



TECNOLOGÍA

Biodeterioro en los entornos edilicios

OCTUBRE 1, 2025

*por Erasmo Gámez-Espinosa, Leyanet Barbería-Roque, Guillermo López, Katherine Igal, Natalia Bellotti **

Impacto en pinturas aplicadas y en el envase, estrategias de control y prevención.

Introducción:

El deterioro en los entornos edilicios es fomentado tanto por factores bióticos (hongos, bacterias, algas, plantas, insectos, etc.) como abióticos (humedad, radiación solar, lluvia, vientos, temperatura, poluentes químicos, etc.). Cuando nos referimos a biodeterioro específicamente apuntamos a los cambios producidos en las propiedades de los materiales por la

actividad vital de micro y macroorganismos. Tanto en los interiores como exteriores edilicios se manifiestan los efectos del crecimiento de los microorganismos por medio del manchado superficial de distintos materiales estructurales o de los recubrimientos protectores. El daño no solo es estético, sino que el desarrollo de las biopelículas conformadas por los microorganismos y sus productos extracelulares compromete la integridad de los materiales y afecta la salud de las personas expuestas, en especial, en ambientes de interior. Entre los microorganismos que se destacan por el deterioro manifestado en los entornos edilicios se encuentran los hongos filamentosos.

**CIDEPINT – Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas y Recubrimientos*

El deterioro fúngico produce cambios en las propiedades de un material a nivel físico, químico y estético, aunque no debe analizarse el fenómeno por separado, sino como una combinación de los distintos aspectos mencionados. Los hongos están constituidos por una red de filamentos denominados hifas que se expanden en el material sobre el que crecen en forma invasiva produciendo potenciales alteraciones mecánicas (deterioro físico). Esto es, a medida que la biopelícula fúngica crece, se observan grietas superficiales y profundas que aumentan la porosidad de los materiales. Además, este aumento de la porosidad facilita la colonización de los materiales por otros microorganismos, promueve su crecimiento y la retención de agua. Por otro lado, el deterioro fúngico químico se produce como resultado de la acción de metabolitos extracelulares, ácidos orgánicos y compuestos quelantes de metales. Esto conduce a la posible disolución y sustitución de los minerales originales por la biomineralización secundaria. Los hongos son conocidos por secretar gran variedad de ácidos orgánicos (oxálico, oxalacético, cítrico, glucónico, oxoacético y fumárico) que reaccionan con iones de calcio, aluminio, hierro, manganeso, silicio y magnesio contribuyendo aún más con la degradación del material. También se destaca la secreción de enzimas hidrolíticas (lipasas, pectinasas, proteasas y celulasas) con el objetivo de degradar compuestos poliméricos o de estructura más compleja en compuestos con estructuras más simples asimilables por los hongos.

Por otro lado, el primer signo observable de la colonización microbiana es el aspecto antiestético del material. De hecho, las biopelículas fúngicas que

se desarrollan en los materiales suelen estar pigmentadas, lo cual, se manifiesta en la aparición de manchas oscuras o verdes. Los hongos producen varios pigmentos que los protegen de la irradiación UV. Fundamentalmente, la melanina les proporciona mayor rigidez en la pared celular y las hifas puedan crecer mejor en las fisuras.

Estudio de hongos deteriorantes de materiales estructurales

Los hongos filamentosos se describen frecuentemente como agentes de deterioro de los materiales de construcción, tanto en ambientes interiores como exteriores. Debido a su modo de nutrición, a la secreción de ácidos y enzimas extracelulares que digieren moléculas complejas y al crecimiento invasivo de las hifas, los hongos filamentosos tienen una gran capacidad para crecer en superficies de diversos materiales. Entonces posiblemente, la supervivencia y proliferación de los hongos sobre los materiales está relacionada con la capacidad de formar biopelículas.

Diversos factores como la temperatura, la humedad relativa, el contenido de agua, las rutinas de limpieza de la superficie, la renovación del aire y la intensidad de la luz podrían conducir a la selección de ciertos microorganismos, interfiriendo en su supervivencia o resistencia. También es necesario tener en cuenta factores como el tipo y la composición química del material, el pH y la disponibilidad de nutrientes. Entre todos los factores intervinientes el contenido de agua del material y la humedad relativa en el ambiente son claves al momento de producirse la germinación de las esporas y el crecimiento fúngico correspondiente.

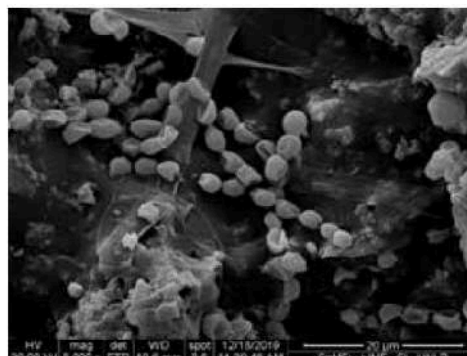


Figura 1: *Colonia de Penicillium commune MN371392 sobre material cerámico. Espécimen aislado, identificado y conservado por el Dr. E. Gámez-Espinosa del área de Recubrimientos antimicrobianos del CIDEPINT. Estereofotografía 80x y microfotografía MEB 5000x.*

En algunos estudios se han investigado las correlaciones entre los tipos de materiales de construcción y los hongos presentes. Las especies pertenecientes al género *Penicillium* son los microorganismos más frecuentemente aislados en todo tipo de materiales de construcción (Figura 1). Las especies de *Aspergillus* se encuentran habitualmente en materiales de tipo cerámico (hormigón, mortero) y en pinturas. También se ha mencionado la presencia de *Stachybotrys* en materiales de tipo yeso. Estudios enfocados en la micobiota deteriorante de los materiales de construcción afirman que *Cladosporium* spp., *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp. y *Stachybotrys* sp. son los aislados con mayor frecuencia, independientemente de la técnica de muestreo, la condición ambiental o el tipo de material. También se detectaron similitudes con los resultados de las muestras de aire. Siendo las especies asociadas más comunes *Cladosporium sphaerospermum*, *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus versicolor* y *Stachybotrys* sp.

El biodeterioro de materiales de construcción (piedra, cerámica, cemento, hormigón, etc.) es un problema para las empresas constructoras que deben invertir en estrategias para evitarlo y, también, para los propietarios de los edificios que se enfrentan a importantes gastos para limpiar y restaurar los materiales. En general, el debilitamiento de los materiales causado por el desarrollo de biopelículas acelera el deterioro general al sumar los efectos de los factores abióticos a los que están expuestos. Entonces, el biodeterioro avanzado provoca en los materiales la pérdida del aislamiento estructural o térmico, el drenaje y la reflectancia solar.

El área de Recubrimientos Antimicrobianos del CIDEPNT (CICPBA-CONICET-UNLP) brinda servicio en lo relativo al estudio del biodeterioro de materiales (ST 5754).

Biodeterioro de pinturas y recubrimientos

Las pinturas acrílicas hogareñas o de obra son un blanco favorable para el crecimiento de los microorganismos, debido a los componentes orgánicos en su composición y el uso de agua como solvente. Frecuentemente hongos, cianobacterias y algas causan el deterioro de las estructuras pintadas en el exterior mientras que en recubrimientos de interior el predominio lo tienen los hongos filamentosos, en la Figura 2a se puede observar un ejemplo de esto. En el área de Recubrimientos antimicrobianos del CIDEPINT se ha podido aislar e identificar distintos hongos filamentosos a partir de películas de pintura biodeterioradas para su uso como bioindicadores: *Alternaria alternata* (KU936229), *Aspergillus fumigatus* (KU936230), *Chaetomium globosum* (KU936228) y *Penicillium commune* (KU936231), entre otros. Algunos de los aislados se muestran en la Figura 2b.

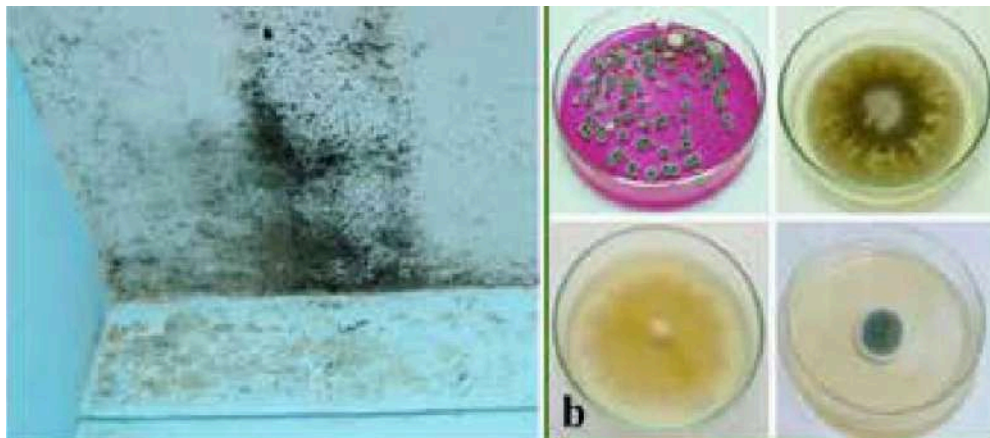


Figura 2. *Techo y pared con claros signos de biodeterioro. b) Aislados fúngicos obtenidos a partir de películas de pintura biodeterioradas, identificados y conservados por la Dra. N. Bellotti responsable del área de Recubrimientos antimicrobianos del CIDEPINT.*

Los hongos son considerados los principales agentes deteriorantes de las superficies pintadas, especialmente aquellos que producen esporas de pigmentación oscura, como especies de *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Chaetomium*, *Aspergillus* y *Penicillium*, entre otras. Después de la adhesión irreversible de las esporas (Figura 3a) y la germinación sobre la película de pintura (Figura 3b), los hongos filamentosos desarrollan un

crecimiento invasivo característico a través de hifas (Figura 3c) que crean una red compleja (micelio).

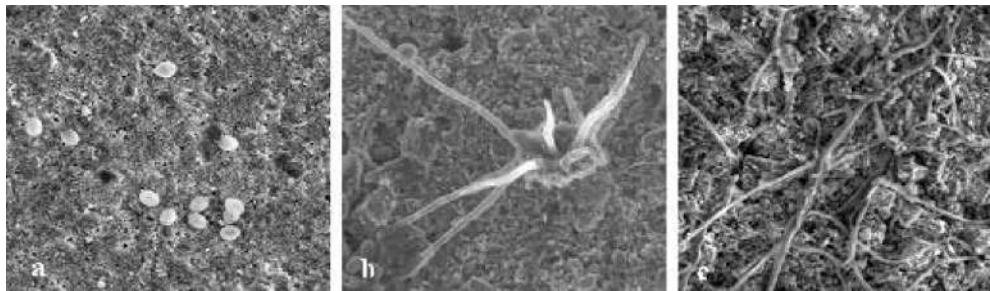


Figura 3. Imágenes obtenidas mediante MEB de muestras de pintura inoculadas con el hongo *C. globosum*, luego de cuatro semanas a 28°C. Magnificación 800x a) y 1500x b) y c).

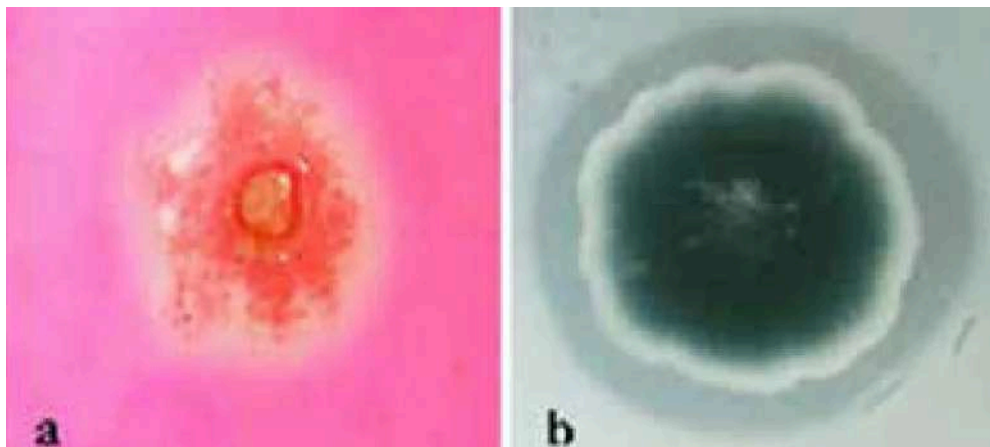


Figura 4: a) Test positivo de actividad celulolítica: halo de degradación en cultivo de *Chaetomium globosum* evidenciado mediante colorante rojo congo en medio de cultivo suplementado con celulosa; b) test positivo de liberación de ácidos: halo de degradación en cultivo de *Penicillium commune* en medio suplementado con carbonato de calcio.

Muchos de los componentes en la formulación de las pinturas proporcionan nutrientes para los microorganismos. Las resinas y aditivos que tienen peso molecular elevado pueden ser hidrolizados para lograr

atravesar las membranas celulares. Las resinas con enlaces éster como las acrílicas son más susceptibles en comparación con las que se basan en poliésteres debido a la susceptibilidad del enlace éster a un gran número de enzimas hidrolíticas. En el caso de los aditivos conformados por moléculas pequeñas, son los más fácilmente afectados, y aunque se encuentren en una concentración más baja, su degradación puede causar importantes pérdidas en las funcionalidades de los sistemas protectores. Los espesantes celulósicos (ej. carboximetilcelulosa, hidroxietilcelulosa y metilcelulosa) son blanco de las enzimas. La celulosa generalmente se descompone en monómeros de D-glucosa a través de un sistema enzimático conocido como complejo celulasa. La actividad celulolítica de los microorganismos se puede evaluar en el laboratorio en un ensayo en placa como puede verse en la Figura 4a. En este caso *Chaetomium globosum* es conocido por deteriorar pinturas y otros materiales que contienen celulosa en los entornos edilicios. No solo aditivos y resinas pueden ser degradados, sino también, otros componentes de la pintura como el carbonato de calcio que es susceptible al ataque por parte de los ácidos orgánicos secretados por los hongos como queda evidenciado en la Figura 4b a partir de un ensayo en placa.

La viabilidad de los microorganismos colonizadores en las superficies hogareñas dará lugar a la correspondiente formación de las biopelículas que comprometen la salud de las personas que pasan muchas horas expuestas a los bioaerosoles (compuestos orgánicos volátiles, esporas y fragmentos celulares dispersos en el ambiente) que generan. En tal sentido, se han reportado gran número de síntomas que comprometen las vías respiratorias, además de infecciones y alergias, vinculados con la exposición a contaminantes biológicos. La evidencia acumulada en los últimos años señala que los ambientes contaminados juegan un rol importante en la transmisión de patógenos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) viene alertando sobre este problema desde una publicación emitida en el año 2009, donde sugiere controlar o prevenir la formación de biopelículas en los interiores edilicios.

Nuevos aditivos bioactivos aplicados a la formulación de recubrimientos

Para prevenir o controlar el crecimiento de microorganismos en pinturas y recubrimientos, se incorporan aditivos con propiedades antimicrobianas (biocidas) en sus formulaciones. Estas películas protectoras pueden repeler a los microorganismos previniendo la etapa inicial de colonización o

pueden impedir la viabilidad celular por contacto. Los biocidas más utilizados comercialmente son aquellos orgánicos, muchas veces, derivados halogenados de carbamatos e isotiazolinonas, cuestionados desde el punto de vista de su toxicidad. Por otro lado, la eficiencia de los biocidas orgánicos decae con el tiempo resultando que muchas veces la actividad antimicrobiana termina mucho antes que la vida útil del recubrimiento debido a su baja retención o degradación. En tal sentido, se están realizando grandes esfuerzos a nivel mundial que apuntan al desarrollo de nuevos biocidas aplicables a recubrimientos que mejoren su performance en el tiempo y sean amigables con el ambiente.

El auge de la nanotecnología en las últimas décadas ha impulsado el desarrollo de agentes antimicrobianos de base nanotecnológica. Esto se debe a la versatilidad de las nanopartículas (NPs) y su amplio rango de actividad antimicrobiana entre las que se destacan las de Ag. Las NPs se pueden integrar en la pintura de forma libre o asociada a otro material mediante su funcionalización. El uso directo de nanopartículas metálicas o de óxidos metálicos (ej. Ag, Cu, ZnO y TiO₂) en pinturas puede resultar no muy eficiente debido a la interacción con otros componentes presentes en la formulación o por la aglomeración de las partículas que lleva a una menor eficiencia en la funcionalidad antimicrobiana en la película. La otra estrategia es incorporar estos nanoaditivos mediante la funcionalización de otros materiales, entre ellos, los que se encuentran comúnmente en la composición de las pinturas: resinas, pigmentos, cargas y aditivos. Entre los soportes estudiados podemos mencionar halloysitas, montmorillonitas, zeolitas y matrices sintéticas de base sol-gel. Por otro lado, se estudian micro y nanoestructuras de materiales inorgánicos y orgánicos (esferas de base sol-gel, arcillas y nanoestructuras poliméricas orgánicas) como portadores de biocidas orgánicos comerciales o experimentales biogénicos (ej. aceites esenciales o derivados de estos) para aplicar en la formulación de recubrimientos. La integración de biocidas orgánicos encapsulados o asociados a materiales de soporte busca prevenir su degradación o lixiviación extendiendo la funcionalidad en el tiempo de la película protectora.

En el área de Recubrimientos antimicrobianos del CIDEPINT se estudian nuevos aditivos nanotecnológicos además de compuestos biogénicos eco-compatibles para la aplicación en la formulación de recubrimientos bioactivos tanto de interior como de exterior. La eficiencia de los potenciales biocidas se evalúa utilizando técnicas microbiológicas convencionales: difusión en agar y ensayos de micro y macrodilución como se muestra en los ejemplos de la Figura 5a y b. Estas determinaciones también son ofrecidas como servicio por el grupo de trabajo (ST 5655).

Luego al formular y preparar los recubrimientos se evalúa la resistencia al biodeterioro siguiendo un procedimiento basado en la norma ASTM D 5590 (ST 4766). En la Figura 6 se muestra como ejemplo el resultado de la evaluación de la eficiencia de muestras de pintura siguiendo este procedimiento.



Figura 5. a) *Ensayo de difusión en agar: evaluación de la actividad antifúngica de potenciales biocidas. Ejemplo de montmorillonitas modificadas frente a A. alternata.* b) *Ensayo de macrodilución en placa determinación de la concentración inhibitoria mínima, ejemplo de cultivos de C. globosum expuestos a distintas concentraciones de un compuesto biogénico en estudio.*

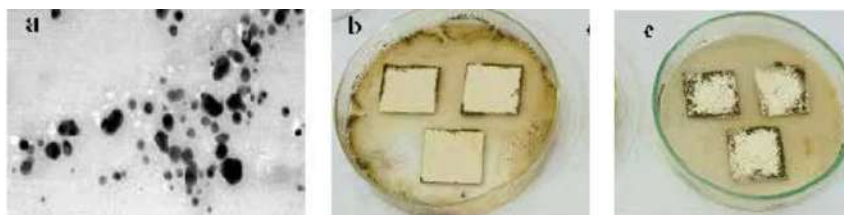


Figura 6 a) Micrografía TEM (magnificación 450000x) de Ag NPs (tamaño promedio 16 nm) obtenidas por síntesis verde. Determinación de la resistencia al crecimiento fúngico en recubrimientos: b) muestras de pinturas con AgNPs obtenidas a partir de extracto acuoso de laurel y c) control sin biocida inoculadas con *C. globosum* luego de cuatro semanas a 28°C.

Deterioro microbiológico de pinturas en el envase

Las pinturas en emulsión al encontrarse en el envase pueden presentar signos de biodeterioro (putrefacción, cambios de pH, formación de gases y disminución de la viscosidad) debido frecuentemente al crecimiento bacteriano dado el alto contenido de agua del sistema. A partir de esto se puede determinar si una pintura está biodeteriorada y aislar los microorganismos presentes. Además, se puede identificar y caracterizar los microorganismos causantes de la contaminación para poder elegir los biocidas adecuados para la conservación de la pintura. Para la protección de las pinturas en el envase se agregan en la formulación biocidas especialmente diseñados para esa función conocidos como conservantes o biocidas in-can. Los requisitos generales para los biocidas funcionales en película como en el envase son similares: amplio espectro de actividad, rentabilidad, estabilidad en las condiciones de pH, compatible con los otros componentes, actividad duradera y amigable con el ambiente. Algunos de los requisitos específicos son diferentes, con respecto a los biocidas de película (in-film): la solubilidad en agua, la lixiviación y la volatilidad deben ser bajas, mientras que en el caso de los in-can un alto coeficiente de partición entre los componentes orgánicos y el agua es requerido.

En nuestro laboratorio estudiamos potenciales biocidas de amplio espectro que buscan ser eficientes tanto en el envase como en la película. En tal sentido se evalúan los biocidas experimentales en ensayos de microdilución para determinar la concentración inhibitoria mínima frente a cepas bacterianas, como puede observarse en la Figura 7a. Por otro lado, se puede evaluar las pinturas en cuanto a su eficiencia antibacteriana en el envase. Entre las pruebas que se realizan directamente sobre las pinturas se destaca el método de prueba estándar para la resistencia de las pinturas en emulsión al ataque de microorganismos ASTM D-2574. Este método contempla el uso de bacterias de los géneros *Klebsiella*, *Pseudomonas* y *Bacillus* como indicadores de contaminación, tanto de colección como de aislados autóctonos de pinturas biodeterioradas. Esta prueba también aporta un sistema de clasificación que ayuda en la evaluación del grado relativo de contaminación como se puede ver en la Figura 7b y c.

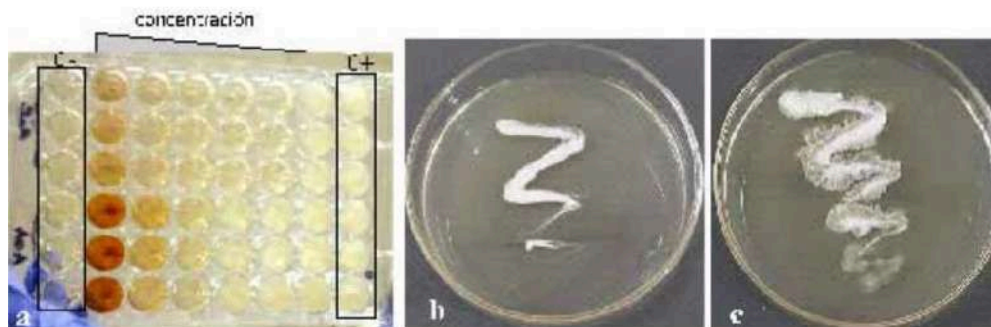


Figura 7 a) Ensayo de microdilución: determinación de la concentración inhibitoria mínima: distintas concentraciones de dos AgNPs obtenidas por síntesis verde a partir de dos extractos vegetales frente a *E. coli*; b y c) determinación de la resistencia de las pinturas en emulsión al crecimiento bacteriano: b) estría de una pintura no contaminada y c) de una pintura con signos de “contaminación intensa” (colonias no distinguibles) por parte de *Pseudomona aeruginosa*, luego 24 horas a 30°C.
Imágenes obtenidas por la Dra. Leyanet Barberia Roque

Desarrollo de recubrimientos antimicrobianos con una perspectiva sustentable

Una de las líneas con las que cuenta el área de Recubrimientos antimicrobianos del CIDEPINT es el desarrollo de recubrimientos funcionales con componentes obtenidos a partir del reciclado de residuos contaminantes para el reemplazo de aquellos comerciales. Este enfoque busca ampliar la sustentabilidad del producto al utilizar residuos como materia prima para la obtención de potenciales biocidas. La valorización de los residuos tiene como objetivo principal recuperar un residuo y reinsertarlo como materia prima en el circuito productivo lo cual se reconoce como economía circular. En este caso hablamos de pilas agotadas cuyo consumo ha crecido de forma preocupante en las últimas décadas y su eliminación representa un gran problema para el ambiente y la salud. Esto es debido a la presencia de metales pesados, se estima que alrededor de 200.000 ton de Zn y Mn, 2.000 ton de Ni y 1.500 ton de Cd son desechados por año y se tratan como residuo sólido urbano (RSU) generando el riesgo de contaminación en suelos y cuerpos de agua por consecuencia de la corrosión de sus carcasas.

En el laboratorio UPL (CICPBA-UNLP) de La Plata, en el marco del trabajo de tesis doctoral del Lic. Guillermo P. Lopez se recuperan diferentes

materiales como Zn y Ag a partir de pilas desechadas aplicando los principios de la química verde. Seguido a esto se estudian las propiedades estructurales, ópticas y antimicrobianas para ver las potencialidades de estos nuevos materiales como biocidas para pinturas. La evaluación de la actividad antimicrobiana, la formulación y preparación de las pinturas se realiza en el CIDEPINT.

Conclusión

La aparición de manchas en techos y paredes pueden ser claro signo de biodeterioro ocasionado por los microorganismos que logran crecer sobre las superficies pintadas o no. En especial los hongos filamentosos se cuentan entre los más perjudiciales para la integridad de materiales estructurales y recubrimientos. Además, las personas expuestas en interiores edilicios con biodeterioro ven afectada su salud con distintos síntomas asociados a la exposición a los contaminantes biológicos. Aún en las pinturas envasadas el biodeterioro, frecuentemente bacteriano, puede presentarse generando grandes pérdidas económicas. Por lo tanto, el desarrollo de recubrimientos inteligentes, capaces de responder a la interacción con las células microbianas y evitar la colonización y crecimientos de los microorganismos sigue siendo un desafío. Los biocidas amigables con el ambiente al igual que los procesos de obtención más sustentables se investigan intensamente. La incorporación de nuevos aditivos bioactivos en la formulación de pinturas se encuentra impulsada por el auge de la nanotecnología y se manifiesta en la síntesis de diversas nanopartículas y, también, en el diseño de materiales nanoestructurados como portadores de activos antimicrobianos.



En nuestro laboratorio estudiamos potenciales biocidas de amplio espectro que buscan ser eficientes tanto en el envase como en la película.