

Evaluación de la aplicabilidad de productos atóxicos y ecosostenibles en pintura contemporánea

Livio Ferrazza, David Juanes Barber | Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigació (IVCR+i)

URL de la contribución <www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/5381>

RESUMEN

En la restauración de pintura, la limpieza se considera la operación más crítica, principalmente debido a su irreversibilidad, la dificultad de definir el nivel de la intervención y la posibilidad de aportar alteraciones o incluso daños a la obra. Tradicionalmente, se han empleado disolventes orgánicos volátiles que presentan un cierto grado de peligrosidad tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Ante esta situación, ha surgido la necesidad de sustituir estos productos por otros más sostenibles que no comprometan la eficacia del tratamiento de restauración. A partir de principios del siglo XXI, se empezó el uso de métodos acuosos, sistemas gelificados y disolventes orgánicos ecosostenibles disponibles en el mercado como alternativa a los sistemas de limpieza tradicionales. Ante este escenario, se está llevando a cabo un proyecto de investigación cuyo principal objetivo es el estudio de la aplicabilidad de diferentes sistemas de limpieza de menor toxicidad y ecosostenibles en la limpieza de superficies pictóricas modernas del siglo XX, en las que, por el tipo de técnica pictórica o pigmentos utilizados, es probable que se encuentre con una película pictórica extremadamente delicada. La valoración de la aplicabilidad de los sistemas de limpieza ensayados, su efectividad y la permanencia de residuos se ha realizado a través de la aplicación de un protocolo de trabajo normalizado mediante una metodología científica que incluye de diferentes técnicas instrumentales de tipos microscópico (ME, MO vis-UV, SEM) y espectroscópico (EDX, FTIR-ATR).

Palabras clave

Disolventes | Ecosostenibilidad | Evaluación | Geles | Limpieza | Pintura contemporánea | SEM-EDX |



Aplicación de los sistemas de limpieza gelificados en la superficie de la pintura | fuente IVCR+i, para todas las imágenes del artículo si no se indica lo contrario

INTRODUCCIÓN

Los procesos de limpieza se consideran comúnmente las operaciones más críticas en la restauración de acabados pictóricos en bienes culturales, principalmente debido a su irreversibilidad, la dificultad de definir el nivel de la intervención y la posibilidad de provocar alteraciones o incluso daños a la obra. Sin embargo, la limpieza es una etapa necesaria dentro del proceso de conservación ya que elimina la suciedad y/o estratos de recubrimientos que generan un daño e impiden la correcta lectura de la obra. La elección del método y procedimiento de limpieza se basa en el conocimiento del bien cultural, en la naturaleza y estado de conservación de los materiales constituyentes, los materiales a eliminar, las condiciones ambientales y la interacción entre todos estos factores (Cremonesi y Signorini 2012). El tratamiento de limpieza requiere una prudencia extrema, donde hay que tener en cuenta la compatibilidad, es decir, el grado en el que un material puede emplearse con otro material sin comprometer la estabilidad del bien (Doherty y Stavroudis 2012). Por tanto, la fase de limpieza requiere una cuidadosa evaluación a lo largo de todo el trabajo, empezando por la valoración preliminar de las pruebas y continúa con la supervisión y optimización durante todo el proceso de limpieza, de modo que se obtenga un resultado óptimo con un riesgo mínimo para el bien.

La aplicación de productos con un enfoque sostenible en la tarea de limpieza de superficies pictóricas es, actualmente, un desafío importante ya que existe la necesidad de limitar el uso de disolventes orgánicos volátiles que presentan cierto grado de peligrosidad para la salud humana y para el medio ambiente. A partir de principios del siglo XXI, empezó el uso de métodos acuosos como alternativa a los sistemas de limpieza tradicionales con disolventes orgánicos, y más recientemente han empezado los estudios sobre la aplicabilidad de sistemas gelificados y disolventes orgánicos ecosostenibles (Capello, Fischer y Hungerbühler 2007; Jessop 2011), ya que el mercado ofrece cada vez más productos no tóxicos y sostenibles que pueden tener una potencial aplicación en la limpieza de superficies pictóricas (Hennum y Desrochers 2021). Es en este escenario donde el Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigació (IVCR+i) está desarrollando líneas de investigación centradas en la evaluación de la aplicabilidad de diferentes sistemas de limpieza de menor toxicidad y ecosostenibles en sustitución respecto a los que tradicionalmente se emplean.

En este contexto, la pintura contemporánea supone un reto en lo que se refiere a su intervención. Existe un riesgo asociado en la limpieza de superficies pictóricas elaboradas a partir del siglo XX donde, por el tipo de técnica pictórica o pigmentos utilizados, es posible encontrar una película pictórica extremadamente delicada. En el siglo pasado empezó la comercialización y la difusión de su uso en las técnicas artísticas del pigmento sintético

del blanco de titanio (TiO_2) en forma de rutilo y anatasa. La conocida actividad fotocatalítica puede hacer que este pigmento sea reactivo frente a los aglutinantes utilizados en la pintura, modificando su aspecto y por tanto su impacto visual (Sartori 2016; Van Driel et ál. 2016; Völz et ál. 1981). La luz ultravioleta activa procesos fotocatalizados con el TiO_2 presente en la pintura, degradando el aglutinante de aceite en componentes volátiles que dan como resultado la formación de una pintura pulverulenta (Van Driel et ál. 2017). El titanio de tipo anatasa se pulveriza provocando en el estrato pictórico una degradación cuando es usado en vehículos óleo-resinosos (Scicolone 1993). Recientemente, se está utilizando el dióxido de titanio en la estructura de rutilo, ya que se sabe que tiene una actividad fotocatalítica mucho menor que la anatasa (Laver 1997). Los mecanismos de degradación por el blanco de titanio pueden determinar una pintura que pueda verse afectada fácilmente por la acción mecánica de la limpieza como en el caso de la frotación con hisopo para reblanecer-solubilizar el barniz y su posterior retirada, comprometiendo la integridad del estrato pictórico. En este artículo se muestra un ejemplo de la valoración de la aplicabilidad y eficacia de determinados disolventes ecosostenibles, con especial atención en el estudio del riesgo asociado en la limpieza de superficies pictóricas modernas del siglo XX.

METODOLOGÍA

El proceso de limpieza evaluado se ha basado en sistemas gelificados de tipo acuosos a los cuales se han incorporado dos disolventes etiquetados como "verdes". En concreto, para este estudio se han ensayado sistemas de limpieza sobre la superficie pictórica de un cuadro de la segunda mitad del siglo XX con presencia de un barniz oxidado. Los materiales pictóricos del cuadro han sido previamente caracterizados mediante la extracción de una muestra preparada en sección estratigráfica. Para la identificación del barniz, este se retiró mediante hisopo con etanol absoluto, para posteriormente realizar su extracción y secado en estufa durante 24 h a 60 °C. En cuanto a la valoración sobre la permanencia de residuos de los materiales ensayados, esta se efectuó sobre una probeta específicamente preparada, obtenida de una tela de lino con preparación industrial a base de pintura alquídica con blanco de titanio. Estas probetas permiten realizar los análisis FTIR-ATR sobre ellas, lo que es de gran utilidad a la hora de detectar la presencia de bandas características de los disolventes empleados o de los polisacáridos procedentes de los agentes gelificantes.

Como agente gelificante se ha seleccionado el agar por sus características de producto atóxico, de origen natural, sostenible y de fácil preparación, manipulación y aplicabilidad (Senserrich et ál. 2015; Anzani et ál. 2008). Igualmente, los productos basados en este tipo de polisacárido extraído de las algas de la familia *Rodoficee* (especies *Gelidium* y *Gracilaria*), presentan gran versati-

lidad, posibilidad de combinarlos con diferentes tipos de disolventes además de ser un producto con un coste reducido (Bolletino C.T.S. 2009).

La elección de los disolventes comerciales etiquetados como “verdes” se ha realizado en base a los riesgos característicos que tienen para la salud, seguridad y medio ambiente. El primero es un disolvente oxigenado a base de éster dibásico, basado en los ácidos dicarboxílicos de cadena alquílica de ramificación corta, un dimetil 2-metil glutarato (n.º CAS 14035-94-0). El producto es presentado como una alternativa ecológica a muchos disolventes clorados y compuestos orgánicos altamente volátiles que, en base a diferentes estudios, es capaz de disolver una amplia gama de resinas y sustratos poliméricos como resinas acrílicas, epoxi, poliéster, poliuretano, vinilo y alquídicas, así como la eliminación de grasas o como decapante en la remoción de pinturas o grafitis (Rhodia 2009a; Rhodia 2009b; Barberà Giné, Marín Ortega y Rovira Pons 2019). Para considerar este disolvente como una alternativa verde se ha de tener en cuenta que no tiene COV (Compuestos Orgánicos Volátiles) de acuerdo con la legislación europea (1999/13/EC), no es tóxico, no inflamable, no cancerígeno y no irritante ni sensibilizante. Según datos ecotoxicológicos, es fácilmente biodegradable, en más del 60 % según OECD 310 (Rhodia 2010; Rhodia 2011). El segundo disolvente es un éster butílico del ácido L(+) láctico (CAS n.º 97-64-3), que se produce por fermentación del azúcar y la glucosa del maíz, clasificándolo como producto sostenible y con una huella de carbono significativamente menor que los disolventes derivados del petróleo. Es un líquido transparente e incoloro de baja volatilidad, de olor característico, parcialmente miscible con agua y se considera de muy bajo VOC debido a su alto punto de ebullición (187 °C) (Galactic 2014).

Estos materiales seleccionados se han comparado con la limpieza realizada con una mezcla de disolventes orgánicos a base de etil acetato con dimetilsulfóxido. La evaluación de los sistemas de limpieza se realizó confrontando la superficie pictórica de la obra y de las probetas antes y después de la aplicación del tratamiento y sobre los hisopos de algodón utilizados para la retirada del barniz. Para este estudio las técnicas utilizadas han sido el microscopio portátil UV-vis Dino-Lite Premier Digital Microscope® AM4113TL-FVW, con una resolución de 1,3 megapixel (1280 x 1024) y un rango de aumento de 10x a 200x; microscopio digital Leica modelo DVM6A con un aumento de 30x; el microscopio óptico ZEISS modelo Axioscope 7 Vario con camera ZEISS Colibri 5, provisto de luz reflejada y polarizada e iluminación UV con aumentos de 50x a 500x, el microscopio electrónico de barrido Hitachi Ltd, (SEM), modelo S-3400N con el cual se capturaron imágenes en modalidad electrónes retrodispersados (BSE) a distintos aumentos, desde 50x hasta 1000x. Los microanálisis se realizaron por dispersión de energías de rayos X (EDX), empleando un equipo de Bruker Corporation XFlash® con un voltaje de aceleración 20 kV; para los análisis moleculares se emplearon el espectrómetro

de infrarrojos mediante transformada de Fourier (FTIR) Bruker-Tensor II, utilizando un dispositivo de ATR de cristal de diamante acoplado a la bancada del espectrómetro, trabajando en el intervalo 4000-400 cm⁻¹ con una resolución de 4 cm⁻¹ y el equipo portátil RAMAN Bruker-BRAVO.

ADECUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LIMPIEZA

La preparación de los sistemas de limpieza se realizó en base a los resultados sobre la caracterización de los materiales pictóricos del cuadro y del barniz oxidado. Se seleccionaron como disolventes orgánicos comunes en la retirada de barnices naturales oxidados la mezcla de etil acetato con dimetilsulfóxido (C.T.S.) en una proporción 9:1. Este sistema se ha comparado con los siguientes disolventes ecosostenibles según los proveedores, el dimetil 2-metil glutarato (Solvay) y el éster butílico del ácido L(+) láctico (Galactic). Los disolventes se gelificaron al 1 % en peso en Agarart (C.T.S.) al 3 % en agua desionizada formando los geles rígidos descritos en la tabla siguiente. Los geles se aplicaron sobre las áreas de ensayo seleccionadas con una superficie de 1 cm² tanto en el cuadro ([ver imagen](#)) como en la probeta, dejándolos actuar 10 minutos. Seguidamente, el barniz se retiró mediante una suave frotación mecánica con hisopo de algodón humedecido con el respectivo disolvente del gel ensayado. Las superficies pictóricas, tras el ensayo de limpieza, se dejaron estabilizar durante 24 h en condiciones ambientales con una temperatura de 21 °C ± 2 °C y una HR de 55 % ± 5 %, antes de realizar los análisis o la extracción de muestras.

Sistema gel	Gel	Disolventes
G1		EA/DMSO 9:1 (C.T.S.)
G2		Dimetil 2-metil glutarato (Solvay)
G3	Agarart (C.T.S.)	Éster butílico del ácido L(+) láctico (Galactic)

Tabla de formulaciones de los sistemas gelificados ensayados

Fases de aplicación de los sistemas de limpieza gelificados en la superficie de la pintura del siglo XX



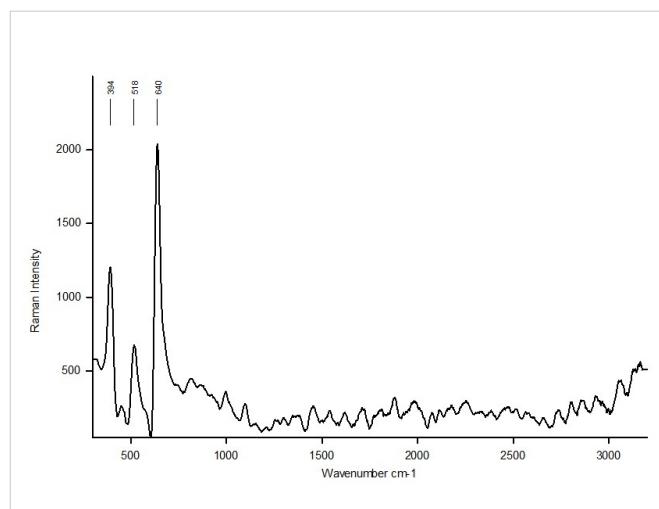
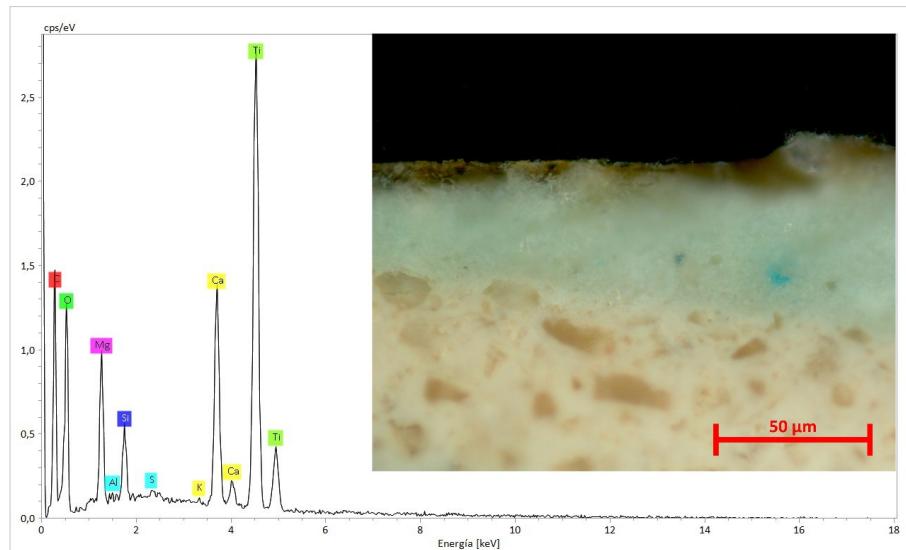
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterizaciones materiales pictóricos

La estructura estratigráfica de la pintura del siglo XX muestra una preparación formada, en base a los microanálisis EDX, por el pigmento blanco de titanio y carbonato de magnesio como carga mineral inerte (ver microanálisis en la imagen que sigue). En la capa pictórica se detectan mayoritariamente el pigmento blanco de titanio y el litopón (mezcla coprecipitada de sulfuro de cinc y de sulfato de bario). En menor concentración se identifican los elementos del calcio, magnesio y silicio que se asocian a cargas minerales de

Sección estratigráfica de la muestra de pintura observada con microscopía óptica con fuente de luz visible (aumentos de 200x) y microanálisis EDX de la capa de preparación

Espectro Raman de la capa pictórica (a la derecha). Espectro FTIR del extracto seco del barniz (a la izquierda)

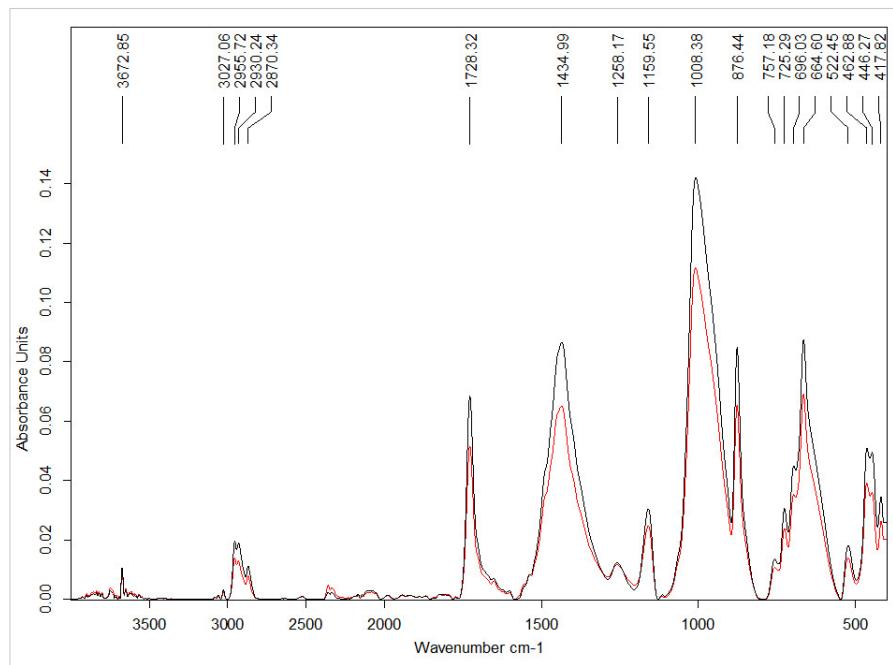


carbonato de calcio/magnesio y silicatos. Con el análisis Raman se identifican picos a 640, 518 y 394 cm⁻¹ que corresponden al dióxido de titanio en la fase cristalina de la anatasa (ver espectro en los gráficos inferiores de la página anterior).

El análisis FTIR-ATR del barniz detecta un recubrimiento de naturaleza terpélica. El espectro de la página anterior muestra los picos de absorción característicos a 2922 y 2853 cm⁻¹ asociadas a las vibraciones de tensión de los grupos funcionales CH₂ y CH₃, mientras que el grupo carbonilo C=O de los grupos éster y ácido se identifica con el pico a 1708 cm⁻¹. Además, se observan bandas adicionales que resultan ser características de las resinas terpélicas a 1453, 1373 y 1117 cm⁻¹.

Valoración de la permanencia de residuos

A través de la comparación de los espectros FTIR de la probeta de lienzo tratada con los disolventes gelificados, se pudo constatar que en ningún caso se detectan residuos en la superficie pictórica. En el gráfico que sigue se pueden observar los espectros infrarrojos registrados en la probeta tras la aplicación de los tres geles de agar con los disolventes donde las señales coinciden con el espectro patrón sin limpieza (en negro). Se detectan únicamente los picos de absorción de los materiales del lienzo con imprimación industrial. Se puede descartar la presencia de residuos relacionados con el gel que tendría una señal característica del polisacárido en un valor cercano a 1040 cm⁻¹.

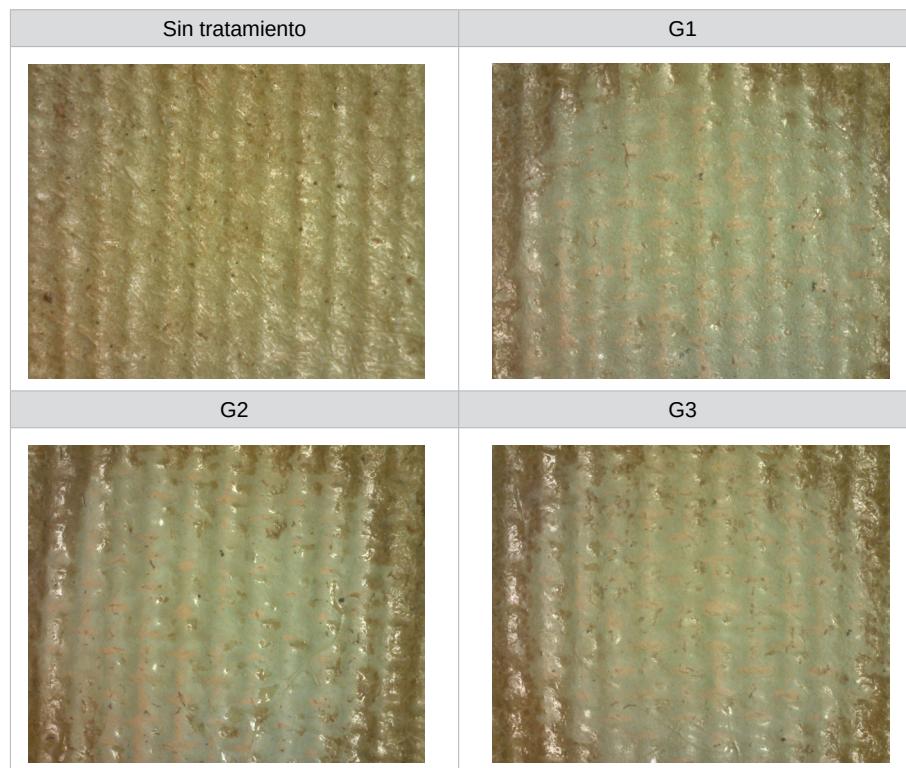


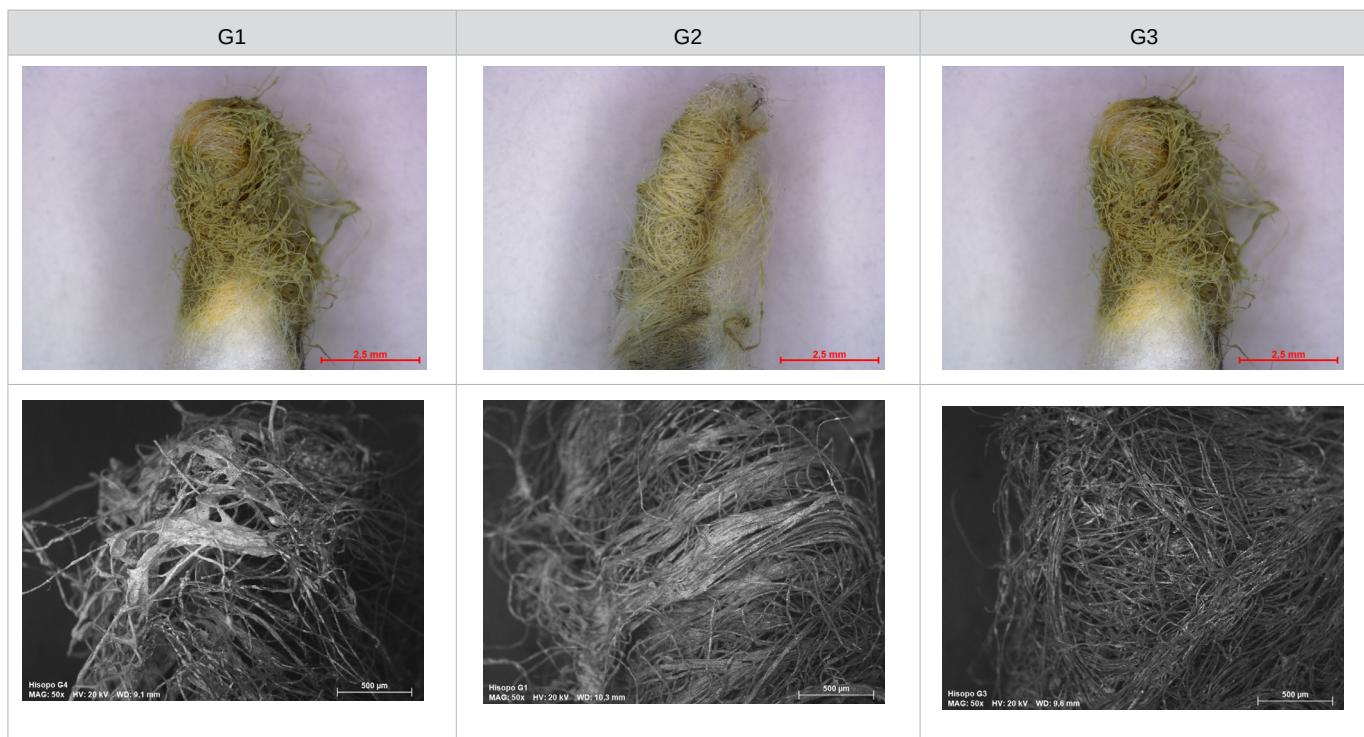
Espectros FTIR obtenidos en la probeta para determinar la posible permanencia de residuos de los sistemas de limpieza ensayados

Valoración de la eficacia y riesgo de la limpieza

La observación superficial tras la aplicación de los sistemas de limpieza en el lienzo muestra en todos los casos la retirada efectiva del barniz (véase los detalles de las imágenes que siguen). En el primer sistema de limpieza tradicional (G1), se elimina por completo la resina terpénica mostrando parcialmente la coloración de la preparación subyacente. Este resultado se podría relacionar con un tratamiento demasiado agresivo que, en base a las características de la capa pictórica, causaría una excesiva remoción del pigmento. En los sistemas G2 y G3, tras su aplicación, es posible observar un aspecto cromático más cálido de la superficie pictórica, así como la presencia de residuos de barniz. Este resultado, diferente al primer caso de estudio, mostraría una intervención de limpieza menos agresiva y posiblemente más respetuosa para la correcta conservación de la capa pictórica.

La observación y los análisis de los hisopos revelan un exceso de remoción de pigmento en el sistema de limpieza G1, reduciéndose en el hisopo de la limpieza realizada con el sistema G2 y de manera significativa en el sistema G3. Tal y como se observa en las imágenes de la página siguiente, los hisopos tienen una coloración amarillenta debida a la retirada del barniz. En el hisopo aplicado en el área de ensayo con el gel G1 se aprecia una ligera

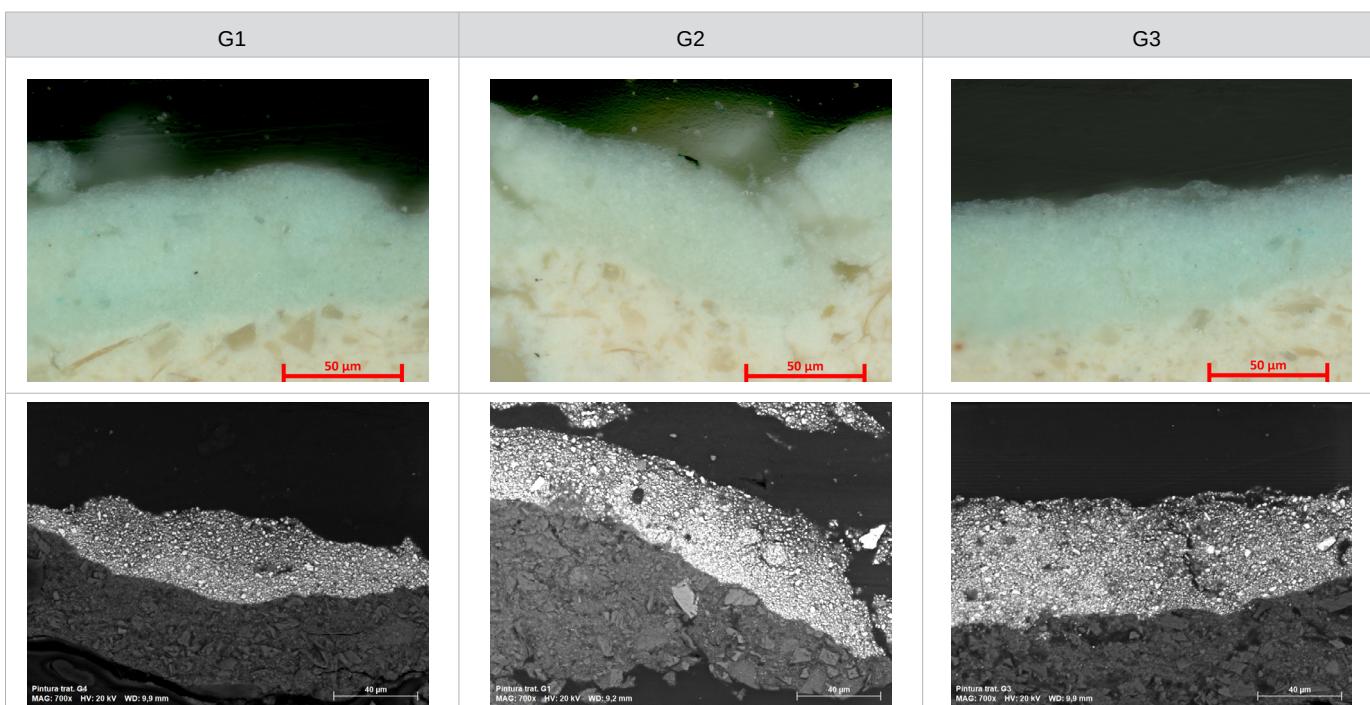




tonalidad azulada causada por una parcial remoción de pigmento que indica una limpieza superficial excesiva, resultado que se confirma con los microanálisis EDX que detectan el titanio relacionado con el pigmento presente en la pintura. Este elemento se reduce en concentración en los hisopos aplicados en las áreas de ensayos G2 y G3 como se puede apreciar también en las imágenes SEM en modalidad BSE a través el contraste producido por el peso atómico del titanio. En las fibras de algodón del hisopo G1, estas se ven embebidas de barniz que incorpora una gran cantidad de titanio (en blanco en las imágenes al SEM).

El estudio estratigráfico de la pintura confirma que la retirada del barniz ha sido eficaz por parte de los tres sistemas de limpieza ensayados, siendo el más agresivo el gel G1 que ha causado una pérdida superficial de material pictórico. En la primera estratigrafía de la imagen de la página siguiente, correspondiente a la muestra de pintura extraída del área G1, en la imagen SEM se observa una capa pictórica de espesor más fino e irregular respecto a las observadas en las estratigrafías de las muestras de pintura extraídas de las áreas G2 y G3 (imágenes de MO y SEM de la página siguiente). Esto indicaría cómo la rotación mecánica del hisopo necesaria para la remoción del barniz puede resultar excesiva causando pérdida de pigmento. En el caso de las secciones estratigráficas de las muestras de pintura extraídas en las áreas G2 y G3, se observa mediante las imágenes SEM, cómo los sistemas de limpieza ensayados permiten conservar el espesor originario de la

Hisopos de limpieza observados mediante microscopía digital y microscopía electrónica de barrido en modalidad retrodispersados



Secciones estratigráficas observadas mediante microscopía óptica con un aumento de 500x y microscopio electrónico de barrido en modalidad electrones retrodispersados

capa pictórica, evidenciando un menor daño provocado por la acción mecánica del hisopo sobre la superficie de la pintura.

En todos los sistemas de limpieza ensayados hay una pérdida de pigmento pudiéndose reducir el riesgo mediante los geles que incorporan los disolventes verdes. Estos últimos permiten reducir los daños en la superficie pictórica inducidos por esfuerzos mecánicos durante la frotación por hisopos, en cuanto presentarían, a paridad de tiempos de contacto, una mayor eficacia en solubilizar la resina terpélica del barniz, facilitando su posterior retirada.

CONCLUSIONES

En la investigación sobre la aplicabilidad, efectividad y riesgo de sistemas gelificados acuosos mediante el uso de disolventes atóxicos y ecosostenibles para la eliminación de un barniz de naturaleza terpélica presente sobre una pintura del siglo XX, todos los disolventes permitieron, con algunas variaciones, eliminar de manera bastante eficiente el barniz. El uso del sistema gelificado de agar con solo un 1 % de disolvente ecosostenible ofrece los mejores resultados en términos de eficiencia respecto a la pintura y seguridad para el medio ambiente y los profesionales. Respecto al sistema de limpieza con disolventes orgánicos tradicionales, los disolventes “verdes” representan

una alternativa eficiente para la eliminación de la resina mejorando la eficacia del proceso y reduciendo el riesgo en términos de pérdida de pigmento, así como la ausencia de residuos sobre la superficie pictórica según lo observado y analizado mediante microscopía digital, SEM-EDX y FTIR-ATR.

En necesario precisar que el estudio propuesto es una primera aproximación sobre la evaluación de nuevos materiales comerciales etiquetados como atóxicos y sostenibles, con un efectivo potencial de ser adaptados para su aplicación en los tratamientos de restauración de superficies pictóricas. Es necesario seguir investigando la aplicabilidad, eficacia y riesgo de nuevos disolventes ampliando la casuística de estudio –sistemas de aplicación, tiempos de contacto, distintos acabados pictóricos y barnices de diferente naturaleza, etc.– así como profundizar algunos aspectos analíticos relacionados en la detección de residuos o en la solubilización de los aglutinantes presentes en la pintura con específicos análisis tales como las técnicas de separación cromatográficas.

Agradecimientos

Al Ministerio de Ciencia e Innovación por su apoyo con el Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad en I+D+I (PTA2019-002526-C) y por el Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad, del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020 con el Proyecto PID2020-116563RB-I00 “Metodologías Sostenibles para la Conservación del Patrimonio Histórico-Artístico”. Asimismo, agradecer a la Conselleria de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital de la GVA con la subvención Grupos Emergentes 2022-2023 CIGE/2021/084 “Evaluación de la aplicabilidad de productos atóxicos y ecosostenibles para la conservación de superficie pictóricas en arte contemporáneo”.

BIBLIOGRAFÍA

- Anzani, M., Berzioli, M., Cagna, M., Campani, E., Casoli, A., Cremonesi, P., Fratelli, M., Rabbolini, A. y Raggiardi D. (2008) *Gel rigidi di agar per il trattamento de pulitura di manufatti in gesso.* Il Prato
- Bollettino C.T.S. (2009) Agarart 27
- Capello, C., Fischer, U. y Hungerbühler, K. (2007) What is a green solvent? A comprehensive framework for the environmental assessment of solvents. *Green Chemistry Journal*, n.º 9, pp. 927-934
- Cremonesi, P. y Signorini, E. (2012) *Un approccio alla pulitura dei dipinti mobili.* Il Prato
- Doherty, T. y Stavroudis, C. (2012) Desarrollando sistemas de limpieza para pinturas sensibles al agua mediante ajuste del pH y de la conductividad. En: *Conservación de Arte Contemporáneo 13a Jornada.* Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, pp. 39-46. Disponible en: <https://www.museoreinasofia.es/sites/default/files/jornada-conservacion-13.pdf> [Consulta: 28/09/2023]
- Hennum, K.S. y Desrochers, M. (2021) Considerations in defining greener solvents for conservation. En: Gwendoline, R.F. (ed.) *Greener Solvents in Conservations.* London: Archetype Publications, pp. 9-20
- Galactic (2014) GalasterTM Bio-solvents for CASE applications
- Barberà Giné, A., Marín Ortega, S. y Rovira Pons, P. (2019) The removal of Paraloid® coatings with aqueous based formulations. Practical case in frescoes from els Munts Roman villa (Catalonia). *Estudos De Conservação E Restauro*, vol. 10, pp. 67-83
- Jessop, P. (2011) Searching for green solvents. *Green Chemistry*, 13 (6), pp. 1391-1398
- Laver, M. (1997) Titanium white. En: FitzHugh, E.W., editor *Artists' pigments: a handbook of their history and characteristics*, vol. 3. Washington: National gallery of Art, pp. 295-355
- Rhodia (2009a) RHODIASOLV® IRIS A novel safe solvent for degreasing, graffiti removers & spot cleaners for aqueous and non-aqueous cleaning
- Rhodia (2009b) Rhodisolv® IRIS Product Data Sheet
- Rhodia (2010) Rhodiasolv® IRIS Toxicological summary
- Rhodia (2011) Rhodiasolv® IRIS. A New Generation of Safe and Eco-friendly Solvents
- Sartori, M. (2016) *I bianchi di titanio nella pittura ad olio contemporanea: riconoscimento non invasivo delle fasi cristalline, e studio del loro ruolo nei processi di degrado del legante.* Tesis doctoral. Università Ca' Foscari Venezia. Disponible en: <http://dspace.unive.it/handle/10579/8442> [Consulta: 27/02/2023]
- Scicolone, G. (1993) *Restauración de la pintura contemporánea.* Nerea: Nardini Editore
- Senserrich, R., Martí-Beltrán, G., Rabbolini, A., Anzani, M. y Armengol, X. (2015) El agar-agar en la restauración de mármol. Aplicación de un gel rígido para una limpieza controlada y sostenible. En: *Estudio y Conservación del Patrimonio Cultural.* Málaga: Red de Ciencia y Tecnología para la Conservación del Patrimonio Cultural y Universidad de Málaga, pp. 150-153
- Van Driel, B.A., Kooyman, P.J., Van den Berg, K.J., Schmidt-Ott, A. y Dik, J. (2016) A quick assessment of the photocatalytic activity of TiO₂ pigments. *Microchem J.*, vol. 126, pp. 162-171
- Van Driel, B.A., Wezendonk, T.A., van den Berg, K.J., Kooyman, P.J., Gascon, J. y Dik, J. (2017) Determination of early warning signs for photocatalytic degradation of titanium white oil paints by means of surface analysis. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 172, pp. 100-108
- Völz, H., Kaempf, G., Fitzky, H. y Klaeren, A. (1981) The chemical nature of chalking in the presence of titanium dioxide pigments. En: Winslow, F.H. (ed.) *Photodegradation photostabilization of coatings.* Washington: American Chemical Society, pp. 163-84 (ACS symposium series, vol. 151)