

## Los microorganismos y el arte

---

Mariano Gacto<sup>1</sup> & Marina Gacto<sup>2</sup>

1 Departamento de Genética y Microbiología, Facultad de Biología, Universidad de Murcia, Murcia

2 Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, Madrid.

Correspondencia

M. Gacto

E-mail: maga@um.es

**Recibido:** 1 septiembre 2011

**Aceptado:** 11 noviembre 2011

**Publicado on-line:** 9 diciembre 2011

### Resumen

El presente trabajo muestra algunos datos sobre la acción silenciosa de los microorganismos en las obras de arte para resaltar la existencia de efectos a menudo ignorados y para introducir el desarrollo de algunas técnicas innovadoras en el área de la conservación y la restauración. Se espera que las obras de arte duren siglos o milenios, pero la protección frente al ataque microbiano puede no ser tan duradera a menos que se conozcan los principios que permiten establecer resistencias a la colonización microbiana. A la vez que los microorganismos pueden contribuir al deterioro de las obras de arte, el mundo microbiano también ofrece recursos para su conservación.

**Palabras clave:** Microorganismos, Arte, Restauración.

*Microorganisms and art*

### Abstract

The aim of this essay is to draw some brushstrokes on the silent action of microorganisms upon art works to highlight the existence of effects often disregarded and to introduce recent developments of new techniques in the area of art preservation and restoration. We expect the life span of art works to be on the orders of centuries or millennia. However, this may be unrealistic unless the principles of microbial colonization become more fully known. Together with mechanisms of degradation, the microbial world also offers resources for art work restoration.

**Key words:** Microorganism, Art, Restoration.

### Introducción

A primera vista, la relación entre Microbiología y arte puede pasar tan desapercibida como resulta inadvertida la existencia misma de los microorganismos. Sin embargo, existe una íntima vinculación entre los orígenes de la Microbiología y el arte. No es una casualidad irrelevante que el holandés Antonie Van Leeuwenhoek, considerado padre de la Microbiología por el descubrimiento de los microorganismos y su afición a la observación microscópica, mantuviera una estrecha asociación con el gran pintor Johannes Vermeer (Shklar, 1998; Klitzman, 2006). Uno de los retratos más difundido de Van Leeuwenhoek es el del per-

sonaje central del cuadro titulado “*El geógrafo*”, pintado por Vermeer, y para el cual el científico holandés posó como modelo (Fig. 1). Vermeer era amigo íntimo del descubridor de los microorganismos, hasta el punto de que, a la muerte del pintor, Van Leeuwenhoek fue su albacea testamentario. Se sospecha que Vermeer, alabado por dominar las técnicas de la luz y de la perspectiva, utilizaba una cámara oscura como instrumento para proyectar las imágenes de sus modelos sobre la superficie plana de sus lienzos a través de lentes que le proporcionaba precisamente el propio Van Leeuwenhoek. Esta relación ilustra que, de algún modo, el arte está relacionado con el inicio mismo de la ciencia que se ocupa del conocimiento de las

actividades microbianas.

## El principio de infalibilidad microbiana

Con excepción de la música y la danza, el impacto de los microbios en el resto de las artes clásicas – arquitectura, escultura, pintura y literatura- es notable. Incluso en lo que respecta a la música, la acción de microorganismos patógenos podría considerarse también destacable, pues cercenó la vida de ilustres genios musicales. En este contexto, basta con citar la muerte de Tchaikowsky por el agente del cólera, la de Chopin por el de la tuberculosis, la de Schubert por el de la sífilis o la de Beethoven por el de la neumonía.

Muchos de los tesoros culturales tienen un sustrato material orgánico que en determinadas condiciones permite el desarrollo de microorganismos con su consiguiente deterioro y desintegración. El reconocido protagonismo de los microorganismos en el envejecimiento generalizado de libros, manuscritos y documentos impresos, debido a bacterias y hongos, se superpone a otras modificaciones que estos seres invisibles pueden llevar a cabo de modo sutil sobre los soportes de otras manifestaciones artísticas que solemos considerar más du-



Figura 1. El geógrafo, pintura realizada entre 1668 y 1669 por Johannes Vermeer (Colección del museo Städel, Frankfurt, Alemania)

Figure 1. The geographer, painting performed between 1668 and 1669 by Johannes Vermeer (Städel museum, Frankfurt, Germany).

raderas. Esta capacidad deriva de la existencia entre el mundo microbiano de una amplia batería de enzimas hidrolíticas capaces de degradar un extenso conjunto de sustratos naturales. Por ejemplo, la despolimerización de la celulosa del papel y sus derivados, o la de elementos antes utilizados para la encuadernación, como el engrudo de almidón o la cola animal, posibilita la alteración de volúmenes originales que contienen páginas inmortales de nuestra literatura universal (Capitelli et al. 2010). Esta acción degradativa de los microorganismos proporciona los monómeros estructurales que utilizan ellos mismos en su metabolismo como fuente de carbono y energía durante su crecimiento (Madigan et al. 2009). Los lienzos de las manifestaciones pictóricas más renombradas, formados por entrecruzamiento de fibras de celulosa, son igualmente susceptibles de alteración por la acción microbiana, y un deterioro similar ocurre sobre papiros y pergaminos a causa de la extendida distribución de enzimas microbianos que actúan sobre materiales de origen vegetal y animal. También la expresión artística sobre materiales inorgánicos, como el caso de la escultura o la arquitectura, puede verse afectada por acción de bacterias quimiolitotrofas.

Estos principios se extienden a muchos tipos de sustratos y reflejan en parte la denominada “teoría de la infalibilidad microbiana”, según la cual en la naturaleza no existe ninguna substancia natural que escape a la degradación potencial por parte de algún miembro del mundo de los microorganismos (Schaechter et al. 2006). En muchas ocasiones, el tratamiento con agentes antimicrobianos ayuda a paliar los destrozos inducidos. En otros, como en el daño provocado por la presencia de microorganismos fotosintéticos que dañan las pinturas de catacumbas y cuevas, la simple eliminación de luz blanca comercial y el empleo alternativo de lámparas luminosas con longitudes de onda escasamente absorbidas por ellos elimina en gran medida el deterioro (Roldan et al. 2006). Sólo la reciente introducción en el mundo del arte de materiales sintéticos permite de momento liberar a los sustratos artísticos de esta ley de la naturaleza.

## Historia, objetos religiosos y milagros

Con frecuencia, la presencia inexplicable de sangre ha convertido a obras de arte religioso en ob-

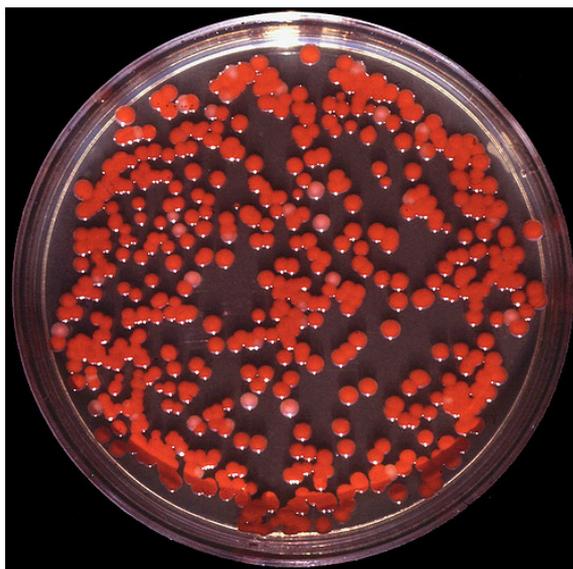


Figura 2. Colonias rojas pigmentadas de la bacteria *Serratia marcescens* (fotografía por M. Vicente, 2008)

Figure 2. Red-pigmented colonies of the bacteria *Serratia marcescens* (photograph by M. Vicente, 2008)

jetos de veneración. Hechos de esta naturaleza se recogen en crónicas antiguas, en creencias populares y, a veces, hasta en los medios actuales de comunicación. A este respecto, es digna de atención la capacidad de algunas bacterias para formar pigmentos en obras artísticas. Entre las más comunes destaca *Serratia marcescens*, una bacteria heterotrofa que crece sobre restos de materia orgánica. Sus colonias son rojas, pueden verse con facilidad a simple vista, y guardan una llamativa semejanza con gotas de sangre (Fig. 2). Los microbiólogos han dado a los pigmentos producidos por esta bacteria el sugestivo nombre de “prodigiosinas”, dada su relación causal con algunos sucesos aparentemente milagrosos, como los episodios de esculturas o imágenes de cuadros que parecen llorar sangre.

Desde la antigüedad, este fenómeno ha causado una confusión considerable y equívocos en páginas importantes de la historia. Sin embargo, la transición desde la superstición medieval a la ciencia actual marca el paso del fanatismo y la ignorancia al conocimiento. Algunos hechos envueltos por las brumas del tiempo tienen raíces que se extienden hasta la antigüedad clásica. Por ejemplo, la aparición de “sangre” en el pan del ejército de Alejandro Magno durante el cerco de Tiro, fue interpretada por el adivino Aristander como signo de una cercana y sangrienta victoria para los macedonios. Sin embargo, una interpretación más ló-

gica sugiere que se trataba de una simple contaminación por *Serratia* (Reid 1935, Bennett 2000). Por otro lado, esta misma bacteria pudo ser la protagonista de los milagros de transustanciación que condujeron al papa Urbano IV a la institución de la festividad del Corpus Christi por medio de la bula *Transiturus de hoc mundo*. Este pontífice asistió en 1263 a una misa en que la hostia consagrada parecía estar sangrando. Tal suceso quedó plasmado en el excelente fresco “La Misa de Bolsena”, pintado por Rafael en las estancias vaticanas, aunque el pintor de Urbino sitúa en escena a Julio II y no a Urbano IV (Pijoán 1951). Fenómenos similares se describieron en diversas áreas europeas durante la Edad Media. En particular, en el área de Prignitz, al noroeste del estado federal de Brandenburgo, muchos peregrinos veneraron durante siglos varias reliquias conteniendo gotas de la sangre de Cristo que, tras un análisis microbiológico, resultaron ser el producto de *Serratia marcescens* (Donalies 2004). Esta bacteria puede haber sido también responsable de otros milagros del pasado cuyos ecos llegan al presente. Los notables exudados de “sangre” en la estatua de la Madonnina delle Lacrime, en Civitavecchia, pueden corresponder a pigmentos microbianos. En ausencia de resultados forenses y analíticos, que incluyan técnicas modernas de determinación de las secuencias amplificadas del ADN presente en las muestras, no puede excluirse la existencia de presuntos fraudes (Palmirotta et al, 1998).

## Microorganismos y bio-deterioro

Desde hace tiempo los microorganismos se consideran agentes potenciales del biodeterioro de nuestra herencia cultural artística. Hacia la mitad del pasado siglo, el francés Pochon, un famoso microbiólogo del Instituto Pasteur, comenzó a destacar en sus publicaciones el papel de los microorganismos en el biodeterioro de los templos de Angkor y en diversos edificios parisinos (Krumbein y Pochon, 1964).

Sobre las paredes de muchos monumentos y otras obras de arte se desarrollan biopelículas o biofilms que están formados por grupos de microorganismos capaces de provocar pátinas y modificaciones indeseables en el sustrato. Entre esos grupos hay numerosos representantes de los denominados microorganismos quimiolitotrofos, que no necesitan materia orgánica para crecer y

que pueden proliferar a expensas de la oxidación de materia inorgánica. En consecuencia, esta propiedad los convierte en activos degradadores de las obras de arte. En el caso de los ambientes endolíticos prosperan también microorganismos fotosintéticos, como microalgas y cianobacterias, muchos de ellos adaptados a condiciones de escasa iluminación y entremezclados con organismos heterótrofos (Fig. 3). Las técnicas empleadas para el examen microscópico de estas muestras tan heterogéneas incluyen, con frecuencia, la microscopía de barrido láser confocal, la microscopía electrónica de barrido con electrones retrodispersados, la microscopía electrónica de transmisión y la espectroscopía. Todas estas metodologías aplicadas se complementan con estudios fisiológicos, proporcionando modos eficaces para determinar la presencia y viabilidad de las biopelículas y para diseñar estrategias de control que favorezcan la conservación del patrimonio (Hernández-Mariné y Roldán, 2008).

Las pinturas paleolíticas de las cuevas de Lascaux, de hace unos 15.000 años, representan una de las manifestaciones artísticas más antiguas de la humanidad y constituyen también un ejemplo emblemático del daño potencial que los microorganismos pueden causar al arte. Unos años después de su apertura al gran público, las cuevas de Lascaux se cerraron, como ocurrió con las de Altamira, tras apreciarse una degradación extrema en las pinturas debida a la acción microbiana. Ambas situaciones escenifican que los microorganismos

pueden producir daños estéticos y estructurales irreversibles en prácticamente cualquier tipo de obra de arte. Las pinturas, originalmente hechas a base de pigmentos inorgánicos mezclados con grasas animales ya mineralizadas, se habían ido cubriendo por una pátina de algas unicelulares, bacterias y hongos que se vio favorecida durante unas pocas décadas por la presencia contaminante de trabajadores y visitantes que pusieron en grave riesgo esta herencia cultural (Ciferri 1999, Bastian et al. 2009, Bastian et al. 2010).

Otros estudios del papel de los microorganismos en el deterioro de las pinturas rupestres de la cueva de Altamira revelan igualmente la gran importancia que tiene el control del crecimiento microbiano para preservar este ejemplo singular del patrimonio histórico (Portillo et al. 2008, Portillo y González 2009). En concreto, los análisis consistieron en determinar los microorganismos presentes y establecer las consecuencias previsibles de su proliferación sobre la conservación de las pinturas policromas del Paleolítico (Fig. 4). Mediante el uso de técnicas moleculares basadas tanto en ADN como en ARN para la detección de las comunidades microbianas existentes, los resultados revelaron la presencia de una amplia diversidad, detectándose prácticamente la totalidad de los tipos bacterianos conocidos y la existencia de interrelaciones metabólicas altamente complejas entre bacterias reductoras de sulfato, acidobacterias y crenarqueotas, entre otros grupos presentes. El desconocimiento del metabolismo exacto lleva-

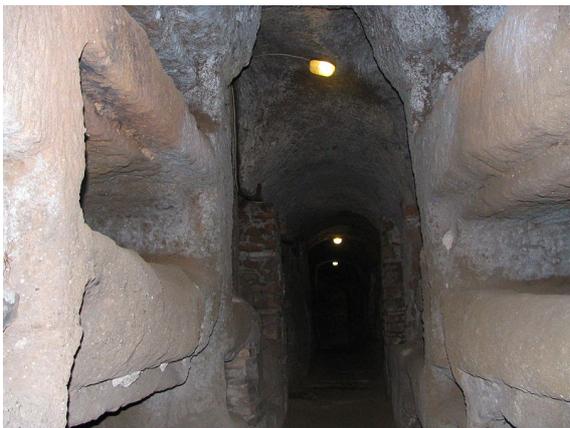


Figura 3. Catacumbas de San Calixto en Roma. Dos nuevas especies de bacterias (*Kribbella catacumbae* y *Kribbella sancticallisti*) provocan daños en los frescos de las paredes.

Figure 3. San Calixto catacombs in Rome. Two new bacteria species (*Kribbella catacumbae* y *Kribbella sancticallisti*) cause damage to wall frescoes.



Figura 4. Bidente pintado en la cueva de Altamira (Cantabria, España), donde se ha aislado una nueva bacteria (*Hoyosella altamirensis*) del orden Actinomycetales.

Figure 4. Bison painting in Altamira cave (Cantabria, Spain), where a new bacteria (*Hoyosella altamirensis*), pertaining to the Actinomycetales order, has been isolated.

do a cabo por muchos de los microorganismos hallados y la gran diversidad microbiana encontrada representa un serio riesgo para la conservación de este patrimonio histórico.

Como irónica contraprestación a los destrozos originados, estos ambientes epilíticos especializados constituyen una fuente singular que ha permitido revelar por primera vez la existencia de muchos microorganismos nuevos. Por ejemplo, *Paenibacillus sepulcri* es una bacteria descubierta en las degradadas pinturas murales de la tumba de Servilia en la necrópolis romana de Carmona (Sevilla), y *Halomonas muralis* fue inicialmente encontrada colonizando los muros de una capilla austríaca (Smerda et al., 2006; Heyrman et al., 2002).

### Lluvia ácida y microorganismos

La lluvia ácida se forma cuando la humedad del aire se combina con óxido de nitrógeno (NO) y con dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). La interacción de estos gases ambientales con el vapor de agua forma ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), que caen a la tierra en forma de precipitación inaparente o lluvia ácida. La lluvia normal presenta un pH ligeramente ácido debido a la presencia del CO<sub>2</sub> atmosférico que, al disolverse en el agua, forma ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) por lo que la lluvia ácida presenta un pH menor de 5, similar al pH del vinagre. Un efecto indirecto muy importante procedente de la lluvia ácida es que los protones de los ácidos lixivian ciertos iones de los elementos pétreos, generando así cationes de hierro, calcio, aluminio, plomo, zinc, etc, que pueden alterar la composición de los materiales inertes y tener gran incidencia en la formación y deposición de nuevas sales. Por otra parte la lluvia ácida también puede disolver directamente el carbonato cálcico (CaCO<sub>3</sub>), afectando de esta forma a los monumentos y edificaciones que contienen mármoles o calizas. Numerosas muestras de nuestro patrimonio artístico muestran señales de este deterioro progresivo (Fig. 5).

El origen de los gases que forman la lluvia ácida se suele relacionar de modo exclusivo con actividades antropogénicas. Sin embargo, se trata de un error que supone desconocer la existencia de causas adicionales en las que algunos microorganismos pueden tener un papel importante. Por ejemplo, hay bacterias que desprenden SH<sub>2</sub> y este



Figura 5. Columna de caliza con evidencias de deterioro debido a la lluvia ácida. A la izquierda se observa la disolución de la calcita y, a la derecha, la precipitación de yeso al reaccionar el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con el CaCO<sub>3</sub>. Facultad de Artes, Universidad Eötvös, Budapest (Foto cedida por M. Gómez-Heras).

Figure 5. Limestone column showing deterioration traits due to acid rain. At the left, dissolution of calcite and, at the right side, precipitation of gypsum as result of the reaction of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> with CaCO<sub>3</sub>. Faculty of Arts, University Eötvös, Budapest (Picture donated by M. Gómez-Heras).

compuesto se puede oxidar con el oxígeno atmosférico dando SO<sub>2</sub> que eventualmente puede pasar a H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> como se ha indicado antes. Además, existen bacterias desnitrificantes que generan NO originando así otro de los gases que reaccionan con el agua de lluvia convirtiéndola en ácida. Por fortuna, estos microorganismos suelen ser preferentemente anaerobios, lo que limita su presencia en muchos ambientes normales. No obstante, su actividad en nichos, cavidades o superficies poco aireadas puede conducir a efectos puntuales similares a los de una lluvia ácida localizada.

### Bacterias constructoras como agentes de bio-remediación

Como se ha indicado, el deterioro de piedras ornamentales, como el que afecta a materiales utilizados en escultura y en la construcción de edificios históricos o de nueva obra, se ve acentuado

en los últimos tiempos por el incremento de la contaminación ambiental y la lluvia ácida, especialmente en zonas urbanas y de gran industrialización. En los últimos años, y de forma creciente, se ha tomado conciencia de la importancia de este tipo de problemas, ya que en gran número de ocasiones se ha observado la paulatina degradación de piezas artísticas clave. Los tratamientos convencionales utilizados durante décadas anteriores, tanto inorgánicos como orgánicos, con frecuencia han dado pobres resultados debido a la falta de compatibilidad entre los carbonatos de la piedra o el material tratado y el material del tratamiento siendo, en muchos casos, incluso perjudiciales al provocar una acelerada alteración (Clifton, 1980).

Para borrar los efectos de este envejecimiento sobre los monumentos se han perfeccionado varias técnicas, como la microlimpieza con chorros de arena. Sin embargo, por estos procedimientos, la epidermis que protege la piedra se vuelve de nuevo frágil con el tiempo. Un intento de utilización de tratamientos más acordes con la naturaleza y propiedades de los materiales pétreos ha hecho que, recientemente, la atención se dirija hacia los biomateriales producidos por los seres vivos, generalmente carbonatos, y, de manera particular hacia los de origen bacteriano. Una alternativa moderna aplicable a los monumentos históricos es el proceso de biomineralización, y más concretamente la carbonatogénesis bacteriana.

Resulta sorprendente que no todos los microorganismos son perjudiciales para las obras de arte. Frente a la acción microbiana destructora que hemos considerado, existen también microorganismos que pueden ofrecer acciones de bioremediación dirigida a reparar las zonas dañadas del sustrato. Tales actividades pueden resultar muy útiles en la conservación del patrimonio artístico, particularmente en lo que se refiere a la escultura y la arquitectura. Por ejemplo, la biomineralización inducida puede ayudar en la restauración de grietas de estatuas o murallas, ya que hay bacterias capaces de mineralizar y rellenar estos surcos al alimentarlas con medios de cultivo que contengan sales de calcio en solución. Esta técnica de vanguardia se aplica actualmente en España, Francia e Italia y consiste básicamente en la aplicación de soluciones bacterianas sobre el sustrato lítico para producir microcristales permitiendo la restauración de áreas dañadas (Jurado 2010).

Utilizando la capacidad natural de muchas

bacterias no patógenas para formar carbonato cálcico se puede crear y moldear, artificial pero naturalmente, un velo protector de calcita en la superficie de la piedra con morteros a base de bacterias. En este sentido, se han desarrollado procesos de tratamiento con bacterias de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Proteus*, que permiten obtener una capa regenerada de unos cuantos micrómetros de espesor por carbonatogénesis. Más recientemente, y en esta misma línea, se ha descrito un tratamiento con *Myxococcus* que permite el desarrollo de un mayor grosor de la capa regenerada y una mejor protección y consolidación de las muestras tratadas (Rodríguez-Navarro et al., 2003) (Fig. 6).

En París, un equipo de la Universidad Pierre y Marie Curie, en colaboración con la Universidad de Nantes, ha pasado de las probetas a las obras de arte y ha patentado una cepa bacteriana con estas aplicaciones. En esencia, las bacterias se cultivan en una solución acuosa, se vaporizan sobre el soporte que se quiere tratar y se las alimenta con líquidos nutritivos. Empiezan entonces a proliferar y a producir carbonato cálcico. Cuando el medio nutritivo se agota las bacterias mueren, dejando endurecida la epidermis tratada. La bio-mineralización in situ se aplicó por primera vez en la iglesia de Saint-Médard de Thouars (Poitou-Charantes) y aun se pueden apreciar los efectos sobre una mejor impermeabilización de la piedra. Desde entonces se ha empleado esta tecnología en otros



Figura 6. Bioconsolidación bacteriana por aplicación de *Myxococcus xanthus* sobre sillares de monumentos en Granada (<http://www.andaluciainvestiga.com/espanol/noticias/10/6106.asp>), accedido 18/xi/2011)

Figure 6. Bacterial bioconsolidation treatment with application of a *Myxococcus xanthus*-inoculated medium on limestone of monument in Granada. (<http://www.andaluciainvestiga.com/espanol/noticias/10/6106.asp>), accessed 18/xi/2011)

edificios, como la catedral de Burdeos, o en edificios parisinos del XIX, de la época de Haussmann. Además, este tipo de restauración permite mezclar el concentrado de bacterias con el polvo de la piedra, formando un fluido para inyectar con jeringuilla la solución en la grieta o el agujero que se quiere rellenar. El resultado es que, al fabricar su propio carbonato cálcico, las bacterias aglomeran los granos para fabricar piedra, ya se trate de toba, cemento o ladrillo. Si se necesita una piedra coloreada, basta con administrar a las bacterias un pigmento natural adecuado. Un personaje del pórtico románico de Argenton-Château ha recuperado de este modo su hombro moldeado. La biomineralización está aún en sus primeros pasos, pero tiene un gran futuro por delante para proteger o prevenir (Ercole et al. 2007, Jroundi et al. 2010). Es un método ecológico, contrario al de las resinas hidrófugas empleadas para impermeabilizar la superficie de la piedra, que se sitúa dentro de los parámetros de la ética actual de conservación-restauración favoreciendo la conservación preventiva.

### Limpieza ecológica

La aplicación superficial de determinadas suspensiones de bacterias beneficiosas para degradar compuestos orgánicos (pegamentos) puede a veces permitir la restauración de las pinturas. La utilización de bacterias con el fin de “limpiar” obras de arte hace también posible la eliminación de las frecuentes incrustaciones negras formadas por sulfato cálcico hidratado y residuos de carbón mediante el uso de una cepa seleccionada de *Desulfovibrio desulfuricans* (Capitelli et al. 2006). La comparación de esta técnica biológica con la técnica química tradicional de limpieza demuestra que posee mucha más eficacia en la extracción de los sulfatos y que no causa daño a la integridad o al color de la piedra. Una estrategia similar permite, empleando una cepa de *Pseudomonas denitrificans*, la extracción y solubilización selectiva de las incrustaciones de nitratos (Sorlini y Capitelli 2008).

Otro problema que las bacterias son capaces de resolver es la eliminación de las pátinas de colas o pegamentos deteriorados que se separan de las paredes en el caso de los frescos. Esta bioaplicación es particularmente útil cuando la cola ha sido tratada con formaldehído, que origina el entrecruzamiento molecular de las proteínas que

componen gomas y pegamentos naturales, pues en estas condiciones el tratamiento con proteasas aisladas resulta ineficaz frente al tratamiento con células microbianas completas.

Los mecanismos de estas actividades bacterianas y los procedimientos seguidos para su utilización con vistas a la biolimpieza de obras de arte se han estudiado con detalle, por ejemplo, en los casos de la *Pietà Rondanini* de Michelangelo Buonarroti, en la fachada del Duomo de Milán, en la catedral de Matera y en un fresco de Spinello Aretino conservado en el cementerio monumental de Pisa (Antonioli et al. 2005). Esta última pintura del siglo XIV fue muy apreciada en su tiempo y elogiada por el propio Vasari. Cuando hace tres décadas hubo de ser retirada de su emplazamiento original debido a su mal estado, se cubrió temporalmente con un lienzo y con generosas capas de cola a la espera de su restauración. Al cabo de años, cuando los conservadores trataron de retirar el lienzo, ni el más agresivo tratamiento logró la separación del tejido protector ya que, durante el almacenamiento, se produjo una reacción que originó el entrecruzamiento de las fibras del paño y la formación de una masa proteica conjunta con la cola por la presencia del formaldehído usado como agente antibacteriano. Solamente el tratamiento con una suspensión de células de la bacteria *Pseudomonas stutzeri* fue capaz de digerir la masa endurecida y devolver a la vida el glorioso fresco de Spinelli, libre de su obligado burka. Este hecho, entre otros muchos, ejemplifica cómo a veces la Microbiología puede ayudar al arte.

### Los microorganismos y el “séptimo arte”

La gelatina emulsionante que sirve de soporte a la fotografía clásica y a los films de las películas de cine está formada por una mezcla de proteínas obtenida del colágeno de animales, lo que representa un alimento natural para muchas bacterias y hongos. En consecuencia, diversos microorganismos comunes pueden deteriorar la impresión y el color de las películas de celuloide y amenazan con su destrucción (Abrusci et al. 2004a, b). La introducción de técnicas más modernas de digitalización, en las que no interviene un soporte con matriz de este tipo, ha logrado evitar la pérdida de estas manifestaciones artísticas por degradación microbiana.

En otro orden de cosas, los microorganismos han contribuido al desarrollo del séptimo arte aportando escenas inmortales. La gangrena gaseosa del hospital sudeño en la película *Lo que el viento se llevó*, la lepra contraída por los familiares del protagonista en *Ben Hur* o en *Molokai*, la devastadora peste negra en *El séptimo sello*, el cólera que asola la ciudad de los canales en *Muerte en Venecia* o el virus del SIDA en la reciente *Philadelphia*, constituyen algunos ejemplos relevantes de cómo los microorganismos han servido ocasionalmente de importante fondo argumental a esta manifestación de la creatividad humana (Sánchez, 2010).

## Agradecimientos

Queremos agradecer a Miguel Gómez Heras, del Departamento de Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, la aportación de la fotografía de la figura 6.

## Referencias

- Abrusci C, Allen N.S., del Amo A, Edge M, & Martín-González A. 2004b. Biodegradation of motion picture films stocks. *Journal of Film Preservation* 67: 37-54.
- Abrusci C, Martín-González A, Del Amo A., Corrales, T & Catalina F. 2004a. Biodegradation of type-B gelatine by bacteria isolated from cinematographic films. *Polymer Degradation and Stability* 86: 283-291.
- Antonoli P, Zapparoli G, Abbruscato P, Sorlini C, Ranalli G & Righetti PG. 2005. Art-loving bugs: the resurrection of Spinello Aretino from Pisa's cemetery. *Proteomics* 5: 2453-2459.
- Bastian F, Alabouvette C, Jurado V & Saiz-Jimenez C. 2009. Impact of biocide treatments on the bacterial communities of the Lascaux cave. *Naturwissenschaften* 96: 863-8.
- Bastian F, Jurado V, Nováková A, Alabouvette C & Saiz-Jimenez C. 2010. The microbiology of Lascaux cave. *Microbiology* 156: 644-52.
- Benett JW. 2000. Seeing Red: The Story of Prodigiosin. *Advances in Applied Microbiology* 47: 1-32.
- Cappitelli F, Pasquarello G, Tarsitani G & Sorlini C. 2010. Scripta manent? Assessing microbial risk to paper heritage. *Trends in Microbiology* 18: 538-542.
- Cappitelli F, Zanardini E, Ranalli G, Mello E, Daffonchio D & Sorlini C. 2006. Improved methodology for bio-removal of black crusts on historical stone artworks by use of sulphate-reducing bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 72: 3733-3737.
- Ciferri O. 1999. Microbial degradation of paintings. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 879-85.
- Clifton, J.R. 1980. Stone Consolidating Material: A Status Report. En: *Conservation of Historic Stone Buildings and Monuments*. Dept. of Commerce, National Bureau of Standards. Washington D.C.
- Donalies C. 2004. Bemerkungen zu vermeintlichen Wunderstätten in der Prignitz zwischen. *Sociedad Alemana de Historia de la Neurología* (Bock W.J., Holdorff B., eds.) vol. 10, pp.2. Disponible en [http://www.dggn.de/PDF/Inhalt\\_10.pdf](http://www.dggn.de/PDF/Inhalt_10.pdf) (accedido en agosto 2011).
- Ercole C, Cacchio P, Botta AL, Centi V. & Lepidi A. 2007. Bacterially induced mineralization of calcium carbonate: the role of exopolysaccharides and capsular polysaccharides. *Microscopy and Microanalysis* 13: 42-50.
- Hernández-Mariné M & Roldán M. 2008. Characterization of photosynthetic biofilms causing biodeterioration. *Coalition* 15: 6-12
- Heyrman J, Balcaen A, De Vos P & Swings J. 2002. *Halomonas muralis* sp. nov., isolated from microbial biofilms colonizing the walls and murals of the Saint-Catherine chapel (Castle Herberstein, Austria). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 52: 2049-2054
- Jroundi F, Fernández-Vivas A, Rodríguez-Navarro C, Bedmar EJ & González Muñoz MT. 2010. Bioconservation of deteriorated monumental calcarenite stone and identification of bacteria with carbonatogenic activity. *Microbial Ecology* 60: 39-54.
- Jurado V. 2010. Los estudios de patrimonio como fuente de nuevas especies de microorganismos. *Publicaciones del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología del CSIC, Sevilla*. Disponible en [http://www.rtpnc.csic.es/Marie%20Curie%20Research%20Training/16\\_Jurado.pdf](http://www.rtpnc.csic.es/Marie%20Curie%20Research%20Training/16_Jurado.pdf) (accedido en agosto 2011).
- Klitzman R. 2006. Antonie Van Leeuwenhoek, FRS on Vermeer: a figment of the imagination. *FASEB Journal* 20: 591-594.
- Krumbein W & Pochon J. 1964. Bacterial ecology of altered stones of monuments. *Annales de l' Institute Pasteur* 107: 724-732.
- Madigan MT, Martinko JM, Dunlap PV & Clarck DP. 2009. *Biology of Microorganisms*. 12th edition. Pearson Education Inc., San Francisco, CA.
- Palmirotta R, Verginelli F, Cama A, Mariani-Costantini R, Frati L & Battista P. 1998. Origin and gender determination of dried blood on a statue of the Virgin Mary. *Journal of Forensic Science* 43: 431-434.
- Pijoán J. 1951. Rafael. *Summa Artis, Antología*, vol. V: La época del Renacimiento en Europa. Editorial Espasa, Madrid.
- Portillo MC, Gonzalez JM & Saiz-Jimenez C. 2008. Metabolically active microbial communities of yellow and grey colonizations on the walls of Altamira cave, Spain. *Journal of Applied Microbiology* 104: 681-691.
- Portillo MC, Saiz-Jimenez C & Gonzalez JM. 2009. Molecular characterization of total and metabolically active bacterial communities of "white colonizations" in the Altamira cave, Spain. *Research in Microbiology* 160: 41-47.

- Reid RD. 1936. Studies on Bacterial Pigmentation: I. Historical Considerations. *Journal of Bacteriology* 31: 205-10.
- Rodríguez-Navarro C., Rodríguez-Gallego M, Ben Chekroun K & Gonzalez-Muñoz MT. 2003. Conservation of ornamental stone by *Myxococcus xanthus*-induced carbonate mineralization. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 2182-2193.
- Roldán M, Oliva F, González del Valle M A, Saiz-Jiménez C & Hernández-Mariné M. 2006. Does Green Light Influence the Fluorescence Properties and Structure of Phototrophic Biofilms? *Applied and Environmental Microbiology* 72: 3026–3031.
- Sánchez, M. 2010. *Microbiología y Cine. Actualidad SEM*, 50: 42-46.
- Schaechter M, Ingraham JL & Neidhardt FC. 2006. *Microbe*. ASM Press, Washington DC.
- Shklar G. 1998. Leeuwenhoek and Vermeer, an association of genius. *Journal of the History of Dentistry*. 146: 53-57.
- Smerda J., Sedláček I, Páková Z, Krejčí E & Havel L. 2006 *Paenibacillus sepulcri* sp. nov., isolated from biodeteriorated mural paintings in the Servilia tomb. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* .56: 2341-2344.
- Sorlini C & Capitelli F. 2008. The application of viable bacteria for the biocleaning of works of art. *Coalition* 15: 18-20.