

Agentes de deterioro medioambientales: planificar la conservación de las obras de arte

María del Carmen Bellido Márquez

*Universidad de Granada, España
cbellido@ugr.es*

Resumen

La conservación preventiva de las obras de arte estudia las medidas más idóneas para conservar óptimamente los materiales patrimoniales. El objetivo de este trabajo ha sido ofrecer los parámetros medioambientales recomendados por los especialistas más reconocidos en la materia, dada la variedad publicada. Los resultados y conclusiones se han obtenido mediante un estudio teórico-documental comparativo que ha permitido formular parámetros generales, que aunque requieren ser adaptados a las condiciones particulares de cada caso, suponen una guía práctica para el estudio y la adquisición de competencias formativas universitarias y profesionales.

Palabras clave: Arte; agentes de deterioro; parámetros medioambientales; conservación preventiva; conservación patrimonial.

Agents of Environmental Deterioration: Plannig of Conservation of Works of Art

Abstract

Preventive conservation of artworks studying the best measures to preserve heritage materials optimally. The objective of this work has been to provide environmental parameters recommended by the most recognized specialists in the subject, given the variety published. The results

and conclusions were obtained through a comparative documentary-theoretical study has allowed to formulate general parameters, although the need to be adapted to the particular circumstances of each case they are a practical guide for the study and acquisition of educational and professional skills.

Keywords: Art; deterioration agents; environmental parameters; preventive conservation; heritage conservation.

INTRODUCCIÓN

La conservación preventiva de las obras de arte es una disciplina que surgió a partir de la Conferencia Internacional del Consejo Internacional de Museos (ICOM), desarrollada en París en 1945. Continuó en 1950 con la fundación en Londres del *International Institute for the Conservation of Historic and Artistic Works* (IIC). La publicación del libro *The Conservation of Antiquities and Works of Art* (Plenderleith, 1956) también constituyó un pilar fundamental de este punto de inicio. Posteriormente, en 1963 surgió el Comité del ICOM para la Conservación (ICOM-CC), y desde entonces esta labor se ha convertido en materia de vital importancia para conservadores y restauradores de elementos patrimoniales: “El reconocimiento de la importancia de la conservación preventiva está creciendo en prácticamente todas las regiones del mundo. [...] la conservación preventiva ha avanzado en la investigación y en la aplicación. Los últimos años han sido un período de progreso” (Dardes & Druzik, 2007:1).

Este hecho se debe al trabajo conjunto realizado por diversos organismos, entre los que destaca el *International Center for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property* (ICCROM), con su programa para la Conservación Preventiva, dirigido a los museos europeos, y *The Getty Conservation Institute*, que también realiza y promueve esta actividad; además, en América del Norte sobresalen el *Canadian Conservation Institute* (CCI), el *Smithsonian Center for the Materials, Research & Education* (SCMRE), el *National Center for Preservation Technology and Training* (NCPTT) o el *Rochester Institute of Technology* (RIT). Todos ellos exponen que el logro está en la colaboración interdisciplinaria llevada a cabo sobre la conservación preventiva, basada en la investigación, la aplicación y la formación (Dardes & Druzik, 2007:1).

Por otro lado, interesa destacar que el problema fundamental de la conservación preventiva, hasta hace poco tiempo menos valorado, radica en que, aunque en ocasiones se diseñan y construyen nuevos edificios bien preparados y dotados de los últimos medios para mantener las obras que albergan en las condiciones medioambientales adecuadas, en muchos casos los espacios para conservarlas y exponerlas son inmuebles históricos que no mantienen las mejores ambientes climáticos, microbianos y de pureza del aire para ellas (Thomson, 1986), por lo que se deben realizar estudios específicos para mejorar la preservación de las mismas, actualizar sus parámetros preestablecidos de conservación y modernizar los medios tecnológicos de medición utilizados para este fin (Martens & Schellen, 2010; Craddock, 1992; Cassar & Hutchings, 2000), siendo recomendado el control monitorizado del clima (King & Pearson, 1992).

También se debe resaltar que muchas de las obras de arte contemporáneo requieren estudios específicos y renovadas líneas de actuación (Sedano, 2001), dado que reflejan tener una mayor vulnerabilidad (baja calidad material, experimentación técnica, arte efímero, etc.).

Además, teniendo en cuenta la evaluación por competencias que contemplan los estudios dedicados al arte (museología, gestión cultural, conservación, restauración, producción artística, etc.) dentro de Espacio Europeo de Educación Superior, se estima adecuado poner a disposición de los interesados los datos que requiere su formación de manera directa y cómoda de consultar.

Así pues, considerando los antecedentes presentados, el objetivo de este trabajo ha sido analizar los parámetros medioambientales (humedad, temperatura, pureza del aire e iluminación) más recomendados para la conservación preventiva de las obras de arte y su relación con el biodeterioro, estudiar comparativamente distintas publicaciones al respecto, obtener una relación contrastada y ofrecerla, de forma que permita una consulta sencilla y práctica, que ayude a profesionales y docentes a planificar sus actuaciones (Casanovas, 1992; Hernández 1998; Thomson, 1986).

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La conservación preventiva se ocupa de todos los objetos, en buen o mal estado, con la finalidad de protegerlos de todas las agresiones humanas (accidentes o incorrectas actuaciones) y naturales (Baglioni y Losada, 2000). Los objetivos de la conservación preventiva son: reconocer,

prever y prevenir los efectos del ambiente sobre las colecciones, definir cuales son sus alteraciones (a fin de evaluar las prioridades para planificar la temporalidad de las intervenciones a realizar) y diseñar programas de inspección, además de regular y elaborar planes de actuación para casos de emergencia. Los agentes de deterioro a tener en cuenta pueden ser propios de la naturaleza de las obras o externos a ellas. Entre los segundos se encuentran los medioambientales, el biodeterioro, los asociados a la manipulación, almacenaje, mantenimiento y exhibición, las agresiones humanas, las negligencias y los accidentes naturales (Rico, 2006). De todos los citados, el más importante es el control medioambiental, porque influye directamente en los objetos según su composición. Este parámetro abarca el control de la humedad, la temperatura, la contaminación ambiental y la iluminación, requisitos indispensables para optimizar la conservación preventiva física y química de las obras, que a su vez está directamente relacionado con el biodeterioro (Martens, 2012).

2. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada en este trabajo ha sido documental y comparativa; ha estado basada en una investigación teórica de análisis de datos cuantitativos, que ha recopilado y clarificado la información disponible sobre el tema de estudio de manera unificada y concreta, para que pueda ser usada por los interesados de forma resolutive.

La información se ha organizado en tablas, correctamente citadas, para dar una unificación a los criterios, simplificar la búsqueda y consensuar las diversas propuestas. No obstante, se advierte que las mejores condiciones medioambientales para una obra de arte son aquellas a las que está acostumbrada, si con ellas se encuentra en buen estado de conservación, y que ante la variabilidad material en una misma obra, las condiciones que priman son las de la materia más fácilmente alterable. Por ello los datos presentados, deben estar sujetos al criterio de los profesionales, quienes han de valorar su propia actuación.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para estudiar los agentes de deterioro medioambientales de las obras de arte se debe analizar su entorno o el ambiente en el que se encuentran.

3.1. Humedad

Al estudiar la humedad de un espacio se habla en términos de humedad relativa (HR), que es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura. Se expresa en %. Se dice que el aire está saturado cuando se alcanza el 100% de HR. Pero la humedad está directamente relacionada con la temperatura (T). Generalmente, al subir la temperatura baja la humedad relativa y al bajar la temperatura sube la humedad relativa. Las fluctuaciones de ambas suponen un problema para la conservación de las obras de arte, pues dan lugar a la contracción y dilatación de sus materiales (Michalsky, 1992).

El origen de la humedad en un espacio arquitectónico que contenga obras de arte (museo, galería, archivo, etc.) puede provenir de causas externas al edificio: lluvia, evaporación de zonas húmedas cercanas (ríos, lagos, playas, tierra mojada, etc.); por agentes estructurales del inmueble: infiltración, capilaridad, malos cerramientos, mal aislamiento, escapes de agua, etc.; y por causas internas: respiración y transpiración humana, condensación de la humedad en paredes, limpieza de ambientes, refrigeración y control mecánico ambiental (Guichen y Tapol, 1998).

Para calcular la humedad atmosférica se usa el psicrómetro. Para medir la humedad relativa se utilizan aparatos como: el higrómetro, termohigrógrafo, termohigrómetro digital y sistemas digitales de motorización (denominados Data Logres).

El termohigrógrafo registra mecánicamente datos de humedad relativa y temperatura ambiental, que quedan expresados sobre un papel en forma de gráfico continuo. El termohigrómetro digital actúa mediante sensores de humedad y temperatura, y transforma sus mediciones en datos digitales; se usa de forma puntual. El sistema Data Loggers es digital y toma sus registros mediante sondas con sensores, según una secuencia temporal programada; su *software* ofrece la posibilidad de expresarlos en gráficos, permitiendo obtener detalles de estudio, como los datos máximos y mínimos registrados (Herráez y Rodríguez, 1989).

Los métodos de control ambiental de la humedad relativa se pueden dividir en mecánicos y químicos. Los mecánicos actúan mediante humidificadores, que aportan humedad al ambiente, y sistemas de refrigeración y calefacción, que acondicionan la temperatura. Los métodos químicos funcionan mediante la colocación de sustancias higroscópicas,

que absorben la humedad ambiental o la ceden, como es el caso del gel de sílice, la cola de conejo, los granos de arroz y algunas sustancias salinas.

Una medida estándar que generalmente se estima adecuada para la humedad relativa es un mínimo de 45% y un máximo de 65%, con oscilación de $\pm 2\%$, considerando el rango óptimo en 55% de HR (con oscilación de $\pm 2\%$), aunque esto depende directamente de los materiales a conservar, variando apropiadamente cada uno de ellos (Herráez y Rodríguez, 1991). La humedad relativa inadecuada sería aquella que presenta exceso (humedad excesiva), defecto (sequedad excesiva) o cambios bruscos.

La humedad excesiva constante superior al 75% puede provocar: debilitación de adhesivos, pudrimiento de colas, aumento del tamaño de los materiales (madera, papel, tela, etc.), manchas (papel, tela, vitela, etc.), corrimiento de tintas, enmohecimiento de cueros, aumento de la corrosiones de los diferentes metales, adherencia de hojas de papel, ablandamiento de materias, aparición de sales, opacidad de vidrios, etc.

La sequedad excesiva constante inferior al 35% puede producir: fragilidad y desecación de los componentes de las obras, deterioro en maderas y marqueterías por contracción, tensión de las telas, reducción dimensional de materiales, etc.

Los cambios bruscos de humedad relativa en las obras de patrimoniales provocan: movimientos de los materiales higroscópicos (expansión-contracción) con desgastes que pueden dar lugar a fatiga, alabeo, agrietamiento y activación de sales solubles. Además, en el marfil y la madera producen deformaciones; en la pintura y la policromía dan lugar a exfoliaciones, con levantamientos y pérdidas de estratos preparatorios y de color; mientras en los materiales pétreos y cerámicos originan rupturas y eflorescencias salinas.

Ante todo, lo más importante en cuanto a los parámetros de humedad y temperatura, es mantenerlos estables y corregir los excesos. En un edificio dedicado a contener obras de arte, ya sea sala de exposiciones, almacén, taller de restauración, etc., es fundamental estudiar su historia ambiental y conseguir su estabilidad climática. En muchos casos los rangos óptimos pueden ser diferentes de las recomendaciones generales (Guichen, 1988).

Si se desea cambiar las condiciones climáticas de una obra de arte por traslado o nueva ubicación, debe hacerse de forma progresiva y lenta en una sala de acondicionamiento o en un compartimiento estanco espe-

cializado para ello, evitando los cambios medioambientales bruscos. Se recomienda no alterar la HR en más de un 2% ó 3% por semana. El cambio de la temperatura es menos relevante que la humedad, aunque ambas están vinculadas.

3.2. Temperatura

La temperatura es un agente de deterioro que por sí misma resulta menos dañina que la humedad, pero que unida a ésta, en caso de cambios bruscos o valores extremos, provoca importantes alteraciones en los bienes culturales.

También influye en la cantidad de vapor de agua que logra contener un volumen de aire. A mayor temperatura el aire puede contener mayor cantidad de vapor de agua. Si el nivel de vapor en aire es elevado y la temperatura baja de manera repentina, el vapor se enfría y se condensa, dando lugar al depósito de gotas de agua sobre las superficies expuestas. La temperatura a la que se comienza a condensar el vapor de agua y a aparecer en estado líquido se llama “temperatura de rocío”; esta se puede obtener según una fórmula que relaciona la humedad relativa (HR), la humedad absoluta (HA) y la temperatura (T). El agua condensada puede llegar a presentarse en forma de escarcha cuando la temperatura es muy baja. Estos depósitos acuosos sobre las obras de arte suponen un agente de deterioro muy importante para ellas.

Para la medición de la temperatura, además de los termómetros, se usan los aparatos citados anteriormente para el control de la humedad, pues miden de forma combinada ambos parámetros, como el termohigrómetro, el termohigrógrafo y los sistemas digitales Data Loggers. Para su mantenimiento óptimo se utilizan sistemas de control climáticos digitalizados o mecánicos, así como de combustión (aire refrigerado, calefacción, etc.), cortinas, estores, materiales aislantes en la estructura de los edificios, etc.

La temperatura recomendada para la conservación preventiva de las obras de arte varía según sus materiales constitutivos, pero una buena recomendación general establece un rango térmico de entre 18°C y 22°C, con una oscilación de $\pm 2^\circ\text{C}$.

La temperatura elevada favorece la velocidad de reacción de los procesos químicos. Un aumento de 10°C duplica la velocidad de los procesos reproductores del moho y favorece el desarrollo del biodeterioro en presencia de alta HR (plagas); también provoca la evaporación del

agua de composición de los materiales, dando lugar a la sequedad y deshidratación de los mismos, que originan su degradación.

La Tabla 1 presenta los valores ambientales incorrectos de humedad relativa y temperatura que deben ser evitados y los efectos que estos producen en los materiales artísticos.

Tabla 1. Alteración de los BB.CC. según los materiales y condiciones ambientales

Condiciones ambientales	Materiales orgánicos estables	Materiales orgánicos no estables	Materiales inorgánicos
HR (75-100 %) y ventilación escasa	Microorganismos: pinturas al óleo, madera, barnices, textiles. Hidrólisis: papel, pergamino, fotografía. Despolimerización de adhesivos	Microorganismos (mohos en encuadernaciones). Hidrólisis: films, de acetato, fotografía color, microfilmes, películas	Microorganismos. Corrosión: metales y vidrio
Fluctuaciones de HR y escasa ventilación (50 - 60 % HR con \pm 5 %, entre 10° C- 20° C de oscilación)	Deformaciones y grietas: pintura, barnices, madera, acrílicos. Diferencia de tensión entre el lienzo y el marco de madera		Disgregación de material pétreo, cerámicas. Pátinas en metales
Temperatura superior a 30° C	Reblandimiento de adhesivos y ceras	Amarillean y se desintegran	Algunos minerales se desintegran
Temperatura inferior a - 4° C	Pérdida de flexibilidad.	Pérdida de flexibilidad	
Fluctuaciones de temperatura (superiores a \pm 2° C	Riesgo de grietas, deformaciones y fracturas. Diferencias de tensiones entre el lienzo y el marco de madera	Riesgo de deformaciones y fracturas. Diferencias de tensiones	Deterioros en objetos compuestos (esmaltes-madera)

Fuente: Elaboración propia, según datos publicados por Stefan Michalsky (1992).

3.3. Contaminación ambiental

Los agentes de deterioro presentes en el aire de la atmósfera que pueden ocasionar deterioros en las obras de arte son diversos, por ello estos polucionantes deben ser contralados en los museos y centros expositivos (Tétreault, 1998, 2003 y 2004). Como ejemplo de ello, se observa que la simple presencia de oxígeno desencadena reacciones de oxidación en algunos materiales como los metales. La excesiva concentración de vapor de agua genera humedad alta, que, unida a las impurezas contaminantes, provoca manchas y oxidaciones en ellos.

Las ciudades industriales o de mucha contaminación presentan una alarmante contaminación química, generada por diversos tipos de gases con-

taminantes. En estos lugares el aire suele estar compuesto por impurezas/aerosoles diversos, como partículas de carbón, alquitrán, hollín, polvo o sales. Dichos elementos desencadenan reacciones químicas, suciedad general (Valentín, 2009), costras y manchas; estos dos últimos tipos de alteraciones resultan importantes en obras expuestas al exterior hechas de materiales escultóricos y arquitectónicos, aunque si se localizan en soportes más porosos, como pueden ser textiles, materiales etnográficos, papel etc., producen mayores daños, dado que estos soportes resultan ser muy higroscópicos.

En la calidad del aire encontramos diversos agentes de deterioro, entre los que destacamos el dióxido de azufre (SO₂), el sulfuro de hidrógeno (H₂S), el dióxido de carbono (CO₂), el monóxido de nitrógeno (NO), el dióxido de nitrógeno (NO₂), los cloruros de sodio (NaCl), el formaldehído, el ozono, los depósitos sólidos de suciedad y carburantes y los restos biológicos.

El dióxido de azufre (SO₂), abundante en atmósferas urbanas; es peligroso para la conservación de textil de algodón, papel, pergamino, cuero, capa pictórica, policromía y piedra (Hernández, 1998).

El sulfuro de hidrógeno (H₂S) ataca a los materiales orgánicos y los metales, dando lugar al ennegrecimiento de estos últimos y de los pigmentos de plomo, además de producir manchas en el bronce (Hernández, 1998).

El dióxido de carbono (CO₂) combinado con agua produce el ácido carbónico, que afecta a los materiales orgánicos y produce corrosión en los materiales pétreos y el vidrio (Calvo, 2002).

El monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) dan lugar al ácido nítrico, procedente de los fertilizantes nitrogenados, del combustible de los automóviles y de diversos procesos bioquímicos, que afecta a las piedras carbonatadas (Calvo, 2002).

Los cloruros de sodio (NaCl), abundantes en los ambientes de zonas marítimas, producen la corrosión de los metales (hierro, cobre, plata, etc.). Además, las sales solubles al solidificarse actúan sobre las piedras, haciendo que se debiliten las uniones entre sus partículas y que estas acaben por presentar arenización. También las cerámicas se ven afectadas por las sales, pues les producen laminaciones y levantamientos de material.

El formaldehído procedente de las maderas, los cartones y la fabricación de adhesivos, origina daños en el papel, alteración en el vidrio y corro-

sión en los metales. Por su parte, el ozono ataca a los papeles y los textiles, palidece las capas pictóricas y da lugar a eflorescencias en el vidrio.

Además, son comunes los depósitos de hidrocarburos contaminantes, excrementos de aves, polvo y placas de biodeterioro que se encuentran acumulados sobre los elementos arquitectónicos expuestos al exterior, como las piedras, y que originan la descomposición pétreo y la alteración de otros muchos materiales de construcción (Valentín, 2009).

Para eliminar la contaminación ambiental en el interior de los edificios se deben colocar filtros de partículas de carbón en los sistemas de refrigeración. La presencia de gases ácidos se controla mediante el lavado del aire en baños de agua alcalina (Llamas, 2009). Según determinan Nazaroff *et al.*: "...el control deliberado de la temperatura y las condiciones de flujo de aire dentro de una habitación se pueden añadir a otros métodos, tales como filtración de partículas, como herramientas eficaces para reducir los índices de ensuciamiento en los museos" (1990: 348); dado que ralentizar la velocidad de deposición de partículas contaminantes y reducir su tamaño son medidas favorables.

La Tabla 2 presenta un resumen de los componentes químicos de la contaminación atmosférica que afectan directamente a las obras de arte.

Tabla 2. Componentes del aire que causan deterioros en los materiales artísticos

Compuestos de carbono	Monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarburos
Compuestos de azufre	Dióxido de azufre, trióxido de azufre y ácido sulfúrico
Compuestos de nitrógeno	Óxido de nitrógeno, amoníaco y aminas
Compuestos de cloro	Ácido clorhídrico y óxido de cloro
Compuestos de flúor	Flúor y fluorhídrico
Ozono y oxidantes	Ozono y epóxidos
Partículas inorgánicas	Metales, óxidos metálicos, ácidos, bases, nitratos, sulfatos, sulfitos, cloruros, silicatos
Sustancias inorgánicas	Hidrocarburos pesados, compuestos organometálicos
Organismos bióticos	Pólenes, insectos, hongos, bacterias

Fuente: Elaboración propia, según datos obtenidos de Nieves Valentín Rodrigo (2009).

3.4. Iluminación

La luz es un agente de deterioro que afecta a muchos materiales de las obras de arte, pero a la vez es un vehículo de comunicación necesario entre estas y los observadores.

Algunos de los objetivos perseguidos con una buena iluminación de las obras de arte son: favorecer un equilibrio entre exposición/presentación y conservación, facilitar la visualización del observador, ayudar a definir las características de la forma y el color de las piezas, resaltarlas, jerarquizar la importancia de las mismas, mejorar la transmisión del mensaje entre el que observa y el objeto, contribuir al disfrute del arte con un buen ambiente lumínico y valorar los espacios arquitectónicos (Casal, 1982).

Por otro lado, la visualización correcta depende del enfoque de la luz, los fondos, el contraste fondo-figura, etc. El estudio de este último tiene como objetivo equilibrar el efecto de percepción de la post-imagen y, por ende, trata de resaltar el objeto expuesto. Como ejemplo, se suele recomendar poner una pintura flamenca sobre un fondo de color salmón o verdoso; sin embargo, en exposición de dibujos se usa principalmente el fondo gris o marrón; mientras en pintura contemporánea se utiliza más el fondo blanco por ser más neutro, que absorbe las radiaciones ultravioletas (CIE, 2004), no adecuadas para las obras.

A su vez, la comodidad visual se vincula con la distancia de las lámparas y del observador a las obras (Stolow, 1987), y existe una relación directa entre la emisión de la fuente luminosa, el objeto a observar y las condiciones propias de la persona que observa, como su capacidad visual, edad, etc.: Radiación-Objeto-Observador.

También un factor muy importante en la comodidad visual es la dirección óptima de la luz, cuyo ángulo recomendado es de 45° respecto a la pieza a exponer, pues así da mayor brillantez y evita reflejos (Hernández, 1998). En el caso de vitrinas con iluminación exterior, la luz indirecta reduce los excesivos brillos que pueden producirse sobre los cristales, aunque hay vidrios que los corrigen. Y de igual modo, el índice de reproductividad cromática es un factor a tener en cuenta para la correcta percepción del color de las obras.

Además, en la percepción visual intervienen las connotaciones psicológicas personales que añade el observador, que pueden verse influenciadas por el tipo y la calidad de la iluminación y que afectan a la lectura estética de la obra expuesta.

La Tabla 3 expone las cuestiones relacionadas con la buena iluminación de un objeto de arte en exposición y los factores que afectan a su conservación y sensación extravisual que producen los efectos de la luz en el observador.

Tabla 3. Factores de la iluminación que afecta a la percepción y a la sensación visual.

<i>Cuestiones objetivas</i>		<i>Cuestiones subjetivas</i>	
<i>Conservación/obra</i>	<i>Percepción visual</i>	<i>Sensación extravisual</i>	
Iluminancia	Percepción del espacio y de las formas	Lectura estética	Características físicas del observador
Rayos ultravioletas (UV)	Visualización correcta		
Rayos infrarrojos (IR)	Comodidad visual		Connotaciones psicológicas
Tiempo de exposición	Índice reproducción cromática		

Fuente: Elaboración propia, según datos de R. Puente García y M. A. Rodríguez Lorite (2009).

Teniendo en cuenta lo anterior, para adecuar las condiciones de iluminación en los recintos expositivos trabajan conjuntamente varios tipos de profesionales en colaboración con conservadores y museólogos: el proyecto de iluminación de las salas de exposición lo realizan los arquitectos y el de luminotecnia lo hacen las empresas especializadas (tipos de focos, lámparas, estudio de espacios, elementos eléctricos, etc.) y la instalación la hacen los técnicos electricistas. Pero además, a los gestores de los espacios expositivos también les interesa el gasto económico que genera la iluminación. Por lo que entre todos ellos deben hacer un esfuerzo por encontrar las mejores condiciones de iluminación para las obras, la conservación de las mismas y la reducción del consumo energético.

Respecto a la degradación lumínica, la luz es una energía electromagnética radiante, formada por fotones, que incide sobre la materia (CIE, 2004), lo que hace que muchas sustancias alcancen los niveles energéticos necesarios que le permiten reaccionar, al obtener una conformación estructural adecuada para llevar a cabo una reacción o romper algún enlace de su estructura.

La cantidad de flujo luminoso que índice sobre un material registrada por unidad de área se llama iluminancia y se mide en luxes, mediante el luxómetro. Pero la intensidad de la incidencia luminosa no es el único factor a tener en cuenta que ofrece la luz como agente de deterioro,

pues dentro del espectro electromagnético hay diferentes tipos de radiaciones, que varían dependiendo de su longitud de onda y frecuencia. Entre ellas se encuentra el espectro visible o rango de longitudes de onda que puede percibir el ser humano, situado entre los 400 a 700 nm (nanómetros), aunque algunas personas son capaces de percibir longitudes de onda desde 380 hasta 780 nm.

Por debajo del espectro visible se sitúan los rayos ultravioletas (UV), que presentan una radiación inferior a los 400 nm, por lo que pertenece al grupo de las que presentan menor longitud de onda y producen la mayor degradación (González-Varas, 1999); son un factor foto-químico. Los rayos infrarrojos (IR) emiten una radiación superior a los 750 nm, por lo que tienen mayor longitud de onda que el espectro visible, pero menos que las microondas y se manifiestan como un factor foto-térmico.

Tanto las radiaciones ultravioletas como la infrarrojas causan procesos químicos, físicos y de biodeterioro, que dan lugar a diferentes alteraciones en los materiales de las obras de arte. Los procesos químicos se generan por los rayos ultravioletas (la energía de sus fotones es capaz de provocar la rotura de enlaces químicos) o por la actuación de los rayos infrarrojos (que aumentan la temperatura y con ella la velocidad de las radiaciones químicas). El proceso físico tiene lugar porque la luz permite alterar las propiedades mecánicas de las obras, ya que los rayos infrarrojos, al producir calor, desecan los materiales, restándoles flexibilidad, facilitando su fragilidad y provocando su rotura y disgregación; también pueden llegar a producir la incandescencia de algunos de ellos. Además, los rayos infrarrojos favorecen el biodeterioro en ambientes con alta humedad relativa y escasa ventilación.

Para medir los rayos ultravioletas se utiliza el ultraviolómetro, aunque existen en el mercado medidores de luz con funciones múltiples y combinadas (Herráez y Rodríguez, 1989) y para el control de estas radiaciones ultravioletas se colocan elementos rectificadores (lámparas corregidas y cristales de ventanas con filtros), también se utilizan estores, cortinas o persianas que tamizan la luz natural incidente a través de los vanos de los edificios. La radiación infrarroja se mide por sensores de infrarrojos y medidores de temperatura, y se controla por sistemas de refrigeración y lámparas corregidas.

La Tabla 4 resume los datos expuestos sobre la intensidad de emisión lumínica, el tipo de degradación que produce sobre los materiales y las recomendaciones más adecuadas para reducir su impacto.

Tabla 4. Resumen de los rangos de emisión lumínica, degradación que produce y mecanismos de control

Rango de radiación	Degradación	Método de control
Rayos infrarrojos (> 750 nm)	Radiación foto-térmica	Elección del tipo de fuente Estudio medio-ambiental Acondicionamiento
Espectro visible (>380/400 y <700/780 nm)		Elección del tipo de fuente Regulación de los rayos UV e infrarrojos Diseño adecuado de los sistemas de iluminación
Rayos ultravioletas (< 400 nm)	Radiación foto-química	Elección del tipo de fuente Control de iluminación / tiempo de exposición Colocación de filtros

Fuente: Elaboración propia, según datos de J. A. Herráez y M. A. Rodríguez Lorite (1991).

Las alteraciones que presentan los diferentes materiales por causas de la luz son diversas y en muchos casos este agente puede actuar como degradante en combinación de otros. Entre ellas, se observa que la luz ataca directamente a los pigmentos y colorantes, fibras textiles artificiales y naturales, materiales celulósicos (papel), películas de material orgánico, resinas y gomas empleadas en barnices, pinturas y adhesivos:

- en el papel la luz provoca decoloración, cambio de color (tono amarillo) y rotura de enlaces químicos, dando lugar a su envejecimiento prematuro, que lo vuelve quebradizo, produciendo el debilitamiento de su estructura, debido a la ruptura de las cadenas moleculares de la celulosa que lo compone;
- también las pinturas a la acuarela se ven afectadas por la decoloración de la materia pictórica y los efectos de la luz sobre el papel, mientras las pinturas al óleo son más resistentes que las anteriores a la luz, y los pigmentos de tipo orgánico, como las lacas, también alteran su color con facilidad por la iluminación;
- en los tejidos, la luz produce rotura y debilitamiento de la materia por fragmentación de sus enlaces químicos, mientras los tintes y aprestos de los tejidos también se pueden ver alterados por este agente, porque produce las fracturas de las fibras textiles que le sirven de soportes;

- en la madera y el papel la radiación infrarroja intensificada puede dar lugar a la incandescencia del material;
- también en la madera los rayos ultravioletas provocan el oscurecimiento en tono marrón y gris de su capa superficial, aunque unos tipos de madera son más sensibles a esta alteración que otras, y si este daño se combina con el lavado que produce la lluvia al arrastrar la celulosa de la superficie descompuesta del material por la luz, da lugar a la degradación denominada “madera meteorizada”.

En general, los materiales se clasifican por su sensibilidad a la luz en: poco sensibles, moderadamente sensibles y muy sensibles. Entre los poco sensibles están los inorgánicos, como: piedra, cerámica y metales; con una exposición recomendada de hasta 300 lx. Entre los medianamente sensibles están: la pintura al óleo, al temple y los cueros sin teñir; y se les recomienda una exposición máxima de 150 lx. Entre los especialmente sensibles a la luz se encuentran: el papel (grabados, dibujos, manuscritos, textos impresos, láminas, papeles murales, sellos, etc.), los tejidos (lienjos, trajes), acuarelas, pinturas a la aguada, tapices, pieles teñidas, plumas, ejemplares botánicos y especímenes naturales, en general; para ellos se recomienda una exposición máxima de 50 lx y evitar su exposición a la luz natural (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de materiales respecto a su sensibilidad a la luz

<i>Sensibilidad del material</i>	<i>Tipos de material</i>	<i>Luxes recomendados</i>
Material muy poco sensible	Material inorgánico: piedra, metal, metales preciosos, joyas, cerámica, terracota, vidrio, etc.	300 lx
Material sensible	Pintura al temple, pintura al óleo, sobre lienzo y tabla, madera y madera decorada (policromada), marfil, etc.	150 lx
Material muy sensible	Pintura a la acuarela, libros, textiles, dibujos, pastel, mapas, papiros, vitelas, sellos, etc.	50 lx

Fuente: Elaboración propia, según datos de Francisca Hernández (1998).

Los efectos de la degradación lumínica son acumulables en el tiempo e irreversibles. Una obra expuesta a 100 lx envejecerá dos veces más rápidamente que una expuesta a 50 lx, siempre considerando el mismo tiempo de exposición (Mourey, 1997). Por ello, se ha de controlar conjuntamente la intensidad de la radiación o iluminancia y el tiempo de ex-

posición. Pero también influye, la distancia del objeto a la fuente de luz (cuando la distancia es mayor disminuye el grado de alteración y vice-versa) y las propiedades intrínsecas de los objetos, que los hacen más o menos sensibles a ella (Hernández, 1998). La Tabla 6 expone los factores de deterioro producidos por la luz y sus derivados.

Tabla 6. Clasificación de los factores de iluminación que afectan a los materiales artísticos

<i>Tipos de Factores</i>	<i>Variabilidad de factores</i>
Factores directos	Iluminancia Tiempo de exposición Composición de la luz de la fuente luminosa
Factores indirectos	Humedad relativa Temperatura ambiental Gases de la atmósfera
Factores intrínsecos	Naturaleza del material Capacidad de absorción de energía del material

Fuente: Elaboración propia, según datos de R. Puente García y M. A. Rodríguez Lorite (2009).

Para favorecer la conservación de las obras de artes se debe reducir la intensidad lumínica en relación con los tiempos de exposición, según los valores recomendados para los diferentes materiales, evitando toda iluminación cuando éstas no están siendo observadas y reduciendo la incidencia de todas las radiaciones innecesarias para la percepción visual apropiada de las mismas. Para ello, es necesario eliminar la incidencia directa de la luz natural sobre las piezas, tamizándola o filtrándola, a excepción del caso de trabajos expuestos al exterior como las esculturas en metal, y es aconsejable elegir una luminaria artificial baja en rayos ultravioletas e infrarrojos, que también permita regular su intensidad.

Ante lo expuesto, el ambiente adecuado de iluminación para una obra es aquel que permite la exhibición correcta de la misma, ofreciendo un índice óptimo de reproducción cromática con radiaciones luminosas que no produzcan en ella daños a corto o medio, y en lo posible, largo plazo. La iluminación en una sala de exposiciones debe equilibrar la interrelación entre la conservación de la pieza y la visualización del observador, para que esta se pueda preservar y el proceso visual y estético se complete con éxito (Herráez y Rodríguez, 1991), de este modo se podrá completar satisfactoriamente la experiencia artística con el menor daño posible para las obras.

3.5. Biodeterioro

Los agentes biológicos que afectan a los materiales de las obras de arte están formados por microorganismos (bacterias) y organismos vivos como los vertebrados (aves, roedores), insectos (escarabajos, hormigas, avispas, abejas), insectos xilófagos (termitas y carcomas), moluscos (polas y gusanos de barco) crustáceos (limnorias), hongos, líquenes, algas y el propio hombre.

Generalmente, los agentes biológicos se desarrollan con alta temperatura, humedad elevada y presencia de oxígeno. Pero los hay como los hongos, que necesitan escasos niveles de oxígeno e iluminación, por lo que se pueden desarrollar en lugares oscuros y poco ventilados. Sin embargo, las algas necesitan la luz para producir la fotosíntesis (Caneva, Nugari y Salvadori, 2000). Mientras que los xilófagos utilizan la madera como alimento y los vertebrados la usan como materiales para sus nidos, hormigueros o panales. Además, los hongos, líquenes y algas producen sustancias ácidas sobre la piedra que favorecen la descomposición de este material.

Para reducir el ataque de los agentes biológicos se debe mantener el control de la humedad y la temperatura, unido a la aplicación de fungicidas para la desinsectación o desparasitación, pero estos productos resultan tóxicos para el ser humano, por lo que se requiere tener un especial cuidado en su manipulación y aplicación (Dawson, 1992).

Un método del control biológico es el cambio de la obra a un ambiente de atmósfera artificial, en la que se controla la humedad, la temperatura y se elimina el oxígeno, sustituyéndolo por un gas noble hasta producir la muerte del agente biológico por asfixia. Este tratamiento es inocuo y eficaz para los materiales, pero para que sea duradero se deben controlar adecuadamente las condiciones ambientales que volverá a tener la obra tras su tratamiento; si no se hace así, y se devuelve a su antiguo ambiente sin corregirlo, se corre el riesgo de que reaparezca el deterioro (Valgañón, 2008; Pinniger, 1994; Pinniger & Winsor, 2004).

4. CONSIDERACIONES FINALES

Tras obtener los resultados presentados, se han podido proporcionar los parámetros generales medioambientales (humedad, temperatura, calidad del aire e iluminación) recomendados para la conservación preventiva de las obras de arte que forman parte del patrimonio cultural, en muchos casos vinculados entre sí y al biodeterioro.

También, el hecho de ofrecer los datos obtenidos en tablas, con referencias fiables y habiendo sido también ampliamente comentados en el desarrollo del texto, permite hacer consultas eficientes, pues el examen y contraste de la información manejada se convierte en una herramienta de estudio apropiada, utilizable por especialistas e interesados en la materia, que es práctica y evita consultas más dilatadas.

Además, la investigación hecha es aplicable a multitud de elementos a conservar (artesanos, culturales, documentales, de interés público, etc.), que lo merezcan y se quiera que permanezcan lo más inalterablemente posible durante el mayor espacio de tiempo, sin que sufran daños que hagan peligrar su materialidad, es decir, sin que se deterioren sus componentes físicos. El fin último de este interés es poner a disposición de las generaciones futuras los elementos patrimoniales que han conformado la Historia de la Humanidad, sean estos artísticos o de otros ámbitos del conocimiento (Estética, Etnología, Sociología, Arqueológica, etc.). Aunque las referencias ofrecidas son de especial utilidad para la planificación de la conservación preventiva de las obras de arte.

Referencias Bibliográficas

- BAGLIONI, Raniero y LOSADA, José María. 2000. "Hacia una estrategia europea sobre conservación preventiva. Introducción al Documento de Vantaa (Finlandia)". **Boletín PH, Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico**. Nº 33, diciembre: 87-91. Sevilla (España).
- CALVO, Ana. 2002. **Conservación y restauración de pintura sobre lienzo**. Ediciones del Serbal. Barcelona (España).
- CANEVA, Giulia; NUGARI, Maria Pia y SALVADORI, O. 2000. **La biología en la restauración**. Editorial Nerea. Madrid (España).
- CASAL, José Manuel. 1982. "Alumbrado de museo: bases de su realización". **Museos**. Editorial: Patronato Nacional de Museos. Vol. 1: 47-59. Madrid (España).
- CASANOVAS, Luís Efreim. 1992. "**Conservação e Condições Ambiente. Segurança**", in **Iniciação à Museologia**. Universidade Aberta. Lisboa (Portugal).
- CASSAR, May & HUTCHINGS, Jeremy. 2000. **Relative Humidity and Temperature Pattern Book. A guide to understanding and using data on the museum environment**, in STEWART, James (ed.). Museums & Galleries Commission. London (United Kingdom). Disponible en: <http://www.collectionstrust.org.uk/media/documents/c1/a87/f6/000133.pdf>. Consultado el 23.09.2016.

- CIE (INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION). 2004. **Control of damage to museum objects by optical radiation**. CIE 157: 2004. Disponible: http://www.cie.co.at/index.php?i_ca_id=433. Consultado el 22. 09. 2016.
- CRADDOCK, Ann Broke. 1992. "Control of Temperature and Humidity in Small Collections", in BACHMANN Konstanze (ed.). **Conservation Concerns: a guide for collectors and curators**. pp. 15-22. Smithsonian Institution Press; Cooper-Hewitt Museum. Washington and New York (United States).
- DARDES, Kathleen & DRUZIC, James. 2007. **Managing the Environment: an Update on Preventive Conservation**. The Getty Conservation Institute. Disponible en: http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/newsletters/15_2/feature.html. Consultado el 23.09.2016.
- DAWSON, John E. (writ); STRANG, Thomas J. K. Strang (revis.). 1992. "Solving Museum Insect Problems: Chemical Control", in **Technical bulletin 15**. Canadian Conservation Institute Department of Canadian Heritage. Ottawa (Canada). Disponible en: <http://lib.hku.hk/hkpages/wp-content/uploads/2015/12/chemical-control.pdf>. Consultado el 24.09.2016.
- GONZÁLEZ-VARAS, Ignacio. 1999. **Conservación de bienes culturales: teoría, historia, principios y normas**. Ediciones Cátedra. Madrid (España).
- GUICHEN, G ael de. 1988. **Climate in museums: measurement**. ICCROM. Rome (Italia).
- GUICHEN, G ael. de y TAPOL, Benoit de. 1998. Climate in museums: measurement. Vol. 3. **Boletín ICCROM**. Rome (Italia).
- HERN ANDEZ, Francisca. 1998. **Manual de museología**. Editorial Síntesis. Madrid (España).
- HERRÁEZ, Juan Antonio y RODRÍGUEZ, Miguel  ngel. 1989. **Manual para el uso de aparatos y toma de datos de las condiciones ambientales en museos**. Editorial: Dirección General de Bellas Artes y Archivos, D. L. Madrid (España).
- HERRÁEZ, Juan Antonio y RODRÍGUEZ, Miguel  ngel. 1991. **Recomendaciones para el control de las condiciones ambientales en exposiciones temporales**. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Madrid (España).
- HIDALGO CU NARRO, José Manuel. (coord.). 1996. **Actas del Coloquio Internacional sobre Conservación Preventiva de Bienes Culturales (Vigo)**. pp. 119-140. Diputación Provincial de Pontevedra, Servicio de Publicaciones. Pontevedra (España).

- KING, Steve & PEARSON, Colin. 1992. "Environmental Control for Cultural Institutions. Appropriate Design and the Use of Alternative Technologies", in **Actes du 3ème Colloque International de l'ARAAFU**. ARAAFU. Paris (France).
- LLAMAS, Rosario. 2009. **Conservar y restaurar el arte contemporáneo. Un campo abierto a la investigación**. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Editorial UPV. Valencia (España).
- MARTENS, Marco & SCHELLEN, Henck. 2010. "A Sound Indoor Climate for a Museum in a Monumental Building", in **Symposium Building Physics in honour of Prof. Hugo Hens, Leuven, October 2008**. pp. 1-8. Technische Universiteit Eindhoven. Leuven (Belgium). Disponible en: <https://pure.tue.nl/ws/files/2843516/Metis219673.pdf>. Consultado el 23.03.16.
- MARTENS, Marco. 2012. **Climate risk assessment in museums. Degradation risks determined from temperature and relative humidity data**. Technische Universiteit Eindhoven. Eindhoven (The Netherlands). Disponible en: Lit_20120000.pdf. Consultado el 21.03.2016.
- MICHALSKY, Stefan. 1992. "Temperature and Relative Humidity: the Definition of Correct/Incorrect Values", in **A Systematic Approach to the Conservation (care) of Museum Collections**. pp. 2-13 Annex. Canadian Conservation Institute. Ottawa (Canada).
- MOUREY, William. 1997. "Conservación preventiva para materiales artísticos y arqueológicos", en HIDALGO CUÑARRO, José Manuel. (coord.). **Actas del Coloquio Internacional sobre Conservación Preventiva de Bienes Culturales (1996, Vigo)**. pp. 119-140. Diputación Provincial de Pontevedra, Servicio de Publicaciones. Pontevedra (España).
- NAZAROFF, William. W. et al. 1990. "Particle Deposition in Museums: Comparison of Modeling and Measurement Results", in *Aerosol Science and Technology*. Vol. 13. Nº 3: 332-348. Edmonton, Alberta (Canada).
- PINNIGER, David. 1994. **Insect Pests in Museums**. Archetype. London (United Kingdom).
- PINNIGER, David & WINSOR, Peter. 2004. **Integrated Pest Management**. Museums, Libraries and Archives Council. London (United Kingdom).
- PLENDERLEITH, Harold James. 1956. **The Conservation of Antiquities and Works of Art: Treatment, repair and restoration**. Oxford University Press. London (United Kingdom), New York (United States), Toronto (Canada).
- PUENTE GARCÍA, Raquel y RODRÍGUEZ LORITE, Miguel Ángel. 2009. "Iluminación, tecnología y diseño", in RICO, Juan Carlos. (ed.). **Los co-**

- nocimientos técnicos: museos, arquitectura, arte.** pp. 155-204. Silex Ediciones. Madrid (España).
- RICO, Juan Carlos. 2006. **Manual práctico de museología, museografía y técnicas expositivas.** Silex Ediciones. Madrid (España).
- SEDANO, Pilar. 2001. “La conservación de arte contemporáneo” in **PH, Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.** Vol: 9. Nº 35: 128-133.
- STOLOW, Nathan. 1987. **Conservation and Exhibitions.** Butterworths. London (United Kindom).
- TÉTREAULT, Jean. 1998. **Museum Standard Levels for Indoor Pollutants. In Indoor Air Pollution: Detection and Mitigation of Carbonyls.** Ed. L. Gibson: Institute for Cultural Heritage. Amsterdam (The Netherlands).
- TÉTREAULT, Jean. 2003. **Guidelines for Pollutant Concentrations in Museums.** Disponible en: <http://discovery.ucl.ac.uk/2443/1/2443.pdf>. Consultado el 19.03.2016.
- TÉTREAULT, Jean. 2004. **Airborne Pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management.** Canadian Conservation Institute. Ottawa (Canada).
- THOMSON, Garry. 1986. **The Museum Environment.** Butterworth-Heinemann. London (United Kingdom).
- VALENTÍN, Nieves. 2009. “La conservación y preservación de las colecciones en el museo”. RICO, J. C. (ed.). **Los conocimientos técnicos: museos, arquitectura, arte.** pp. 265-337. Silex Ediciones. Madrid (España).
- VALGAÑÓN, Violeta. 2008. **Biología aplicada a la conservación y restauración.** Editorial Síntesis. Madrid (España).