

Métodos y técnicas para evaluar la calidad del aire en museos: Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía

NIEVES VALENTÍN / CARMEN MURO / JULIA MONTERO

El análisis de la calidad del aire debe entrar a formar parte de la “rutina del museo”. Dentro de este contexto, se hace necesario desarrollar metodologías que permitan evaluar riesgos potenciales de deterioro en el edificio y en las colecciones que alberga.

El presente trabajo se ha realizado en el Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, edificio Sabatini. El estudio de la calidad del aire se ha efectuado en salas de exposición en presencia y ausencia de visitantes, respectivamente, y en almacenes. Los resultados obtenidos han permitido desarrollar diferentes técnicas que utilizan los microorganismos como indicadores de riesgos potenciales de deterioro y de presencia de microclimas adversos.

El interés principal radica en diseñar una estrategia global de conservación. No se pretende elaborar un diagnóstico ante un requerimiento específico. Por el contrario, se requiere que esa estrategia global forme parte de una mejora continua en los procesos de mantenimiento y optimización de las condiciones del museo. En definitiva, se trata de añadir nuevas herramientas valiosas para la conservación preventiva de los bienes culturales.

INTRODUCCIÓN

La atmósfera de las salas de exposición de los museos y los almacenes que albergan obras de arte presentan concentraciones variables de agentes químicos y microbiológicos que es necesario medir y controlar. Los agentes químicos que suponen un riesgo para la conservación de materiales de museo pueden ser entre otros: amoníaco, aminas, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, ozono y contaminantes carbonilo orgánicos, como formaldehído o ácido acético. Además, las partículas sólidas de polvo también representan un riesgo añadido. En la [Tabla 01] se presenta un resumen de los componentes mayoritarios que pueden estar presentes en museos y archivos. La incidencia en el deterioro de estos agentes depende de la naturaleza y estado de conservación de las obras, de la temperatura, humedad relativa y absoluta del aire y especialmente de la ventilación. Por todo ello, el aire tanto en el interior de las salas como en vitrinas y mobiliario, debe ser analizado y su calidad optimizada por métodos adecuados y sostenibles.

dióxido de azufre SO_2	amoníaco NH_3	contaminantes carbonilo orgánicos
sulfuro de hidrógeno H_2S	ión amonio NH_4^+	aldehídos
sulfuro de carbonilo COS	aminas R-NH_2	formaldehído HCHO
disulfuro de carbono CS_2		acetaldehído CH_3CHO
		ácidos orgánicos
monóxido de nitrógeno NO	ozono O_3	ácido fórmico HCOOH
dióxido de nitrógeno NO_2	peróxido de hidrógeno H_2O_2	ácido acético CH_3COOH
ácido nítrico HNO_3	nitrato de peroxiacetilo $\text{CH}_3\text{-COO-O-NO}_2$	ácidos grasos RCOOH
ácido nitroso HNO_2	vapor de agua H_2O	

Durante las últimas décadas, con el fin de climatizar los edificios de interés cultural, se ha recurrido a la instalación de sofisticados sistemas de aire acondicionado, cuyo criterio de regulación se basa fundamentalmente en aproximarse a los estándares establecidos de temperatura y humedad relativa ambiente. No obstante, se viene demostrando que el aire acondicionado puede ser un problema para la conservación y sostenibilidad de ciertos museos [1]. Deben tenerse en cuenta el control de ciertos factores que se regulan inadecuadamente, por ejemplo el número de renovaciones de aire por hora en una sala y el flujo de ventilación, los cuales influyen de forma determinante en la conservación del material expuesto. El flujo de aire óptimo es difícil de determinar y se suele acomodar a parámetros estándares. En muchas ocasiones se establece de acuerdo al confort humano, no contemplándose, la naturaleza y estructura de los objetos y su estado de conservación. Se observa

[1] Porta, 1998; Maekawa y col., 2001; Maekawa y col., 2006.

F. 01

Salas con visitantes



que un flujo insuficiente no elimina la formación de microclimas en superficies frías y un flujo excesivo que impacta directamente sobre las obras, puede deshidratar los materiales. El exceso de objetos y mobiliario de gran formato evita que el aire circule adecuadamente en torno a ellos y favorece la formación de microclimas adversos.

En estudios anteriores [2], se ha demostrado, que una sala bien ventilada con alta humedad relativa, 70-80%, puede mantener los objetos libres de contaminantes. Por el contrario, la ausencia de ventilación y una humedad relativa ambiental de 55-60% puede favorecer el desarrollo de microorganismos en materiales higroscópicos. Una distribución adecuada del flujo de aire con entrada y evacuación interior/externo a través de filtros “diluye” los volátiles nocivos y evita depósitos de polvo, el cual lleva asociado esporas de microorganismos y huevos de insectos. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta el efecto que puede tener la presencia de un número excesivo de visitantes en las salas del museo, los cuales pueden modificar los parámetros ambientales, la concentración de agentes microbianos y aumentar el riesgo de deterioro para las colecciones. Todos los parámetros que indican la calidad del aire en el Museo deben ser analizados periódicamente, comparados y contrastados tanto en las salas de exposición como en los almacenes, también en el exterior del edificio. Ello permite optimizar la conservación de las obras de arte a largo plazo.

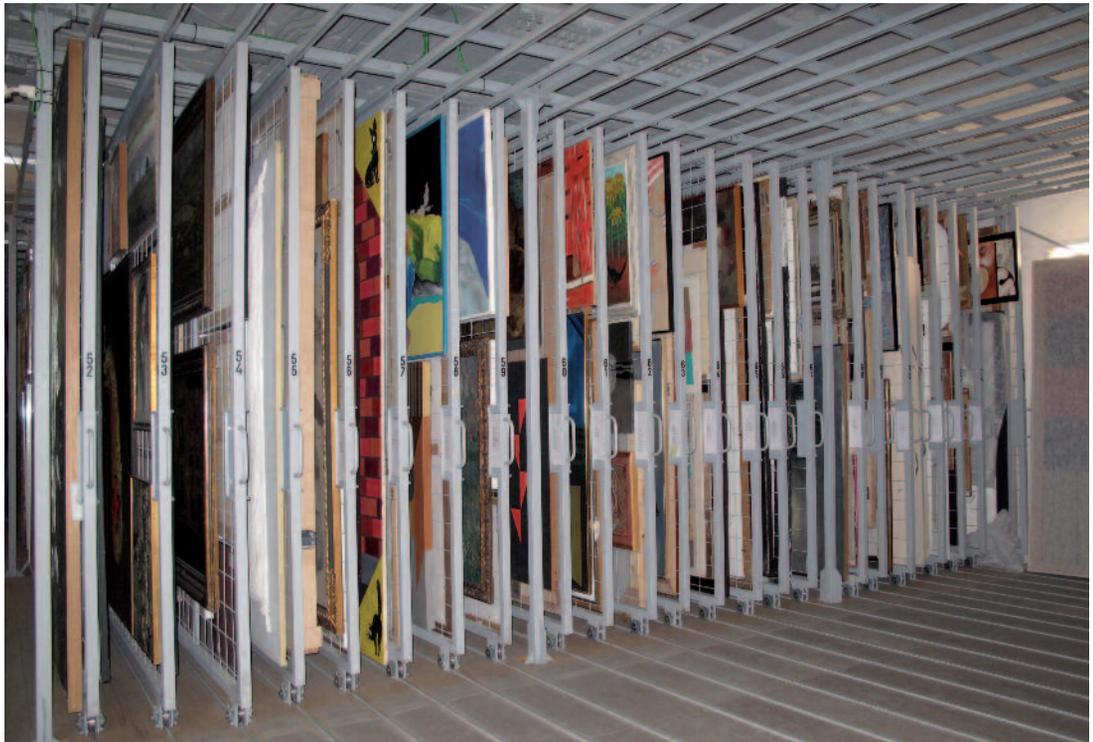
El Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía (MNCARS) posee salas de exposición y almacenes de obras de arte con características ambientales y afluencias de público muy diversas [F. 01 a y b], [F. 02 y 03]. En 2006 el MNCARS en colaboración con el Instituto de Patrimonio Cultural de España (IPCE) inició un estudio para estimar la calidad del aire en diferentes espacios del museo. Los datos obtenidos reflejaron que los hongos y bacterias son indicadores sensibles de las condiciones ambientales y pueden mostrar ámbitos con problemas de ventilación. También pueden señalar parámetros que reflejan la eficacia del control climático en el museo.

[2] Valentin, 2003; Valentin, 2007.

F.02
Sala sin visitantes



F.03 Abajo.
Almacén de obras de arte



En 2008 -2009, se abordó una segunda etapa que incluyó el estudio de las condiciones ambientales relacionadas con la contaminación microbiológica del aire y de las superficies de objetos. Especial énfasis se prestó a la evaluación de los riesgos potenciales de deterioro. Los resultados obtenidos en esta segunda etapa se describen en el presente artículo.

OBJETIVOS

Se han centrado en los siguientes puntos:

- Determinar la calidad del aire en salas de exhibición y en almacenes de diferente volumen. Todos ellos pertenecientes al edificio Sabatini.
- Analizar el impacto de los visitantes en la calidad del aire de las salas.
- Efectuar análisis cuantitativos de microorganismos de superficie, para estimar de forma rápida el riesgo potencial de biodeterioro de objetos concretos.
- Aportar nuevos criterios y líneas de actuación en el marco de la conservación preventiva de las colecciones a través del estudio del medio ambiente en salas y almacenes.

METODOLOGÍA

El Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía posee una climatización con sondas combinadas de humedad-temperatura. Nuestro trabajo se ha centrado en el análisis del aire de dos salas de diferente volumen, la Sala M con un volumen de 970 m³ y la Sala P, de menor volumen, 340 m³. Asimismo, se han analizado dos almacenes, un Almacén M, de 1340 m³, con un anexo de 570 m³ y un Almacén P de 480 m³.

Las condiciones ambientales de las salas y almacenes se indican a continuación:

SALAS

Sala M: 970 m³

Temperatura: 21 - 22°C

Humedad Relativa: 52-57%

Visitantes: rango 20-24

Sala P: 340 m³

Temperatura: 22 -23°C

Humedad Relativa: 43-47%

Visitantes: rango 30-36

ALMACENES

Almacén M: 1340 + 570 m³

Temperatura: 20 - 22°C

Humedad Relativa: 52-53%

Almacén P: 480 m³

Temperatura: 18.4 - 20°C

Humedad Relativa: 43-45%

Mantenimiento de los almacenes: aceptable

EXTERIOR DEL EDIFICIO

Temperatura durante las tomas de muestras: en un rango de 7-9°C

Humedad Relativa: en un rango de 68.2-73%

TOMA DE MUESTRAS DEL AIRE

Se ha utilizando un analizador Microbio Air Sampler con placas Rodac y medio de cultivo sólido de Agar-Czapek.

En todos los casos, se han elegido tres puntos de muestreo, que se consideran como potenciales puntos de riesgo. En cada punto, la toma de muestras se ha repetido tres veces para obtener un valor estadísticamente significativo. Por idéntico procedimiento se han realizado análisis del aire en el exterior del edificio.

Las placas se han incubado a 28°C durante 15 días. Cada día se ha realizado un recuento de las colonias desarrolladas. Finalmente, se han calculado los valores medios y se ha procedido a la identificación taxonómica de las colonias aisladas. Los resultados obtenidos se han expresado en unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire (UFC/m³).

TOMA DE MUESTRAS DE SUPERFICIE

Se han efectuado medidas de contaminantes biológicos de superficies por bioluminiscencia. La técnica se basa en la estimación del ATP (trifosfato de adenosina) de origen microbiano que puede haber en una superficie. Un complejo enzimático luciferin-luciferasa convierte la energía química del ATP microbiano en luz, debido a una reacción de oxido-reducción. La cantidad de luz generada es proporcional a la cantidad de ATP presente en la muestra de microorganismos que se pretende evaluar. Para ello se utiliza un equipo que mide la energía luminosa y que aporta resultados expresados en unidades relativas de luz (URL). El número de URL es proporcional a las CFU (unidades formadoras de colonias) de hongos y bacterias presentes en una unidad de superficie.

Los puntos en donde se han efectuado tomas de muestras de superficie en salas y almacenes del Museo, se indican a continuación:

Sala M

Medidas efectuadas sobre zonas del suelo.

7a, 7b: Esquina derecha.

8a, 8b: Zona de paso derecha.

9a, 9b: Esquina izquierda.

10a, 10b: Zona de paso izquierda.

11a, 11b, 11c: Zona de paso central

Cuadro en sala M

6a: Reverso del cuadro

6b: Debajo del marco.

6c: Detrás del cuadro, sobre la tela del bastidor.

13a, 13b: Parte posterior.

ALMACENES

Almacén M

- 63Ba: A la mitad de la barra inferior.
- 63Bb: Zona posterior, borde del cartón pluma.
- 71a: Sobre la barra inferior.
- 71b: Sobre la parte posterior del bastidor.
- 71c: En la tela posterior del cuadro
- 77a: En parte superior del marco.
- 97a: En el primer peine del carro.
- 97b: En la zona posterior del primer peine.

Almacén P

- 3Ba, 3Bb, 3Bc, 3Bd: Sobre la parte inferior del carro, en la barra.
- 3Be: Sobre el bastidor.
- 4Ba, 4Bb: Sobre el bastidor
- 4a: Zona posterior, marco inferior.
- 4b: Sobre la barra del carro

RESULTADOS. ANÁLISIS DEL AIRE

Sala M

El grado de contaminación fúngica y bacteriana del aire en las salas de exhibición en presencia y ausencia de visitantes, se muestra en las [F. 04 y 05]. Los valores representados indican, en general, una contaminación bacteriana mas elevada que la correspondiente a organismos fúngicos. Comparativamente, se aprecia que la presencia de escasos visitantes, en un rango de 6-10, incrementa la contaminación fúngica con respecto a la sala en situación de museo cerrado al público [F. 06 y 07].

Los análisis realizados en presencia ocasional de un grupo de visitantes en el día en que el museo permanece cerrado al público, martes, mostraron paradójicamente, un desarrollo menor de CFUs/m³, comparados con la sala en ausencia de visitantes. Este resultado puede atribuirse a las condiciones específicas del museo durante la fecha de la toma de muestras. Se observó que otras salas, próximas a la Sala M, estaban siendo pintadas y preparadas para exhibición de obra. El efecto de los volátiles (posiblemente formaldehído entre otros) ha podido influir en el escaso desarrollo de contaminantes microbianos detectados.

La variabilidad de contaminantes que se observa en cada punto de toma de muestras, está relacionada con el impacto de la ventilación y de las circunstancias específicas acaecidas durante el momento en que se realizaba la toma de muestras en particular. De todo ello se desprende que los resultados de los análisis microbiológicos del aire responden a una amplia casuística, donde confluyen muchos factores variables y, por lo tanto, es recomendable efectuar análisis periódicos para evaluar el impacto de las condiciones ambientales en las salas del museo.

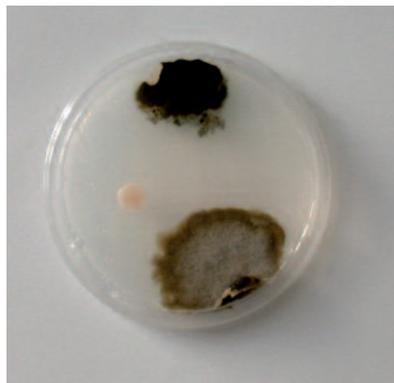
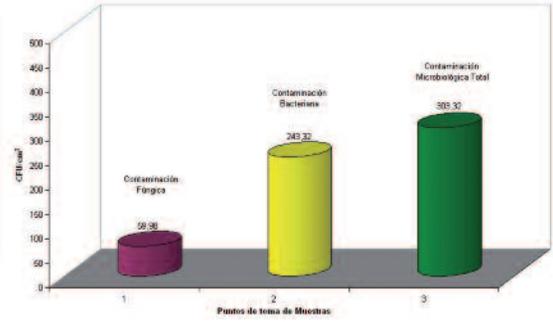
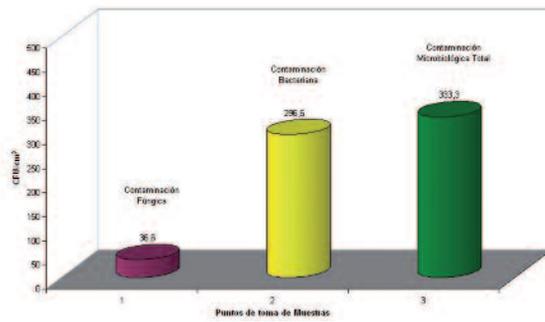
El mayor riesgo de biodeterioro viene reflejado por el parámetro CFU/m³, correspondiente a la contaminación fúngica. Está demostrado que los hongos ambientales comienzan a reproducirse cuando la humedad relativa (HR) del aire supera el 65%, la temperatura supera los 18°C y las renovaciones de aire de las salas son deficientes. Por el contrario, las bacterias necesitan una HR superior al 90% para su desarrollo.

F. 04. Izquierda
Contaminación microbiológica en Sala M
en ausencia de visitantes

F. 05. Derecha
Contaminación microbiológica en Sala M
en presencia de escasos visitantes (rango de 6-10)

F. 06. Centro
Contaminación fúngica y bacteriana en Sala M
en ausencia de visitantes

F. 07. Abajo
Contaminación fúngica y bacteriana en Sala M
en presencia de escasos visitantes (rango de 6-10).

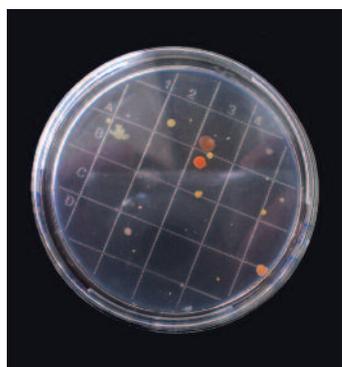
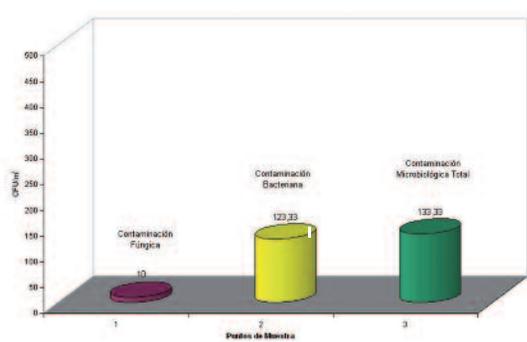
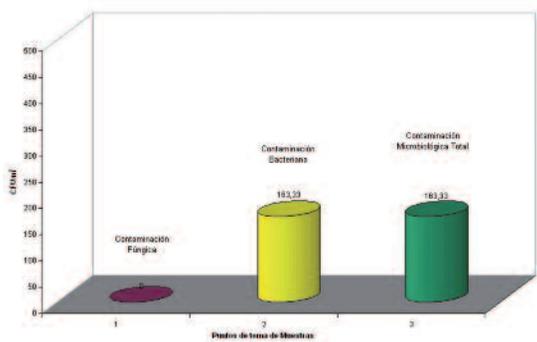


F. 08. Izquierda
Contaminación microbiológica en Sala P
en ausencia de visitantes

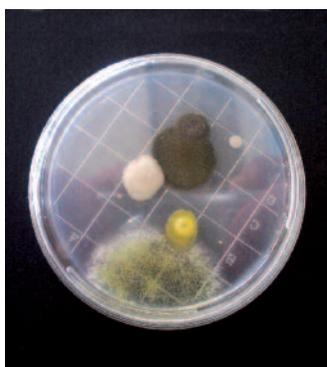
F. 09. Derecha
Contaminación microbiológica en Sala P
en presencia de visitantes (rango de 30-36)

F. 10 A
Contaminación bacteriana en Sala P
en ausencia de visitantes

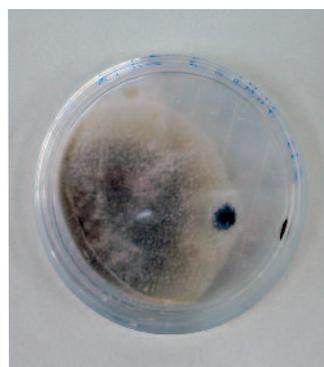
F. 11 B / C
Contaminación microbiológica en Sala P
en presencia de visitantes (rango de 30-36)



A



B

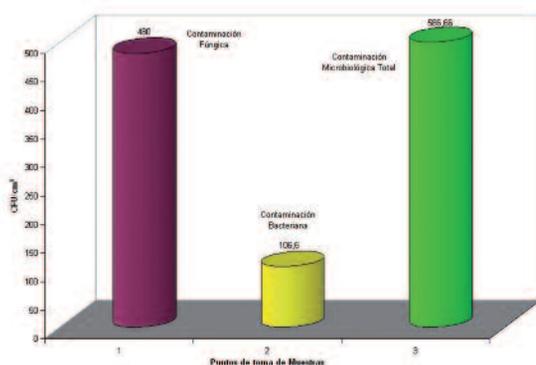


C

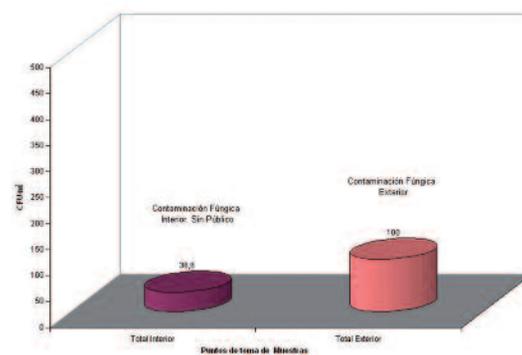
Sala P

En esta sala, se realizaron dos tomas de muestras, la primera se efectuó en ausencia de visitantes (martes, con el museo cerrado al público). La segunda toma de muestras se acometió minutos más tarde, aprovechando la entrada ocasional de un grupo de visitantes (aproximadamente 30-36 personas). Con ello se pretendió estimar la influencia que ese grupo podría tener en la contaminación ambiental. No obstante, en ambos casos, los resultados obtenidos indicaron una situación similar con respecto a la contaminación bacteriana, y ligeramente superior a la contaminación fúngica en el caso de presencia de visitantes, lo cual podría indicar que es preciso que la presencia de visitantes se mantenga durante un periodo de tiempo más largo para que la contaminación del aire varíe de forma significativa [F. 08, 09, 10 A y 11 B/C]. Asimismo, debe tenerse en cuenta que la muestra de aire que se toma no es homogénea, sino que depende del desplazamiento de la masa de aire inducida por la entrada del público.

F. 12
Contaminación microbiológica en el exterior del Museo



F. 13
Contaminación fúngica en el interior y exterior del Museo



CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN EL EXTERIOR DEL MUSEO

En todos los casos investigados, la contaminación microbiológica en el exterior del museo fue notablemente superior a la contaminación observada en las salas de exposición [F. 12 y 13].

El elevado número de CFU/m³ de hongos detectado en cada placa se corresponde con un escaso índice de CFU/m³ de bacterias. Ello puede ser atribuido a la competencia biológica de microorganismos en la misma placa, al tipo de medio de cultivo utilizado o a la alta concentración de esporas fúngicas en ese momento y lugar elegidos para la toma de muestras.

Los días de toma de muestras en el exterior, en la plaza donde se ubica el museo, correspondieron a días fríos, soleados y con alto índice de polución. Comparativamente, todos los análisis realizados en el exterior, tanto en 2006 como en 2008, reflejaron un elevado desarrollo de colonias fúngicas [F. 14 y 15].

La relación de contaminación fúngica exterior/interior del museo en la Sala M, en presencia y ausencia de visitantes, expresada en órdenes de magnitud se indica en la [Tabla 02].

TABLA 02 CONTAMINACIÓN FÚNGICA EXTERIOR- INTERIOR EN SALA M			
Días de toma de muestras	Exterior CFU/m ³	Interior Sala CFU/m ³	Relación Exterior-InteriorCFU/m ³
04.11.2008	100	36,6 <i>Ausencia de visitantes</i>	Ext.=2,9 Int.
14.11.2008	480	59,98 <i>Escasos visitantes</i>	Ext.=8 Int.

Se puede apreciar que los días con alto índice de contaminación exterior, existe un efecto sobre la contaminación microbiológica fúngica interior y subió de un 36,6 CFU/m³ a 59,9 CFU/m³, lo que supone un 63,8% de aumento fúngico.



ANÁLISIS DEL AIRE EN ALMACENES

Se han tomado como modelo dos almacenes del edificio Sabatini, Almacén M y Almacén P. Son salas equipadas con el mismo sistema de peines, pero de tamaños y características muy diferentes. El Almacén P, a pesar de su menor superficie en planta (78 m²) frente a los 360 m² del Almacén M, conserva el techo abovedado de ladrillo, característico del antiguo edificio. El Almacén M posee un techo considerablemente más bajo y plano, consecuencia de la remodelación efectuada en su momento.

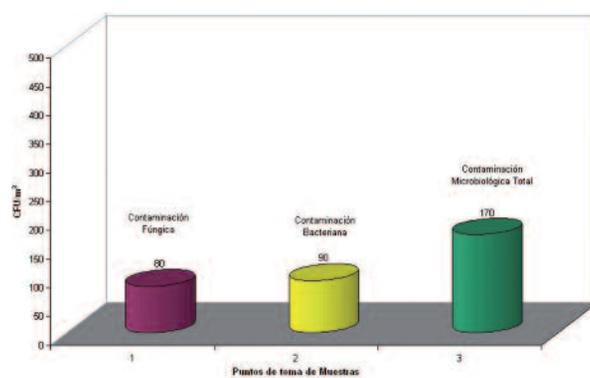
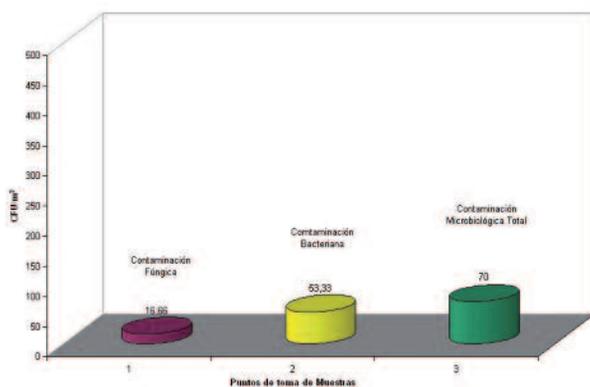
Los datos relacionados con la calidad del aire muestran una contaminación fúngica y bacteriana menor en el Almacén M [F. 17, 18 y 19]. La causa puede ser, entre otras, una renovación del aire más adecuada y mejor acondicionamiento de las obras (los peines son similares, pero el espacio es más pequeño). Considerando que la contaminación fúngica es más peligrosa para la conservación de los

F. 16
Contaminación microbiológica en el Almacén M

F. 17
Contaminación microbiológica en el Almacén P

F. 18
Contaminación fúngica y bacteriana en Almacén M

F. 19
Contaminación fúngica y bacteriana en Almacén P



materiales que el desarrollo bacteriano, se precisa revisar el impacto del aire acondicionado y las condiciones específicas de almacenamiento de las colecciones en el Almacén P, donde hubo mayor desarrollo de micetos celulolíticos, posiblemente condicionado por la diferente naturaleza de los paramentos en este espacio.

PARÁMETROS ESTÁNDARES DE CONTAMINACIÓN

Desde un punto de vista comparativo, los resultados correspondientes a las contaminaciones de las salas y almacenes han sido siempre inferiores a los que se apreciaron en el exterior del edificio, lo cual es un dato favorable para la conservación de las obras de arte depositadas en el Museo.

Según la literatura existente al respecto (normas UNE EN 100-012 de higienización), se considera que la suma de CFU/m³ de hongos y bacterias determinado debe ser inferior a 800 para que se considere área libre de riesgo microbiológico, siempre que las condiciones ambientales estén dentro de los estándares establecidos como seguros para las obras de arte, 50±5 HR%, 20±2°C. Con relación a estas normas, surgen

controversias señalando que los límites de CFU/m³ deben considerarse independientemente para bacterias y para hongos. En este caso, el número de CFU/m³ para bacterias en salas tomadas como modelo, con adecuadas condiciones de limpieza y ventilación, está en torno a 500 CFU/m³. En otros casos, los límites de riesgo se establecen para hongos, 100 CFU/m³ y de 1.000 CFU/m³ para bacterias. Debe tenerse en cuenta que estos parámetros se han establecido para ámbitos diferentes de aquellos relacionados con el Patrimonio Histórico. Ello indica que una revisión y adaptación es imprescindible. No obstante, en base a los datos expuestos, puede considerarse que los valores de CFUs/m³ obtenidos para las salas de exhibición del Museo y Almacén M, indican una situación de bajo riesgo para las colecciones.

IDENTIFICACIÓN DE LOS MICROORGANISMOS AISLADOS

Todos los espacios analizados, Sala M, Sala P, y Almacenes han presentado una tipología de microorganismos similar. Entre los hongos más frecuentemente aislados se han identificado diferentes especies correspondientes a los géneros *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Curvularia*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Alternaria*, y en menor número, se han detectado, *Actinomyces*, bacterias fungáceas.

Con respecto a los contaminantes bacterianos mayoritarios se han identificado organismos correspondientes a *Micrococcus roseus*, *Micrococcus luteus*, *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis* y en menor número, *Streptococcus sp.*

La velocidad de crecimiento de las colonias fúngicas y bacterianas en las placas de Petri indica una alta viabilidad de las esporas capturadas con el equipo de muestreo. Atendiendo a este aspecto, se observa que el desarrollo de microorganismos procedente de las muestras tomadas en el exterior del edificio fue particularmente rápido. En la Sala M y Sala P, la velocidad de crecimiento se caracterizó por un lento desarrollo, especialmente en el caso de los hongos aislados.

Penicillium ha sido el género más abundante en los hongos aislados procedentes del exterior. *Cladosporium* ha sido el hongo más frecuente detectado en las salas y almacenes del Museo. Estos resultados concuerdan con estudios de aerobiología interior/exterior realizados en edificios con problemas de biodeterioro [3]. Con respecto a las bacterias, se indica una similitud de rangos de frecuencia tanto en el exterior como en el interior, con respecto a los géneros mayoritarios, *Bacillus* y *Micrococcus*.

En los análisis efectuados se aprecia una presencia minoritaria de microorganismos potencialmente patógenos para la salud de las personas como sería el caso de detectar *Aspergillus*, o *Actinomyces*, frecuentes contaminantes en materiales históricos [4]. (Salkinoja-Salonen, 2003)

[3]
Räty, 1994.

[4]
Salkinoja-Salonen, 2003.

FRECUENCIA DE ESPECIES FÚNGICAS

De todas las muestras de aire analizadas hemos encontrado siempre mayor porcentaje de contaminación fúngica en el exterior que en el interior de la Sala M. Fundamentalmente, esto se debe a la presencia siempre mayoritaria de la especie *Penicillium*, siendo *Cladosporium* y el resto de micetos

F. 20

Contaminación microbiológica de superficie en suelo (Sala M)

(*Curvularia*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Fusarium*) menos abundantes. En la Sala P y Almacenes el predominio de *Penicillium* y *Cladosporium* es similar, pero ambos se desarrollan en mayor número que el resto de las especies [Tabla 03].

TABLA 03 PORCENTAJE DE ESPECIES FÚNGICAS MAYORITARIAS AISLADAS EN EXTERIOR Y EN SALAS			
% Especies Fúngicas	Exterior CFU/m ³	Sala M CFU/m ³	Sala P CFU/m ³
% <i>Penicillium</i>	84-85	45-46	32-33
% <i>Cladosporium</i>	5-6	18-19	32-33
% Otros	1-3	9-19	—

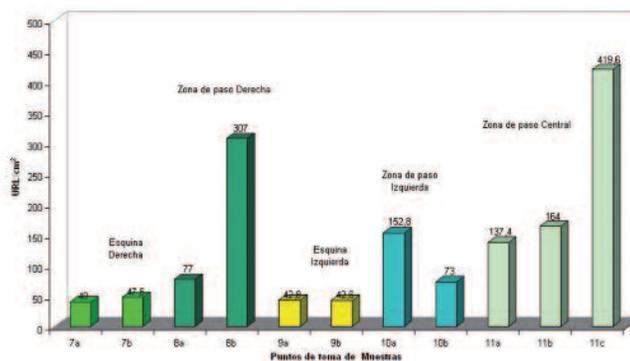
CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA EN MUESTRAS DE SUPERFICIE. RESULTADOS OBTENIDOS

Sala M

Todos los análisis de superficie se han realizado en ausencia de visitantes. La técnica utilizada, de bioluminiscencia, permite cuantificar la presencia de organismos microbiológicos en una unidad de superficie (aproximadamente 4 cm²).

La técnica de bioluminiscencia permite detectar las zonas con mayor contaminación debida al paso de los visitantes y a rugosidades o imperfecciones del suelo, donde se acumulan más polvo y microorganismos. Así, la [F. 20] muestra una mayor contaminación en el área central de la Sala M (mayor paso de público), así como en la zona de paso correspondiente al área derecha de la sala. Los mismos puntos analizados con posterioridad, transcurridas seis semanas, mostraron en esa ocasión un grado de contaminación muy similar en todos los puntos analizados, con un valor de URL/cm² en un rango de 250 – 300 URL/cm².

Las tomas de muestras de superficie, efectuadas a partir del reverso de cuadro en Sala M, indican un índice moderado de microorganismos en la zona posterior derecha. Por el contrario, la zona inferior del bastidor y el borde inferior indican un número de contaminantes superficiales reducido [F. 21]. Debe tenerse en cuenta que el número de microorganismos cuantificados no indica una actividad deteriorante siempre que la humedad ambiental sea inferior al 60% y exista una adecuada ventilación. El valor de URL muestra un riesgo potencial de deterioro.



F. 21

Contaminación microbiológica en muestras de superficie.
Reverso de cuadro Sala M

F. 22

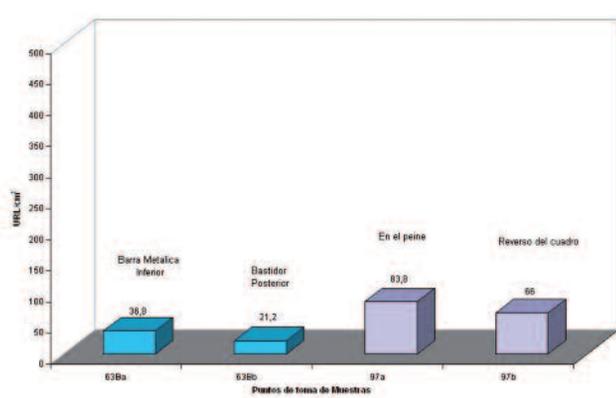
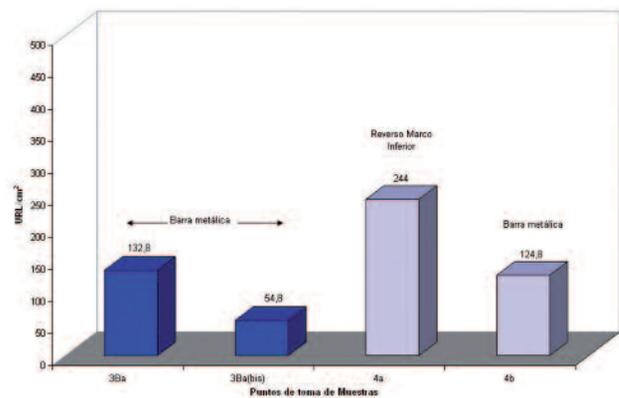
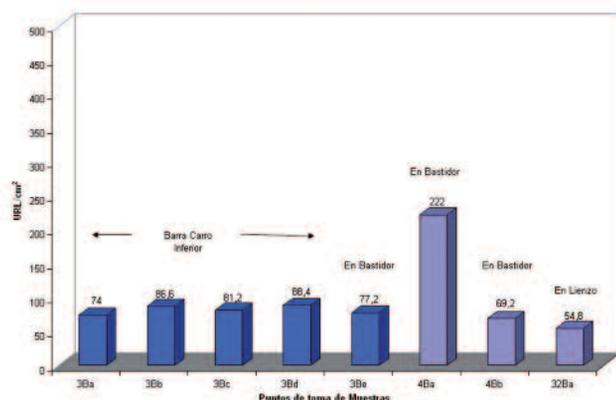
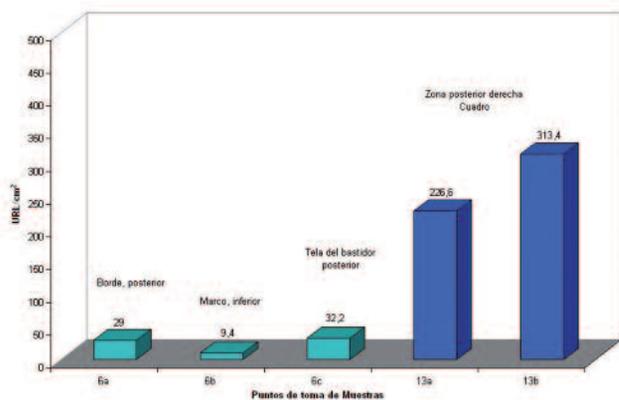
Contaminación de superficie en peines, bastidores y reverso de lienzo, ubicados en Almacén P

F. 23

Contaminación de superficie en peines, bastidor y lienzo, ubicados en Almacén P

F. 24

Contaminación de superficie en peines, bastidor, marco y reverso de lienzo, ubicados en Almacén M



ALMACENES. CONTAMINACIÓN DE SUPERFICIE EN PEINES Y MARCO DE LIENZO UBICADOS EN ALMACÉN M Y P

Con relación al Almacén P, las [F. 21 y 22] muestran una presencia minoritaria de microorganismos en las barras metálicas de los bastidores, lo que induciría a esperar una mayor presencia de microbios. Los reversos de los marcos y de los bastidores analizados han indicado una mayor presencia de microorganismos. Ello se atribuye a la naturaleza orgánica del soporte, sustrato más susceptible a la colonización de microorganismos. También se observa que el reverso del lienzo analizado muestra una baja incidencia de microorganismos. Sería preciso confirmar si ha sido limpiado, o tratado recientemente, o simplemente se debe a que se trata de una superficie colocada en vertical, mientras que en el bastidor se han tomado las muestras en superficies horizontales donde se acumula el polvo y las esporas con mayor facilidad.

En el Almacén M, con respecto a marcos y reverso de lienzos analizados, se aprecia una contaminación, en líneas generales, más baja que las observadas en los objetos correspondientes al Almacén P [F. 23 y 24]. Todo ello, unido a los datos de contaminación del aire de ambos Almacenes, parece confirmar un mayor riesgo de biodeterioro en el almacén P que en el M.

CONCLUSIONES

Se observa un grado de contaminación bacteriana superior al fúngico en la atmósfera de las salas de exposición analizadas, tanto en presencia como en ausencia de visitantes. Habida cuenta de que las bacterias necesitan mayor humedad relativa que los hongos para su desarrollo, los resultados obtenidos son positivos para la conservación de las obras de arte.

Con relación a los almacenes, se aprecia una contaminación del aire superior en el Almacén P. En este almacén, el número de CFU/m³ del aire se aproxima al límite establecido convencionalmente, 100 CFU/m³. Ello indica la necesidad de revisar las condiciones ambientales, incluida la ventilación, renovación de aire teniendo en cuenta la altura de los techos, limpieza, etc.

En todos los casos, el grado de contaminación microbiológica, incluyendo hongos y bacterias, en el interior del Museo ha sido notablemente inferior al obtenido en los análisis realizados en el exterior del Museo, especialmente en lo que se refiere a los CFU/m³ de organismos fúngicos. Ello indica que la climatización del Museo y los filtros del aire acondicionado, en las fechas de las tomas de muestras, operaban razonablemente bien.

Las tomas de muestras realizadas en presencia de visitantes deben realizarse en los momentos de máxima afluencia de público y a última hora de la tarde para obtener resultados significativos.

Los días en los que el Museo permanece cerrado al público, confluyen una variabilidad de parámetros ambientales que influyen en la heterogeneidad de los resultados obtenidos con respecto al grado de contaminación del aire. Esos días se apreciaron algunas variaciones en las condiciones generales en algunas áreas, tales como que las paredes de algunas salas estaban siendo pintadas (con lo que la presencia de ciertos componentes emitidos puede contribuir a decrecer el desarrollo de microorganismos), se movilizaba obra que iba a ser expuesta o trasladada, por lo que el flujo de aire puede ser heterogéneo y, en ocasiones, puede aumentar el nivel de polvo durante el acondicionamiento de las salas. Todos estos factores deben ser tenidos en cuenta y su impacto, reducido tanto como sea posible.

El tipo de contaminantes fúngicos y bacterianos identificados, muestran una similitud de géneros tanto en el exterior como en el interior del Museo. Desde el punto de vista cuantitativo, se aprecia una notable diferencia en cuanto a la proporción de colonias de *Penicillium*, *Cladosporium* y *Alternaria* aisladas del exterior con respecto al interior.

La técnica utilizada para estimar el número de microorganismos por cm² de superficie, bioluminiscencia, ha resultado eficaz para evaluar los puntos de riesgo potencial de contaminantes. Por medio de los análisis realizados, se observa la incidencia del paso de visitantes, la acumulación de microbios

reverso de marcos, lienzos, diferentes puntos de los peines e indica los puntos de riesgo potencial de biodeterioro.

En los almacenes se observa, en general, una menor contaminación biológica en barras metálicas de peines, aún a pesar de la capa de polvo existente, que haría esperable un resultado opuesto. También se aprecia una mayor presencia de microbios en la superficie de materiales orgánicos sin capa de polvo visible. Las traseras de lienzos no muestran una presencia significativa de microbios.

En el exterior del edificio se ha detectado una alta contaminación fúngica, posiblemente atribuida a humedad relativa del aire elevada en esas fechas (en un rango 68-73%).

Los puntos de riesgo de contaminación han quedado reflejados por la mayor presencia de microorganismos en determinadas áreas de las Salas y en algunos elementos expositivos. También han variado con la presencia y circulación de visitantes, los cuales actúan como vectores de microorganismos.

Con el presente trabajo se pretende establecer un factor de riesgo potencial de biodeterioro específico para las condiciones ambientales y características del Museo, que podrá ser aplicado en sucesivos estudios de calidad del aire y puede constituir una herramienta útil para la conservación preventiva de las colecciones del Museo.

Debe tenerse en cuenta que todos los análisis efectuados corresponden a una toma de muestras efectuada en un momento concreto, bajo unas condiciones específicas. Por esta razón, es adecuado y conveniente realizar seguimientos frecuentes de la contaminación del aire y de superficie, para obtener resultados significativos y establecer medidas de control correctas.

Para una próxima etapa, en este estudio de calidad del aire, se pretende que los métodos puestos a punto en el edificio Sabatini sean aplicados al nuevo edificio Nouvel, proyectado y acondicionado de forma diferente.

BIBLIOGRAFÍA

- PORTA, E. "El aire acondicionado no es una solución es el problema". En: *XII Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*. Alicante: 1998, pp. 61-73.
- MAEKAWA, S. y GARCIA MORALES, M. "Low-Cost Climate Control System for Museum Storage Facility on Tenerife Island". En: *PLEA2006: 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Ginebra, 2006. Disponible en: http://www.unige.ch/cuepe/html/plea2006/Vol1/PLEA2006_PAPER526.pdf
- MAEKAWA, S. y TOLEDO, F. "Sustainable Climate Control for Historic Buildings in Hot and Humid Regions". En: *Renewable Energy for a Sustainable Development of the Built Environment: Proceedings: 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Florianópolis, SC, Brasil. F. O. R. Pereira, R. Ruther, R. V. G. Souza, S. Afonso, y J. A. B. da Cunha Neto (ed.). Florianópolis: PLEA 2001 Organizing Committee, 2001, pp 475-84.
- VALENTIN, N. "Microbial Contamination in Museum Collections. Organic Materials". En: *Molecular Biology and Cultural Heritage. Proceedings of the International Congress on Molecular Biology and Cultural Heritage*. Sevilla: Ed. Balkema Publishers, 2003.
- VALENTIN, N. *Microbial Contamination in Archives and Museums: Health Hazards and Preventive Strategies Using Air Ventilation Systems Contribution to the Experts*. Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies. Tenerife: 2007. Disponible en: HYPERLINK "https://correo.mcu.es/exchweb/bin/redir.asp?URL=http://www.getty.edu/conservation/science/climate/climate_experts_roundtable.html" \t "_blank"
http://www.getty.edu/conservation/science/climate/climate_experts_roundtable.html
- UNE EN 100-012 Normas de higienización. Disponible en: <http://ingenieriahospitalaria.com%20U%Pico.ppt>
- RÄTY, K.; RAATIKAINEN, O.; HOLMALAHTI, J.; WRIGHT, A.; JOKI, S.; PITKÄNEN, A.; SAANO, V.; HYVÄRINEN, A.; NEVALAINEN, A. y BUTI, I. "Biological Activities of Actinomycetes and Fungi Isolated from the Indoor Air of Problem Houses". *Internacional Biodeterioration & Biodegradation* (1994), pp. 143-154
- SALKINOJA-SALONEN, M. S.; PELTOLA, J. y ANDERSSON, M. A. "Microbial Toxins in Moisture Damaged Indoor Environment and Cultural Assets". En: *International Congress on Molecular Biology and Cultural Heritage. Proceedings of the International Congress on Molecular Biology and Cultural Heritage*, 4-7 marzo 2003. Sevilla: ed. C. Saiz-Jimenez, 2003, pp. 93-105.

CURRÍCULUM VITAE

NIEVES VALENTÍN RODRIGO

Doctora en Ciencias Biológicas por la Universidad Complutense de Madrid. (1978). Desde 1972, responsable del Laboratorio de Biodeterioro de Materiales Orgánicos del Instituto del Patrimonio Cultural de España, Ministerio de Cultura. Especialista en sistemas de control y prevención de agentes biológicos en bienes culturales.

CARMEN MURO GARCÍA

Doctora en Ciencias Químicas por la Universidad Autónoma de Madrid (1986). Desde 1992, responsable del Laboratorio de Química del Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía. Especialista en análisis de materiales para la conservación y prevención de patrimonio cultural.

JULIA MONTERO DELGADO

Licenciada en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid (1991). Desde 2008, Técnico de Laboratorio del Instituto del Patrimonio Cultural de España.