mil especies.

incluyen no solamente proteínas celulares y materiales de reserva, sino también ácidos orgánicos, enzimas, pigmentos y sustancias antibióticas.

Son estructuras, frecuentemente, pluricelulares, aunque también los hay unicelulares, con núcleo diferenciado, mecanismos de reproducción (asexual en ciertas especies y sexual otras), un metabolismo complejo y versátil que les faculta utilizar una amplia gama de sustancias como fuente de alimento. Su cuerpo consiste en un talo o micelio vegetativo, formado por la unión de filamentos o hifas de varios mm de diámetro, que se ramifican repetidamente y que se extiende por la superficie o por el interior del sustrato en el que crecen. La mayor parte de ellos son filamentosos, lo que les permite una mayor diversidad de formas.

Los filamentos o hifas están formados por la pared celular y el citoplasma con sus inclusiones, pudiendo estar separados mediante septos transversales (hongos superiores) o carecer de ellas (hongos inferiores). Incluso en las formas septadas, el citoplasma de una está en conexión con el de las vecinas por un poro central existente en el tabique separador. En los hongos superiores, las hifas pueden agregarse para formar estructuras sólidas complejas que en algunas especies alcanzan tamaños considerables.

Los hongos viven en una gran variedad de ambientes, cualidad que les permite colonizar muchos ecosistemas. La mayoría prefiere los lugares húmedos, aunque algunos pueden resistir condiciones de sequedad.

Pueden reproducirse de dos formas: asexual y sexualmente. La primera se efectúa mediante la fusión de esporas iguales y por gemación. La segunda ocurre por la unión de esporas diferenciadas o gametos como ocurre en los hongos superiores (macro hongos).

Muchos son saprofitos, alimentándose de materia orgánica no viviente; entre estos se incluyen especies perjudiciales, que deterioran los alimentos, productos almacenados y todos los soportes orgánicos. Algunos son parásitos en el hombre, en las plantas y en los animales.

De acuerdo con su estructura celular, son agrupados en unicelulares y pluricelulares.

4.4.3.1 Hongos unicelulares

Algunos autores los denominan hongos inferiores (Schlegel, 1997). El tipo más sencillo del micelio fúngico es el de los hongos unicelulares, la mayoría de los cuales constan de una sola célula, sin tabiques separativos o septos; poseen una membrana nuclear definida durante la mayor parte de su ciclo biológico. Su cuerpo consiste de un micelio indiviso en

forma de células muy ramificadas de la cual se separan las hifas en forma de ramas y cuya reproducción es asexual. Algunos causan enfermedades a las plantas.

Otro grupo importante son las levaduras, las que, normalmente, constan de una sola célula, suelen ser globosas y en ocasiones cilíndricas. Están rodeadas por una membrana celular definida, delgada y elástica en las células jóvenes, pero que puede hacerse gruesa y rígida en las de mayor edad. Poseen un núcleo bien diferenciado y reproducción asexual.

En algunas especies la célula de las levaduras puede estar embebida en una capa capsular mal definida. Cuando son jóvenes, contienen una masa citoplasmática más o menos homogénea, en la cual están las vacuolas, gránulos y otras sustancias. Poseen un núcleo bien definido. Varios géneros producen pigmentos como las *Rhodotorulas*.

En condiciones favorables sus células se multiplican con rapidez. La mayoría lo hace por gemación. Una pequeña protuberancia o yema crece en la célula materna, aumenta de tamaño hasta alcanzar el de aquella, se estrangula y separa de ella. Las yemas se desarrollan en uno o más lugares definidos de la célula materna según la especie. Algunas especies de levaduras exhiben una escisión binaria en forma similar a las células bacterianas. Ambos métodos de multiplicación conducen a la formación de nuevas células.

Varias especies de levaduras producen esporas, pero estas se forman de una manera diferente que las endosporas bacterianas.

En cuanto a sus condiciones de vida, prefieren los pH ligeramente ácidos, humedades relativas y temperaturas elevadas y los carbohidratos simples como fuente de carbono y energía.

4.4.3.2 Hongos filamentosos

A veces se los suelen denominar hongos superiores y los agrupan dentro de los *Eumicetes*. Les es característica la posesión de un micelio septado. Abarcan los *Ascomicetes*, *Basidiomicetes* y *Deuteromicetes* (hongos imperfectos)¹¹ o aquellos que carecen del estadio sexual perfecto, o en los que aún no ha podido probarse.

La mayoría de los hongos son filamentosos. Poseen una masa de hifas ramificadas. Estas pueden ser tabicadas o septadas y no tabicadas o aseptadas. Las formas aseptadas son características de los hongos inferiores o ficomicetos; se consideran como las más primitivas.

11 Los hongos imperfectos no son totalmente asexuales pues en ellos ha podido probarse cierta para-sexualidad. Su taxonomía está basada en formas secundarias de clasificación y en otras características que sirven para nombrarlos y identificarlos.

Las hifas de los hongos superiores normalmente están tabicadas. Entre las del mismo micelio pueden observarse considerables diferencias de formas. Las portadoras de los cuerpos reproductores no sólo difieren de las vegetativas en el modo de ramificarse, en la pigmentación y en la respuesta a estímulos externos, sino que el micelio puede estar formado por uno o más tipos de hifas vegetativas.

La reproducción de los hongos se realiza, habitualmente, por esporas. Las de cada especie son notablemente uniformes en forma, tamaño y estructura. Estas cualidades son importantes en la clasificación de este grupo.

Las esporas se separan con facilidad del micelio paterno. Algunas son esparcidas por mecanismos especiales y a menudo complicados. Son pequeñas y fácilmente transportadas por el viento y otros agentes; de este modo son dispersadas a distancias considerables. Esta facilidad de diseminación es un factor principal para la colonización por los hongos de los ambientes apropiados. En condiciones adecuadas las esporas germinan y de ellas nacen hifas jóvenes.

La mayor parte de los hongos producen más de un tipo de espora. Lo más frecuente es la producción en gran número de esporas originadas asexualmente (el llamado estadio imperfecto). Estas dan lugar a la reproducción asexual.

Frecuentemente, cuando las condiciones son menos favorables, bien sea por la disminución de nutrientes o por otras causas, la mayor parte de los hongos pasan al estadio perfecto. Entonces, en muchas especies, las esporas se producen como consecuencia de la fusión de las células diferenciadas, dando lugar a la reproducción sexual.

Los hongos son afectados por muchos factores del medio entre los que se encuentran: la naturaleza y concentración del suministro nutritivo, la humedad relativa, la temperatura, la luz y el pH. Los cambios en dichos factores pueden inducir modificaciones morfológicas y fisiológicas, que hacen difícil su reconocimiento y alteran su comportamiento.

La mayoría son muy variables, tanto en condiciones naturales, como en los cultivos de laboratorio. Algunas veces las variaciones están influenciadas por cambios en las condiciones ambientales. El hongo regresa a la forma original cuando el medio ambiente le es favorable.

En cuanto a sus condiciones de vida, se desarrollan a pH de 4-6, humedades relativas superiores la 70% y temperaturas más bien elevadas, próximas a los 30° C, aunque en sentido bioenergético, las oscilaciones de los parámetros antes mencionados favorecen la germinación de las esporas fúngicas.

El término “moho” es, comúnmente, usado para describir una sustancia de aspecto aterciopelado que crece en la superficie de los materiales orgánicos creada por los hongos (Wood, 1988; Merrit, 2002). También es utilizado para detallar el crecimiento de una variedad de microorganismos, especialmente, el de los hongos que provocan deterioros en los objetos de valor cultural (Parker, 1989).

Los “mohos u hongos mohosos” crecen sobre cualquier sustrato que contenga los nutrientes necesarios, incluyendo el papel, los adhesivos, el cuero, los textiles y todos los soportes orgánicos.

Ciertas especies prefieren los almidones, las gomas y las proteínas fácilmente degradables, así como el apresto del papel y algunas tintas de diseño, mientras que otras son capaces de degradar la celulosa y otros polímeros constituyentes de los objetos de valor histórico artístico. Esto provoca que el soporte se debilite y se manche de una manera irreversible.

Algunos hongos pueden crecer sobre la capa orgánica, suciedad, grasa y polvo que se deposita sobre materiales inorgánicos, como metales, vidrio, o sobre películas sintéticas de acetatos de celulosa o poliéster.

Este grupo tiene especial importancia en el microbiodeterioro de todos los materiales orgánicos, por lo que su estudio resulta muy importante.

En la tabla 3 se relacionan algunos de los géneros fúngicos encontrados como contaminantes de archivos, destacando la fuente de aislamiento, los metabolitos que producen y actividad deteriorante.

TABLA 3

ALGUNOS HONGOS CONTAMINANTES EN ARCHIVOS Y BIBLIOTECAS			
GÉNERO	FONTE DE AISLAMIENTO	METABOLITOS QUE PRODUCE	ACTIVIDAD DETERIORANTE
<i>Alternaria</i>	Materiales orgánicos y ambiente	Proteasa y Amilasa	Manchas micelares pardas, degradación del soporte
<i>Aspergillus</i>	Materiales orgánicos y ambiente	Enzimas y ácidos orgánicos	Manchas micelares coloreadas, degradación y acidificación del soporte
<i>Chaetomium</i>	Papel, cartón, pieles, foto documento	Celulasa, ácidos acético y láctico	Manchas pigmentarias tonos crema y rosada, acidificación
<i>Cladosporium</i>	Materiales orgánicos, cintas magnéticas, ambiente.	Proteasa, ácidos láctico, acético, fumárico	Decoloración y acidificación del soporte. Manchas micelares azul-violeta y/o rosa
<i>Fusarium</i>	Materiales orgánicos y ambiente	Celulasa, ácidos orgánicos	Manchas rosadas, decoloración, daños a las fibras
<i>Mucor</i>	Materiales orgánicos y ambiente	Proteasa, ácidos orgánicos	Manchas micelares pardas amarillas, acidificación
<i>Penicillium</i>	Materiales orgánicos y ambiente	Enzimas y ácidos orgánicos	Manchas micelares verdes, degradación y acidificación
<i>Rhizopus</i>	Varios tipos de materiales orgánicos y ambiente	Enzimas y ácidos orgánicos	Manchas micelares pardas, oscuras, pigmentos, acidificación
<i>Sporotrichum</i>	Papel, textiles, ambiente	Celulasa, lignasa, proteasa y ácido celobiónico	Manchas pardas oscuras, afectan a fibra celulósica
<i>Trichoderma</i>	Papel, cartón y maderas	Celulasa, ácidos celobiónico y acético	Manchas pardo oscuro, afectan la fibra celulósica
<i>Verticillium</i>	Papel y textiles	Celulasa, ácidos celobiónico y acético	Manchas micelares pardo oscuro, pigmentos, degradan las fibras
Fuente: Vaillant y Valentín, 1996.			

4.4.4 Algas

Se clasifican dentro del reino vegetal. En algunos sistemas taxonómicos, las algas eran organizadas en cuatro grupos principales, atendiendo a su color. Estos eran: clorofíceas o algas verdes, feofíceas o algas pardas, rodofíceas o algas rojas y cianofíceas (mixofíceas) o algas verde-azuladas. Estos, aunque han sufrido modificaciones, aún se mantienen vigentes. Posteriormente, han sido reagrupadas en once órdenes y las investigaciones más recientes sugieren la existencia de, al menos, 16 líneas filogenéticas¹².

Las algas eucarióticas son plantas fotosintéticas, predominantemente, acuáticas con tallo (del griego *thallos* que significa crecimiento de la planta). Se clasifican dentro las Talofitas. Aquí se enmarcan más de 100.000 especies ampliamente distribuidas en el agua, sobre la tierra o como parásitas de otras plantas y animales.

Habitan en los ambientes húmedos, aunque algunas viven sobre superficies rocosas o adheridas a la corteza de los árboles y objetos sólidos mediante sus estructuras rizoides. Algunos géneros tienen representantes que viven en simbiosis con especies específicas de hongos, formando los líquenes. Son de tamaño variable, abarcando desde las microscópicas unicelulares, hasta las marinas gigantes, las que pueden medir más de 100 metros.

Las formas macroscópicas suelen fijarse, firmemente, a una superficie y crecen en abundancia como algas marinas. También pueden desarrollarse sobre las rocas que se encuentran en las aguas dulces, estancada o corriente, desprendiéndose posteriormente, y formando el “verdín de las charcas”. Las microscópicas son en su mayoría unicelulares y planctónicas (móviles, o que flotan libremente) y constituyen una parte esencial de la cadena alimentaria de todos los seres acuáticos.

Al igual que las plantas superiores, las algas poseen clorofila, tienen sus células contenidas en una membrana celulósica y muchas especies producen almidón como material de reserva (Vilée, 1974). Debido a sus características fotosintéticas son capaces de elaborar hidratos de carbono a partir de dióxido de carbono y agua en buenas condiciones de iluminación.

Son autótrofas. Su economía está basada más en su capacidad de sintetizar y acumular materia orgánica, que en la de destruirla. Sin embargo, cuando viven en la oscuridad, algunas pueden utilizar como fuente de energía una serie de sustancias orgánicas, comportándose heterotróficamente.

12 Grupos de organismos con un antepasado común: Categoría de Filo en Zoología y división en Botánica.

La mayoría de las algas verde azuladas, presentan en común con las bacterias su estructura procariota y formación de agrupaciones filamentosas de células (tricomas), es decir, unidades fisiológicas en las que las células están unidas por paredes celulares muy delgadas o mediante poros.

Las algas habitan, fundamentalmente, en el agua o en ambientes muy húmedos, tales como paredes y suelo mojado. Muchas formas no sedentarias unicelulares o filamentosas flotan, libremente, en los estanques, en los lagos, en los depósitos de agua y solo están expuestas a la desecación en el caso de que el agua disponible se evapore. El terreno posee una flora de algas característica que comprende varias especies.

Algunas de las pertenecientes a Trentepohlia, crecen en ambientes más expuestos tales como muros, paredes y rocas; a causa de su crecimiento, así como a la excreción de sustancias ácidas, contribuyen a la destrucción de esos soportes.

Este grupo tiene gran importancia en los procesos del biodeterioro del patrimonio inmueble (Ortega-Calvo, Hernández-Marine y Saíz – Jiménez, 1991).

4.4.5 Líquenes

Aunque los líquenes¹³ se asemejan a las plantas, realmente, son asociaciones de hongos y algas, ejemplo clásico de mutualismo perteneciente al reino vegetal. Han sido descritos unos 1.500 tipos dentro del filo *Eumycophyta* y se conocen unas 10.000 especies (Hale, 1983). En ellos el alga está envuelta por las hifas fúngicas que la protege de la desecación. Aún no está esclarecido si se trata de una asociación simbiótica o parásita.

Su actividad biodeteriorante está dada, fundamentalmente, por la respiración de los talos y producción de dióxido de carbono, por los daños mecánicos que ocasionan debido a las contracciones y dilataciones del talo en dependencia del grado de humedad o sequedad, por la producción de compuestos quelantes (ácidos liquénicos) y por la formación de ácido oxálico el que forma diferentes tipos de complejos moleculares.

Su cuerpo o talo suele tener formas de crecimiento características: en forma de corteza en el caso de los crustáceos, como hoja en los foliáceos y como un tallo en los fruticulosos. Esta cualidad tiene gran importancia en su reconocimiento.

13 Organismos constituidos por sociedades simbióticas de hongos y algas.

Los líquenes son habitantes frecuentes en monumentos y edificaciones antiguas, debido a que soportan condiciones de vida muy austeras, y resisten bien la desecación. Son organismos pioneros en la colonización de la piedra y materiales de construcción, en los que pueden ocupar situaciones incluso más expuestas.

Juegan un papel muy importante en el biodeterioro del patrimonio inmueble y soportes inorgánicos.

En la tabla 4 se resumen los principales grupos microbianos que dañan los bienes culturales.

TABLA 4

GRUPOS DE MICROORGANISMOS QUE DAÑAN LOS BIENES CULTURALES			
GRUPO	HÁBITAT	MATERIALES QUE ATACAN	ACTIVIDAD DETERIORANTE
Bacterias	Ambiente y materiales orgánicos y algunos metales	Papel, materiales fotográficos, pergaminos, textiles	Degradación de los componentes de los soportes, manchas pigmentarias
Actinomicetes	Suelo	Papel y derivados micelares	Degradación del soporte y manchas
Hongos	Ambiente y todos los materiales orgánicos	Papel, materiales fotográficos, pinturas, esculturas, textiles, etc.	Degradación y acidificación de los soportes, manchas micelares y pigmentarias, afectación de las propiedades mecánicas
Algas	Agua y ambientes húmedos	Muros, paredes y rocas	Excreción de sustancias ácidas, afectaciones mecánicas y cromáticas
Líquenes	Ambientes húmedos, monumentos y edificaciones antiguas	Piedra y rocas	Producción de ácidos orgánicos y daños mecánicos a los materiales que atacan
Fuente: Vaillant y Valentín, 1996.			

5

ACTIVIDAD DE LOS MICROORGANISMOS EN EL BIODETERIORO DE LAS COLECCIONES DOCUMENTALES

5.1 Consideraciones generales

La influencia de los factores ambientales en la conservación de los bienes culturales es una cuestión irrefutable.

Cuando ciertos factores del medio como la humedad, la temperatura, la iluminación, la contaminación del aire y la ventilación alcanzan determinados niveles, constituyen, junto con la manipulación incorrecta, así como con los distintos elementos como el edificio y sus características micro climáticas, la proliferación de los agentes biológicos y las diferentes actividades humanas, la principal causa del deterioro de los bienes culturales en general y de los materiales de archivos y bibliotecas en particular, debido a las interrelaciones sistémicas existentes entre ellos.

Para evitar los daños que estos factores puedan ejercer sobre los acervos es necesario controlarlos artificialmente, manteniéndolos dentro de ciertos límites adecuados para la conservación de cada tipo de colección (Herráez, 1997), teniendo en cuenta que la alteración de uno de ellos puede afectar a los restantes.

Los problemas generados por los agentes biológicos, particularmente por los microorganismos en los archivos y bibliotecas son conocidos. Estos agentes provocan un daño colosal a nuestras colecciones y los perjuicios toman serias magnitudes en los países tropicales, por la influencia de las altas humedades relativa y temperatura, así como las oscilaciones de dichos parámetros.

5.2 Biodeterioro y microbiobiodeterioro

El biodeterioro fue definido por Hueck (1965) como cambios indeseables en las propiedades de un material causado por la actividad biológica de los organismos. En términos más amplios podemos definirlo como el conjunto de daños que ocurren a los objetos provocados por agentes biológicos.

El microbiobiodeterioro consiste en aquellos procesos de biodeterioro provocados por microorganismos. Cuando son ocasionados por algas lo denominan ficobiodeterioro. Es decir, se trata de cambios indeseables que ocurren en las propiedades de los materiales ocasionados por la actividad vital de un amplio espectro de seres vivos (Dhawan, 1986; Koestler et al, 1988; Gallo, 1992; Florian, 1996; Flieder y Capderou, 1999). Dichos procesos pueden ser llevados a cabo por una amplia gama de microorganismos, entre ellos, bacterias, actinomicetos, levaduras, hongos, algas líquenes y musgos.

Los signos que se observan en los materiales son: manchas, eflorescencias, decoloraciones, perforaciones, lesiones, grietas, debilitamiento y penetración del soporte, así como daños químicos, mecánicos y estéticos. Este fenómeno puede tener diferentes causas, orígenes y manifestaciones. En estos procesos participan diversos factores, los que actúan en conjunto y permanentemente. Ocurren a través de mecanismos específicos, en dependencia de la composición química de los materiales que sean de naturaleza orgánica o inorgánica, así como de las características nutricionales de los agentes biodeteriorantes.

El biodeterioro de los objetos constituidos por materiales orgánicos, tales como papel, madera, textiles, cuero, pergamino y otros, es llevado a cabo por los microorganismos heterótrofos, los que incluso son capaces de degradar enzimáticamente las macromoléculas constituyentes de dichos soportes.

En el caso de los objetos de origen inorgánico, tales como piedra, esculturas al aire libre, cerámicas, vidrios y metales, es llevado a cabo por musgos, plantas superiores y microorganismos autótrofos, los que poseen las potencialidades metabólicas específicas para ejecutar determinadas reacciones.



Biodeterioro por hongos



Biodeterioro de la escultura



Biodeterioro de la piedra



Líquen crustáceo



Líquen arborescente

En algunos casos pueden establecerse determinadas interrelaciones entre los diferentes grupos.

Entre las características de los materiales que ejercen una influencia importante en el biodeterioro debemos considerar su composición y naturaleza, el contenido acuoso, el pH y la presencia de impurezas, ya que favorecen el desarrollo de determinados grupos de microorganismos según sus requerimientos vitales.

La higroscopicidad de los materiales y en consecuencia su contenido acuoso es una propiedad muy importante, específicamente, en los objetos constituidos por macromoléculas orgánicas. La presencia de impurezas de varias naturalezas también puede favorecer el desarrollo de determinados organismos biodeteriorantes.

Los límites de concentración de iones hidrógeno para el crecimiento de la mayoría de los microorganismos están en el rango 4.0-9.0. Los niveles ácidos (4.0-6.0) favorecen el desarrollo de los hongos, en tanto que los básicos (8.0-9.5) propician el crecimiento de las bacterias.

Analizando el fenómeno del biodeterioro a nivel molecular, se trata de reacciones biodegradativas en las que la energía generada por los microorganismos, enzimas y otros portadores de la actividad biológica constituyen los elementos fundamentales de estos procesos. En ellas, cada uno de los factores del medio ambiente juega un papel específico, como se explica a continuación:

- La humedad relativa del aire constituye uno de los factores más importantes en el desarrollo de los procesos biodegradativos, ya que todas las reacciones metabólicas requieren un ambiente acuoso. Por ello, para que un organismo pueda crecer y desarrollarse, deberá tener agua a su disposición.

Las necesidades hídricas de los microorganismos pueden ser expresadas cuantitativamente en forma de la “actividad acuosa (W_a)”, semejante a la energía de activación de las reacciones puramente químicas. Los hongos requieren valores elevados de humedad para crecer y producir las enzimas necesarias para elaborar sus alimentos, así como para reproducirse (Stainer, Doudoroff y Adelberg, 1977).

En general está demostrado que niveles superiores al 65% propician el desarrollo de los microorganismos y de sus esporas (Dhawan y Agrawal, 1986). Los materiales orgánicos, tales como papel, lana, cuero y telas son higroscópicos y pueden absorber humedad del medio circundante.

- La temperatura es un factor fundamental para el desarrollo y actividad de los microorganismos, ya que cada uno tiene requerimientos específicos de acuerdo con sus características bioenergéticas y según el rango de temperatura óptima de crecimiento (Sánchez, 2008). Al mismo tiempo, es preciso tener en cuenta que el crecimiento y la reproducción de los seres vivos son el resultado de un conjunto de reacciones metabólicas interrelacionadas, y para que ellas puedan verificarse, el organismo necesita de una fuente de energía calorífica, la cual obtienen del ambiente y la transforman en energía celular.

La mayoría de los agentes que biodeterioran el patrimonio cultural crecen en el rango de temperaturas entre 15° y 37° C, resultando óptima en torno a los 30° C, niveles que son bastante frecuentes en nuestras instituciones. Por otra parte, muchos microorganismos producen esporas, las que sobreviven en condiciones extremas de temperatura. Por ello, y por las interacciones que establece con la humedad relativa, la temperatura constituye un factor de relevada importancia en los procesos del biodeterioro de los objetos.

- La luz ejerce determinados efectos sobre las células vivas y los microorganismos y, por ende, sobre las reacciones biodegradativas.

Las radiaciones ultravioletas actúan sobre las moléculas absorbentes de energía, produciendo excitación electrónica y elevando su contenido energético. En este sentido tienen un efecto análogo al de las radiaciones ionizantes, y su acción puede ser letal o mutagénica según el organismo y la dosis suministrada. Los mayores efectos letales se producen por debajo de 260 nanómetros, zona donde las bases púricas y pirimídicas del material genético de las células absorben estas radiaciones. Estas últimas actúan sobre el ADN formando enlaces covalentes con otras bases, modificando la estructura y comportamiento bioquímico del organismo en cuestión.

Las radiaciones visibles están más dirigidas a los microorganismos autótrofos y células pigmentadas en cuanto a su capacidad para captar ésta energía. En general se sabe que este efecto está relacionado con el incremento del coeficiente de mutación de los pigmentos microbianos, sin que ello implique gran variación en su actividad biodegradativa.

En cuanto a las radiaciones infrarrojas, su bajo contenido energético hace que tengan pocas influencias sobre las reacciones biodegradativas de los microorganismos. No obstante, el calor que generan tiende a provocar efectos similares a las temperaturas elevadas.

El papel desempeñado por la luz en el crecimiento de los hongos no está bien esclarecido, aunque algunos autores aseguran que este factor puede acelerar la esporulación. Sus efectos deben ser analizados en interacción con otros factores del medio ambiente..

- El oxígeno influye en dependencia de las características respiratorias de cada agente biológico, ya que no actúa de la misma forma en todos los microorganismos. La mayoría tiene necesidades estrictas de este elemento como son los aeróbicos estrictos. Los anaeróbicos no lo necesitan para crecer. También hay un gran número de ellos, los aeróbicos facultativos, que pueden vivir en cualquiera de las dos condiciones. La respuesta depende de las características fisiológicas de cada especie.
- La ventilación es un factor muy importante. Está íntimamente relacionada con la circulación de aire y con la humedad relativa existente en el entorno (Thomson, 1998). Su influencia dependerá de las necesidades específicas de cada especie, pero en general, la circulación de aire favorece la rápida evaporación y secado de los materiales, evitando así la acumulación de agua ambiental y disminuyendo las probabilidades de germinación de las esporas.

5.3 Tipos de daños

Los factores antes mencionados dirigen el sentido y velocidad de los procesos biodegradativos llevados a cabo por los microorganismos y en general por todos los agentes biodeteriorantes. Como resultado final, se originan diversas transformaciones y daños en las colecciones, que afectan sus cualidades y integridad, producto de los diferentes tipos de procesos que en estos se verifican, entre ellos (Bolívar, 1995):

- Daños físico-mecánicos,
- Daños químicos,
- Daños estéticos.

5.3.1 Daños físico-mecánicos

En este grupo se incluyen aquellos procesos cuyos mecanismos conllevan a cambios de las propiedades físicas y mecánicas de los soportes originados por la acción de los agentes biológicos, presencia de ciertas estructuras, así como las transformaciones y fragmentaciones moleculares que estos originan. Ocasionan una pérdida de cohesión del soporte debido a la acción mecánica de los organismos (movimiento o crecimiento); los fragmentos producidos poseen la misma composición química que el material original y se desprenden con facilidad a causa de la presión ejercida por el crecimiento microbiano o de sus estructuras (por ejemplo, hifas fúngicas).

Frecuentemente los daños ocasionados por los macroorganismos, como roedores y insectos, son muy graves en comparación a los provocados por los microorganismos, en términos de magnitud y presiones ejercidas. A esto habría que agregar que cuando se produce la fragmentación del soporte, este ofrece una mayor superficie de contacto y acción a otros factores del deterioro, especialmente si estos procesos ocurren en un ambiente externo. Al mismo tiempo, la adhesión que se establece entre el agente biológico y la superficie del soporte es muy importante, ya que la velocidad de estas transformaciones está directamente relacionada a ella.

Los insectos deterioran los soportes orgánicos cuando utilizan las sustancias constituyentes de estos materiales para nutrirse, ocasionando afectaciones de las propiedades físico-mecánicas, tales como erosiones superficiales, túneles y galerías.

Otras formas de daños físicos muy frecuentes son los provocados por el hombre en los actos vandálicos. Ejemplos de ellos son la mutilación de los libros y documentos, los graffiti, así como las acciones mal intencionadas que observamos en muchos tipos de obras, libros y documentos, entre otros.

5.3.2 Daños químicos

Aquí se enmarcan todos aquellos procesos cuyos mecanismos de acción originan cambios y transformaciones en las propiedades químicas de los soportes debido a la actividad de los agentes biológicos, tales como degradación, oxidación, disolución y corrosión de las tintas, entre otros. En estos casos la acción química se debe a variaciones de pH, a la degradación de las macromoléculas constituyentes del papel, así como a la excreción de varios tipos de sustancias producto de su actividad metabólica y a la utilización de productos inadecuados en las restauraciones y fumigaciones.

Las transformaciones químicas que suelen ocurrir en los objetos pueden ser originadas de diversas formas y transcurren mediante la producción de las siguientes sustancias: ácidos orgánicos, enzimas y pigmentos. Ejemplos representativos de estos procesos son la degradación enzimática de la celulosa que ocurre en los soportes de esta naturaleza cuando son biodegradados por hongos celulolíticos y la degradación de las proteínas constituyentes de los pergaminos cuando sufren una infección con bacterias proteolíticas. Los pigmentos microbianos son también la causa del microbiodeterioro del patrimonio documental.

Algunos microorganismos excretan, durante su crecimiento, pigmentos de diferentes colores y tonalidades, los que se difunden en el soporte y originan manchas difíciles de eliminar. Vale destacar que el color de las manchas producidas depende del tipo de pigmento y de otros factores.

Principalmente los hongos producen muchos tipos de manchas en los soportes en los que crecen debido a la diversidad de pigmentos que ellos pueden excretar y al propio crecimiento del micelio fúngico, el que está íntimamente relacionado con el color de la colonia.

5.3.3 Daños estéticos

Según Agrawal, Dhawan y Garg (1989), este concepto es frecuentemente utilizado para caracterizar aquellos cambios que observamos en los objetos que afectan sus cualidades estéticas. Los daños estéticos comprenden cambios cromáticos, desarrollo de pátinas, aparición de manchas de diferentes colores, texturas, o el impedimento visual de ciertas características y rasgos de la escritura. Ahora bien, no siempre es posible diferenciar entre los daños estéticos de origen biológico de los ocasionados por factores químicos, como suele ocurrir con los procesos oxidativos y el moteado.

La dificultad deriva del hecho de que cuando una población biológica se desarrolla sobre la superficie de un soporte, aunque este no haya sido utilizado como fuente de energía, la presencia de anhídrido carbónico y de otros productos metabólicos originados puede provocar cambios químicos, aunque no produzca un efecto macroscópico

inmediatamente. En este sentido es necesario tener en cuenta las características de la alteración biológica, que está directamente relacionada con las cualidades fisiológicas del organismo biodeteriorante, la naturaleza y composición del soporte, así como con las condiciones medioambientales en las que estas reacciones tienen lugar.



Microbiodeterioro del manuscrito



Varios tipos de microbiodeterioro

5.4 Microbiodeterioro del papel

Además de los agentes biológicos antes mencionados, existen muchos microorganismos heterótrofos que dañan el papel y otros soportes orgánicos, proceso que realizan actuando sobre su estructura y en las condiciones bajo las que son almacenados.

En los libros, documentos, manuscritos y pinturas elaboradas en papel, encontramos como factor común la presencia de sustancias orgánicas, susceptibles de ser metabolizadas por los microorganismos. Como resultado de estos procesos, los objetos se deterioran, es decir, ocurren transformaciones específicas en ellos a nivel molecular que causan daños característicos, muchas veces apreciables a simple vista.

Con frecuencia, se aprecian varios tipos de manchas de diferentes colores y tonalidades o, en el peor de los casos, nos encontramos al mismo tiempo con afectaciones químicas, mecánicas y cromáticas. Dichas manchas suelen ser producidas por pigmentos excretados por los microorganismos y por el crecimiento micelar. Muchas bacterias y levaduras ocasionan manchas pigmentarias. Los hongos producen ambos tipos.

La magnitud y tipos de daños que ellos ocasionan en los diferentes soportes están directamente relacionados con sus capacidades biodeteriorantes, con sus propiedades fisiológicas y con las condiciones ambientales.



Manchas fúngicas en el papel



Manchas fúngicas en el libro

El papel, los pergaminos, los lienzos, la madera, los textiles y todos los soportes orgánicos en general son materiales susceptibles de ser biodegradados por los microorganismos debido a sus macromoléculas constituyentes, en particular a la presencia de celulosa, proteínas y otros biopolímeros como componentes mayoritarios. En estos procesos tienen gran significación los microorganismos celulolíticos, proteolíticos y amilolíticos (Janskekar, Haltmeier y Brown, 1982; Higuchi, 1982; Havermans, 1995), ya que la degradación microbiana de esos polímeros ocurre por vía enzimática (Villalba et al, 2004).

Las bacterias, a excepción de unas pocas especies, no representan un gran peligro, ya que su capacidad celulolítica es limitada. Estas son mucho más importantes en el orden epidemiológico.

En la tabla 5 se relacionan los materiales que dañan las bacterias.

TABLA 5

MATERIALES DAÑADOS POR BACTERIAS								
GÉNERO	PAPEL	PIEL	PERGAMINO	ADHESIVOS	SINTÉTICOS	TEXTILES	LIENZOS	MADERA
<i>Bacillus</i>	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Cellvibrio</i>		X		X		X		
<i>Cellfalcúla</i>				X				
<i>Micrococcus</i>		X		X		X		
<i>Nocardia</i>				X				
<i>Streptomyces</i>		X		X		X		
<i>Cytophaga</i>				X				
<i>Sporocytophaga</i>				X				
Fuente: Gallo, F., 1992.								

Por el contrario, los hongos sí constituyen un peligro en nuestras instituciones, justamente por la gran capacidad celulolítica de muchas especies. Producen manchas características de diferentes texturas y tonalidades, resultado del crecimiento micelial. Además de los pigmentos y manchas micelares, durante el metabolismo microbiano los componentes mayoritarios de los soportes son degradados. Al mismo tiempo, sintetizan ácidos orgánicos, entre otros, oxálico, fumárico, acético y láctico, los cuales se depositan sobre los soportes, acidificándolos y debilitándolos. Es decir que, además de las afectaciones cromáticas, se producen daños químicos.

Los hongos son los responsables de la casi totalidad de los procesos de microbiodeterioro de los acervos documentales, ya que constituyen los agentes etiológicos de muchas infecciones micóticas de las personas que están en contacto con las colecciones contaminadas.

Su actividad microbiodeteriorante se basa en su capacidad para utilizar los componentes del papel y otros soportes celulósicos tales como lienzos, maderas y textiles como fuente de carbono y energía, y se manifiesta por la aparición de manchas coloreadas y otros signos característicos de este fenómeno. Está relacionada con los factores que propician su desarrollo, los cuales deben ser cuidadosamente controlados con vistas al establecimiento de las medidas preventivas y profilácticas necesarias.



Biodeterioro de la pintura



Detalle de microbiodeterioro del grabado

En la tabla 6 se relacionan los materiales dañados por los hongos.

TABLA 6

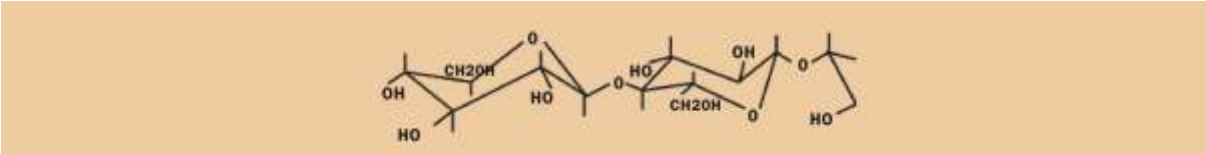
MATERIALES DAÑADOS POR HONGOS								
GÉNERO	PAPEL	PIEL	PERGAMINO	ADHESIVOS	SINTÉTICOS	TEXTILES	LIENZOS	MADERA
<i>Alternaria</i>	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Aspergillus</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Chaetomium</i>	X	X	X			X	X	X
<i>Cephalosporim</i>	X		X			X		
<i>Cladosporium</i>	X	X	X		X	X	X	
<i>Fusarium</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Geotrichum</i>	X					X	X	
<i>Mucor</i>	X	X	X			X		
<i>Paecilomyces</i>	X	X				X	X	X
<i>Penicillium</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Phoma</i>	X					X		
<i>Pullularia</i>	X	X			X	X	X	
<i>Rhizopus</i>	X	X	X			X		
<i>Rhodotorula</i>	X	X	X					
<i>Scopulariopsis</i>	X	X	X			X	X	X
<i>Sporotrichum</i>	X					X	X	X
<i>Stachybotrys</i>	X			X		X		
<i>Trichoderma</i>	X	X				X	X	X
<i>Trichothecium</i>	X		X			X	X	
<i>Verticillium</i>	X					X		
Fuente: Gallo, F., 1992.								

5.5 Transformaciones bioquímicas en estos procesos

5.5.1 Biodegradación de la celulosa

Para comprender los mecanismos bioquímicos de estos procesos, es necesario saber que es la celulosa y los compuestos macromoleculares orgánicos que se encuentran presentes en el papel.

La celulosa es un polímero lineal de glucosa, unida por enlaces 1-4-β glucosídicos. El siguiente esquema representa un fragmento de la molécula celulósica.



Fragmento de la molécula de celulósica

Las propiedades de la celulosa son determinadas por varios factores, especialmente por el tamaño de las cadenas moleculares, así como por la presencia de lignina, hemicelulosa, pectina, resinas y polisacáridos asociados a las fibras celulósicas, que contribuyen negativamente con la calidad de la pulpa y, por ende, del papel a obtener.

La celulosa se encuentra ampliamente distribuida en la naturaleza, siendo el compuesto principal de las paredes celulares de las plantas. El algodón contiene aproximadamente un 95%, el lino un 80%, el yute un 60% y la madera alrededor de un 60%. Puede obtenerse por diversos procedimientos a partir de los materiales celulósicos naturales.

La biodegradación de la celulosa en la naturaleza es llevada a cabo por los microorganismos celulolíticos, es decir, aquellos capaces de producir enzimas, genéricamente denominadas “celulasa” (Evans, 1996). Se trata de un complejo enzimático que puede ser sintetizado por ciertos microorganismos (Eriksson y Pettersson, 1975; Lal y Mishra, 1978; Okazaki y Moo-Young, 1978). Este proceso transcurre de la misma forma tanto en el caso de reacciones microbianas como de las enzimáticas “in vitro”.

En este sentido, han sido propuestos varios modelos; de acuerdo con Nisizawa (1973) tienen lugar las siguientes etapas:



La actividad y composición de la celulasa sintetizada dependen, fundamentalmente, del microorganismo en cuestión, de los componentes presentes en el complejo enzimático, del tipo de celulosa a degradar, así como de las características fisicoquímicas y estructurales del soporte.

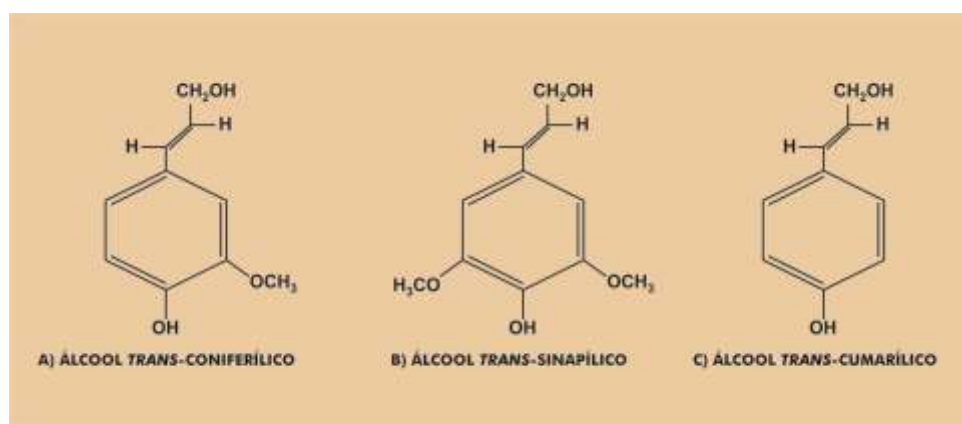
Los microorganismos celulolíticos más activos son aquellos capaces de degradar la celulosa nativa, porque en la celulasa que sintetizan están presentes todos los componentes del complejo enzimático. Otros, sin embargo, muestran una actividad más limitada, ya que solamente son capaces de sintetizar algunos componentes. Las mayores actividades celulolíticas han sido reportadas en hongos de los géneros *Trichoderma*, *Chaetomium*, *Paecilomyces* y *Myrothecium*.

Este proceso ocurre en varias etapas; pueden tener lugar la oxidación y hidrólisis parcial o total del polímero celulósico. Durante la hidrólisis se produce la ruptura del enlace principal (β -glucosídico) de la molécula, dando lugar al acortamiento de la cadena polimérica y a la formación de grupos reductores. El ataque del polímero ocurre al azar.

5.5.2 Biodegradación de la lignina

Aunque la cantidad de lignina presente en los soportes celulósicos, especialmente en los utilizados para la elaboración de libros y documentos, es muy pequeña, puede provocar reacciones indeseables.

La lignina constituye cerca del 30% en peso de la pared celular de las plantas vasculares, siendo sus funciones principales las de protección y sostén. Es un polímero condensado de fenil-propano, es decir, un poliéter complejo formado por polimerización deshidrogenante de diversos alcoholes fenólicos insaturados como son: el alcohol *trans*-coniferílico, el alcohol *trans*-sinapílico y el alcohol *trans*-cumarílico, cuyas estructuras se muestran a continuación:



Debido a su estructura química es un polímero bastante resistente a la degradación microbiana. No obstante, han sido reportados algunos hongos descomponedores de la madera (Hatakka, 1983) tales como basidiomiceto, algunos actinomicetos termófilos y unas pocas bacterias con capacidad ligninolítica (Odier y Monties, 1981), aunque estas últimas, han mostrado una actividad muy limitada.

La biodegradación de la lignina en la naturaleza es un proceso muy complejo, el cual aún no está totalmente esclarecido. Es catalizado por la enzima genéricamente denominada “lignasa”, la cual es multienzimática.

Dada la complejidad estructural de polímero, en este proceso se requiere de la participación de varias enzimas (Kirk, Higuchi y Chang, 1984) y durante el mismo ocurren las siguientes reacciones (Higuchi, 1982; Kirk, 1983): rompimiento de las cadenas alifáticas y del anillo aromático, demetilación, ruptura de los enlaces carbono-carbono, ruptura de dobles enlaces, oxidación y polimerización.

En él participan cinco grupos fundamentales de enzimas; estas son:

- **Enzimas demetilantes:** Participan en las reacciones de demetilación de los grupos metoxilos del anillo aromático. Preparan el enlace aromático para la ruptura.
- **Enzimas alquil- β -aril esterases:** Separan los sustituyentes alquil- β -aril éter del anillo aromático a nivel de la lignina polimérica y de sus monómeros.
- **Oxigenasas (mono y dioxigenasas):** participan en los procesos de oxidación de la molécula, haciéndola más soluble y biodegradable.
- **Fenol oxidasas:** Incluyen: lacasa, peroxidasa y catalasa. Su papel no está totalmente esclarecido, pero se sabe que destoxifican el medio a través de la polimerización de sustratos tóxicos de naturaleza fenólica, originados durante la degradación del polímero y regulan la síntesis de polisacáridos (Evans, 1985).
- **Celobioso quinona óxido-reductasa:** Cataliza la reacción redox en la cual la reducción de la quinona que corresponde al fenol va acompañada de la conversión de la celobiosa en ácido celobiónico, a través de la celobiosa-beta-lactona (Huynh y Crawford, 1985). Esta enzima conecta el mecanismo de biodegradación de la lignina con el de la celulosa, a nivel de la celobiosa y el ácido celobiónico.

Afortunadamente, los procesos de biodegradación de los polímeros lógicos no suele ocurrir durante la degradación de los acervos documentales.

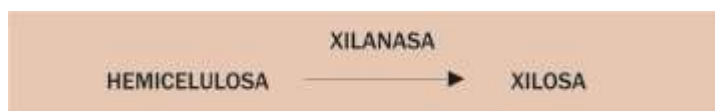
5.5.3 Biodegradación de las hemicelulosas

Las hemicelulosas son mezclas complejas de polisacáridos solubles en álcalis y están asociadas a la celulosa en las paredes celulares de los tejidos vegetales. Su unidad monomérica básica es la xilosa, que se unen entre sí mediante enlaces 1-4- β glicósidos.

Se encuentran presentes en la estructura de las plantas en cantidades variables, próximas al 35%. Entre sus componentes principales destacaremos los polisacáridos xilano, arabano, manano y galactano.

La mayor parte de los hongos y las bacterias, incluso muchas levaduras, son capaces de biodegradar la hemicelulosa, mediante la producción de la enzima genéricamente denominada “hemicelulasa o xilanasa”.

La “hemicelulasa” es también un complejo enzimático. Pueden ser enzimas constitutivas y inductivas. Las primeras son sintetizadas independientemente de la composición del sustrato de crecimiento, en tanto que las segundas son producidas solamente cuando existe hemicelulosa presente y accesible. Este proceso transcurre de la siguiente forma (Dekker, 1985):



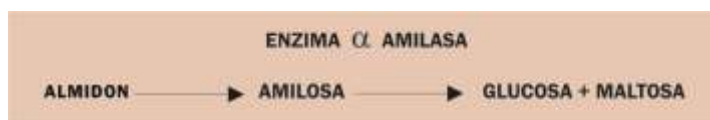
Aquí también ocurren reacciones oxidativas y hidrolíticas a nivel de la cadena polimérica, que puede ser degradada hasta xilosa (unidad monomérica). Por ser esta amorfa, tener menor tamaño y peso molecular que la celulosa, la biodegradación de este polímero ocurre con mayor velocidad.

En los materiales celulósicos, la velocidad de esta reacción se ve limitada por la poca accesibilidad del polímero, ya que casi siempre se encuentra asociado a la lignina y a la celulosa formando complejos macromoleculares que la recubren y la hacen menos accesible. También influyen la presencia de taninos y de algunas resinas, que inhiben el crecimiento de muchos microorganismos.

5.5.4 Biodegradación de los componentes de menor peso molecular

En los soportes orgánicos de origen vegetal también encontramos, en menor cuantía, otros componentes de menor peso molecular tales como almidones, ceras, resinas y monosacáridos, los que son susceptibles de ser biodegradados por los microorganismos. La velocidad de estas reacciones aumenta cuando existen azúcares simples y almidón, ya que el número de agentes biológicos capaces de metabolizar estas sustancias es mucho mayor. Por el contrario, los taninos y las resinas son inhibidores del crecimiento de la mayoría de los agentes biológicos.

La biodegradación de estos componentes ocurre a través de mecanismos metabólicos diferentes, con la participación de las enzimas específicas para cada sustrato. Ya cuando el microorganismo en cuestión los ha degradado hasta la unidad monomérica, penetran en la célula por simple transporte. Así, por ejemplo, los compuestos derivados del almidón utilizados como relleno en la fabricación del papel, pueden ser biodegradados por los microorganismos amilolíticos. En este proceso puede ocurrir la hidrólisis parcial o total del polímero y es llevado a cabo por el complejo enzimático “amilasa”. Ocurre de la siguiente forma:



Ambos productos de degradación son carbohidratos muy pequeños, por lo que son fácilmente utilizados como fuente de energía por muchos microorganismos. *B. subtilis* es un microorganismo frecuentemente aislado como contaminante de documentos; muchas de sus especies han sido reportadas como fuertes amilolíticos.

Las ceras, aceites secantes y grasas utilizadas en la elaboración de las obras en papel son también compuestos susceptibles de ser biodegradados por los microorganismos. Estos procesos son llevados a cabo por aquellos capaces de utilizar los hidrocarburos y parafinas como fuente de carbono. En este grupo han sido reportadas algunas bacterias del género *Pseudomonas*.

Como resultado de todas estas reacciones biodegradativas se originan sustancias más pequeñas, que pueden ser empleadas como nutrientes por toda una amplia gama de microorganismos, los cuales ejercen sus efectos como microbiodeteriorantes en los soportes orgánicos. Las bacterias y los actinomicetos son poco frecuentes en los procesos de degradación del papel.

Otro tipo de mancha frecuente en el papel es el “moteado o foxing”. Estas se manifiestan en forma de lunares de tonos pardo-rojizos de dimensiones variables. La causa de su aparición no está totalmente clara; algunos autores la atribuyen a la presencia de hongos (Florian, 1996), en tanto que otros a la presencia de mayores concentraciones de hierro procedente de los materiales utilizados en la manufactura.

5.5.5 Biodegradación de las proteínas

En los archivos y bibliotecas antiguas, también deben ser consideradas las colecciones elaboradas en soportes proteínicos, tales como pieles y pergaminos. En estos casos, la susceptibilidad al microbiodeterioro se debe a las potencialidades de los microorganismos para degradar las proteínas o componente químico mayoritario, lo que está directamente relacionado con sus actividades proteolíticas.

Las proteínas¹⁴ son sustancias complejas producidas por los seres vivos, ligadas a la vida y constituyen el 50% del peso seco de los tejidos animales. Son componentes muy importantes, por ocuparse del mantenimiento estructural (el

14 Las proteínas fueron descubiertas en 1838. Son los componentes principales de las células y de la materia viviente en general. El término deriva de la palabra griega “*proteios*”, que significa primero.

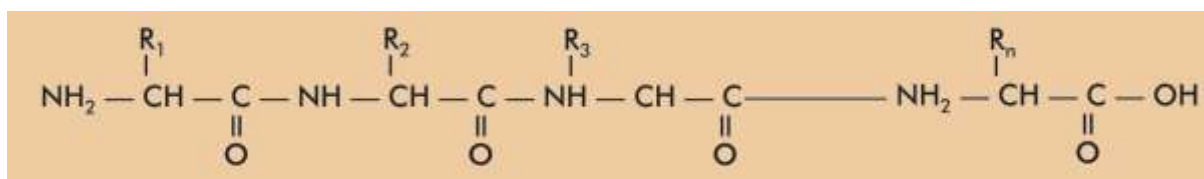
colágeno) y funcionalidad (las enzimas) de los organismos vivos. Desde el punto de vista químico son polímeros de α -aminoácidos unidos mediante enlaces peptídicos.

Los α -aminoácidos son compuestos formados por cadenas carbonadas que contienen en su molécula un grupo carboxilo ($-\text{COOH}$) y un grupo amino ($-\text{NH}_2$) los que están unidos al mismo átomo de carbono (carbono α) mediante el enlace peptídico.

Cada molécula proteica exhibe una composición fija en número y secuencia de aminoácidos lo que constituye su estructura primaria. Además, la mayoría de ellas, adopta una disposición espacial, lo que se conoce como estructura secundaria. Esta última, en hélice, se encuentra replegada sobre si misma en forma tridimensional, lo que constituye la estructura terciaria, típica de las proteínas globulares. En su composición elemental encontramos cuatro elementos fundamentalmente: C, O, H, N, y en algunos casos, también azufre.

El grado de polimerización de las proteínas es variable. Su hidrólisis conduce a la formación de poli, di, péptidos y aminoácidos. La forma, tipo y secuencia de los aminoácidos conducirá a la formación de diferentes tipos de moléculas proteínicas y definirán sus propiedades.

Atendiendo a su composición, se clasifican en simples y compuestas. Las primeras están formadas únicamente por aminoácidos. Las segundas, proteidos, contienen además grupos prostéticos que entran a formar parte de la estructura macromolecular. En el esquema siguiente se representa la estructura de una molécula proteínica.



Estructura de una molécula proteínica

Los compuestos proteínicos pueden ser utilizados como fuente de alimento por los agentes biológicos y por microorganismos heterótrofos. Estos procesos requieren de la participación de enzimas proteolíticas, denominadas genéricamente “proteasas”. La función de estas enzimas es la degradación de estas sustancias hasta productos de menor peso molecular mediante la ruptura del enlace peptídico como se representa a continuación:



Esquema de la degradación enzimática de una proteína

En los materiales orgánicos de origen animal estos procesos ocurren de manera diferente, dependiendo del tipo de proteína a degradar, de la proteasa sintetizada, del organismo en cuestión (mamíferos, insectos, microorganismo) y de las condiciones ambientales.

El pergamino utilizado como soporte de los manuscritos antiguos, inicialmente era producido con pieles de oveja y de cabra; el de mejor calidad era obtenido a partir de piel de cordero y de ternero. En la actualidad, se produce a partir de materiales sintéticos, cuyos componentes básicos son colágeno, elastina, mínimas cantidades de albúmina y globulinas, mediante procedimientos más industrializados. Este material, en presencia del aire es parcialmente degradado, pudiendo ser atacado por algunas bacterias de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Bacteroides* y *Sarcina*, así como por hongos de los géneros *Cladosporium*, *Fusarium*, *Ophiostoma*, *Scopulariopsis*, *Aspergillus*, *Penicillium* y otros (Gallo, 1992). Debido al ataque microbiano, el soporte pierde sus propiedades originales tornándose más duro, frágil y quebradizo, lo que provoca deformaciones del objeto. También suelen aparecer manchas de diferentes colores, pátinas blanquecinas y desaparición de los textos.

La piel posee una composición química muy similar a la del pergamino, por lo que su susceptibilidad al biodeterioro y los agentes biológicos que la dañan son similares. Al igual que en el caso de los pergaminos, el principal signo del ataque microbiano de los objetos de piel son las manchas, así como las alteraciones de las características fisicoquímicas y de las propiedades mecánicas del soporte, las que se traducen en una disminución de la resistencia.



Microdeterioro del manuscrito

Por todo lo antes explicado y para evitar los procesos de biodeterioro y microbiodeterioro de los materiales de archivos y bibliotecas, es muy importante tener en cuenta que estas colecciones están elaboradas por una amplia gama de materiales de origen orgánico, por lo que su susceptibilidad a dichos procesos dependerá, fundamentalmente, de sus componentes mayoritarios, de las condiciones del ambiente y forma en las que sean almacenados, exhibidos y manipulados.

6

POTENCIALIDADES PATOGENICAS DE LOS MICROORGANISMOS QUE HABITAN EN LOS ARCHIVOS Y BIBLIOTECAS

6.1 Consideraciones generales

En estudios realizados por diversos autores, han sido aisladas y identificadas alrededor de 200 especies de microorganismos responsables del deterioro de diferentes colecciones. Muchos de ellos constituyen la microflora aérea de nuestras instituciones. Esta puede coexistir con los objetos de valor cultural y con el hombre en un ecosistema determinado sin provocar daños; pero cuando se producen cambios en las condiciones ambientales y el contenido acuoso de los materiales le es favorables, puede ocasionar efectos muy negativos como microbiodeteriorantes y como patógenos (Gallo, 1993).

Los problemas relacionados con la patogenicidad de los microorganismos que contaminan los archivos y bibliotecas han sido poco estudiados, a pesar de constituir un fenómeno cotidiano, especialmente en los países tropicales, y de ser la causa de muchas enfermedades profesionales en nuestras instituciones (Vaillant, 1996).

Para enfrentar este serio problema es necesario conocer las potencialidades principales y las especificidades vitales de los microorganismos en las diferentes condiciones de vida, lo que permitirá establecer una estrategia adecuada en sentido profiláctico.

6.2 Patogenicidad

Se denomina patogenicidad a la capacidad potencial de determinadas especies de microorganismos y otros tipos de contaminantes biológicos¹⁵ de provocar un proceso

15 Organismos o restos que afectan la calidad del aire en espacios cerrados, entre ellos: bacterias, hongos, virus, polen proveniente de las plantas y proteínas de la orina de roedores.

infeccioso (Piatkin y Krivosheim, 1968). Se caracteriza por un conjunto de propiedades de los macro y microorganismos, formadas en el proceso de desarrollo, lucha por la existencia y adaptación a la vida parasitaria, en el organismo de las plantas, animales y del hombre. Es un carácter propio de cada especie, es decir, que tiene especificidad de acción.

Los microorganismos patógenos se caracterizan por su acción específica, es decir, que cada especie es capaz de provocar una determinada enfermedad infecciosa.

La especificidad del proceso infeccioso es una propiedad muy importante que se manifiesta por la localización del agente etiológico, por la selectividad de las lesiones que se producen en tejidos y órganos, por el cuadro clínico de la enfermedad, por el mecanismo de eliminación de los microorganismos y por la formación de la inmunidad. En ella juegan un importante papel los factores ambientales.

6.2.1 Factores relacionados con la patogenicidad

La entrada del agente infeccioso o contaminante biológico en el organismo humano no siempre provoca la aparición de la enfermedad. En muchos casos se limita a la infección temporal sin manifestaciones o, a provocar un estado en el cual el individuo se convierte en un portador prolongado del germen.

La reactividad del organismo humano y su resistencia inmunológica están íntimamente relacionadas con el medio exterior, las condiciones de vida, las características del trabajo, la alimentación, el nivel higiénico sanitario, el grado de cultura y muchos otros factores.

El estado fisiológico del macroorganismo y su resistencia tienen una influencia decisiva sobre la aparición, curso y terminación de un proceso infeccioso dado. También la edad y el sexo influyen en la susceptibilidad del individuo.

Algunos factores ejercen una influencia intensificadora en la receptividad de los organismos a las infecciones. Entre ellos deben ser mencionados las características de la dieta (insuficiencia en proteínas, vitaminas, grasas y minerales), el cansancio excesivo, el enfriamiento, las condiciones higiénicas inadecuadas de las áreas de trabajo y almacenes, así como las intoxicaciones crónicas, diversas enfermedades somáticas y algunas radiaciones. Todos ellos ejercen influencias desfavorables sobre el organismo humano y por tanto en la salud de los trabajadores.

La insuficiencia de oxígeno en los locales, el exceso de ácido carbónico y otros gases nocivos, producen una intoxicación crónica que facilita el desarrollo de la tuberculosis. La existencia de polvo y de silicatos en el aire lesiona las mucosas de las vías respiratorias y incrementa la posibilidad de adquirir infecciones por diferentes microorganismos.

Además de los factores nocivos externos, también ejercen grandes influencias sobre la receptividad a las infecciones las enfermedades somáticas como la diabetes, las cardiovasculares y las intoxicaciones crónicas por alcohol y otras sustancias tóxicas. Han sido reportadas diversos tipos de afectaciones causadas por los contaminantes biológicos (www.envtox.ucdavis.edu/CEHS).

6.3 Infección

La infección es el proceso mediante el cual el agente etiológico entra en relación con el huésped. Ocurre en las siguientes etapas fundamentales (Barreda, 2005):

- Entrada del agente etiológico al huésped: Las vías de entrada más frecuentes son el sistema respiratorio (boca y nariz), el sistema digestivo y las excoiaciones en la superficie de las mucosas y de la piel. Los componentes de la superficie de los microbios determinan su capacidad para adherirse a las células epiteliales. Estas pueden ser proteínas, ácidos lipo proteicos y otros. Algunos parásitos pueden penetrar en las mucosas y piel intactas, mientras que otros son introducidos por los artrópodos a través de estas capas y pasan a los vasos linfáticos o al torrente sanguíneo.
- Establecimiento y multiplicación del agente etiológico dentro del huésped: Desde la puerta de entrada, el germen puede diseminarse a través de los tejidos o proseguir por los vasos linfáticos hasta el torrente sanguíneo, el que lo distribuye y le permite alcanzar tejidos y órganos. La naturaleza bioquímica de los tejidos es la que en última instancia determina la susceptibilidad o resistencia del huésped.

El surgimiento de un proceso infeccioso depende de la capacidad reactiva del organismo humano, la presencia de ciertas sustancias requeridas por el germen, el estado de la inmunidad, la cantidad y calidad del agente etiológico, así como la insuficiencia del medio ambiente y las condiciones sociales. De acuerdo con la correlación entre estos factores se producirá o no la infección.

Algunas enfermedades infecciosas pueden seguir un curso atípico latente sin manifestaciones clínicas. Estas son las infecciones latentes y son bastante frecuentes. Algunos autores las denominan inaparentes. Las relaciones recíprocas entre el agente patógeno y el organismo hospedero, sin manifestaciones evidentes de la enfermedad, ocurren cuando el individuo es el portador de los gérmenes. También pueden ser portadores de gérmenes las personas que han tenido contacto con enfermos.

Por su carácter, las infecciones pueden ser exógenas y endógenas. En el primer caso, el agente etiológico penetra en el macroorganismo desde el exterior procedente de diversas fuentes. El segundo caso se origina como resultado de la

actividad de la microflora propia. También existen casos en los que ocurren infecciones con más de un agente. Se trata de infecciones mixtas.

Las infecciones exógenas son las de mayor importancia para los conservadores, ya que son las que con más frecuencia se adquieren en los depósitos y almacenes.

6.3.1 Vías de propagación de las infecciones

En su proceso de evolución, los microorganismos patógenos han adquirido la facultad de penetrar por diversas vías en el organismo humano y localizarse, selectivamente, en tejidos y órganos en los que se desarrollan, provocando reacciones específicas de respuesta por parte del macroorganismo.

En la Microbiología Médica se ha tomado como base para la clasificación de las enfermedades infecciosas el principio etiológico que se fundamenta en la especificidad de acción de los microorganismos. Dado que la cantidad de especies de microorganismos patógenos es relativamente grande, surgió la necesidad de agrupar todas las enfermedades infecciosas siguiendo un principio determinado, es decir, según el mecanismo de su transmisión desde la fuente de la infección hasta el organismo humano receptivo. De esta manera, para cada agente etiológico existen mecanismos de transmisión específicos que determinan su localización.

La dinámica del proceso infeccioso se compone de cuatro etapas: período de incubación, prodrómico, acmé de la enfermedad y curación.

Desde el momento en que el agente patógeno penetra hasta el comienzo de las primeras manifestaciones, transcurre el período de incubación; durante el mismo tiene lugar la multiplicación y acumulación de microbios y toxinas, elevándose la reactividad del organismo, pudiendo conducir a la aparición de la enfermedad. Después se inicia el período prodrómico (precursor), durante el cual aún faltan los síntomas característicos y aparecen manifestaciones generales comunes a muchas patologías. Continúa el acmé, durante el cual, el proceso infeccioso alcanza una elevada intensidad y se mantiene a ese nivel durante un plazo de tiempo determinado. Cuando la infección sigue un curso favorable entonces comienza el período de curación.

Entre los factores que aumentan la sensibilidad del organismo a las infecciones se incluyen los siguientes: carácter de la nutrición (deficiencias en proteínas, grasas, vitaminas, microelementos...), agotamiento, enfriamiento, condiciones higiénico-sanitarias del lugar de trabajo y en el hogar, determinadas enfermedades somáticas (diabetes y cardiopatías), así como las intoxicaciones crónicas por alcohol y otras sustancias tóxicas.

Todos estos elementos son importantes a tener en cuenta en los archivos y bibliotecas con vistas al establecimiento de las condiciones higiénicas y ambientales adecuadas en los locales para así evitar la aparición de afectaciones de la salud de los trabajadores y enfermedades profesionales, problemática de gran repercusión en los países de climas tropicales y que aún no ha sido suficientemente estudiada (Vaillant, 1996).

6.4 Difusión de los microorganismos en la naturaleza

Los microorganismos se encuentran difundidos en el medio circundante. Se encuentran en el aire, en el suelo, en el agua, en las plantas, animales y objetos, y hasta en el organismo del hombre, por lo que la microflora existente en cada uno de estos ejercerá una influencia directa sobre los objetos en contacto con estos ecosistemas.

6.4.1 Microflora del aire

La composición de los microorganismos del aire es sumamente variada y depende de muchas causas. Está íntimamente relacionada con los contaminantes ambientales existentes en la zona o espacio en cuestión.

Los contaminantes ambientales de procedencia biológica (bioaerosoles) están constituidos por las partículas, las moléculas de tamaño grande, o los compuestos volátiles que están vivos o que proceden de un organismo.

En los bioaerosoles se pueden encontrar microorganismos (vivos y muertos) en diferente calidad y cantidad, así como sus fragmentos, toxinas y partículas procedentes de productos de desechos de todo tipo cuyo origen es la materia orgánica (Hernández, 2008). Ellos pueden ocasionar diversas afectaciones en la salud, entre ellas:

- Algunos contaminantes biológicos pueden provocar reacciones alérgicas, incluyendo neumonitis por hipersensibilidad, rinitis alérgica y ciertas formas de asma. Las reacciones alérgicas sólo tienen lugar después de una exposición reiterada a un alérgeno biológico específico; estas pueden producirse tanto inmediatamente después de la reexposición al agente en cuestión, como luego de una exposición a largo plazo. Personas que han experimentado reacciones alérgicas leves o que no han presentado ninguna reacción en absoluto pueden, repentinamente, volverse muy sensibles a determinados alérgenos.
- Enfermedades infecciosas, como la gripe, el sarampión, la tuberculosis y la varicela, se transmiten a través del aire.
- Algunos tipos de musgo liberan toxinas patógenas que atacan diversos órganos y tejidos, incluyendo el hígado, el sistema nervioso central, el tubo digestivo y el sistema inmunológico. Ciertas enfermedades, como

la fiebre del humificador, son causadas por microorganismos que crecen en los sistemas de calefacción y aire acondicionado. Sin embargo, no se sabe bien si estas enfermedades constituyen una reacción alérgica o una respuesta tóxica.

- Los síntomas por exposición a contaminantes biológicos incluyen estornudos, ojos llorosos, tos, insuficiencia respiratoria, mareos, letargo, fiebre y problemas digestivos. Los niños, los ancianos y las personas que sufren de problemas respiratorios, alergia y enfermedades pulmonares son particularmente susceptibles a los agentes biológicos patógenos que se hallan en espacios cerrados.

La supervivencia, reproducción y dispersión en el aire de los contaminantes biológicos dependen, en gran medida, de las condiciones del entorno en que se encuentran. Factores como la temperatura, la humedad relativa, el movimiento del aire, la luz, las fuentes de alimento, y incluso la presencia humana, determinan el grado de contaminantes biológicos en un ambiente determinado. En general, las temperaturas bajas inhiben el crecimiento de muchos microorganismos; no obstante, algunos de ellos (mohos y levaduras) se desarrollan bien en ambientes fríos. Otras especies microbianas (*Aspergillus*, *Legionella pneumophila* o *Thermoactinomyces vulgaris*) alcanzan su óptimo desarrollo a temperaturas elevadas.

Los ambientes muy húmedos favorecen el desarrollo de los hongos, de las bacterias y de los ácaros del polvo. El movimiento del aire contribuye a la transportación, mantenimiento y paso al aire de los contaminantes biológicos procedentes del exterior o contenidos en un ambiente interior.

El grado y tipo de luz también pueden favorecer o inhibir la presencia de microorganismos en el aire. Por ejemplo, la luz ultravioleta inhibe dicho crecimiento y la ausencia de luz impide la formación de esporas de algunos hongos, como es el caso de *Alternaria sp.*

La composición de los microorganismos del aire es sumamente variada y depende de muchas causas: del grado de contaminación del aire con suspensiones minerales y orgánicas, de la temperatura, de las precipitaciones atmosféricas, de la localidad, de la humedad y de otros factores. Cuanto más polvo, humo y hollín exista en el aire, tantos más microbios se encontrarán en el mismo. Cada partícula de hollín tiene la propiedad de adsorber en su superficie gran cantidad de microbios.

El aire no constituye un hábitat microbiano; los microorganismos existen en el aire y por ende en los diferentes tipos de locales como contaminantes accidentales. Sin embargo, muchos de ellos, particularmente los patógenos, son transportados por el viento, adheridos a diferentes partículas. La microflora del aire consta de las especies microbianas más diversas, las que llegan a él a partir del terreno, de las plantas y de los animales.

En el aire se encuentran con frecuencia bacterias saprofíticas pigmentarias (micrococos y diferentes sarcinas), esporógenos, varias especies de bacilos, actinomicetos, hongos, levaduras y otros.

La cantidad de microbios en el aire varía entre grandes límites; desde algunos ejemplares hasta decenas de millares por metro cúbico. (Álvarez, 2002). De acuerdo con algunas investigaciones realizadas (Cardona, 2008), a la altura de 500 metros han sido encontrados de 1100 a 2700 microorganismos por metro cúbico, mientras que a la altura de 2000, solo de 500 a 700. En cada gramo de polvo existen hasta 1 millar de bacterias. Alrededor de las personas y de los animales enfermos, de artrópodos y insectos infectados pueden encontrarse especies patógenas de microorganismos. La calidad y cantidad de microorganismos en el aire varía según la época del año.

En la actualidad, como índice sanitario del aire de los locales cerrados, se consideran los organismos del grupo del *Streptococcus viridans* y como índice de peligro epidemiológico directo, el *Streptococcus* beta hemolítico y los *Staphylococcus* patógenos.

También el agua representa un factor muy importante en la transmisión de infecciones. Entre los microorganismos aeróbicos específicos del agua se encuentran: *Pseudomonas fluorescen*, *Micrococcus cándidus*, *Micrococcus agilis* y otros. Es muy raro que se encuentren en el agua bacterias anaeróbicas.

6.4.2 Microflora de los depósitos de libros y documentos

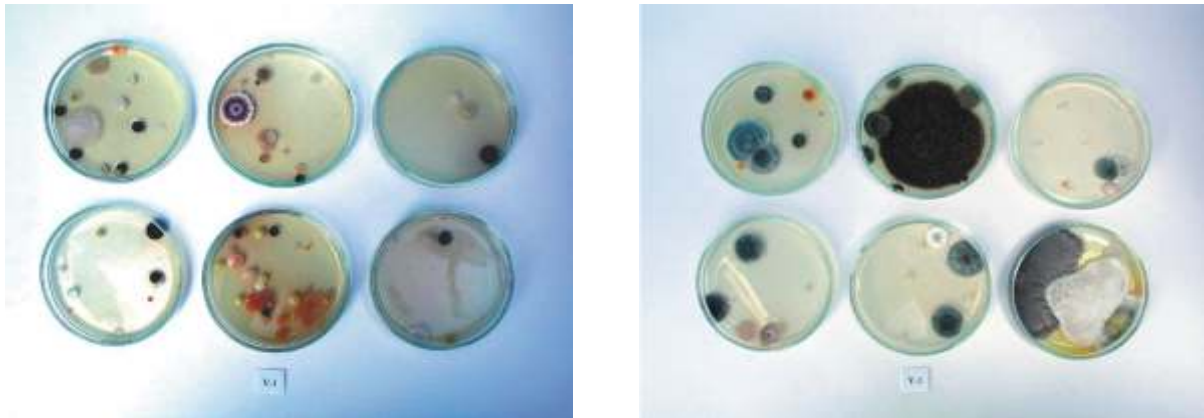
Muchas especies de microorganismos, han adquirido la capacidad de ocasionar enfermedades al hombre. Ellos pueden ser encontrados en diferentes hábitats. En términos de ecosistemas específicos, la microflora de los depósitos de libros y documentos está muy influenciada por los microorganismos existentes en el aire, en el suelo, en el agua, en las colecciones, en el medio circundante, así como las aportadas por el hombre.

En investigaciones realizadas por varios autores se han aislado y identificado los microorganismos que contaminan los depósitos de varios archivos, bibliotecas y museos. De entre las bacterias, han sido reportadas especies dentro de los géneros *Bacillus*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Neisseria* y *Corynebacterium*. Entre los hongos, han sido aisladas especies pertenecientes a los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Chaetomium*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Alternaria*, *Cladosporium* y otros.

En estudios realizados por Vaillant (1996) sobre la caracterización de la microflora potencialmente patógena que habita en depósitos de documentos del Archivo Nacional de Cuba fueron aisladas y identificadas 44 especies de microorganismos pertenecientes a 16 géneros, entre los cuales existen gérmenes patógenos, oportunistas y saprofíticos con diferentes capacidades metabólicas. De entre las bacterias aisladas, las de mayor significado en el orden de su patogenicidad, pertenecen a los géneros *Staphylococcus* y *Streptococcus*.

En el caso de los hongos, fueron encontrados varios géneros que han sido reportados verdaderos alérgenos y que pueden ocasionar diferentes tipos de infecciones micóticas en la piel y las uñas, entre ellos, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Rhizopus* y otros menos frecuentes.

La existencia de una microflora contaminante tan diversa en nuestras instituciones provoca la existencia de un riesgo de infección al personal que labora en dichos locales, ya que muchos de esos microorganismos al mismo tiempo son biodeteriorantes y potencialmente patógenos.



Bacterias y hongos aislados del ambiente de depósitos de documentos

Existen coincidencias entre los resultados reportados por varios autores (Moretti y Robledo, 1983; Valentín, Vaillant y Guerrero, 1997; Fragas, 2007) sobre los hongos encontrados con mayor frecuencia en los depósitos de libros y documentos.

Específicamente los hongos, provocan las micosis al atacar tejidos y órganos, cuyo cuadro clínico es muy variado, pudiendo ser dañadas la piel, las mucosas y los órganos internos. Estas infecciones se clasifican de manera diferente según el grado de afección y el carácter del agente (<http://enfermedadesdepielblogspot.com>).

En general, se cuenta con poca información sobre los daños que los microorganismos biodeteriorantes pueden provocar a la salud de las personas que custodian y conservan el patrimonio histórico documental.

Especialmente en los países tropicales y subtropicales resulta de gran importancia la valoración del papel epidemiológico de estos agentes en las enfermedades profesionales (Vaillant, 1996). Ello argumenta sobre la necesidad de realizar investigaciones encaminadas a la caracterización microbiológica del ambiente de este tipo de instituciones, lo que posibilitará la aplicación de métodos de lucha eficaces y minimizar las actividades patogénicas de los microorganismos en estas instituciones, y incorporar el concepto de bioseguridad, así como sus principios y leyes en el trabajo cotidiano.

7

MÉTODOS DE LUCHA CONTRA PLAGAS Y INFECCIONES: NUEVAS TENDENCIAS

7.1 Consideraciones generales

A lo largo de los siglos, muchas personas han señalado sobre la existencia de insectos dañinos a los libros en las bibliotecas, siendo Aristóteles¹⁶ uno de los primeros en escribir acerca de este fenómeno.

En 1936, Weiss y Carrutheer enumeraron 439 referencias de trabajos relativos a los insectos más nocivos para los libros y otros objetos patrimoniales (Parker, 1989). Desde entonces, han aparecido centenares de artículos sobre el tema pero, evidentemente, existe una gran laguna acerca de los procedimientos alternativos aplicables para la prevención y control de los daños que los agentes biológicos ocasionan en las colecciones de valor cultural, particularmente, en las colecciones documentales.

Como hemos señalado, los roedores, los insectos y los hongos deterioran los materiales de archivos y bibliotecas, en tanto que el anidamiento de vertebrados y aves puede, indirectamente, afectar las colecciones documentales y los mayores daños que ocasionan los insectos a esas colecciones se producen cuando lo utilizan para nutrirse. Tanto en estado larval como adulto, los insectos y las plagas de los edificios pueden llegar a destruir totalmente los acervos.

Todas estas cuestiones han dado lugar a que los profesionales relacionados con la conservación del patrimonio cultural muestren gran preocupación ante la aparición de insectos, mohos y otras plagas en los museos, archivos y bibliotecas.

16 Aristóteles hace 2.200 años escribió lo siguiente: “*También se encuentran animalillos en los libros, algunos de los cuales se parecen a los gusanos que se encuentran en las prendas de vestir, mientras que otros se asemejan a escorpiones sin cola, pero pequeñísimos*”.

Las plagas no solo ocasionan daños a las colecciones y a los edificios que las albergan, sino que además constituyen un peligro potencial en el orden epidemiológico. Dondequiera que las personas estén expuestas a roedores, insectos y hongos, existe la posibilidad de que sean mordidas, entren en contacto con heces y orina, sus alimentos puedan ser contaminados, se vean expuestas a agentes infecciosos o padezcan reacciones alérgicas.

Cuando se fumiga el interior de un local con un insecticida, los disolventes y pequeñas cantidades del producto se volatilizan en el espacio que ocupan las colecciones y los seres humanos, y esos productos químicos, aunque en pequeñísimas cantidades, ocasionan daños a las colecciones, a las personas y al medio ambiente. Por estas y otras razones, cada día se tiende más hacia la prevención.

7.2 Prevención

No existen dudas que la prevención¹⁷ es la mejor manera de combatir a los agentes biológicos y evitar sus perjuicios (Arruzzolo y Veca, 1991). Por tanto, para poder establecer medidas preventivas eficientes, es necesario conocer los requerimientos vitales y el comportamiento de éstos enemigos, lo que nos permitirá tomar acciones específicas contra ellos.

La prevención del biodeterioro incluye un conjunto de acciones encaminadas a evitar el desarrollo de los agentes biológicos en el ambiente de las instituciones y el ataque a los materiales constituyentes de los acervos. Ellos estarán más expuestos a las infecciones y infestaciones cuando sus características fisicoquímicas sean compatibles con las potencialidades metabólicas de los organismos y las condiciones del ambiente circundante sean favorables para el desarrollo de estos procesos.

Para que ocurra la infección o infestación de un objeto deben conjugarse las siguientes condiciones (Vaillant y Valentín, 1996):

- Que el objeto se encuentre en un ambiente donde estén presentes agentes biológicos.
- Que los agentes biológicos encuentren su fuente de alimento apropiada, lo que está directamente relacionado con las sustancias que conforman los objetos.
- Que existan condiciones medioambientales favorables para su desarrollo.

17 Acción de prevenir o evitar.

Estas condiciones existen siempre, por lo que los procesos del biodeterioro siempre tienen lugar y son inevitables. No podemos detenerlos, ya que son parte de la descomposición y reciclado de los compuestos, a los que están sujetos todos los materiales orgánicos. Lo que podemos hacer es tratar de controlarlos y intentar minimizar sus efectos.

Para evitar el desarrollo de los agentes biológicos y sus efectos en las instituciones, es necesaria la aplicación de medidas preventivas apropiadas. Estas van, desde el buen manejo de las instalaciones, las inspecciones periódicas de las colecciones, la higienización sistemática y el mantenimiento de una adecuada ventilación de los locales, hasta la utilización de tecnologías avanzadas para el control ambiental (Brokerhof, 1989). El cuidado de las colecciones resulta tan importante como su adquisición y organización, por lo que deberá ser planificado.

Evidentemente, la prevención es mucho más fácil cuando las condiciones medioambientales del edificio son controladas, pero como sabemos, las tecnologías para el establecimiento de tal control es costoso, tanto para su instalación, como para su mantenimiento (Michalski, 1995).

Es muy importante tener en cuenta que cada tipo institución, objeto o colección tiene características particulares y presenta sus propios problemas, por lo que en cada caso, deberá ser aplicada un tipo de estrategia preventiva específica, la que estará en dependencia, en primer lugar, de la situación que se trate y del financiamiento que se disponga.

Los procedimientos preventivos que inhiben o retardan el crecimiento de los agentes biológicos mediante la modificación de las condiciones ambientales, haciéndolas desfavorables para el desarrollo de determinados organismos, son conocidos como métodos indirectos (Pinniger, 2001; Kelley, 2003).

El hecho de que exista una estrecha relación entre las diferentes especies biológicas y las condiciones ambientales requeridas para su crecimiento, nos demuestra que los métodos más eficaces son aquellos que actúan sobre las causas que propician su desarrollo, particularmente aquellos que puedan condicionar o limitar su multiplicación. Sin embargo, en la práctica estos factores no siempre pueden ser controlados.

Resulta mucho más fácil modificar y controlar el ambiente en el interior de las instituciones, como es el caso de las salas y almacenes, que el exterior y lugares a cielo abierto.

En los ambientes interiores de los archivos y bibliotecas, los principales factores que propician el desarrollo de los agentes biológicos son los siguientes (Altrudi y Silvetti, 2007): polvo, escasa ventilación, elevada y fluctuante humedad relativa, elevada temperatura, inadecuada iluminación, presencia de suciedad y otras partículas orgánicas.

Todos ellos suelen estar presentes en el medio ambiente de las instituciones, actúan en conjunto y permanentemente, por lo que deberán ser controlados teniendo en cuenta los daños que pueden provocar en los objetos y en las personas que conviven con ellos en las salas y almacenes.

El polvo tiene una composición heterogénea y variable que está directamente relacionada con la zona geográfica, lugar de ubicación, altura y situación específica de cada institución. Normalmente, contiene partículas de diversos tipos y orígenes, así como materias sólidas en suspensión, ácaros, huevos de insectos y esporas de microorganismos, los que ocasionan daños específicos en los objetos y a las personas. Por ello, desde el punto de vista preventivo, es importante su eliminación.

La escasa o inadecuada ventilación en los locales favorece los fenómenos de condensación del agua ambiental sobre las superficies frías, así como la germinación de las esporas y el desarrollo de mohos sobre los materiales.

La humedad relativa elevada y fluctuante constituye la causa principal del ataque biológico a los diferentes soportes. Es por ellos que se recomienda que en los ambientes donde se conservan materiales orgánicos, este parámetro no debe exceder el 65% (García, 1995).

Las temperaturas elevadas favorecen el desarrollo de los insectos y de los microorganismos biodeteriorantes. Por ello, es recomendable mantenerla en el rango 18°-20° C. Está demostrado que las interacciones de ambos parámetros climatológicos ejercen los peores efectos y que la ventilación contrarresta estos daños.

Cada día crece la preocupación por lograr una calidad ambiental superior en los recintos y locales cerrados. Para ello, se utilizan purificadores de aire eficientes que filtran el aire exterior eliminando las bacterias, hongos y ácaros, expulsando el aire contaminado (Álvarez, 2002; Imeison, 2008).

La experiencia demuestra que las inspecciones periódicas, el mantenimiento sistemático de las instalaciones y de las colecciones, así como la realización de controles y inspecciones periódicas constituyen los aspectos básicos de cualquier programa de prevención.

Para la realización de un trabajo verdaderamente preventivo en las instituciones solo existen dos posibilidades: la aplicación de medidas preventivas de forma sistemática y la aplicación de métodos de control (cuando estas no son suficientes o no resultan ante una problemática determinada).

7.3 Medidas preventivas

Se basan en el manejo y mantenimiento de los objetos y colecciones. Son de estricto cumplimiento y de aplicación sistemática.

En general, muchos autores coinciden en que cualquier estrategia de conservación deberá contemplar, fundamentalmente, los pasos siguientes (Pinniger, 1990; Gallo et al, 1994; Colin, 1997; Ketzer, 2003): inspecciones periódicas, vigilancia del ambiente, así como higiene y mantenimiento de las colecciones y de los espacios.

7.3.1 Inspecciones periódicas

Estas constituyen unas de las herramientas más importantes, ya que el ingreso de los acervos en las instituciones constituye una de las vías principales de infecciones y infestaciones. Por ello, para prevenir el ingreso de plagas en los edificios deberán ser adoptadas las siguientes medidas:

- Será necesario practicar inspecciones sistemáticas en las salas, almacenes, colecciones y objetos, para detectar posibles infecciones y infestaciones.
- Todos los materiales de nueva adquisición deberán ser inspeccionados antes de su ingreso en la institución. Los sospechosos o que presenten signos de infección o infestación, deberán ser separados del resto y puestos en cuarentena y incubados durante un periodo suficiente para poder detectar la presencia de agentes biológicos.
- Aquellos materiales que presenten alguna evidencia de infección o infestación activa deberán ser aislados y tratados con los productos o procedimientos adecuados, antes de ser incorporados a la colección.
- Los materiales de alto riesgo en salas y almacenes deberán ser inspeccionados, regularmente, para controlar la eficacia de la estrategia de exclusión.
- Las áreas de cuarentenas deberán ser inspeccionadas regularmente para asegurarse de que la infestación no se ha dispersado al resto del edificio.

7.3.2 Vigilancia del ambiente

Los factores ambientales que ejercen mayor influencia en la proliferación de los agentes biológicos son la humedad relativa y la temperatura, por lo cual, deberán ser estrictamente controlados. Frecuentemente se presentan problemas en las instituciones debido a que las necesidades de conservación de los objetos no coinciden con las de confort de las personas y del público.

En los almacenes lo más importante es mantener las condiciones ambientales desfavorables para el desarrollo de los insectos para prevenir su proliferación en estas áreas. Con estos propósitos, las mejores alternativas son:

- Mantener la temperatura y la humedad relativa bajas, a los niveles recomendados para cada tipo de objeto.
- Cuidar que las fluctuaciones diarias de estos parámetros sean pequeñas (inferiores al 3%).
- Los equipos de climatización deberán ser examinados periódicamente para detectar posibles defectos de funcionamiento ya que los filtros de aire pueden contaminarse, constituyendo una fuente de infección.

- La humedad relativa, la temperatura y la circulación de aire son factores muy importantes, por lo que deberán ser controlados.
- Realizar revisiones periódicas de los locales para evitar posibles filtraciones de agua a través de grietas, fisuras o techado, y así prevenir los peligros por condensación de agua.
- Deberá existir un sistema de drenaje adecuado para evacuar el agua que se acumula en las cubiertas.
- En los climas cálidos es importante revisar que no se formen gotas de condensación debido a las variaciones de temperatura. Este fenómeno también puede ocurrir cuando se usan calentadores o lámparas incandescentes en los locales mal ventilados.

7.3.3 Higiene y mantenimiento de las colecciones y de los espacios

El éxito de los programas de esta naturaleza depende mucho de la higiene. Como ya hemos explicado, las plagas anidan en el polvo y este sirve como vehículo transportador de restos de insectos y esporas de microorganismos.

Por otra parte, el polvo es ácido y a él se adhieren diferentes partículas que pueden provocar efectos indeseables en los objetos, al mismo tiempo que arrastrar materiales que pueden servir como fuente de alimento a los organismos heterótrofos. Por ello, su eliminación del ambiente de nuestras instituciones es fundamental, lo que constituye una medida preventiva de primer orden. Con estos propósitos, es importante:

- Realizar limpiezas periódicas de los locales y de las colecciones con aspiradora de baja potencia, utilizando los medios de protección necesarios tales como mascarillas con filtros, guantes de látex, batas sanitarias, gafas, etc., para evitar la acumulación de polvo en estanterías y sobre los objetos.
- En el caso de locales alfombrados (lo que no es recomendado) será necesario prestar especial atención, ya que las alfombras acumulan polvo del ambiente y del calzado, lo que dificulta la limpieza.
- Los estantes deberán estar separados de las paredes; entre el piso y los entrepaños inferiores deberá existir un espacio de 20 centímetros como mínimo, para poder desempolvar con facilidad. Es recomendable que exista un espacio entre los objetos, pues permite la circulación de aire y su fácil manejo.
- Lograr que tanto el ambiente como los objetos estén limpios, libres de polvo y de partículas ajenas.
- Los materiales utilizados en la construcción de salas, almacenes y edificios deberán ser resistentes al ataque de los insectos y aislantes de la humedad.
- En las estanterías deberá evitarse la utilización de maderas de mala calidad; preferentemente se sustituirán por anaques metálicos (siempre que no haya problemas de condensación) o de maderas duras tratadas para protegerlas de los insectos y de la humedad.

Restricciones:

- No deberán introducirse alimentos en los depósitos, salas de lectura o de exhibición, porque con ello se contribuye al desarrollo de microorganismos y se atraen a los roedores.
- Tanto el personal como los usuarios deberán lavarse las manos antes de tocar los libros y documentos, ya que la grasa, el sudor y la saliva favorecen también la transmisión de los microorganismos.
- Deberá estar estrictamente prohibido fumar dentro de los acervos o de las áreas de trabajo, porque, además del peligro de incendio, el humo y la ceniza producen manchas de hollín y grasa.
- Los objetos, inmediatamente después de dar mantenimiento al mobiliario o al local (pegado, barnizado, pintado), no deben ser colocados en sus sitios, ya que los vapores son nocivos para ellos.

Recomendaciones importantes:

- Los objetos y colecciones dañados deben ser aislados del resto para evitar la propagación de infecciones y tendrán que ser desinsectados antes de ser reincorporados en su lugar.
- Es recomendable desinsectar-desinfectar solamente cuando sea estrictamente necesario.

7.4 Métodos de erradicación y control alternativos aplicables

7.4.1 Control de roedores

Para el control de los roedores, es fundamental descubrir cual es su puerta de entrada. Esto puede parecer relativamente sencillo, pero no siempre lo es.

En ocasiones, existe un elevado número de lugares probables a ser puntos de entrada o, misteriosamente, no hay ninguno. A veces es evidente, pero resulta muy difícil determinar donde anidan, o las zonas por las que transitan. Es por ello que la desratización no puede consistir solamente en distribuir raticida de forma más o menos inteligente, sino que requiere de inspecciones periódicas, para descubrir huellas, agujeros y otros signos de su presencia. Por ejemplo, un agujero en una pared puede ser una puerta de entrada de ratas evidente y, la ausencia de telarañas en ese lugar, nos indicará un posible paso de roedores.

La tecnología actual nos proporciona una variedad de opciones para controlar a los roedores en el exterior y interior de las instalaciones, entre los que destacamos el uso de estaciones raticidas y los rodenticidas anticoagulantes (Poleo y Pérez, 2005).

- El uso de estaciones raticidas constituye una forma muy utilizada, pues tiene las siguientes ventajas (Coto, 2002): reducen la probabilidad de que las personas o animales, que no son objeto del control, tengan contacto con los rodenticidas; protegen los productos de los efectos del ambiente posibilitando que estos mantengan su actividad como atractivo para las plagas durante más tiempo; los inducen a alimentarse dentro de un refugio seguro para comer; disminuyen la posibilidad de derramamientos; permiten llevar un control de la formulación, nivel de actividad y consumo por parte de los roedores, así como el número de estaciones; pueden ser colocadas a lo largo del perímetro exterior de la instalación para evitar ingresos al área tratada desde las colindantes. En ellas se utilizan diferentes tipos de trampas (métodos no químicos) engomadas, de golpes, o dispositivos de control mecánico:
 - Las trampas engomadas constituyen una herramienta versátil para determinados espacios. Sin embargo, su uso se reduce mucho en áreas sucias o mojadas, cuando el roedor cubre su cuerpo con polvo, grasa o agua y pasará por las trampas sin ser atrapado.
 - Las de golpe son, probablemente, las más disponibles y conocidas. Continúan siendo las más empleadas para eliminar ratas de las construcciones. Cuando se utilicen estas trampas es importante colocar el mayor número posible de ellas.
 - Los dispositivos de control mecánico, bien sean tipo cuerda de reloj o con puerta de acceso en un solo sentido, permiten atrapar hasta 15 ejemplares sin necesidad de emplear carnada.
- Los rodenticidas anticoagulantes (métodos químicos) son muy recomendados por su seguridad y mecanismo de acción, ya que interfieren con la coagulación normal de la sangre de los roedores, produciéndoles una hemorragia interna y causándoles la muerte. Tienen acción lenta y, frecuentemente, tardan varios días para matar al animal, lo que evita causarles rechazo a los restantes. Existen en varias de formas comerciales: pellets o grageas, cereal o cebo, bloques de diferentes tamaños, polvo y líquido.
 - La forma de *pellets* o grageas es conveniente, fácil de usar y de aplicar.
 - El cereal o cebo es menos probable que sea almacenado o llevado por los roedores y tiende a deteriorarse con mayor rapidez debido a su elevada higroscopicidad.
 - Los bloques son más tolerantes a los cambios higrométricos.
 - El polvo se emplea como material de rastreo y el roedor lo ingiere, directamente, en el momento de limpiar su pelaje.
 - En forma de líquido se utiliza en sitios donde escasea el agua, siendo el complemento ideal en el interior de las estaciones raticidas.

Con el objetivo de garantizar la adecuada efectividad de un programa de control de roedores, será necesario considerar algunas cuestiones esenciales, que se comentan a continuación:

- Con respecto a los cebos exteriores, es importante utilizar solamente los raticidas autorizados para dicho uso y en las condiciones que marca el fabricante. Se localizarán en dispositivos específicos que garanticen la debida eficacia contra los roedores para evitar el acceso a los mismos de personas (niños) y de otros animales, así como para proteger el producto de las inclemencias meteorológicas.
- Los cebos deberán estar situados en dispositivos herméticos que únicamente permitan el acceso del roedor, en lugares poco visibles para evitar el contacto con personas y animales. Pueden usarse en paquetes o granulados, dispuestos sobre bandejas especiales y señalizadas para tratar zonas inaccesibles o fuera del acceso normal, pero no deben ser esparcidos indiscriminadamente por toda la instalación.
- De manera preventiva, será necesario eliminar las malas hierbas, escombros, proliferación de vegetación y otras condiciones que contribuyan a la supervivencia de los roedores. Los recipientes de basura y desperdicios deberán limpiarse diariamente.
- En el interior de los inmuebles, los puntos de entrada son los de mayor interés, por ser considerados de alto riesgo, y deberá prestarse especial atención al tipo de cebos tóxicos, seleccionados para estas zonas.

7.4.2 Control de microorganismos y insectos

Como hemos apuntado, el mantenimiento de un ambiente adecuado es la mejor manera de evitar el desarrollo de los agentes biológicos en los objetos de valor histórico.

Cuando a pesar del trabajo preventivo, este no es eficiente, ocurren infecciones y infestaciones en las colecciones y no queda otra opción que aplicar un método drástico para el control de estos procesos.

Un brote de hongos que se produzca abruptamente puede ser indicativo de un cambio en las condiciones ambientales que han propiciado la germinación de las esporas, ya que esto ocurre cuando la humedad relativa sobrepasa el 70-75% y se mantiene elevada durante varios días.

El primer paso ante la aparición de un brote de hongos es asegurarse de que realmente se trata de una infección fúngica y no de una acumulación de polvo, suciedad o manchas. Posteriormente se debe determinar si el moho está activo o no.

Muchas veces podemos resolver los brotes pequeños en la propia institución (Olcott, 1999), pero cuando son de grandes magnitudes será necesaria la ayuda de expertos externos.

En la literatura han sido publicados muchos procedimientos para el control de insectos y microorganismos en los objetos y colecciones de valor cultural (Caneva y Salvadori, 1987; Nugari et al, 1987; Valentín, Lidstrom y Preuser, 1990; Strang, 1994; Strang, 1996; Ledesma, 2005). La eficacia de los mismos y los resultados a lograr con su aplicación, dependerán de varios factores. De todos modos, aún en el caso del método de control más sofisticado, si persisten las condiciones ambientales propicias para el desarrollo de los agentes biológicos, nuevamente el problema se repetirá; por lo que para una práctica inteligente y exitosa es importante:

- Identificar el enemigo biológico que debemos controlar y/o eliminar, así como conocer sus potencialidades.
- Saber exactamente qué es necesario hacer en la práctica, si es oportuno intervenir, si queremos eliminar el 100% de los individuos de una población, o mantenerlos dentro de unos límites aceptables en los que no produzca daños de importancia.
- Conocer las propiedades y características de los métodos de control alternativos aplicables en cada caso para la consecución de nuestros objetivos.
- Saber cuales son los daños que pueden sufrir los materiales constituyentes de los objetos al aplicar un determinado procedimiento curativo.
- Conocer los riesgos que corren las personas que están en contacto con las obras contaminadas al manipular determinados productos.
- Tener en cuenta que la selección del procedimiento a aplicar dependerá de la situación específica.
- Poder determinar cuando es necesaria la ayuda externa.

Los métodos de control tradicionalmente aplicados con estos propósitos se basan en la utilización de diferentes sustancias plaguicidas tóxicas que ejercen determinados efectos nocivos a los agentes biodeteriorantes, por lo que el primer paso es conocer sus propiedades, y saber si realmente se trata de una plaga. En este sentido es importante puntualizar algunos conceptos (Ecopest S., s.d):

- Plaga: Una especie se considera como plaga cuando se encuentra en una proporción o densidad que puede llegar a provocar daños o constituir una amenaza para el hombre o para su bienestar.
- Plaga urbana: Según la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.), las plagas urbanas son aquellas especies implicadas en la transmisión de enfermedades infecciosas para el hombre y que provocan daños en el ambiente, así como en el bienestar humano.
- Infestación: Refiere el número de individuos de una especie considerada como nociva en un determinado lugar.
- Vector: Desde el punto de vista de la salud pública, es el vehículo o transportador de los agentes etiológicos de enfermedades (bacterias, virus, etc.).

Los procedimientos para el control de plagas se aplican en las instituciones que atesoran bienes culturales mediante Programas de Control Integrado de Plagas (en inglés: Integrated Pest Management, IPM), los que tienen como propósito brindar las herramientas metodológicas, prácticas seguras y efectivas para prevenir el biodeterioro de las colecciones y de su entorno (Pinniger, 2001). Un programa de esta naturaleza debe lograr los objetivos siguientes:

- Prevención: Evitar que la plaga se convierta en un problema.
- Supresión: Reducir el número de la plaga o el daño que causa a un nivel aceptable.
- Erradicación: Destrucción total de la población dañina.

Es decir, que el Control Integrado de Plagas (CIP) es el uso de todas las estrategias apropiadas para controlar las plagas y los daños que ocasionan, a niveles aceptables, con el menor impacto posible en el medio ambiente. Incluye el monitoreo, identificación de las plagas, determinación del umbral económico, selección de las tácticas de manejo, evaluación de los resultados, y llevar un registro de las actividades.

El monitoreo de las plagas de insectos suele hacerse utilizando trampas, las que constituyen un buen complemento de la inspección visual.

La identificación de las especies de insectos responsables de la infestación de las colecciones es una etapa muy importante, ya que posibilita definir la estrategia y productos más efectivos para el control de los agentes biodeteriorantes.

Es fundamental conocer el tipo de sustancia y procedimientos que se pretenden aplicar, su efectividad y toxicidad, así como sus efectos sobre los materiales constituyentes de las colecciones. Estos pueden ser clasificados de varias formas (Vaillant y Valentín, 1996), dependiendo de:

- La naturaleza del tratamiento. De acuerdo con esto se subdivide en químicos, físicos y biológicos.
- Las especies de organismos a los cuales afecten y los tipos de efectos que les ocasionen: en este sentido se agrupan en insecticidas, fungicidas, bactericidas, fungistáticos, bacteriostáticos, raticidas, alguicida, liquenizada, etc.
- El modo de acción.

Por lo explicado anteriormente y porque la mayoría de los productos químicos utilizados con estos propósitos son tóxicos para el humano, resulta oportuno hacer algunas aclaraciones y plantear determinados conceptos sobre las características de estos productos y procedimientos.

Según se plantea en el Registro Europeo de Productos Fitosanitarios y el Manual Básico de Entrenamiento para Aplicadores de Pesticidas (Mota-Sánchez, 2005):

- Plaguicida: Término genérico utilizado para denominar a todos los agentes químicos usados en el control de plagas.
- Pesticidas: Sustancias químicas utilizadas para matar o exterminar las especies biológicas no deseadas o pestes. Este término es más empleado en el campo agrícola.
- Biocidas: Sustancias capaces de matar agentes biológicos.
- Rodenticidas: Sustancias utilizadas para el control de roedores.
- Inseticida: Sustancias utilizadas para controlar o eliminar insectos.
- Acaricidas: Sustancias que actúan contra los ácaros.
- Fungicidas: Sustancias o procedimiento que se utilizan para eliminar o controlar hongos. Algunos autores emplean este término como sinónimo de germicida (Wood, 1988).
- Fungistáticos: Inhibe el desarrollo de los hongos.
- Bactericidas: Sustancias utilizadas para eliminar o matar bacterias.
- Desinfectante o germicida: Agente que mata los microorganismos que producen una infección.
- Antiséptico: Impide la sepsis o contaminación, ya sea matando microorganismos o impidiendo su desarrollo.
- Repelentes: Sustancias que alejan o ahuyentan a los agentes biológicos.

En la literatura existen muchos reportes sobre sustancias y procedimientos alternativos aplicables para el control de plagas de insectos y microorganismos. Su selección dependerá de la situación específica y por el hecho de que sea necesario matar a todos los componentes de una comunidad biológica o solo a ciertas especies.

El control y erradicación de plagas y infecciones en los archivos, bibliotecas y museos no resulta una tarea fácil, especialmente cuando se trata de edificios históricos, cuyas condiciones ambientales son difíciles de corregir. La experiencia demuestra que una acción frente a una infestación o infección es mucho más costosa que practicar medidas preventivas sistemáticamente.

La falta de sistematicidad en el trabajo preventivo, puede provocar el desarrollo de infecciones por hongos y infestaciones por insectos y otras plagas. En estos casos existe, como única alternativa, la aplicación de un tratamiento drástico, antes que la infección se propague.

Aunque han sido desarrollados muchos procedimientos para el control de insectos y microorganismos, actualmente se trabaja en la búsqueda de nuevos y mejores métodos, ya que como es sabido, la casi totalidad de las sustancias de amplio espectro utilizadas, capaces de lograr una mortalidad del 99%, son tóxicas para el humano y producen reacciones indeseables en los materiales constituyentes de los objetos a tratar.

Específicamente para la conservación de objetos y colecciones de valor cultural, estos métodos están siendo grandemente enriquecidos con el conocimiento y experiencia ganados en otras ramas como la Agricultura, la Industria alimenticia y la Medicina. Por lo explicado anteriormente, en todo programa en el que se contemple la utilización de estas sustancias, se deberán tener muy presente dos cuestiones fundamentales:

- Todos los productos biocida son químicamente muy reactivos, es decir que pueden reaccionar con algunos de los materiales sobre los que se aplican.
- Se caracterizan por tener determinada toxicidad al hombre.

Para lograr efectividad, específicamente contra las plagas de archivos, bibliotecas y museos, los procedimientos a aplicar deben cumplir los requisitos siguientes (Brokerhof, 1989):

- Tener una acción rápida y eficaz, de forma tal que en un tiempo breve la plaga pueda ser eliminada.
- Los productos que se utilicen deben poseer un elevado poder de penetración, de manera que puedan llegar hasta el interior del volumen del objeto.
- No provocar transformaciones en los materiales.
- Ser inocuos.
- No dejar remanentes tóxicos.
- Ser altamente económicos.

La eficacia de un producto está en dependencia de su actividad biocida contra los organismos a los cuales va dirigido, para lo cual, hay que tener presente la dosis necesaria para ejercer la acción, el espectro de organismos sobre los que puede actuar y la persistencia, así como su poder de penetración en los materiales.

Es importante tener en cuenta que altos valores de persistencia son positivos respecto a la eficacia, pero resultan negativos en términos de riesgo higiénico ambiental (Agarossi et al, 1988).

Las interferencias con los materiales constituyentes dependen tanto de la reactividad química del biocida como de la presencia de sustancias coloreadas y oleaginosas existentes como co-formulantes del producto comercial. Estas y algunos disolventes pueden reaccionar con los soportes ocasionando diferentes daños.

Dado que las colecciones de valor cultural suelen estar constituidas por una gran variedad de materiales, cada uno de estos con sus propias características, deberán ser cuidadosamente analizadas todas las alternativas posibles antes de seleccionar un método en particular. Diferentes clases de objetos pueden requerir distintos tratamientos.

Es importante evitar que los biocidas y productos tóxicos que resulten de sus transformaciones pasen al ambiente, por lo que se recomienda su eliminación.

La toxicidad es una característica muy importante a la hora de la elección del biocida. Es definida, genéricamente, como la capacidad de una sustancia de provocar lesiones o muerte a un organismo (Cornwell, 1979). En realidad, todas las sustancias pueden ser tóxicas. Son consideradas como veneno las que resultan nocivas a dosis muy bajas. Esta puede ser aguda, cuando los efectos se manifiestan inmediatamente, o crónica, si éstos aparecen después de varias exposiciones tras un período más largo. Para su evaluación se pueden utilizar varios parámetros. Los más comunes son:

DL₅₀: Cantidad de principio activo (suministrado por vía oral o cutánea) que resulta letal para el 50% de los animales usados en la experimentación. Se expresa en miligramos de producto/Kg de peso del animal.

CL₅₀: Se utiliza para compuestos gaseosos. Expresa la concentración de gas letal capaz de matar el 50% de los animales evaluados, en un tiempo de exposición determinado.

TVL: Se utiliza en los ambientes cerrados. Es el nivel aceptable para estos compuestos (Threshold Limit Value).

Sobre la base de estos índices han sido definidos varios niveles toxicológicos para evaluar la toxicidad de las sustancias, como se muestra en la tabla 7.

TABLA 7

CLASSIFICACIÓN TOXICOLÓGICA DE LOS BIOCIDAS				
NIVELES SEGÚN LA TOXICIDAD	CLASSIFICACIÓN Y ETIQUETADO	DL ₅₀ ORAL (mg/Kg)	DL ₅₀ DÉRMICA (mg/Kg)	CL ₅₀ INHALACIÓN (mg/Kg)
NÍVEL I ALTAMENTE TÓXICO	VENENOSO calavera con huesos cruzados	0-50	0-200	0-2.000
NÍVEL II MODERADAMENTE TÓXICO	NOCIVO Cruz de San Andrés	50-500	200-2.000	2.000-20.000
NIVEL III LIGERAMENTE TÓXICO	ATENCIÓN Manipular prudentemente	Mayor que 500	Mayor que 2.000	No descrito
Fuente: Mota-Sánchez, 2005.				

Los biocidas, altamente tóxicos, deben ser empleados solamente por el personal capacitado para ello. Para evitar la exposición dérmica y los riesgos que presupone la manipulación de estas sustancias, se deberá utilizar indumentaria de protección como guantes de goma, gafas, mascarillas, botas, etc. No se deberá comer, beber y fumar mientras estamos en contacto con estos productos para reducir el riesgo de exposición oral.

Los riesgos de contaminación medioambiental por el empleo de estas sustancias están relacionados con varios factores, en particular, con el paso del producto a otras plantas y animales, así como con su persistencia.

Debido a los problemas que conlleva la utilización de biocidas y plaguicidas, existen normativas y metodologías reglamentadas en cada país, con sus exigencias y especificaciones, incluso para permitir su registro. Sus componentes químicos deben ser bien analizados para cumplir sus objetivos; ni las sustancias activas ni los productos de su conversión deben tener efectos adversos ni colaterales para ser utilizados en la salud pública, derivado alimenticio o medio ambiente. El contenido del compuesto activo no puede exceder la concentración requerida para su propósito. Cuando es registrado, éste se inscribe con un número, el cual es asociado con regulaciones que indican quiénes, cómo, dónde y cuándo se lo puede utilizar.

Partiendo del cumplimiento de estas especificaciones, dependiendo del tipo y estado de conservación del objeto o colección así como de la situación particular, pueden ser aplicado mediante (Lazzarini, Laurenzi y Tabaso, 1986): rociamiento, pinceladas, en forma de compresas, inyección, fumigación en cámaras y aplicaciones locales entre otros.

En general, los métodos de erradicación y control actualmente utilizados son agrupados en (Vaillant, Valentín y Doménech, 2003):

- Tratamientos con productos químicos tóxicos: fumigación con gases pesticidas.
- Tratamientos con productos químicos no tóxicos: atmósferas transformadas.
- Tratamientos físicos: irradiación, métodos térmicos y microondas.
- Control biológico: feromonas, suspensiones microbianas, biocidas ecológicos, etc.
- Métodos tradicionales: succión, calentamiento.
- Nuevas tendencias: aplicación de las técnicas de la Biología molecular.

7.4.2.1 Tratamientos con productos químicos tóxicos: Fumigación

Entre estos tratamientos, uno de los mayormente empleados ha sido la fumigación en cámara con gases pesticidas.

La fumigación es un método utilizado para la erradicación de insectos y microorganismos en objetos y colecciones de valor cultural, mediante su exposición a gases tóxicos en una cámara hermética.

La eficacia del tratamiento depende de las propiedades del gas, del tiempo de exposición, de la temperatura, de la humedad relativa y de la presión de la cámara. Al finalizar la operación, el gas es diluido, evacuado y la cámara debe ser ventilada antes de que los objetos puedan ser extraídos y reincorporados a la colección. Incluye tratamientos con diversas sustancias biocidas, de diferentes características, naturalezas químicas y mecanismos de acción, entre ellas: insecticidas, funguicidas, fungistático, bacteriostáticos y bactericidas.

Entre sus ventajas vale destacar que permite que los compuestos activos penetren en los materiales con mayor facilidad que los líquidos. Con una presión de entrada de gas reducida, puede aumentarse suficientemente el poder de penetración y se requiere menos tiempo de exposición para el tratamiento.

Sus principales ventajas están relacionadas con la toxicidad de estos productos y con el hecho de que los gases que han venido utilizándose producen alteraciones fisicoquímicas en los materiales. Un problema fundamental es el causado por los residuales tóxicos, químicamente activos, que quedan en los materiales después del tratamiento, incluso después de airear. Mencionaré algunos de estos productos a modo de ejemplo.

Óxido de etileno: Es un gas tóxico, inflamable y explosivo, con un alto poder de penetración. Su efectividad abarca bacterias, hongos y insectos en todos sus estadios, por lo que se ha venido utilizando con mucha frecuencia para la desinfección de diferentes materiales como libros y documentos. Su mezcla con dióxido de carbono (1:9) disminuye su inflamabilidad, carácter explosivo y toxicidad (TLV 3mg/m³ o 2ppm). Posee un alto poder de penetración y se difunde rápidamente en los materiales.

Aunque este tratamiento ha sido tradicionalmente utilizado durante mucho tiempo, en los últimos años su uso ha sido prohibido, ya que se ha comprobado que el gas tiene efecto cancerígeno, constituyendo un producto de alto riesgo. Un problema adicional relacionado con el uso de su mezcla con freón, es que este último es considerado como una de las causas principales de la alteración de la capa de ozono.

Los resultados experimentales han revelado que los materiales que contienen grasas y proteínas (tales como pieles, pergaminos, pelos, sedas y algunos materiales sintéticos), tienen la tendencia de retener cantidades considerables de óxido de etileno, especialmente cuando están húmedos. Además de los problemas relacionados con la alta toxicidad y los residuos, ha sido demostrado que este gas puede provocar reacciones adversas con algunos soportes (Ballard y Baer, 1986).

Por todo lo explicado anteriormente, su utilización solo se justifica en casos de emergencias.

Bromuro de metilo: Es un gas muy volátil, más pesado que el aire, el cual penetra rápidamente en los materiales. Es efectivo contra insectos y menos tóxico que el óxido de etileno. Es utilizado en el tratamiento de objetos de madera y colecciones etnográficas. Provoca efectos adversos en los materiales que contienen azufre, tales como lana, pelo, seda y caucho, por lo que no pueden entrar en contacto con el bromuro de metilo.

Dado que reacciona con las proteínas, las pieles y pergaminos pueden perder color y expeler un olor desagradable. También, puede ablandar las resinas naturales y los barnices, además de oscurecer algunos pigmentos (Davis, 1985).

Debido a su toxicidad (TVL 65mg/m³), su empleo está reservado al personal cualificado y solamente podrá aplicarse en cámaras de fumigación provistas de sistemas de eliminación de residuos tóxicos. Por sus efectos nocivos su uso está cuestionado, y incluso, actualmente está prohibido por la Unión Europea.

Fluoruto de sulfurilo (Vikane): Es un gas incoloro, inodoro y no corrosivo. Tiene gran poder de penetración y se difunde rápidamente. En cuanto a su efectividad, es activo contra los insectos maduros, aunque no contra los huevos y puede detener el desarrollo del micelio fúngico pero no mata las esporas. Es utilizado para el tratamiento de objetos de madera afectados por termitas y otros insectos xilófagos.

Puede provocar reacciones adversas en la celulosa y proteínas, por su condensación con vapor de agua. Los metales han mostrado corrosión significativa, pérdida de lustre y de color.

Es tóxico para las plantas y para los humanos (DL₅₀ 417mg/m³). Su reacción con el agua, tanto en fase líquida como en vapores, produce un humo muy tóxico y corrosivo. Sus efectos sobre diferentes tipos de materiales no son muy adecuados, por lo que su utilización está limitada en Estados Unidos y Europa.

Ácido Cianhídrico: Es una disolución en agua del cianuro de hidrógeno. Es particularmente efectivo contra insectos y hongos, por lo que es utilizado para su control y en desinfecciones “*in situ*”, en dosis que oscilan entre 10-20g/m³ durante 48 horas. Tiene entre sus desventajas que puede ocasionar amarillamiento del papel, pérdida del color y de brillantez en los metales, así como producir un olor característico en los materiales etnográficos.

A pesar de su elevada toxicidad (DL₅₀ 6.44mg/Kg), aún es empleado en algunos países en gran escala en edificios históricos que albergan objetos de madera. Es muy dañino, ya que afecta los sistemas respiratorio y nervioso central.

Compuestos fenólicos y derivados

Fenol: Es uno de los desinfectantes más empleados desde hace mucho tiempo y todavía suele ser usado como estándar de comparación para evaluar la eficacia de otros productos. Ha sido utilizado en el tratamiento de maderas, especialmente cuando están saturadas de agua. Resulta muy corrosivo para los metales.

Actualmente su uso no se aconseja debido a su elevada toxicidad (DL_{50} 530 mg/Kg) y por el hecho de que, aunque no es cancerígeno en sí mismo, puede incrementar estas propiedades en otras sustancias.

Pentaclorofenol (PCP) y sus sales (PCPNa): Por su amplio espectro de acción, eran utilizados en el tratamiento de materiales orgánicos. Pueden provocar fenómenos de interferencia con algunos soportes tales como los textiles, así como el oscurecimiento de la madera y de los pigmentos. En presencia de luz, el PCP se disocia liberando cloruros; sus soluciones saturadas son ligeramente ácidas (pH 4.6).

Su uso doméstico, así como en los casos en los que pueda existir un prolongado contacto dérmico, están prohibidos, por su elevada toxicidad (DL_{50} 175 mg/Kg). Por ello, en las formulaciones biocidas en las que solía formar parte (Xilamón), actualmente es sustituido por otros compuestos. Su empleo debe ser cuidadosamente evaluado (VV.AA., 2008).

Timol: Ha sido ampliamente utilizado en materiales de archivos y bibliotecas, aplicado en pinceladas o en forma gaseosa mediante el calentamiento de sus cristales. Presenta buena efectividad en la eliminación de insectos y de algunas especies de hongos, mientras que los objetos sean expuestos al gas por un período de tiempo suficiente. No obstante, algunos autores ponen en duda su eficacia y actividad fungicida, ya que no elimina las esporas. Puede producir decoloraciones, amarillamiento del papel y de acrílicos, disolver las tintas de impresión antiguas, las pinturas y los barnices, así como provocar recristalizaciones y sublimaciones por sobrecalentamiento en las superficies de los objetos tratados (Agrawal y Dhawan, 1985). Es muy tóxico (DL_{50} 980 mg/Kg) y ocasiona riesgos severos en la salud de las personas que lo usan, por lo que su utilización está muy restringida.

Ortofenilfenol (OPP) y su sal sódica (OPPNa): Son a veces utilizados como alternativos del timol, ya que son fungicidas de composición semejante. Presentan buena efectividad frente a un amplio espectro de hongos y bacterias. Su campo de empleo es bastante amplio, abarcando desde el tratamiento de materiales orgánicos hasta el de los objetos pétreos (Nagin y Mc Cann, 1982).

El OPP diluido en soluciones de alcohol etílico (Lysol) está clasificado para ser utilizado como desinfectante en pinturas de látex, como agente retardante de la aparición de hongos, así como en la eliminación de líquenes en rocas graníticas. Es un biocida con buenas características desde el punto de vista de su eficacia, posibles interferencias con los materiales y toxicidad. Por presentar mejores características toxicológicas (DL_{50} 2.480mg/Kg) y debido a su escaso poder irritante suele ser más utilizado que otros derivados fenólicos.

Tanto el OPP como su sal sódica (OPPNa) suelen ser empleados como fungicidas añadidos a las colas.

Para-cloro-meta cresol (p-cloro m-cresol): Ha sido empleado con diferentes propósitos: como fungicida en soluciones alcohólicas para el tratamiento de pinturas al óleo, temperas y pinturas murales; como biocida de amplio

espectro en pergaminos; como preventivo del ataque biológico; en la limpieza de la piedra y como biocida en el saneamiento del ambiente de bibliotecas. Han sido reportadas pocas interferencias y reacciones adversas. No resulta muy tóxico al humano (DL_{50} 1.830mg/Kg). Con el objetivo de mejorar su eficacia se ha sugerido mezclarlo con otros biocidas derivados del mercurio, aunque se teme que se pueda incrementar el riesgo toxicológico.

Salicilanilidas (Shirlan-ICC): Son productos derivados de la condensación del ácido salicílico con anilinas. Constituyen un grupo de biocidas con buena actividad antifúngica y antibacteriana pobre. Se utilizan en el tratamiento de maderas en soluciones acuosas, especialmente en las saturadas de agua, así como en textiles y materiales de archivos. Aunque no son muy tóxicas (DL_{50} 5.000 mg/Kg), pueden causar irritación dérmica.

Sales de amônio cuaternário: Se trata de desinfectantes con actividad de superficie, muy empleados en el campo farmacéutico, aunque han sido también utilizados en el tratamiento de obras de arte como bactericidas y fungicidas. Tienen como ventajas que son activas en bajas concentraciones (exceptuando su acción frente a las bacterias gram negativas), su ausencia de color y olor y su elevada estabilidad, así como su doble acción biocida y detergente.

Entre sus desventajas se destacan su baja persistencia, incapacidad para eliminar las esporas, incompatibilidad con los detergentes aniónicos y su actividad reducida en presencia de elevadas cantidades de materiales orgánicos, sales de nitratos y ciertos iones como calcio y magnesio (Strzelczyk y Rozanski, 1986).

Su toxicidad varía según el tipo de compuesto y la longitud de los grupos alquílicos presentes, aunque en general, tienden a ser de ligeros a moderadamente tóxicos. Sus derivados más utilizados son:

- Cloruro de benzalconio (DL_{50} 240 mg/Kg). Muy utilizado como bactericida y fungicida.
- Trimetil 1-para-tolialquil-amonio-metano-sulfato (DL_{50} variable). Utilizado en compresas basándose en AB5, con acción biocida débil, aunque buen detergente.
- Dodecil-dioxibenzilamônio-cloreto (DL_{50} 1.000 mg/Kg).
- Lauril-dimetil-benzilamônio-brometo (DL_{50} 230 mg/Kg). Nombre comercial: Metatin.

Formaldehído: Es a veces usado como fumigante. El valor máximo aceptable es 5 ppm. Es un compuesto inflamable. La formalina (DL_{50} 800 mg/Kg) es su solución acuosa al 37%, a la que se le añade 10-15% de metanol para evitar su polimerización.

Ha sido muy utilizado en forma de aerosoles en cámaras de fumigación, para el tratamiento de libros y documentos. Tiene un poder de penetración muy limitado y un efecto fungicida pobre. Cuando se aplica sobre papel por nebulización a concentraciones superiores a 1% inhibe el desarrollo de algunos hongos celulolíticos.

No obstante, este reactivo tiene tendencia a polimerizarse y puede precipitarse sobre los materiales tratados, formando una fina película blanca. Esto ocurre con los objetos de papel (Brokerhof, 1989). Para evitar este fenómeno debe mantenerse una humedad relativa elevada durante el tratamiento.

Puede reaccionar con los grupos aminos libres de las proteínas constituyentes de las pieles y pergaminos, por lo cual los productos animales tienden a endurecerse y su degradación es acelerada. Por ello, nunca debe ser utilizado como desinfectante en estos materiales. Además, produce riesgos en la salud de las personas que lo manipulan, principalmente en ojos, vías respiratorias y piel. Se sospecha de su carácter cancerígeno.

Fosfinas: Son derivadas del fosfuro de hidrógeno. Es un gas muy reactivo, que se oxida frente al agua formando ácido fosfórico. Tiene alto poder insecticida, por lo que es utilizado como fumigante de colecciones históricas. Su ventaja fundamental radica en su capacidad para erradicar huevos de insectos. Tiene la desventaja de poseer acción lenta y cuando es mal aplicado puede provocar fenómenos de resistencia insectaria. Por su agresividad y carácter corrosivo, especialmente frente al cobre, no puede ser utilizado en presencia de metales (Bond, Dumas y Hobbs, 1984). La plata, el aluminio y el níquel pueden ser oxidados.

Compuestos organoclorados: Son compuestos de alto riesgo, tanto para el hombre como para los animales, no tanto por su toxicidad sino por su elevada persistencia, por lo que pueden provocar problemas de contaminación del suelo y acumularse en las cadenas tróficas. En consecuencia, en muchos países su empleo está prohibido. Sin embargo han demostrado ser buenos insecticidas, en especial contra especies resistentes y termitas. Entre ellos podemos citar:

- DDT (DL₅₀ 113-118 mg/Kg): su uso está prohibido y su empleo solo se justifica en circunstancias muy especiales. Presenta elevada estabilidad química y baja biodegradabilidad, lo que lo potencia como contaminante del medio ambiente.
- Lindano (DL₅₀ 88-270 mg/Kg): es un insecticida muy activo en forma de vapor. Es utilizado para eliminar plagas de insectos devoradores de la madera.
- Aldrin. (DL₅₀ 36-60 mg/Kg): al igual que el Dieldrín y el Chordane, está limitado a la lucha contra las termitas.

Piretroides: Estas sustancias fueron inicialmente extraídas de las flores de una planta africana de la familia de las *Compositae* (*pyrethrum cinariaefolium*). Actualmente, también se producen por vía sintética. Comprenden varios compuestos de actividad insecticida, de acción muy eficaz, no sistémicos, que actúan por contacto y que son muy tóxicos para los peces (DL₅₀ 584-900 mg/Kg), por lo que constituyen un riesgo de contaminación para el medio ambiente. Todas estas características limitan sus posibilidades de utilización.

Ácido Bórico: Suele ser utilizado en museos y bibliotecas como un insecticida de amplio espectro. Su toxicidad es elevada (DL₅₀ 3.000mg/Kg). Mezclado con bórax (DL₅₀ 4.55-6000 mg/Kg) en relación 7:3 ha sido empleado para la protección de maderas mojadas. Ambos poseen elevado poder de penetración, limitada actividad biocida y no siempre resultan buenos funguicidas. El tetraborato de sodio (Polibor) ha sido utilizado para combatir ataques de algas, líquenes, musgos y como herbicida.

TABELA 8

BIOCIDAS UTILIZADOS CON MAYOR FRECUENCIA PARA EL CONTROL DE AGENTES BIOLÓGICOS EN OBJETOS Y COLECCIONES DE VALOR CULTURAL					
NOMBRE COMERCIAL	COMPUESTO QUÍMICO	CAMPOS DE UTILIZACIÓN	EFFECTIVIDAD	FORMAS DE APLICACIÓN	TOXICIDAD
CARBOXIDE	Dióxido de etileno	Diferentes materiales orgánicos	Insectos, hongos, bacterias en todos sus estadios	Fumigación en cámara	Elevada
BROMOMETANO	Bromuro de metila	Diferentes materiales orgánicos	Escarabajos, polillas, termitas	Fumigación en cámara	Elevada
VIKANE	Fluoreto de sulfurida	Materiales celulósicos	Termitas, insectos xilófagos de la madera	Fumigación en cámara	Moderada, irritante
—	Ácido cianhídrico	Edificios históricos y objetos de madeira	Termitas	Vaporización y fumigación	Elevada
TIMOL	Iso-propil-cresol	Materiales celulósicos y pergaminos	Escarabajos, pececillo de plata, polillas	Vaporización y solución 10% en etanol	Moderada
PREVENTOL-A DOWICIDE-A	Orto-fenil-fenol	Materiales celulósicos, ceras, tintas	Fungicida y bactericida	Rociado	Moderada
PARACIDE PDB	Para-dicloro-benzeno	Textiles e indumentaria	Insecticida y fungistático	Nebulización	Baja, irritante
PCP	Penta-cloro-fenol	Maderas, materiales celulósicos, pintura mural	Termitas, hongos y líquenes	Rociado, spray, impregnación (Solución 5%)	Elevada
FORMALINA	Solución de formaldehído 2-5%	Concreto y piedra	Elimina hongos, algas, líquenes y musgos. No tiene efecto residual	Con pincel y en spray	Moderada, muy irritante
DDT	Para-cloro-fenil etano	Materiales celulósicos	Insectos caseros	Spray y polvo	Moderada
MALATION	Etoxicarbonil-dimetil-fosforotionato	Madera, materiales celulósicos y lacas	Insectos caseros	Spray y nebulización	Baja
PARATION	Dietil-nitro-fenil-fosforotionato	Madera y materiales celulósicos	Insectos caseros	Con brocha y en spray	Baja
ALDRIN/ OCTALENO	Hexacloro-hexa hidro-exoendro-dimetanonaftaleno	Materiais celulósicos, suelos y paredes	Termitas y insectos del suelo	Spray, espolvoreado	Elevada
CLORDANO	Octacloro-hexa hidro metano-indeno	Suelos y paredes	Termitas	Spray	Moderada
PIRETRO	Derivado de las piretrinas	Madera, papel, piel, textiles, pergaminos	Insecticida general para insectos caseros	Spray, espolvoreado	Baja
PERMETRINA	Ester racémico fenil-benzil-cis-trans-dimetil-diclorovinil-ciclopropano-carboxilato	Madera, papel, pergamino, piel, textiles	Insecticida general para varias familias de insectos caseros	espolvoreado	Moderada
DIAZINON	Dietil-isopropil-metil fosforinato de pirimidina	Varios tipos de materiales	Cucarachas e insectos caseros	Spray, espolvoreado	Moderada
—	Fenol (Solución acuosa 5%)	Roca y paredes de edificios	Desinfectantes para líquenes, musgos, algas y hongos	Spray	Elevada
PCP-PENTA	Pentaclorofenol	Madera, materiales celulósicos	Termitas, insectos xilófagos, hongos de la madera	Con brocha y en spray	Elevada
D.D.V.P/VAPONA	Dimetil-diclovinil fosfato	Madeira y textiles	Insecticida de amplio espectro	Cebos, tiras impregnadas, spray	Elevada

TABLA 8 (CONT.)

BIOCIDAS UTILIZADOS CON MAYOR FRECUENCIA PARA EL CONTROL DE AGENTES BIOLÓGICOS EN OBJETOS Y COLECCIONES DE VALOR CULTURAL					
NOMBRE COMERCIAL	COMPUESTO QUÍMICO	CAMPOS DE UTILIZACIÓN	EFFECTIVIDAD	FORMAS DE APLICACIÓN	TOXICIDADE
NAFTALINA	Naftol	Textiles e indumentaria	Repelente de polillas, pececillo de plata	Bolsas de tela	Baja
PERCLORO-METANO	Tetracloruro de carbono	Materiales etnográficos	Escarabajos, polillas y termitas	Nebulización	Moderada
SHIRLAN	Fenil-salicilamida por impregnación, aerosles	Pinturas, pieles, maderas saturadas de agua y materiales de archivos	Insecticida general y fungicida	En soluciones acuosas	Baja, irritante
NUODEX 87	Salicilato de dodexil-amina (Solución 1-5%)	Paredes de edificios	Algas y líquenes	Con brocha y en aerosoles	Moderada
ZIRAM	Dimetilditiocarbamato de zinc	Materiales celulósicos y plásticos	Insecticida de amplio espectro en el control de parásitos de animales	Impregnación, disuelto en solventes	Baja, sospechoso como cancerígeno
—	Salicilato de sodio (Solución acuosa 1%)	Materiales pétreos	Algas, líquenes y musgos	Spray, después de limpiar con amoníaco diluido	Moderada
POLIBOR	Octaborato de sodio tetra hidratado	Materiales pétreos	Protección contra hongos, algas, líquenes y musgos por períodos largos	Aerosoles y spray	Elevada
—	Solución Sulfato cúprico 4-5%	Concreto y terracotas	Algas y líquenes. Efecto residual que evita el crecimiento biológico por largo tiempo	Con brocha y en spray	Moderada
—	Solución nitrato cúprico 3-5%	Materiales pétreos	Eliminación transitoria de algas y líquenes	Spray	Moderada
—	Solución de fluosilicato de magnésio 0.5-5%	Materiais pétreos e concreto	Eliminación transitoria de líquenes y musgos	Con brocha y en spray	Moderada
—	Solución de fluosilicato de Zinc 1-2%	Materiales pétreos	Hongos, algas, líquenes y musgos. Efecto residual 5 años	Spray, después de limpiar con amoníaco	Moderada
ASEPTINE A	Derivado del ácido hidroxibenzoico	Concreto y piedra	Hongos, algas y líquenes. Efecto residual 2 años	Con brocha y en spray	No reportada
FLUOMETURON	Trifluoro-dimetil-fenil-dimetil-urea	Piedra y mármol	Algas, líquens y musgos	Con brocha (várias aplicaciones)	Elevada
CLOROBROMUROM	Bromo-clorofenil-metoximetil-urea	Mármol travertino, rocas y lava solidificado	Algas y líquenes	Aplicaciones con brocha y compresas	Moderada
MURASOL 20	Compuesto de amônia quaternário	Piedra	Hongos, algas líquenes y musgos	Con brocha y spray	Moderada
MERGAL HS 21	Naftenato de tributiltin	Piedra	Bacterias y hongos	Con brocha	Baja
STREPTOMICINA	Sulfato de estreptomina	Piedra	Bacterias	Con brocha y spray	No especificado
KANAMICINA	Monosulfato de kanamicina	Piedra	Bacterias	Con brocha y spray	No especificado
CHLOREA	Compuesto base amínica	Granito	Líquenes	Con brocha y spray	No especificado
CLOROX	Hipoclorito de sodio (Solución 1-5%)	Piedra y concreto	Líquenes y musgos	Con brocha	Bastante inocuo
Fuentes: Peltz, P.; Rossol, M., 1983; Agrawal, O.; Dhawan, S., 1985; Caneva, G.; Nugary, M.P.; Salvadori, O., 1994; Kumar, R.; Kumar, A., 1999.					

7.4.2.2 Tratamientos con productos químicos no tóxicos

Atmósferas transformadas para el control de insectos

Como tratamiento alternativo a los fumigantes tradicionalmente empleados, algunos países han desarrollado sistemas de desinsectación de bienes culturales aplicando atmósferas transformadas con bajo contenido de oxígeno (Pinniger, 1990; Valentín, Lidstrom y Preusser, 1990; Maekawa y Elert, 2002). Para ello se han utilizado gases inertes (argón, helio, nitrógeno y mezclas) aplicados en un sistema herméticamente cerrado en cuyo interior está depositado el objeto infestado. El control adecuado de factores ambientales (temperatura, humedad y concentración de oxígeno) permite erradicar por completo poblaciones de insectos destructores habituales de colecciones históricas.

La aplicación de este sistema no tóxico de desinsectación permite la salvaguarda de las normas internacionales en materia de protección del medio ambiente y de prohibición del uso de insecticidas de alto riesgo.

Se han desarrollado diferentes tipos de tratamientos de desinsectación (Valentín, 1993), que están siendo empleados para las especies de insectos comúnmente encontradas en archivos, bibliotecas y museos, utilizando bolsas de plástico como barrera de baja permeabilidad para el oxígeno.

Dentro de cada bolsa de plástico o burbuja se coloca un termohigrómetro para controlar la humedad relativa y la temperatura durante el tratamiento y un absorbente de oxígeno (Ageless®) que facilitará el descenso de este componente atmosférico. Tienen dos válvulas instaladas: una por donde penetra el gas inerte y otra de mayor sección por donde sale.

El gas es introducido en la bolsa con una presión suave próxima a 1 l/min., estableciéndose a través de ambas válvulas un barrido continuo que permite la sustitución del aire atmosférico por argón o nitrógeno. Se utiliza un analizador de oxígeno para tomar una muestra a través de la válvula de salida y conocer la concentración de oxígeno durante la purga de la bolsa.

Al alcanzar la concentración de oxígeno requerida en el interior de la bolsa, se cierran herméticamente las válvulas. A continuación, se mantienen las condiciones de estanqueidad durante un período de tiempo que variará en función de la temperatura, humedad relativa, naturaleza, tamaño de la obra y tipo de insecto aislado (Valentín, 1994). Resulta conveniente humidificar previamente el gas que entrará en las bolsas para ser utilizado en los tratamientos; con ello, se evitarán descensos bruscos de la humedad relativa en el interior de las bolsas durante la purga con gas (Valentín, 2003a).

En el caso de los coleópteros más frecuentes y anóbidos, una concentración de oxígeno inferior al 0.1% indicará que a partir de ese momento la mortalidad de los insectos comenzará a ser efectiva.

El gas nitrógeno es más asequible que el argón para desinsectar. No obstante, este último tiene otras ventajas adicionales: a) es más estable, b) algunos fabricantes someten el argón a un control de calidad más riguroso que el nitrógeno, por lo que se suministra con mayor grado de pureza, c) se ha demostrado que ciertos coleópteros y cerambícidos alcanzan una mortalidad completa en menor tiempo cuando se exponen a una atmósfera de argón. Este procedimiento de desinsectación, aplicado como sistema dinámico continuo, puede ser útil para el secado de objetos que han sufrido inundaciones. En este caso, la ausencia de oxígeno evitará oxidaciones de las tintas, de elementos metálicos, de las encuadernaciones y el crecimiento de agentes biológicos en los materiales.

Cuando se utilicen bolsas de tamaño superior a 2 x 2 metros o se desinsecten objetos de gran formato, es aconsejable realizar previamente una suave succión del aire atmosférico en el interior de la burbuja por medio de una bomba de vacío (Valentín, 2003b). Posteriormente se inyectará el gas y con ello se requerirá un menor consumo del mismo. Actualmente, para tratamientos que requieren un alto consumo de gas, se recomienda la adquisición de un generador de nitrógeno. Las condiciones adecuadas para erradicar los insectos más comunes utilizando atmósferas de nitrógeno (con bajo contenido de oxígeno) se reflejan en la tabla 9.

TABLA 9

CONDICIONES AMBIENTALES PARA ERRADICAR DIFERENTES TIPOS DE INSECTOS EN TODAS LAS FASES DE SU CICLO BIOLOGICO				
INSECTOS	TEMPERATURA (°C)	HR (%)	O ₂ (%)	TIEMPO (días)
<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>Hylotrupes</i>	20	35-60	0.03	24
	25	35-60		14
	20	60-80		40
	25	60-80		30
<i>Criptotermes</i>	20	35-60	0.2	15
	25	35-60		10
	20	60-80		25
	25	60-80		18
Fuente: Vaillant, Doménech y Valentín, 2003.				

La mortalidad de los insectos tratados es estrictamente dependiente de la temperatura, de la humedad relativa, de la concentración de oxígeno, del tipo de insecto y de la fase de su ciclo biológico. Una concentración de oxígeno de 500 ppm se considera óptima para erradicar insectos xilófagos, incluyendo aquellas especies como *Hylotrupes bajulus* resistente a atmósferas con bajo contenido en oxígeno.

En todos los tratamientos con atmósferas transformadas se ha comprobado que un incremento de la temperatura y una disminución de la humedad relativa acortan, drásticamente, el tiempo necesario para eliminar el 100% de los insectos. Valentín y col. (1992) demostraron que en el caso del gas argón se necesitan 14 días a 40% de HR y 0.03% de oxígeno para obtener una mortalidad completa de *H. bajulus* a 20° C. No obstante, a 30° C solo se necesitan 7 días de tratamiento para eliminar el 100% de estos insectos expuestos algas. Otras especies menos resistentes a las bajas concentraciones de oxígeno como *A. punctatum*, *X. rufovillosum* y *L. brunneus* requieren de 3 a 6 días de exposición a 20° C y 0.03% de oxígeno. Para estas especies solo se necesitan de 2 a 4 días de tratamiento con argón cuando la temperatura es de 30° C.

En el caso de tratamientos con atmósferas de nitrógeno se requieren períodos de exposición más largos que en las desinsectaciones con gas argón. Para *H. bajulus* se necesitan 10 días de exposición a 30° C y 40% de HR. Cuando la temperatura desciende a 20° C es necesario prolongar el tiempo de tratamiento hasta 20 días. Un comportamiento similar ha sido encontrado en el caso de especies pertenecientes a las familias *Anobiidae*, *Lyctidae* y *Dermestidae*. Dentro de los Anóbidos analizados *L. serricorne* resultó ser el más resistente a las atmósferas transformadas. Una humedad relativa alta, superior al 80% protege a los insectos de la anoxia.

Con atmósferas de dióxido de carbono, se obtiene una baja mortalidad de *H. bajulus*, de larvas, expuestas al gas. Para erradicar el 100% de las poblaciones de estos insectos es necesario utilizar alta temperatura y largo tiempo de exposición, 25 días a 40% HR y 35° C.

En general, para insectos más sensibles que *H. bajulus*, un incremento de un 5% en la concentración de dióxido de carbono en el aire, implica un aumento de la capacidad de respiración de un 300%, favoreciendo su mortalidad. Por consiguiente, un tratamiento previo con CO₂, seguido de una aplicación de gas inerte acorta significativamente el tiempo necesario para alcanzar una erradicación total.

Diferentes análisis han mostrado que larvas tratadas con argón, nitrógeno y dióxido de carbono sufren una pérdida significativa de peso producido por su desecación, como consecuencia del efecto del flujo y naturaleza del gas. Dicha pérdida de peso se acentúa cuando estas son expuestas al gas argón.

Comparativamente, los tres tipos de gases (argón, nitrógeno y dióxido de carbono) producen cambios similares de humedad relativa en el interior de las bolsas durante los tratamientos.

Se ha observado que, cuando se purga una burbuja con gas seco, la humedad relativa desciende un 5-6% con relación a la del exterior.

Cuando se mantiene un sistema estático de exposición al gas inerte, la humedad en el interior de la bolsa aumenta un 4-5% con relación al medio ambiente. No obstante, si la HR ambiental es, excesivamente elevada, superior al 80% el flujo continuo de gas produce un descenso brusco de dicho parámetro en el interior de la burbuja que puede llegar a ser del 25% menos con relación a la del ambiente. Por este motivo, es importante utilizar gas previamente humidificado, sobretodo en casos de materiales delicados, almacenados en archivos donde existan altas humedades ambientales. La atmósfera de nitrógeno también puede ser aplicada en cámara, lo cual suele ser práctico, especialmente para desinsectaciones de gran número de objetos.

Dependiendo del volumen y cantidad de objetos a desinsectar, pueden utilizarse diferentes fuentes de nitrógeno alternativas, las que se pueden resumir en:

Botellas de nitrógeno: Es la fuente de nitrógeno más utilizada. Es un sistema de trabajo adecuado para objetos de tamaño pequeño, depositados en bolsas de volumen menor de 2 m³. La operación se complica cuando se tratan de hacer desinsectaciones que involucran un número importante de bolsas o burbujas.

Entre sus ventajas se deben destacar: es de fácil uso, no se requiere electricidad, resulta de bajo coste cuando se utilizan para pequeños objetos y posee una alta pureza (99,999%).

En cuanto a las desventajas se debe tener en cuenta que: es peligroso manipular las botellas debido a su peso y altura; es difícil controlar un tratamiento que requiere utilizar muchas botellas; el coste es alto cuando se precisa desinsectar objetos de gran formato y colecciones con gran número de objetos; la humectación del gas nitrógeno debe ser estrictamente controlada; es necesario mantener una atención especial cuando se trabaja con un sistema dinámico ya que las botellas deben ser reemplazadas antes de agotarse.

Nitrógeno líquido depositado en rangers: En estado líquido puede suministrarse en rangers y se gasifica para obtener nitrógeno de alta pureza (99,999%). Estos proporcionan una cantidad de gas útil para tratar burbujas de tamaño en un rango de 2-10m³. No obstante son difíciles de manejar “*in situ*” debido a su peso elevado y a su tamaño. Presentan las mismas ventajas y desventajas que las expresadas anteriormente.

Generadores de nitrógeno: Estos incluyen dos tipos:

- Los generadores industriales, los cuales producen un flujo alto pero presentan una pureza baja. Estos equipos no son prácticos para trabajar “*in situ*” en museos, archivos o bibliotecas. Pueden trabajar en flujo continuo

durante todo el tratamiento. Sin embargo, la principal limitación es su caudal de flujo, que es inversamente proporcional a la pureza del gas.

- Los generadores pequeños, que asociados a equipos de análisis de alta precisión producen óptima pureza de nitrógeno. No obstante, suministran un caudal pequeño de nitrógeno, lo cual lo torna insuficiente para tratar la mayoría de los objetos artísticos.

El equipo Velox®: este equipo cubre el vacío que existe en los equipos de desinsectación para obras históricas. Produce un caudal significativo y alta pureza. Permite la separación de nitrógeno de los otros componentes del aire por medio de un complejo sistema de membranas de fibras poliméricas. Velox® 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 elevada pureza (Valentín et al, 2002). El mismo ha sido validado en proyectos para desinsectación de muebles, esculturas policromadas, libros, colecciones de historia natural y colecciones de gran formato (Save Art, Comisión Europea, ENV4-CT98-0711).

Entre sus principales ventajas vale destacar que: es de fácil uso; seguro para los profesionales relacionados con los bienes culturales, para el medio ambiente y para el público; el coste por tratamiento se reduce considerablemente, excluyendo el costo inicial del equipo; trabaja en flujo continuo, por lo que se puede aplicar para desinsectar objetos de gran formato; al ser transportable puede ser utilizado para tratamientos “*in situ*” evitándose riesgos del deterioros por el transporte.

Entre sus desventajas es importante tener en cuenta que el compresor puede ser ruidoso y que el mantenimiento tanto del Velox® como el del compresor debe ser rigurosamente controlado.

En general, cuando se detecta una infestación es preciso:

- Identificar el tipo de insecto.
- Establecer el tiempo mínimo de exposición en función de: el tamaño de la pieza, tipo de insecto, características estructurales y técnica artística del material infestado, temperatura, humedad relativa.

El efecto de la anoxia y la eficacia del tratamiento pueden ser incrementados utilizando una humedad relativa baja en un rango de 45-60%, temperatura de 23°-25° C. Estas condiciones favorecen la desecación de los insectos.

Atmósferas transformadas para el control de microorganismos

Se ha demostrado que la aplicación de atmósferas transformadas con bajas humedad relativa (50-45%) y bajo contenido en oxígeno (0.1-0.5%) produce un decrecimiento significativo del desarrollo de los microorganismos. También se ha

observado que el efecto de la exclusión de oxígeno no es tan drástico en la actividad biológica como el efecto del descenso de humedad.

Es sabido que la presencia de hongos anaerobios en el papel es infrecuente. Por el contrario, los hongos y bacterias aeróbicas son contaminantes habituales de muchos materiales históricos.

Las bacterias anaerobias son frecuentes contaminantes de los soportes proteicos. En este caso, es necesario considerar que estos organismos necesitan, para su desarrollo, porcentajes de humedad incluso mayores que las bacterias aerobias. Por tanto, el método más eficaz para detener su actividad biológica es la reducción de la humedad relativa.

Estudios recientes han puesto de manifiesto que el descenso del crecimiento microbiano es muy similar a 35-40-50% y 55% de humedad relativa. Por consiguiente, no se requiere un descenso excesivo de este parámetro para disminuir la contaminación microbiológica (Valentín, 2003c).

El contenido acuoso del material, es el parámetro que condiciona en mayor medida, el grado de contaminación microbiológica de un soporte. Depende de la composición del soporte, de la humedad relativa ambiental y de la ventilación. Investigaciones realizadas utilizando poblaciones heterogéneas de microorganismos expuestas a marcadores radioactivos, han revelado que un descenso de HR del 95% al 45% y un contenido de oxígeno del 0.1% produce una parada de la actividad biológica de microorganismos celulolíticos en solo 8 horas de tratamiento (Valentín et al, 1997).

El control de microorganismos requiere un tratamiento dinámico de gas nitrógeno durante todo el proceso. El tiempo de tratamiento depende del tipo de material, tamaño, contenido de agua y grado de contaminación.

7.4.2.3 Tratamientos físicos de erradicación

Irradiación

Las radiaciones causan cambios en las enzimas y otros biopolímeros esenciales de los organismos en sus procesos vitales. En general provocan comportamientos anormales y incluso la muerte de los organismos irradiados, por lo que pueden ser utilizadas como germicidas.

Existen dos tipos de alta energía de irradiación aplicables con estos propósitos (Vaillant, Doménech y Valentín, 2003): las radiaciones electromagnéticas y las partículas cargadas con alta energía.

Radiaciones electromagnéticas

Existen tres tipos de radiaciones electromagnéticas: gamma, röntgen y ultravioleta. Tienen un rango energético de 10^2 a 10^7 electronvoltios (eV). La débil interacción de esas radiaciones limita su poder de penetración en los materiales.

- Las radiaciones gamma pueden ser letales para los insectos en todos sus estadios de desarrollo, así como para los microorganismos, incluyendo las esporas, dependiendo de la dosis aplicada. Luego de ser emitidas por la fuente - normalmente isotópica de cobalto 60 (^{60}Co) - y al ser absorbidas por el material irradiado, los rayos interactúan con todos sus componentes, originando cambios que están en relación directa con la dosis de radiación, la cual a su vez es proporcional al tiempo de exposición (mayor dosis, más tiempo y mayor efecto). Su nivel de penetración depende de la energía de los rayos, de la intensidad, del material y de la masa específica del objeto. Son muy utilizadas para la esterilización de productos desechables de uso frecuente, tales como: utensilios médicos, alimentos para mascotas y tratamiento del cáncer.

La tolerancia o sensibilidad a estas radiaciones está relacionada con los tipos de soportes, ya que hay productos que son más radiorresistentes o más radiolábiles que otros. Es importante destacar que el tipo de radiación emitida por los dos radioisótopos que se emplean para estos tratamientos (el otro es Cesio 137) tiene baja energía ($^{60}\text{Co} = 1,17 \text{ MeV}$ $^{137}\text{Ce} = 0,6 \text{ MeV}$), por lo que no transforman el material irradiado en un objeto radioactivo. El fenómeno de inducción de radioactividad ocurre a partir de los 12 MeV.

Una ventaja de estas radiaciones es su buena penetración en los materiales, lo cual permite que los objetos sean tratados en paquetes. Por otra parte, grandes cantidades de materiales pueden ser irradiados al mismo tiempo. El proceso es sencillo y rápido, y los materiales pueden ser usados inmediatamente después de la desinfección.

El empleo de estas radiaciones representa una alternativa segura para el control de poblaciones de insectos y otros artrópodos en cualesquiera de sus estadios biológicos, y inmediatamente después del tratamiento los materiales pueden ser utilizados con toda seguridad, ya que no están radioactivos ni tóxicos y solo contienen una fauna infestante lesionada o muerta (Ritacco, 2005). Sin embargo, existen dudas acerca de los cambios químicos que pueden ocurrir en los materiales y los residuos remanentes. Las altas energías a las cuales son expuestos los objetos causan excitación y ionización de las moléculas, rompiendo sus enlaces químicos y formando algunos radicales. Los materiales celulósicos son los más vulnerables (Butterfield, 1987). Por otra parte, los objetos se hacen más sensibles a un nuevo ataque biológico.

- Las radiaciones Röntgen (X) tienen actividad insecticida y posiblemente también fungicida. Sus efectos pueden ser comparados con los que producen la irradiación gamma. El algodón muestra una reducción exponencial de la resistencia a la tensión, así como pérdida de la cristalinidad por el efecto de estas radiaciones. Los objetos pintados requieren un cuidado especial, porque 1 KGy puede provocar cambios en la capa pictórica.
- Los rayos ultravioletas tienen una menor energía y un limitado poder de penetración. Tienen efecto fotoquímico, pues causan excitación electrónica seguida por ruptura de enlaces químicos. No provocan ionización. Las propiedades fisicoquímicas del papel se alteran cuando el material es expuesto a una longitud de onda de 330-440 nanómetros. En este caso se produce la foto oxidación, que provoca acidificación, pérdida del grado de polimerización y incremento de los grupos reductores. La madera puede ser blanqueada con las radiaciones ultravioleta.

Partículas cargadas

Las radiaciones beta o bombardeo electrónico, son generadas por la aceleración de electrones en un campo eléctrico. Constituyen una fuente directa de electrones de alta energía. Su mecanismo de acción es el mismo que el de la irradiación gamma (excitación, ionización, ruptura de enlaces y formación de radicales), sobre los organismos y materiales.

Tienen como ventaja que pueden generar una velocidad de dosificación mayor, lo que reduce el tiempo de irradiación necesario para lograr la dosis y efecto biológico requerido. Además, son de fácil manipulación.

Entre sus desventajas deben considerarse la gran cantidad de calor que generan, lo cual acarrea efectos adversos, su bajo poder de penetración y el hecho que en los materiales celulósicos causan depolimerización, disminución de la cristalinidad así como que altas dosis provocan la descomposición del polímero celulósico, tanto de las zonas amorfas como de las cristalinas.

Los resultados sugieren que este tipo de tratamiento no debe ser aplicado a los objetos de valor cultural.

Microondas

Las microondas tienen un nivel de energía de 10^{-6} – 10^{-4} electrovoltios y una frecuencia de 500-5000 MHz. Pertenecen a las radiaciones de baja energía. Su mecanismo de acción es muy diferente al de las radiaciones de alta energía.

Los materiales con grupos polares o alto contenido de humedad, pueden absorber la energía de irradiación, la cual es convertida en vibraciones moleculares; éstas producen calor, el que puede causar un comportamiento anormal de los organismos vivientes, especialmente de los insectos, debido al calentamiento del agua constituyente de sus células (Nelson, 1973).

Este aumento de temperatura afecta también al agua constitutiva de los materiales orgánicos como la madera, el papel, los pergaminos, etc. En el caso del acetato de polivinilo, gelatina y otros materiales proteicos, al poseer moléculas polares, sufren un incremento de temperatura por el impacto de las microondas que puede dañarlos.

La efectividad de este método depende de la frecuencia de irradiación, de la intensidad del campo eléctrico, de la especie de insectos y estadio de desarrollo, así como de las condiciones ambientales. Por otra parte, las aplicaciones de las microondas se realizan sobre superficies pequeñas, por lo que su empleo para tratamientos de objetos de gran formato, o de colecciones grandes infestadas representa una limitación en cuanto a tiempo y coste.

Entre sus ventajas destacan que pueden generar una velocidad de dosificación mayor en un tiempo de exposición menor y que son de fácil manipulación.

La desventaja de las microondas estriba en que tienen una penetración muy limitada en comparación con los tratamientos gaseosos, aunque es superior a la radiación infrarroja. Por otra parte, entre los objetos a tratar no debe haber metales, porque la gran cantidad de calor generado puede causar calcinaciones. Por consiguiente, en el caso de documentos antiguos muchas tintas que poseen cargas metálicas, pueden verse afectadas.

Su principal desventaja está relacionada con la gran cantidad de calor que generan, su bajo poder de penetración y las reacciones adversas que originan en algunos materiales, especialmente con los celulósicos, afectando sus propiedades.

7.4.2.4 Métodos térmicos

Varios factores hacen atractivo el uso de métodos térmicos para el control de plagas y microorganismos en bienes culturales (Strang, 1996a). Entre sus ventajas podemos mencionar que pueden ser llevados a cabo en condiciones naturales, o mediante una amplia gama de alternativas tecnológicas, y que el costo de aplicación puede ser reducido; no obstante, pueden provocar riesgos para algunos tipos de objetos. Existen dos tipos de tratamientos alternativos aplicables: congelación y altas temperaturas.

Congelación

Las bajas temperaturas han sido ocasionalmente utilizadas para el control de insectos en objetos y colecciones de valor cultural (Florian, 1990). La congelación se viene aplicando desde los últimos 40 años para desinsectación de colecciones de historia natural como los herbarios. En este caso, los insectos ralentizan su actividad al bajar la temperatura, entrando en diapausa o fase de letargo.

Cuando la temperatura disminuye por debajo de -4°C , muchas especies pueden sufrir cristalización y por tanto congelación de fluidos corporales, que va acompañada de una deshidratación y muerte del individuo (Starling, 1984).

La reducción de la temperatura disminuye la velocidad de los procesos vitales. Consecuentemente, se inhiben la actividad y el desarrollo de los organismos. A 15°C el metabolismo de la mayoría de los insectos disminuye. No obstante, existen excepciones; algunas especies pueden sobrevivir a temperaturas muy bajas -15°C durante mucho tiempo. Las termitas, entre ellas especies de *Cryptotermes* pueden sobrevivir a -25°C . Según Pinniger (2001) se precisan 72 horas para eliminar coleópteros a -30°C .

Como vía de protección ellos pueden adaptar su metabolismo. Los insectos adultos son sensibles a estos métodos, pero las larvas y los huevos son más difíciles de erradicar.

Las estructuras vegetativas de algunos hongos también son eliminadas a bajas temperaturas. Muchas especies de *Aspergillus* y *Penicillium* no pueden desarrollarse a -10°C , pero las esporas pueden permanecer viables durante mucho tiempo, incluso a temperaturas inferiores sin ser exterminadas.

Los resultados a obtener con la utilización de este procedimiento dependen del tiempo que el material sea expuesto a las bajas temperaturas, del nivel de enfriamiento aplicado y de la cantidad de objetos a desinfectar.

La congelación provoca daños en las células y tejidos de los organismos vivos por formación de cristales intra, inter y extracelulares. También ocasiona desnaturalización de las estructuras terciarias y cuaternarias de las proteínas, dehidrogenación de los ácidos grasos y depolimerización de algunas estructuras celulares. Ahora bien, no todos los materiales pueden ser tratados por este procedimiento, ya que ha sido observado que en algunos casos pueden ocurrir cambios estructurales indeseables (Toby, 1994).

La madera muestra un encogimiento reversible de un 0.1% radialmente y de un 0.3% tangencialmente, debido a contracciones térmicas (Ishisaki, 1999). Esta variación puede ser compensada por la absorción de agua durante el enfriamiento. Los textiles y las fibras muestran un incremento en la resistencia, pero no efectos adversos de grandes magnitudes.

Este procedimiento no es recomendable para algunos materiales como los cloruros de polivinilos (PVC) y las resinas epóxicas debido a las modificaciones del polímero amorfo. También deben excluirse de ser tratados las pinturas, objetos muy deteriorados, cerámica, vidrio, metales y otros materiales inorgánicos por las alteraciones que pueden sufrir debido al impacto de los cambios dimensionales. Dicho fenómeno de contracción-dilatación, unido al efecto del cambio de humedad que debe soportar el material, debe ser bien analizado antes de aplicar la congelación.

La eficacia de este procedimiento depende, fundamentalmente, del tipo de insecto, de la fase de su ciclo biológico, naturaleza y tamaño del material, y del tiempo de exposición al tratamiento.

Calentamiento

Las temperaturas elevadas tienen efectos letales sobre los insectos y microorganismos debido, fundamentalmente, a la inactivación de biopolímeros esenciales, por los que disminuye la actividad biológica (Strang, 1992).

El poder de penetración del aire caliente es elevado, pero el proceso de transferencia es lento, por lo que se requieren largos tiempos de tratamiento. Exposiciones prolongadas a temperaturas elevadas pueden ocasionar efectos adversos sobre numerosos materiales, ya que el calor acelera todos los procesos, incluyendo los oxidativos y los del envejecimiento.

Los tratamientos de calentamiento que más se aplican son 160° C durante 120 minutos, 180° C durante 30 minutos (ambos tienen efecto bactericida), 60° C durante una hora, el cual tiene acción insecticida y 40° C durante 4 horas.

Los procedimientos basados en el incremento de temperatura bajo condiciones de sequedad no son recomendables con estos propósitos. También en este caso la eficacia del tratamiento depende de la humedad relativa del medio ambiente, del tipo de insecto y de la naturaleza del material.

En general, teniendo en cuenta la poca información al respecto, el control de insectos y microorganismos en objetos y colecciones de valor cultural por medio de altas temperaturas no es recomendable y su aplicación solamente se justifica en casos de emergencias, desastres, y infestaciones masivas (en estos últimos casos será mejor recurrir al frío que al calor).

Los objetos siempre deben ser introducidos en bolsas de plástico para evitar pérdida de humedad (Strang, 1996b). La alteración de algunos materiales es un riesgo importante; las resinas, barnices y adhesivos pueden reblandecerse, las reacciones del deterioro se aceleran a temperaturas elevadas; las pieles, maderas y textiles pueden sufrir cambios dimensionales irreversibles y el papel puede tornarse amarillo y quebradizo.

7.4.2.5 Métodos biológicos de tratamiento

El control biológico se presenta como una alternativa eficaz, esperanzadora y libre de riesgo frente a los numerosos y crecientes problemas derivados del uso de los productos químicos biocidas. Consiste en la aplicación de técnicas compatibles con la conservación del medio ambiente mediante el uso de los enemigos naturales de las plagas que, actuando de un modo natural, controlan el nivel poblacional de las mismas, sin ocasionar problemas de contaminación ni de residuos.

Importantes ejemplos de aplicación en la agricultura son el control de dos plagas de invernaderos: la araña amarilla y la mosca blanca. El motivo por el cual han tenido tanto éxito se debe a que los depredadores pueden ser liberados en un ambiente controlado y por tanto, no están sujetos a los caprichos del clima y de otros factores externos (Control de plagas y enfermedades: (<http://infojardin.com/articulos7plaga-enfermedad-curar-1.htm>)). Un caso interesante es la producción de insecticidas biológicos por las bacterias *Bacillus thuringiensis* y *Bacillus propillae*, los que cuentan con la ventaja de tener menos efectos nocivos que los tradicionales y que pueden ser utilizados en diferentes ramas.

B. thuringiensis es una bacteria que cuenta con varias linajes con aplicaciones específicas. Se emplea frecuentemente en la horticultura ecológica como un insecticida microbiano selectivo que combate numerosas plagas de lepidópteros, con la ventaja de no afectar significativamente a otros insectos, a diferencia de lo que ocurre con los plaguicidas de origen natural. Sin embargo, los productos disponibles comercialmente que contienen este bacilo no son efectivos contra todas las plagas. En los últimos años están siendo desarrollados nuevos preparados y, con el tiempo, se podrá disponer de otros productos comerciales más eficientes como ya ocurre con una linajes (subsp. *Tenebrionis*) que es eficaz contra especies de escarabajos.

El uso generalizado del *Bacillus thuringiensis* puede crear problemas en el futuro, producto del desarrollo de orugas resistentes. Otros posibles motivos de preocupación son los intentos, mediante la Ingeniería Genética, de aislar a partir de la bacteria, el gen productor de la toxina y incorporarlo directamente al tejido vegetal de ciertos cultivos.

El control biológico mediante la aplicación de antagonistas (biofungicidas) puede ser considerada una alternativa a otros métodos y, en todo caso, es una herramienta más a utilizar en el control integrado de plagas (Melgarejo et al, 2005). Sus ventajas estriban en que cuando han sido correctamente investigados y aplicados, estos métodos no ocasionan daños ni al hombre ni al ambiente, actúan contra una especie específica y son inocuos a otros organismos. La principal desventaja es su escasa eficacia al no erradicar completamente las plagas. En el contexto de los bienes culturales, aún son necesarios estudios más profundos que permitan demostrar la aplicabilidad de este procedimiento para tales propósitos.

La aplicación de feromonas constituye un método no tóxico de control que está siendo bastante investigado. Son sustancias volátiles secretadas en pequeñas cantidades por los mismos insectos; son muy específicas y intervienen en el apareamiento atrayendo al sexo contrario, desde largas distancias. También actúan induciendo el comportamiento de machos y hembras durante el apareamiento.

En general las feromonas son producidas por un solo sexo aunque, dependiendo de las especies, pueden ser fabricadas por ambos. Actualmente estas sustancias son sintetizadas químicamente y se utilizan como atrayentes sexuales de multitud de especies que constituyen plagas: orugas de lepidópteros, larvas de coleópteros y dípteros, lo que amplía las posibilidades de utilización. Suelen aplicarse en trampas para atrapar el mayor número de insectos, erradicándolos posteriormente, con un insecticida.

Otra alternativa consiste en saturar la atmósfera con feromona para que el insecto se acostumbre al estímulo y no desencadene la respuesta del apareamiento. El principal inconveniente que presentan es que su eficacia depende de las condiciones ambientales. Asimismo, hay que considerar que el comportamiento de muchos insectos no solo depende del estímulo olfativo: la luz, la humedad y las vibraciones son factores que actúan de forma determinante sobre las conductas de las especies.

Con relación a la competencia entre las especies, puede indicarse que los nemátodos han sido utilizados en la acción contra los insectos devoradores de la madera. La utilización de suspensiones bacterianas y virales para la desinfestación de habitaciones y edificios en lugar de insecticidas, parece tener muchas desventajas. Los hongos patógenos no parecen ser útiles en el control de insectos y hongos en objetos de valor cultural.

Aún resulta necesario la realización de más investigaciones sobre la eficacia y posibles efectos de las suspensiones microbianas sobre los materiales y sobre la posible acción profiláctica que los residuos de esos preparados biológicos puedan ejercer sobre los diferentes agentes biológicos. Solo la aplicación de las nuevas tecnologías de Biología Molecular permitirá un avance definitivo en este área.

7.4.2.6 Métodos tradicionales de tratamiento

Los métodos tradicionalmente utilizados para la desinfección son: la succión, la aplicación de repelentes, el sellado y otros. En general ellos tienen una efectividad pobre, pero son de uso preventivo (Vaillant y Valentín, 1996).

La succión es útil para eliminar micelios fúngicos, con el auxilio de una aspiradora de baja potencia. Su principal desventaja está relacionada con los riesgos que corren los materiales, los cuales pueden ser dañados por pérdida de algunos fragmentos durante el tratamiento. Es necesario proceder cuidadosamente para que las esporas no sean diseminadas. Para libros y documentos este procedimiento es muy recomendado (Catálogo, 1998).

El sellado o lacrado es un procedimiento más reciente. Los libros son aspirados y encapsulados con plásticos de barrera de baja permeabilidad. En este caso, el aire deberá ser extraído del interior del paquete. Para mejorar la conservación de los objetos; se depositaría en el interior de la cápsula un absorbente de oxígeno Ageless que evitaría procesos de oxidación y desarrollo de insectos. No se conoce mucho acerca de las reacciones que ocurren en los soportes, pero se sabe que puede ser aplicado con mejores resultados después de la desacidificación del papel, para protegerlo de la autodestrucción. Debe tenerse en cuenta el efecto que puede tener el envejecimiento del plástico. Ha sido aplicado con buenos resultados en cintas de películas.

En general podemos hablar de muchas alternativas para el control del biodeterioro en objetos y colecciones de valor cultural. Cuando se trata de solucionar este problema en edificios, muros y patrimonio inmueble, las alternativas son pocas, se han utilizado:

- Métodos químicos con sustancias biocidas: De estas sustancias existen diferentes tipos, en dependencia del organismo que se pretenda eliminar (fungicidas, bactericidas, liquenocidas, herbicidas, microbicidas, etc.). Se trata de un método bastante empleado, que presenta muchas desventajas, desde el punto de vista de los efectos sobre los materiales y sobre la salud de las personas y debido a su toxicidad. El tipo de biocida a utilizar dependerá de los organismos presentes, así como de los materiales sobre los cuales son aplicados. Cada caso requiere un tratamiento específico y una evaluación del coste, así como de los posibles riesgos.
- Métodos físicos: Son más agresivos que los anteriores. Se trata de métodos físicos directos como la radiación UV que afecta el material genético de los microorganismos y impide su desarrollo.
- Métodos mecánicos: Son menos sofisticados que los anteriores, pero no por ello menos efectivos. Consisten en la limpieza del monumento o inmueble, bien sea con espátula, cepillo o agua a presión.
- Métodos biológicos: Consisten en la inoculación de los microorganismos competidores con los moradores primitivos, la inoculación de antibióticos o enzimas que actúen sobre los gérmenes invasores y los destruya. En algunos casos se ha podido ver que los efectos buscados no son los deseados.
- Ventilación. Control climático y adecuación del entorno: Si es posible reducir la humedad, modificar la temperatura para no permitir el crecimiento de microorganismos o cambiar el grado de insolación de un monumento, estaremos modificando las condiciones ambientales requeridas para el desarrollo de agentes biológicos en un determinado ecosistema que se establece en el propio monumento.

La instalación de sistemas de ventilación mecánica en edificios históricos, donde se ubican colecciones de museos, bibliotecas o fondos de archivo, ha supuesto una alternativa eficaz y económica para estabilizar las condiciones ambientales y disminuir la contaminación microbiológica. Con ello, ha sido posible reducir el uso de biocidas tóxicos (Valentín et al, 2001). Este método, ofrece una alternativa valiosa al tradicional sistema de aire acondicionado, cuyo mantenimiento, coste y efecto en la salud de las personas está siendo seriamente cuestionado.

La ventilación reduce el contenido de agua de los materiales y en consecuencia detiene y/o decrece el desarrollo de hongos y bacterias. Además, se minimizan los depósitos de polvo sobre los objetos, el cual es un elemento higroscópico y que con frecuencia lleva adherido a sus partículas conidios de hongos y huevos de insectos. Por ello, en las salas y almacenes, es importante establecer el número adecuado de renovaciones de aire por hora, con vistas a minimizar tanto las oscilaciones bruscas de humedad relativa y temperatura como el desarrollo de hongos y bacterias.

Se ha demostrado que para detener la multiplicación de microorganismos en el aire y en los objetos contaminados, es suficiente mantener una ventilación continuada de 4 renovaciones de aire en una habitación de 25-50 m³. Es importante tener en cuenta, que una habitación sin ventilación y con humedad ambiental de 55% presenta una contaminación microbiológica del aire y de los materiales mayor que la que tendría la misma habitación a 80% con una renovación de aire adecuada.

El número de renovaciones de aire (RA) que debe establecerse en una habitación, se obtiene mediante la formula:

RA=Q/V	Donde:	Q representa el flujo de aire de la habitación
		V representa el volumen de dicha habitación

El grado de contaminación microbiológica del aire se expresa en CFU/m³ (unidades formadoras de colonias/ m³). Es un parámetro imprescindible para conocer la calidad del aire de una sala o depósito (Valentín et al, 2002).

El control del número de renovaciones de aire, grado de contaminación y contenido de agua de los materiales es un método óptimo de conservación preventiva de las colecciones históricas a largo plazo. Todas las soluciones son complejas y dependen de muchos factores.

7.4.3 Las Técnicas de la Biología Molecular como una nueva alternativa para el control del biodeterioro

Tradicionalmente, la Biología ha sido una ciencia descriptiva que ha catalogado la infinidad de seres vivos conocidos, enumerado sus rasgos característicos y examinado sus estructuras macro y microscópicas. Pero al exponer los caracteres o fenotipos de los organismos, el biólogo estudiaba solamente las consecuencias de los procesos biológicos, sin atender los mecanismos a través de los cuales ocurrían.

El desarrollo de las técnicas microscópicas amplió considerablemente el campo de observación permitiendo visualizar las células y sus orgánulos. El microscopio electrónico aumentó mucho más el nivel de resolución posibilitando resolver con gran precisión la estructura fina de la célula. Este logro permitió descubrir nuevas ultra estructuras y

fenómenos cuyos mecanismos causales permanecían desconocidos, evidenciando que, en último término, los mecanismos causales que regían muchos procesos biológicos dependían del funcionamiento de moléculas específicas dentro y fuera de la célula.

La capacidad recientemente adquirida para descubrir y manipular macromoléculas implica que la Biología se halla obligada a abordar tanto los procesos vitales, como el producto final de la evolución, hace aproximadamente cuatro mil millones de años (Weinberg, 1985).

Las nuevas técnicas han posibilitado modificar a voluntad elementos críticos de los moldes biológicos, creando así formas de vida que la evolución natural nunca había anticipado. A más largo plazo, esto ha significado el cambio más radical derivado del poder alcanzado de manipular moléculas biológicas.

Entre las muchas clases de moléculas biológicas que contiene la célula, tres han acaparado el mayor interés: las proteínas, el ácido ribonucleico (ARN) y el ácido desoxirribonucleico (ADN).

Hasta hace cincuenta años, la atención se centraba, principalmente, en las proteínas. Gracias a la aparición de refinadas técnicas bioquímicas se logró purificar moléculas de este tipo que se encuentran incluso en cantidades ínfimas en la célula viva.

En el último cuarto del siglo pasado el centro de atención se desplazó, gradualmente, hacia los ácidos nucleicos, primero hacia el ARN y posteriormente hacia el ADN, los que constituyen uno de los objetos de estudio principales de la Biología Molecular (Lantigua, 2004).

Los orígenes de la Biología Molecular pueden remontarse al siglo pasado pero, históricamente, se considera la descripción de la estructura de doble hélice del ADN (Watson y Crick, 1953; Fierro, 2001) como el comienzo de esta disciplina (Corvalán, 2002). A partir de ese momento se produjo una creciente acumulación de descubrimientos, especialmente en la década de 1960, que nos permiten hoy tener las herramientas necesarias para conocer el mecanismo de la herencia y de otros de procesos que tienen lugar en la célula.

La aparición de la técnica del ADN recombinante constituyó otra razón por la que los ácidos nucleicos, principalmente el ADN, pasaron a ocupar el objeto de estudio central. Esta macromolécula puede cortarse, modificarse, y volverse a ensamblar; puede multiplicarse, en miles de copias. Más aún, con ADN se fabrica ARN y luego, moléculas proteicas de las características y constitución deseada.

La técnica experimental básica para estas manipulaciones se denomina clonación de genes y, gracias a ella, ha cambiado la faz de la Biología. Los progresos posteriores dependieron de los procedimientos para aislar distintos genes celulares.

Los procesos para aislar genes, generados por dichos estudios, se basan en último término en la semejanza entre la organización molecular de todos los organismos, desde las bacterias hasta los mamíferos.

Los genes de importantes proteínas estructurales de la célula, incluidas las que determinan su arquitectura, ya han sido clonados. También han sido aislados otros genes que codifican mensajeros intercelulares como la insulina, el interferón y varios factores de crecimiento. La clonación y el descifrado de los genes son más rápidos que la completa interpretación de nuevos datos. Muchas secuencias van quedando almacenadas en bancos de datos, información que resulta de gran utilidad para los biólogos. El flujo de genes desde el genoma hasta el banco de genes brinda mayores posibilidades que la descripción detallada del ADN y la estructura proteica.

Mullis (1990) reunió algunas de las metodologías antes mencionadas para realizar la síntesis del ADN “*in vitro*” en forma exponencial. Este método es denominado reacción de polimerasa en cadena (en inglés Polymerase Chain Reaction: PCR). Dicha metodología es considerada como una revolución dentro de la Biología Molecular ya que con la amplificación exponencial es posible el análisis de moléculas de ADN o ARN a partir de mínimas cantidades de muestras. Los métodos de secuenciación permiten “leer y interpretar” el código genético de diferentes agentes biológicos, desde los microorganismos hasta el hombre. Esta nueva alternativa está posibilitando, por ejemplo, estudiar las interacciones microorganismo-huésped y, con la ayuda de herramientas informáticas, desarrollar nuevos agentes terapéuticos, vacunas (Kellam, 2001), así como su aplicación en otras disciplinas.

Como hemos apuntado, los microorganismos y los insectos son los mayores responsables del deterioro de los objetos depositados en museos y archivos expuestos a condiciones ambientales inapropiadas. También deben tenerse en cuenta otros grupos, tales como líquenes, algas, musgos, aves que afectan al patrimonio inmueble y los objetos de naturaleza inorgánica, como piedra, vidrio y metal. Todos estos agentes deberán ser estudiados desde dos puntos de vista fundamentales: su incidencia en el deterioro de los bienes culturales y en la salud de las personas relacionadas con el patrimonio cultural.

Desde hace varios años, la mayoría de las instituciones vienen identificando los agentes implicados en los problemas de biodeterioro, utilizando para ello los métodos taxonómicos clásicos, basados en el cultivo de los microorganismos en diferentes medios, laboriosos estudios morfológicos en el caso de los hongos y complementados por análisis bioquímicos para la identificación de las bacterias.

El desarrollo de las técnicas de la Biología Molecular ha supuesto un avance espectacular en el ámbito de la investigación aplicada a numerosas áreas, entre ellas, la Medicina, la Ecología microbiana y la Biotecnología. Específicamente, en el campo de la Conservación del Patrimonio histórico, la incidencia aún ha sido menor (González, 2003). No obstante, en Microbiología, algunos resultados obtenidos sobre la ecología bacteriana están siendo aplicados,

satisfactoriamente, a la investigación del biodeterioro, obteniéndose resultados interesantes en cuanto a las metodologías de diagnóstico de las poblaciones microbianas que contaminan diferentes soportes. Mediante las técnicas de Biología molecular es posible disponer de herramientas fundamentales para (González y Saiz-Jiménez, 2005):

- Identificar, a nivel de especie y subespecie, comunidades de organismos bióticos, resultando particularmente eficaz para microorganismos e insectos que se desarrollan en diferentes condiciones ambientales y soportes. Su principal ventaja viene dada por la especificidad que representa trabajar con secuencias de ácidos nucleicos.
- Identificar especies de microorganismos, insectos que nunca fueron aislados por los métodos de taxonómicos clásicos.
- Realizar diagnósticos de biodeterioro a partir de micro muestras de material contaminado-infestado.
- Introducir genes nuevos o también genes mutados en especies de organismos biológicos involucrados en el deterioro de los materiales históricos.
- Investigar mecanismos de interacción organismo - soporte y resistencia de agentes biológicos frente a biocidas.
- Utilizar especies genéticamente manipuladas para evaluar la eficacia de tratamientos de erradicación de organismos biológicos.
- Investigar la expresión génica y el análisis funcional a partir de una sola célula.

Dentro de otras áreas, tales como la industria de alimentos, medicina o plagas forestales, ya han sido descritas numerosas secuencias de genes de hongos, bacterias e insectos. Esta información, se almacena en bancos de datos, es extrapolable y sirve de patrón para detectar e identificar por comparación las mismas especies que también han sido aisladas de soportes históricos (Valentín, 2003c). Este conocimiento representa un nuevo enfoque que permitirá abordar los estudios de los mecanismos del biodeterioro y su control de forma altamente específica y eficaz.

Un caso interesante que está siendo ampliamente investigado es la producción de biocidas ecológicos, con los cuales pueden lograrse muy buenos efectos, al mismo tiempo que no causan problemas de contaminación del medio ambiente. Entre ellos podemos mencionar ciertos aceites minerales, piretrinas, la azadiractina, la rotenona, algunos preparados a base de plantas y esencias vegetales y los insecticidas biológicos. Estas sustancias ya están siendo aplicadas en la agricultura, pero aún no existen reportes sobre su empleo en el campo del control de plagas en bienes culturales.

En general, podemos hablar de muchas alternativas para el control del biodeterioro en objetos de valor cultural.

No siempre es posible encontrar el método idóneo, pues en esta problemática existen muchos factores imbricados, por lo que es fundamental hacer un análisis multifactorial de la situación a resolver y tener en cuenta que cada caso,

objeto, colección, y institución tiene características particulares y presenta sus propios problemas, por lo que requiere de un tratamiento específico.

Ninguna solución es ideal, todo depende de la situación concreta, de las posibilidades, del estudio previo que se haga, del financiamiento del que se disponga y, especialmente, de la estrategia que nos tracemos.

8

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ABARCA, Z. Análisis de tintas de documentos de los siglos XVI, XVII y XVIII. In: SEMINARIO INTERNACIONAL DE CONSERVACIÓN DE DOCUMENTOS, LIBROS Y MATERIALES GRÁFICOS, 1., [1983], Mexico. *Memoria...* Mexico, DF: Archivo General de la Nación, 1983. p. 65-74. (Serie Información de Archivos, 20).

AGAROSI, G. et al. Changes of microbial system in an etruscan tombaftes biocidal treatment. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON DETERIORATION AND CONSERVATION OF STONE, 6., 1988, Torun. *Proceeding...* Torun: N. Copernicus University, 1988. p.82-91.

AGRAWAL, O.; DHAWAN, S. *Control of biodeterioration in museums*. New Delhi: Shri O. P. Agrawal, 1985. (Technical Note 2).

_____; _____; GARG, K. *Microbial deterioration of painting: a review*. Lucknow: Intach Conservation Center, 1989.

AIC Definitions of Conservation Terminology, 1996. Disponible en: <<http://palimpsest.stanford.edu/aic>>.

ALFA Beta Sistemas: la importancia de implementar programas integrados de control de roedores. 2005. Disponible en: <<http://alfabeta.net>>.

ALTRUDI, N ; SILVETTI, S. *Factores medioambientales en el deterioro: control de plagas*. 2007. Disponible en: <http://www.bnm.me.gov.ar/novedades/boletin_electronicoBNM/boletin_48/img/control_plagas.dpf>.

ÁLVAREZ, R. *En busca de un aire más puro*. 2002. Disponible en: <<http://www.obrasweb.com>>.

AMERICA'S Museums: the Belmont report. Washington D.C.: American Association of Museums, 1969.

ANDERSON, S.; KNOX, J. *Orders and families of recent mammals of the world*. New York: John Wiley & Sons, 1984.

ANGEL, A. *Factores influyentes en la degradación de los materiales de archivos y bibliotecas*. 2008. Disponible en: <<http://www.ugr.es/aangel/BellasArtes/Tema15BA.ppt>>.

ARRUZZOLO, G.; VECA, E. Biological degradation of archival documents: prevention and study. In: EUROPEAN SYMPOSIUM, 1989, Bologna, Itali. *Science, technology, and european cultural heritage: proceedings of the publisher*. Westbury House: Butterworth-Heinemann Publishers, 1991. p.636-639.

ASLEY-SMITH, J. *The ethics of conservation in care of collections Simon Knell*. London: Routledge, 1994.

ASTORGA, A. *Centenares de insectos y microorganismos ponen en peligro el patrimonio de los 30.000 archivos y bibliotecas de España*. 2003. Disponible en: <<http://www.la3soluciones.com>>.

ÁVILA, E.; VELÁSQUEZ DE LEÓN, A. Proyecto para la protección del patrimonio cultural mueble en caso de desastres naturales en la Coordinación Nacional de Conservación de la INAH. *El Correo del Restaurador*, n. 8, p.24-28, 2002.

BAGÉS, C. *El ambiente y el deterioro de los bienes culturales*. 2003. Disponible en: <<http://museosdevenezuela.org/Documentos/Revista/Conserv9.html>>.

BALLARD, M.; BAER, N. Ethylene oxide fumigation: results and risk assessment. *Restaurator*, n.7, p.143-168, 1986.

BANKS, P. Los enemigos de los acervos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE DOCUMENTOS, LIVROS Y MATERIALES GRÁFICOS, 1., [1983], Mexico. *Memoria...* Mexico, DF: Archivo General de la Nación, 1983. p. 9-26. (Série Información de Archivos, 20).

BARBOZA, F. La lucha contra el tráfico ilícito de bienes culturales: recursos en internet. *APOYO*, n.1, v.11, p.7-10, 2001.

BARREDA, P. *El proceso de una infección*. 2005. Disponible en: <<http://www.pediatraldia.cl/>>.

BAYER environmental science: rata de los tejados. 2005. Disponible en: <<http://www.infoplagas.com/Ratas.htm>>.

BECK, I. *Manual de conservación y restauración de documentos*. México, D.C. : Archivo General de la Nación, 1992.

BERNADES, J. La Conservación preventiva ¿Qué, cómo y por qué? In: COLOQUIO INTERNACIONAL SOBRE CONSERVACIÓN PREVENTIVA DE BIENES CULTURALES, 1., 1997. *Acta...* Vigo : [s.n.], 1997. p.49-79.

BOLIVAR, F. Los agentes de biodeterioro del patrimonio pictórico, textil y gráfico. *Boletín Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, año 3, n.12, p. 50-53, sept. 1995.

BOND, E.; DUMAS, T.; HOBBS, S. Corrosion of metals by fumigant phosphine. *Journal of Stored Products Research*, v. 2, n.20, p.57-63, 1984.

BROKERHOF, A. *Control of fungi and insects in objects and collection of cultural value "a state of the art"*. Amsterdam: Central Research Laboratory for Objects of Art and Science Gabriel Metsustract, 1989.

BUTTERFIELD, F. The potential long-term effects of gamma irradiation on paper. *Studies in Conservation*, v.32. n.4, p.181-191, 1987.

CANEVA, G.; NUGARI, M.; SALVADORI, O. *La biología nel restauro*. Firenze: Nardini, 1994.

_____; SALVADORI, O. Pesticidi nel controllo del biodeterioramento dei monumenti: problemi tecnici e sanitari. *Ecofiuggi*, v.87, p.81-91, 1987.

CARDONA, J. *Contaminación ambiental y enfermedades respiratorias*. 2008. Disponible en: <<http://encolombia.com/medicina/neumologia/neumologia15403contenido.htm>>.

CATÁLOGO de conservación de papel del American Institute for Conservation. Caracas: Biblioteca Nacional de Venezuela, 1998. (Conservaplan. Documentos para conservar; n° 14, fascículos 2 : Hongos).

CENTRO de Sanidad Ambiental. Disponible en: <<http://www.envtox.ucdavis.edu/CEHS/HTML>>.

CLAPP, A. *Curatorial care of works of art on Paper*. 2nd. rev. Oberlin, Ohio : Intermuseum Laboratory, 1974.

CLEMENTS, D. W. G. *Preservation and conservation of library documents: a UNESCO/IFLA/ICA enquiry into the current state of the world patrimony*. Paris: General Information Program and UNISIST, 1987. (PGI 87/WS/15).

COLIN, P. La conservación de colecciones en países tropicales. *Conservación: el boletín del CGI*, v.12, n.2, p.17-18, 1997.

CONTROL de plagas y enfermedades. Disponible en: <<http://www.infojardin.com/articulos/plagaenfermedad-curar-1.htm>>.

CONTROL of micoorganisms: chemical agents. 2008. Chapter 8. Disponible en: <<http://vacadsci.org/jrs/lisp01/micro8.pdf>>.

CORNWELL, P. *Pest control in building: a guide to the meaning of terms*. East Grimstead, Sussex: Rentokil, 1979.

CORVALÁN, A. Biología molecular en infectología. Parte 1: Desarrollo y metodologías. *Revista chilena de Infectología*, v.19, n.1, p.14-24, 2002.

COSTAIN, C. Plan para la preservación de colecciones. *APOYO*, n.1, v.8, p.3-4, 1998.

COTO, H. Actualización técnica sobre control de plagas urbanas. In: SEMINARIO CHEMOTÉCNICA, 2002. Disponible en: <<http://www.gestaltonline.com.ar/punto%20com/links/chemotecnica.swf>>.

_____. *Importancia de implementar programas integrales de control de roedores*. 2004. Disponible en: <<http://alfabeta.net/notas/temas-6/nota-280-6.xtp>>.

CRESPO, C. *La conservación documental en su aspecto preventivo: características de um depósito de archivos actual*. Madrid: Centro Nacional de Restauración de Libros y Documentos: Gaez, 1971.

CUNHA, G. *Methods & evaluation to determine the preservation needs in libraries and archives: a RAMP study with guidelines*. Paris: UNESCO, 1988.

DALE, P. Our environment ruined? Environmental control reconsidered as a strategy for conservation. *Journal of Conservation & Museum Studies*, n.1, p.1, may 1999.

DAVIS, M. Preservation using pesticides: some words of caution. *Wilson Library Bulletin*, feb., 1985.

DE LA TORRE, M. Estrategias de conservación preventiva: el papel del conservador-restaurador. In: COLOQUIO INTERNACIONAL SOBRE CONSERVACION PREVENTIVA DE BIENES CULTURALES, 1., 1997, Vigo. *Acta...Vigo* : [s.n.], 1997. p.13-18.

DEKKER, R.F.H. Biodegradation of hemicellulose. In: HIGUCHI, Takayoshi. *Biosynthesis and biodegradation of wood components*. London: Academic Press, 1985. p.505-533.

DHAWAN, S. Biodeterioration of materials and exhibitions. *Journal of Indian Museums*, v. 60, p.195-198, 1984.

_____. *Microbial deterioration of paper material: a literature review*. Lucknow, India: Departament of Culture, National Research Laboratory of Conservation of Cultural Property, 1986.

_____; AGRAWAL, P. Fungal flora of miniature paper painting and lithographs. *Journal of Biodetroration*, v.22, n.2, p.95-99, 1986.

DRUZYK, J. Una iniciativa de investigación para la conservación en bibliotecas. *Conservación: el boletín del GCI*, v.7, n.2, p.14-15, 1993.

ECOPEST SL. *Control de plagas y medio ambiente*. Disponible en: <http://www.desinfeccionesecopest.com/concepto_plagas.html>.

ERHARDT, D. et al. Determinación de las fluctuaciones permisibles de la humedad relativa. *APOYO*, v.6, n.1, p.6-8, jul. 1995.

ERIKSSON, K. E.; PETTERSSON, L.G. Extracellular enzyme system utilized by fungus *Sporotrichum pulverulentum* for the breakdown of cellulose. III. Purification and physicochemical characterization of an exo-1-4-b-glucanase. *European Journal of Biochemistry*, v.51, p.213-220, 1975.

EVANS, C. Laccase activity in lignin degradation by *Coriolus versicolor* in vivo and in vitro studies. *FEMS Microbiology Letters*, n.27, p.339-343, 1985.

EVANS, E. T. Biodeterioration of cellulose. *Biodeterioration abstracts*, v.3, n.3, p.275-285, 1996.

FATÁS, G.; BORRÁS, G. *Diccionario de términos de arte*. Madrid: Alianza, 2000.

FIERRO, A. Breve historia del descubrimiento de la estructura del ADN. *Revista Médica Clínica las Condes*, n.20, p.71-75, 2001.

FERNÁNDEZ, C.; NOVO, R. *La Vida microbiana en el suelo*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1988.

FLIEDER, F.; CAPDEROU, C. *Sauvagarde des collections du patrimones: la lutte contre les détériorations biologiques*. Paris: CNRS, 1999. p.2-56.

FLORIAN, M. *Freezing for museum insect pest eradication*. Washington, D. C.: Society for the Preservation of Natural History Collections, 1990. (Collection forum, v.6).

_____. El papel de los conidios de hongos en el moteado. *Cuadernos sobre Conservación*, v.41, n.2, p.1-8, 1996.

FRAGAS, M. Contaminación por microorganismos (hongos) en el acervo de la Biblioteca de Manguinhos/ FIOCRUZ. Comunicación. In: CONGRESSO DA ABRACOR, 9., 2008, Salvador. *Anais...* Salvador: ABRACOR, 2008. p.13-17.

FROBISHER, M. *Microbiología*. 4.ed. Barcelona: Salvat, 1969. p.4-340.

FUMIGANTS & PHEROMONES: a newsletter for the insect control & pest management industry, n.68, p.7-40, 2003.

GALLO, F. Aerobiological research and problems in libraries. *Aerobiologica*, v.9, n.2-3, p.117-130, 1993.

_____. *Biodeterioramento di libri e documenti*. Roma:Centro di Studi per la Conservazione della Carta, 1992. p.1-128.

_____ et al. Recherches sur quelques facteurs clés dans la deterioration biologique des livres et des documents. In: JOURNÉES INTERNATIONALES D' ETUDES DE L' ARSAG. ENVIROMENT ET CONSERVATION DE L' ECRIT, DE L' IMAGE ET SU SON, 2., 1994, París. *Actas...* Paris: [s.n.], 1994. p.63-71.

GARCÍA, I. *La conservación preventiva y la exposición de objetos y obras de arte*. Murcia: KR, 1999. p.1-411.

_____. La conservación preventiva y las normas ambientales: nuevas consideraciones. *APOYO*, v.6, n.1, 1995.

GÓMEZ, M.L. *La restauración: examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*. Madrid: Ediciones Cátedras, 1998. p.2-57.

GONZÁLEZ, J. M. Overview on existing molecular techniques with potential interest in cultural heritage. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON MOLECULAR BIOLOGY AND CULTURAL HERITAGE, 2003. *Molecular Biology and Cultural Heritage: Proceeding...* Seville: Balkema, 2003.

_____; SAIZ-JIMÉNEZ, C. Application of nucleic acid-based techniques for the study of microbial communities in monuments and artworks. *International Microbiology*, n.8, p.189- 194, 2005.

HALE, M. E. *The biology of lichens*. 3.ed. Londres: Edward Arnold, 1983. p.1-354.

HATAKKA, A. Degradation of lignin by white-rot fungi with potential for biological delignification: bioconversion of plant raw material by microorganisms. In: FINNISH-SOVIET SYMPOSIUM, 1983. *Proceeding...* Helsinki: [s.n.], 1983. p. 44-58.

HAVERMANS, J. *Environmental influences on the deterioration of paper*. Rotterdam: J.B.G.A. Havermans/Barjesteh, Meuwes, 1995. p.1-210.

HERNÁNDEZ, A. *NTP 409: contaminantes biológicos: criterios de valoración*, 2008. Disponible en: <<http://www.jmcprl.net/foro/viewforos.php>>.

HERRÁEZ, J. *La conservación preventiva y el control de las condiciones ambientales*. Madrid: Instituto de Patrimonio Histórico Español: Ministerio de Educación, Ciencia y Cultura, 1997. p.1-45.

HIGUCHI, T. Biodegradation of lignin: biochemistry and potential applications. *Experientia*, v.38, n.2, p.159-166, 1982.

HUECK, H. J. The biodeterioration of materials as part of hylobiology. *Material und Organismen*, n.1, p.5-34, 1965.

HUYNH, V.; CRAWFFORD, R. Novel extracellular enzymes (lignases) of *Phaenerochaete chrysosporium*. *FEMS Microbiology Letters*, n.28, p.119-123, 1985.

IMEISON, Purificadores de aire, 2008. Disponible en: <<http://www.pavomentosonline.com/Imeison/index.htm>>.

ISHISAKI, T. Evaluation of physical effects of thermal methods on materials artifacts. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE CONSERVATION AND RESTORATION OF CULTURAL PROPERTY, 27-29 october 1999, Tokyo. *Integrated pest management in Asia for meeting the Montreal protocol*. Tokyo : National Research Institute of Cultural Properties, 2001. p.99-109.

JACKSON, S. La lucha contra los robos de arte. *Conservación: el boletín del GCI*, v.13, n.1, p.10-13, 1998.

JANSKEKAR, H.; HALTMEIER, H.; BROWN, C. Fungal degradation of pine and straw alkali lignins. *European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*, v.14, p.174-181, 1982.

JAWETZ, E.; MELNICK, J.; ADELBERG, E. *Microbiología médica*. 10.ed. México, DF: El Manuel Moderno, 1983.

JOKLIK, W.; WILLETT, H.; AMOS, D. Z. *Microbiología*. La Habana: Edición Revolucionaria, 1983.

KELLAM, P. Post-genomic virology: the impact of bioinformatics, micro rays and proteomics on investigating host and pathogen interactions. *Reviews in Medical Virology*, v. 11, p.313-329, 2001.

KETZER, R. Insect control in Public Records Office of Hong Kong. *International Preservation News*, France, n.20, p.40-43, sept. 2003.

KELLEY, P. Pest treatment of museum collections. *Fumigantes & Pheromones*: a newsletter for the insect control & pest management industry, n.68, p.7, 2003.

KIRK, K. T. Degradation and conversion of lignocellulose. In: SMITH J. E.; BERRY D. R, Kristiansen (Ed.). *The filamentous fungi*. London: E. Arnold, 1983, v. 4. – Fungal technology. p.226-295.

_____; HIGUCHI, T.; CHANG, H. *Lignin biodegradation: microbiology chemistry and potential applications*. Flórida: C.R.C., 1984, v.2, Chapter 16. p.235-243.

KOESTLER, R. et. al. Ongoing studies of the susceptibility of biodeterioration of stone consolidants to microbiologically induced corrosion. In: HOUGHTON, D.R.; SMITH, R.N.; EGGINS, H.O.W. (Ed.). *Biodeterioration 7*. London: Elsevier, 1988. p. 441-448.

KOWALICK, R; SADURSKA, I. The disinfection of infected stores or rooms in archive, libraries and museums. *Bolletino Istituto per la Patologia del Libro*. Roma, anno 24, fasc. I-IV, p.121-128, 1965.

KRAEMER, G. *Tratado de la previsión del papel y de la conservación de bibliotecas y archivos*. Madrid: Servicio de Publicaciones del Ministerio de Educación y Cultura, 1973. p.1-455.

LAL, R.; MISHRA, M. Cellulolytic Activity of some soil fungi. *Folia Microbiológica*, v.23, p.68-71, 1978.

LANTIGUA, A. *Introducción a la genética médica*. La Habana: Ciencias Médicas, 2004. p.1-227.

LAZZARINI, L.; LAURENZI TABASSO, M. *II restauro della pietra*. Pádua: CEDAM, 1986.

LEDESMA, M. *Actuación de biocidas clorados sobre rocas calizas y sus derivados*. 2005. Disponible en: <<http://CNRPC/publicaciones/elcorreodelrestaurador/materialesarqueologicos.articul 002/>>.

LEVIN, J. Programa de investigación del medio ambiente llevado a cabo por el GCI. *Conservación: el boletín del GCI*, v.8, n.1, p.5, 1993.

MAEKAWA, S.; BELTRAN, V. Collections care, human comfort and climate control: a case study at the Casa de Rui Barbosa Museum. *The Getty Conservation Institute Newsletter*, v. 22, n. 1, p.17-20, 2007.

_____; ELERT, K. *The use of oxygen-free environments in the control museum insect pest*. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2003. p.1-224.

EL MANUAL de preservación de bibliotecas y archivos del Northeast Document Conservation Center. Caracas: Biblioteca Nacional de Venezuela, 1998. (*Conservaplan. Documentos para Conservar*, n.7, fasc. 1: Propiedades de preservación)

MARCANO, J. *La contaminación atmosférica*. 2008. Disponible en: <<http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf.html>>.

MEGAZANI, C.; PUTT, N. *European Preventive Conservation Strategy Project*. 2002. Disponible en: <<http://www.pc-strat.com/final/spain.html>>.

MELGAREJO, P. et al. *Aplicaciones del control biológico al control de enfermedades vegetales*. 2005. Disponible en: <<http://www.agroinformacion.com>>.

MERRIT, J. *Moho y enmohecimiento: prevención del crecimiento de microorganismos en objetos de museos*. 2002. Disponible en: <<http://www.apictus.com/arch/techinfo/preserva/primer/span1234.html>>.

MICHALSKI, S. Directrices de humedad relativa y temperatura: ¿que está pasando? *APOYO*, v.6, n. 5, p.4-5, jul. 1995.

MONTANARI, M. Gli agenti biologici di deterioramento. *Bolletino Istituto Centrale per la Patologia del Libro*, anno 36. v.38, p.163-213, 1982.

MORETTI, L. ; ROBLEDO, M. Estudio sobre hongos que atacan documentos en el Archivo General de la Nación. In: SEMINARIO INTERNACIONAL DE DOCUMENTOS, LIBROS Y MATERIALES GRÁFICOS, 1., [1983], México. *Memoria...* Mexico, DF: Archivo General de la Nación, 1983. p.75-77.

MOTA-SÁNCHEZ, D. R. *Manual Básico de entrenamiento para aplicadores de pesticidas*. 2005. Disponible en: <<http://www.pested.msu.edu/Resources/bulletins/pdf/25955p/E-21953pus>>.

MULLIS, K. B. The unusual origin of the polymerase chain reaction. *American Science*, n.262, p.56-65, 1990.

NAGIN, D. ; MC CANN, M. *Thymol and o-phenyl phenol: safe work practices*. New York : Center for Occupational Hazards, 1982.

NELSON, S. Insect-control studies with microwaves and other radio frequency energy. *Bulletin of the Entomological Society of America*, n.19, p.157-163, 1973.

NISIZAWA, K. Mode of action of cellulases. *Journal Fermentation Technology*, v.51, n.4, p.267, 1973.

NOVOTNY, D. Conservación preventiva en bibliotecas y archivos. In: CURSO de Especialización en Conservación Preventiva del Patrimonio Bibliográfico y Documental. Rosário: Fundación Patrimonio Histórico en Rosario, 2000. Este texto es parte de la Conferencia de la Conservadora dada en el curso.

NUGARI, M. et.al. Fungicides for use on textiles employed during the restoration of works of art. *International Biodeterioration Bulletin*, v. 23, p.295-306, 1987.

NYUKSHA, J. P. Biodeterioration and biostability of library materials. *Restaurator*, n.4, p.71-77, 1990.

_____. The biological principles in the conservation of bibliographical heritage. *Mycologiya i Pytopathologiya*, n.8, p.44-5, 1974.

_____. Some special cases of biological degradation of books. *Restaurator*, n.5, p.177-182, 1983.

ODIER, E.; MONTIES, B. Poplar lignin decomposition by gram-negative aerobic bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, v.41, n.2, p.337-341, 1981.

OGDEN, Sherilyn. *El Manual de Preservación de Bibliotecas y Archivos del Northeast Document Conservation Center*. 3.ed. rev. e ampl. Santiago de Chile: DIBAM, 2006. Disponible en: <<http://www.nedcc.org/splan//sptitle.htm>>.

OKAZAKI, M.; MOO-YOUNG, M. Kinetics of enzymatic hydrolysis of cellulose: analytical description of a mechanistic model. *Biotechnology and Bioengineering*, v.20, p.637-633, 1978.

OLCOTT, L. Como controlar una invasión de moho. Pautas para una intervención en caso de desastre. *APOYO*, v.9, n.1, p.3-6. 1999.

ORTEGA-CALVO, J.; HERNÁNDEZ-MARINE, H.; SAÍZ-JIMÉNEZ, C. Biodeterioration of buildings materials by cyanobacteria and algae. *International Biodeterioration*, v.28, p.165-186, 1991.

PARKER, T.A. *Estudio de un programa de lucha integrada contra las plagas en los archivos y bibliotecas*. Paris: UNESCO, 1989. Programa General de Información y UNISIST. (PGI/88 /WS/20).

PASQUARIELLO, G. La aerobiologia nel controllo ambientale: indagine delle aeromicroflora in un ambiente museale. In: CONSERVAZIONE delle opere d'arte su carta e pergamena, 14-16 aprile 1988, Torgiano. *Atti del Convegno*. Perugia: Voluminia, 1990. p.130-135.

PETHERBRIDGE, G. *Conservation of library and archive materials and graphic arts*. London: Butterworths, 1987. pt.1., p.1-299.

PIATKIN, K.; KRIVOSHEIM, Yu. *Microbiología*. 2.ed. Moscú : MIR, 1968. p.1-379.

PINNIGER, D. Attractant pheromones of museum insect pests. *AICCM Bulletin*, v.28, p. 4-10, 2004.

_____. *Insect pests in museums*. London : Archetype, 1990. p.1-46.

_____. *Pest management in museums: archives and historic houses*. London: Archetype, 2001. p.72-78.

POLEO, C.; PÉREZ, H. *Prevención del daño de la rata arrocera holochilus venezuelae*. 2005. Disponible en: <<http://www.ceniap.ve/publica/fdivul/html>>.

PRIBALOV, F. *Conservación de documentos*. La Habana: Archivo Nacional, 1982. p.1-41.

PUMAROLA, A. et.al. *Microbiología y parasitología médica*. Barcelona: Salvat, 1984. p.1-540.

RACIMAN, J.; GONZÁLEZ, A. *Hipertextos del área biológica*, 2005. Disponible en: <<http://www.biologia.edu.ar>>.

RESIDORI, L.; VECA, E.; MATE, D. Prevenzione. In: ISTITUTO PER I BENI ARTISTICI, CULTURALI E NATURALI. *Scripta volant: biodeterioramento dei beni culturali: libri, documenti, opere grafiche*. Bologna: Edizioni Analisi, 1986. p. 77-79. (Emilia-Romagna. Biblioteche Archivi, n.1).

RITACCO, M. Radioinfestación de bienes culturales y religiosos. *Revista Digital Nueva Museología*. 2005. Disponible en: <<http://www.nuevamuseologia.com.ar>>.

ROSE, C. Conservación preventiva. *APOYO*, v.3, n. 2, p.3-4, 1992.

SÁNCHEZ, A. *Variables de deterioro ambiental humedad relativa y calor: el problema de la degradación medioambiental del papel*. 2008. Disponible en: <<http://palimpsest.stanford.edu/byauth/hernandez/ambien.htm>>.

SÁNCHEZ, J. L. *Microbiología*. 2005. Disponible en: <<http://web.educastur.princast.es>>.

SCHLEGEL, J. *Microbiología general*. Barcelona: Omega, 1997. p.1-447.

SCHULZ, W. Work of Smithsonian scientists revises guidelines for climate control in museums and archives. *Abbey Newsletter*, v.18, n. 4-5, p.1-3, aug.-set. 1994.

SEDANO, P. Desde los materiales tradicionales a los nuevos materiales y métodos de restauración de obras de arte. *ARBOR*, p.557-590, jul.-ago, 2001.

SOMEILLAN, M.; GÓMEZ, A.; GONZÁLEZ, G. *Aspectos teóricos y conceptuales útiles para el diseño e implementación de una política de conservación preventiva*. ACIMED, 2006. Disponible en:<http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol14_6_06/aci07606.htm>.

STAIB, F. Deteriorating material as a possible source of fungi pathogenic to man: aspergillus fumigatus as an example. In: INTERNATIONAL *BIODETERIORATION* SYMPOSIUM, 4., Berlin, 1980. *Proceeding...* Edited by OXLEY, T. A.; ALLSOPP, D., BECKER, G. London: The Biodeterioration Society, 1980. p.341-343.

STAINER, R.; DOUDOROFF, M.; ADELBERG, E. *Microbiología*. 2.ed. Madrid: Aguilar, 1977

STARLING, K. The freeze-drying of leathers pretreated with glycerol. In: ICOM COMMITTEE FOR CONSERVATION, 7., Copenhagen, Denmark, 1984.[*Proceedings...*] Paris: International Council of Museums, 1984. p. 16-18.

STRANG, T. Controlling museum fungal problems. *CCI Thecnichal Bulletin*, n.12, p.1-7, 1991.

_____. The effect of thermal methods on pest control museum collections. In: ARANYANAK, C.; SINGHASIRI, C. (Ed.). *Biodeterioration of Cultural Property*. Bankok: Thailand, 1996. p.334-353.

_____. Reducción del riesgo producido por plagas en las colecciones de patrimonio cultural. *APOYO*, v.5, n. 2, p.3-4, 1994.

_____. A review of published temperatures for the control of pest insect in museums. *Collection Forum*, v. 8, n. 2, p.41-67, 1992.

_____. *Summary of effects of pesticides on objects*. [Ontario] : Canadian Conservation Institute, 1996. p.1-7.

STRZELCZYK, A.; ROZANSKI, J. The effects of disinfection with quaternary ammonium salt solution on paper. *Restaurator*, n.7, p.3-13, 1986.

TAGLE, A. La ciencia en el GCI. *Conservación: el boletín del GCI*, v.14, n. 1, p.4-8, 1999.

TALAVERA, I.; MOLINA, R. Algunas consideraciones sobre la permanencia y durabilidad de los papeles. *Técnica Gráfica*, n.2, p.21-23, 1988.

THOMSON, G. *El museo y su entorno*. Madrid: Akal, 1998. p.1-221. Tradução de: The Museum Environment.

TOBY, R. An insect pest control procedure: the freezing process. *Conserve O Gram*, n. 3/6, p.1-4, jul. 1994.

TORRAMILANS, J. *Guía para una adecuada conservación en museos, archivos y bibliotecas: control de la polución ambiental*. Barcelona: Warwick Benbassart, 1998. p.3-45.

VAILLANT, M. La microbiología: una importante herramienta para el trabajo de los archivos. *Boletín del Archivo Nacional [dw Cuba]*, n. 6, p.105-118, 1992.

_____. *Microbiología aplicada a la restauración de bienes muebles*. Bogotá: Universidad del Externato, 1999.

_____. A work aimed to protect the health of the documental heritage conservators. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSERVATION AND RESTORATION OF ARCHIVE AND LIBRARY MATERIALS, Erice, Italy, 1996. *Preprints of proceedings*. Erice : [s.n.], 1996. p.137-142,

_____; CHÍ, L.; SÁNCHEZ, A. Sobre la contaminación microbiológica existente en los depósitos del Archivo Nacional. *Documentos*, n. 2, p.44-65, 1989.

_____; DOMÉNECH, T.; VALENTÍN, N. *Una mirada hacia la conservación preventiva del patrimonio cultural*. Valencia: Universidad Politécnica, 2003.

_____; ECHEVARRÍA, M. Enemigos de los archivos. *Revista ALA*, n.15, p.27-29, 1994.

_____; VALENTÍN, N. *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro*. Madrid: Instituto del Patrimonio Histórico Español, 1996.

_____; _____; GUERRERO, H. Programa de control integrado de plagas en bienes culturales de países de climas mediterráneo y tropical. *APOYO*, v.7, n.1, p.13-15, 1997.

VALENTÍN, N. *Air ventilation for arresting microbial growth in archives*. In: JOURNÉES INTERNATIONALES D'ÉTUDES DE L'ARSAG, 4., Paris, 2002. *Actes...* Paris: ARSAG, 2002. p.139-150.

_____. Biodeterioro y su erradicación. *Retablos: bienes culturales*, n.2, p.175-186, 2003.

_____. Comparative analysis of insect control by nitrogen, argon and carbon dioxide in museum, archive and herbarium collections. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v.32, p.263-271, 1993.

_____. Contaminación microbiológica en museos, archivos y bibliotecas. *Revista Archivos, Bibliotecas y Museos*, v.77, n.2, p.717-726, 1974.

_____. Diseño y propuestas para el control y erradicación del biodeterioro. Microorganismos e insectos. In: JORNADAS MONOGRÁFICAS PREVENCIÓN DEL BIODETERIORO EN ARCHIVOS Y BIBLIOTECAS. Madrid: Ministerio de Cultura, 2004. p.84-89.

_____. Insect infestation in museums collections: organics materials. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON MOLECULAR BIOLOGY AND CULTURAL HERITAGE, Seville, Spain, 2003. *Proceeding...* Edited by Saiz-Jimenez. Seville: Balkema, 2003.

_____. Microbial contamination in museum collection of organic materials molecular biology and cultural heritage. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON MOLECULAR BIOLOGY AND CULTURAL HERITAGE, Seville, Spain, 2003. *Proceeding...* Seville: Balkema, 2003. p. 225-230.

_____. Tratamientos no tóxicos de desinsectación con gases inertes. *APOYO*, v.5, n.2, p.5-6, 1994.

_____. et.al. Microbial control in museums, archives and libraries by air ventilation systems. *Restaurator*, n.19, p.85-107, 1997.

_____. et.al. Tratamientos con ventilación controlada para detener el crecimiento microbiano em materiales de archivo. *Archivamos*, n.39-40, p.40-44, 2001.

_____.; LIDSTROM, M.; PREUSSER, F. Microbial control by low oxygen and low relative humidity enviroment. *Studies in Conservation*, n.35, p.222-230, 1990.

VV.AA. *Biología de los roedores*. 2005. Disponible en: <<http://www.acpddd.com>>.

_____. *Control of Microorganisms: chemical agents*. 2008. Disponible en: <<http://vacadsci.org/jrs/lisp01micro8.pdf>>.

VILLALBA, L. et al. Actividades hidrolíticas y caracterización isoenzimática de poblaciones microbianas aisladas del patrimonio documental del Archivo General de Colombia. *Nova Publicación Científica*, v.2, n.2, p.50-58, 2004.

VILLEE, C. *Biología*. 6.ed. México, DF: Nueva Editorial Interamericana, 1974.

WATSON, J.; CRICK, F. A structure for desoxiribose nucleic acid. *Nature*, n.171, p.737-748, 1953.

WEINBERG, R. Moléculas de la vida. *Investigación y Ciencia*, v.111, sept., p.12-22, 1985.

WOOD, M. *Prevención y tratamiento del moho en colecciones de bibliotecas, con particular referencia a los que padecen climas tropicales: un estudio del RAMP*. Paris: UNESCO, 1988. Programa General de Información y UNISIST. (PGI-88/WS/9).

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-60069-54-5



9 788560 069545



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**

Fundação  Casa de Rui Barbosa

Ministério
da Cultura

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA